การศึกษาเปรียบเทียบวัฏจักรพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตระหว่างการใช้ดีเซลผสมเอทานอลชนิด 95% และ 99.5% ในภาคการขนส่งของประเทศไทย

นายจักรภพ นาคฤทธิ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4110-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COMPARATIVE STUDY ON LIFE CYCLE ENERGY AND ENVIRONMENTAL IMPACTS OF DIESEL BLEND WITH 95% ETHANOL AND 99.5% ETHANOL IN THAILAND'S TRANSPORTATION SECTOR

Mr.Jackraphop Nakarit

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2003
ISBN 974-17-4110-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเปรียบเทียบวัฏจักรพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตระหว่างการใช้ดีเซลผสมเอทานอลชนิด 95% และ 99.5% ในภาคการขนส่งของประเทศไทย
โดย	นายจักรภพ นาคฤทธิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.คณิต วัฒนวิเชียร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สถาพร สุปรีชากร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิต วัฒนวิเชียร)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฉัตรชัย หงษ์อุเทน)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.พิพัฒน์ พิชเยนทรโยธิน)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จักรภพ นาคฤทธิ์ : การศึกษาเปรียบเทียบวัฏจักรพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตระหว่างการใช้ดีเซลผสมเอทานอลชนิด 95% และ 99.5% ในภาคการขนส่งของประเทศไทย.(COMPARATIVE STUDY ON LIFE CYCLE ENERGY AND ENVIRONMENTAL IMPACTS OF DIESEL BLEND WITH 95% ETHANOL AND 99.5% ETHANOL IN THAILAND'S TRANSPORTATION SECTOR)

อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิต วัฒนวิเชียร ; 301 หน้า.

ISBN 974-17-4110-3.

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อประเมินผลด้านพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตโดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้เอทานอล 95% ผสมกับน้ำมันดีเซลและเอทานอล 99.5% ผสมกับน้ำมันดีเซล พิจารณาเฉพาะการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลในประเทศไทย วงจรชีวิตของเชื้อเพลิงแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิง (FTT) ซึ่งสนใจขั้นตอนย่อย การผลิตอ้อย การผลิตน้ำตาล การผลิตเอทานอลและการขนส่งเชื้อเพลิงและวัตถุดิบซึ่งพิจารณาแบ่งตามภาคเป็นหลัก และขั้นตอนการใช้เชื้อเพลิงในรถยนต์ (TTW) ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ส่วนใหญ่จะพิจารณาจากข้อมูลในระดับทุติยภูมิที่มีการเก็บรวบรวมและเผยแพร่โดยหน่วยงานต่างๆ ซึ่งผู้ศึกษาได้ดำเนินการตรวจสอบกับข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม การวิเคราะห์และประเมินผลข้อมูลดำเนินการตามแนวทางที่ใช้ใน GREET Model และจากงานวิจัยอื่นในเรื่อง LCA ที่เกี่ยวข้องเป็นหลัก

จากผลการวิจัยภายใต้เงื่อนไขเทคโนโลยีการผลิตขณะทำการศึกษาพบว่า FTT energy efficiency ของดีโซฮอล 95% มีค่าสูงกว่าค่าของดีโซฮอล 99.5% ค่า FTW total energy use (kJ/km) ของดีโซฮอล 95% มีค่าต่ำกว่าค่าของดีโซฮอล 99.5% ในขณะที่ค่า TTW efficiency ของดีโซฮอล 95% มีค่าใกล้เคียงกับค่าของดีโซฮอล 99.5% ส่วนค่า FTT CO_2 equivalent GHG emissions (g/km) และค่า FTT emissions (g/km) ตัวอื่นๆของดีโซฮอล 95% มีค่าต่ำกว่าค่าของดีโซฮอล 99.5% เมื่อพิจารณาแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของเอทานอลพบว่าการผลิตเอทานอล 95% ต้องใช้พลังงานส่วนใหญ่ในขั้นตอนการกลั่นและการผลิตกากน้ำตาล ส่วนการผลิตเอทานอล 99.5% นั้น ต้องใช้พลังงานส่วนใหญ่ในขั้นตอนการกำจัดน้ำ การกลั่น และการผลิตกากน้ำตาล ตามลำดับ โดยการใช้พลังงานในขั้นตอนการทำไร่อ้อยมีปริมาณเล็กน้อยและพลังงานในขั้นตอนการขนส่งอ้อยและขั้นตอนการขนส่งกากน้ำตาลมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับขั้นตอนอื่นๆ ซึ่งเป็นผลมาจากเงื่อนไขที่กำหนดให้มีการนำวัตถุดิบในท้องถิ่นมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงดีโซฮอลสำหรับท้องถิ่นนั้นๆเท่านั้น

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2546

4370245321 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: LCA / DIESOHOL / ENVIRONMENTAL IMPACTS / ETHANOL / MOLASSES

JACKRAPHOP NAKARIT : THESIS TITLE. (COMPARATIVE STUDY ON LIFE CYCLE ENERGY AND ENVIRONMENTAL IMPACTS OF DIESEL BLEND WITH 95% ETHANOL AND 99.5% ETHANOL IN THAILAND'S TRANSPORTATION SECTOR) THESIS ADVISOR : ASST.PROF.KANIT WATTANAVICHIEN, Ph.D., 301 pp. ISBN 974-17-4110-3.

This research aims to make an evaluation on life cycle energy and environmental impacts by comparing the use of diesel blends with 95% ethanol to the use of diesel blends with 99.5% ethanol. Ethanol production from molasses in Thailand is only considered. Fuel's life cycle is separated into 2 processes: one is the process of fuel production (FTT) mainly focusing production of sugarcane, production of sugar, production of ethanol and transportation of fuel and raw material following each regional zone and the other is fuel consumption (TTW) in automobile. The data in this research mostly are considered from the secondary source where all have been published by different agencies. Eventually, the researcher had examined those to the data from the field survey. The data analysis and evaluation pursued the guideline from GREET model and from other researches related LCA issue.

From the consequences, it is found that FTT energy efficiency of diesohol 95% is higher than one of diesohol 99.5%, FTW total energy use (kJ/km) of diesohol 95% is lower than one of diesohol 99.5%, whereas TTW efficiency of diesohol 95% is approximate to one of diesohol 99.5%. Additionally, FTT CO_2 equivalent GHGs emission (g/km) and other FTT emissions (g/km) of diesohol 95% is lower than ones of diesohol 99.5%. Considering each process all over the life cycle of ethanol, it is discovered that in the production of 95% ethanol, most of energy is consumed in distillation process and molasses production whereas in the production of 99.5% ethanol, most of energy is exhausted in dehydration, distillation process and molasses production. Moreover, the energy consumption in sugarcane farming, in the process of sugarcane and molasses transportation are very low as compared to another processes. This is the consequence from the development of local raw material use to produce the fuel for its area.

Department Mechanical engineering Student's signature.....

Field of study Mechanical engineering Advisor's signature.....

Academic year 2003

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่องนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผศ.ดร.คณิต วัฒนวิเชียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆอันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยมาตลอด จึงขอขอบพระคุณอาจารย์มา ณ ที่นี้ด้วย รวมทั้งคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.สถาพร สุปรีชากร ผศ.ฉัตรชัย หงษ์อุเทน ดร.พิพัฒน์ พิชเยนทรโยธิน ที่ได้กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการตรวจวิทยานิพนธ์ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์

ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณบุคคลสำคัญสูงสุดในชีวิต ซึ่งเป็นผู้อยู่เบื้องหลังความสำเร็จในการศึกษาครั้งนี้อย่างแท้จริง คุณพ่อและคุณแม่ สำหรับความรักและความห่วงใยที่เสมือนพลังชีวิตอันอบอุ่นเสมอมาสำหรับลูกแม้เวลาที่เหน็ดเหนื่อยและท้อแท้ รวมทั้งทุนทรัพย์ตลอดระยะเวลาในการศึกษาและการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนสมาชิกในครอบครัวอันเป็นที่รัก ขอกราบขอบพระคุณ คุณตา คุณยาย ทั้งคุณน้าทุกๆคน สำหรับกำลังใจ คำอวยพร และการสนับสนุนแก่หลานตลอดมา ขอขอบคุณ พี่จอม พี่แหลมสำหรับความช่วยเหลือและคำตักเตือน น้องวุฒิและน้องคมสำหรับกำลังใจและเป็นตัวอย่างที่ดีๆแก่พี่

ขอขอบคุณ คุณเฉลิมพล ไหลรุ่งเรืองและนักวิชาการเกษตรท่านอื่น เจ้าหน้าที่ส่วนราชการที่ให้ความสะดวกและผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องข้อมูลที่จำเป็น ข้อมูลสถิติต่างๆรวมทั้งข้อมูลสภาพทั่วไปเกี่ยวกับการเพาะปลูกอ้อย ขอขอบคุณ ดร.ณัฐพล อัษฎาธรที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตน้ำตาล ขอบคุณ คุณอะเคื้อ บุญญสิริ คุณนิธิพงศ์ มุตะพัฒน์ คุณประทีป ขุนพัฒน์ แห่งงานทดลองผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดาที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตเอทานอล ขอบคุณคุณบวร จากไทยออยล์ คุณมารุต สมุทรโคจร และคุณมีนา ศุภวิวรรธน์ จากปตท.สำหรับแนวคิดและข้อมูลเกี่ยวกับการขนส่งเอทานอล

ขอขอบคุณรุ่นพี่ คุณรัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์ สำหรับความช่วยเหลือในการหาข้อมูลและกำลังใจตลอดมา ขอบคุณเพื่อนๆทุกๆคน ชาวห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องยนต์สันดาปภายในทุกๆท่าน รวมถึงชาวชมรมศิลปป้องกันตัวและอาวุธไทย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความช่วยเหลือและกำลังใจ

ท้ายที่สุดนี้ ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณ พระอาจารย์ รัตน์ รตนญาโน แห่งวัดดอยเกิ้ง อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน ที่ให้ความเมตตากรุณา ให้โอกาสและกำลังใจแก่ผู้ศึกษาจนสามารถสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... **ง**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญภาพ ..... **บ**
สารบัญคำย่อและสัญลักษณ์ ..... ภ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 3
1.3 ขอบเขตการศึกษา 3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 4
1.5 ขั้นตอนและวิธีการศึกษา 4
1.6 คำจำกัดความ 5
1.7 แหล่งข้อมูล 5
1.8 ข้อตกลงร่วมกันในการศึกษา 6
1.9 ข้อจำกัดในการศึกษา 6

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม 8
2.1 Life Cycle Assessment 8
2.2 Delucchi 1991,1993 9
2.3 National Renewable Energy Laboratory et al. 1991,1992 11
2.4 Bently et al.1992 12
2.5 Brogan and Venkateswaran 1992 13
2.6 Ecotraffic, AB 1992 14
2.7 Wang and Santini 1993 15
2.8 Darrow 1994a, 1994b 16

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

2.9 Acurex 1996 18
2.10 Delucchi 1997 20
2.11 Argonne National Laboratory et al.1998 20
2.12 Sheehan et al. 1998 21
2.13 Summary 21
2.14 GREET Model 22
2.15 การใช้ปุ๋ยและเชื้อเพลิงในไร่อ้อย 23
2.16 การประเมินพลังงานในโรงงานน้ำตาล 24
2.17 การผลิตเอทานอล 25
2.18 ดีโซฮอล 25

บทที่ 3 สภาพการณ์การใช้พลังงานและศักยภาพในการผลิตเอทานอล จากอ้อยและน้ำตาลในประเทศไทย 26
3.1 สภาพการณ์การใช้พลังงานของประเทศไทย 26
3.2 การผลิตอ้อยและศักยภาพในการผลิต 28
3.2.1 การเพาะปลูก 30
3.2.1.1 การปลูกอ้อยโดยใช้แรงงานคน 30
3.2.1.2 การปลูกอ้อยโดยใช้เครื่องปลูก 30
3.2.2 การบำรุงดูแลรักษา 30
3.2.2.1 การใส่ปุ๋ย 30
3.2.2.2 การกำจัดศัตรูพืช 31
3.2.3 การเก็บเกี่ยว 32
3.2.4 ผลผลิตอ้อย 33
3.2.4.1 พันธุ์อ้อย 33
3.2.4.2 ปริมาณ 33
3.3 การผลิตน้ำตาล 36
3.3.1 ขั้นตอนการผลิต 39
3.3.1.1 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ 39
3.3.1.2 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลรีไฟน์ 39

หน้า

3.3.2 ผลผลิต 42
3.4 การผลิตเอทานอล 45
3.4.1 การจำแนกชนิดของเอทานอล 45
3.4.2 ขั้นตอนการผลิตเอทานอล 45
บทที่ 4 ระเบียบวิธีวิจัย 55
4.1 LCA 55
4.1.1 เป้าหมายและขอบเขต (Goal Definition and Scoping) 55
4.1.2 Life Cycle Inventory 58
4.1.3 Life Cycle Impact Assessment 83
4.1.4 Life Cycle Interpretation 83
บทที่ 5 การสำรวจข้อมูล 84
5.1 ขั้นตอนวัฏจักรเชื้อเพลิง 84
5.1.1 ขั้นตอนการเพาะปลูกอ้อย 84
5.1.2 ขั้นตอนการขนส่งอ้อย 85
5.1.3 ขั้นตอนการผลิตกากน้ำตาล 85
5.1.4 ขั้นตอนการขนส่งกากน้ำตาล 86
5.1.5 ขั้นตอนการผลิตเอทานอล 86
5.1.6 ขั้นตอนการขนส่งเอทานอล 87
5.1.7 ขั้นตอนการผสมเอทานอลกับดีเซล 87
5.1.8 ขั้นตอนการขนส่งดีโซฮอล 87
5.1.9 ขั้นตอนการเติมดีโซฮอล 88
5.1.10 ขั้นตอนการผลิตดีเซล 88
5.1.11 ขั้นตอนการผลิตปุ๋ย 89
5.1.12 ขั้นตอนการผลิตสารเคมี 89
5.1.13 ขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า 90
5.2 ขั้นตอนการใช้เชื้อเพลิงในรถยนต์ (Vehicle Operation) 91
5.2.1 รายละเอียดของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ 91

หน้า

5.2.2 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 91
5.2.3 ข้อมูลของรถกระบะ 93
บทที่ 6 ผลการคำนวณพลังงานและ emissions แต่ละขั้นตอน 94
6.1 พลังงานและ emissions ระหว่างขั้นตอนการทำไร่อ้อย 94
6.2 พลังงานและ emissions ระหว่างขั้นตอนการขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงานน้ำตาล 96
6.3 พลังงานและ emissions ระหว่างขั้นตอนการผลิตกากน้ำตาลในโรงงานน้ำตาล 98
6.4 พลังงานและ emissions ระหว่างขั้นตอนการขนส่งกากน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลไปยังโรงงานเอทานอล 103
6.5 พลังงานและ emissions ระหว่างขั้นตอนการผลิตเอทานอล 104
6.6 พลังงานและ emissions ระหว่างขั้นตอนการขนส่งเอทานอลไปคลังดีเซล 109
6.7 พลังงานและ emissions ระหว่างขั้นตอนการผลิตดีเซล 113
6.8 พลังงานและ emissions ระหว่างขั้นตอนการผสมดีโซฮอลที่คลังดีเซล 113
6.9 พลังงานและ emissions ระหว่างขั้นตอนการขนส่งดีโซฮอลไปยังสถานีบริการ 117
6.10 พลังงานและ emissions ระหว่างขั้นตอนการเติมดีโซฮอล 118
6.11 พลังงานที่ใช้และ emissions (Feedstock-to-Tank) ของดีโซฮอล 118
6.12 การใช้งานในรถยนต์ 121
บทที่ 7 วิเคราะห์ผล สรุปผลและข้อเสนอแนะ 134
7.1 วิเคราะห์ผล 134
7.2 สรุปผล 163
7.3 ข้อเสนอแนะ 165
รายการอ้างอิง 167
ภาคผนวก 171
ภาคผนวก ก Emission Factors 172
ภาคผนวก ข พลังงานและ emissions ของการผลิตเชื้อเพลิงปิโตรเลียม ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ 179
ภาคผนวก ค การคำนวณพลังงานและ emissions ของการผลิตไฟฟ้า 182
ภาคผนวก ง การคำนวณพลังงานและ emissions ของการผลิตปุ๋ยและสารเคมี 192
ภาคผนวก จ การคำนวณการใช้พลังงานในไร่อ้อย 208

หน้า

ภาคผนวก ฉ รายละเอียดการคำนวณหาระยะทางระหว่างโรงงานน้ำตาลกับไร่อ้อย.. 219
ภาคผนวก ช การคำนวณพลังงานและ emissions ขั้นตอนการขนส่งอ้อยจากไร่ สู่โรงงานน้ำตาล 242
ภาคผนวก ซ การคำนวณการใช้พลังงานในโรงงานน้ำตาล 247
ภาคผนวก ฌ การคำนวณพลังงานและ emissions ขั้นตอนการขนส่งกากน้ำตาล 256
ภาคผนวก ญ การคำนวณพลังงานและ emissions ขั้นตอนการผลิตเอทานอล..... 260
ภาคผนวก ฎ การคำนวณพลังงานและ emissions ขั้นตอนการขนส่งเอทานอล..... 273
ภาคผนวก ฏ การคำนวณพลังงานและ emissions ขั้นตอนการผสมเชื้อเพลิงดีโซฮอล..... 282
ภาคผนวก ฐ การคำนวณพลังงานและ emissions ขั้นตอนการเผาไหม้เชื้อเพลิงในรถยนต์..... 286
ภาคผนวก ฑ กระบวนการผลิตเอทานอล 99.5%..... 295
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 301

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า
3-1 แสดงการผลิตและการนำเข้าน้ำมันดิบ 26
3-2 แสดงการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแยกตามผลิตภัณฑ์ 27
3-3 แสดงการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแยกตามภาคการผลิต ปี 2541 27
3-4 แสดงการใช้น้ำมันในภาคการขนส่งแยกตามประเภทรถยนต์ ปี 2541 28
3-5 แสดงเนื้อที่และผลผลิตของอ้อยในปีต่างๆ 33
3-6 แสดงรายชื่อจังหวัดที่ตั้งโรงงานน้ำตาลและจำนวนโรงงานน้ำตาล 36
3-7 แสดงผลผลิตจากโรงงานน้ำตาลในปีการผลิต 2542/43 และ 2543/44 42
4-1 แสดงพารามิเตอร์ที่ศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ 57
4-2 แสดงค่า GWPs ของก๊าซเรือนกระจก 57
4-3 แสดงข้อมูลและแหล่งข้อมูลของขั้นตอนการเพาะปลูกอ้อย 63
4-4 แสดงข้อมูลและแหล่งข้อมูลของขั้นตอนการขนส่งอ้อย 63
4-5 แสดงข้อมูลและแหล่งข้อมูลของขั้นตอนการผลิตกากน้ำตาล 64
4-6 แสดงข้อมูลและแหล่งข้อมูลของขั้นตอนการขนส่งกากน้ำตาล 64
4-7 แสดงข้อมูลและแหล่งข้อมูลของขั้นตอนการผลิตเอทานอล 65
4-8 แสดงข้อมูลและแหล่งข้อมูลของขั้นตอนการขนส่งเอทานอล 65
4-9 แสดงข้อมูลและแหล่งข้อมูลของขั้นตอนการผสมเอทานอลกับดีเซล 65
4-10 แสดงข้อมูลและแหล่งข้อมูลของขั้นตอนการขนส่งดีโซฮอล 66
4-11 แสดงข้อมูลและแหล่งข้อมูลของขั้นตอนการเติมดีโซฮอล 66
4-12 แสดงข้อมูลและแหล่งข้อมูลของขั้นตอนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในรถ 66
4-13 แสดงข้อมูลและแหล่งข้อมูลของการผลิตน้ำมันดีเซล 66
4-14 แสดงข้อมูลและแหล่งข้อมูลของขั้นตอนการผลิตปุ๋ยและสารเคมี 67
4-15 แสดงข้อมูลและแหล่งข้อมูลของขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า 67
5-1 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในขั้นตอนการเพาะปลูกอ้อย 84
5-2 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในขั้นตอนการขนส่งอ้อย 85
5-3 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในขั้นตอนการผลิตกากน้ำตาล 85
5-4 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในขั้นตอนการขนส่งกากน้ำตาล 86
5-5 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในขั้นตอนการผลิตเอทานอล 86
5-6 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในขั้นตอนการขนส่งเอทานอล 87

ตาราง หน้า

5-7 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในขั้นตอนการผสมเอทานอลกับดีเซล 87
5-8 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในขั้นตอนการขนส่งดีโซฮอล 87
5-9 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในขั้นตอนการเติมดีโซฮอล 88
5-10 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในการผลิตดีเซล 88
5-11 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในการผลิตปุ๋ย 89
5-12 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในการผลิตสารเคมี 89
5-13 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในการผลิตไฟฟ้า 90
5-14 แสดงรายละเอียดเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ 91
5-15 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 92
5-16 แสดงสัดส่วนการผสมเชื้อเพลิงดีโซฮอล 92
6-1 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ของการผลิตปุ๋ย N, P_2O_5, K_2O และสารเคมี Atrazine 1 กรัม และ เชื้อเพลิงดีเซล และ เบนซิน 10^6 Btu 94
6-2 mass balance table (mass flow table), input/output อ้อย 9.042 ตัน (ผลผลิตอ้อยต่อ 1 ไร่) 95
6-3 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ในขั้นตอนการทำไร่อ้อยต่ออ้อย 1 ตัน 95
6-4 แสดงระยะทางเฉลี่ยของการขนส่งอ้อยในแต่ละภาค, ปริมาณบรรทุกอ้อยต่อเที่ยว, การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุกต่อเที่ยว 96
6-5 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ในขั้นตอนการขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงานน้ำตาล ต่ออ้อย 1 ตัน 97
6-6 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ในขั้นตอนการทำไร่อ้อย+ขั้นตอนการขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงานน้ำตาลต่ออ้อย 1 ตัน 98
6-7 แสดงปริมาณอ้อย ปริมาณกากน้ำตาล และปริมาณกากน้ำตาล กากอ้อยและน้ำตาลต่ออ้อย 1 ตันของ 6 โรงงานในปีการผลิต 2540/41 99
6-8 แสดง % allocation ของ 6 โรงงาน 99
6-9 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นจากการผลิตกากน้ำตาล 1 กิโลกรัม (+) ในขั้นตอนการผลิตในโรงงานน้ำตาล 100
6-10 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นจากการผลิตกากน้ำตาล 1 กิโลกรัม (-) ในขั้นตอนการผลิตในโรงงานน้ำตาล 100

ตาราง หน้า

6-11 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นจากการผลิตกากน้ำตาล 1 กิโลกรัม (+) โดยคิดจากขั้นตอนการทำไร่อ้อย+ขั้นตอนการขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงานน้ำตาล..... 101
6-12 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นจากการผลิตกากน้ำตาล 1 กิโลกรัม (-) โดยคิดจากขั้นตอนการทำไร่อ้อย+ขั้นตอนการขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงานน้ำตาล..... 101
6-13 แสดงปริมาณรวมของพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นต่อกากน้ำตาล 1 กิโลกรัม ที่ออกจากโรงงานน้ำตาล (+) 102
6-14 แสดงปริมาณรวมของพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นต่อกากน้ำตาล 1 กิโลกรัม ที่ออกจากโรงงานน้ำตาล (-) 103
6-15 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นจากการขนส่งกากน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาล ไปยังโรงงานเอทานอล..... 104
6-16 แสดงสัดส่วนการใช้กากน้ำตาลในการผลิตเอทานอล 95% 1 ลิตร..... 105
6-17 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นจากการผลิตเอทานอล 95% 1 ลิตร จากกากน้ำตาล 105
6-18 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นจากการผลิตเอทานอล 99.5% 1 ลิตร จากเอทานอล 95%..... 106
6-19 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions (LCA) ของเอทานอล 95% 1 ลิตร (+)..... 107
6-20 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions (LCA) ของเอทานอล 95% 1 ลิตร (-)..... 107
6-21 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions (LCA) ของเอทานอล 99.5% 1 ลิตร (+)..... 108
6-22 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions (LCA) ของเอทานอล 99.5% 1 ลิตร (-)..... 108
6-23 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ของการขนส่งเอทานอล 1 ลิตรไปคลังดีเซล แยกตามภาค..... 109
6-24 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ของการขนส่งเอทานอล 1 ลิตรไปคลังดีเซล แยกตามโรงงาน..... 110
6-25 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้น ของการผลิตเอทานอล 95% ในกรณี (+) ตั้งแต่ขั้นตอนการทำไร่อ้อยจนถึงขั้นตอนการขนส่งเอทานอลมายังคลังดีเซล..... 111
6-26 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้น ของการผลิตเอทานอล 95% ในกรณี (-) ตั้งแต่ขั้นตอนการทำไร่อ้อยจนถึงขั้นตอนการขนส่งเอทานอลมายังคลังดีเซล..... 111
6-27 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้น ของการผลิตเอทานอล 99.5% ในกรณี (+) ตั้งแต่ขั้นตอนการทำไร่อ้อยจนถึงขั้นตอนการขนส่งเอทานอลมายังคลังดีเซล..... 112

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

6-28 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้น ของการผลิตเอทานอล 99.5% ในกรณี (-) ตั้งแต่ขั้นตอนการทำไร่อ้อยจนถึงขั้นตอนการขนส่งเอทานอลมายังคลังดีเซล 112
6-29 พลังงานที่ใช้และ emissions ของการผลิตเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไป 1 ลิตร 113
6-30 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ของการผสมดีโซฮอล 1 ลิตร 114
6-31 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้น ของการผลิตดีโซฮอล 95% ในกรณี (+) ตั้งแต่ขั้นตอนการทำไร่อ้อยจนถึงขั้นตอนการผสมดีโซฮอลที่คลังดีเซล 115
6-32 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้น ของการผลิตดีโซฮอล 95% ในกรณี (-) ตั้งแต่ขั้นตอนการทำไร่อ้อยจนถึงขั้นตอนการผสมดีโซฮอลที่คลังดีเซล 115
6-33 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้น ของการผลิตดีโซฮอล 99.5% ในกรณี (+) ตั้งแต่ขั้นตอนการทำไร่อ้อยจนถึงขั้นตอนการผสมดีโซฮอลที่คลังดีเซล 116
6-34 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้น ของการผลิตดีโซฮอล 99.5% ในกรณี (-) ตั้งแต่ขั้นตอนการทำไร่อ้อยจนถึงขั้นตอนการผสมดีโซฮอลที่คลังดีเซล 116
6-35 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ของการขนส่งดีโซฮอล 1 ลิตรไปยังสถานีบริการ แยกตามภาค 117
6-36 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ของการขนส่งดีโซฮอล 1 ลิตรไปยังสถานีบริการ 118
6-37 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions (FTT) ของดีโซฮอล 95% 1 ลิตร (+) 119
6-38 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions (FTT) ของดีโซฮอล 95% 1 ลิตร (-) 119
6-39 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions (FTT) ของดีโซฮอล 99.5% 1 ลิตร (+) 120
6-40 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions (FTT) ของดีโซฮอล 99.5% 1 ลิตร (-) 120
6-41 แสดง energy content (LHV) ของเชื้อเพลิงดีโซฮอล 95%, ดีโซฮอล 99.5% และ ดีเซล 121
6-42 แสดงพลังงานการผลิต และผลบวกของพลังงานการผลิตกับ energy content (LHV) ของเชื้อเพลิงดีโซฮอล 95% 121
6-43 แสดงพลังงานการผลิต และผลบวกของพลังงานการผลิตกับ energy content (LHV) ของเชื้อเพลิงดีโซฮอล 99.5% 121
6-44 แสดงพลังงานการผลิต และผลบวกของพลังงานการผลิตกับ energy content (LHV) ของเชื้อเพลิงดีเซล 122
6-45 แสดง FTT Energy Efficiency ของดีโซฮอล 95% (%) 122
6-46 แสดง FTT Energy Efficiency ของดีโซฮอล 99.5% (%) 122
6-47 แสดง FTW Total Energy Use ในรูป kJ/km ของดีโซฮอล 95% (เกียร์ 5, 80 km/h) 122

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

6-48 แสดง FTW Total Energy Use ในรูป kJ/km ของดีโซฮอล 99.5% (เกียร์ 5, 80 km/h)... 123
6-49 แสดง FTW Total Energy Use ในรูป kJ/km ของดีโซฮอล 95% (เกียร์ 5, 100 km/h).... 123
6-50 แสดง FTW Total Energy Use ในรูป kJ/km ของดีโซฮอล 99.5% (เกียร์ 5, 100 km/h). 123
6-51 แสดง FTW Total Energy Use ในรูป kJ/km ของดีโซฮอล 95% (เกียร์ 4, 80 km/h)..... 123
6-52 แสดง FTW Total Energy Use ในรูป kJ/km ของดีโซฮอล 99.5% (เกียร์ 4, 80 km/h)... 123
6-53 แสดง FTW Total Energy Use ในรูป kJ/km ของดีโซฮอล 95% (เกียร์ 4, 90 km/h)..... 124
6-54 แสดง FTW Total Energy Use ในรูป kJ/km ของดีโซฮอล 99.5% (เกียร์ 4, 90 km/h)... 124
6-55 แสดง Net CO_2 LCA emissions ของเอทานอล 95% 1 ลิตร 124
6-56 แสดง Net CO_2 LCA emissions ของเอทานอล 99.5% 1 ลิตร 125
6-57 แสดง Net CO_2 FTT emissions ของดีโซฮอล 95% 1 ลิตร 125
6-58 แสดง Net CO_2 FTT emissions ของดีโซฮอล 99.5% 1 ลิตร 125
6-59 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 95% (+) (เกียร์ 5, 80 km/h) 126
6-60 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 95% (-) (เกียร์ 5, 80 km/h) 126
6-61 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 99.5% (+) (เกียร์ 5, 80 km/h) . 127
6-62 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 99.5% (-) (เกียร์ 5, 80 km/h)... 127
6-63 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 95% (+) (เกียร์ 5, 100 km/h) .. 127
6-64 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 95% (-) (เกียร์ 5, 100 km/h).... 128
6-65 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 99.5% (+) (เกียร์ 5, 100 km/h) 128
6-66 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 99.5% (-) (เกียร์ 5, 100 km/h). 128
6-67 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 95% (+) (เกียร์ 4, 80 km/h) 129
6-68 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 95% (-) (เกียร์ 4, 80 km/h) 129
6-69 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 99.5% (+) (เกียร์ 4, 80 km/h) . 129
6-70 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 99.5% (-) (เกียร์ 4, 80 km/h)... 130
6-71 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 95% (+) (เกียร์ 4, 90 km/h) 130
6-72 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 95% (-) (เกียร์ 4, 90 km/h) 130
6-73 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 99.5% (+) (เกียร์ 4, 90 km/h) . 131
6-74 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 99.5% (-) (เกียร์ 4, 90 km/h)... 131
6-75 แสดง CO_2 equivalent GHG emissions จากการใช้ดีโซฮอล 95% (เกียร์ 5, 80 km/h) . 132
6-76 แสดง CO_2 equivalent GHG emissions จากการใช้ดีโซฮอล 99.5% (เกียร์ 5, 80 km/h)132

ตาราง หน้า

6-77 แสดง CO_2 equivalent GHG emissions จากการใช้ดีโซฮอล 95% (เกียร์ 5, 100 km/h) 132
6-78 แสดง CO_2 equivalent GHG emissions จากการใช้ดีโซฮอล 99.5% (เกียร์ 5, 100 km/h) 132
6-79 แสดง CO_2 equivalent GHG emissions จากการใช้ดีโซฮอล 95% (เกียร์ 4, 80 km/h) . 132
6-80 แสดง CO_2 equivalent GHG emissions จากการใช้ดีโซฮอล 99.5% (เกียร์ 4, 80 km/h) 133
6-81 แสดง CO_2 equivalent GHG emissions จากการใช้ดีโซฮอล 95% (เกียร์ 4, 90 km/h) . 133
6-82 แสดง CO_2 equivalent GHG emissions จากการใช้ดีโซฮอล 99.5% (เกียร์ 4, 90 km/h) 133
6-83 แสดง TTW efficiency ของดีเซล ดีโซฮอล 99.5% และ ดีโซฮอล 95% ที่ 4 จุดทำงาน ... 133
ก-1 แสดง emission factors ของการเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติ 174
ก-2 แสดง emission factors ของการเผาไหม้น้ำมันดีเซล 175
ก-3 แสดง emission factors ของการเผาไหม้แกโซลีน 175
ก-4 แสดง emission factors ของการเผาไหม้ถ่านหิน 176
ก-5 แสดง emission factors ของการเผาไหม้น้ำมันดิบ และ ไม้ 176
ก-6 แสดง emission factors ของการเผาไหม้น้ำมันเตา 177
ก-7 แสดงค่า Carbon and Sulfur Ratios 177
ก-8 แสดงค่า Global Warming Potentials of GHGs 177
ก-9 แสดงค่า Specifications of Fuels 178
ข-1 แสดงพลังงานและ emissions ของการผลิตเชื้อเพลิงปิโตรเลียม 180
ข-2 แสดงพลังงานและ emissions ของการผลิตถ่านหิน 180
ข-3 แสดงพลังงานและ emissions ของการผลิตก๊าซธรรมชาติ 181
ค-1 แสดงการผลิตและซื้อพลังงานไฟฟ้า 183
ค-2 แสดงกำลังผลิตในระบบ 183
ค-3 แสดงค่าพลังงานและ emissions ของการผลิตเชื้อเพลิงต่างๆ 1 Btu 187
ค-4 แสดงค่าพลังงานและ emissions ของการผลิตเชื้อเพลิงต่างๆที่ใช้ผลิตไฟฟ้า 1 kW-h 187
ค-5 แสดงพลังงานและ emissions จากการผลิตไฟฟ้า (ที่โรงไฟฟ้า) 191
ค-6 แสดงพลังงานและ emissions จากการผลิตไฟฟ้า (ผ่านระบบสายส่ง) 191

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

ง-1 แสดงพลังงานและสัดส่วนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตปุ๋ย 193
ง-2 แสดงพลังงานและสัดส่วนเชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตสารเคมี 194
ง-3 แสดงพลังงานและสัดส่วนเชื้อเพลิงในการผลิตปุ๋ยที่เลือกใช้ในการคำนวณ 195
ง-4 แสดงพลังงานและสัดส่วนเชื้อเพลิงในการผลิตสารเคมีที่เลือกใช้ในการคำนวณ 199
จ-1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้คำนวณการใช้พลังงานในไร่อ้อย 209
จ-2 แสดง emission factors ของน้ำมันดีเซล 209
จ-3 แสดง emission factors ของแกโซลีน 210
จ-4 แสดงพลังงานและ emissions ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตน้ำมันดีเซลและแกโซลีน 210
จ-5 แสดงพลังงานและ emissions ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตปุ๋ย N, P_2O_5, K_2O 211
จ-6 แสดงพลังงานและ emissions ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสารเคมี Atrazine 211
จ-7 แสดงพลังงานและ emissions ที่เกิดขึ้นจากการผลิตอ้อย 217
จ-8 แสดง Output from cane growing 217
ฉ-1 แสดงเนื้อที่อำเภอที่ตั้งโรงงานน้ำตาล 220
ฉ-2 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอครบุรี 221
ฉ-3 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอหนองหาน 222
ฉ-4 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอเมืองนครสวรรค์ 223
ฉ-5 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอบ้านบึง 224
ฉ-6 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอเมืองอุตรดิตถ์ 224
ฉ-7 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอสันกำแพง 225
ฉ-8 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอวัฒนานคร 225
ฉ-9 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอท่าหลวง 226
ฉ-10 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอภูเขียว 226
ฉ-11 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอบางระจัน 227
ฉ-12 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอตาคลี 227
ฉ-13 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอวังม่วง 228
ฉ-14 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอศรีเทพ 228
ฉ-15 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอบ้านไร่ 229
ฉ-16 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอคูเมือง 229
ฉ-17 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอสามชัย 230

ตาราง หน้า

ฉ-18 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอพนัสนิคม 230
ฉ-19 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอบ้านค่าย 231
ฉ-20 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอกุมภวาปี 231
ฉ-21 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอเมืองมุกดาหาร 232
ฉ-22 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอน้ำพอง 233
ฉ-23 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอท่ามะกา 233
ฉ-24 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอท่าม่วง 234
ฉ-25 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอจู่ทอง 234
ฉ-26 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอด่านช้าง 234
ฉ-27 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอปราณบุรี 235
ฉ-28 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอแก้งสนามนาง 235
ฉ-29 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอกุฉินารายณ์ 236
ฉ-30 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอพิมาย 236
ฉ-31 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอเกาะคา 237
ฉ-32 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอบางกระทุ่ม 237
ฉ-33 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอบ้านโป่ง 238
ฉ-34 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอหนองเรือ 239
ฉ-35 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอสามชุก 239
ฉ-36 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอเมืองกำแพงเพชร 240
ฉ-37 แสดงระยะทางเฉลี่ยของกลุ่มโรงงานในแต่ละภาค 241
ช-1 แสดงพลังงานและ emissions ขั้นตอนการขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงานน้ำตาล 245
ช-2 แสดงระยะทางระหว่างไร่อ้อยกับโรงงานน้ำตาลโดยเฉลี่ยของแต่ละภาค 245
ช-3 แสดงพลังงานและ emissions ของการขนส่งอ้อยแยกตามภาค 246
ซ-1 แสดงคุณสมบัติของกากอ้อยของ 6 โรงงาน 248
ซ-2 แสดงประมาณการใช้กากอ้อยรายปีของ 6 โรงงานในปี 2540/41 248
ซ-3 แสดงปริมาณของกากน้ำตาลและน้ำตาลของ 6 โรงงานในปี 2540/2541 249
ซ-4 แสดงราคากากน้ำตาลในปี พ.ศ. 2543-2547 (บาทต่อตันกากน้ำตาล) 249
ซ-5 แสดงราคาน้ำตาลในปี พ.ศ. 2537-2544 (บาทต่อตันน้ำตาล) 249
ซ-6 แสดง % allocation ของ 6 โรงงาน 250

ตาราง หน้า

ซ-7 แสดงพลังงานจากกากอ้อยที่ใช้ในโรงงานน้ำตาล 6 โรงและที่จัดสรรให้กากน้ำตาล 250
ซ-8 แสดงพลังงานและ emissions รวมการผลิตและขนส่งอ้อยของ 6 โรงงาน (ต่อตันอ้อย) .. 251
ซ-9 แสดงพลังงานและ emissions ของการผลิตและขนส่งอ้อยของ 6 โรงงานที่จัดสรรให้กากน้ำตาล 1 กิโลกรัม (+)..... 251
ซ-10 แสดงพลังงานและ emissions ของการผลิตและขนส่งอ้อยของ 6 โรงงานที่จัดสรรให้กากน้ำตาล 1 กิโลกรัม (-)..... 252
ซ-11 แสดงพลังงานจากกากอ้อยจัดสรรให้กากน้ำตาล (Btu)..... 252
ซ-12 แสดงพลังงานและ emissions จากกากอ้อยจัดสรรให้กากน้ำตาล 1 kg (+)..... 253
ซ-13 แสดงพลังงานและ emissions จากกากอ้อยจัดสรรให้กากน้ำตาล 1 kg (-)..... 253
ซ-14 แสดงพลังงานและ emissions รวมที่จัดสรรให้กากน้ำตาล 1 kg (+) ออกจากโรงงานน้ำตาล 254
ซ-15 แสดงพลังงานและ emissions รวมที่จัดสรรให้กากน้ำตาล 1 kg (-) ออกจากโรงงานน้ำตาล 254
ซ-16 แสดง emission factors ของการเผาไหม้ไม้ใน FBC boiler..... 255
ฌ-1 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ของการขนส่งกากน้ำตาล 1 ลิตร..... 259
ฌ-2 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ของการขนส่งกากน้ำตาล 1 กิโลกรัม 259
ญ-1 แสดง Inputs to fermentation process ของการผลิตเอทานอล 95%..... 261
ญ-2 แสดงพลังงานและสัดส่วนเชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตเอทานอล 261
ญ-3 แสดง emission factors ของการเผาไหม้ไม้ใน FBC boiler..... 262
ญ-4 พลังงานและ emissions ที่ใช้ผลิตเอทานอล 99.5% 1 ลิตรจากเอทานอล 95% 1.478 ลิตร..... 264
ญ-5 พลังงานและ emissions ของการผลิตเอทานอล 99.5% 1 ลิตร จากกากน้ำตาล 5.029 กิโลกรัม 265
ญ-6 แสดงข้อมูลต่างๆ ของการคำนวณพลังงานผลิตเอทานอล 99.5%..... 267
ญ-7 แสดงข้อมูลต่างๆ ของการคำนวณพลังงานผลิตเอทานอล 99.5%..... 267
ญ-8 แสดงข้อมูลต่างๆ ของการคำนวณพลังงานผลิตเอทานอล 99.5%..... 267
ญ-9 แสดงข้อมูลต่างๆ ของการคำนวณพลังงานผลิตเอทานอล 99.5%..... 268
ญ-10 พลังงานและ emissions จากกากอ้อยของ 6 โรงงาน..... 268
ญ-11 พลังงานที่ใช้และ emissions ของการผลิตถ่านหิน..... 269

ตาราง หน้า

ญ-12 emission factors ของการเผาไหม้ถ่านหินใน Industrial Boiler 269
ญ-13 พลังงานที่ใช้และ emissions จากการผลิตถ่านหินของโรงงาน ก ข ง จ และ ฉ 270
ญ-14 emissions จากการเผาไหม้ถ่านหินของโรงงาน ก ข ง จ และ ฉ 270
ญ-15 สรุปพลังงานที่ใช้และ emissions จากถ่านหินของโรงงาน ก ข ง จ และ ฉ 271
ญ-16 พลังงานที่ใช้และ emissions ของการผลิตไฟฟ้า 271
ญ-17 พลังงานและ emissions จากการใช้ไฟฟ้าในการผลิตเอทานอล 99.5% 1 ลิตร 272
ญ-18 สรุปพลังงานที่ใช้และ emissions ของการผลิตเอทานอล 99.5% 1 ลิตร
จากเอทานอล 95% ของ 6 โรงงาน 272
ฎ-1 แสดงระยะทางที่ต้องขนส่งเอทานอลจากโรงงานน้ำตาลไปยังคลังน้ำมัน 274
ฎ-2 แสดงจังหวัดที่ตั้งโรงงานน้ำตาลแยกตามภาค 276
ฎ-3 แสดงระยะทางเฉลี่ยที่ต้องขนส่งเอทานอลจากโรงงานน้ำตาลไปยังคลังน้ำมัน 276
ฎ-4 แสดงพลังงานและ emissions จากการผลิตดีเซลแยกตามภาค 278
ฎ-5 แสดงพลังงานและ emissions จากการเผาไหม้ดีเซลแยกตามภาค 278
ฎ-6 แสดงพลังงานและ emissions ขั้นตอนการขนส่งเอทานอลแยกตามภาค (1 เที่ยว) 279
ฎ-7 แสดงพลังงานและ emissions ขั้นตอนการขนส่งเอทานอลแยกตามภาค (ไป-กลับ) 279
ฎ-8 ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผู้ค้าน้ำมันจำหน่ายให้ลูกค้า จำแนกตามชนิดน้ำมันเชื้อเพลิง
ภาคและจังหวัด พ.ศ.2545 280
ฎ-9 แสดงปริมาณ 15% และ 10% ของปริมาณการใช้เชื้อเพลิงดีเซลหมุนเร็วที่จำหน่ายในปี
พ.ศ.2545 280
ฎ-10 แสดงศักยภาพในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลของแต่ละภาคโดยใช้ข้อมูลใน
ปีการผลิต 2542/43 ซึ่งมีค่ามากกว่าในปีการผลิต 2543/44 281
ฏ-1 แสดงพลังงานและ emissions ของการผลิตไฟฟ้า 1 GJ 285
ฏ-2 แสดงพลังงานและ emissions ของการผลิตไฟฟ้าที่ใช้ผสมดีโซฮอล 1 ลิตร 285
ฐ-1 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ 287
ฐ-2 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 287
ฐ-3 สัดส่วนการผสมเชื้อเพลิงดีโซฮอล 288
ฐ-4 จุดที่เลือกใช้ในการเปรียบเทียบ 289
ฐ-5 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions (FTT) ของดีโซฮอล 95% (+) โรงงาน ก 290
ฐ-6 แสดง FTT Energy Efficiency ของดีโซฮอล 95% (%) 290

ตาราง หน้า

ฐ-7 แสดง FTT Energy Efficiency ของดีโซฮอล 99.5% (%) 290
ฐ-8 แสดง FTW Total Energy Use ในรูป kJ/km ของดีโซฮอล 95% (เกียร์ 5, 80 km/h) 291
ฐ-9 แสดง FTW Total Energy Use ในรูป kJ/km ของดีโซฮอล 99.5% (เกียร์ 5, 80 km/h) 291
ฐ-10 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 95% (+) (เกียร์ 5, 80 km/h) 292
ฐ-11 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 95% (-) (เกียร์ 5, 80 km/h) 292
ฐ-12 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 99.5% (+) (เกียร์ 5, 80 km/h) . 293
ฐ-13 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 99.5% (-) (เกียร์ 5, 80 km/h) .. 293
ฐ-14 แสดง CO_2 equivalent GHG emissions จากการใช้ดีโซฮอล 95%
หน่วย: g CO_2 equivalent/km (เกียร์ 5, 80 km/h) 293
ฐ-15 แสดง CO_2 equivalent GHG emissions จากการใช้ดีโซฮอล 99.5%
หน่วย: g CO_2 equivalent/km (เกียร์ 5, 80 km/h) 294

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

3-1 แสดงจังหวัดที่ปลูกอ้อยเพื่ออุตสาหกรรมน้ำตาลในปี 2543/44 29

3-2 แสดงสัดส่วนผลผลิตอ้อย(ตัน) จาก 4 ภาคในปีการเพาะปลูก 2543/44 34

3-3 แผนภาพแสดงรายละเอียดของการผลิตอ้อยในไร่ 35

3-4 แผนภาพแสดงรายละเอียดของการขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงานน้ำตาล 38

3-5 กระบวนการในการผลิตน้ำตาลทราย 41

3-6 แผนภาพแสดงรายละเอียดการผลิตน้ำตาลในโรงงานน้ำตาล 44

3-7 แสดงแผนภาพการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล 47

3-8 แผนภาพแสดงรายละเอียดการผลิตเอทานอล 49

3-9 แผนภาพแสดงรายละเอียดการขนส่งเอทานอลจากโรงงานสู่คลังดีโซฮอล 50

3-10 แผนภาพแสดงรายละเอียดการผสมเอทานอลกับดีเซล 51

3-11 แผนภาพแสดงรายละเอียดการขนส่งดีโซฮอลจากคลังสู่ปั๊มน้ำมัน 52

3-12 แผนภาพแสดงรายละเอียดการเติมเชื้อเพลิง 53

3-13 แผนภาพแสดงรายละเอียดการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ 53

3-14 แผนภาพแสดงวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล 54

4-1 แสดง LCA สำหรับรถยนต์ซึ่งประกอบด้วย Fuel Cycle และ Vehicle Cycle 56

4-2 แสดง elementary flows for a unit process 58

4-3 แสดงขั้นตอนการเพาะปลูกอ้อย 58

4-4 แสดงขั้นตอนการขนส่งอ้อย 59

4-5 แสดงขั้นตอนการผลิตกากน้ำตาล 59

4-6 แสดงขั้นตอนการขนส่งกากน้ำตาล 60

4-7 แสดงขั้นตอนการผลิตเอทานอล 60

4-8 แสดงขั้นตอนการขนส่งเอทานอล 61

4-9 แสดงขั้นตอนการผสมเอทานอลกับดีเซล 61

4-10 แสดงขั้นตอนการขนส่งดีโซฮอล 61

4-11 แสดงขั้นตอนการเติมดีโซฮอล 62

4-12 แสดงขั้นตอนการเผาไหม้ในรถยนต์ 62

4-13 แสดงตรรกะการคำนวณพลังงานที่ใช้และ emissions จากเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่ง 67

4-14 แสดงแบบจำลองของการขนส่งวัตถุดิบและเชื้อเพลิง 69

ภาพประกอบ หน้า

6-1 แสดงแผนภาพการไหลโดยย่อของมวลและพลังงานในการทำไร่อ้อยที่พิจารณา 94
6-2 แสดงแผนภาพการไหลโดยย่อของมวลและพลังงานในการขนส่งอ้อยที่พิจารณา 96
6-3 แสดงแผนภาพการไหลโดยย่อของมวลและพลังงานในการผลิตน้ำตาลที่พิจารณา..... 98
6-4 แสดงแผนภาพการไหลโดยย่อของมวลและพลังงานในการขนส่งกากน้ำตาลที่พิจารณา .. 103
6-5 แสดงแผนภาพการไหลโดยย่อของมวลและพลังงานในการผลิตเอทานอล 95%
ที่พิจารณา 104
6-6 แสดงแผนภาพการไหลโดยย่อของมวลและพลังงานในการผลิตเอทานอล 99.5%
ที่พิจารณา 106
6-7 แสดงแผนภาพการไหลโดยย่อของมวลและพลังงานในการขนส่งเอทานอล
ที่พิจารณา 109
6-8 แสดงแผนภาพการไหลโดยย่อของมวลและพลังงานในการผสมดีโซฮอลที่พิจารณา 113
6-9 แสดงแผนภาพการไหลโดยย่อของมวลและพลังงานในการขนส่งดีโซฮอลที่พิจารณา..... 117
7-1 ก เปรียบเทียบ LCA total energy of ethanol ในกรณี (+)..... 135
7-1 ข เปรียบเทียบ LCA total energy of ethanol ในกรณี (-)..... 135
7-2 ก เปรียบเทียบ FTT total energy of diesohol ในกรณี (+)..... 135
7-2 ข เปรียบเทียบ FTT total energy of diesohol ในกรณี (-) 135
7-3 ก เปรียบเทียบ FTT energy efficiency of diesohol ในกรณี (+) 136
7-3 ข เปรียบเทียบ FTT energy efficiency of diesohol ในกรณี (-) 136
7-4 ก เปรียบเทียบ FTW total energy use kJ/km เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+).. 137
7-4 ข เปรียบเทียบ FTW total energy use kJ/km เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-).... 137
7-5 ก เปรียบเทียบ FTW total energy use kJ/km เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+). 137
7-5 ข เปรียบเทียบ FTW total energy use kJ/km เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-).. 137
7-6 ก เปรียบเทียบ FTW total energy use kJ/km เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)... 138
7-6 ข เปรียบเทียบ FTW total energy use kJ/km เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-).... 138
7-7 ก เปรียบเทียบ FTW total energy use kJ/km เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)... 138
7-7 ข เปรียบเทียบ FTW total energy use kJ/km เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-).... 138
7-8 ก เปรียบเทียบ FTT VOC emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 139
7-8 ข เปรียบเทียบ FTT VOC emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 139
7-9 ก เปรียบเทียบ FTT VOC emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 139

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

7-9 ข เปรียบเทียบ FTT VOC emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 139
7-10 ก เปรียบเทียบ FTT VOC emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 140
7-10 ข เปรียบเทียบ FTT VOC emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 140
7-11 ก เปรียบเทียบ FTT VOC emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 140
7-11 ข เปรียบเทียบ FTT VOC emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 140
7-12 ก เปรียบเทียบ FTT CO emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 141
7-12 ข เปรียบเทียบ FTT CO emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 141
7-13 ก เปรียบเทียบ FTT CO emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 141
7-13 ข เปรียบเทียบ FTT CO emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 141
7-14 ก เปรียบเทียบ FTT CO emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 142
7-14 ข เปรียบเทียบ FTT CO emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 142
7-15 ก เปรียบเทียบ FTT CO emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 142
7-15 ข เปรียบเทียบ FTT CO emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 142
7-16 ก เปรียบเทียบ FTT NO_x emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 143
7-16 ข เปรียบเทียบ FTT NO_x emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 143
7-17 ก เปรียบเทียบ FTT NO_x emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 143
7-17 ข เปรียบเทียบ FTT NO_x emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 143
7-18 ก เปรียบเทียบ FTT NO_x emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 144
7-18 ข เปรียบเทียบ FTT NO_x emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 144
7-19 ก เปรียบเทียบ FTT NO_x emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 144
7-19 ข เปรียบเทียบ FTT NO_x emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 144
7-20 ก เปรียบเทียบ FTT PM_{10} emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 145
7-20 ข เปรียบเทียบ FTT PM_{10} emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 145
7-21 ก เปรียบเทียบ FTT PM_{10} emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 145
7-21 ข เปรียบเทียบ FTT PM_{10} emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 145
7-22 ก เปรียบเทียบ FTT PM_{10} emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 146
7-22 ข เปรียบเทียบ FTT PM_{10} emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 146
7-23 ก เปรียบเทียบ FTT PM_{10} emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 146
7-23 ข เปรียบเทียบ FTT PM_{10} emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 146

ภาพประกอบ หน้า

7-24 ก เปรียบเทียบ FTT SO_x emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)..... 147
7-24 ข เปรียบเทียบ FTT SO_x emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-) 147
7-25 ก เปรียบเทียบ FTT SO_x emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)..... 147
7-25 ข เปรียบเทียบ FTT SO_x emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-) 147
7-26 ก เปรียบเทียบ FTT SO_x emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)..... 148
7-26 ข เปรียบเทียบ FTT SO_x emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-) 148
7-27 ก เปรียบเทียบ FTT SO_x emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)..... 148
7-27 ข เปรียบเทียบ FTT SO_x emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-) 148
7-28 ก เปรียบเทียบ FTT CH_4 emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 149
7-28 ข เปรียบเทียบ FTT CH_4 emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 149
7-29 ก เปรียบเทียบ FTT CH_4 emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 149
7-29 ข เปรียบเทียบ FTT CH_4 emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 149
7-30 ก เปรียบเทียบ FTT CH_4 emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 150
7-30 ข เปรียบเทียบ FTT CH_4 emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 150
7-31 ก เปรียบเทียบ FTT CH_4 emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 150
7-31 ข เปรียบเทียบ FTT CH_4 emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 150
7-32 ก เปรียบเทียบ FTT N_2O emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 151
7-32 ข เปรียบเทียบ FTT N_2O emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 151
7-33 ก เปรียบเทียบ FTT N_2O emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 151
7-33 ข เปรียบเทียบ FTT N_2O emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 151
7-34 ก เปรียบเทียบ FTT N_2O emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 152
7-34 ข เปรียบเทียบ FTT N_2O emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 152
7-35 ก เปรียบเทียบ FTT N_2O emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 152
7-35 ข เปรียบเทียบ FTT N_2O emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 152
7-36 ก เปรียบเทียบ FTT CO_2 emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 153
7-36 ข เปรียบเทียบ FTT CO_2 emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 153
7-37 ก เปรียบเทียบ FTT CO_2 emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 153
7-37 ข เปรียบเทียบ FTT CO_2 emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 153
7-38 ก เปรียบเทียบ FTT CO_2 emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 154

ภาพประกอบ หน้า

7-38 ข เปรียบเทียบ FTT CO_2 emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 154
7-39 ก เปรียบเทียบ FTT CO_2 emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) 154
7-39 ข เปรียบเทียบ FTT CO_2 emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)..... 154
7-40 ก เปรียบเทียบ CO_2 equivalent GHG emissions เกียร์ 5 80 km/h ในกรณี (+) 155
7-40 ข เปรียบเทียบ CO_2 equivalent GHG emissions เกียร์ 5 80 km/h ในกรณี (-)..... 155
7-41 ก เปรียบเทียบ CO_2 equivalent GHG emissions เกียร์ 5 100 km/h ในกรณี (+) 155
7-41 ข เปรียบเทียบ CO_2 equivalent GHG emissions เกียร์ 5 100 km/h ในกรณี (-)..... 155
7-42 ก เปรียบเทียบ CO_2 equivalent GHG emissions เกียร์ 4 80 km/h ในกรณี (+) 156
7-42 ข เปรียบเทียบ CO_2 equivalent GHG emissions เกียร์ 4 80 km/h ในกรณี (-)..... 156
7-43 ก เปรียบเทียบ CO_2 equivalent GHG emissions เกียร์ 4 90 km/h ในกรณี (+) 156
7-43 ข เปรียบเทียบ CO_2 equivalent GHG emissions เกียร์ 4 90 km/h ในกรณี (-)..... 156
7-44 แสดง Tank-to-Wheel efficiency 157
7-45 ก เปรียบเทียบ total energy ของขั้นตอนการทำไร่อ้อย (+)
ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร 157
7-45 ข เปรียบเทียบ total energy ของขั้นตอนการทำไร่อ้อย (-)
ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร 157
7-46 ก เปรียบเทียบ total energy ของขั้นตอนการขนส่งอ้อย (+)
ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร 158
7-46 ข เปรียบเทียบ total energy ของขั้นตอนการขนส่งอ้อย (-)
ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร 158
7-47 ก เปรียบเทียบ total energy ของขั้นตอนผลิตกากน้ำตาล (+)
ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร 159
7-47 ข เปรียบเทียบ total energy ของขั้นตอนผลิตกากน้ำตาล (-)
ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร 159
7-48 ก เปรียบเทียบ total energy ของขั้นตอนขนกากน้ำตาล (+)
ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร 160
7-48 ข เปรียบเทียบ total energy ของขั้นตอนขนกากน้ำตาล (-)
ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร 160

ภาพประกอบ หน้า

7-49 ก เปรียบเทียบ total energy ของขั้นตอนกลั่นเอทานอล (+)
ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร 161
7-49 ข เปรียบเทียบ total energy ของขั้นตอนกลั่นเอทานอล (-)
ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร 161
7-50 ก ค่า total energy ของขั้นตอนกำจัดน้ำ (+)ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร..... 161
7-50 ข ค่า total energy ของขั้นตอนกำจัดน้ำ (-)ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร..... 161
7-51 ก การแจกแจง total energy แต่ละขั้นตอน ในการผลิตเอทานอล 95% 1 ลิตร (+)..... 162
7-51 ข การแจกแจง total energy แต่ละขั้นตอน ในการผลิตเอทานอล 95% 1 ลิตร (-) 162
7-52 ก การแจกแจง total energy แต่ละขั้นตอน ในการผลิตเอทานอล 99.5% 1 ลิตร (+).... 163
7-52 ข การแจกแจง total energy แต่ละขั้นตอน ในการผลิตเอทานอล 99.5% 1 ลิตร (-) 163
ง-1 แสดงแผนภาพขั้นตอนการผลิตปุ๋ย 194
ง-2 แสดงแผนภาพขั้นตอนการผลิตสารเคมี 198
ฎ-1 แสดงผังระบบการผสมดีโซฮอล 284

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญคำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	คำอธิบาย	หน่วย
ALC	alcohol	
AMPS	amperes	A
Aus	Australia	
Btu	British thermal unit	Btu
BD	biodiesel	
CARB	California Air Resources Board	
CC	combine cycle	
CI	compression ignition	
C ratio	carbon ratio	
C_2H_5OH	ethyl alcohol	
CO_2	carbon dioxide	
CH_4	methane	
CO	carbon monoxide	
CNG	compressed natural gas	
DOE	U.S. Department of Energy	
EVTECA	electric vehicle total energy cycle analysis	
E85	mixture of 85% ethanol and 15% gasoline by volume	
EF	emission factor	
Eff	efficiency	
EtOH	ethanol	
E10	mixture of 10% ethanol and 90% gasoline by volume	
E95	mixture of 95% ethanol and 5% gasoline by volume	
EPA	U.S. Environmental Protection Agency	
EVs	electric vehicles	
FBC	fluidized bed combustion	
FCVs	fuel cell vehicles	
FTW	feedstock-to-wheel	
FTT	feedstock-to-tank	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำย่อ	คำอธิบาย	หน่วย
g	gram	g
GREET	Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation	
GHGs	greenhouse gases	
GWPs	global warming potentials	
GVs	gasoline vehicles	
GJ	Gigajoule	GJ
GRI	Gas Research Institute	
gal	gallon	gal
HDE	heavy duty engine	
HEV	hybrid electric vehicle	
HC	hydrocarbon	
ha	hectare	ha
h	hour	h
hr	hour	hr
HHV	higher heating value	
HP	horse power	HP
Hz	Hertz	Hz
IDI	indirect injection	
INEEL	Idaho National Engineering and Environmental Laboratory	
ICEVs	internal combustion engine vehicles	
kg	kilogram	kg
kJ	kilojoule	kJ
km	kilometer	km
kW	kilowatt	kW
K_2O	ปุ๋ยโพแทสเซียม	
L	liter	L
l	liter	l
LHV	lower heating value	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำย่อ	คำอธิบาย	หน่วย
LCA	life cycle assessment	
LCI	life cycle inventory	
LGE	liter of gasoline equivalent	
lb	pound	lb
m	meter	m
m^2	square meter	m^2
m^3	cubic meter	m^3
M	motor	
M100	100% methanol	
M85	mixture of 85% methanol and 15% gasoline by volume	
mmBtu	million Btu	mmBtu
MJ	megajoule	MJ
MPa	megapascal	MPa
MSW	municipal solid waste	
NMOG	nonmethane organic gas	
NMHC	nonmethane hydrocarbon	
N	ปุ๋ยไนโตรเจน	
N	newton	N
N_2O	nitrous oxide	
NG	natural gas	
NO_x	nitrogen oxides	
NREL	National Renewable Energy Laboratory	
Na/S	โซเดียม/ซัลเฟอร์	
ppm	part per million	ppm
P	pump	
PH	phase	
P_2O_5	ปุ๋ยฟอสฟอรัส	
PM	particulate matter	
PM_{10}	particulate matter with aerodynamic diameter of less than 10 microns	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำย่อ	คำอธิบาย	หน่วย
ROGs	reactive organic gases	
RFG	reformulated gasoline	
RPM	revolution per minute	RPM
R.P.M.	revolution per minute	R.P.M.
s	second	s
SO_x	sulfur oxides	
SO_2	sulfur dioxide	
SI	spark ignition	
SCF	standard cubic foot	SCF
S ratio	sulfur ratio	
SOHC	single overhead camshaft	
Spec.	specification	
SD	standard deviation	
TTW	tank-to-wheel	
U.S.	United State	
V	volt	V
VOC	volatile organic compound	
v/v	volume by volume	
wt	weight	
(+)	หมายถึงกรณีที่คำนวณ % allocation จากราคากากน้ำตาลต่ำสุด	
(-)	หมายถึงกรณีที่คำนวณ % allocation จากราคากากน้ำตาลสูงสุด	
กก.	กิโลกรัม	กก.
กฟภ.	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	
กฟผ.	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	
กม.	กิโลเมตร	กม.
ชม.	ชั่วโมง	ชม.
ปตท.	บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)	
มม.	มิลลิเมตร	มม.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่สำคัญที่มนุษย์กำลังเผชิญอยู่ในหลายๆ พื้นที่ทั่วโลก โดยเฉพาะปัญหามลภาวะทางอากาศซึ่งนับวันยิ่งทวีความรุนแรงขึ้นทุกขณะ รถยนต์เป็นปัจจัยหลักในหลายๆ ปัจจัยที่ก่อให้เกิดไอเสียซึ่งเป็นพิษโดยเฉพาะต่อสุขภาพและการดำรงชีวิตของมนุษย์ ในเมืองใหญ่หลายๆ เมืองที่มีประชากรอาศัยอยู่เป็นจำนวนมากกำลังประสบกับปัญหานี้ในระดับที่รุนแรง ได้มีความพยายามจากรัฐบาลของประเทศต่างๆในการที่จะลดมลพิษจากรถยนต์หรือควบคุมให้ระดับมลพิษที่ออกมาจากรถยนต์ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ซึ่งเกณฑ์ดังกล่าวมีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ตามสภาพพื้นฐานและระดับความรุนแรงของปัญหาที่กำลังเผชิญอยู่

การลดมลพิษจากเครื่องยนต์นั้นนอกจากจะเกี่ยวข้องกับความรู้หลายแขนงแล้วยังเกี่ยวข้องกับปัญหาอื่นๆในสังคมอีกหลายๆประการเนื่องจากในปัจจุบันรถยนต์เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตซึ่งนอกจากจะพิจารณาถึงวิธีการต่างๆในการพัฒนาเครื่องยนต์เพื่อให้ปล่อยมลพิษออกมาน้อยลงแล้ว เชื้อเพลิงและคุณภาพของเชื้อเพลิงก็เป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องพิจารณาและพัฒนาเพื่อให้บรรลุผลของการลดมลพิษให้ได้ในระดับที่น่าพอใจ

เชื้อเพลิงที่มีใช้กันมากในภาคการขนส่งของประเทศไทยคือเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ (SI) คือแกโซลีน และ เชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (CI) คือน้ำมันดีเซล ซึ่งล้ำพังแค่การพัฒนาเทคโนโลยีของเครื่องยนต์สำหรับใช้กับเชื้อเพลิงดังกล่าวนี้ ก็มีการคาดการณ์ว่าในอนาคตคงไม่เพียงพอในการลดระดับมลพิษเพื่อให้ผ่านมาตรฐานของแต่ละประเทศซึ่งนับวันยิ่งเข้มงวดยิ่งขึ้น

นอกจากนี้จากโครงสร้างการใช้พลังงานของประเทศไทยพบว่า ในแต่ละปีมีการนำเข้าเชื้อเพลิงปิโตรเลียมสำหรับภาคการขนส่งจากต่างประเทศเป็นปริมาณมาก ทำให้เกิดการพึ่งพาด้านพลังงานต่อต่างชาติและสูญเสียเงินตราต่างประเทศ จึงมีแนวคิดจากภาครัฐบาลในการที่จะหาเชื้อเพลิงภายในประเทศเพื่อทดแทนการนำเข้า

เอทิลแอลกอฮอล์หรือเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกตัวหนึ่งที่คาดว่าจะให้ผลดีในการลดมลพิษ เนื่องจากมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ และน่าจะมีศักยภาพในการนำมาใช้ในวงกว้างได้ เนื่องจากสามารถนำมาผสมกับแกโซลีนใช้ในเครื่องยนต์ SI และนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลใช้ในเครื่องยนต์ CI ได้

เอทานอลสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบหลายชนิด อาทิ ธัญพืชต่างๆ ข้าวโพด ไม้ หญ้า หรือชีวมวล (biomass) เป็นต้น สำหรับในประเทศไทยนั้น เอทานอลมีการผลิตจากกากน้ำตาล(molasses) ซึ่งได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายจากอ้อยในโรงงานน้ำตาล และผลิตจากมันสำปะหลัง อย่างไรก็ตามเอทานอลที่สามารถนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อเป็นดีโซฮอลนั้น สามารถใช้ได้ทั้งเอทานอล 95% และเอทานอล 99.5% ซึ่งแต่ละชนิดก็จะมีขั้นตอนการผลิตที่แตกต่างกัน

การพิจารณาเปรียบเทียบความคุ้มค่าเชิงพลังงานเพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกเอทานอลชนิดที่มีศักยภาพสูงสุดมาใช้ผสมเป็นเชื้อเพลิงอนาคตสำหรับทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักในภาคการขนส่งของประเทศไทยจึงต้องมีการพิจารณาอย่างรอบคอบครบวงจรในหลายๆด้าน อาทิคุณสมบัติของเชื้อเพลิงผสม ผลกระทบต่อสมรรถนะและมลพิษจากเครื่องยนต์ ด้วยหลักการตามแนวของ Life Cycle Assessment (LCA) ซึ่งเป็นการศึกษาโดยมีเป้าหมายเพื่อทำการหาข้อสรุปทั้งด้านความสิ้นเปลืองหรือความคุ้มค่าทางการใช้พลังงานและผลกระทบที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของสิ่งที่เราทำการศึกษา

การศึกษาประสิทธิภาพทางพลังงานของกระบวนการรวม (Feedstock-to-Wheel Energy Efficiency) เป็นการพิจารณาครอบคลุมพลังงานทั้งหมดที่ต้องใส่เข้าไปในกระบวนการผลิตตั้งแต่กระบวนการเพาะปลูก การใส่ปุ๋ยดูแลรักษา การเก็บเกี่ยว การขนส่งมาสู่โรงงาน กระบวนการผลิตเอทานอล กระบวนการจัดเก็บ กระบวนการขนส่งเอทานอลไปสู่สถานีบริการ ผลกระทบและประสิทธิภาพจากการใช้เชื้อเพลิงผสมเอทานอลในเครื่องยนต์ กระบวนการทั้งหมด FTW(Feedstock-to-Wheel) อาจแบ่งพิจารณาได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ FTT (Feedstock-to-Tank) และ TTW (Tank-to-Wheel) นอกจากนี้ยังพิจารณาครอบคลุมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น อาทิ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและก๊าซมลพิษด้วย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นโดยเลือกศึกษาการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่ได้จากโรงงานน้ำตาลซึ่งการต่อยอดการผลิตเอทานอลจากโรงงานน้ำตาลมีความ

เหมาะสมในการลงทุนสูงและเป็นวัตถุดิบส่วนใหญ่ที่ใช้ในการผลิตเป็นเอทานอลในประเทศไทย และเลือกศึกษาการนำเอทานอลมาผสมกับน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงดีโซฮอลทดแทนน้ำมันดีเซล เพราะเชื้อเพลิงดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีปริมาณการใช้ในภาคการขนส่งมากที่สุดและยังมีมูลค่าในการนำเข้าสูงอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาวัฏจักรพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตของเชื้อเพลิง เปรียบเทียบในกรณีของเชื้อเพลิงดีเซลผสมเอทานอลชนิด 95% กับเชื้อเพลิงดีเซลผสมเอทานอลชนิด 99.5% ซึ่งผลิตได้จากกากน้ำตาล สำหรับใช้เป็นข้อมูลสำหรับพิจารณาประกอบการตัดสินใจว่าเชื้อเพลิงชนิดใดที่มีประสิทธิภาพเชิงพลังงานโดยมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมดีกว่ากันอย่างไร

1.3 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษา LCA ทำได้หลายระดับตามแต่ข้อจำกัดของข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ในกรณีศึกษาที่ปรากฏในวิทยานิพนธ์จึงต้องกำหนดขอบเขตการศึกษาตามข้อจำกัดด้านเนื้อหา พื้นที่ และ เวลา ดังนี้

1.3.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

การศึกษาครั้งนี้จะพิจารณาใน 3 ประเด็นหลัก คือ วัฏจักรพลังงาน วัฏจักรก๊าซเรือนกระจก และ วัฏจักรมลพิษ ตลอดวงจรชีวิตของเชื้อเพลิง โดยวงจรชีวิตของเชื้อเพลิง (FTW) ประกอบด้วย Feedstock-to-Tank (FTT) คือ ขั้นตอนต่างๆของการผลิตเชื้อเพลิงตั้งแต่เริ่มต้นจากวัตถุดิบจนสิ้นสุดที่ถังเชื้อเพลิงในรถยนต์ กับ Tank-to-Wheel (TTW) คือ ขั้นตอนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นพลังงานจากถังเชื้อเพลิงลงสู่พื้นถนนผ่านล้อ โดยมีพารามิเตอร์ที่ศึกษาแบ่งตามวัฏจักรได้ดังนี้

สำหรับวัฏจักรพลังงานจะพิจารณา

- total energy use (all energy sources)
- fossil energy use (petroleum, natural gas, coal)
- petroleum use

สำหรับวัฏจักรก๊าซเรือนกระจกจะพิจารณา

- carbon dioxide [CO_2]
- methane [CH_4]
- nitrous oxide [N_2O]

สำหรับวัฏจักรมลพิษจะพิจารณา

- carbon monoxide [CO]
- nitrogen oxides [NO_x]
- PM_{10} เป็นต้น

1.3.2 ขอบเขตด้านพื้นที่

พื้นที่ที่ผู้วิจัยทำการศึกษาในขั้นตอนการผลิตน้ำตาลจะครอบคลุมข้อมูลของจังหวัดที่มีโรงงานผลิตน้ำตาลทรายจากอ้อยเชิงพาณิชย์ตั้งอยู่ เนื่องจากคาดว่ามีปริมาณกากน้ำตาลเพียงพอต่อการนำมาผลิตเป็นเอทานอลในเชิงพาณิชย์ แต่จะไม่กำหนดตายตัวลงไปว่าต้องเป็นจังหวัดใดจังหวัดหนึ่ง เนื่องจากไม่ได้มุ่งศึกษาเปรียบเทียบการผลิตระหว่างจังหวัด จุดประสงค์หลักที่กำหนดพื้นที่ในประเทศไทยนั้นเพื่อต้องการประเมินผลศักยภาพการผลิตเอทานอลในประเทศไทยในภาพรวมเท่านั้น

1.3.3 ขอบเขตด้านเวลา

ข้อมูลที่ใช้จะอ้างอิงจากปีฐาน 2540-2544 ซึ่งยังใหม่อยู่ แต่ข้อมูลในอดีตของประเทศไทยในระยะ 10-20 ปีก็คาดว่าสามารถนำมาใช้ได้เนื่องจากเทคโนโลยีในการผลิตน้ำตาลและเอทานอลของประเทศไทยมิได้มีการเปลี่ยนแปลงมากและรวดเร็วนัก

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เพื่อทราบปริมาณพลังงานและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและก๊าซมลพิษทั้งหมดที่เกิดขึ้นในขั้นตอนต่างๆ ตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงดีเซลผสมเอทานอลชนิด 95% และเชื้อเพลิงดีเซลผสมเอทานอลชนิด 99.5% ซึ่งผลิตได้จากกากน้ำตาล

1.4.2 เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาในการเลือกผลิตและเลือกใช้เอทานอลที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์และเหมาะสมกับการใช้ในประเทศไทย

1.5 ขั้นตอนและวิธีการศึกษา

1.5.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับระเบียบวิธีการ Life Cycle Assessment เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ คำนวณ ด้วย GREET Model

1.5.2 รวบรวมข้อมูลโดยละเอียดจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านการผลิตเอทานอลโดยพิจารณาตั้งแต่การแปรรูปวัตถุดิบและกระบวนการผลิต เทคโนโลยีที่ใช้ ประมาณการณ์ศักยภาพ

ปริมาณการผลิตในประเทศไทยในปัจจุบัน จนกระทั่งถึงการนำมาใช้ในรถยนต์และผลกระทบที่พบในประเทศไทย

1.5.3 รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องยนต์แบบ IDI และผลการทดสอบต่างๆที่ได้มีการทำวิจัยกัน

1.5.4 นำข้อมูลต่างๆมาทำการวิเคราะห์ตาม Fuel Life Cycle Stage

1.5.5 สรุปและวิจารณ์ผลจากการวิเคราะห์ พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะ

1.5.6 นำเสนอวิทยานิพนธ์

1.6 คำจำกัดความ

เอทานอล 95% หมายถึง เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 95% คือมีน้ำเจือปนอยู่ประมาณ 5% หรือในภาษาอังกฤษเรียกว่า hydrated ethanol

เอทานอล 99.5% หมายถึง เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 99.5% คือมีน้ำเจือปนอยู่น้อยมากหรือไม่มีเลย หรือในภาษาอังกฤษเรียกว่า anhydrous ethanol

ดีโซฮอล 95% หมายถึง เชื้อเพลิงดีโซฮอลที่ใช้เอทานอล 95% เป็นส่วนผสม

ดีโซฮอล 99.5% หมายถึง เชื้อเพลิงดีโซฮอลที่ใช้เอทานอล 99.5% เป็นส่วนผสม

1.7 แหล่งข้อมูล

1.7.1 ข้อมูลปฐมภูมิ ได้จากการสำรวจภาคสนาม รวมถึงการสัมภาษณ์บุคคลที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อศึกษา เนื่องจากเป็นข้อมูลที่ต้องการความละเอียดและต้องการความใหม่

1.7.2 ข้อมูลทุติยภูมิ เป็นข้อมูลพื้นฐานทั่วไป และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับบางขั้นตอนของการศึกษาครั้งนี้ซึ่งมีการจัดเก็บไปแล้วโดยบุคคลหรือหน่วยงานอื่นเพื่อจุดประสงค์บางประการซึ่งมีการเผยแพร่และมีความสำคัญต่อการศึกษาครั้งนี้ โดยจะเก็บรวบรวมมาจากแหล่งข้อมูลต่างๆที่ได้มีการรวบรวมไว้เป็นเอกสารโดยทั้งหน่วยงานของภาครัฐและเอกชนทั้งในและนอกประเทศไทย ได้แก่

สำนักนายกรัฐมนตรี

- สำนักงานสถิติแห่งชาติ

กระทรวงมหาดไทย

- กรมการปกครอง

กระทรวงอุตสาหกรรม

- สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

- กรมวิชาการเกษตร
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- สถาบันวิทยบริการ
- สถาบันวิจัยพลังงาน
- ห้องสมุดคณะเศรษฐศาสตร์
- ห้องสมุดคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
- Internet

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

งานทดลองผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา

บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

บริษัท ไทยออยล์ จำกัด

1.8 **ข้อตกลงร่วมกันในการศึกษา**

วัฏจักรพลังงาน นี้เป็นการกล่าวเน้นเพื่อให้เข้าใจว่า การพิจารณาพลังงานที่กล่าวถึงเป็นการพิจารณาพลังงานตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิง

ภาคการขนส่งของประเทศไทย ในงานครั้งนี้มุ่งหมายถึงการใช้เชื้อเพลิงดีเซลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักในภาคการขนส่งของประเทศไทยในรถปิคอัพยี่ห้อฟอร์ด รุ่น WL81 ขนาด 2.5 ลิตร

1.9 **ข้อจำกัดในการศึกษา**

1.9.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษามีขนาดใหญ่ ทำให้ต้องใช้เวลานานในการสำรวจภาคสนาม ซึ่งบางเขตพื้นที่ไม่อาจทำการสำรวจได้ จึงต้องอาศัยข้อมูลจากเอกสารในระดับทุติยภูมิหรือการสัมภาษณ์จากบุคคลที่มีความเชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องแทน

1.9.2 งบประมาณในการศึกษามีจำกัด การศึกษาในขอบเขตพื้นที่ขนาดใหญ่ในเวลาที่จำกัดจำเป็นต้องใช้งบประมาณจำนวนมากเพื่ออำนวยความสะดวกในการศึกษาจึงทำให้การศึกษามีอุปสรรคในการออกสำรวจภาคสนาม แต่ผู้ศึกษาพยายามจัดสรรงบประมาณให้เอื้อประโยชน์ต่อการศึกษาให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

บทที่ 2 นี้เรียบเรียงขึ้นเพื่อต้องการทบทวนวรรณกรรม โดยการสำรวจงานวิจัยและแนวความคิดในอดีตที่เกี่ยวข้องหรือคล้ายคลึงกับการศึกษาครั้งนี้ เพื่อเป็นแนวทางและเพื่อความเข้าใจในการดำเนินการวิจัย

2.1 Life Cycle Assessment

Life Cycle Assessment เป็นระเบียบวิธีการศึกษาถึงผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ โดยขอบเขตการศึกษามุ่งพิจารณาภาพรวมตั้งแต่ต้นทางถึงปลายทางของผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการนั้นๆว่าเป็นอย่างไร มีผลกระทบต่อพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างไร โดยทั่วไปแล้ววิธีการนี้จะไม่พิจารณาผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์ สังคมและการเมือง

โดยสรุปแล้ว ไม่มีขั้นตอนเฉพาะสำหรับ Life Cycle Assessment เทคนิคนี้สามารถประยุกต์ใช้กับแต่ละปัญหาได้หลายระดับ ขึ้นอยู่กับความซับซ้อน แนวคิดหลักๆก็คือ การวิเคราะห์และประเมินผลสิ่งที่สนใจตลอดทั้งวงจรชีวิต [1]

นิยามของ LCA

“A process to evaluate the environmental burdens associated with a product system, or activity by identifying and quantitatively describing the energy and materials used, and wastes released to the environment, and to assess the impacts of those energy and material uses and releases to the environment. The assessment includes the entire life cycle of the product or activity, encompassing extracting and processing raw materials; manufacturing; distribution; use; re-use; maintenance; recycling and final disposal; and all transportation involved. LCA addresses environmental impacts of the system under study in the areas of ecological systems, human health and resource depletion. It does not address economic or social effects”. [1]

"LCA is a technique for assessing the environmental aspects and potential impacts associated with a product, by

- Compiling an inventory of relevant inputs and outputs of a system;
- Evaluating the potential environmental impacts associated with those inputs and outputs;
- Interpreting the results of the inventory and impact phases in relation to the objectives of the study." [1]

แนวคิดด้าน LCA เพิ่งเริ่มถูกนำมาใช้ในช่วงปี ค.ศ. 1990 ซึ่งผู้วิจัยได้รวบรวมวรรณกรรมที่นำระเบียบวิธีทาง LCA มาประยุกต์ใช้ในการดำเนินการศึกษาในอดีตเพื่อประมาณค่าสิ่งที่ปล่อยออกมา (emissions) และพลังงานที่ใช้จากวัฏจักรเชื้อเพลิง ดังสรุปได้ดังต่อไปนี้

2.2 Delucchi 1991, 1993 [2]

ในปี ค.ศ.1991 Delucchi ได้ศึกษาวัฏจักรเชื้อเพลิงเพื่อประมาณค่า โดยเขาสนใจศึกษาก๊าซเรือนกระจกซึ่งประกอบด้วย CO_2, CH_4, CO, N_2O, NO_x และ ก๊าซอินทรีย์ที่ไม่ใช่มีเทน(nonmethane organic gases: NMOGs)

เขาได้พัฒนาแบบจำลองการคำนวณ emissions ของก๊าซเรือนกระจกจากวัฏจักรเชื้อเพลิง ซึ่งประกอบด้วยวัฏจักรเชื้อเพลิงที่พิจารณาดังนี้ คือ การผลิตแกโซลีนจากปิโตรเลียม, ดีเซลจากปิโตรเลียม, ก๊าซปิโตรเลียมเหลวจากปิโตรเลียม, เมทานอลจากก๊าซธรรมชาติ, ก๊าซธรรมชาติอัดจากก๊าซธรรมชาติ, ก๊าซธรรมชาติเหลวจากก๊าซธรรมชาติ, ก๊าซปิโตรเลียมเหลวจากก๊าซธรรมชาติ, เมทานอลจากถ่านหิน, เมทานอลจากไม้, เอทานอลจากข้าวโพด, เอทานอลจากไม้, ไฮโดรเจนจากพลังงานนิวเคลียร์, ไฮโดรเจนจากพลังงานแสงอาทิตย์ และการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงต่างๆ

ในการคำนวณหาปริมาณ emissions ของก๊าซเรือนกระจกนั้น แรกสุดเขาใช้วิธีการประมาณค่าปริมาณของพลังงานรวมทั้งหมดที่ถูกเผาไหม้ ณ ขั้นตอนนั้นๆ จากนั้นจะจัดสรรพลังงานไปตามสัดส่วนของเชื้อเพลิงที่ใช้ (น้ำมันเตา, ก๊าซธรรมชาติ, ไฟฟ้า, ถ่านหิน) จากนั้นจะหาค่า emissions ของก๊าซเรือนกระจก (ยกเว้น CO_2) จากการเผาไหม้ได้โดยใช้ค่า emission factors

ส่วนการคำนวณ CO_2 emission เขาใช้วิธีการ carbon balance โดยปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ใน CO, CH_4 และ NMOG emissions จะถูกหักออกจากปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ ดังนั้นปริมาณคาร์บอนที่เหลืออยู่จะถูกสมมติว่าถูกออกซิไดซ์กลายเป็น CO_2 ทั้งหมด

นอกจาก emissions จากการเผาไหม้แล้ว เขายังคำนึงถึง emissions ของก๊าซเรือนกระจกจากการสูญเสียเชื้อเพลิงโดยการรั่วและการระเหยกลายเป็นไอ เขาเปลี่ยนปริมาณของ emissions ของก๊าซเรือนกระจกทุกตัวให้อยู่ในรูปศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (global warming potentials) และนำเสนอผลลัพธ์ในรูปเทียบเท่ากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาต่อระยะทาง 1 ไมล์ (CO_2 – equivalent emissions per mile of travel)

จากการศึกษาของเขา ได้ให้ข้อสรุปทั่วๆ ไปดังนี้

- โดยทั่วไปเชื้อเพลิงจากถ่านหินจะเพิ่ม emissions ของก๊าซเรือนกระจก
- การใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซธรรมชาติ (เช่น เมทานอล, ก๊าซธรรมชาติอัด, ก๊าซธรรมชาติเหลว, ไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติ และ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว) จะช่วยลด emissions ของก๊าซเรือนกระจกได้เล็กน้อยถึงปานกลาง
- การใช้เอทานอลจากชีวมวลประเภทไม้จะช่วยลด emissions ของก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมาก
- เอทานอลจากข้าวโพดสามารถทำให้ emissions ของก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นได้
- การใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ หรือ ไฮโดรเจนจากพลังงานแสงอาทิตย์จะช่วยกำจัด emissions ของก๊าซเรือนกระจกได้เกือบหมด
- การใช้ไฟฟ้าจากพลังงานนิวเคลียร์ หรือ ไฮโดรเจนจากพลังงานนิวเคลียร์ จะช่วยลด emissions ของก๊าซเรือนกระจกได้มาก

Delucchi เป็นคนที่ศึกษาเรื่อง emissions ของก๊าซเรือนกระจกจากวัฏจักรพลังงานอย่างครอบคลุมและเชี่ยวชาญที่สุด งานของเขาได้รับการกล่าวถึงอย่างกว้างขวาง ข้อมูลนำเข้าจำนวนมากสำหรับ GREET 1.0 ก็ได้มาจากงานของเขาในปี ค.ศ. 1991

2.3 National Renewable Energy Laboratory et al. 1991, 1992 [2]

The National Renewable Energy Laboratory (NREL) ร่วมมือกับ Oak Ridge National Laboratory และ Pacific Northwest National Laboratory ในการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบ emissions จากวัฏจักรเชื้อเพลิงของเอทานอลจากชีวมวล กับ reformulated gasoline (RFG) โดยทำการเปรียบเทียบเชื้อเพลิง 3 ชนิด คือ RFG, E10 (ส่วนผสมของเอทานอล 10% กับแกโซลีน 90% โดยปริมาตร) และ E95 (ส่วนผสมของเอทานอล 95% กับแกโซลีน 5% โดยปริมาตร) ในการศึกษาครั้งนี้ NREL ได้ตั้งสมมติฐานว่า E10 จะถูกใช้ในปี ค.ศ. 2000 และ E95 จะถูกใช้ในปี ค.ศ. 2010 และเอทานอลจาก municipal solid waste (MSW) จะผลิตได้ในปี ค.ศ. 2000 ส่วนเอทานอลจากชีวมวล เช่น หญ้า และ ต้นไม้ จะผลิตได้ในปี ค.ศ. 2010 ทั้งนี้ไม่รวมเอทานอลที่ผลิตได้จากข้าวโพด

สำหรับวัฏจักรเอทานอลจาก MSW ในปี ค.ศ. 2000 NREL ได้เลือกพื้นที่การผลิต 1 แห่ง คือ Chicago/Cook County และสำหรับวัฏจักรเอทานอลจากชีวมวลในปี ค.ศ. 2010 ได้เลือกพื้นที่การผลิต 5 แห่งซึ่งมีความแตกต่างด้านภูมิอากาศ, ดิน และตัวแปรทางธรรมชาติอื่นๆ อย่างชัดเจน คือ Peoria, Illinois; Lincoln, Nebraska; Tifton, Georgia; Rochester, New York; และ Portland, Oregon

ในการประมาณค่า emissions สำหรับการผลิต RFG NREL ได้สมมติโรงกลั่น 2 แห่งที่มีระดับของคุณภาพน้ำมันดิบ, ปริมาณการกลั่น และ emissions จากการกลั่นแตกต่างกัน และได้กำหนดองค์ประกอบของ RFG โดยใช้ข้อกำหนดที่บรรจุในคำแปรญัตติพระราชบัญญัติอากาศสะอาดปี ค.ศ. 1990 (the 1990 Clean Air Act Amendment)

นอกจากนี้ NREL ยังได้ศึกษาถึงค่าประมาณของขยะของแข็ง, มลพิษทางน้ำ และมลพิษทางอากาศ มลพิษทางอากาศที่ถูกศึกษาคือ VOCs, CO, NO_x, SO_x, CO_2, และ particulate matter (PM) และยังคำนวณการทดแทนปิโตรเลียมจากการใช้ E10 และ E95 ด้วย

NREL สรุปว่าการใช้ E10 จาก MSW ในปี ค.ศ. 2000 จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมากใน emissions จากวัฏจักรเชื้อเพลิงเมื่อเปรียบเทียบกับ RFG เพราะว่าส่วนประกอบหลักของ E10 ยังคงเป็นแกโซลีน ส่วนการใช้ E95 จากชีวมวลในปี ค.ศ. 2010 จะช่วยลด CO_2 emission ได้ 90%-96% และช่วยลด NO_x, SO_x และ PM emissions อย่างมาก อย่างไรก็ตามการใช้ E95 จะ

สามารถเพิ่ม VOC และ CO emissions จากการศึกษาโดยคิดต่อระยะทาง 1 ไมล์ พบว่า E10 จะช่วยทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลได้ 6% และ E95 ทดแทนได้ถึง 85%

เหล่านักวิจัยของ NREL ได้ประมาณว่าการใช้เอทานอลจะช่วยลด CO_2 emissions ได้มากกว่าค่าประมาณของ Delucchi เพราะข้อสมมติฐานของ NREL นั้นมีแนวโน้มในทางที่ดีกับเอทานอลมากกว่า เช่น NREL สมมติว่าวัฏจักรเชื้อเพลิงเอทานอลจะมีประสิทธิภาพเชิงพลังงานสูง และ emissions ต่ำ จัดสรร emissions ไปยังผลพลอยได้มากกว่า ปริมาณไฟฟ้าส่วนเกินจากโรงงานเอทานอลมีปริมาณมาก

โดย NREL เลือกใช้ Mobile 4.1 model ของ EPA เพื่อประมาณค่า emissions จากยานยนต์มาตรฐานที่ใช้ RFG เป็นเชื้อเพลิง

2.4 Bently et al. 1992 [2]

Bently et al. ได้ดำเนินการศึกษาให้กับ Idaho National Engineering and Environmental Laboratory (INEEL) เพื่อที่จะหาค่า CO_2 emission จากวัฏจักรเชื้อเพลิงของยานยนต์ที่ใช้ไฟฟ้า (electric vehicles), ยานยนต์ที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิง (fuel-cell vehicles) และ ยานยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน (internal combustion engine vehicles) ซึ่งขับเคลื่อนด้วยเชื้อเพลิงต่างๆ เหล่านักวิจัยได้รวบรวมวัฏจักรเชื้อเพลิงเหล่านี้เข้าไว้ในการศึกษาของพวกเขา ประกอบด้วย แกโซลีนจากปิโตรเลียม, เมทานอลจากก๊าซธรรมชาติ, ก๊าซธรรมชาติอัดจากก๊าซธรรมชาติ, ไฮโดรเจนจากก๊าซธรรมชาติ, เอทานอลจากข้าวโพด และ การผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงต่างๆ การศึกษาครั้งนี้ไม่ได้วิเคราะห์ลึกไปถึง emissions ในช่วงต้นน้ำ (ประสิทธิภาพเชิงพลังงานและ CO_2 emission สำหรับช่วงต้นน้ำใช้ค่าที่ได้มาจากเอกสารอ้างอิงอื่นๆ) แต่ได้นำเสนอรายละเอียดเกี่ยวกับรูปแบบของรถ, ระบบขับเคลื่อนของรถ และประสิทธิภาพของชิ้นส่วนของรถ

ด้วยการตั้งสมมติฐานว่าประสิทธิภาพเชิงพลังงานของกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงและเทคโนโลยีของยานยนต์มีการพัฒนาอยู่ตลอดเวลา พวกเขาจึงทำการประมาณค่า CO_2 emissions ในปีเป้าหมาย 3 ปี คือ ค.ศ.2001, ค.ศ.2010 และ ค.ศ. 2020 โดยศึกษายานยนต์ 3 แบบคือ commuter cars, family cars และ minivans ประสิทธิภาพเชิงพลังงานของชิ้นส่วนของยานยนต์ได้จากค่าของ GVs ในปี ค.ศ.1992 ส่วนอัตราการประหยัดเชื้อเพลิงของรถรุ่นใหม่จะ

จำลองโดยใช้ SIMPLEV (แบบจำลองคอมพิวเตอร์ที่ถูกพัฒนาที่ INEEL เพื่อพยากรณ์ค่าอัตราการประหยัดเชื้อเพลิงของยานยนต์)

เหล่านักวิจัยได้กำหนดทางเลือก 3 ทางเกี่ยวกับระบบการผลิตไฟฟ้า ดังนี้

- The national average generation mix (มากกว่า 50% ของไฟฟ้าทั้งหมดมาจากถ่านหิน)
- Advanced NG combustion technology ซึ่งผลิตไฟฟ้าสำหรับ EVs
- The newest NG combustion technology โดยมี conversion efficiency สูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้

Bently et al. สมมติว่า conversion efficiency ของทางเลือกที่สองจะเพิ่มจาก 43% ในปี ค.ศ.1992 เป็น 50% ในปี ค.ศ. 2020 และประสิทธิภาพของทางเลือกที่สามจะเพิ่มจาก 43% ในปี ค.ศ.1992 เป็น 57% ในปี ค.ศ. 2020

ข้อสรุปจากการศึกษาของ Bently et al.มีดังนี้

- ยานยนต์ที่ใช้แกโซลีน และ ยานยนต์ที่ใช้เมทานอล จะให้ค่า CO_2 emissions จากวัฏจักรเชื้อเพลิงในปริมาณพอๆ กัน
- ยานยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัด, ยานยนต์ที่ใช้ไฟฟ้า และยานยนต์ที่ใช้เอทานอล (ทุกแบบจะให้ค่า CO_2 emissions ใกล้เคียงกัน) จะให้ค่า CO_2 emissions ต่ำกว่ายานยนต์ที่ใช้แกโซลีน
- ยานยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าจะก่อให้เกิด emissions น้อยกว่ายานยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดถ้าใช้ไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติ
- ยานยนต์ที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ไฮโดรเจนจากก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงจะให้ CO_2 emissions ต่ำกว่ายานยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัด

2.5 Brogan and Venkateswaran 1992 [2]

ในปี ค.ศ.1992 Brogan และ Venkateswaran ได้ทำการประมาณพลังงานที่ใช้และ CO_2 emissions จากวัฏจักรเชื้อเพลิงของเทคโนโลยีการขนส่งต่างๆ พวกเขาศึกษา EVs, hybrid electric vehicles (HEVs), FCVs และ ICEVs ซึ่งใช้เชื้อเพลิงต่างๆ ซึ่งเมื่อรวมกันแล้วมี 19 ทางเลือก พวกเขาวิเคราะห์รถยนต์นั่งขนาดกลางที่จะถูกแนะนำในปี ค.ศ. 2001 โดยใช้เทคโนโลยีสำหรับปี ค.ศ.2001 ยกเว้นเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าบางอย่าง เช่น FCVs และ HEVs จะใช้เทคโนโลยีที่ตั้งสมมติฐานจากรถต้นแบบ

พวกเขาคำนวณ CO_2 emissions โดยสมมติว่าปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงจะถูกออกซิไดซ์กลายเป็น CO_2 ทั้งหมด ส่วน emissions ในช่วงต้นน้ำของ HC, CO, NO_x และ SO_x จะถูกประมาณค่าเฉพาะช่วงขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงเท่านั้น (เช่น การกลั่นปิโตรเลียมและการผลิตไฟฟ้า) โดยไม่สนใจ emissions จากขั้นตอน การผลิตและการกระจาย primary energy การขนส่งและการจัดเก็บเชื้อเพลิง และใช้ค่ามาตรฐานของ emissions ของ ICEVs แทนค่า on-road emissions ที่แท้จริง

พวกเขาสรุปว่า ICEVs ที่ใช้เชื้อเพลิง แกโซลีน, เมทานอล, ก๊าซธรรมชาติอัด และเอทานอล จะมี primary energy consumption rates ที่สูงกว่าจากเทคโนโลยีที่ใช้ไฟฟ้า (เช่น EVs, HEVs, และ FCVs) รถที่ใช้เอทานอลแสดงให้เห็นว่ามี CO_2 emission rate ต่ำสุด เมื่ออิงพื้นฐานระบบการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ย (the average electric generation mix) ใน USA พบว่าทำให้ EVs และ HEVs ปล่อย CO_2 ออกมาต่ำกว่าจาก ICEVs ที่ใช้แกโซลีน ส่วนผลลัพธ์ emissions ของ HC, CO, NO_x และ SO_x ในการศึกษานี้ยังไม่สามารถสรุปได้เพราะไม่ได้ทำการประมาณตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิง

2.6 Ecotraffic, AB 1992 [2]

เหล่านักวิจัยที่ Ecotraffic, AB ในสวีเดน ได้ทำการประมาณค่า emissions และพลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่งในสวีเดนหลายชนิด วัฏจักรเชื้อเพลิงที่ถูกศึกษามีดังนี้ คือ แกโซลีนจากปิโตรเลียม, ดีเซลจากปิโตรเลียม, ก๊าซปิโตรเลียมเหลวจากปิโตรเลียม, ก๊าซธรรมชาติอัดจากก๊าซธรรมชาติ, เมทานอลจากก๊าซธรรมชาติ, เมทานอลจากชีวมวล, เอทานอลจากชีวมวล, น้ำมันพืชจาก rapeseed, ไฮโดรเจนจากการแยกน้ำโดยพลังงานแสงอาทิตย์, ไฮโดรเจนจากก๊าซธรรมชาติ และ การผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงต่างๆ โดยพิจารณามลพิษที่สำคัญ 3 ตัว (HC, CO และ NO_x) และก๊าซเรือนกระจก 6 ตัว (CO_2, CH_4, N_2O, NO_x, CO และ HC) ตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงในรถ 3 แบบคือ รถยนต์, รถบรรทุกขนาดกลาง และ รถโดยสาร

Ecotraffic ใช้วิธีการประมาณค่า emissions ของ HC, CO และ NO_x จากทั้ง กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงในช่วงต้นน้ำ และ การใช้งานในรถยนต์ โดยพิจารณาจากมาตรฐานของ emission ที่ปรับใช้กับ stationary sources และ motor vehicles ในประเทศสวีเดน ส่วนค่า emission จากรถยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลและแกโซลีนจะได้มาโดยตรงจากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ emissions จากรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้า ถูกคำนวณจากระบบการผลิตไฟฟ้า 2 แบบ แบบแรกคือ Swedish average electric generation mix ซึ่ง 50% ของไฟฟ้ามาจากพลังน้ำ 45% มาจาก

พลังงานนิวเคลียร์และที่เหลือ 5% มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล เมื่อเปรียบเทียบกับ average generation mix ในประเทศสหรัฐอเมริกาแล้ว ซึ่งมากกว่า 50% ของไฟฟ้ามาจากถ่านหิน พบว่าระบบของสวีเดนสะอาดกว่า แบบที่สองใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นพลังงานหลักสำหรับผลิตไฟฟ้าเพื่อรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้า

Ecotraffic สรุปว่าการใช้เชื้อเพลิงที่ไม่ใช่เชื้อเพลิงฟอสซิลสามารถให้ผลในการลด emissions ของก๊าซเรือนกระจกได้มากกว่า 50% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงปิโตรเลียม ส่วนการใช้ดีเซลและน้ำมันพืชจะทำให้เกิด NO_x emissions มาก อย่างไรก็ตามเนื่องจากในกรณีของประเทศสวีเดนซึ่งพลังงานไฟฟ้าเกือบทั้งหมดในประเทศมาจากพลังน้ำและพลังงานนิวเคลียร์ ดังนั้นการใช้รถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าจึงช่วยลด emissions ของมลพิษที่สำคัญและก๊าซเรือนกระจกได้อย่างชัดเจน อนึ่งการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูล emissions และประสิทธิภาพเชิงพลังงานของประเทศสวีเดนเท่านั้น ดังนั้นข้อสรุปดังกล่าวอาจประยุกต์ใช้ได้กับเฉพาะประเทศสวีเดนเท่านั้น

2.7 Wang and Santini 1993 [2]

Wang และ Santini ได้ทำการประมาณค่า emissions จากวัฏจักรเชื้อเพลิงของรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้า และ รถยนต์ที่ใช้แก๊โซลีน ใน 4 เมืองของประเทศสหรัฐอเมริกา คือ ชิคาโก, เดนเวอร์, ลอสแองเจลิส และ นิวยอร์ค ภายใต้ รูปแบบการขับขี่ต่างๆ โดยพิจารณา emissions ของ HC, CO, NO_x, SO_x และ CO_2 โมเดล EAGLEs รุ่นแรกๆ ซึ่งเป็นแบบจำลองคอมพิวเตอร์เพื่อหาปริมาณการบริโภคเชื้อเพลิงของรถยนต์ซึ่งถูกพัฒนาที่ Argonne National Laboratory ถูกนำมาใช้เพื่อประมาณอัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถยนต์ที่ใช้แก๊โซลีน และอัตราการใช้ไฟฟ้าของรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าภายใต้รูปแบบการขับขี่ต่างๆ

โดยการพิจารณาระบบการผลิตไฟฟ้าของเมืองต่างๆ ดังกล่าว และ emissions จากโรงงานผลิตไฟฟ้า พวกเขาได้ประมาณค่าของ emissions จากโรงงานผลิตไฟฟ้าที่เชื่อว่ามาจากการผลิตไฟฟ้าส่วนที่ใช้ในรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้า ในแต่ละเมืองของ 4 เมือง พวกเขาประมาณค่า emissions จากการใช้งานรถยนต์ที่ใช้แก๊โซลีนประเภทที่ 1 ในประเทศสหรัฐอเมริกาจาก Mobile 5a model ของ EPA และยังได้ประมาณค่า emissions จากการกลั่นปิโตรเลียมในส่วนที่ใช้ในรถยนต์ที่ใช้แก๊โซลีนด้วย

Wang และ Santini สรุปว่าการใช้รถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้า ช่วยลด emission ของ HC และ CO ได้มากกว่า 98% ในแต่ละเมืองของ 4 เมือง และภายใต้แต่ละรูปแบบการขับ 6 แบบที่ถูกศึกษา ปริมาณ NO_x จากรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าขึ้นกับความเข้มงวดของการควบคุม NO_x จากโรงงานผลิตไฟฟ้าและขึ้นกับชนิดของโรงงานผลิตไฟฟ้าที่ผลิตไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้า ในชิคาโก, ลอสแองเจลิส และนิวยอร์ค NO_x จะลดลงอย่างมากจากการใช้รถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้า ในขณะที่ในเดนเวอร์นั้น NO_x ลดลงเพียงในระดับปานกลาง การใช้รถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าภายใต้รูปแบบการขับที่อัตราเร็วต่ำ จะช่วยลด CO_2 emissions ได้อย่างมาก แต่ภายใต้รูปแบบการขับที่อัตราเร็วสูงพบว่า CO_2 emissions จากรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าสามารถเพิ่มขึ้นได้เพราะความได้เปรียบเชิงพลังงานของรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าเมื่อเทียบกับรถยนต์ที่ใช้แก๊สโซลีนลดลง ในเดนเวอร์พบว่า SO_x emissions จะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้รถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าเพราะว่ามากกว่าครึ่งของไฟฟ้าในเมืองๆ นี้มาจากถ่านหิน และเพิ่มขึ้นในนิวยอร์คด้วยเนื่องจากเกือบครึ่งของไฟฟ้าในนิวยอร์คมาจากน้ำมัน

ถึงแม้ว่า Wang และ Santini จะสมมติว่าแบตเตอรี่แบบ โซเดียม/ซัลเฟอร์ (Na/S) ถูกใช้ในรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้า แต่ในการประมาณการใช้ไฟฟ้าของรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้า พวกเขาไม่ได้คิดการสูญเสียพลังงานจากระบบการจัดการความร้อน ซึ่งจำเป็นในการรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในระดับสูงซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการสำหรับแบตเตอรี่แบบนี้ พวกเขาคิด emissions จากโรงไฟฟ้า โรงกลั่น และการใช้รถยนต์ แต่ไม่ได้พิจารณา emissions จากขั้นตอนอื่นๆ ของวัฏจักรเชื้อเพลิง

2.8 Darrow 1994a,1994b [2]

Darrow ได้ดำเนินการศึกษางาน 2 ชิ้น งานชิ้นแรกเป็นการวิเคราะห์ emissions จากเชื้อเพลิงทดแทนต่างๆ ตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงเพื่อ Gas Research Institute (GRI) งานชิ้นที่สองเป็นการศึกษาสำหรับ Southern California Gas Company เพื่อเปรียบเทียบ emissions ตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงจากรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าและรถยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัด

สำหรับงานชิ้นแรก เขาได้พิจารณาวัฏจักรเชื้อเพลิงต่างๆ ดังนี้ แก๊สโซลีนทั่วไปจากปิโตรเลียม, RFG จากปิโตรเลียม, ก๊าซปิโตรเลียมเหลวจากปิโตรเลียม, ก๊าซธรรมชาติอัดจากก๊าซธรรมชาติ, เมทานอลจากก๊าซธรรมชาติ, ก๊าซปิโตรเลียมเหลวจากก๊าซธรรมชาติ, เอทานอลจากข้าวโพด และการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ เขาศึกษามลพิษที่สำคัญ 5 ตัว คือ reactive organic gases [ROGs], NO_x, CO, SO_x, และ PM_{10} และก๊าซเรือนกระจก 3 ตัวคือ CO_2 ,CH_4 และ N_2O

Darrow ได้วิเคราะห์ emissions จากวัฏจักรเชื้อเพลิงสำหรับประเทศสหรัฐอเมริกาและแคลิฟอร์เนียในปีเป้าหมาย 2 ปี คือ ค.ศ. 1994 และ ค.ศ. 2000 สำหรับประเทศสหรัฐอเมริกา เขาวิเคราะห์ข้อมูล emissions จากหลายพื้นที่ในชนบทรวมกับข้อมูลเกี่ยวกับ emissions และประสิทธิภาพเชิงพลังงานของประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับในพื้นที่แคลิฟอร์เนีย เขาได้รวบรวม emissions ที่เกิดขึ้นเพียงเฉพาะภายในรัฐ ซึ่งโดยทั่วไปมากกว่า 50% ของไฟฟ้าในประเทศสหรัฐอเมริกามาจากถ่านหิน ในขณะที่แหล่งพลังงานหลักในการผลิตไฟฟ้าในแคลิฟอร์เนียมาจากก๊าซธรรมชาติ พลังน้ำและพลังนิวเคลียร์ ดังนั้นค่า emissions ตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงทั้งหมดในแคลิฟอร์เนียจะต่ำกว่าในประเทศสหรัฐอเมริกาอย่างมีนัยสำคัญ

เขาใช้รถตรวจการณ์ขนาดเล็กแบบทั่วๆ ไป เป็นพื้นฐานในการศึกษาโดยใช้เชื้อเพลิงต่างๆ กันไป สำหรับค่า emissions จากรถยนต์ เขาสมมติตาม federal Tier 1 standards แก่ ICEV ทุกแบบยกเว้นรถยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัด ซึ่งจะใช้ the extremely low certification emission levels ของ Chrysler CNG minivan สมมติฐานแบบนี้เกิดปัญหาเพราะความแตกต่างระหว่าง emission standards และ emission certification level อาจมีค่ามากถึง 50% ยิ่งกว่านั้นทั้งสองก็ไม่ได้เป็นตัวแทนที่แท้จริงของ on-road emissions เนื่องจากความเสื่อมของระบบการควบคุม emission ตลอดอายุการใช้งานของรถ lifetime average emission rates มีค่าสูงกว่า emission standards และ emission certification levels มาก นอกจากนี้ Chrysler CNG van ยังถูกออกแบบมาเพื่อให้มี emissions ต่ำสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งถ้ารถยนต์แบบอื่นๆ ถูกผลิตผ่านมาตรฐานเดียวกัน ค่า emissions ที่ออกมาจะต้องมีค่าต่ำกว่านี้

สำหรับในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า NO_x ตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงที่เกิดจาก ICEVs ที่ใช้แกโซลีนทั่วไป, RFG, และก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีค่าพอๆกัน ICEVs ที่ใช้ E85 (ส่วนผสมของเอทานอล 85% และแกโซลีน 15% โดยปริมาตร) และ M85 (ส่วนผสมของเมทานอล 85% และแกโซลีน 15% โดยปริมาตร) ให้ NO_x สูง ส่วนรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าให้ NO_x มากที่สุด และรถยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดให้ NO_x ออกมาน้อยที่สุด

ICEVs ที่ขับเคลื่อนโดยแกโซลีนทั่วไป, RFG, ก๊าซปิโตรเลียมเหลว, E85 และ M85 มีอัตราการปล่อย ROG และ CO คล้ายคลึงกัน รถยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดมี emissions ต่ำกว่าอย่างชัดเจน และรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้ามี emissions ต่ำที่สุด ส่วนในแคลิฟอร์เนียพบว่ารถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้ามี emissions ของ NO_x, ROG และ CO ต่ำกว่า และสำหรับรถยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดนั้นให้ NO_x ออกมาต่ำที่สุด

การที่รถยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดให้ emissions ต่ำมากๆ ทั้งในประเทศสหรัฐอเมริกาและแคลิฟอร์เนีย เพราะเขาใช้มาตรฐานที่เข้มงวดซึ่งในความเป็นจริงเมื่อใช้มาตรฐานแบบทั่วๆไป เหมือนกับรถยนต์แบบอื่นๆ รถยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดจะลด emission ได้พอๆกับรถยนต์ที่ใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว

Darrow ได้เสนอค่า emissions ของก๊าซเรือนกระจกจากเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งหลายชนิด แต่ไม่ได้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับการคำนวณ เขาแสดงว่ารถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าและรถยนต์ที่ใช้ E85 และ M85 มี CO_2-equivalent emissions สูง ICEVs ที่ใช้แกโซลีนและก๊าซธรรมชาติอัดจะก่อให้เกิด emissions ของก๊าซเรือนกระจกพอๆ กัน และรถยนต์ที่ใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวจะให้ค่าต่ำที่สุด

ในงานชิ้นที่สอง เขาเปรียบเทียบ emissions จากรถยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัด และรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิง โดยใช้ข้อมูลและสมมติฐานที่เขาใช้ในการศึกษาสำหรับ GRI ได้ข้อสรุปว่า สำหรับพื้นที่ทางใต้ของแคลิฟอร์เนียร์ ค่า in-basin emission rates จากรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้า โดยทั่วไปจะต่ำกว่าจากรถยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัด แต่ค่า all-location emission rates ของ NO_x จากรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าจะสูงกว่าจากรถยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัด อย่างไรก็ตามรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าจะก่อให้เกิด all-location ROG และ CO emissions ต่ำกว่ารถยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดเสมอ

2.9 Acurex 1996 [2]

Acurex Environmental Corporation ได้ทำการศึกษา emissions ของวัฏจักรเชื้อเพลิงของ RFG และเชื้อเพลิงดีเซลสะอาด (clean diesel) และเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งชนิดอื่นๆ สำหรับ California Air Resources Board (CARB) โดยได้ศึกษาวัฏจักรเชื้อเพลิงต่างๆ ดังนี้คือ แกโซลีนทั่วไปจากปิโตรเลียม, RFG จากปิโตรเลียม, เชื้อเพลิงดีเซลสะอาดจากปิโตรเลียม, ก๊าซปิโตรเลียมเหลวจากก๊าซธรรมชาติ, เมทานอลจากก๊าซธรรมชาติ, ก๊าซธรรมชาติอัดจากก๊าซธรรมชาติ, ก๊าซธรรมชาติเหลวจากก๊าซธรรมชาติ, เมทานอลจากถ่านหิน, เมทานอลจากชีวมวล (รวมทั้ง ข้าวโพด, ไม้ และ herbaceous biomass), เอทานอลจากชีวมวล, การผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงต่างๆ และไฮโดรเจนจากการแยกน้ำด้วยไฟฟ้า โดยพิจารณามลพิษ 3 ตัว (NO_x , NMOG , CO) และก๊าซเรือนกระจก 2 ตัว (CO_2 และ CH_4) ซึ่ง NMOG emissions จากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงต่างๆ

และจากการใช้เชื้อเพลิงทดแทนต่างๆ จะถูกแปลงให้อยู่ในค่าของ ozone-forming potentials เพื่อการเปรียบเทียบ

Acurex ได้กำหนดกรอบเวลาในการประมาณ emissions ตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงในแคลิฟอร์เนีย ระหว่างปี ค.ศ.1990 ถึง ค.ศ.2010 และพิจารณา emission regulations ที่เหมาะสมกับช่วงระยะเวลาดังกล่าว โดยได้กำหนดเป็น 3 ทางเลือกในปี ค.ศ.2010 เพื่อสะท้อนถึงความเปลี่ยนแปลงของ stationary emission controls และ การประหยัดเชื้อเพลิงของรถยนต์

ในการคำนวณ emissions จากรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้า Acurex เลือกใช้ระบบการผลิตไฟฟ้า 4 แบบ คือ a marginal generation mix สำหรับรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าในแคลิฟอร์เนีย, an average generation mix ใน South Coast Air Basin, a U.S. average generation mix และ a worldwide average generation mix ซึ่งกรณีศึกษาดังกล่าวอาจนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย เนื่องจากรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าไม่ได้ใช้กันทั่วโลก

ผลสรุปของ emissions ต่อระยะทาง 1 ไมล์ของรถยนต์ในปี ค.ศ. 2010 พบว่า รถยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเหลว, ก๊าซธรรมชาติอัด, ก๊าซปิโตรเลียมเหลว และไฮโดรเจน จะก่อให้เกิด CO_2 emissions ต่ำสุด ตามด้วยรถยนต์ที่ใช้ M100 (เมทานอล 100% โดยปริมาตร) M85, E85, ดีเซล และแกโซลีน โดยรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้ามี CO_2 emissions สูงที่สุด โดย CO_2 emission rates มากกว่า 2 เท่าของรถยนต์ที่ใช้แกโซลีน

สำหรับ NO_x emissions ที่เกิดใน South Coast Air Basin พบว่ารถยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัด, ไฮโดรเจน, ก๊าซปิโตรเลียมเหลว, ไฟฟ้าและดีเซลจะก่อให้เกิด emissions ต่ำสุด ตามด้วยรถยนต์ที่ใช้ E85, M85, RFG และ M100 ส่วนรถยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเหลวจะให้ค่าสูงที่สุดเป็น 5 เท่าของรถยนต์ที่ใช้แกโซลีน

รถยนต์ที่ใช้ไฮโดรเจน, ก๊าซธรรมชาติเหลว, ไฟฟ้า, ก๊าซธรรมชาติอัด, M100 และดีเซลจะก่อให้เกิดก๊าซอินทรีย์ที่ไม่ใช่มีเทนซึ่งคิดเทียบเป็นอัตราการเกิดโอโซน (rate of ozone reactivity-adjusted NMOG emissions) ต่ำสุด ตามด้วยรถยนต์ที่ใช้ E85, M85 และรถยนต์ที่ใช้แกโซลีน ส่วนรถยนต์ที่ใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวจะให้ค่าที่สูงที่สุด

2.10 Delucchi 1997 [2]

ในปี ค.ศ.1997 Delucchi ได้เสนอรายงานที่รวบรวมและเกี่ยวพันกับการศึกษาของเขาในปี ค.ศ.1991 จากข้อมูลที่ใหม่ขึ้น เขาได้ปรับสมมติฐานของพารามิเตอร์หลายๆตัว และใช้วิธีการใหม่ๆ ในการหาพลังงานที่ใช้และ emissions ที่สัมพันธ์กับขั้นตอนต่างๆ ของวัฏจักรเชื้อเพลิง

จากการเปรียบเทียบ GREET model กับ แบบจำลองของ Delucchi แสดงให้เห็นว่า ในหลายๆ กรณี GREET model จะใช้ค่าสมมติฐานของพารามิเตอร์จากผู้ใช้แบบจำลอง ในขณะที่แบบจำลองของ Delucchi จะคำนวณค่าพารามิเตอร์จากสมมติฐานที่แน่นอน

2.11 Argonne National Laboratory et al. 1998 [2]

ในระหว่างปี ค.ศ.1993 และ ค.ศ.1996 DOE ได้มอบหมายให้ห้องปฏิบัติการระดับชาติหลายๆแห่งดำเนินการศึกษาเพื่อประเมินพลังงานและผลกระทบจาก emissions ของการใช้รถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้า เปรียบเทียบกับรถยนต์ที่ใช้แกโซลีน การศึกษาครั้งนี้เรียกว่า the Electric Vehicle Total Energy Cycle Analysis (EVTECA) ซึ่งจะประเมินผลกระทบใน 4 เมือง คือ ชิคาโก, ฮูสตัน, ลอสแองเจลิส, วอชิงตัน ดีซี ซึ่งเป็นพื้นที่ที่จำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของอากาศ และเป็นที่ที่มีรูปแบบของการใช้รถยนต์, การผลิตไฟฟ้า และคุณภาพของแกโซลีนมาตรฐานแตกต่างกันไป

นอกจากศึกษาวัฏจักรเชื้อเพลิงแล้ว EVTECA ยังได้ศึกษาวัฏจักรรถยนต์ด้วย จากการวิเคราะห์วัฏจักรรถยนต์ได้เปิดเผยให้เห็นว่า กระบวนการผลิตสำหรับรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าจะก่อให้เกิดมลพิษที่สำคัญมากกว่ากระบวนการผลิตรถยนต์ทั่วไป หลักๆแล้วเป็นเพราะว่าการผลิตแบตเตอรี่ของรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้า และการทำรีไซเคิล

ข้อสรุปจากผลลัพธ์ของการศึกษามีดังนี้

- รถยนต์ทั่วไปใช้พลังงานมากกว่ารถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้า 15-40% คิดเป็นต่อระยะทาง 1 ไมล์
- การใช้รถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าช่วยลด emissions ของ VOCs และ CO มากกว่า 90% และCO_2 25-65 %
- ทุกกรณีที่ศึกษาจะช่วยลด NO_x emissions แต่ขนาดของการลดจะต่างกันอย่างมากตามพื้นที่และขึ้นกับชนิดของกระบวนการอัดไฟ (charging process) ใน EV ที่สมมติเป็นหลัก
- รถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าจะเพิ่ม emissions ของ total suspended particulates และ SO_x
- emissions ของตะกั่วเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้ lead-acid battery-equipped EVs

2.12 Sheehan et al. 1998 [2]

ในปี ค.ศ.1998 NREL ได้เสร็จสิ้นการศึกษาสำหรับ the U.S. Department of Agriculture และ DOE เพื่อประเมินพลังงานและผลกระทบจาก emissions ตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงของการใช้ไบโอดีเซล (BD) แทนปิโตรเลียมดีเซลในรถโดยสารในเมือง การศึกษาครั้งนี้สนใจการผลิตไบโอดีเซลจากถั่วเหลือง ซึ่งเป็นผลผลิตหลักในประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับวัฏจักรเชื้อเพลิงของดีเซลจากปิโตรเลียมจะนับตั้งแต่ขั้นตอน petroleum recovery ไปจนถึงขั้นตอนการเผาไหม้ของไบโอดีเซลในรถโดยสาร การศึกษานี้ได้รวมไปถึงการใช้พลังงานฟอสซิล, การใช้ปิโตรเลียม, CO_2 emission, และ emissions ของมลพิษหลัก 5 ตัว คือ NMHC, CO, NO_x, PM_{10} และ SO_x และยังได้ประมาณค่าน้ำเสียและปริมาณขยะของแข็งที่เกิดระหว่างการผลิตไบโอดีเซลด้วย

การศึกษาครั้งนี้ยังได้รวมรายละเอียดที่สำคัญ โดยคำนึงถึงพื้นที่การผลิตทั้งของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิง พลังงานและ emissions สำหรับแต่ละขั้นตอน

life cycle model ที่ใช้ในงานครั้งนี้เป็นแบบจำลองที่ถูกพัฒนาโดย Ecobalance (บริษัทที่ปรึกษาใน Virginia)

ผลลัพธ์จากการศึกษาของ Sheehan และคณะ สรุปได้ดังนี้ การใช้เฉพาะไบโอดีเซลสามารถลดการใช้ปิโตรเลียมมากกว่า 95% ลดการใช้พลังงานฟอสซิลประมาณ 70% และลด CO_2 emissions ราว 78% ลด emissions ของ PM, CO และ SO_x ลง 32%, 35% และ 8% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการใช้ไบโอดีเซลจะเพิ่ม NO_x emissions 13% และ HC emissions 35% การเพิ่มขึ้นของ HC emissions นั้นมีสาเหตุหลักๆ มาจากขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล

2.13 Summary [2]

ทั้ง 11 การศึกษาที่ผ่านมา งานที่ทำโดย Delucchi และ Acurex ครอบคลุมที่สุดในแง่ของเชื้อเพลิงและเทคโนโลยี ตลอดงานของเขา Delucchi ได้จัดทำ spreadsheet-based model เพื่อคำนวณ emissions ของก๊าซเรือนกระจก Acurex ได้กำหนดโครงร่างเพื่อคำนวณ emissions ตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิง แต่เพราะว่าโครงร่างถูกออกแบบเฉพาะสำหรับแคลิฟอร์เนีย จึงไม่ชัดเจนว่าจะนำมาใช้เพื่อประมาณ emissions ของส่วนอื่นของประเทศสหรัฐอเมริกาได้หรือไม่ สำหรับเชื้อเพลิงที่ให้มา งานของ Argonne ในปี ค.ศ.1998 มีรายละเอียดเกี่ยวกับรถที่ใช้ไฟฟ้ามากที่สุด

งานของ NREL ในปี ค.ศ.1991 เป็นการศึกษาที่ทะลุปรุโปร่งที่สุดในเรื่อง cellulosic ethanol งานของ Sheehan และคณะในปี ค.ศ. 1998 เป็นงานที่ศึกษาอย่างกว้างขวางที่สุดเกี่ยวกับไบโอดีเซล

จากงานวิจัยของนักวิจัยและหน่วยงานต่างๆดังกล่าวข้างต้นทั้งหมด 11 งาน พบว่างานที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการศึกษาการผลิตและการใช้เชื้อเพลิงเอทานอลมีทั้งสิ้น 7 งาน คืองานในหัวข้อที่ 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.8 และหัวข้อ 2.9 ทั้ง 7 การศึกษานี้มีข้อสรุปไปในทิศทางเดียวกันคือการใช้เชื้อเพลิงผสมเอทานอลให้ผลในการลดการปล่อยมลพิษบางตัวออกมาเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงปิโตรเลียมทั่วไป แต่สัดส่วนที่ลดลงนั้นแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสมมติฐานของแต่ละงานที่ศึกษา

แต่มีบางส่วนของข้อสรุปในบางงานที่สรุปตรงข้ามคือ เชื้อเพลิงผสมเอทานอลอาจให้ผลในการปล่อยมลพิษบางตัวสูงกว่าเชื้อเพลิงปิโตรเลียมทั่วไป พบได้ในงานของ Darrow หัวข้อที่ 2.8 งานของ NREL หัวข้อ 2.3 และงานของ Delucchi หัวข้อที่ 2.2

ส่วนงานในหัวข้อ 2.7, 2.10 และ 2.11 ซึ่งไม่ได้ศึกษาเชื้อเพลิงเอทานอล แต่มีประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ ช่วยทำให้เกิดภาพที่ชัดเจนยิ่งขึ้นเกี่ยวกับการกำหนดขอบเขตและวิธีการในการศึกษา LCA ในวัฏจักรเชื้อเพลิงและวัฏจักรรถยนต์

ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ข้อมูลทุติยภูมิเป็นหลักดังนั้นจึงจะกล่าวถึงงานวิจัยบางส่วนที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลที่มีความสำคัญและนำมาใช้ประกอบการคำนวณสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ เช่นเดียวกับงานของ Bently et al. และ Brogan and Venkateswaran

2.14 GREET Model

GREET คือ spreadsheet model computer ซึ่งย่อมาจาก Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation โดยพารามิเตอร์ที่พิจารณาของแต่ละชนิดของ transportation fuel/technology มีดังนี้ คือ Total energy, Fossil fuels, Petroleum ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ด้านพลังงาน ส่วนก๊าซเรือนกระจกมี 3 ตัว คือ CO_2, CH_4, และ N_2O และพิจารณามลพิษอีก 5 ตัว คือ VOCs, CO, NO_x, PM_{10} และ SO_x [3]

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับเอทานอล เอทานอลใน GREET Model เป็น anhydrous ethanol ที่ผลิตจาก corn, woody biomass และ herbaceous biomass เอทานอลจาก corn มีการผลิต 2

แบบ คือ แบบ wet mill และแบบ dry mill แต่ละแบบการประมาณค่า energy credit และ emissions credit สำหรับ ethanol co-product ใช้ displacement method หรือ market value method สำหรับเอทานอลจาก woody biomass และ herbaceous biomass ประมาณค่า energy credit และ emissions credit สำหรับ cogenerated electricity ใน cellulosic ethanol plant โดย displacement method [3]

สำหรับงานวิจัยครั้งนี้เนื่องจากพิจารณาการผลิตทั้งเอทานอล 95% และเอทานอล 99.5% จากกากน้ำตาลในประเทศไทย วิธีการหา energy credit และ emissions credit สำหรับกากน้ำตาลซึ่งเป็น co-product ของโรงงานน้ำตาลจึงใช้วิธีการ economic value [4] นอกจากนี้ใน GREET Model ไม่ได้มีการพิจารณาเชื้อเพลิงดีโซฮอลทำให้การคำนวณโดย GREET Model โดยตรงทำไม่ได้ จึงใช้แนวทางวิธีการคำนวณใน GREET Model และข้อมูล emissions factor ของเชื้อเพลิงต่างๆที่ถูกเผาไหม้โดยเทคโนโลยีต่างๆ และพลังงานการผลิตตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงต่างๆมาเป็นข้อมูลในการคำนวณ

2.15 การใช้ปุ๋ยและเชื้อเพลิงในไร่อ้อย

จากรายงาน [5] เรื่อง “ผลของอัตราปุ๋ยเคมีและการแบ่งใส่ต่อผลผลิตอ้อยในดินทรายภาคตะวันออกเฉียงเหนือ” ของ ศรีสุดา ทิพยรักษ์และคณะ ซึ่งศึกษาอัตราและการแบ่งใส่ปุ๋ย 15-15-15 ในการปลูกอ้อยพันธุ์อู่ทอง 1 จากผลการทดลองพบว่าการใส่ปุ๋ย 15-15-15 อัตรา 100 กิโลกรัม/ไร่ ให้ผลผลิตสูงกว่าการใส่ปุ๋ย 50 กิโลกรัม/ไร่ และการปลูกอ้อยข้ามแล้งควรใส่ปุ๋ยอัตรา 100 กิโลกรัม/ไร่ ทั้งในอ้อยปลูกและอ้อยตอปีที่ 1

จากรายงาน [6] เรื่อง “การศึกษาพฤติกรรมและรูปแบบการใช้พลังงานในการเพาะปลูกอ้อย” ซึ่งดำเนินการศึกษาโดยคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยเก็บรวบรวมข้อมูลโดยวิธีการสัมภาษณ์ ตรวจวัดและทดสอบกิจกรรมการเพาะปลูกในครัวเรือนเป้าหมาย 1,000 ครัวเรือน พบว่าโดยเฉลี่ยแล้วมีการใช้น้ำมันดีเซล 5.54 ลิตรต่อไร่ และน้ำมันเบนซิน 0.02 ลิตรต่อไร่ในการทำไร่อ้อย

2.16 การประเมินพลังงานในโรงงานน้ำตาล [7]

จากรายงานการศึกษาเรื่อง การใช้และการประหยัดพลังงานในโรงงานน้ำตาล ซึ่งดำเนินการในปี พ.ศ 2540/41 โดยสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่าดำเนินการโดยมีจุดประสงค์เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพและลดการสูญเสียพลังงานในกระบวนการผลิต เพื่อลดต้นทุนการผลิตน้ำตาลทรายและเสริมสร้างศักยภาพในการแข่งขันกับต่างประเทศ

โดยการศึกษาและตรวจวัดพลังงานได้กระทำอย่างละเอียดในโรงงานน้ำตาล 6 แห่งจากทั้งหมด 46 โรงงานทั่วประเทศไทย โดยโรงงาน ก ตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โรงงาน ข และ ฉ ตั้งอยู่ในภาคเหนือ โรงงาน ค ตั้งอยู่ในภาคตะวันออก และโรงงาน ง และ จ ตั้งอยู่ในภาคกลาง การดำเนินการแบ่งเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ ทำการตรวจสอบ ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเข้าของพลังงาน (energy input) และการสูญเสียพลังงานในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายเพื่อวิเคราะห์สมดุลของพลังงานที่ใช้ในโรงงานน้ำตาลทราย ส่วนที่สองจะเป็นการศึกษาและวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการผลิตต่อกิโลกรัมของน้ำตาลทรายและศึกษาการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อลดต้นทุนด้านพลังงานในการผลิตน้ำตาลทราย

จากรายงานฉบับนี้ มีความสำคัญกับงานวิจัยครั้งนี้โดยให้ข้อมูลที่มีความจำเป็นดังนี้ คือ ข้อมูลเข้า (energy input) ของแต่ละโรงงาน ซึ่งคำนวณจากปริมาณการใช้กากอ้อยของแต่ละโรงงานคูณกับค่า LHV ของกากอ้อยของแต่ละโรงงานนั้น ปริมาณกากอ้อยเหลือเพื่อคำนวณศักยภาพของพลังงานจากกากอ้อยที่สามารถนำไปผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลต่อได้ นอกจากนี้ยังมีข้อมูลประสิทธิภาพเฉลี่ยของหม้อต้มไอน้ำ (boiler) ของแต่ละโรงงานซึ่งนำมาใช้ในการคำนวณในกรณีที่ต้องทดแทนกากอ้อยด้วยเชื้อเพลิงชนิดอื่น เช่น ถ่านหิน เป็นต้น เพื่อหาพลังงานนำเข้าที่ต้องการ และยังให้ข้อมูลคุณภาพของกากอ้อยของแต่ละโรงงาน ที่สำคัญก็คือ เปอร์เซนต์ความชื้นของกากอ้อย เนื่องจากรายงานฉบับนี้ไม่ได้ให้ข้อมูลปริมาณผลิตภัณฑ์ออกจากโรงงานน้ำตาลซึ่งก็คือ น้ำตาลและกากน้ำตาล จึงต้องอาศัยข้อมูลเหล่านี้จากสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทรายเข้ามาเพิ่มเติม ซึ่งตัวอย่างโรงงาน ก สามารถผลิตน้ำตาลได้เฉลี่ย 109.941 กก./อ้อย 1 ตัน และผลิตกากน้ำตาลได้เฉลี่ย 49.290 กก./อ้อย 1 ตัน เป็นต้น

2.17 การผลิตเอทานอล

จากงาน [4] ของ Tom Beer และคณะ ซึ่งเป็นการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่งโดยวิเคราะห์ emissions ตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงทดแทนที่ใช้ในรถบรรทุกหนัก ในบทที่ 6 เรื่อง hydrated ethanol กล่าวไว้ว่า กากน้ำตาล 4.32 กิโลกรัมสามารถผลิตเป็นเอทานอล 95% ได้ 1 กิโลกรัม หรือ 1.27 ลิตร โดยใช้พลังงานนำเข้าในการผลิต 13.1 MJ ในงานเดียวกันนี้ใช้วิธีการจัดสรร emissions ระหว่างกากน้ำตาลกับน้ำตาลโดยใช้สัดส่วนมูลค่าหรือวิธี economic value โดยที่กากน้ำตาลมีราคาประมาณ 50 เหรียญต่อตัน และน้ำตาลมีราคาประมาณ 350 เหรียญต่อตัน โดยที่ sugar syrup 24.93 กก. ผลิต refined sugar ได้ 20.6 กก. และ กากน้ำตาลได้ 4.32 กก. ซึ่งคำนวณสัดส่วนการจัดสรร emissions ให้กากน้ำตาลได้ 2.9% ซึ่งข้อมูลและวิธีการคำนวณดังกล่าวมีความสำคัญและจะนำมาใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

2.18 ดีโซฮอล

ดีโซฮอลคือเชื้อเพลิงผสมระหว่างน้ำมันดีเซลกับเอทานอลซึ่งเอทานอลที่ใช้อาจเป็นเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 95% (hydrated ethanol) หรือเอทานอลที่มีความบริสุทธ์ 99.5% (anhydrous ethanol) โดยต้องมีอิมัลซิไฟเออร์เป็นตัวช่วยในการทำให้เอทานอลกับน้ำมันดีเซลผสมเข้ากันเป็นเนื้อเดียว เนื่องจากเป็นเรื่องใหม่และมีข้อมูลจำกัด ประกอบกับในประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายที่กำหนดองค์ประกอบที่แน่นอนของเอทานอล น้ำมันดีเซลและอิมัลซิไฟเออร์ในดีโซฮอล [8] อีกทั้งยังอยู่ในช่วงของการทดสอบผลจากการใช้งานดีโซฮอลที่มีสัดส่วนของเอทานอลต่างๆกันในรถยนต์ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ซึ่งศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการใช้เอทานอล 95% กับเอทานอล 99.5% ในการผสมกับน้ำมันดีเซลเป็นดีโซฮอล 95% และดีโซฮอล 99.5% ตามลำดับ จึงพิจารณานำสัดส่วนการผสมดีโซฮอล 95% จากงานของ Tom Beer และคณะ [9] คือดีโซฮอล 95% 1 ลิตรประกอบด้วยน้ำมันดีเซล 84.5% โดยปริมาตร เอทานอล 95% ปริมาณ 15% โดยปริมาตร และที่เหลืออีก 0.5% เป็นอิมัลซิไฟเออร์มาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง ในขณะที่สัดส่วนการผสมดีโซฮอล 99.5% 1 ลิตร เลือกใช้จากงานของ พิสุทธิ์ ธนบดีภัทร์ [10] และจากงานของ Corkwell K. และคณะ [11] คือดีโซฮอล 99.5% 1 ลิตรประกอบด้วยน้ำมันดีเซล 89% โดยปริมาตร เอทานอล 99.5% ปริมาณ 10% โดยปริมาตร และที่เหลืออีก 1% เป็นอิมัลซิไฟเออร์มาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง

บทที่ 3

สถานการณ์การใช้พลังงานและศักยภาพในการผลิตเอทานอลจากอ้อยและน้ำตาลในประเทศไทย

เนื้อหาของบทที่ 3 นี้เป็นการรวบรวมความรู้ทั่วไปและข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานและศักยภาพในการผลิตอ้อย น้ำตาล และเอทานอลจากอ้อยและกากน้ำตาลในประเทศไทย

เนื้อหาทั้งหมดของบทนี้ เรียบเรียงขึ้นโดยมีจุดประสงค์เพื่อเป็นพื้นฐานสำคัญในการช่วยให้เกิดความเข้าใจเบื้องต้นและมองเห็นภาพได้ง่ายขึ้นต่อลักษณะของสภาพการผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลเพื่อทดแทนเชื้อเพลิงปิโตรเลียมภายในประเทศไทย

3.1 สภาพการณ์การใช้พลังงานของประเทศไทย

ในสถานการณ์ที่ราคาน้ำมันในตลาดโลกได้ปรับตัวสูง จะส่งผลให้ราคาขายปลีกน้ำมันในประเทศไทยปรับตัวสูงขึ้น การสูงขึ้นของราคาน้ำมันจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทยทั้งระบบเศรษฐกิจมหภาคและจุลภาคอันส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของประชาชนทั่วๆไป [12] อันอาจกล่าวได้ว่าเป็นผลกระทบจากการที่ประเทศไทยต้องพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ ตารางที่ 3-1 แสดงการผลิตและการนำเข้าน้ำมันดิบ ส่วนตารางที่ 3-2 ถึงตารางที่ 3-4 แสดงการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแยกตามผลิตภัณฑ์ ภาคการผลิตและประเภทรถยนต์ตามลำดับ

ตารางที่ 3-1 แสดงการผลิตและการนำเข้าน้ำมันดิบ [12]

	ปริมาณ (ล้านลิตร)		มูลค่า (ล้านบาท)	
	ปี 2541	ปี 2542 (7 เดือน)	ปี 2541	ปี 2542 (7 เดือน)
ผลิตในประเทศ	1,569	805	5,088	2,879
นำเข้า	39,242	23,287	136,456	75,362
การใช้และการส่งออกน้ำมันสำเร็จรูป	41,780	25,413		

จากตารางที่ 3-1 พบว่าประเทศไทยผลิตน้ำมันดิบได้เพียง 3.998% ของปริมาณน้ำมันดิบนำเข้าในปี 2541 และเป็น 3.457% ใน 7 เดือนแรกของปี 2542

ตารางที่ 3-2 แสดงการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแยกตามผลิตภัณฑ์ [12]

ชนิดน้ำมัน	ปริมาณ (ล้านลิตร)		สัดส่วน (%)	
	ปี 2541	ปี 2542 (7 เดือน)	ปี 2541	ปี 2542 (7 เดือน)
น้ำมันเบนซิน	7,173	4,152	19.6	19.3
น้ำมันดีเซล	15,265	9,109	41.8	42.2
น้ำมันก๊าด	55	31	0.1	0.1
น้ำมันเครื่องบิน	3,315	1,923	9.1	8.9
น้ำมันเตา	7,941	4,713	21.8	21.8
ก๊าซปิโตรเลียมเหลว	2,757	1,654	7.6	7.7
รวม	36,525	21,583	100.0	100.0

จากตารางที่ 3-2 พบว่าน้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีการใช้มากที่สุดคิดเป็น 41.8% ในปี 2541 และ 42.2% ใน 7 เดือนแรกของปี 2542

ตารางที่ 3-3 แสดงการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแยกตามภาคการผลิต ปี 2541 [12]

สาขาการผลิต	ปริมาณ (ล้านลิตร)			สัดส่วน (%)		
	เบนซิน	ดีเซล	เตา	เบนซิน	ดีเซล	เตา
เกษตรกรรม	62.7	1,596.2	17.5	0.9	10.5	0.2
เหมืองแร่	-	30.4	6.4	-	0.2	0.1
อุตสาหกรรม	80.1	664.1	2,836.5	1.1	4.4	35.7
ไฟฟ้า	-	305.7	4,252.6	-	2.0	53.6
ก่อสร้าง	14.2	194.5	41.8	0.2	1.3	0.5
ที่อยู่อาศัยและการพาณิชย์	-	4.6	142.3	-	-	1.8
คมนาคมขนส่ง	7,016.1	12,371.7	643.4	97.8	81.6	8.1
รวม	7,173.1	15,167.2	7,940.5	100.0	100.0	100.0

จากตารางที่ 3-3 พบว่าการใช้น้ำมันดีเซลในภาคคมนาคมขนส่งมีปริมาณถึง 81.6% ของปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลทั้งหมดในปี

ตารางที่ 3-4 แสดงการใช้น้ำมันในภาคการขนส่งแยกตามประเภทรถยนต์ ปี 2541 [12]

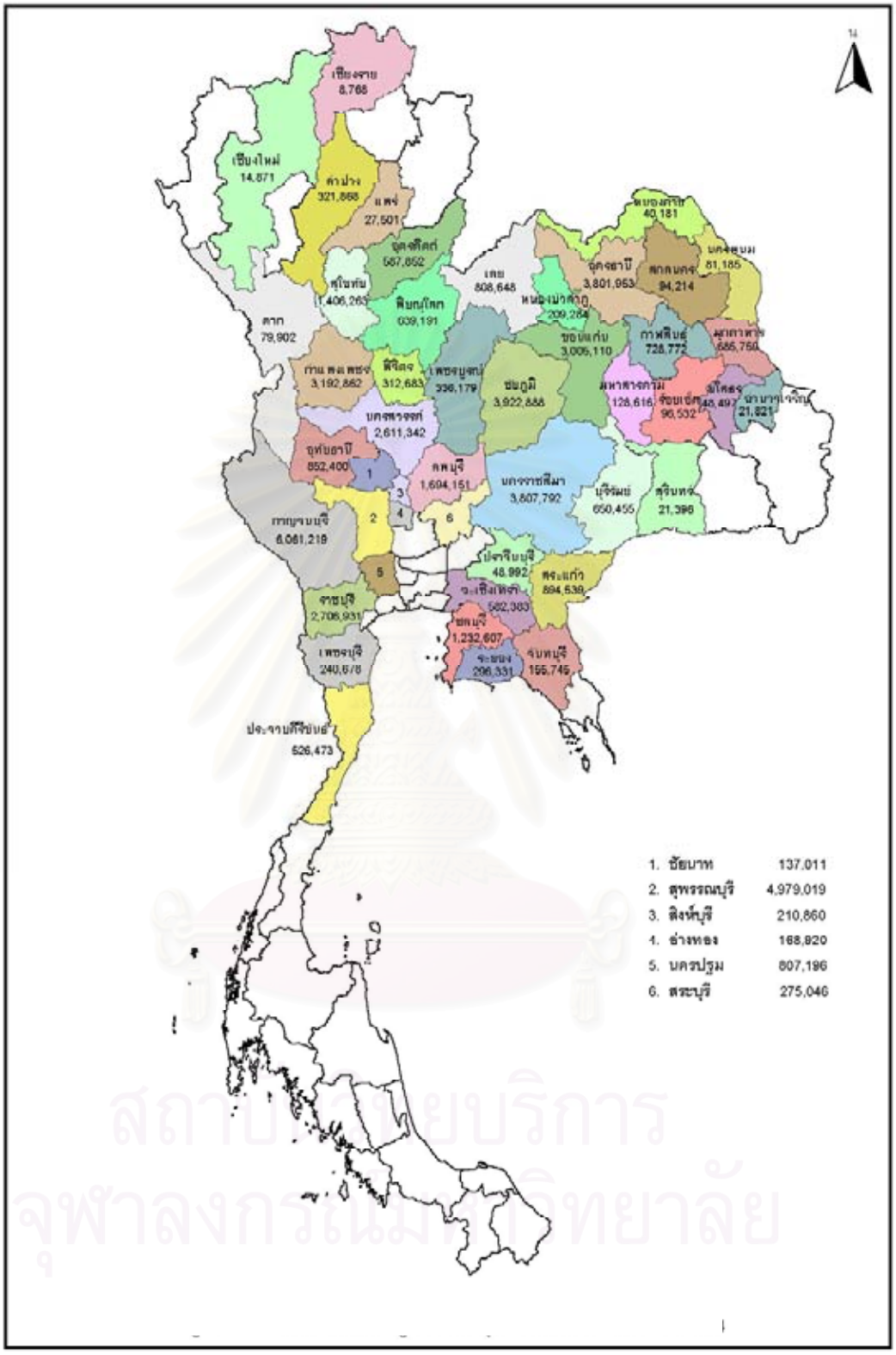
	น้ำมันเบนซิน		น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว	
	ปริมาณ (ล้านลิตร)	สัดส่วน (%)	ปริมาณ (ล้านลิตร)	สัดส่วน (%)
รถบรรทุก	-	-	6,354	51.4
รถปิคอัพ	528	7.6	3,043	24.6
รถโดยสาร	-	-	2,256	18.2
รถส่วนบุคคล	3,021	43.6	136	1.1
รถแท็กซี่	1,147	16.6	49	0.4
รถจักรยานยนต์	2,225	32.2	-	-
อื่นๆ	-	-	534	4.3
รวม	6,921	100.0	12,372	100.0

จากตารางที่ 3-4 พบว่าการใช้น้ำมันดีเซลในภาคการขนส่งในปี 2541 จะใช้มากในรถบรรทุกและรถปิคอัพโดยมีสัดส่วน 51.4% และ 24.6% ตามลำดับ

3.2 การผลิตอ้อยและศักยภาพในการผลิต

อ้อยเป็นพืชซึ่งมีระยะเวลาเจริญเติบโตประมาณ 10-20 เดือน นิยมปลูกกันเป็น 2 ระยะ คือ ในช่วงต้นฤดูฝนระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม และในช่วงปลายฤดูฝนระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงมกราคม [13] เนื่องจากต้องอาศัยน้ำฝนในแต่ละปี การปลูกอ้อยต้นฝนส่วนมากปฏิบัติกันในภาคกลางและภาคเหนือ ส่วนวิธีการปลูกอ้อยปลายฝนส่วนมากปฏิบัติกันในภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือด้วย [14]

ประเทศไทยมีเนื้อที่เพาะปลูกอ้อยทั้งหมดประมาณ 5,481,393 ไร่ [15] พื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่จะอยู่ในภาคต่างๆยกเว้นภาคใต้ตั้งแต่จังหวัดชุมพรลงไปที่ไม่มีการเพาะปลูกเพื่ออุตสาหกรรมน้ำตาล รูปที่ 3-1 แสดงจังหวัดที่ปลูกอ้อยเพื่ออุตสาหกรรมน้ำตาลในปีการผลิต 2543/44 พร้อมปริมาณผลิตมีหน่วยเป็น ตัน



รูปที่ 3-1 แสดงจังหวัดที่ปลูกอ้อยเพื่ออุตสาหกรรมน้ำตาลในปี 2543/44 [15]

3.2.1 **การเพาะปลูก** วิธีการปลูกอ้อยแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือการปลูกอ้อยโดยใช้แรงงานคนและการปลูกอ้อยโดยใช้เครื่องปลูก [16]

3.2.1.1 **การปลูกอ้อยโดยใช้แรงงานคน** เริ่มจากการเตรียมดินด้วยพรวน 7 จาน จากนั้นใช้จานชักร่องหรือหัวหมูชักร่องเปิดดินให้เป็นแนวร่องในระยะ 1.0-1.50 เมตรขึ้นอยู่กับแต่ละท้องที่ อย่างไรก็ตามในแปลงที่คาดว่าจะใช้เครื่องจักรในการบำรุงรักษา ระยะร่องอย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 1.30 เมตร หลังจากนั้นจะวางท่อนพันธุ์อ้อยซึ่งมี 2-3 ตา ลงไป ใส่ปุ๋ยแล้วกลบด้วยจอบ [16]

3.2.1.2 **การปลูกอ้อยโดยใช้เครื่องปลูก** เครื่องปลูกอ้อยที่ใช้กันในประเทศไทยมีอยู่ 3 แบบด้วยกัน คือ

-เครื่องปลูกอ้อยแบบป้อนบน เป็นชนิดที่พบการใช้อย่างแพร่หลายทั้งในเขตจังหวัดกาญจนบุรี ชัยภูมิ อุดรธานี ซึ่งวิธีการปลูกค่อนข้างง่าย ประหยัดแรงงาน แต่ค่อนข้างจำกัดเรื่องปริมาณพันธุ์อ้อยที่ใช้ในแต่ละครั้ง เพราะต้องใช้เวลานานในการจัดเรียง ประสิทธิภาพการปลูกต่อวันอยู่ที่ 5-10 ไร่ขึ้นอยู่กับความยาวของพันธุ์อ้อยและความยาวของแปลง

-เครื่องปลูกอ้อยแบบป้อนท้าย ลักษณะคล้ายกับเครื่องปลูกแนวนอน แต่แบบนี้การเสียบพันธุ์จะเสียบจากด้านท้าย ซึ่งเป็นเทรลเลอร์พ่วงเครื่องบรรทุกอ้อยพันธุ์ได้ประมาณ 1.5-2 ตัน ประสิทธิภาพการปลูกต่อวันอยู่ที่ 12-15 ไร่

-เครื่องปลูกอ้อยแบบท่อน (Bellet) เริ่มมีผู้ใช้บ้างในบางพื้นที่แต่ไม่เป็นที่นิยมเพราะราคาค่อนข้างแพงและต้องใช้รถตัดอ้อยในการตัดอ้อยพันธุ์ นิยมใช้ในออสเตรเลีย [16]

3.2.2 **การบำรุงดูแลรักษา**

3.2.2.1 **การใส่ปุ๋ย** แบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือการใส่ปุ๋ยครั้งแรกหรือการรองพื้นพร้อมปลูกและการใส่ปุ๋ยแต่งหน้า ซึ่งหลังจากปลูกอ้อยแล้วจะมีการเจริญเติบโตอยู่ 4 ระยะที่มีความแตกต่างค่อนข้างชัดเจนคือ

-ระยะงอก ตั้งแต่ปลูกจนหน่อโผล่พ้นพื้นดินซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 3-6 สัปดาห์ ช่วงนี้อ้อยจะใช้อาหารที่มีอยู่ในท่อนพันธุ์และความชื้นในดินเพื่อการงอก

-ระยะแตกกอ (tillering phase) ซึ่งจะมีการเพิ่มจำนวนด้วยการแตกกอในช่วง 2-3 เดือน การแตกกอจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อม ระยะนี้อ้อยจะต้องการน้ำและปุ๋ยไนโตรเจนมากเพื่อส่งเสริมการแตกกอและการเติบโตของหน่อ ซึ่งการแตกกอมากจะได้จำนวนลำมาก ทำให้ผลผลิตสูงขึ้น

-ระยะย่างปล้อง (elongation phase) ระยะนี้จะเป็นตัวกำหนดขนาดหรือ น้ำหนัก/ลำ หรือ น้ำหนักอ้อย/ไร่ อ้อยจะเจริญเติบโตเร็วที่สุด ต้องการปัจจัยต่างๆในการเจริญเติบโต เช่น แสงแดด อุณหภูมิ น้ำ และปุ๋ยไนโตรเจนมากเช่นกัน เพื่อการสะสมน้ำหนักในช่วง 4-5 เดือน

-ระยะสุกแก่ (maturity phase) ตั้งแต่อ้อยอายุ 8 เดือนจนถึงเก็บเกี่ยว การเจริญเติบโตทางด้านลำต้นจะลดลง อ้อยจะเริ่มสะสมน้ำตาล ต้องการน้ำและปุ๋ยน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม่ควรใส่ปุ๋ยที่มีไนโตรเจนสูงในช่วงนี้ เนื่องจากจะทำให้การสะสมน้ำตาลลดลง

จากการเจริญเติบโตของอ้อยทั้ง 4 ระยะดังกล่าวจะเห็นว่าช่วงที่มีความสำคัญต่อการกำหนดผลผลิตต่อไร่มากที่สุดก็คือช่วงการแตกกอและย่างปล้อง เพราะอ้อยจะมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว หน่ออ้อยชุดแรกจะมีการขยายขนาด เพิ่มจำนวนใบและเริ่มสร้างหน่อชุดที่สอง ดังนั้นจึงต้องการปุ๋ยมากขึ้น และปุ๋ยที่ใส่ให้แก่อ้อยในช่วงนี้ก็ควรเป็นปุ๋ยที่มีธาตุไนโตรเจนสูงเป็นหลัก [17]

การใส่ปุ๋ยในกรณีที่ใช้แรงงานคน จะใช้จอบเปิดหน้าดินบริเวณข้างกออ้อยให้เป็นร่องลึกประมาณหนึ่งหน้าจอบ ห่างจากกอประมาณหนึ่งคืบแล้วจึงโรยปุ๋ยในร่อง ทำวิธีนี้จะลดการสูญเสียได้มากหรืออาจใช้เครื่องใส่ปุ๋ยติดท้ายรถไถ หรือรถไถนาเดินตามซึ่งสามารถพรวนดินในระหว่างร่องไปด้วยเป็นการรักษาความชื้นในดินและยังช่วยให้น้ำฝนที่ตกหลังจากนั้นซึมลงดินได้ง่าย ทั้งยังช่วยกำจัดรากตื้นๆให้อ้อยแทงรากลึกมากขึ้นสามารถทนแล้งได้ดี การพรวนดินควรทำหลังฝนตก 2-3 วัน หรือเมื่อสามารถพรวนได้ การใส่ปุ๋ยแต่งหน้าควรทำ 2 ครั้ง ในช่วงแตกกอและย่างปล้อง แต่ในทางปฏิบัติชาวไร่มักทำเพียงครั้งเดียวซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย หรือบางรายจะใส่ปุ๋ยเพิ่มมากกว่าปกติในครั้งเดียว แต่การปฏิบัติดังกล่าวอ้อยไม่สามารถดูดใช้ได้หมดทำให้เกิดการสูญเสียปุ๋ยค่อนข้างมาก [17]

3.2.2.2 **การกำจัดศัตรูพืช** ศัตรูพืชของอ้อยมีทั้งวัชพืชและแมลงศัตรูพืชรวมถึงโรคของอ้อยที่เกิดจากเชื้อโรค การป้องกันกำจัดโรคจะใช้วิธีการแช่ท่อนพันธุ์ในน้ำร้อนหรือสารป้องกันกำจัดโรคพืช ปลูกอ้อยพันธุ์ที่ต้านทานต่อโรค ส่วนการกำจัดแมลงศัตรูพืชมีหลายวิธีการทั้งการใช้สารเคมีกำจัด เลือกใช้พันธุ์อ้อยที่ทนทานต่อแมลงศัตรูพืช หรือใช้การควบคุมแมลงศัตรูพืชด้วยแมลงหรือสิ่งมีชีวิตอีกชนิดหนึ่ง ส่วนการกำจัดวัชพืชนั้น ส่วนใหญ่จะใช้แรงงานหรือเครื่องจักรกลซึ่งถ้ายังไม่เพียงพอก็จะใช้สารเคมีช่วยในการกำจัด [18] จากงานของ Boontum and Thumtong 1998 กล่าวไว้ว่า ในทางปฏิบัติการควบคุมวัชพืชส่วนใหญ่จะใช้แรงงานคน แต่ก็มีการใช้เครื่องจักรกลและยาปราบศัตรูพืชด้วยในกรณีที่ขาดแคลนแรงงาน [19] นอกจากนี้จากรายงานเรื่องอุตสาหกรรมน้ำตาลไทย ยังได้กล่าวไว้ว่า การควบคุมวัชพืชส่วนใหญ่ใช้แรงงานคน ในบางกรณีถ้าขาดแคลนก็จำเป็นต้องใช้สารเคมีและเครื่องจักรช่วย [14]

3.2.3 การเก็บเกี่ยว

การเก็บเกี่ยวนับว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในการปลูกอ้อยให้ได้กำไรสูงสุด เพราะจุดสุดท้ายของการประสบความสำเร็จอยู่ที่การเก็บเกี่ยวให้ได้ผลผลิตและคุณภาพสูงสุดโดยมีการสูญเสียในแปลงก่อนเข้าขบวนการผลิตน้ำตาลให้น้อยที่สุด ในการตัดอ้อยควรวางแผนการเก็บเกี่ยวให้ชัดเจนโดยพิจารณาถึงข้อต่างๆดังนี้

-ความสุกแก่ของอ้อยแต่ละพันธุ์แต่ละประเภทโดยใช้ Hand Refractometer ในการตรวจสอบซึ่งควรทำการเก็บเกี่ยวอ้อยตอที่เป็นพันธุ์เบา พันธุ์กลาง พันธุ์หนัก และอ้อยปลูกใหม่ ตามลำดับ

-ความสะดวกในการขนย้ายออกจากไร่ และความชื้นในดิน

-ความเสี่ยงในพื้นที่ที่เคยไฟไหม้ และห่างไกล

-ตัดอ้อยก่อนล้ม เพื่อลดความเสียหายจากการเข้าทำลายของหนู

นอกจากนี้ต้องมีการซ่อมถนนและทางเข้าไร่ให้มีการบรรทุกอ้อยเข้าโรงงานได้ง่ายและควรมีการวางแผนป้องกันอ้อยไฟไหม้ด้วย หลักในการเก็บเกี่ยวอ้อยคือให้ได้ผลผลิตและคุณภาพสูงต้องมีการดำเนินการดังนี้

-ตัดอ้อยให้ชิดดิน เพราะเป็นส่วนที่หวานที่สุดและเป็นการประหยัดการตัดแต่งตอได้อีกด้วย

-ตัดอ้อยเข้าโรงงานให้เร็วที่สุดไม่ควรให้มีอ้อยตกค้างในไร่หรือรถบรรทุกเพราะจะทำให้สูญเสียน้ำหนัก

-ควรตัดอ้อยสดเพราะจะได้ผลประโยชน์มากกว่าการเผาตัดทิ้งในแง่รายได้ที่เพิ่มขึ้นและประหยัดต้นทุนค่าปุ๋ยในระยะยาว [20]

อ้อยที่ปลูกสามารถเก็บเกี่ยวได้ 3 ครั้งๆละ 1 ปี เรียกอ้อยตอใหม่ อ้อยตอ 1 ปี และอ้อยตอปี 2 การตัดอ้อยหลังจากฝนหยุดตกประมาณ 10-15 วัน จึงจะให้ความหวานสูง สำหรับประเทศไทยอ้อยจะสะสมน้ำตาลในระดับสูงราวเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน ซึ่งเป็นช่วงที่โรงงานเปิดหีบอ้อย แต่อ้อยจะมีความหวานเพิ่มขึ้นสูงสุดประมาณเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ [13]

การตัดอ้อยโดยทั่วไปยังใช้แรงงานคนจากภาคอีสานมากกว่าที่จะใช้เครื่องจักร ปัจจุบันชาวไร่อ้อยประสบกับปัญหาขาดแคลนแรงงานตัดอ้อยและค่าแรงงานก็เพิ่มสูงขึ้นจึงมีชาวไร่อ้อยขนาดใหญ่บางรายซื้อรถตัดอ้อยมาใช้แต่ราคาแพงมาก [13] จากงานของ Boontum and Thumtong 1998 กล่าวว่า 90%ของอ้อยที่ถูกเก็บเกี่ยวจะใช้แรงงานคน [19] เมื่ออ้อยตัดแล้วก็จะขนโดยรถเทรลเลอร์ไปโรงงานซึ่งใช้วิธีนี้มีเพียงไม่เกิน 10% และใช้รถไฟขนมีน้อยหรือไม่มีเลย ส่วนใหญ่การ

ขนส่งอ้อยจะใช้รถ 10 ล้อ บรรทุกได้หนักถึงคันละ 20 ตันหรือมากกว่านี้เพื่อขนส่งอ้อยเข้าโรงงานต่อไป [14]

3.2.4 ผลผลิตอ้อย

3.2.4.1 **พันธุ์อ้อย** การเลือกพันธุ์อ้อยที่จะปลูกต้องดูความเหมาะสมของอายุของพันธุ์ที่จะเก็บเกี่ยว คือ ธรรมดาของอ้อยนั้นจะแบ่งออกเป็น 3 พันธุ์ คือ พันธุ์เบา พันธุ์กลาง และพันธุ์หนัก พันธุ์เบามีอายุเก็บเกี่ยวสั้นเพียง 8-10 เดือน เหมาะที่จะตัดต้นฤดูหีบ และอ้อยพันธุ์หนักอายุเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 12 เดือนขึ้นไปเหมาะที่จะตัดปลายฤดูหีบ ในปัจจุบันมีชื่อพันธุ์อ้อยที่นิยมปลูกในทางการค้าในประเทศจริงๆก็มีเพียง 20-30 พันธุ์เท่านั้น [21]

3.2.4.2 **ปริมาณ** ในปีการผลิต 2543/44 ประเทศไทยมีผลผลิตอ้อยเฉลี่ยที่เก็บได้ 9.042 ตัน/ไร่ และผลผลิตอ้อยที่เก็บเกี่ยวได้รวมทั้งประเทศ 49,563,000 ตัน [15] ซึ่งแสดงการจำแนกปริมาณแบ่งตามภาคไว้ในรูปที่ 3-2 และแสดงเนื้อที่และผลผลิตของอ้อยในปีต่างๆไว้ในตารางที่ 3-5

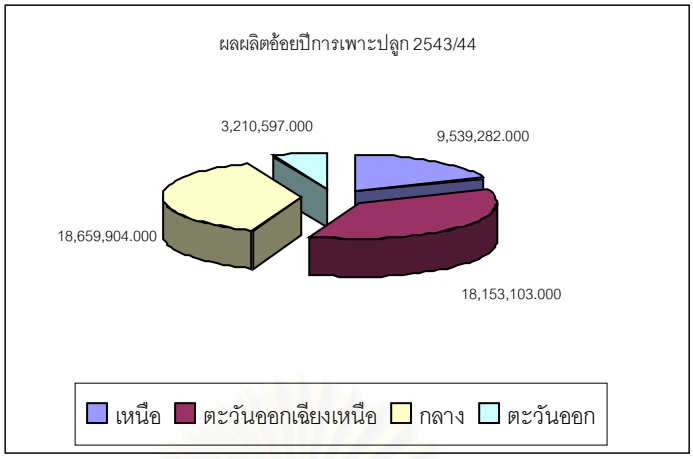
ตารางที่ 3-5 แสดงเนื้อที่และผลผลิตของอ้อยในปีต่างๆ [15]

ปีเพาะปลูก	เนื้อที่เพาะปลูก(1,000 ไร่)	เนื้อที่เก็บเกี่ยว(1,000 ไร่)	ผลผลิต (1,000 ตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (กก.)
2535/36	6,267	6,198	39,827	6,426
2536/37	5,355	4,997	37,823	7,569
2537/38	5,887	5,767	50,597	8,774
2538/39	6,279	6,156	57,974	9,417
2539/40	6,314	6,127	56,394	9,204
2540/41	5,897	-	46,873	1/ 7,949
2541/42	5,735	-	50,332	1/ 8,776
(r) 2542/43	5,862	-	52,813	1/ 9,010
(r) 2543/44	5,481	-	49,563	1/ 9,042
(f) 2544/45	6,320	-	60,013	1/ 9,496

หมายเหตุ : 1/ ผลผลิตต่อเนื้อที่เพาะปลูกปีเพาะปลูก 2542/43 สำรวจโดยสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย และ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร

r = ตัวเลขแก้ไขใหม่ [15] หมายถึงตัวเลขที่แก้ไขจากตัวเลขจากการคาดคะเน

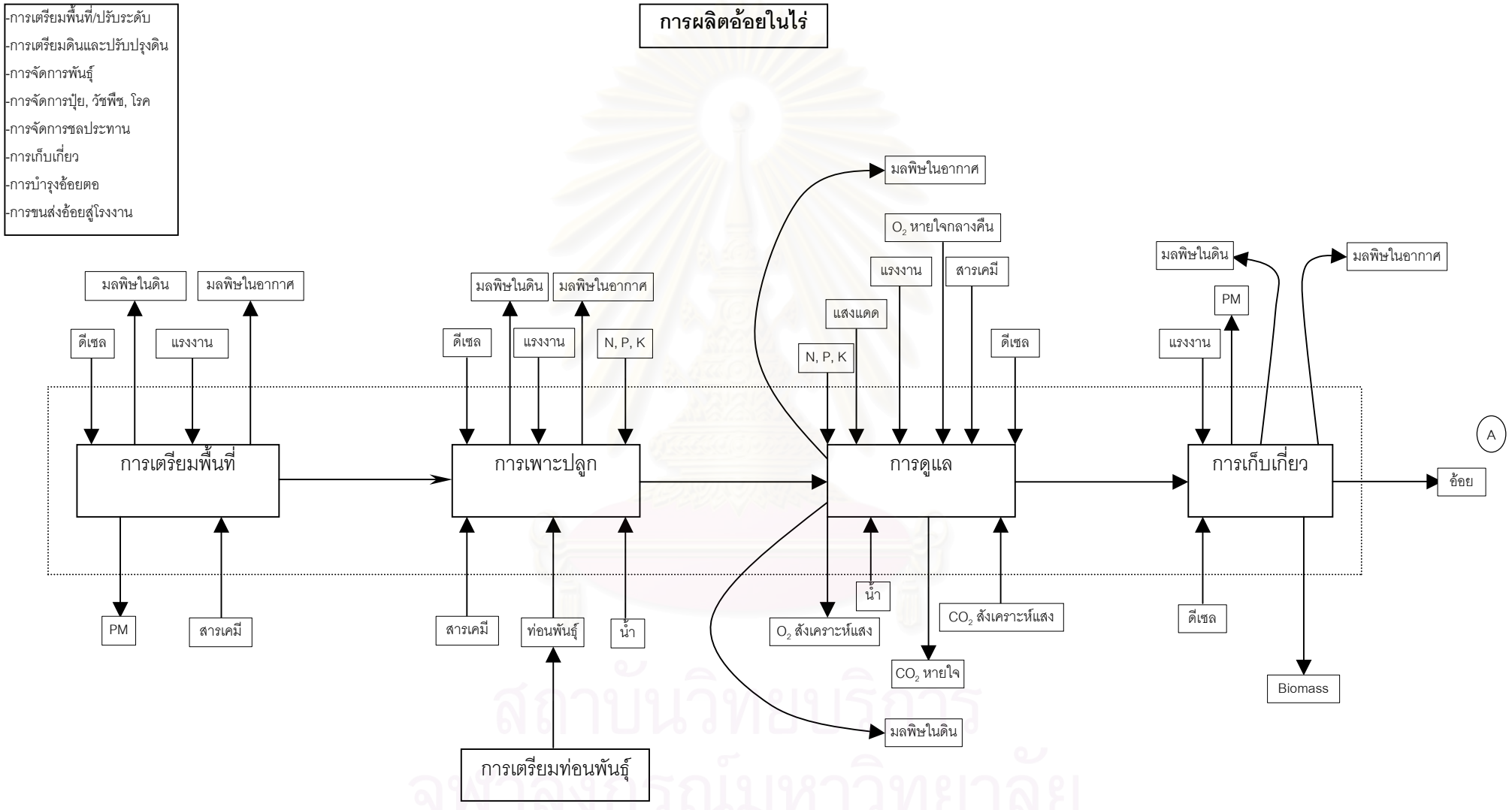
f = ตัวเลขจากการคาดคะเน [15] หมายถึงตัวเลขจากการทำนายก่อนที่จะสำรวจจริง



รูปที่ 3-2 แสดงสัดส่วนผลผลิตอ้อย (ตัน) จาก 4 ภาคในปีการเพาะปลูก 2543/44

รูปที่ 3-3 ในหน้า 35 คือแผนภาพแสดงรายละเอียดของขั้นตอนต่างๆในการผลิตอ้อยในไร่ ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนหลักๆคือ การเตรียมพื้นที่ การเพาะปลูก การดูแล และการเก็บเกี่ยว ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะมีการใช้พลังงานเช่น แรงงาน แสงแดด น้ำมันดีเซล เป็นต้น และมีมลพิษปล่อยออกมาจากแต่ละขั้นตอนของการผลิตอ้อย โดยผลิตภัณฑ์ของขั้นตอนนี้คืออ้อยที่พร้อมที่จะถูกขนส่งไปยังโรงงานน้ำตาล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-3 แผนภาพแสดงรายละเอียดของการผลิตอ้อยในไร่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 การผลิตน้ำตาล

โรงงานน้ำตาลในปัจจุบันมีทั้งสิ้น 46 โรงงานกระจายอยู่ตามภาคต่างๆ ของประเทศดังแสดงในตารางที่ 3-6 ฤดูกาลผลิตเริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนและไปสิ้นสุดในเดือนพฤษภาคม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณอ้อยที่ส่งเข้าหีบในแต่ละโรงงาน กำลังการผลิตที่ใหญ่ที่สุดหีบอ้อยได้วันละประมาณ 17,000 ตัน ซึ่งมีลูกหีบขนาด 50 x 100 นิ้ว 1 แถว 6 ชุด จำนวน 22 ลูกกลิ้ง ในขณะเดียวกันโรงงานที่มีขนาดเล็กที่สุดหีบอ้อยได้วันละ 1,500 ตัน ซึ่งมีลูกหีบขนาด 24 x 48 นิ้ว 1 แถว 4 ชุด จำนวน 12 ลูกกลิ้ง [14]

ตารางที่ 3-6 แสดงรายชื่อจังหวัดที่ตั้งโรงงานน้ำตาลและจำนวนโรงงานน้ำตาล [22]

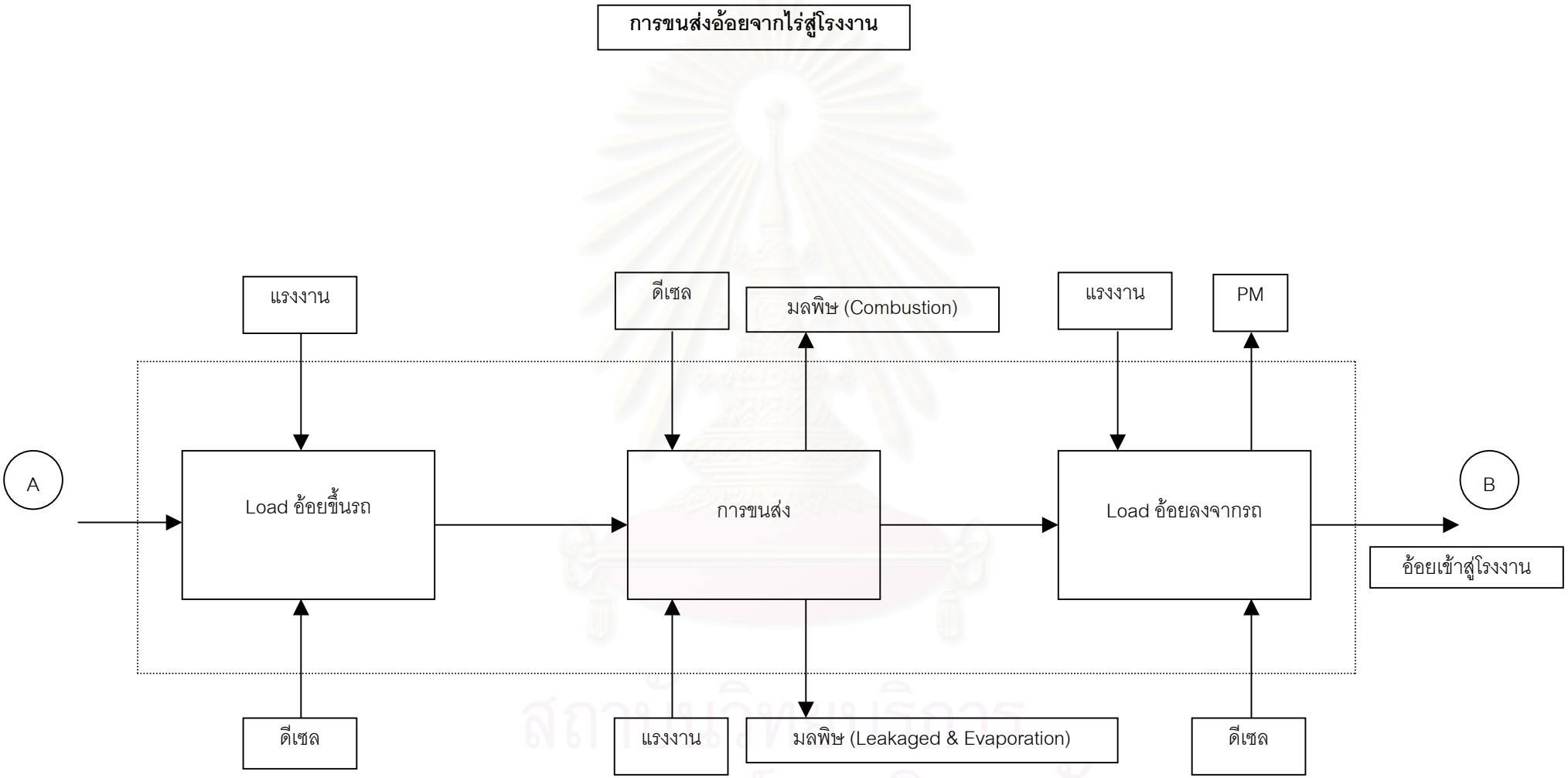
จังหวัด	จำนวนโรงงานน้ำตาล
1.เชียงใหม่	1
2.ลำปาง	1
3.อุตรดิตถ์	2
4.พิษณุโลก	1
5.กำแพงเพชร	2
6.นครสวรรค์	2
7.เพชรบูรณ์	1
8.ประจวบคีรีขันธ์	1
9.ราชบุรี	2
10.กาญจนบุรี	8
11.อุทัยธานี	1
12.สุพรรณบุรี	3
13.สิงห์บุรี	1
14.สระบุรี	1
15.ลพบุรี	1
16.ชลบุรี	3
17.สระแก้ว	1
18.ระยอง	1
19.บุรีรัมย์	1
20.มุกดาหาร	1
21.อุดรธานี	3

ตารางที่ 3-6 แสดงรายชื่อจังหวัดที่ตั้งโรงงานน้ำตาลและจำนวนโรงงานน้ำตาล (ต่อ) [22]

จังหวัด	จำนวนโรงงานน้ำตาล
22.กาฬสินธุ์	2
23.ขอนแก่น	2
24.ชัยภูมิ	1
25.นครราชสีมา	3

รูปที่ 3-4 ในหน้า 38 คือแผนภาพแสดงรายละเอียดของขั้นตอนการขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงานน้ำตาลซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนย่อยคือ การนำอ้อยขึ้นรถบรรทุก การขนส่งอ้อยโดยรถบรรทุก และการนำอ้อยลงจากรถบรรทุกที่โรงงานน้ำตาล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-4 แผนภาพแสดงรายละเอียดของการขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงานน้ำตาล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.1 ขั้นตอนการผลิต แบ่งออกเป็นกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลรีไฟน์

3.3.1.1 **กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ** กระบวนการในการผลิตน้ำตาลทรายดิบซึ่งแสดงด้วยแผนภาพในรูปที่ 3-5 หน้า 41 สามารถแบ่งได้เป็น 5 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.การสกัดน้ำอ้อย (Juice Extraction): ทำการสกัดน้ำอ้อยโดยผ่านอ้อยเข้าไปในชุดลูกหีบ(4-5) ชุด และกากอ้อยที่ผ่านการสกัดน้ำอ้อยจากลูกหีบชุดสุดท้าย จะถูกนำไปเป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ภายในเตาหม้อไอน้ำ เพื่อผลิตไอน้ำมาใช้ในกระบวนการผลิต

2.การทำความสะอาดหรือทำใสน้ำอ้อย (Juice Purification): น้ำอ้อยที่สกัดได้ทั้งหมดจะเข้าสู่กระบวนการทำใส เนื่องจากน้ำอ้อยมีสิ่งสกปรกต่างๆ จึงต้องแยกเอาส่วนเหล่านี้ออกโดยผ่านวิธีทางกล เช่น ผ่านเครื่องกรองต่างๆและวิธีทางเคมี เช่น โดยให้ความร้อนและผสมปูนขาว

3.การต้ม (Evaporation):น้ำอ้อยที่ผ่านการทำใสแล้วจะถูกนำเข้าสู่ชุดหม้อต้ม (Multiple Evaporator) เพื่อระเหยเอาน้ำออก (ประมาณ 70%) โดยน้ำอ้อยข้นที่ออกมาจากหม้อต้มลูกสุดท้ายเรียกว่า น้ำเชื่อม (Syrup)

4.การเคี่ยว (Crystallization): น้ำเชื่อมที่ได้จากการต้มจะถูกนำเข้าหม้อเคี่ยวระบบสุญญากาศ (Vacuum Pan) เพื่อระเหยน้ำออกจนน้ำเชื่อมถึงจุดอิ่มตัว ที่จุดนี้ผลึกน้ำตาลจะเกิดขึ้นมาโดยที่ผลึกน้ำตาลและกากน้ำตาลที่ได้จากการเคี่ยวนี้รวมเรียกว่า แมสิควิท (Massecuite)

5.การปั่นแยกผลึกน้ำตาล (Centrifugals): ผลึกน้ำตาลที่ได้นี้จะเป็นน้ำตาลดิบ(Raw Sugar) [7]

3.3.1.2 **กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลรีไฟน์** น้ำตาลทรายดิบถูกนำไปละลายน้ำแล้วถูกนำผ่านเข้า 5 ขั้นตอนการผลิตดังต่อไปนี้

1.การปั่นละลาย (Affinated Centrifugaling): นำน้ำตาลทรายดิบมาผสมกับน้ำร้อนหรือน้ำเหลืองจากการปั่นละลาย (Green Molasses) น้ำตาลดิบที่ผสมนี้เรียกว่า แมกม่า (Magma) และแมกม่านี้จะถูกนำไปปั่นละลายเพื่อล้างคราบน้ำเหลืองหรือกากน้ำตาลออก

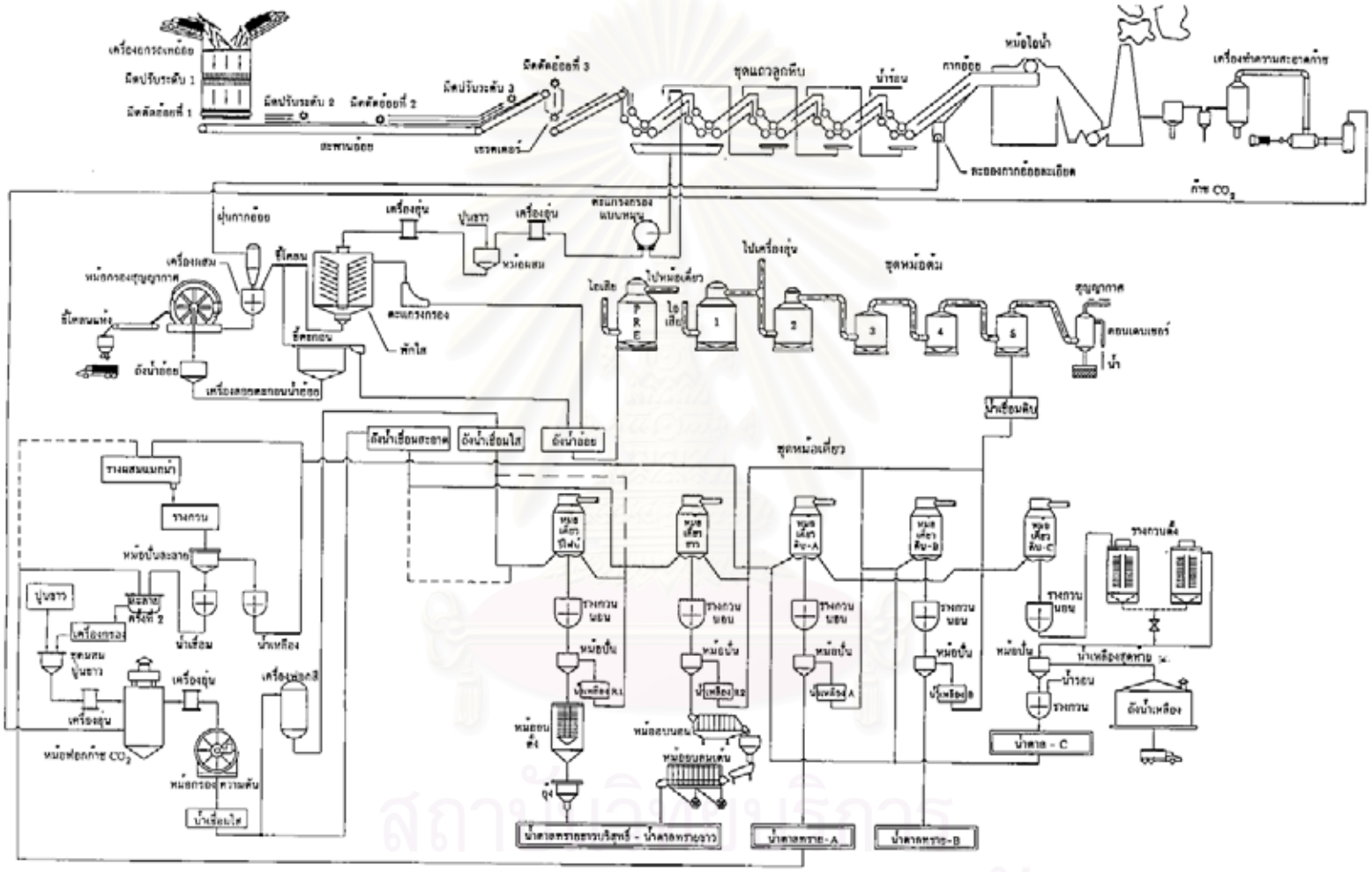
2.การทำความสะอาดและฟอกสี (Clarification): น้ำเชื่อมที่ได้จากหม้อปั่นละลาย(Affinated Syrup) จะถูกนำไปละลายอีกครั้งเพื่อละลายผลึกน้ำตาลบางส่วนที่ยังละลายไม่หมดจากการปั่น และผ่านตะแกรงกรองเข้าผสมกับปูนขาว เข้าฟอกสีโดยผ่านเข้าไปในหม้อฟอก (ปัจจุบันนิยมใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวฟอก) จากนั้นจะผ่านเข้าสู่การกรองโดยหม้อกรองแบบใช้แรงดัน (Pressure Filter) เพื่อแยกตะกอนออกและน้ำเชื่อมที่ได้จะผ่านไปฟอกสีเป็นครั้งสุดท้ายโดยกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange Resin) จะได้น้ำเชื่อมรีไฟน์ (Fine Liquor)

3.การเคี่ยว (Crystallization): น้ำเชื่อมรีไฟน์ที่ได้จะถูกนำเข้าหม้อเคี่ยวระบบสุญญากาศ(Vacuum Pan) เพื่อระเหยน้ำออกจนน้ำเชื่อมถึงจุดอิ่มตัว

4.การปั่นแยกผลึกน้ำตาล (Centrifugaling): แมสิควิท (Massecuite) หรือกากน้ำตาลและผลึกน้ำตาลที่ผสมกันอยู่ซึ่งได้จากการเคี่ยวจะถูกนำไปปั่นแยกผลึกน้ำตาลออกจากกากน้ำตาลโดยใช้เครื่องปั่น (Centrifugals) ผลึกน้ำตาลที่ได้นี้จะเป็นน้ำตาลรีไฟน์และน้ำตาลทรายขาว

5.การอบ (Drying): ผลึกน้ำตาลรีไฟน์และน้ำตาลทรายขาวที่ได้จากการปั่นก็จะเข้าหม้ออบ(Dryer) เพื่อไล่ความชื้นออก แล้วบรรจุกระสอบเพื่อจำหน่าย [7]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-5 กระบวนการในการผลิตน้ำตาลทราย [7]

3.3.2 ผลผลิต

ผลผลิตจากอ้อยมีน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ น้ำตาลทรายขาว น้ำตาลทรายสีรำและน้ำตาลทรายดิบ โดยมีผลพลอยได้จากการผลิตน้ำตาล คือ กากน้ำตาล กากอ้อยและกากตะกอนอ้อย[7] โดยแสดงผลผลิตจากโรงงานน้ำตาลในปีการผลิต 2542/43 และ 2543/44 ไว้ในตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-7 แสดงผลผลิตจากโรงงานน้ำตาลในปีการผลิต 2542/43 และ 2543/44 [22], [23]

ผลิตภัณฑ์	ปีการผลิต 2542/43	ปีการผลิต 2543/44
อ้อยเข้าหีบ (ตัน)	50,059,021	48,651,690.969
น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ (ตัน)	892,597.5	542,154.910
น้ำตาลทรายขาว (ตัน)	2,144,358.2	1,990,935.940
น้ำตาลทรายดิบ (ตัน)	2,155,383.1	2,391,369.542
กากน้ำตาล (ตัน)	2,395,835	2,251,221.858
เฉลี่ยอ้อย 1 ตันผลิตน้ำตาลทรายได้ (กิโลกรัม)	103.72	102.49
เฉลี่ยอ้อย 1 ตันผลิตกากน้ำตาลได้ (กิโลกรัม)	47.86	46.27

กากน้ำตาล

กากน้ำตาล (molasses) เป็นผลผลิตพลอยได้ (by-product) ของอุตสาหกรรมน้ำตาลมีลักษณะเป็นของเหลวข้น สีเหลือง ได้จากการตกผลึกน้ำตาลขั้นสุดท้ายด้วยหลัก 1 เมตริกตันเมื่อผ่านกระบวนการผลิตเป็นน้ำตาลจะมีผลพลอยได้เป็นกากน้ำตาลออกมาประมาณ 55 กก. และยังคงมีปริมาณน้ำตาลอยู่สูงกว่าร้อยละ 50 ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไปอีกได้ เช่น นำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตแอลกอฮอล์นำไปเป็นส่วนผสมในการผลิตอาหารสัตว์ ผงชูรส หมักน้ำส้มสายชูและซีอิ๊ว อีกทั้งยังสามารถส่งออกไปยังต่างประเทศคิดเป็นมูลค่าประมาณปีละหลายร้อยล้านบาท

กากน้ำตาลสามารถจำแนกตามกรรมวิธีการผลิตออกได้เป็น 3 ชนิด คือ:

1.กากน้ำตาล C หรือ blackstrap molasses เป็นกากน้ำตาลที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว ซึ่งไม่สามารถนำไปตกผลึกเป็นน้ำตาลทรายได้อีก แต่ยังคงมีเปอร์เซ็นต์น้ำตาล (sugar content) เหลืออยู่ระหว่างร้อยละ 50-60 เป็นกากน้ำตาลชนิดที่ใช้กันแพร่หลายทั้งในอุตสาหกรรมหมักภายในประเทศและส่งออก

2.กากน้ำตาล B หรือ refinery molasses เป็นกากน้ำตาลที่ได้จากการผลิตน้ำตาลทรายขาวที่มีเปอร์เซนต์น้ำตาลเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 48

3.กากน้ำตาล A หรือ high-test molasses เป็นกากน้ำตาลที่เกิดจากการนำน้ำอ้อยบางส่วนในกระบวนการผลิตน้ำตาลมาเคี่ยวให้ข้นขึ้น และมีการเติมเอนไซม์บางชนิดลงไป กากน้ำตาลชนิดนี้เรียกได้ว่า เป็นกากน้ำตาลคุณภาพสูงเพราะมีเปอร์เซนต์น้ำตาลอยู่ถึงร้อยละ 77-78

สำหรับกากน้ำตาลที่มีความเป็นไปได้สูงที่สุดในการนำมาเป็นวัตถุดิบผลิตแอลกอฮอล์ ในแง่ของต้นทุนและปริมาณที่เพียงพอ คือ กากน้ำตาล C หรือ blackstrap molasses ซึ่งมีการใช้กันอย่างแพร่หลายมาเป็นเวลานานจนถึงปัจจุบัน [24]

รูปที่ 3-6 ในหน้า 44 คือแผนภาพแสดงรายละเอียดของขั้นตอนการผลิตน้ำตาลในโรงงานน้ำตาลซึ่งแบ่งออกเป็นการผลิตน้ำตาลทรายดิบจากอ้อย และการผลิตน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลรีไฟน์จากน้ำตาลทรายดิบ ผลผลิตจากโรงงานน้ำตาลคือ น้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาว และน้ำตาลรีไฟน์ โดยมีผลพลอยได้คือกากน้ำตาลซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลและจะต้องถูกขนส่งจากโรงงานน้ำตาลไปยังโรงงานเอทานอล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การผลิตน้ำตาลทรายดิบ

1.กระบวนการสกัดน้ำอ้อย (Juice Extraction)

2.การทำความสะอาดหรือทำใสน้ำอ้อย (Juice Purification)

3.การต้ม (Evaporation)

4.การเคี่ยว (Crystallization)

5.การปั่นแยกผลึกน้ำตาล (Centrifugaling)

การผลิตน้ำตาลในโรงงานน้ำตาล

การผลิตน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลรีไฟน์

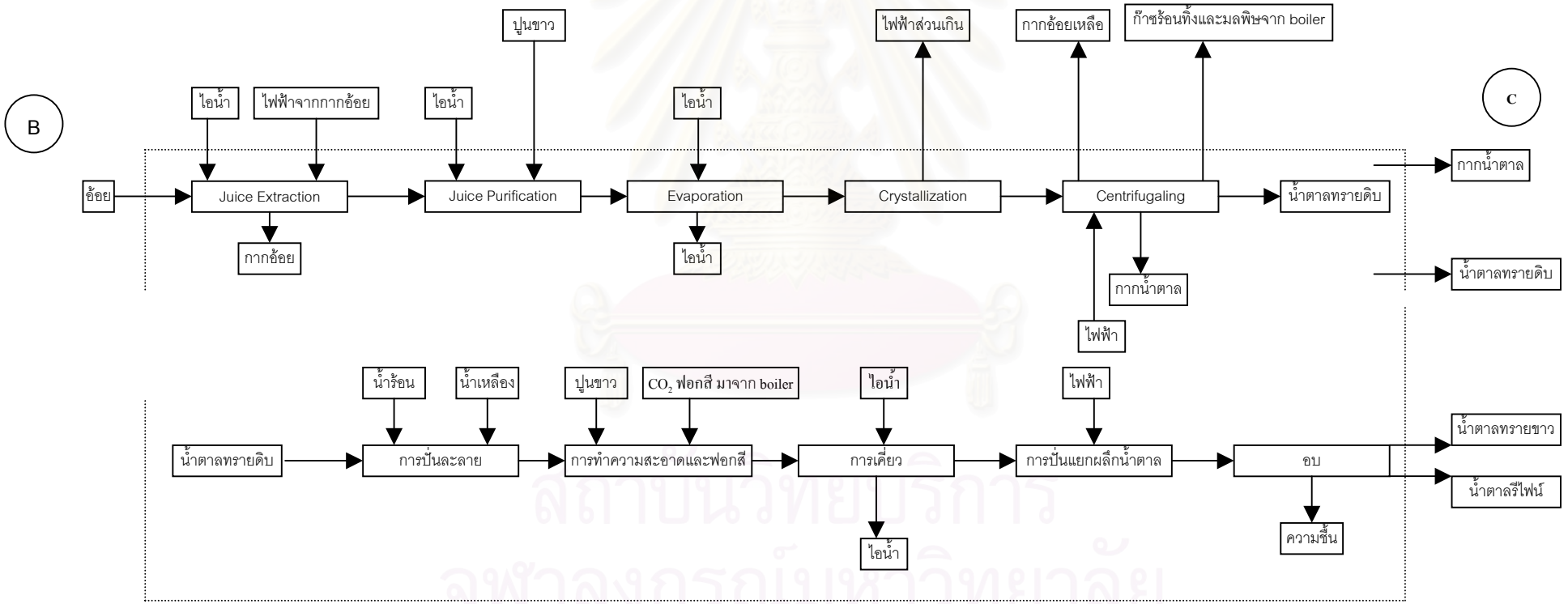
1.การปั่นละลาย (Affinated Centrifugaling)

2.การทำความสะอาดและฟอกสี (Clarification)

3.การเคี่ยว (Crystallization)

4.การปั่นแยกผลึกน้ำตาล (Centrifugaling)

5.การอบ (Drying)



รูปที่ 3-6 แผนภาพแสดงรายละเอียดการผลิตน้ำตาลในโรงงานน้ำตาล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 การผลิตเอทานอล

เอทานอล หรือ เอทิลแอลกอฮอล์ มีสูตรเคมีคือ C_2H_5OH สามารถผลิตได้จากวัสดุทางการเกษตร ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ ประเภทที่มีสารน้ำตาลหรือชีวมวลที่ให้คาร์โบไฮเดรตประเภทน้ำตาล เช่น อ้อย, ข้าวฟ่างหวาน และกากน้ำตาล เป็นต้น ประเภทที่มีสารพวกแป้งหรือชีวมวลที่ให้คาร์โบไฮเดรตในรูปแป้ง เช่น มันสำปะหลัง, ข้าวเหนียว, ข้าวเจ้า และข้าวโพด เป็นต้น ซึ่งพืชเศรษฐกิจที่นับว่ามี ศักยภาพสูงพอที่จะนำมาพัฒนาเพื่อใช้ผลิตเอทานอลทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงขณะนี้ได้แก่ อ้อย, มันสำปะหลัง และข้าวฟ่าง เป็นต้น และอีกประเภทหนึ่งคือชีวมวลในรูปของเซลลูโลส เช่นเศษวัสดุทางการเกษตร, ไม้ เป็นต้น [10]

3.4.1 การจำแนกชนิดของเอทานอล

เอทานอลสามารถผลิตได้ใน 2 รูปแบบคือ hydrated ethanol และ anhydrous ethanol

-Hydrated ethanol มีความบริสุทธิ์ 95% เหมาะสำหรับผสมกับ ignition improver หรือผสมในสัดส่วน 15% เป็นอีมัลชั่นในน้ำมันดีเซลซึ่งเรียกว่า ดีโซฮอล

-Anhydrous ethanol ต้องใช้กระบวนการกลั่นขั้นที่สอง (a second stage refining process) เพื่อให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์100% เพื่อใช้เป็นเอทานอลสำหรับผสมกับแกโซลีน

โดยทั่วไปเอทานอลที่ใช้ในอุตสาหกรรมจะถูกผสมกับสารที่ทำให้มีกลิ่นเหม็น (denature)เพื่อป้องกันการรับประทาน

เอทานอล (C_2H_5OH) เป็นสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ(oxygenated organic carbon compound) เมื่อนำเอทานอลมาผสมในน้ำมันดีเซลซึ่งเป็นของผสมของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งไม่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ จะทำให้คุณลักษณะที่สำคัญๆ ของเชื้อเพลิงเปลี่ยนแปลงไป เช่น combustion properties, energy content และ vaporization potential energy content ของเอทานอลอยู่ในช่วง 21-23 MJ/L ขึ้นกับว่าเป็น เอทานอลชนิด hydrated หรือว่า anhydrous [4]

3.4.2 ขั้นตอนการผลิตเอทานอล

วิธีการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีขั้นตอนหลักๆดังนี้

1.Crushing: อ้อยที่มาจากแหล่งผลิตจะถูกสับที่โรงงานน้ำตาล เพื่อให้สะดวกในการจัดการและในการผ่านกระบวนการต่อๆไป

2.Sugar extraction: เป็นการสกัดน้ำอ้อยจากอ้อยดิบ กากอ้อยที่เหลือซึ่งเรียกว่า "bagasse" มีน้ำตาลเหลืออยู่น้อยกว่า 0.5% จะถูกบีบแห้ง (squeeze-dried) เพื่อกำจัดสารละลายน้ำตาล(sugar solution liquor) ออกให้มากที่สุด จากนั้นกากอ้อยแห้ง (Dry bagasse) ก็จะถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อเป็นพลังงานให้กับกระบวนการผลิตในโรงงานน้ำตาล

3.Raw sugar production: น้ำอ้อยที่ได้จากขั้นตอนที่แล้วก็จะถูกทำให้เข้มข้นใน evaporators ผลึกน้ำตาลก็จะถูกแยกตัวออกมาใน centrifuges กระบวนการนี้จะทำซ้ำๆกันหลายครั้งจนได้น้ำตาลดิบ (raw sugar) จากนั้นถ้าจำเป็นจะนำไปทำให้บริสุทธิ์ขึ้นต่อไป

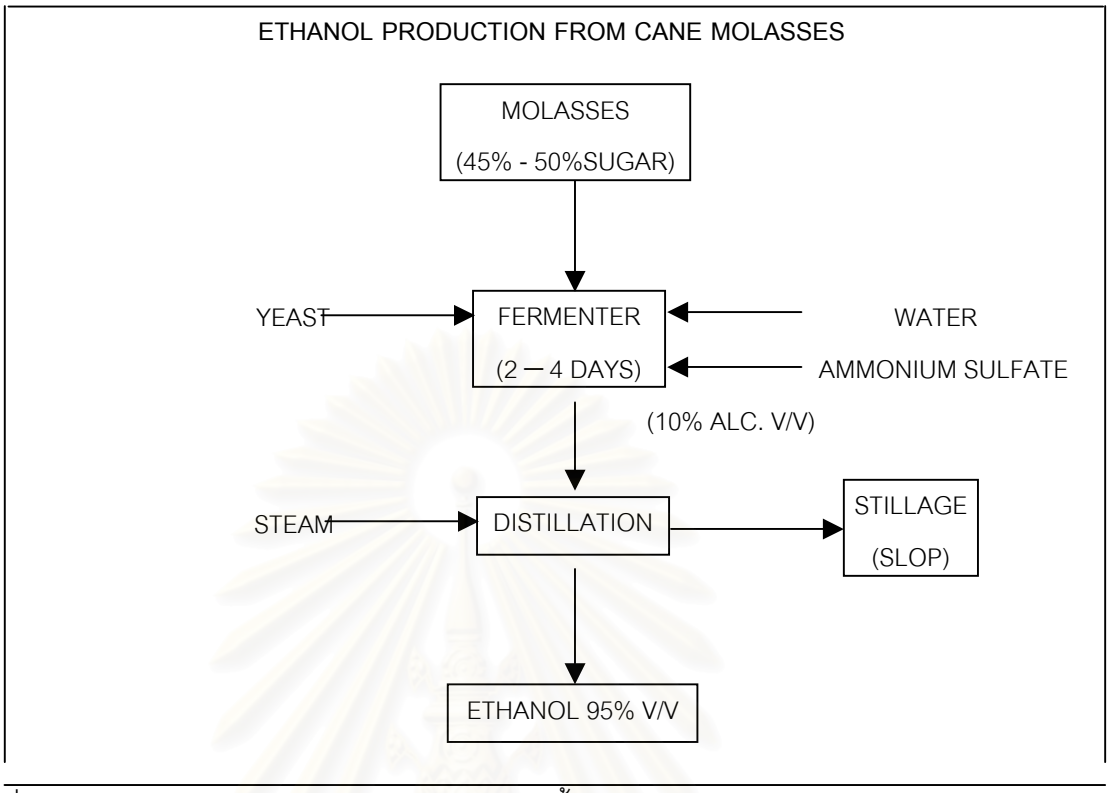
4.Fermentation of molasses: ของเหลวที่เหลือจากการผลิตน้ำตาล (molasses) จะประกอบด้วยน้ำตาลประมาณ 50% และพวกแร่ธาตุต่างๆ (mineral matter) 50% ผสมกันอยู่กับยีสต์และจะถูกหมักจนมีเอทานอลประมาณ 6-7% ของแข็งที่เหลือจากการหมัก "dunder" จะประกอบด้วยยีสต์และแร่ธาตุซึ่งจะนำมาทำเป็นปุ๋ย บางครั้งจะแยกยีสต์ออกมาและนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

5.Distillation: สิ่งที่ถูกหมักผสมกันอยู่ ในขั้นนี้จะเรียกว่า "beer" ประกอบด้วยแอลกอฮอล์ 10% เท่าๆกับพวกของแข็งที่ไม่สามารถหมักได้จาก wheat และ yeast cell mash (beer) ที่ว่านี้จะถูกปั๊มขึ้นไปตาม continuous flow, multi-column distillation system ซึ่งจะดึงแอลกอฮอล์ออกมาจากของแข็งและน้ำ แอลกอฮอล์ที่ออกจากด้านบนสุดของ column สุดท้ายจะมีความเข้มข้นประมาณ 96% ส่วน mash ที่เหลือซึ่งเรียกว่า "stillage" จะถูกส่งผ่านจากฐานของ column ไปยัง the co-product processing area

6.Denaturing: เอทานอลที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงจะถูกเติมด้วยผลิตภัณฑ์บางอย่างประมาณ 0-5% เช่น แกโซลีน เพื่อทำให้ไม่เหมาะกับการนำมาบริโภค [4] กรณีของประเทศไทยในขั้นตอนนี้ถูกควบคุมโดยกรมสรรพสามิต

เอทานอลที่ถูกหมักโดยวิธีทั่วไปสามารถกลั่นได้เป็นเอทานอลที่ 90-95.6% โดยใช้กระบวนการ multi-column distillation ส่วนการผลิต anhydrous ethanol หรือ pure ethanol ที่ระดับ 99-99.9% ทำได้โดยการกำจัดน้ำ 4-5% ที่ยังคงเหลือออกไป ซึ่งเรียกว่าการทำ dehydration มีหลายวิธีการรวมถึง วิธีการ azeotropic ใช้การเติมเบนซีนลงไปก่อนที่จะนำมากลั่นซ้ำซึ่งเป็นวิธีการทั่วไป และยังมีเทคโนโลยี membrane และ เทคโนโลยี molecular sieve Molecular sieves คือผลึกโลหะของ aluminosilicates ที่ทำหน้าที่เป็นตัวกรองพิเศษโดยทำงานในระดับโมเลกุล เมื่อ hydrous ethanol ผ่านเข้าไปในตัวกรองชนิดนี้ น้ำที่ยังเหลือก็จะถูกดูดออกไป จึงเหลือ anhydrous ethanol [19] โดยแสดงแผนภาพการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลไว้ดังรูปที่ 3-7 ในหน้าถัดไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-7 แสดงแผนภาพการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล [19]

สรุปศักยภาพการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลในประเทศไทย

สถานการณ์เชื้อเพลิงในปี 2545 ประเทศไทยมีปริมาณการจำหน่ายน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว 15,962,576,640 ลิตร หรือเฉลี่ยวันละประมาณ 43,733,086.68 ลิตร

อ้อย 50,059,021 ตัน ผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ได้ 892,597.5 ตัน ผลิตน้ำตาลทรายขาวได้ 2,144,358.2 ตัน ผลิตน้ำตาลทรายดิบได้ 2,155,383.1 ตัน และ ผลิตกากน้ำตาลได้ 2,395,835 ตัน (ปีการผลิต 2542/43 ปริมาณรวมจากรายงาน) [22]

กากน้ำตาล [22] (ปีการผลิต 2542/43 คำนวณจากปริมาณกากน้ำตาลของแต่ละโรงงาน) ปริมาณ 2,367,121.51 ตัน หากนำมาผลิตเอทานอล 95% ทั้งหมดสามารถผลิตได้ 695,802,913 ลิตรต่อปี ซึ่งสามารถผสมกับดีเซลในสัดส่วน 84.5% ดีเซลผสม 15% เอทานอล 95%เป็นดีโซฮอล 95% ได้ 4,638,686,087 ลิตรต่อปี โดยใช้ดีเซล 3,919,689,743 ลิตรต่อปี (ปีการผลิต 2542/43)

ถ้ากากน้ำตาลปริมาณเดียวกันนำมาผลิตเอทานอล 99.5% ทั้งหมดสามารถผลิตได้ 470,710,670.6 ลิตรต่อปี ซึ่งสามารถผสมกับดีเซลในสัดส่วน 89% ดีเซลผสม 10% เอทานอล 99.5% เป็นดีโซฮอล จะได้ดีโซฮอล 99.5% ปริมาณ 4,707,106,706 ลิตรต่อปี โดยใช้ดีเซล 4,189,324,968 ลิตรต่อปี (ปีการผลิต 2542/43)

รูปที่ 3-8 ในหน้า 49 คือแผนภาพแสดงรายละเอียดของขั้นตอนการผลิตเอทานอลในโรงงานเอทานอลซึ่งประกอบด้วยการหมักส่า การกลั่นและการเติมสาร denature สำหรับการผลิตเอทานอล 95% ส่วนการผลิตเอทานอล 99.5% จะเพิ่มการกำจัดน้ำขึ้นมาอีกหนึ่งขั้นตอน ซึ่งเอทานอลที่ผลิตได้จากโรงงานเอทานอลจะต้องถูกขนส่งไปยังคลังดีเซลเพื่อผสมกับน้ำมันดีเซลเป็นดีโซฮอล

รูปที่ 3-9 ในหน้า 50 คือแผนภาพแสดงรายละเอียดของขั้นตอนการขนส่งเอทานอลจากโรงงานเอทานอลไปยังคลังดีเซล ซึ่งประกอบด้วยการบรรจุเอทานอลขึ้นรถบรรทุก การขนส่งเอทานอลโดยรถบรรทุก และการถ่ายเทเอทานอลจากรถสู่ถังเก็บที่คลังดีเซล

รูปที่ 3-10 ในหน้า 51 คือแผนภาพแสดงรายละเอียดของขั้นตอนการผสมเอทานอลกับดีเซลที่คลังดีโซฮอล ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนย่อยคือการผสมเอทานอลกับดีเซลและการจัดเก็บดีโซฮอลในคลังเพื่อพร้อมที่จะถูกขนส่งไปยังสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง

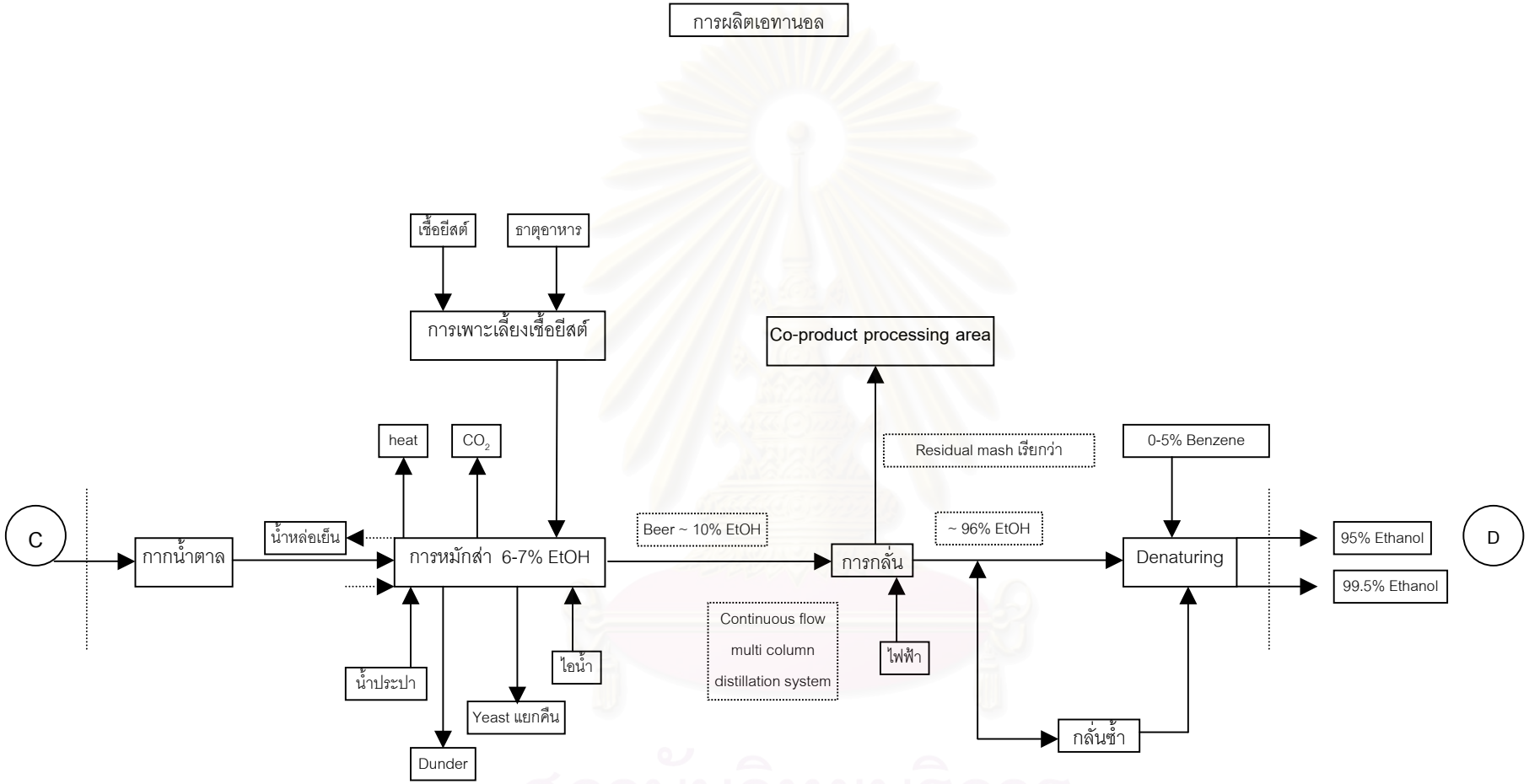
รูปที่ 3-11 ในหน้า 52 คือแผนภาพแสดงรายละเอียดของขั้นตอนการขนส่งดีโซฮอลจากคลังดีเซลสู่สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงหรือที่เรียกว่าปั๊มน้ำมัน

รูปที่ 3-12 ในหน้า 53 คือแผนภาพแสดงรายละเอียดของการเติมเชื้อเพลิงซึ่งมีอยู่ขั้นตอนเดียวคือการใช้พลังงานในการนำดีโซฮอลจากถังเก็บที่สถานีบริการเติมลงไปในถังน้ำมันเชื้อเพลิงในรถยนต์

รูปที่ 3-13 ในหน้า 53 คือแผนภาพแสดงรายละเอียดการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ซึ่งมีขั้นตอนเดียวคือ การเปลี่ยนพลังงานจากเชื้อเพลิงโดยการเผาไหม้เป็นพลังงานในการขับเคลื่อนรถยนต์

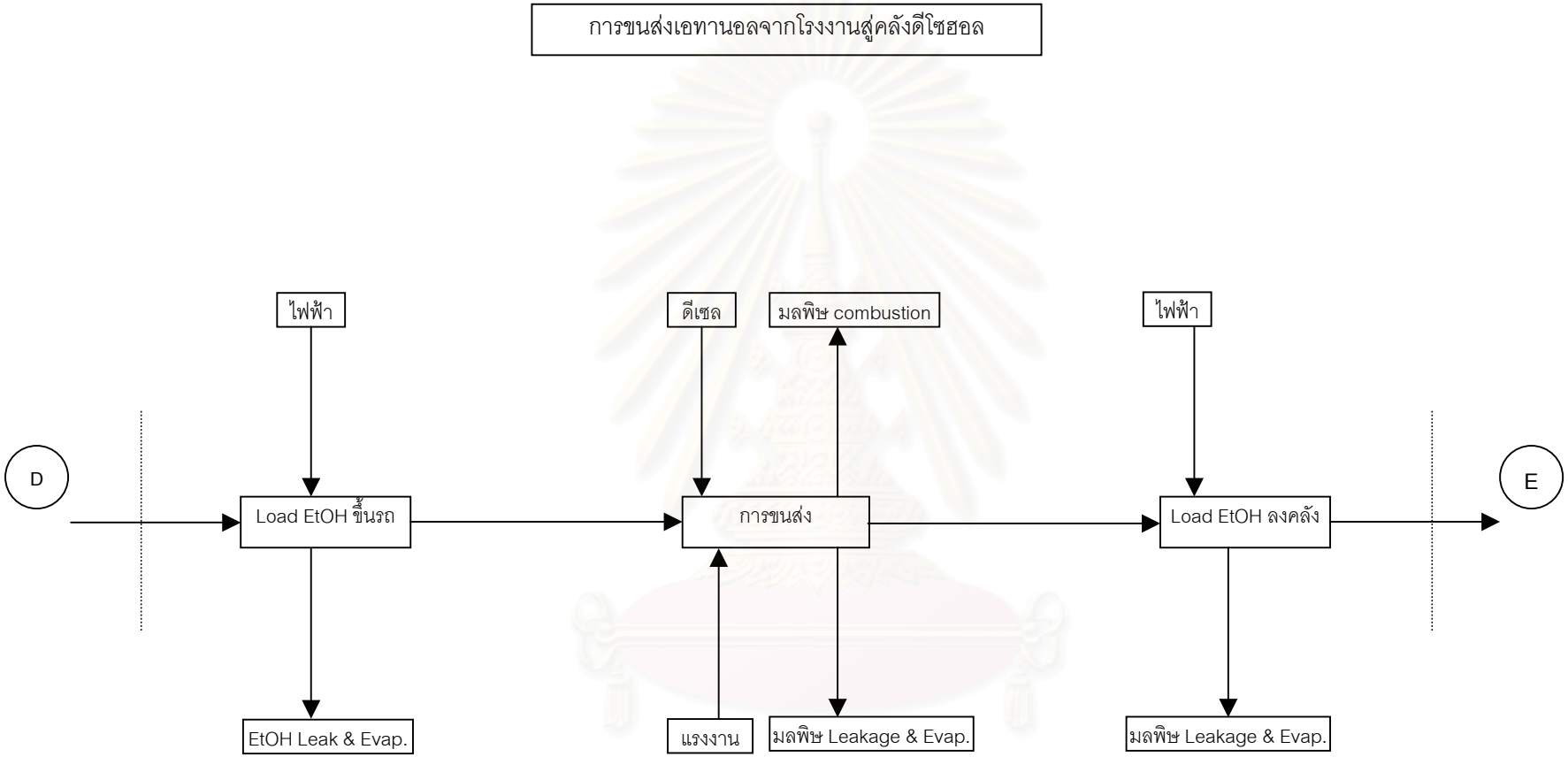
รูปที่ 3-14 ในหน้า 54 คือแผนภาพแสดงวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลซึ่งเริ่มตั้งแต่การใช้พลังงานในไร่อ้อยจนถึงการผลิตเป็นเอทานอลในโรงงานเอทานอล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



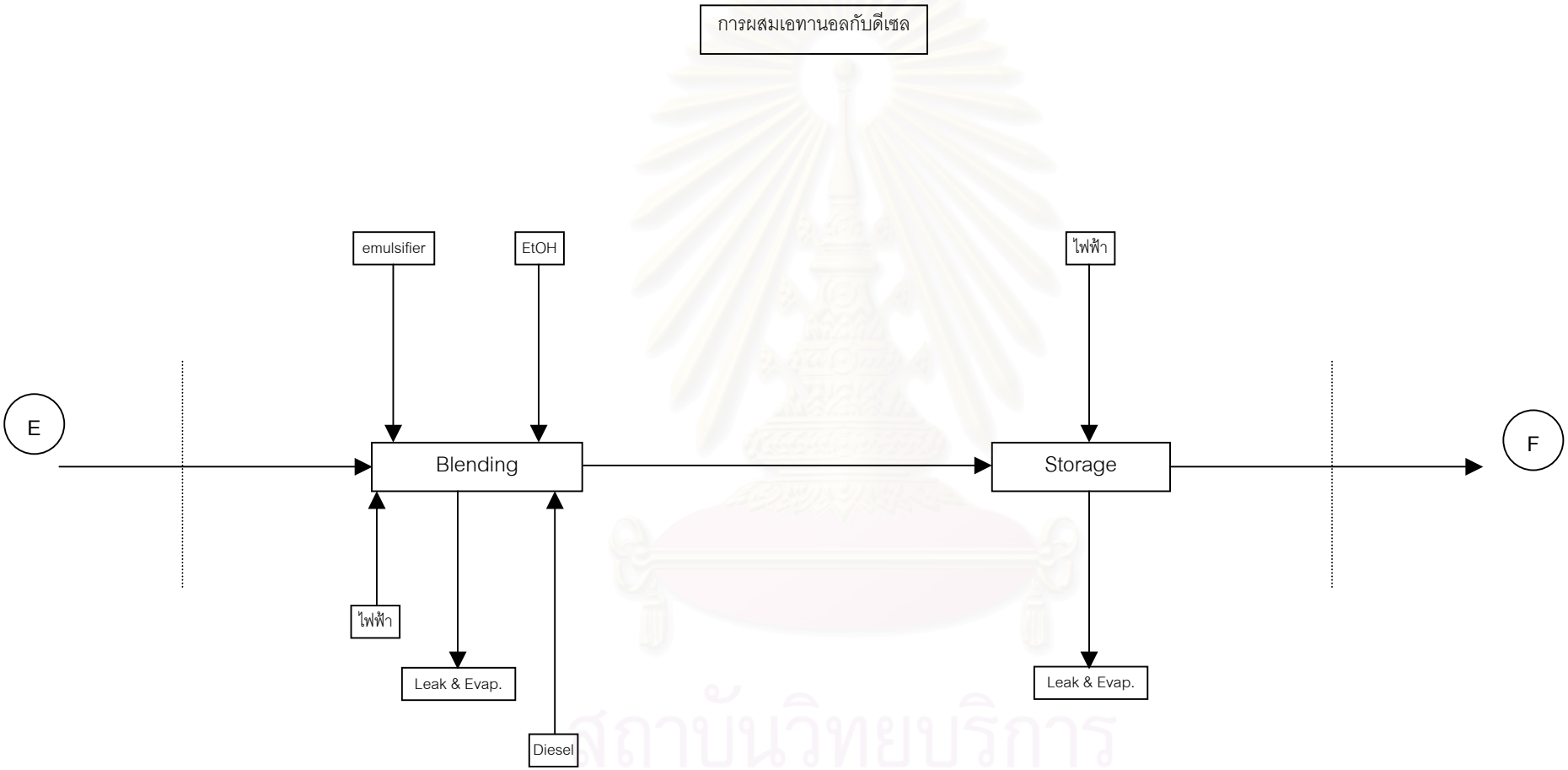
รูปที่ 3-8 แผนภาพแสดงรายละเอียดการผลิตเอทานอล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



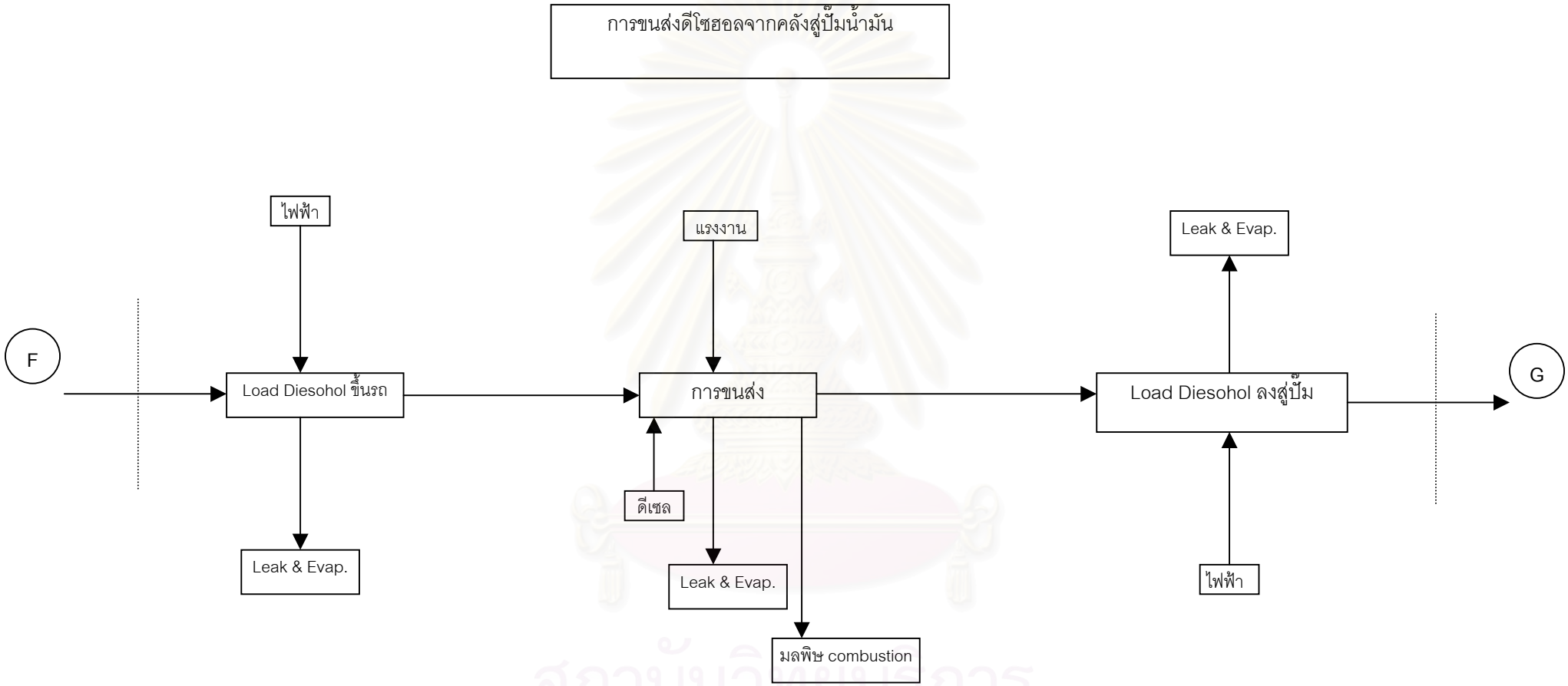
รูปที่ 3-9 แผนภาพแสดงรายละเอียดการขนส่งเอทานอลจากโรงงานสู่คลังดีโซฮอล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



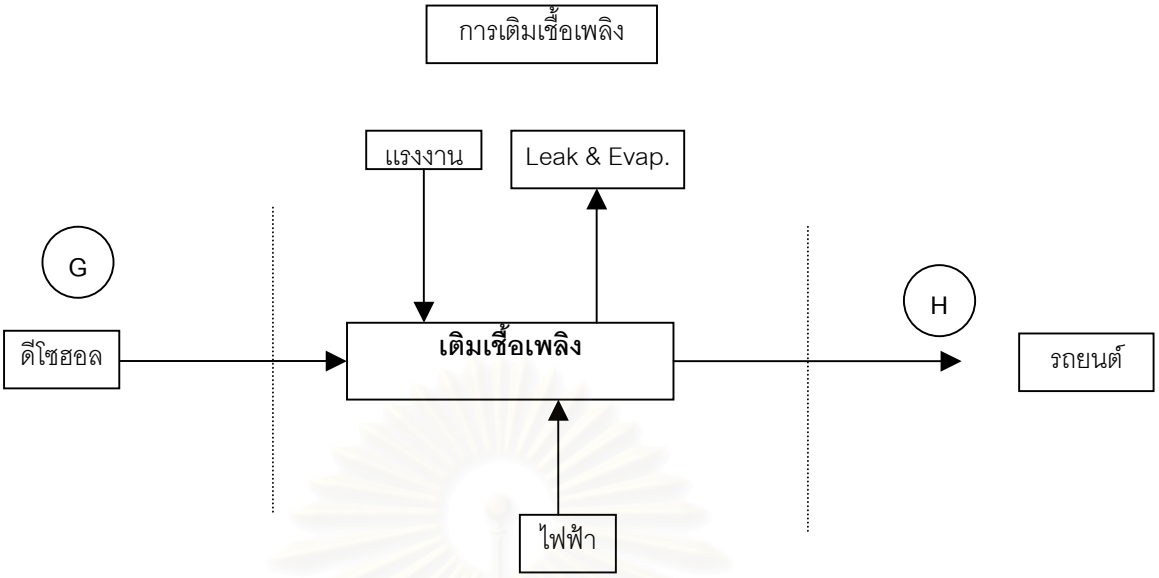
รูปที่ 3-10 แผนภาพแสดงรายละเอียดการผสมเอทานอลกับดีเซล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

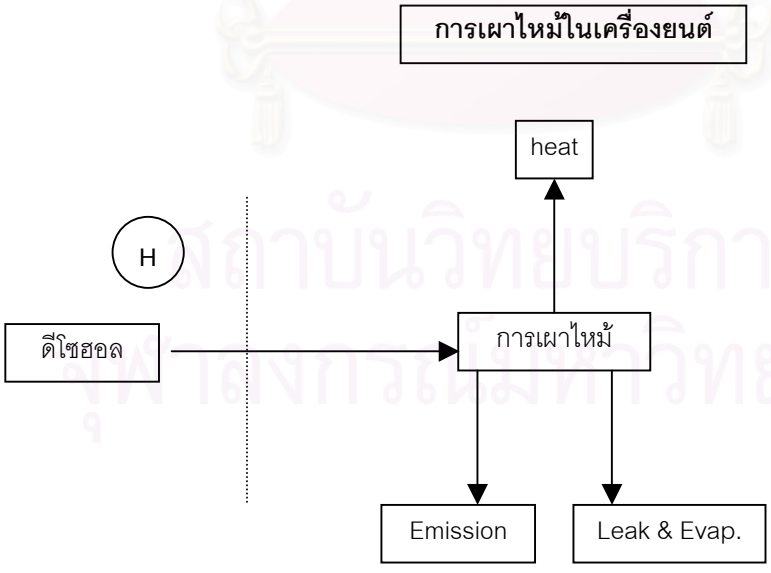


รูปที่ 3-11 แผนภาพแสดงรายละเอียดการขนส่งดีโซฮอลจากคลังสู่ปั๊มน้ำมัน

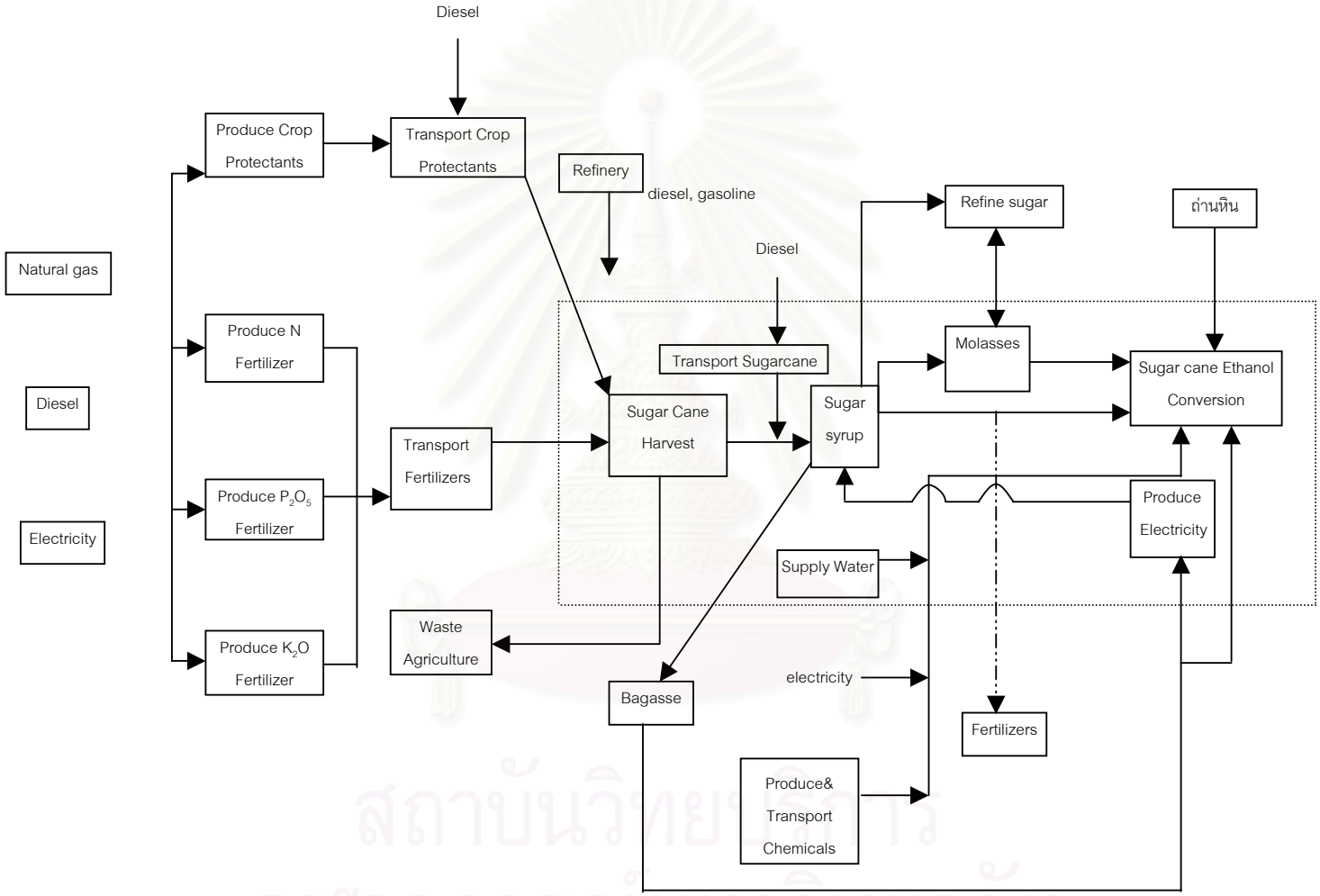
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-12 แผนภาพแสดงรายละเอียดการเติมเชื้อเพลิง



รูปที่ 3-13 แผนภาพแสดงรายละเอียดการเผาไหม้ในเครื่องยนต์



รูปที่ 3-14 แผนภาพแสดงวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ระเบียบวิธีวิจัย

บทที่ 4 นี้จะกล่าวถึงระเบียบวิธีในการวิเคราะห์ Life Cycle Assessment ที่ผู้วิจัยใช้ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้โดยละเอียด

4.1 LCA [25]

LCA (Life Cycle Assessment) ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก คือ

1. Goal Definition and Scoping
2. Life Cycle Inventory
3. Life Cycle Impact Assessment
4. Life Cycle Interpretation

4.1.1 เป้าหมายและขอบเขต (Goal Definition and Scoping)

เป้าหมาย

เพื่อศึกษาวัฏจักรพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตของเชื้อเพลิงเปรียบเทียบในกรณีของเชื้อเพลิงดีเซลผสมเอทานอลชนิด 95% กับเชื้อเพลิงดีเซลผสมเอทานอลชนิด 99.5% ซึ่งผลิตได้จากกากน้ำตาล สำหรับใช้เป็นข้อมูลสำหรับพิจารณาประกอบการตัดสินใจว่าเชื้อเพลิงชนิดใดที่มีประสิทธิภาพเชิงพลังงานโดยมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมดีกว่า

ขอบเขต

ศึกษาและวิเคราะห์วัฏจักรพลังงาน วัฏจักรก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาและวัฏจักรมลพิษที่ปล่อยออกมา ตลอดวงจรชีวิตของเชื้อเพลิงดีเซลผสมเอทานอล 95% เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซลผสมเอทานอล 99.5% ซึ่งผลิตได้จากกากน้ำตาล โดยมีรายละเอียดดังนี้

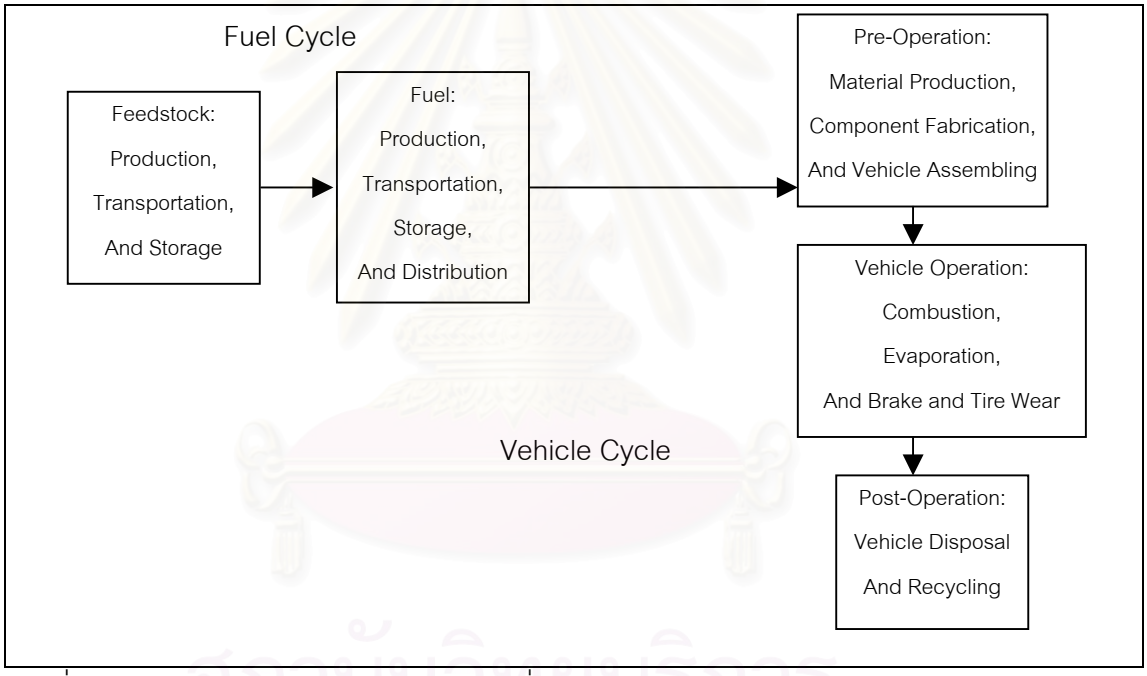
วงจรชีวิตของเชื้อเพลิง

Feedstock-Related Stage: คือ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการได้มาซึ่งวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิง ประกอบด้วย การเพาะปลูกอ้อย, การขนส่งอ้อย, การผลิตกากน้ำตาล และ การขนส่งกากน้ำตาล

Fuel-Related Stage: คือขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับเชื้อเพลิง ประกอบด้วย การผลิตเอทานอล, การขนส่งเอทานอล, การผสมเอทานอลกับดีเซล การขนส่งดีโซฮอลและการเติมดีโซฮอล

Vehicle Stage: คือขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการนำเชื้อเพลิงมาใช้งาน ประกอบด้วย การเผาไหม้เชื้อเพลิงในรถยนต์

ขั้นตอน Feedstock-Related และ Fuel-Related รวมเรียกว่า Feedstock-to-Tank (FTT) และขั้นตอน Vehicle เรียกว่า Tank-to-Wheel (TTW) และเรียกทั้ง 3 ขั้นตอนรวมกันว่า Feedstock-to-Wheel (FTW) ดังแสดงในรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1 แสดง LCA สำหรับรถยนต์ (FTW) ซึ่งประกอบด้วย Fuel Cycle และ Vehicle Cycle [2]

ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้ศึกษาเฉพาะ Fuel Cycle กับ Vehicle Operation ในเรื่องการเผาไหม้ซึ่งเป็นขั้นตอนย่อยของ Vehicle Cycle โดยดูเฉพาะการเผาไหม้ (combustion) ในรถยนต์ซึ่งเกี่ยวข้องกับอัตราการบริโภคเชื้อเพลิงของรถยนต์ซึ่งจะทำให้เราหาค่าพลังงานที่ใช้และ emissions ต่อระยะทางที่รถยนต์วิ่ง 1 กิโลเมตรได้ โดยตารางที่ 4-1 แสดงพารามิเตอร์ด้านพลังงาน พารามิเตอร์ของก๊าซเรือนกระจก และพารามิเตอร์ก๊าซมลพิษ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สนใจในการวิจัยครั้งนี้ และตารางที่ 4-2 แสดงค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อนโดยเทียบเท่ากับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมา

ตารางที่ 4-1 แสดงพารามิเตอร์ที่ศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ [26]

พลังงาน	ก๊าซเรือนกระจก	ก๊าซมลพิษ
1.Total energy use (all energy sources) 2.Fossil energy use(petroleum,natural gas,and coal) 3.Petroleum use	1. CO_2 2. CH_4 3. N_2O	1. VOC 2. CO 3. NO_x 4. PM_{10} 5. SO_x

ซึ่งค่าของพารามิเตอร์ทั้งหมดนี้เป็นพารามิเตอร์ที่ต้องการในขั้นสุดท้ายโดยจะรวบรวมจากขั้นตอนย่อยต่างๆที่พิจารณา

ตารางที่ 4-2 แสดงค่า GWPs ของก๊าซเรือนกระจก [26]

GHGs	GWPs
CO_2	1
CH_4	21
N_2O	310

ข้อจำกัด

การทำ LCA ครั้งนี้

-ไม่รวมการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

-เน้นการใช้ข้อมูลทุติยภูมิที่มีการเก็บรวบรวมไว้แล้วโดยบุคคลหรือหน่วยงานอย่างมีระบบ

-พิจารณาเฉพาะการเผาไหม้ในรถซึ่งเป็นขั้นตอนย่อยของวัฏจักรรถยนต์เพื่อเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้และ emissions จากการใช้เชื้อเพลิงดีเซลผสมเอทานอลในหน่วยต่อระยะทาง 1 กิโลเมตร

-พิจารณาเฉพาะการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลในประเทศไทย

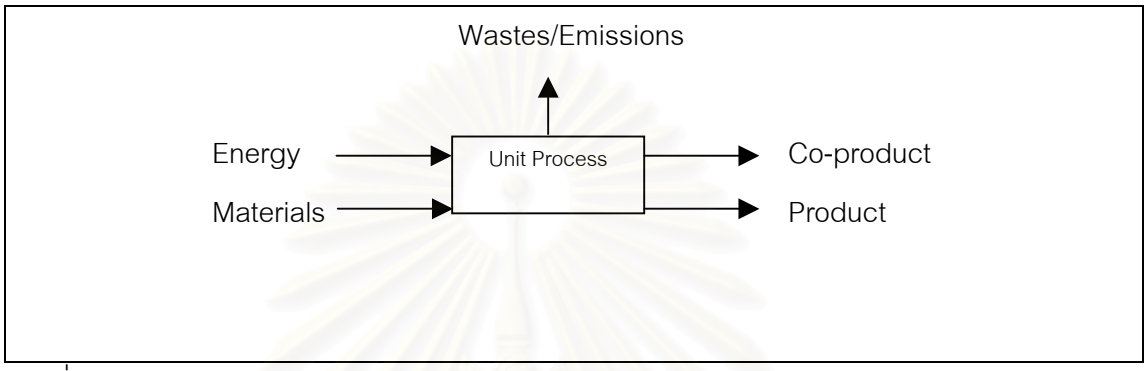
-ไม่พิจารณารายละเอียดของการสร้างและซ่อมบำรุงโรงงานที่เกี่ยวข้อง

-ไม่พิจารณาความสัมพันธ์ของพื้นที่กับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

-ข้อมูลการใช้ดีโซฮอล เป็นข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเอกสารอ้างอิง ซึ่งมีอยู่จำกัด

functional unit

ในการศึกษาครั้งนี้จะกำหนดระยะทางที่รถยนต์วิ่ง 1 กิโลเมตรเป็นหน่วยในการเปรียบเทียบผลระหว่างเชื้อเพลิงแต่ละชนิด โดยพิจารณารถปิคอัพ ยี่ห้อฟอร์ด รุ่น WL81 ขนาด 2.5 ลิตร ถึงแม้ว่าจุดประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบกันระหว่างเชื้อเพลิงผสมเอทานอล แต่จะมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงที่ใช้ในปัจจุบัน คือเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไปด้วย

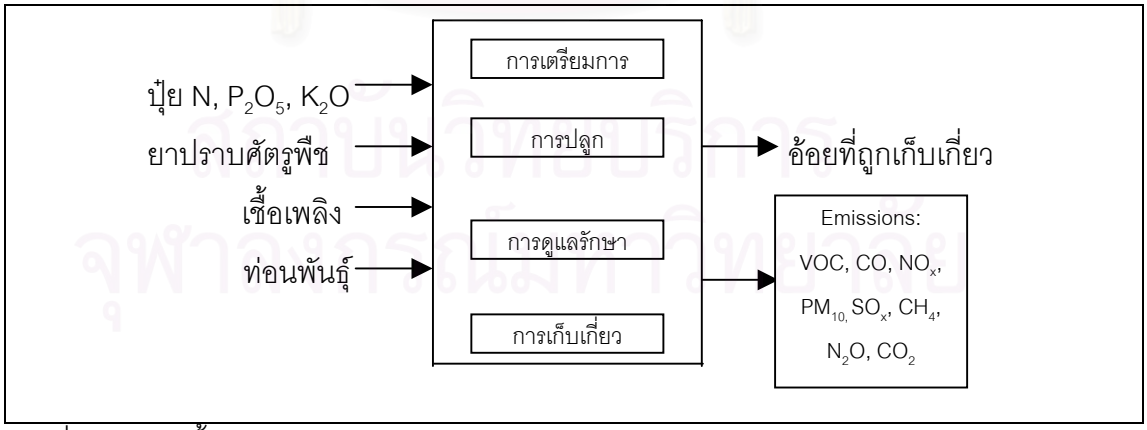


รูปที่ 4-2 แสดง elementary flows for a unit process [27]

รูปที่ 4-2 แสดงกระบวนการย่อยใดๆที่พิจารณาซึ่งประกอบด้วยมวลและพลังงานไหลเข้าและได้ผลิตภัณฑ์ออกมาพร้อมกับผลพลอยได้และของเสียสู่สิ่งแวดล้อม

4.1.2 Life Cycle Inventory

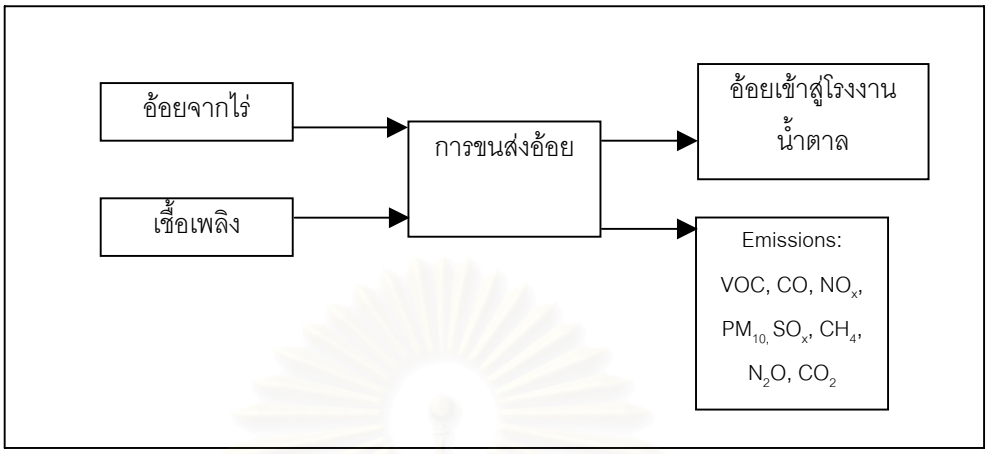
รูปที่ 4-3 ถึงรูปที่ 4-12 แสดงขั้นตอนย่อยที่พิจารณาในงานวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย การเพาะปลูกอ้อย, การขนส่งอ้อย, การผลิตกากน้ำตาล, การขนส่งกากน้ำตาล, การผลิตเอทานอล, การขนส่งเอทานอล, การผสมเอทานอลกับดีเซล, การขนส่งดีโซฮอล, การเติมดีโซฮอล และการเผาไหม้ในรถยนต์ ตามลำดับ



รูปที่ 4-3 แสดงขั้นตอนการเพาะปลูกอ้อย

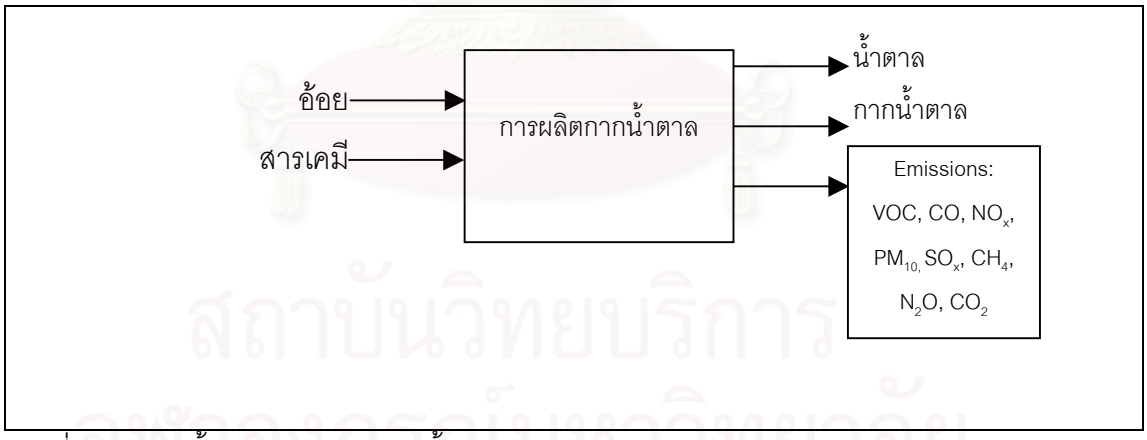
รูปที่ 4-3 แสดงขั้นตอนการเพาะปลูกอ้อย ซึ่งในการวิเคราะห์พลังงานและ emissions ในขั้นตอนนี้จะคิดจากส่วนที่มากับปุ๋ย N, P_2O_5, K_2O ยาปราบศัตรูพืช เชื้อเพลิงและการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งจะคิดในรูปพลังงานและ emissions ต่อผลผลิตอ้อย 1 ตัน การวิเคราะห์จะไม่คำนึงถึง

พลังงานจากแสงแดด น้ำ แรงงานคนและสัตว์และไม่คำนึงถึงการดึง CO_2 จากบรรยากาศว่าเป็นลบ เนื่องจากเมื่อเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทนี้ก็จะคืน CO_2 กลับสู่บรรยากาศอีกครั้งหนึ่ง [4]



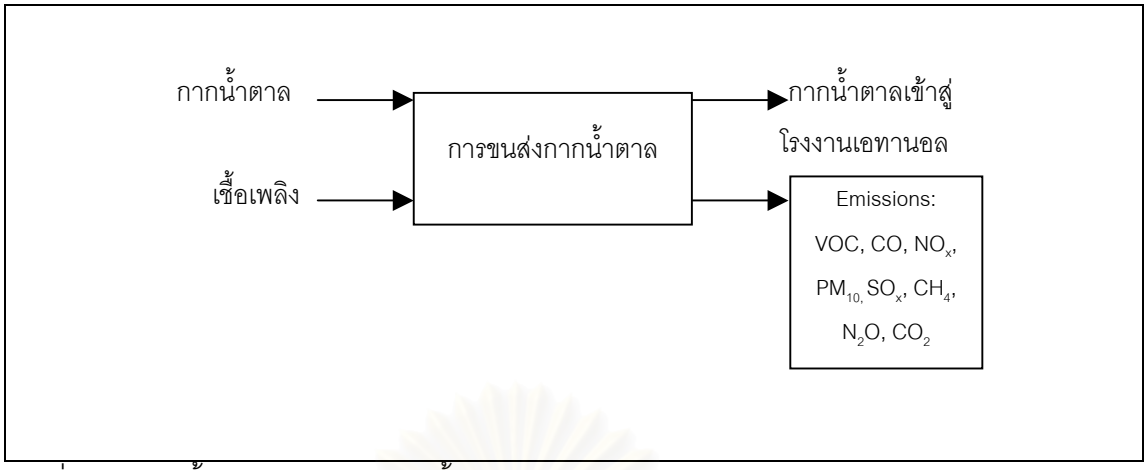
รูปที่ 4-4 แสดงขั้นตอนการขนส่งอ้อย

รูปที่ 4-4 แสดงขั้นตอนการขนส่งอ้อย ซึ่งในขั้นตอนนี้เนื่องจากการขนอ้อยขึ้นรถ ส่วนใหญ่จะใช้แรงงานคน และการขนอ้อยลงก็ไม่มีข้อมูลเพียงพอ จึงพิจารณาพลังงานและ emissions ในขั้นตอนนี้จากพลังงานและ emissions ที่มากับ เชื้อเพลิงที่ใช้ในรถบรรทุก 10 ล้อที่ใช้ขนส่งและที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง



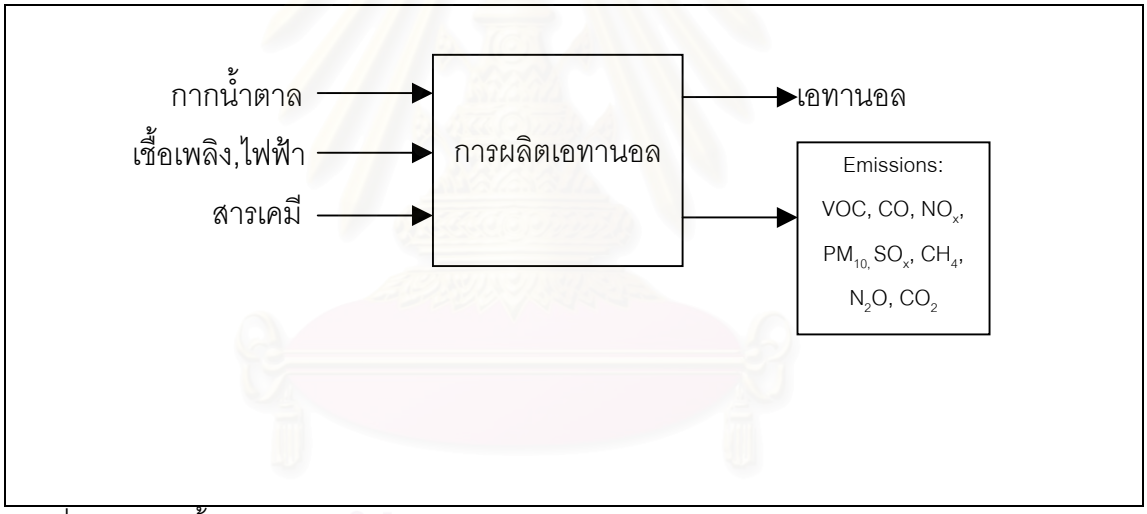
รูปที่ 4-5 แสดงขั้นตอนการผลิตกากน้ำตาล

ขั้นตอนผลิตกากน้ำตาลแสดงในรูปที่ 4-5 ซึ่งในขั้นตอนนี้ไม่พิจารณาการผลิตไฟฟ้าส่วนเกินจากกากอ้อยเนื่องจากมีปริมาณไม่มากและแปรปรวน พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตกากน้ำตาลมาจากกากอ้อยซึ่งจะต้องจัดสรรระหว่างกากน้ำตาลกับน้ำตาล emissions มาจากการเผาไหม้กากอ้อยในหม้อต้มไอน้ำ และเมื่อมีการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมาเชื่อมต่อกับโรงงานกากอ้อยเหลือก็จะเป็นเชื้อเพลิงสำหรับกระบวนการผลิตเอทานอลต่อไป



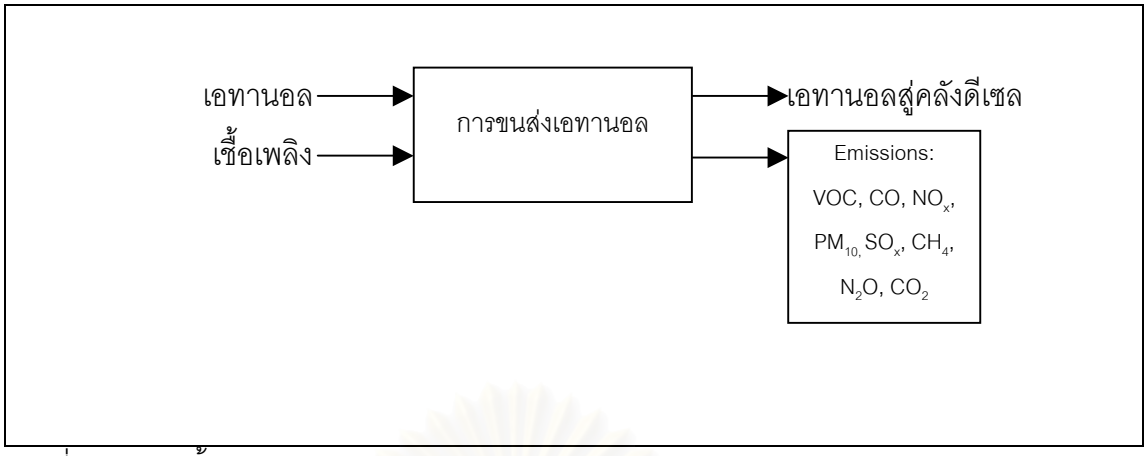
รูปที่ 4-6 แสดงขั้นตอนการขนส่งกากน้ำตาล

ขั้นตอนการขนส่งกากน้ำตาลซึ่งแสดงในรูปที่ 4-6 พลังงานและ emissions ในขั้นตอนนี้มาจากเชื้อเพลิงและการเผาไหม้เชื้อเพลิงในรถบรรทุกกากน้ำตาล



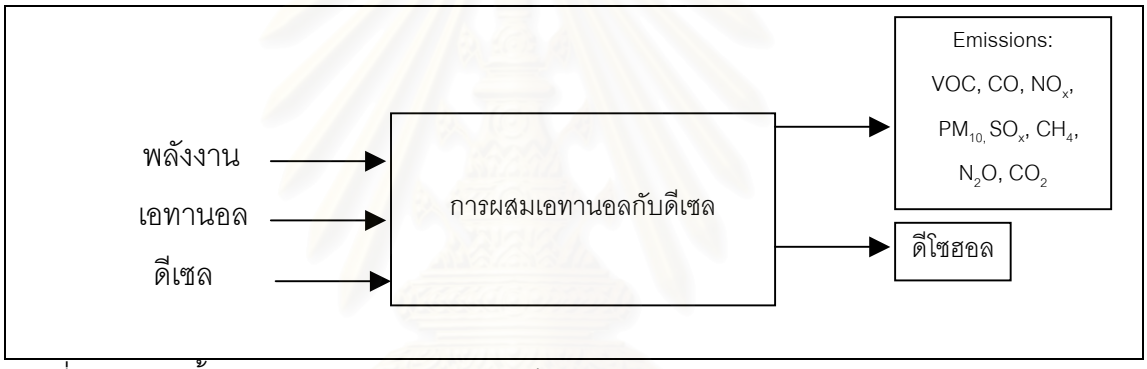
รูปที่ 4-7 แสดงขั้นตอนการผลิตเอทานอล

การผลิตเอทานอลดังแสดงในรูปที่ 4-7 ในขั้นตอนนี้พิจารณาพลังงานและ emissions จากเชื้อเพลิงและไฟฟ้าที่ใช้ผลิตเอทานอล ไม่พิจารณาพลังงานที่มากับสารเคมีและสาร denature เชื้อยีสต์และการเพาะเลี้ยงเชื้อยีสต์ ไม่พิจารณาความร้อนจากการหมักส่าและ CO_2 จากการหมัก [4]



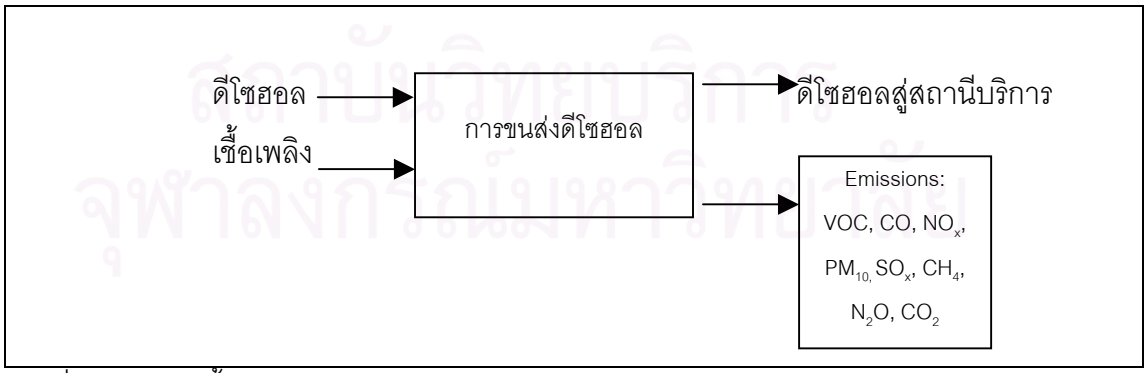
รูปที่ 4-8 แสดงขั้นตอนการขนส่งเอทานอล

ขั้นตอนการขนส่งเอทานอลดังแสดงในรูปที่ 4-8 นั้นพลังงานและ emissions จะพิจารณาจากเชื้อเพลิงที่ใช้ในรถบรรทุกที่ใช้บรรทุกเอทานอล



รูปที่ 4-9 แสดงขั้นตอนการผสมเอทานอลกับดีเซล

พลังงานและ emissions ในขั้นตอนผสมเอทานอลกับดีเซลดังแสดงในรูปที่ 4-9 มาจากไฟฟ้าที่ใช้ในการดำเนินการ

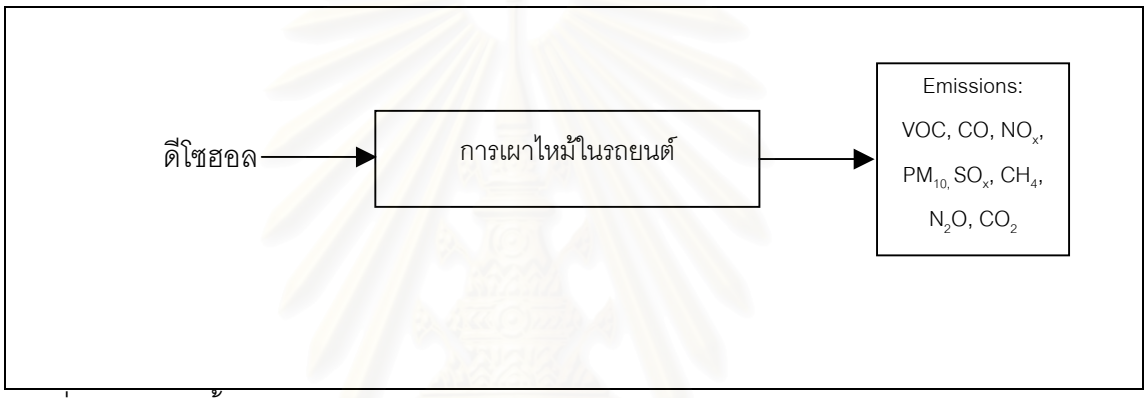


รูปที่ 4-10 แสดงขั้นตอนการขนส่งดีโซฮอล

พลังงานและ emissions ในขั้นตอนการขนส่งดีโซฮอลดังแสดงในรูปที่ 4-10 นั้นจะพิจารณาจากเชื้อเพลิงที่ใช้ในรถบรรทุกที่ใช้บรรทุกดีโซฮอล

รูปที่ 4-11 แสดงขั้นตอนการเติมดีโซฮอล

พลังงานและ emissions ในขั้นตอนการเติมดีโซฮอลดังรูปที่ 4-11นี้มาจากไฟฟ้าที่ใช้ในการดำเนินการและมาจากการระเหยของเชื้อเพลิง



รูปที่ 4-12 แสดงขั้นตอนการเผาไหม้ในรถยนต์

พลังงานและ emissions ในการใช้งานรถยนต์ดังรูปที่ 4-12 นี้มาจากดีโซฮอลและเกิดจากการเผาไหม้ดีโซฮอลด้วยโดยไม่คิด emissions จากการรั่วและระเหยของเชื้อเพลิง

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดข้อมูลที่ต้องนำมาพิจารณาในกระบวนการย่อยต่างๆตามแผนภาพ เมื่อกำหนดเสร็จแล้วก็จะพิจารณานำข้อมูลดังกล่าวจากแหล่งข้อมูลปฐมภูมิและแหล่งข้อมูลทุติยภูมิมาประกอบการพิจารณาในการศึกษา LCA นี้

ข้อมูลปฐมภูมิ

เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสอบถามและสัมภาษณ์จากผู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการต่างๆที่ศึกษา โดยเน้นข้อมูลจากชาวไร่ ข้อมูลจากโรงงานน้ำตาลและข้อมูลจากโรงงานผลิตเอทานอลซึ่งเป็นข้อมูลในส่วนที่คาดว่ามีผลมากต่อค่าพารามิเตอร์ที่ศึกษาในครั้งนี้

ข้อมูลทุติยภูมิ

เป็นการศึกษาข้อมูลที่ได้มีการรวบรวมไว้แล้วจากหน่วยงานต่างๆ หรือข้อมูลจากงานวิจัยที่มีการตีพิมพ์เผยแพร่อย่างเป็นทางการ เช่น สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร สถาบันวิจัยพลังงาน ฯลฯ

ตารางที่ 4-3 ถึงตารางที่ 4-12 แสดงถึงตัวแปรและแหล่งข้อมูลที่นำมาพิจารณา LCA ของขั้นตอนย่อยต่างๆ

ตารางที่ 4-3 แสดงตัวแปรและแหล่งข้อมูลของขั้นตอนการเพาะปลูกอ้อย

พารามิเตอร์ที่ต้องการ	แหล่งข้อมูล
1.พื้นที่เพาะปลูกอ้อยแจกแจงตามอำเภอ	สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย[28]
2.ผลผลิตอ้อยเฉลี่ย	สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร [15]
3.ผลผลิตอ้อยแจกแจงตามจังหวัดทั่วประเทศ	สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร [15]
4.ปริมาณการใช้ปุ๋ย N, P_2O_5, K_2O ในไร่อ้อย	สถาบันวิจัยพืชไร่ [5]
5.อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในไร่อ้อย	สถาบันวิจัยพืชไร่ [6]
6.อัตราการใช้ไฟฟ้าในไร่อ้อย	สถาบันวิจัยพืชไร่ (ไม่มีรายงานการใช้)
7.อัตราการใช้สารเคมีในไร่อ้อย	สถาบันวิจัยพืชไร่ [6]

ตารางที่ 4-4 แสดงตัวแปรและแหล่งข้อมูลของขั้นตอนการขนส่งอ้อย

พารามิเตอร์ที่ต้องการ	แหล่งข้อมูล
1.ระยะทางระหว่างไร่อ้อยกับโรงงานน้ำตาล	คำนวณจากสมมติฐานที่กำหนดขึ้น
2.น้ำหนักบรรทุกอ้อยของรถบรรทุก 10 ล้อ	สอบถามจากกลุ่มโรงงานน้ำตาลและงานวิจัย[29]
3.อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุก 10 ล้อ	สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานและสอบถามจากเกษตรกรชาวไร่อ้อย [30]

ตารางที่ 4-5 แสดงตัวแปรและแหล่งข้อมูลของขั้นตอนการผลิตกากน้ำตาล

พารามิเตอร์ที่ต้องการ	แหล่งข้อมูล
1.ปริมาณอ้อยที่เข้าหีบ	สถาบันวิจัยพลังงานและสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย [7]
2.ปริมาณผลิตภัณฑ์ตามขั้นตอนต่างๆ (น้ำตาลทรายดิบ,น้ำตาลทรายขาว,น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์,กากน้ำตาล,กากอ้อยเหลือ)	สถาบันวิจัยพลังงานและสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย [7], [31]
3.ปริมาณกากอ้อยที่ใช้เป็นพลังงาน	สถาบันวิจัยพลังงาน [7]
4.ปริมาณไฟฟ้าส่วนเกินจากกากอ้อย	สอบถามจากกลุ่มโรงงานน้ำตาล [29]
5.ปริมาณสารเคมีต่างๆที่ใช้	สอบถามจากกลุ่มโรงงานน้ำตาล [29]
6.ปริมาณไฟฟ้าใช้ในฤดูปิดหีบ	สอบถามจากกลุ่มโรงงานน้ำตาลและสถาบันวิจัยพลังงาน [29],[7]
7.คุณสมบัติต่างๆของกากอ้อย	สถาบันวิจัยพลังงาน [7]

ตารางที่ 4-6 แสดงตัวแปรและแหล่งข้อมูลของขั้นตอนการขนส่งกากน้ำตาล

พารามิเตอร์ที่ต้องการ	แหล่งข้อมูล
1.ระยะทางระหว่างโรงงานน้ำตาลกับโรงงานเอทานอล	จากการตั้งสมมติฐาน
2.ขนาดบรรจุของรถบรรทุก 10 ล้อ	สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน[32]
3.อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุก 10 ล้อ	สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน[32]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-7 แสดงตัวแปรและแหล่งข้อมูลของขั้นตอนการผลิตเอทานอล

พารามิเตอร์ที่ต้องการ	แหล่งข้อมูล
1.ปริมาณกากน้ำตาลที่ใช้	จากงานวิจัยและโรงงานผลิตเอทานอล [4]
2.ปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้ (เอทานอล 95% และเอทานอล 99.5%)	จากงานวิจัยและโรงงานผลิตเอทานอล [4], [33]
3.ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้	จากงานวิจัยและโรงงานผลิตเอทานอล [4], [33]
4.ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้	จากงานวิจัยและโรงงานผลิตเอทานอล [33]
5.ปริมาณสารเคมีที่ใช้	จากงานวิจัยและโรงงานผลิตเอทานอล [4], [33]
6.ปริมาณเอทานอล 95% Input	จากงานวิจัยและโรงงานผลิตเอทานอล [33]
7.ปริมาณเอทานอล 99.5% Output	จากงานวิจัยและโรงงานผลิตเอทานอล [33]
8.พลังงานที่ใช้ทำ dehydration	จากงานวิจัยและโรงงานผลิตเอทานอล [33]

ตารางที่ 4-8 แสดงตัวแปรและแหล่งข้อมูลของขั้นตอนการขนส่งเอทานอล

พารามิเตอร์ที่ต้องการ	แหล่งข้อมูล
1.ระยะทางระหว่างโรงงานเอทานอลกับคลังดีเซล	จากการตั้งสมมติฐานด้วยข้อมูลจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานและบริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน) [34]
2.ขนาดบรรจุของรถบรรทุก 10 ล้อ	สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน [32]
3.อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุก 10 ล้อ	สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน [32]

ตารางที่ 4-9 แสดงตัวแปรและแหล่งข้อมูลของขั้นตอนการผสมเอทานอลกับดีเซล

พารามิเตอร์ที่ต้องการ	แหล่งข้อมูล
1.สัดส่วนของเอทานอล 95% และดีเซลในการผสม	จากงานวิจัยและโรงงานผลิตเอทานอล [9]
2.สัดส่วนของเอทานอล 99.5% และดีเซลในการผสม	จากงานวิจัยและโรงงานผลิตเอทานอล [10]
3.พลังงานที่ใช้	จากโรงงานผลิตเอทานอล [33]

ตารางที่ 4-10 แสดงตัวแปรและแหล่งข้อมูลของขั้นตอนการขนส่งดีโซฮอล

พารามิเตอร์ที่ต้องการ	แหล่งข้อมูล
1.ระยะทางระหว่างคลังดีเซลกับสถานีบริการ	จากการตั้งสมมติฐานด้วยข้อมูลจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานและบริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน) [34]
2.ขนาดบรรจุของรถบรรทุก 10 ล้อ	จากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน[32]
3.อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุก 10 ล้อ	จากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน[32]

ตารางที่ 4-11 แสดงตัวแปรและแหล่งข้อมูลของขั้นตอนการเติมดีโซฮอล

พารามิเตอร์ที่ต้องการ	แหล่งข้อมูล
1.พลังงานที่ใช้ในการเติมดีโซฮอล	จากการตั้งสมมติฐานและงานวิจัย
2.emissions (การระเหยและรั่ว)	จากการตั้งสมมติฐานและงานวิจัย

จากความเห็นของผู้เชี่ยวชาญในธุรกิจเชื้อเพลิง พบว่าสามารถละทิ้งขั้นตอนนี้ได้ เนื่องจากปริมาณพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นเมื่อเทียบกับขั้นตอนอื่นแล้วมีค่าน้อยมาก

ตารางที่ 4-12 แสดงตัวแปรและแหล่งข้อมูลของขั้นตอนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในรถยนต์

พารามิเตอร์ที่ต้องการ	แหล่งข้อมูล
1.รายละเอียดของรถยนต์	งานวิจัย [10]
2.emission factors ของน้ำมันดีเซล	GREET Model [26]
3.อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	งานวิจัยและการตั้งสมมติฐาน [10]

ตารางที่ 4-13 ถึงตารางที่ 4-15 แสดงตัวแปรและแหล่งที่มา ของขั้นตอนการผลิตดีเซล การผลิตปุ๋ยและสารเคมี และ การผลิตไฟฟ้า

ตารางที่ 4-13 แสดงตัวแปรและแหล่งข้อมูลของการผลิตน้ำมันดีเซล

พารามิเตอร์ที่ต้องการ	แหล่งข้อมูล
1.พลังงานและ emissions ของการผลิตน้ำมันดีเซล	GREET Model [26]
2.emission factors ของการเผาไหม้น้ำมันดีเซลโดยเทคโนโลยีต่างๆ	GREET Model [26]

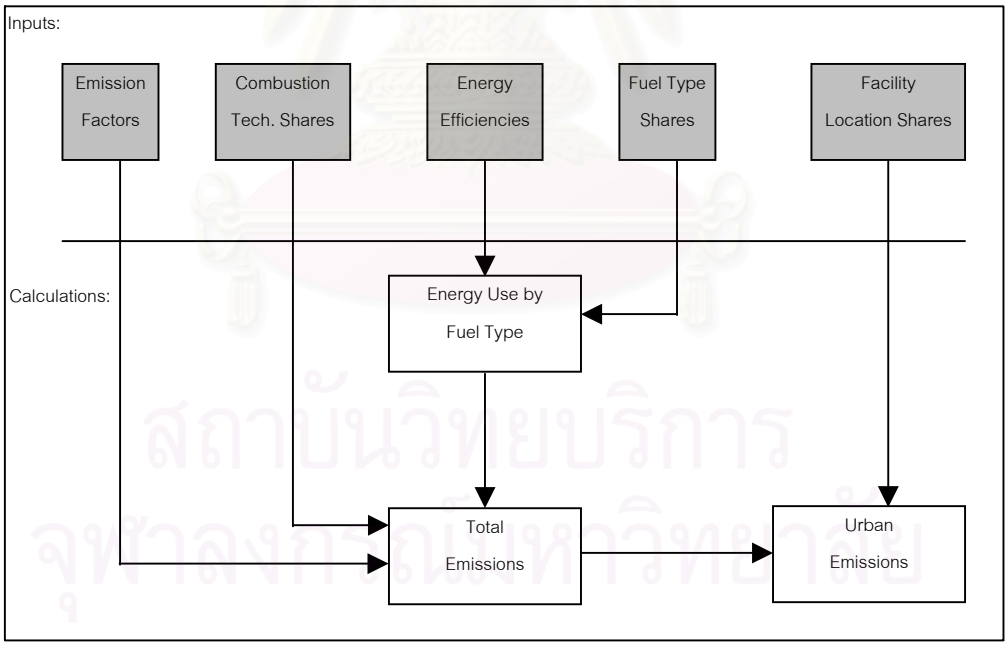
ตารางที่ 4-14 แสดงตัวแปรและแหล่งข้อมูลของการผลิตปุ๋ยและสารเคมี

พารามิเตอร์ที่ต้องการ	แหล่งข้อมูล
1.พลังงานของการผลิตปุ๋ยและสารเคมี	GREET Model [26]
2.% process fuel ที่ใช้ผลิตปุ๋ยและสารเคมี	GREET Model [26]
3.emission factors ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยและสารเคมี	GREET Model [26]

ตารางที่ 4-15 แสดงตัวแปรและแหล่งข้อมูลของขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า

พารามิเตอร์ที่ต้องการ	แหล่งข้อมูล
1.ปริมาณการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย [35]
2.%เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย [35]
3.%เชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิต	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย [35]

วิธีการคำนวณ



รูปที่ 4-13 แสดงตรรกะการคำนวณพลังงานที่ใช้และ emissions จากเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่ง[36]

จากรูปที่ 4-13 เป็นแผนภาพแสดงวิธีคิดในการคำนวณพลังงานที่ใช้และ emissions จากการผลิตเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่ง โดยคำนวณพลังงานที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจากประสิทธิภาพเชิงพลังงาน (energy efficiencies) กับสัดส่วนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิต จะได้

ออกมาเป็นปริมาณพลังงานที่ใช้ผลิตจากเชื้อเพลิงนั้น (energy use by fuel type) ซึ่งปริมาณพลังงานจำนวนนี้นำไปคำนวณร่วมกับค่า emission factors ของเชื้อเพลิงนั้นกับสัดส่วนของเทคโนโลยีที่ใช้เผาไหม้เชื้อเพลิงนั้น (combustion technology shares) ก็จะได้ค่า emissions ของการเผาไหม้เชื้อเพลิงนั้นโดยเทคโนโลยีนั้น เมื่อรวมค่า emissions ของทุกเทคโนโลยีที่ใช้ก็จะได้ค่า emissions ทั้งหมดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดนั้นๆ เมื่อรวมค่า emissions จากเชื้อเพลิงทุกชนิดที่ใช้เป็นพลังงานในการผลิตก็จะได้ค่า emissions ทั้งหมด (total emissions) ซึ่งจะแบ่งค่าของ total emissions ออกมาเป็นค่า emissions ที่เกิดขึ้นในเมือง (urban emissions) โดยใช้ค่าสัดส่วนของสาธารณูปโภคในพื้นที่นั้น (facility location shares) เป็นตัวแบ่ง

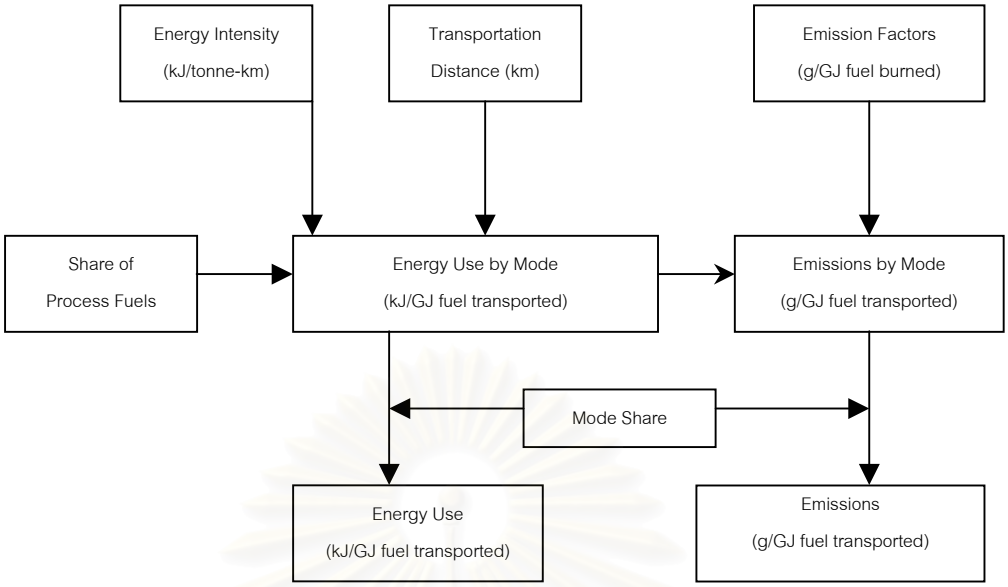
ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยมิได้แบ่ง Total Emissions ออกเป็น Urban Emissions เนื่องจากขาดข้อมูลที่พอเพียงสำหรับประเทศไทย คงทำการคำนวณออกมาในรูปเฉพาะ Total Emissions

1. การคำนวณในช่วงการขนส่งวัตถุดิบหรือเชื้อเพลิง

มี 5 ขั้นตอนในการประมาณค่าพลังงานที่ใช้ และ emissions

1. หาว่ารูปแบบของการขนส่งวัตถุดิบหรือเชื้อเพลิงเป็นแบบใด (เช่น ทางท่อ, เรือ, รถไฟ หรือ รถบรรทุก) ในที่นี้เลือกการขนส่งโดยรถบรรทุก 10 ล้อ ขนาดบรรทุกอ้อย 20 ตัน และปริมาณบรรจุวัตถุดิบและเชื้อเพลิงที่เป็นของเหลวมีค่า 15,000 ลิตร เป็นรูปแบบของการขนส่ง
2. ระบุชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับเป็นพลังงานในการขนส่งสำหรับแต่ละรูปแบบ เช่น (แกโซลีน, น้ำมันดีเซล) เชื้อเพลิงที่ใช้ในรถบรรทุก 10 ล้อในงานวิจัยครั้งนี้เป็นเชื้อเพลิงดีเซลเท่านั้น
3. ประมาณค่าระยะทางของแต่ละรูปแบบการขนส่งสำหรับแต่ละชนิดของเชื้อเพลิง ซึ่งได้แสดงการหาระยะทางระหว่างไร่อ้อยกับโรงงานน้ำตาล แสดงไว้ในภาคผนวก ฉ และแสดงการหาระยะทางระหว่างโรงงานเอทานอลกับคลังดีเซล แสดงไว้ในภาคผนวก ฎ
4. คำนวณพลังงานที่ใช้และ emissions ที่สัมพันธ์กับเชื้อเพลิงที่ใช้ไปในแต่ละรูปแบบการขนส่งโดยใช้วิธีการคำนวณตามแบบวิธีที่ได้จากข้อมูลทุติยภูมิ ในเอกสารอ้างอิง [2]
5. นำค่าพลังงานที่ใช้และ emissions ที่คำนวณได้ทุกรูปแบบการขนส่งสำหรับเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมารวมกัน

ขั้นตอนต่างๆแสดงดังรูปที่ 4-14 ในหน้าถัดไป



Simulation of Transportation of Energy Feedstocks and Fuels

รูปที่ 4-14 แสดงแบบจำลองของการขนส่งวัตถุดิบและเชื้อเพลิง [36]

2. การคำนวณ Feedstock-to-Tank Energy Efficiency [36]

Efficiency = 1,000,000/(1,000,000+total energy use) (4-1)

เมื่อ

1,000,000 = เชื้อเพลิงปริมาณ 1 GJ ที่ถังเชื้อเพลิงในรถยนต์ และ

total energy use = พลังงานทั้งหมด (FTT total energy use) ที่ใช้ผลิตและขนส่งเชื้อเพลิงปริมาณ 1 GJ ไปยังถังเชื้อเพลิงในรถยนต์ (มีหน่วย kJ ต่อ GJ ของเชื้อเพลิงในถังเชื้อเพลิง)

3. การคำนวณ Tank-to-Wheel Efficiency [36]

Tank to Wheel Eff = Energy Output/Energy Input (4-2)

เมื่อ

Energy output ของระบบขับเคลื่อนมีนิยามว่า จำนวนพลังงานรวมทั้งหมดที่ต้องการเพื่อเอาชนะ rolling resistance, aerodynamic, และ inertial (acceleration) load ตลอดรูปแบบการขับขี่

Energy output $= \sum[(\text{Roll Resist})+(\text{Aero Resist})+(\text{Ma})]*V*\Delta t = \underline{\text{Energy@Wheels}}$

และ จำนวนทั้งหมดของ energy input ของระบบมีนิยามว่า

Energy input = ค่าพลังงานของเชื้อเพลิงที่ถูกบริโภค

4. การคำนวณ FTW Total Energy Use ในรูป kJ/km คำนวณได้ดังนี้ [36]

(kJ/km) = (1/FTT Eff)*(LGE/km)*(31,491 kJ/LGE) (4-3)

เมื่อ

FTT Eff = Feedstock-to-Tank efficiency = 1,000,000/(1,000,000+E)

LGE = ปริมาณเทียบเท่ากับจำนวนลิตรของแกโซลีน และ

E = พลังงานที่สูญเสียไปต่อเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ 10^6 kJ ในระหว่างกระบวนการ FTT

5. การคำนวณ FTW Greenhouse Gas Emissions ในรูป g/km คำนวณได้ดังนี้ [36]

Feedstock-to-Wheel GHG emissions = (Feedstock-to-Tank GHG emissions)+ (Tank-to-Wheel GHG emissions) (4-4)

เมื่อ

Feedstock-to-Tank GHG emissions (g/km) = (FTT GHG emissions(g)/FTT(million kJ))*(LGE/km)*(31,491 kJ/LGE) (4-5)

Tank-to-Wheel GHG emissions (g/km) = (TTW GHG emissions(g)/TTW(million kJ))*(LGE/km)*(31,491 kJ/LGE) (4-6)

6. การคำนวณพลังงานนำเข้าต่อหน่วยพลังงานนำออกของผลิตภัณฑ์สำหรับช่วงต้นน้ำแต่ละขั้น

คำนวณโดยใช้ “energy efficiency” ของขั้นตอนนั้นๆ [2]

$Energy_{in}$ = 1/efficiency (4-7)

เมื่อ

$Energy_{in}$ = พลังงานนำเข้าในขั้นตอนที่กำหนด (หน่วย kJ per kJ ของพลังงานนำออกของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนนั้น)

และ Efficiency = ประสิทธิภาพเชิงพลังงานของขั้นตอนที่กำหนด (นิยามเป็น พลังงานนำเข้า/พลังงานนำออก สำหรับขั้นตอนนั้น)

ในกรณีของเอทานอล บางขั้นตอนของขั้นตอนต่างๆในช่วงต้นน้ำ จะใช้ปริมาณที่แท้จริงของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิต (process fuel) วัตถุดิบในการผลิต (feedstock inputs) และผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงที่ได้ในการคำนวณพลังงานที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงสำหรับขั้นตอนนั้น เช่น การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล จะพิจารณาว่าต้องใช้กากน้ำตาลและเชื้อเพลิงปริมาณเท่าไหร่จึงจะผลิตเอทานอลได้ 1 หน่วย เป็นต้น

7. การคำนวณปริมาณ Process Fuels ที่ใช้ในแต่ละ unit process [2]

Process Fuels = 1/efficiency – 1 (4-8)

เมื่อ

Process Fuels = ปริมาณเชื้อเพลิงที่จำเป็นต้องใช้ในขั้นตอนที่กำหนดเพื่อผลิตพลังงานออกมา 1 หน่วย (หน่วย kJ ต่อ kJ ของพลังงานนำออกจากขั้นตอนนั้น) และ

Efficiency = ประสิทธิภาพเชิงพลังงานของขั้นตอนที่กำหนด (นิยามเป็น พลังงานนำเข้า/พลังงานนำออก สำหรับขั้นตอนนั้น)

8.การคำนวณ emissions จากการเผาไหม้ [2] สามารถประมาณได้โดยใช้ปริมาณของเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ และค่า emission factors ของการเผาไหม้

การคำนวณ Emissions สำหรับขั้นตอนในช่วงต้นน้ำแต่ละขั้นตอน เป็นดังนี้

$$EM_{cm,i} = (\sum_j \sum_k EF_{i,j,k} \times EC_{j,k}) \div 1{,}000{,}000 \quad (4\text{-}9)$$

เมื่อ

$EM_{cm,i}$ = emission จากการเผาไหม้ของมลพิษ i มีหน่วย $g/10^6$ kJ ของเชื้อเพลิงที่ผลิตได้

$EF_{i,j,k}$ = emission factor ของมลพิษ i สำหรับเชื้อเพลิง j ที่ถูกเผาไหม้ด้วยเทคโนโลยี k มีหน่วย $g/10^6$ kJ ของเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ และ

$EC_{j,k}$ = ปริมาณของเชื้อเพลิง j ที่ถูกเผาไหม้ด้วยเทคโนโลยี k มีหน่วย $kJ/10^6$ kJ ของเชื้อเพลิงที่ผลิตได้

ซึ่ง $EC_{j,k} = EC \times Share_{fuel\ j} \times Share_{tech\ k,j}$ (4-10)

เมื่อ

EC = พลังงานทั้งหมดที่ใช้ผลิตในขั้นตอนที่กำหนด

(มีหน่วย $kJ/10^6$ kJ ของเชื้อเพลิงที่ผลิตได้)

$Share_{fuel\ j}$ = สัดส่วนของเชื้อเพลิง j จากเชื้อเพลิงทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตในขั้นตอนที่กำหนด

($\sum_j fuel_j = 1$)

$Share_{tech\ k,j}$ = สัดส่วนของเทคโนโลยีการเผาไหม้ k จากเทคโนโลยีการเผาไหม้ทั้งหมดที่ใช้สำหรับเผาไหม้เชื้อเพลิง j

($\sum_k tech_{k,j} = 1$)

9. การคำนวณ SO_x emission factors [2] ใน GREET ในกรณีของเชื้อเพลิงที่ไม่ใช่ coal, crude oil, residual oil คำนวณโดยสมมติว่าซัลเฟอร์ในเชื้อเพลิงเหล่านี้ถูกเปลี่ยนเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ทั้งหมด โดยใช้สูตร

$$SO_{x,j} = Density_j \div LHV_j \times 1{,}000{,}000 \times S_ratio_j \times 64 \div 32, \quad (4\text{-}11)$$

เมื่อ

$SO_{x,j}$ = SO_x (SO_2 เป็นหลัก) emission factor จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง j

(มีหน่วย g/10^6 kJ ของเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้)

$Density_j$ = ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง j (มีหน่วย กรัมต่อลิตร [g/l] สำหรับเชื้อเพลิงเหลว, กรัมต่อลูกบาศก์เมตร [g/m^3] สำหรับเชื้อเพลิงก๊าซ เช่น ก๊าซธรรมชาติและก๊าซไฮโดรเจน, หรือ กรัมต่อตัน [g/tonne] สำหรับเชื้อเพลิงแข็ง เช่น ถ่านหินและชีวมวล)

LHV_j = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง j (มีหน่วย kJ/l สำหรับเชื้อเพลิงเหลว, kJ/m^3 สำหรับเชื้อเพลิงก๊าซ, หรือ kJ/tonne สำหรับเชื้อเพลิงแข็ง)

S_ratio_j = สัดส่วนโดยน้ำหนักของซัลเฟอร์ในเชื้อเพลิง j

64 = มวลโมเลกุลของ SO_2

32 = มวลอะตอมของธาตุซัลเฟอร์

ในกรณีของการคำนวณ SO_x emission factors จากการเผาไหม้ของ coal, residual oil และ crude oil เนื่องจากค่า emission factors จะมากเกินกว่ามาตรฐานที่กำหนด ซึ่งต้องใช้วิธีการ Desulfurization ในการลดมลพิษอยู่แล้ว จึงจะใช้ค่าตามมาตรฐานที่กำหนดไว้แล้ว

ค่า emission factors ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ได้โดยตรงจาก GREET Model รุ่น 1.5a โดยจะไม่คำนวณอีก ในที่นี้เพียงแต่แสดงวิธีการคำนวณที่อ้างอิงไว้จากรายงาน

10. การคำนวณ CO_2 emission factors จากการเผาไหม้ [2] (มีหน่วย g/10^6 kJ ของเชื้อเพลิงผลิตภัณฑ์) ใน GREET ใช้วิธี carbon balance คือ คาร์บอนในเชื้อเพลิงที่ถูกเผาลบด้วยคาร์บอนใน emissions จากการเผาไหม้ของ VOCs, CO และ CH_4 ถูกสมมติว่าเปลี่ยนเป็น CO_2 หมดโดยใช้สูตร

$$CO_{2,j,k} = [Density_j \div LHV_j \times 1{,}000{,}000 \times C_ratio_j - (VOC_{j,k} \times 0.85 + CO_{j,k} \times 0.43 + CH_{4,j,k} \times 0.75)] \times 44 \div 12 \quad (4\text{-}12)$$

เมื่อ

$CO_{2,j,k}$ = CO_2 emission factor จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง j โดยเทคโนโลยี k (มีหน่วย g/10^6 kJ ของเชื้อเพลิง j ที่ถูกเผาไหม้)

$Density_j$ = ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง j (มีหน่วย g/l สำหรับเชื้อเพลิงเหลว, g/m^3 สำหรับเชื้อเพลิงก๊าซ, หรือ g/tonne สำหรับเชื้อเพลิงแข็ง)

LHV_j = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง j (มีหน่วย kJ/l สำหรับเชื้อเพลิง j, kJ/m^3 สำหรับเชื้อเพลิงก๊าซ, หรือ kJ/tonne สำหรับเชื้อเพลิงแข็ง)

C_ratio_j = สัดส่วนคาร์บอนโดยน้ำหนักในเชื้อเพลิง j

$VOC_{j,k}$ = VOC emission factor ของการเผาไหม้เชื้อเพลิง j โดยเทคโนโลยี k (มีหน่วย g/10^6 kJ ของเชื้อเพลิง j ที่ถูกเผาไหม้)

0.85 = ค่าประมาณเฉลี่ยของสัดส่วนคาร์บอนโดยน้ำหนักใน VOC emission จากการเผาไหม้

$CO_{j,k}$ = CO emission factor ของการเผาไหม้เชื้อเพลิง j โดยเทคโนโลยี k (มีหน่วย g/10^6 kJ ของเชื้อเพลิง j ที่ถูกเผาไหม้)

0.43 = สัดส่วนคาร์บอนโดยน้ำหนักใน CO

$CH_{4,j,k}$ = CH_4 emission factor ของการเผาไหม้เชื้อเพลิง j โดยเทคโนโลยี k (มีหน่วย g/10^6 kJ ของเชื้อเพลิง j ที่ถูกเผาไหม้)

0.75 = สัดส่วนคาร์บอนโดยน้ำหนักใน CH_4

44 = มวลโมเลกุลของ CO_2

12 = มวลอะตอมของธาตุคาร์บอน

11. การคำนวณ Energy Use และ Emissions ของขั้นตอนต่าง ๆในช่วงต้นน้ำสำหรับวัฏจักรเชื้อเพลิง [2] คำนวณโดยใช้สูตร

$$EM_i = (\sum_j (EM_{cm,i,j} + EF_{up,i,j}) \times EC_j) \div 1{,}000{,}000 \qquad (4\text{-}13)$$

เมื่อ

EM_i = emissions ของมลพิษ i มีหน่วย g/10^6 kJ ของเชื้อเพลิงผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนที่กำหนด

$EM_{cm,i,j}$ = emission จากการเผาไหม้ของมลพิษ i มีหน่วย g/10^6 kJ ของเชื้อเพลิง j ที่ถูกเผาไหม้

$EF_{up,i,j}$ = emissions ในช่วงต้นน้ำของมลพิษ i มีหน่วย g/10^6 kJ ของเชื้อเพลิง j ที่ถูกผลิตและขนส่งเชื้อเพลิง j มายังขั้นตอนที่กำหนด (GREET คำนวณตาม circular calculation programming)

EC_j = พลังงานจากเชื้อเพลิง j ที่ถูกบริโภคในขั้นตอนที่กำหนด

สูตรนี้คำนวณโดยคิดว่าพลังงานที่ใช้และ emissions ของแต่ละขั้นตอนมาจากพลังงานและ emissions ที่ใช้ผลิตเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ รวมกับพลังงานและ emissions ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจำนวนนั้น

12.การคำนวณ Aggregation of Energy Use and Emissions **ของขั้นตอนต่างๆในช่วงต้นน้ำตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิง** [2] สมการต่อไปนี้ถูกพัฒนาสำหรับ GREET เพื่อคำนึงถึง fuel loss effects

$$TEM_{up} = \sum_i EM_i \times K_{i-1} \times K_{i-2} \times \ldots \times K_1 \times K_0 \quad (4\text{-}14)$$

เมื่อ

TEM_{up} = emissions ทั้งหมดในช่วงต้นน้ำสำหรับวัฏจักรเชื้อเพลิงที่กำหนด (มีหน่วย g/10^6 kJ ของเชื้อเพลิงที่สถานีบริการ)

EM_i = emissions จากขั้นตอน i (g/10^6 kJ ของเชื้อเพลิงผลิตภัณฑ์จากขั้นตอน i)

K_i = Fuel loss factor สำหรับขั้นตอน i เพื่อคำนึงถึงการสูญเสียเชื้อเพลิงในขั้นตอน i

i = ขั้นตอนที่ ith โดยเริ่มนับขั้นตอนการใช้งานรถยนต์ (vehicle operation) เป็นขั้นที่ 0 หรืออีกนัยหนึ่งคือ ขั้นตอนการใช้งานรถยนต์ถูกพิจารณาให้เป็นขั้นตอนที่ 0 และ K_0 มีค่าเป็น 1 เสมอ ขั้นตอนถัดย้อนขึ้นไปจากขั้นตอนการใช้งานรถยนต์คือขั้นตอนการจำหน่ายเชื้อเพลิงที่สถานีบริการถูกนับเป็นขั้นตอน 1 และขั้นตอนต่อๆไปก็ใช้หลักดังกล่าว

สำหรับขั้นตอนที่กำหนด ค่า fuel loss factor (K_i) คำนวณโดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$K_i = 1+(1/efficiency_i-1) \times Loss_Share_i \quad (4\text{-}15)$$

เมื่อ

$Efficiency_i$ = ประสิทธิภาพเชิงพลังงานสำหรับขั้นตอน i ซึ่งคำนวณจากพลังงานจากผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงที่ได้หารด้วยพลังงานนำเข้าทั้งหมดของขั้นตอนนั้น (รวมทั้งเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นวัตถุดิบและเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้) และ

$Loss_Share_i$ = สัดส่วนของเชื้อเพลิงที่สูญเสียจากพลังงานนำเข้าทั้งหมดของขั้นตอน i

สูตรนี้เป็นการรวมพลังงานที่ใช้ของทุกขั้นตอนในช่วงต้นน้ำ และรวม emissions ของทุกขั้นตอนในช่วงต้นน้ำโดยคำนึงถึงการสูญเสียของเชื้อเพลิงด้วย

13. emission factors ของ NO_x, N_2O และ PM_{10} จะเลือกใช้ค่าจาก GREET MODEL รุ่น 1.5a

สมมติฐานงานวิจัย

1. emission factors

วิธีการได้จาก Technical Report: GREET 1.5—Transportation Fuel-Cycle Model(August 1999) โดยค่า emission factors ของการเผาไหม้ของ NG, Diesel, Gasoline ใช้แทนค่า emission factors ของก๊าซธรรมชาติ น้ำมันดีเซลและแกโซลีนตามลำดับ ส่วนถ่านหินลิกไนต์จะใช้ค่า emission factors ของ coal นอกจากนี้ยังมีค่า emission factors ของ crude ซึ่งใช้แทนน้ำมันดิบ ของ Residual oil ใช้แทนน้ำมันเตาหรือ fuel oil ส่วนค่า emission factors ของการเผาไหม้ของกากอ้อย จะใช้ค่า emission factors ของ wood ค่าต่างๆเหล่านี้ได้จาก GREET Model 1.5a

สำหรับสัดส่วนของคาร์บอนใน VOC, CO, CH_4 และ CO_2 หรือที่เรียกว่า carbon ratio จะใช้ค่าจาก GREET 1.5a รวมถึงค่า sulfur ratio ของ SO_2 ด้วย

สำหรับค่าคุณสมบัติทั่วไปของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ คือ Heating Value, Density, C ratio และ S ratio จะได้จาก specifications of fuels จาก GREET 1.5a

สำหรับค่าที่แสดงถึงศักยภาพในการทำให้โลกร้อนหรือ Global Warming Potentials GHGs เมื่อเทียบกับ CO_2 ก็ได้จาก GREET 1.5a

2. พลังงานและ emissions ของการผลิตเชื้อเพลิงปิโตรเลียม ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ

สำหรับเชื้อเพลิงปิโตรเลียม คือ crude, conventional gasoline, conventional diesel และ residual oils นั้น ค่าพลังงานและ emissions ของการผลิตเชื้อเพลิงเหล่านี้ จะใช้ค่าจาก GREET 1.5a โดยไม่คำนึงถึง Loss factor และ Urban emissions

สำหรับก๊าซธรรมชาตินั้น พลังงานและ emissions จะได้จากค่าของ NG ใน GREET 1.5a โดยจะรวมทุกขั้นตอน คือ Recovery, Processing, Processing Emissions, Transmission and Distribution และรวมทั้ง CH_4 leakage และ VOC spillage และไม่คำนึงถึง Urban emissions

สำหรับถ่านหินลิกไนต์ในเมืองไทย จะใช้ค่าพลังงานและ emissions ของการผลิตจากค่าของ coal ใน GREET 1.5a โดยไม่คำนึงถึง Urban Emissions

3. การคำนวณพลังงานและ emissions ของการผลิตไฟฟ้า (คำนวณจากข้อมูลใน [35], [37] และวิธีคำนวณใน [2])

ใช้ข้อมูลการผลิตและซื้อพลังงานไฟฟ้า ในปีงบประมาณ 2545 โดยไม่คิดการผลิตจากพลังงานทดแทนและพลังงานไฟฟ้าที่ซื้อ

ใช้ข้อมูลกำลังผลิตในระบบ ในปีงบประมาณ 2545 โดยไม่คิดการผลิตจากพลังงานทดแทน และคิดเฉพาะกำลังการผลิตรวมของ กฟผ.เท่านั้น ซึ่งคิดเป็น 63.15% ของกำลังการผลิตทั้งหมด

ใช้ข้อมูลประสิทธิภาพของโรงงานไฟฟ้าประเภทต่างๆ คือ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม โรงไฟฟ้าพลังความร้อน โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ และโรงไฟฟ้าดีเซล โดยเลือกค่า 40% 30% 25% และ 30% ตามลำดับ

นอกจากนี้ สมมติให้โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง 100% ให้โรงไฟฟ้าพลังความร้อนใช้เชื้อเพลิงเป็นถ่านหินลิกไนต์กับน้ำมันเตา ให้โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง 100% ส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากน้ำมันดีเซลสมมติให้ใช้เทคโนโลยีโรงไฟฟ้าดีเซล 100%

สำหรับสัดส่วนการใช้ก๊าซธรรมชาติของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมกับโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ จะใช้สัดส่วนจากอัตราส่วนของกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าทั้ง 2 แบบดังกล่าว

สำหรับไฟฟ้าพลังน้ำจะคิดสัดส่วนรวมไปด้วย แต่จะให้ค่าพลังงานเท่ากับไฟฟ้าส่วนที่มาจากพลังน้ำโดยไม่ต้องหารด้วยประสิทธิภาพ และให้ค่า emissions เป็นศูนย์ด้วย

ค่า emissions ของการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่างๆในโรงไฟฟ้าเป็นดังนี้ โดยการเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมจะใช้เทคโนโลยี CC Gas Turbine ส่วนโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซจะใช้เทคโนโลยี Large Gas Turbine สำหรับการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์โดยโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจะใช้ค่าของการเผาไหม้ coal ในเทคโนโลยี Industrial boiler 100% เช่นเดียวกับน้ำมันเตาจะใช้ค่าของการเผาไหม้ residual oil ในเทคโนโลยี Industrial boiler ส่วนการเผาไหม้น้ำมันดีเซลในโรงไฟฟ้าดีเซล สมมติให้เผาไหม้โดยใช้ค่าของการเผาไหม้ conventional diesel โดยเทคโนโลยีเครื่องยนต์ประจำที่แบบลูกสูบ (Stationary reciprocating engine) 100%

4. การคำนวณพลังงานและ emissions ของการผลิตปุ๋ยและสารเคมี

(คำนวณจากข้อมูลและวิธีคิดในเอกสารอ้างอิง [2], [26])

สำหรับค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตและเปอร์เซนต์ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตปุ๋ย N, P_2O_5 และ K_2O เลือกใช้ค่าจาก GREET 1.5a

สำหรับค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตและเปอร์เซนต์ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตยาปราบศัตรูพืชและยาฆ่าแมลงเลือกใช้ค่าจาก GREET 1.5a

เพราะว่าจากข้อมูลที่มียังไม่สามารถสรุปได้ว่าพลังงานจากก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดีเซลที่ใช้ผลิตปุ๋ยและสารเคมีนั้นถูกเผาไหม้หรือใช้เป็นสารเคมีในกระบวนการทางเคมี จึงสรุปว่า emissions ที่เกิดจะเกิดจากการผลิตก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดีเซลเท่านั้น โดยไม่คิดว่าพลังงานจากเชื้อเพลิงทั้ง 2 ตัวนี้ผ่านกระบวนการเผาไหม้ ส่วนค่าพลังงานจะคิดจากพลังงานที่ใช้ผลิตปุ๋ยและสารเคมีซึ่งได้จากเชื้อเพลิงรวมกับพลังงานที่ใช้ผลิตเชื้อเพลิง

5. การคำนวณการใช้พลังงานในไร่อ้อย (คำนวณจากข้อมูลในเอกสารอ้างอิง [5], [6]โดยวิธีการคำนวณจาก [2])

พลังงานหลักๆ ที่พิจารณาในขั้นตอนนี้มาจากการใช้ปุ๋ย N, P_2O_5 และ K_2O สารเคมีที่ใช้ปราบศัตรูพืชและยาฆ่าแมลง รวมทั้งเชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องจักรกลในไร่ คือ น้ำมันดีเซล และน้ำมันเบนซินโดยเลือกใช้ค่าอัตราการใช้ปุ๋ย N, P_2O_5 และ K_2O เป็น 15 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งเป็นอัตราที่คาดว่าให้ผลผลิตอ้อยมากที่สุดจากการทดลอง ส่วนอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะใช้ค่า 5.54 ลิตร/ไร่ สำหรับน้ำมันดีเซลและ 0.02 ลิตร/ไร่ สำหรับน้ำมันเบนซิน ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการสำรวจโดยคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล สำหรับการใช้สารเคมีเนื่องจากขาดข้อมูล

การใช้ปริมาณสารเคมีในไร่อ้อยจริงๆ มีแต่อัตราที่แนะนำให้เลือกใช้ของสารเคมีบางชนิด จึงเลือกใช้ Atrazine ในอัตรา 400 กรัม/ไร่ เพื่อปราบวัชพืช ซึ่งในความเป็นจริงแล้วเกษตรกรอาจจะใช้แรงงานคน วิธีทางกลและวิธีการอื่นๆ เช่น ทางชีววิทยาในการควบคุมวัชพืช จึงใช้ค่าดังกล่าวเป็นตัวแทนในการคำนวณ สำหรับยาฆ่าแมลงเนื่องจากไม่มีข้อมูล ชนิดการใช้ และเปอร์เซนต์ของไร่อ้อยที่ใช้ยาฆ่าแมลง มีแต่อัตราที่แนะนำให้เลือกใช้กำจัดแมลงชนิดต่างๆ ซึ่งไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นชนิดใดในการปลูกแต่ละครั้ง ในแต่ละพื้นที่และฤดูกาล จึงให้เลือกใช้ยาฆ่าแมลงเป็นศูนย์ เนื่องจากเป็นทางเลือกเท่านั้น นอกจากนี้ยังประมาณค่า emissions ของ N_2O และ NO_x จาก Nitrification and Denitrification ของปุ๋ยไนโตรเจนด้วย

6. วิธีการคำนวณหาระยะทางระหว่างไร่อ้อยกับโรงงานน้ำตาล

1.ระบุอำเภอตำแหน่งที่ตั้งโรงงานน้ำตาลในแผนที่ทางหลวง

2.ระบุอำเภอตำแหน่งที่ปลูกอ้อยในแผนที่ทางหลวง

3.อำเภอใดอยู่ใกล้โรงงานน้ำตาลใดมากที่สุด จะส่งอ้อยป้อนโรงงานน้ำตาลนั้นและวัดระยะทางจากแผนที่ทางหลวง

4.พิจารณาให้อำเภอปลูกอ้อยที่มีระยะห่างสั้นที่สุดส่งอ้อยเข้าโรงงานน้ำตาลก่อนและถัดมาตามลำดับจนกระทั่งเต็ม ถ้ามีปริมาณอ้อยเกินปริมาณที่โรงงานจะรับได้ จะต้องส่งอ้อยไปยังโรงงานอื่นที่อยู่ใกล้เป็นลำดับถัดไปและวัดระยะทางใหม่

5.ระยะทางเฉลี่ย = ($\sum$ปริมาณ x ระยะทาง)/ปริมาณรวม (กม.)

หมายเหตุ

1.ข้อมูลพื้นที่ปลูกอ้อยรายอำเภอได้จากการใช้ภาพถ่ายทางดาวเทียมโดยสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย แต่ไม่มีปริมาณผลผลิต

2.ทำให้ต้องใช้ปริมาณผลผลิตจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (มีปริมาณรวมทุกจังหวัดประมาณ 49 ล้านตัน)

3.ถ้าใช้พื้นที่จากข้อ1.คูณกับผลผลิตเฉลี่ยจากข้อ2.จะได้ปริมาณประมาณ 55 ล้านตัน ซึ่งมากกว่าปริมาณจากข้อ2. และปริมาณรวมที่โรงงานรับได้ ดังนั้นจึงแก้ไขใหม่

การแก้ไข

ปริมาณอ้อยรายอำเภอ = (%พื้นที่) x (ปริมาณอ้อยจากข้อ2. ในแต่ละจังหวัด)

เมื่อ %พื้นที่ = พื้นที่ปลูกอ้อยของอำเภอนั้น/พื้นที่ปลูกอ้อยทั้งจังหวัด

สมมติฐาน

1.ให้พื้นที่อำเภอที่ตั้งโรงงานน้ำตาลมีรูปร่างเป็นวงกลม

2.พื้นที่ = π x r^2 ดังนั้น r = (พื้นที่/π)$^{1/2}$ เมื่อ r คือรัศมี ระยะทางคือ r/2

3. 1 ไร่ = 1600 ตารางเมตร

1 ตารางกิโลเมตร = 10^6 ตารางเมตร

ดังนั้น 1 ไร่ = ($16/10^4$) ตารางกิโลเมตร

7.การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงานน้ำตาล

จากการสัมภาษณ์เจ้าของไร่อ้อยพบว่าใช้รถบรรทุก 10 ล้อ บรรทุกอ้อย 20 ตัน โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ 2 กิโลเมตรต่อลิตร ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของสำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร จึงใช้ค่านี้ในการคำนวณ

8.การผลิตกากน้ำตาล

พลังงานที่ใช้ในฤดูหีบอ้อยมาจากกากอ้อย 100% เนื่องจาก จากการสัมภาษณ์เจ้าของโรงงานน้ำตาลพบว่า ในกรณีที่มีอ้อยเข้าหีบมากพอก็อาจจะมีไฟฟ้าส่วนเกินเพื่อขายให้ กฟภ. แต่ต้องเป็นโรงงานที่มีกำลังการผลิตสูงและมีอ้อยเข้าหีบมากพอจริงๆซึ่งมีน้อยในทางปฏิบัติ ในการคำนวณจึงสมมติว่าไม่มีไฟฟ้าส่วนเกินเพื่อขาย ส่วนในฤดูปิดหีบปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อจาก กฟภ. มีปริมาณไม่แน่นอน มากบ้างน้อยบ้างขึ้นกับชนิดและปริมาณของกิจกรรมในโรงงาน ส่วนใหญ่จะหมดไปกับการซ่อมบำรุง ซึ่งต้องมีการเชื่อมไฟฟ้าและการกลึงโลหะ ซึ่งใช้ไฟฟ้าเยอะ ตัวเลขที่พอจะอ้างอิงได้ คือ 200,000 kW-h/month ซึ่งในความเป็นจริงบางเดือนตัวเลขอาจน้อยกว่านี้มากๆ จึงไม่นำไฟฟ้าที่ซื้อจาก กฟภ.มาคำนวณเนื่องจากไม่สามารถยืนยันตัวเลขได้ นอกจากนี้ในการผลิตน้ำตาลจะใช้ปูนขาว 2.5 กิโลกรัมต่อตันอ้อยแต่เนื่องจากข้อมูลพลังงานที่ใช้และ emissions ของปูนขาวไม่มี จึงไม่นำมารวมในการคำนวณแต่จะระบุไว้ต่างหาก การคำนวณ emissions จากการเผาไหม้กากอ้อยจะใช้ค่า emission factors ของการเผาไหม้ wood ใน FBC boiler จาก GREET1.5a

การจัดสรรพลังงานและ emissions ที่มากับอ้อยที่เข้าโรงงานให้แก่กากน้ำตาล และการจัดสรรพลังงานและ emissions จากการเผาไหม้กากอ้อยให้กากน้ำตาล ใช้การคำนวณจากวิธีการ economic value ของ Tom Beer et al., March 2000. เรื่อง “ Life – cycle Emissions Analysis

of Alternative Fuels for Heavy Vehicles” [4] การทำ allocation โดยวิธีการ economic value ตั้งอยู่บนสมมติฐานของการจัดสรรพลังงานตามสัดส่วนมูลค่าของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ เช่น กากน้ำตาล 1 ตันมีมูลค่าประมาณ $ 50 และ refined sugar 1 ตันมีมูลค่าประมาณ $ 350 และ sugar syrup ประมาณ 24.93 กิโลกรัม ผลิต refined sugar ได้ประมาณ 20.6 กิโลกรัมและผลิตกากน้ำตาลได้ประมาณ 4.33 กิโลกรัม จะจัดสรรพลังงานและ emissions ให้กากน้ำตาล 2.9%

9.การขนส่งกากน้ำตาล

เอทานอลส่วนใหญ่ที่ผลิตในประเทศไทยจะมาจากกากน้ำตาล โรงงานที่ผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลควรจะอยู่ใกล้กับแหล่งวัตถุดิบคือโรงงานน้ำตาลซึ่งถ้าเป็นไปได้ควรจะเป็นโรงงานที่ต่อเนื่องจากกระบวนการผลิตน้ำตาล ดังนั้นจึงสมมติให้ระยะทางที่ต้องขนส่งกากน้ำตาลเป็น 1 กิโลเมตร (ไป-กลับ) ขนาดรถบรรทุกสมมติให้เป็นรถบรรทุก 10 ล้อที่ใช้ขนน้ำมันซึ่งมีความจุ 15,000 ลิตร อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเป็นตัวเลขจากรายงานของรถบรรทุกน้ำมันคือ 3.5 กิโลเมตรต่อลิตร และสมมติให้กากน้ำตาลมีความหนาแน่น 1.380 กิโลกรัม/ลิตร

10.การผลิตเอทานอล

พลังงานในการกลั่นเอทานอล 95% จะใช้ค่า 13.1 MJ/1.27L โดยใช้กากอ้อยเป็นเชื้อเพลิง 100% จากค่าประมาณการกากอ้อยเหลือในโรงงานน้ำตาล จากรายงาน [4] กากน้ำตาลมวล 4.32 กิโลกรัม ให้เอทานอล 1 กิโลกรัมหรือ 1.27 ลิตร ส่วนพลังงานในการกำจัดน้ำจากเอทานอล 95% เพื่อเป็นเอทานอล 99.5% ใช้การคำนวณจากข้อมูลจากโรงงานแอลกอฮอล์ในโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา

เอทานอล 95% 1,270 ลิตรใช้ดีเซลเป็น denature 6 กิโลกรัม และใช้ calcined lime 2 กิโลกรัม เอทานอล 99.5% 200 ลิตรใช้เบนซีนเป็น denature 1 ลิตร

การคำนวณ emissions จากการเผาไหม้กากอ้อยในหม้อไอน้ำเพื่อผลิตเอทานอล 95% จะคำนวณจาก emission factors ของการเผาไหม้ wood ใน FBC boiler จาก GREET1.5a

เชื้อเพลิงที่ใช้ในหม้อไอน้ำสำหรับกระบวนการกำจัดน้ำโดยระบบ molecular sieve เป็นเชื้อเพลิงดีเซลชนิดเดียว แต่ในการคำนวณเนื่องจากมีกากอ้อยเหลือจากการผลิตเอทานอล 95 % แต่ไม่พอสำหรับการผลิตเอทานอล 99.5%ทั้งหมด ในการคำนวณในวิทยานิพนธ์นี้จึงสมมติให้โรงงานแอลกอฮอล์ 95% ใช้เชื้อเพลิงจากกากอ้อยเหลือและถ้าไม่พอจะใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง

สาร denature และสารเคมีที่ใช้ คือ ดีเซล calcined lime และเบนซีน จะระบุไว้ต่างหากไม่นำมารวมในการคิดพลังงานที่ใช้และ emissions เนื่องจากไม่มีตัวเลขยืนยันพลังงานและ emissions ของการผลิตสารเคมีเหล่านี้ยกเว้นดีเซล แต่ในกรณีนี้ดีเซลทำหน้าที่เป็น denature ในปริมาณน้อยจึงไม่นำมาพิจารณา

11.การขนส่งเอทานอล

ปกติการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศไทยจะขนส่งจากโรงกลั่นไปยังคลังน้ำมันดีเซลและจากคลังน้ำมันดีเซลไปยังสถานีบริการในจังหวัดต่างๆ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมมติให้มีการขนส่งเอทานอลจากโรงงานเอทานอลซึ่งสมมติให้สร้างบริเวณเดียวกันกับโรงงานน้ำตาล มายังคลังน้ำมันดีเซลเพื่อทำการผสมกับเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไปเป็นดีโซฮอล แล้วจึงขนส่งดีโซฮอลกลับไปยังสถานีบริการที่จะทำการจำหน่ายดีโซฮอล ระยะทางที่ใช้ขนส่งจะใช้ค่าเฉลี่ยของระยะทางของการขนส่งน้ำมันจากคลังน้ำมันไปยังอำเภอของจังหวัดที่มีโรงงานน้ำตาลตั้งอยู่แยกเป็นค่าเฉลี่ยตามภาคโดยถ่วงน้ำหนักด้วยปริมาณเอทานอล ประมาณปริมาณเอทานอล 95% จากกากน้ำตาล โดยกากน้ำตาล 4.32 กิโลกรัมผลิตเอทานอล 95%ได้ 1 กิโลกรัมหรือ 1.27 ลิตร

สมมติให้ใช้รถ 10 ล้อขนาดเดียวกับที่ขนน้ำมันคือ 15,000 ลิตรในการขนเอทานอล และใช้ค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ 3.5 กิโลเมตรต่อลิตร

12. การผสมเอทานอลกับดีเซล

ใช้ข้อมูลการผลิตดีโซฮอล 95% จากโรงงานเอทานอลในงานทดลองผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

13. การขนส่งดีโซฮอล

เนื่องจากได้สมมติให้ขนเอทานอลจากโรงงานต่างจังหวัดมายังคลังดีเซลบริเวณใกล้เคียงและผสมเป็นดีโซฮอลจากนั้นจึงขนกลับไป ดังนั้นพลังงานและ emissions ที่ใช้จะประมาณเป็นค่าเดียวกับการขนเอทานอลโดยคิดต่อลิตรเนื่องจากไม่ทราบจุดหมายที่เป็นสถานีบริการ เนื่องจากการขนส่งเริ่มจากจุดเริ่มต้นเดียวกันคือคลังดีเซลไปยังปลายทางเดียวกันในแต่ละแห่ง ผู้วิจัยจึงสมมติให้ข้อมูลการขนส่งดีเซลและดีโซฮอลเป็นค่าเดียวกันด้วยเพื่อความสมบูรณ์ของผลลัพธ์

14. ขั้นตอนการเติมดีโซฮอล

พลังงานที่ใช้ในการเติมเชื้อเพลิงสมมติให้มีค่าเท่ากัน อาจแตกต่างในเรื่อง emissions จากการระเหยแต่ เนื่องจากขาดข้อมูลเกี่ยวกับพลังงานที่ใช้และ emissions และจากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญในเรื่องนี้พบว่าสามารถละทิ้งในการคำนวณได้จึงไม่ทำการคำนวณในขั้นตอนนี้ (Wang's Private communication)

15. ขั้นตอนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในรถยนต์

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของดีเซลและดีโซฮอล 99.5% ได้จากการคำนวณโดยใช้ performance map ของเครื่องยนต์เมื่อมีจุดทำงานเทียบเท่ากับภาระขณะขับรถยนต์ที่ความเร็วคงที่ในเกียร์ 4 และ เกียร์ 5 โดยจะเลือกใช้ค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่เกียร์ 5 ความเร็วคงที่ 80 และ 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมงและที่เกียร์ 4 ความเร็วคงที่ 80 และ 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมงเป็นความเร็วของการใช้งาน ประมาณการอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของดีโซฮอล 95% จากค่าของดีโซฮอล 99.5% โดยใช้สัดส่วนของ LHV

สมมติให้ LHV ของเอทานอล 100% มีค่าจาก GREET1.5a คือ 76,000 Btu/gal คิดเป็น 20,077.085 Btu/l เมื่อหารด้วย 3.78541

คำนวณ LHV ของเอทานอล 95% จากการสมมติให้เอทานอล 100% มี LHV 20,077.085 Btu/l ดังนั้นเอทานอล 95% มี LHV 0.95 x 20,077.085 = 19,073.231 Btu/l

เอทานอล 99.5% มี LHV 0.995 x 20077.085 = 19,976.70 Btu/l

เอทานอล 99.5% 1 mmBtu มีปริมาณ 10^6/19,976.70 = 50.058 ลิตร

เอทานอล 95% 1 mmBtu มีปริมาณ 10^6/19,073.231 = 52.430 ลิตร

LHV ของดีเซล = 33,946.125 Btu/l

4.1.3 Life Cycle Impact Assessment

สำหรับ Life Cycle Impact Assessment ในความเป็นจริงจะมีการประเมินผลกระทบหลายด้าน เช่น Resource demand, Eutrophication, Photo smog, noise, Land use แต่ในที่นี้นั้นจะพิจารณาเฉพาะ Greenhouse effect เท่านั้น โดยประเมินผลในรูป CO_2-equivalents ซึ่ง CO_2 1 กรัม มีค่าเท่ากับ 1 $CH_4$1 กรัมมีค่าเทียบเท่ากับ CO_2 21 กรัม และ N_2O 1 กรัมมีค่าเทียบเท่ากับ CO_2 310 กรัม

4.1.4 Life Cycle Interpretation

สำหรับ Life Cycle Interpretation นั้นจะพิจารณาโดยเปรียบเทียบพารามิเตอร์จากขั้นตอน LCI (Life Cycle Inventory) และ LCIA (Life Cycle Impact Assessment) ของดีโซฮอล 95% กับดีโซฮอล 99.5% และเปรียบเทียบเชื้อเพลิงทั้ง 2 ตัวกับดีเซลโดยเปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับทั้งพลังงานและ emissions

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การสำรวจข้อมูล

บทนี้กล่าวถึงข้อมูลในขั้นตอนย่อยต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ในการคำนวณ

5.1 ขั้นตอนวัฏจักรเชื้อเพลิง

แบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อย 13 ขั้น

5.1.1 ขั้นตอนการเพาะปลูกอ้อย

ในขั้นตอนนี้มีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการพิจารณาดังแสดงในตารางที่ 5-1 โดยข้อ 1 และ 2 ในตารางที่ 5-1 ไม่ได้แสดงไว้ในภาคผนวกเนื่องจากมีปริมาณมาก แต่ได้ระบุไว้ในตารางเนื่องจากเป็นข้อมูลที่จำเป็นในการคำนวณ

ตารางที่ 5-1 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในขั้นตอนการเพาะปลูกอ้อย

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
1.พื้นที่เพาะปลูกของอ้อยเป็นรายอำเภอทั่วประเทศในปี 2543/44 (ไร่) [28]	ไม่ได้แสดงไว้ในภาคผนวก
2.ผลผลิตอ้อยรายจังหวัดทั่วประเทศปี 2543/44 (ตัน) [15]	ไม่ได้แสดงไว้ในภาคผนวก
3.ผลผลิตอ้อยเฉลี่ยทั่วประเทศปี2543/44 (ตัน/ไร่) [15]	9.042
4.ปริมาณการใช้ปุ๋ย (กก./ไร่) [5]	
N	15
P_2O_5	15
K_2O	15
5.อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในไร่ (ลิตร/ไร่) [6]	
น้ำมันดีเซล	5.54
น้ำมันเบนซิน	0.02
6.อัตราการใช้สารเคมีในไร่ (กก./ไร่) [6]	ใช้ Atrazine 400 กรัม/ไร่

5.1.2 ขั้นตอนการขนส่งอ้อย

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณเพื่อหาปริมาณพลังงานที่ใช้ในการขนส่งอ้อยแสดงในตารางที่ 5-2 โดยที่ ข้อ 1 ในตารางแสดงไว้เฉพาะระยะทางเฉลี่ยของทุกภาคเพื่อใช้เป็นค่าในการแสดงตัวอย่างการคำนวณปริมาณพลังงานในการขนส่งอ้อยดังแสดงไว้ในภาคผนวก ช พร้อมทั้งระยะทางเฉลี่ยของการขนส่งอ้อย และ พลังงานและ emissions จากการขนส่งอ้อยในแต่ละภาค

ตารางที่ 5-2 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในขั้นตอนการขนส่งอ้อย

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
1.ระยะทางเฉลี่ยระหว่างไร่อ้อยกับโรงงานน้ำตาล (กม.)	45.587 กม. (แสดงในภาคผนวก ฉ.)
2.น้ำหนักบรรทุกอ้อยของรถบรรทุก (ตัน) [29]	20 ตัน
3.อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุก (กม./ลิตร) [30]	2.0 กม./ลิตร

5.1.3 ขั้นตอนการผลิตกากน้ำตาล

ตารางที่ 5-3 แสดงพารามิเตอร์ที่พิจารณาในขั้นตอนการผลิตกากน้ำตาล ค่าของพารามิเตอร์ข้อ 1 ถึงข้อ 5 แสดงไว้ในภาคผนวก ซ เพื่อแสดงตัวอย่างการคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในการผลิตกากน้ำตาล

ตารางที่ 5-3 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในขั้นตอนการผลิตกากน้ำตาล

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
1.ปริมาณอ้อยที่เข้าหีบ	แสดงในภาคผนวก ซ.
2.ปริมาณกากน้ำตาล	แสดงในภาคผนวก ซ.
3.ปริมาณกากอ้อยเหลือ	แสดงในภาคผนวก ซ.
4.ปริมาณกากอ้อยที่ใช้เป็นพลังงาน	แสดงในภาคผนวก ซ.
5.ปริมาณไฟฟ้าส่วนเกินจากกากอ้อย	ไม่แน่นอนขึ้นกับขนาดโรงงานและอ้อยเข้าหีบ
6.คุณสมบัติต่างๆของกากอ้อย	แสดงในภาคผนวก ซ.
7.ปริมาณไฟฟ้าใช้ในฤดูปิดหีบ	200,000 kW-hr/month (ไม่พิจารณา)
8.ปริมาณสารเคมีที่ใช้ [29]	ปูนขาว 2.5 kg/ตันอ้อย

5.1.4 ขั้นตอนการขนส่งกากน้ำตาล

พารามิเตอร์ที่พิจารณาในขั้นตอนการขนส่งกากน้ำตาลแสดงในตารางที่ 5-4 โดยที่ตัวอย่างการคำนวณพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนนี้แสดงไว้ในภาคผนวก ฌ

ตารางที่ 5-4 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในขั้นตอนการขนส่งกากน้ำตาล

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
1.ระยะทางระหว่างโรงงานน้ำตาลกับโรงงานเอทานอล (กม.)	1 กม.(ไป-กลับ) สมมติฐาน
2.ขนาดบรรจุของรถบรรทุก 10 ล้อ (ลิตร) [32]	15,000 ลิตร
3.อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุก (กม./ลิตร) [32]	3.5 กม./ลิตร

5.1.5 ขั้นตอนการผลิตเอทานอล

พารามิเตอร์ที่พิจารณาในขั้นตอนการผลิตเอทานอลแสดงในตารางที่ 5-5 ส่วนตัวอย่างการคำนวณพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตเอทานอลแสดงไว้ในภาคผนวก ญ

ตารางที่ 5-5 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในขั้นตอนการผลิตเอทานอล

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
1.ปริมาณกากน้ำตาลที่ใช้ (กก.) [4]	3.402
2.ปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้ (ลิตร)	
ชนิด 95% [4]	1
ชนิด 99.5% [33]	ประมาณ 0.6765 ลิตร
3.เชื้อเพลิงที่ใช้ (%) (กลั่น 95%) [7]	กากอ้อย 100%
4.ปริมาณพลังงานที่ใช้กลั่น 95% (MJ) [4]	10.315
5.ปริมาณสารเคมีที่ใช้ (กรัม) [4]	
5.1ดีเซล	6
5.2calcined lime	2
6.พลังงานที่ใช้กลั่นซ้ำ (MJ/EtOH 99.5% 1 L) [33]	16.32
7. เชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการ dehydration	กากอ้อย หรือ กากอ้อยกับถ่านหิน และ ไฟฟ้า
8.อัตราส่วน เบนซีน:เอทานอล 99.5% [33]	1:200 ลิตร

หมายเหตุ: ข้อมูลใน ข้อ 7. ได้จาก [7], [33] และการตั้งสมมติฐาน

5.1.6 ขั้นตอนการขนส่งเอทานอล

พารามิเตอร์ที่พิจารณาในขั้นตอนการขนส่งเอทานอลแสดงในตารางที่ 5-6 ส่วนตัวอย่างการคำนวณพลังงานที่ใช้ในการขนส่งเอทานอลแสดงไว้ในภาคผนวก ฎ

ตารางที่ 5-6 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในขั้นตอนการขนส่งเอทานอล

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
1.ระยะทางเฉลี่ยระหว่างโรงงานเอทานอลกับศูนย์ผสมดีโซฮอล (กม.)	แยกตามภาค (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ฎ)
2.ขนาดบรรจุของรถบรรทุก 10 ล้อ (ลิตร) [32]	15,000 ลิตร
3.อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุก (กม./ลิตร) [32]	3.5 กม./ลิตร

5.1.7 ขั้นตอนการผสมเอทานอลกับดีเซล

พารามิเตอร์ที่พิจารณาในขั้นตอนการผสมเอทานอลกับดีเซลแสดงในตารางที่ 5-7 ส่วนตัวอย่างการคำนวณพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนนี้แสดงไว้ในภาคผนวก ฎ

ตารางที่ 5-7 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในขั้นตอนการผสมเอทานอลกับดีเซล

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
1.สัดส่วนของเอทานอล 95% และดีเซลในการผสม [9]	15% เอทานอล 84.5% ดีเซล
2.สัดส่วนของเอทานอล 99.5% และดีเซลในการผสม [10]	10 % เอทานอล 89% ดีเซล

5.1.8 ขั้นตอนการขนส่งดีโซฮอล

พารามิเตอร์ที่พิจารณาในขั้นตอนการขนส่งดีโซฮอลแสดงไว้ในตารางที่ 5-8 โดยสมมติให้ใช้ตัวเลขเดียวกันกับขั้นตอนการขนส่งเอทานอลดังสมมติฐานที่กล่าวไว้ในบทที่ 4

ตารางที่ 5-8 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในขั้นตอนการขนส่งดีโซฮอล

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
1.ระยะทางระหว่างศูนย์ผสมดีโซฮอลกับสถานีบริการ (กม.)	แยกตามภาค (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ฎ)
2.ขนาดบรรจุของรถบรรทุก 10 ล้อ (ลิตร) [32]	15,000 ลิตร
3.อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุก (กม./ลิตร) [32]	3.5 กม./ลิตร

5.1.9 ขั้นตอนการเติมดีโซฮอล

เนื่องจากขั้นตอนการเติมเชื้อเพลิงของดีโซฮอลกับน้ำมันดีเซลทั่วไปไม่แตกต่างกันนักและมีค่าน้อยประกอบกับขาดข้อมูลจึงไม่คำนวณพลังงานและ emissions ในขั้นตอนนี้ดังตารางที่ 5-9

ตารางที่ 5-9 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในขั้นตอนการเติมดีโซฮอล

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
1.พลังงานที่ใช้ในการเติมดีโซฮอล (kJ/ลิตร)	-
2.Emission (Evaporative & Leakage)	-

5.1.10 ขั้นตอนการผลิตดีเซล

ค่าพลังงานที่ใช้ผลิตดีเซลและ emissions จากการผลิตดีเซลดังแสดงไว้ในตารางที่ 5-10 เป็นค่าที่นำมาจากเอกสารอ้างอิง [26] เพื่อนำมาใช้คำนวณในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ตารางที่ 5-10 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในการผลิตดีเซล [26] หน่วย : Btu/mmBtu และ g/mmBtu

Total energy (Btu)	197,564
Fossil fuels (Btu)	186,546
Petroleum (Btu)	87,351
VOC (g)	8.848
CO (g)	23.954
NO_x (g)	31.260
PM_{10} (g)	2.881
SO_x (g)	17.029
CH_4 (g)	103.868
N_2O (g)	0.201
CO_2 (g)	14,881

5.1.11 ขั้นตอนการผลิตปุ๋ย

พารามิเตอร์ที่พิจารณาในขั้นตอนการผลิตปุ๋ยดังแสดงในตารางที่ 5-11 ได้จากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลและวิธีการคำนวณจาก [2], [26] โดยแสดงวิธีการคำนวณไว้ในภาคผนวก ง

ตารางที่ 5-11 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในการผลิตปุ๋ย (แสดงในภาคผนวก ง)

หน่วย: Btu/g และ g/g ปุ๋ย

	N	P_2O_5	K_2O
Total energy (Btu)	55.91	17.52	7.866
Fossil fuels (Btu)	55.284	16.869	7.593
Petroleum (Btu)	0.728	3.768	1.933
VOC (g)	0.000189	0.000100	0.0000450
CO (g)	0.00109	0.000384	0.000171
NO_x (g)	0.00303	0.00206	0.000869
PM_{10} (g)	0.000125	0.000109	0.0000463
SO_x (g)	0.00223	0.00234	0.000976
CH_4 (g)	0.00972	0.00245	0.00109
N_2O (g)	0.0000129	0.00000925	0.00000392
CO_2 (g)	0.993	0.837	0.353

5.1.12 ขั้นตอนการผลิตสารเคมี

ค่าพลังงานที่ใช้ผลิตและ emissions จากการผลิตสารเคมีที่ใช้ในไร่อ้อยแสดงไว้ในตารางที่ 5-12 โดยคำนวณจากวิธีการคำนวณและใช้ข้อมูลจาก [2], [26] แสดงวิธีการคำนวณไว้ในภาคผนวก ง แต่การใช้สารเคมีในไร่อ้อยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีเฉพาะการใช้ Atrazine เท่านั้น

ตารางที่ 5-12 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในการผลิตสารเคมี (แสดงในภาคผนวก ง)

หน่วย: Btu/g และ g/g สารเคมี

	Atrazine	Metolachor	Acetochlor	Cyanazine	Insecticides(Other crops)
Total energy (Btu)	236.791	343.648	346.533	250.82	344.65
Fossil fuels (Btu)	232.032	336.743	339.569	245.78	337.55
Petroleum (Btu)	119.38	173.252	174.707	126.452	173.44
VOC (g)	0.00139	0.00201	0.00203	0.00147	0.00212
CO (g)	0.00474	0.00687	0.00693	0.00502	0.00713

ตารางที่ 5-12 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในการผลิตสารเคมี (ต่อ)

หน่วย: Btu/g และ g/g สารเคมี

	Atrazine	Metolachor	Acetochlor	Cyanazine	Insecticides(Other crops)
NO_x (g)	0.0154	0.0224	0.0226	0.0163	0.0229
PM_{10} (g)	0.000872	0.00127	0.00128	0.000923	0.00135
SO_x (g)	0.0154	0.0223	0.0225	0.0163	0.0225
CH_4 (g)	0.0287	0.0417	0.0420	0.0304	0.0415
N_2O (g)	0.0000728	0.000106	0.000106	0.0000771	0.000110
CO_2 (g)	6.245	9.062	9.139	6.614	9.384

5.1.13 ขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า

ค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าและ emissions จากการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยแสดงดังตารางที่ 5-13 คำนวณจากวิธีคำนวณใน [2] และข้อมูลจาก [35], [37] โดยแสดงวิธีการคำนวณไว้ในภาคผนวก ค

ตารางที่ 5-13 แสดงค่าของพารามิเตอร์ในการผลิตไฟฟ้า (แสดงในภาคผนวก ค)

หน่วย: Btu/mmBtu และ g/mmBtu

Total energy (Btu)	2,157,217.350
Fossil fuels (Btu)	2,036,046.406
Petroleum (Btu)	115,069.511
VOC (g)	12.928
CO (g)	50.473
NO_x (g)	370.573
PM_{10} (g)	19.408
SO_x (g)	450.029
CH_4 (g)	314.564
N_2O (g)	1.638
CO_2 (g)	152,523.136

5.2 **ขั้นตอนการใช้เชื้อเพลิงในรถยนต์** (Vehicle Operation)

ในการใช้เชื้อเพลิงในรถยนต์นี้ จะสมมติให้รถที่ใช้เป็นรถกระบะซึ่งมีรายละเอียดและข้อมูลจากแหล่งทุติยภูมิดังต่อไปนี้

5.2.1 รายละเอียดของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ

รายละเอียดของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบแสดงในตารางที่ 5-14 ซึ่งข้อมูลที่จากการทดสอบได้นำมาใช้ในการคำนวณในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ตารางที่ 5-14 แสดงรายละเอียดเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ [10]

เครื่องยนต์รุ่น	WL 81
เครื่องยนต์แบบ	4 สูบ 12 วาล์ว SOHC
ระบบระบายความร้อน	ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ
ระบบ Induction system	Natural aspirated
ขนาดความจุกระบอกสูบ	2.499 ลิตร
ความกว้างกระบอกสูบ x ช่วงชัก	93 x 92 มม.
อัตราส่วนการอัด	21.6:1
ลักษณะห้องเผาไหม้	Pre-Chamber
ระบบจ่ายเชื้อเพลิง	ปั๊มหัวฉีดน้ำมันแบบจานจ่าย
Opening Pressure ของหัวฉีด	11.4-12.1 MPa

5.2.2 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

ข้อมูลอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงดีโซฮอล 99.5% ซึ่งได้จากการคำนวณจากข้อมูลจากการทดสอบจากเอกสารอ้างอิง [10] แสดงไว้ในตารางที่ 5-15 ในหน้าถัดไป ซึ่งเลือกใช้ในการคำนวณในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ 4 จุดทำงาน คือที่เกียร์ 5 ความเร็ว 80 กม./ชม. และ 100 กม./ชม. และ ที่เกียร์ 4 ความเร็ว 80 กม./ชม. และ 90 กม./ชม.

ตารางที่ 5-15 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง [10]

หน่วย กิโลเมตร:ลิตร

อัตราเร็ว	เกียร์	ดีเซล	ดีโซฮอล 99.5%
60	4	12.83	11.39
70	4	10.63	10.30
80	4	10.14	8.53
90	4	8.72	7.36
100	4	8.17	7.11
80	5	11.46	10.35
90	5	9.81	9.05
100	5	9.48	8.16

เนื่องจากสัดส่วนของการผสมเอทานอลกับดีเซลในเชื้อเพลิงดีโซฮอล 95% และเชื้อเพลิงดีโซฮอล 99.5% มีผลต่อการใช้งานเชื้อเพลิงในรถยนต์จึงแสดงสัดส่วนผสมระหว่างเอทานอลกับดีเซลไว้ในตารางที่ 5-16 อีกครั้งหนึ่งเพื่อใช้คำนวณหาค่า LHV ของดีโซฮอลแต่ละชนิด

ตารางที่ 5-16 แสดงสัดส่วนการผสมเชื้อเพลิงดีโซฮอล

ดีโซฮอล 95% [9]	
ดีเซล	84.5% (83.5%)
เอทานอล 95%	15% (14.5%)
Emulsifier	0.5% (2%)
ดีโซฮอล 99.5% [10]	
ดีเซล	89%
เอทานอล 99.5%	10%
emulsifier	1%

หมายเหตุ:1.ค่าในวงเล็บได้จากการผสมดีโซฮอลที่โรงงานแอลกอฮอล์ในโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา

2.ค่าพลังงานและ emissions จากการผลิตและการใช้ emulsifier ไม่สามารถประเมินออกมาเป็นตัวเลขได้เนื่องจากขาดข้อมูล

5.2.3 ข้อมูลของรถกระบะ

ข้อมูลข้างล่างนี้เป็นข้อมูลที่ใช้ประกอบการคำนวณกับผลจากการทดสอบในงาน [10] เพื่อหาแรงขับเคลื่อนที่ต้องเอาชนะในแต่ละจุดทำงาน

ข้อมูลของรถกระบะ Ford Ranger WL 2.5 L (บางข้อมูลเป็นค่าสมมติและค่าประมาณ) [10]

ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ	0.7
ความหนาแน่นอากาศ,ρ	1.184 kg/m^3
รัศมียางรถยนต์ (155/80 R10),r	0.314 m
พื้นที่หน้าตัดรถ,A	2.2035 m^2
น้ำหนัก+บรรทุก, W	2200 kg
สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ, K_r	0.02
อัตราทดเกียร์ 1	4.200
2	2.215
3	1.433
4	1.000
อัตราทดเฟืองท้าย	4.444
ประสิทธิภาพการถ่ายทอดกำลังของชุดเกียร์,η	80%
รอบเดินเบา	720 RPM

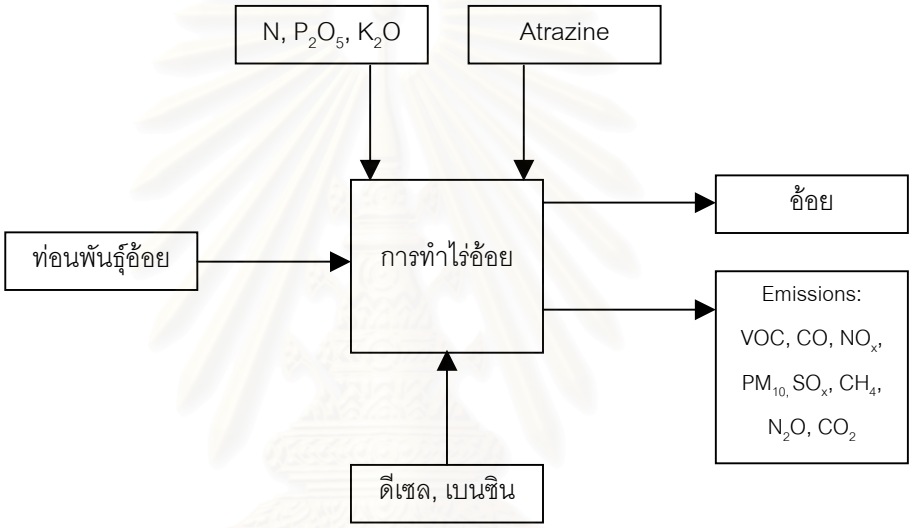
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

ผลการคำนวณพลังงานและ emissions แต่ละขั้นตอน

6.1 พลังงานและ emissions ระหว่างขั้นตอนการทำไร่อ้อย

พิจารณาตั้งแต่เริ่มเพาะปลูก ดูแลรักษาและเก็บเกี่ยวอ้อย โดยพลังงานและมลภาวะที่นำมาพิจารณาได้มาจากพลังงานที่ใช้ในการผลิตและการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีเซลและเบนซิน พลังงานที่ใช้ผลิตสารเคมี Atrazine และปุ๋ย N, P_2O_5, K_2O ที่ใช้ในไร่อ้อย สามารถแสดงได้ด้วยแผนภาพดังรูปที่ 6-1 (neglect พลังงานและมลภาวะจากการผลิตท่อนพันธุ์อ้อย)



รูปที่ 6-1 แสดงแผนภาพการไหลโดยย่อของมวลและพลังงานในการทำไร่อ้อยที่พิจารณา

ค่าพลังงานและ emissions ของปัจจัยการผลิตในไร่อ้อยที่นำมาใช้คำนวณในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แสดงไว้ในตารางที่ 6-1 และแสดงปริมาณของปัจจัยการผลิตที่ใช้ในไร่อ้อยต่ออ้อย 9.042 ตัน (ผลผลิตอ้อยเฉลี่ยต่อ 1 ไร่ = 9.042 ตัน) ไว้ในตารางที่ 6-2

ตารางที่ 6-1 แสดงพลังงานและ emissions ของการผลิตปุ๋ย N, P_2O_5, K_2O และสารเคมี Atrazine 1 กรัม และ เชื้อเพลิง ดีเซล และ เบนซิน 10^6 Btu

พารามิเตอร์	N	P_2O_5	K_2O	Atrazine	ดีเซล	เบนซิน
Total energy (Btu)	55.91	17.52	7.866	236.791	197,564	262,049
Fossil fuels (Btu)	55.284	16.869	7.593	232.032	186,546	248,604
Petroleum (Btu)	0.728	3.768	1.933	119.38	87,351	116,022
VOC (g)	0.000189	0.000100	0.0000450	0.00139	8.848	17.343
CO (g)	0.00109	0.000384	0.000171	0.00474	23.954	27.147
NO_x (g)	0.00303	0.00206	0.000869	0.0154	31.260	38.763

ตารางที่ 6-1 แสดงพลังงานและ emissions ของการผลิตปุ๋ย N, P_2O_5, K_2O และสารเคมี Atrazine 1 กรัม และเชื้อเพลิง ดีเซล และ เบนซิน 10^6 Btu (ต่อ)

พารามิเตอร์	N	P_2O_5	K_2O	Atrazine	ดีเซล	เบนซิน
PM_{10} (g)	0.000125	0.000109	0.0000463	0.000872	2.881	3.681
SO_x (g)	0.00223	0.00234	0.000976	0.0154	17.029	22.357
CH_4 (g)	0.00972	0.00245	0.00109	0.0287	103.868	112.844
N_2O (g)	0.0000129	0.00000925	0.00000392	0.0000728	0.201	0.263
CO_2 (g)	0.993	0.837	0.353	6.245	14,881	19,493

ตารางที่ 6-2 mass balance table (mass flow table), input/output อ้อย 9.042 ตัน (ผลผลิตอ้อยต่อ 1 ไร่)

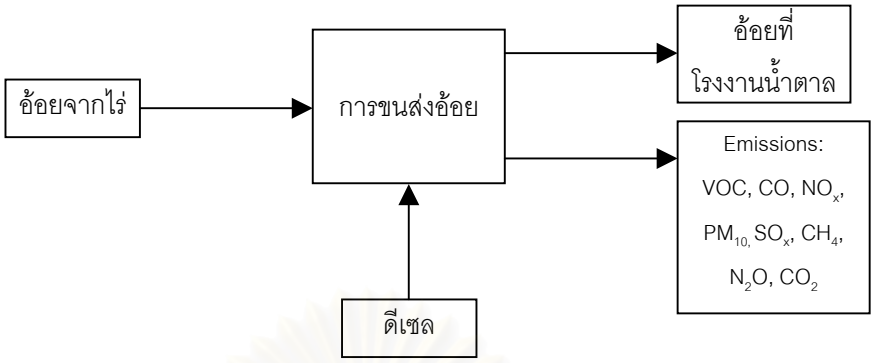
input/output อ้อย 9.042 ตัน	ปริมาณ
N (กิโลกรัม)	15
P_2O_5 (กิโลกรัม)	15
K_2O (กิโลกรัม)	15
Atrazine (กรัม)	400
ดีเซล (ลิตร)	5.54
เบนซิน (ลิตร)	0.02

และแสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ต่ออ้อย 1 ตัน จากการทำไร่อ้อยไว้ในตารางที่ 6-3

ตารางที่ 6-3 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ในขั้นตอนการทำไร่อ้อย ต่ออ้อย 1 ตัน

Total energy (MJ)	179.710
Fossil fuels (MJ)	176.532
Petroleum (MJ)	40.764
VOC (g)	2.687
CO (g)	10.466
NO_x (g)	30.794
PM_{10} (g)	1.469
SO_x (g)	10.500
CH_4 (g)	25.529
N_2O (g)	40.791
CO_2 (g)	5,869.341

6.2 พลังงานและ emissions ระหว่างขั้นตอนการขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงานน้ำตาล



รูปที่ 6-2 แสดงแผนภาพการไหลโดยย่อของมวลและพลังงานในการขนส่งอ้อยที่พิจารณา

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงานน้ำตาลดังแสดงด้วยแผนภาพดังรูปที่ 6-2 พลังงานที่ใช้ในขั้นตอนนี้มาจากพลังงานที่ใช้ผลิตเชื้อเพลิงดีเซลรวมกับพลังงานจากการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลในรถบรรทุกอ้อย โดยโรงงาน ข และ ฉ ใช้ค่าเดียวกันเนื่องจากตั้งอยู่ในภาคเดียวกันคือภาคเหนือ โรงงาน ง และ จ ใช้ค่าเดียวกันเนื่องจากตั้งอยู่ในภาคเดียวกันคือภาคกลาง ส่วนโรงงาน ก และ โรงงาน ค ตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคตะวันออกตามลำดับ โดยแสดง ค่าระยะทางเฉลี่ยของแต่ละภาค, ปริมาณบรรทุกอ้อยต่อเที่ยว, การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุกไว้ในตารางที่ 6-4

ตารางที่ 6-4 แสดงระยะทางเฉลี่ยของการขนส่งอ้อยในแต่ละภาค, ปริมาณบรรทุกอ้อยต่อเที่ยว, การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุกต่อเที่ยว

ภาค	ระยะทางเฉลี่ย 1 เที่ยว (กิโลเมตร)	ปริมาณบรรทุกอ้อยต่อเที่ยว (ตัน)	การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุกต่อเที่ยว (ลิตร)
เหนือ	60.251	20	30.126
ตะวันออกเฉียงเหนือ	47.974	20	23.987
กลาง	32.489	20	16.245
ตะวันออก	47.777	20	23.889

พลังงานที่ใช้และ emissions ของการขนส่งอ้อย 1 ตัน จากไร่สู่โรงงานน้ำตาลซึ่งขึ้นอยู่กับที่ตั้งของโรงงานน้ำตาล แสดงไว้ในตารางที่ 6-5 ในหน้าถัดไป

ตารางที่ 6-5 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ในขั้นตอนการขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงานน้ำตาล (ต่ออ้อย 1 ตัน)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	51.441	64.605	51.230	34.837	34.837	64.605
Fossil fuels (MJ)	50.968	64.011	50.759	34.516	34.516	64.011
Petroleum (MJ)	46.707	58.660	46.515	31.631	31.631	58.660
VOC (g)	4.024	5.054	4.008	2.725	2.725	5.054
CO (g)	21.332	26.791	21.244	14.446	14.446	26.791
NO_x (g)	13.487	16.938	13.431	9.133	9.133	16.938
PM_{10} (g)	1.889	2.373	1.881	1.279	1.279	2.373
SO_x (g)	1.207	1.515	1.202	0.817	0.817	1.515
CH_4 (g)	4.408	5.536	4.390	2.985	2.985	5.536
N_2O (g)	0.0896	0.113	0.0892	0.0607	0.0607	0.113
CO_2 (g)	3,836.616	4,818.443	3,820.862	2,598.237	2,598.237	4,818.443
ระยะทางเฉลี่ย (km)	47.974	60.251	47.777	32.489	32.489	60.251

พลังงานและ emissions ที่เกิดในระหว่างขั้นตอนการทำไร่อ้อยรวมกับพลังงานและ emissions ในระหว่างขั้นตอนการขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงานน้ำตาล ได้จากการนำผลจากตารางที่ 6-3 และ ตารางที่ 6-5 มารวมกันซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าพลังงานและ emissions ของอ้อยก่อนเข้าโรงงานน้ำตาลดังแสดงไว้ในตารางที่ 6-6 ซึ่งแสดงไว้ในหน้าถัดไป

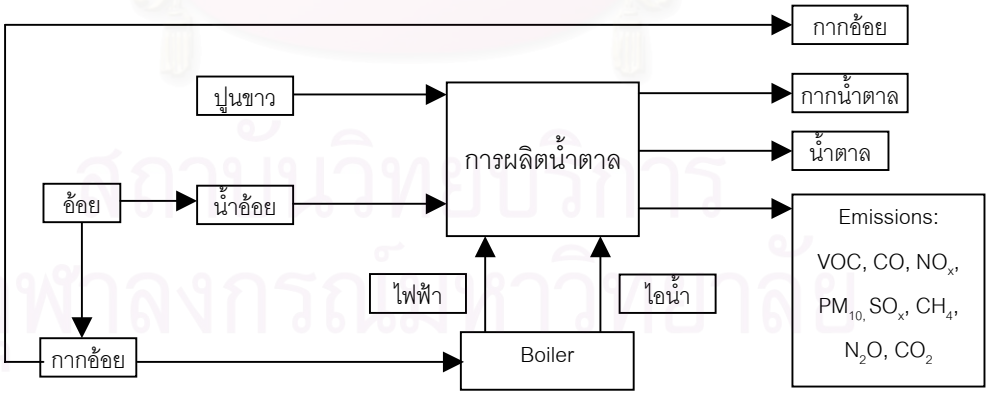
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6-6 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ในขั้นตอนการทำไร่อ้อย+ขั้นตอนการขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงานน้ำตาล (ต่ออ้อย 1 ตัน)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	231.151	244.315	230.940	214.547	214.547	244.315
Fossil fuels (MJ)	227.500	240.543	227.291	211.048	211.048	240.543
Petroleum (MJ)	87.471	99.424	87.279	72.395	72.395	99.424
VOC (g)	6.711	7.741	6.695	5.412	5.412	7.741
CO (g)	31.798	37.257	31.710	24.912	24.912	37.257
NO_x (g)	44.281	47.732	44.225	39.927	39.927	47.732
PM_{10} (g)	3.358	3.842	3.350	2.748	2.748	3.842
SO_x (g)	11.707	12.015	11.702	11.317	11.317	12.015
CH_4 (g)	29.937	31.065	29.919	28.514	28.514	31.065
N_2O (g)	40.881	40.904	40.880	40.852	40.852	40.904
CO_2 (g)	9,705.957	10,687.784	9,690.203	8,467.578	8,467.578	10,687.784
ระยะทางเฉลี่ย (km)	47.974	60.251	47.777	32.489	32.489	60.251

6.3 พลังงานและ emissions ระหว่างขั้นตอนการผลิตกากน้ำตาลในโรงงานน้ำตาล

ในฤดูการหีบอ้อยในโรงงานน้ำตาล พลังงานที่ใช้ในโรงงานน้ำตาลคือพลังงานไฟฟ้าซึ่งใช้กากอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในการผลิต และพลังงานความร้อนจากไอน้ำซึ่งใช้กากอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในการผลิต กากอ้อยที่เหลือใช้จะถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตเอทานอล ซึ่งขั้นตอนการผลิตกากน้ำตาลในโรงงานน้ำตาลแสดงได้ด้วยแผนภาพในรูปที่ 6-3



รูปที่ 6-3 แสดงแผนภาพการไหลโดยย่อของมวลและพลังงานในการผลิตกากน้ำตาลที่พิจารณา

ในขั้นตอนนี้จะพิจารณาสัดส่วนของเชื้อเพลิงที่ใช้จากมูลค่ากากน้ำตาลโดยใช้ราคากากน้ำตาลต่ำสุดและราคากากน้ำตาลสูงสุด ราคาน้ำตาล และ ปริมาณกากน้ำตาลและปริมาณน้ำตาลที่ผลิตได้จากอ้อยซึ่งในที่นี้จะใช้ข้อมูลการผลิตในปี 2540/41 ดังแสดงในตารางที่ 6-7 ในการ

คำนวณ % allocation โดยเลือกใช้ราคาน้ำตาลเฉลี่ยในปี 2541 คือ 11,199.4 บาทต่อตัน และราคากากน้ำตาลต่ำสุดและสูงสุดจากข้อมูลในปี 2547 และ 2544 คือ 837 บาทต่อตัน และ 1,862 บาทต่อตันตามลำดับ และแสดง % allocation ของ 6 โรงงานแยกเป็นกรณี (+) และ กรณี (-) แสดงไว้ในตารางที่ 6-8

(+) หมายถึงกรณีที่คำนวณ % allocation จากราคากากน้ำตาลต่ำสุด

(-) หมายถึงกรณีที่คำนวณ % allocation จากราคากากน้ำตาลสูงสุด

เมื่อ $\%\ \text{allocation} = [(\text{ราคา} \times \text{มวล})_{\text{กากน้ำตาล}} / ((\text{ราคา} \times \text{มวล})_{\text{กากน้ำตาล}} + (\text{ราคา} \times \text{มวล})_{\text{น้ำตาล}})\ ] \times 100\ \%$ (6-1)

ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น ผลการคำนวณพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นจากการผลิตกากน้ำตาลทั้งกรณี (+) และ (-) แสดงไว้ในตารางที่ 6-9 และ 6-10 ตามลำดับ

ตารางที่ 6-7 แสดงปริมาณอ้อย ปริมาณกากน้ำตาล และปริมาณกากน้ำตาล กากอ้อยและน้ำตาลต่ออ้อย 1 ตันของ 6 โรงงานในปีการผลิต 2540/41 [7], [31]

โรงงาน	กำลังหีบอ้อย (ตัน)	กากน้ำตาล (ตัน)	กากน้ำตาล (กก.) ต่ออ้อย 1 ตัน	กากอ้อย (กก.) ต่ออ้อย 1 ตัน	น้ำตาล (กก.) ต่ออ้อย 1 ตัน
ก	1,743,215	85,923.086	49.290	280	109.941
ข	1,100,778	53,960.125	49.020	280	99.050
ค	404,997	13,976.443	34.510	280	86.273
ง	661,619	34,470.356	52.100	280	89.296
จ	740,034	45,682.325	61.730	280	91.116
ฉ	2,669,639	161,646.635	60.550	280	89.204

ตารางที่ 6-8 แสดง % allocation ของ 6 โรงงาน

โรงงาน	% allocation (+)	% allocation (-)
ก	3.242	6.937
ข	3.567	7.603
ค	2.903	6.236
ง	4.178	8.843
จ	4.819	10.124
ฉ	4.828	10.141

ตารางที่ 6-9 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นจากการผลิตกากน้ำตาล 1 กิโลกรัม (+)ในขั้นตอนการผลิตในโรงงานน้ำตาล

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	1.437	1.443	1.852	1.754	1.786	1.627
Fossil fuels (MJ)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Petroleum (MJ)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
VOC (g)	0.00727	0.00731	0.00938	0.00888	0.00904	0.00824
CO (g)	0.0509	0.0511	0.0656	0.0621	0.0633	0.0577
NO_x (g)	0.0727	0.0731	0.0938	0.0888	0.0904	0.0824
PM_{10} (g)	0.00946	0.00950	0.0122	0.0115	0.0118	0.0107
SO_x (g)	0.00273	0.00274	0.00352	0.00333	0.00339	0.00309
CH_4 (g)	0.00522	0.00524	0.00673	0.00637	0.00649	0.00591
N_2O (g)	0.00545	0.00547	0.00702	0.00665	0.00677	0.00617
CO_2 (g)	144.269	144.887	185.961	176.083	179.297	163.349

ตารางที่ 6-10แสดงพลังงานที่ใช้และ emissionsที่เกิดขึ้นจากการผลิตกากน้ำตาล 1 กิโลกรัม (-)ในขั้นตอนการผลิตในโรงงานน้ำตาล

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	3.074	3.076	3.979	3.711	3.751	3.417
Fossil fuels (MJ)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Petroleum (MJ)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
VOC (g)	0.0156	0.0156	0.0201	0.0188	0.0190	0.0173
CO (g)	0.109	0.109	0.141	0.132	0.133	0.121
NO_x (g)	0.156	0.156	0.201	0.188	0.190	0.173
PM_{10} (g)	0.0202	0.0202	0.0262	0.0244	0.0247	0.0225
SO_x (g)	0.00584	0.00584	0.00755	0.00705	0.00712	0.00649
CH_4 (g)	0.0112	0.0112	0.0145	0.0135	0.0136	0.0124
N_2O (g)	0.0117	0.0117	0.0151	0.0141	0.0142	0.0130
CO_2 (g)	308.687	308.828	399.490	372.648	376.638	343.102

ตารางที่ 6-11 และตารางที่ 6-12 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นในการผลิตกากน้ำตาล 1 กิโลกรัม โดยคิดจากขั้นตอนการทำไร่อ้อยและขั้นตอนการขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงาน

น้ำตาล ซึ่งคำนวณจากตารางที่ 6-6 ตารางที่ 6-8 และปริมาณกากน้ำตาลที่ผลิตได้จากอ้อย 1 ตัน จากตารางที่ 6-7

ตารางที่ 6-11แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นจากการผลิตกากน้ำตาล 1 กิโลกรัม (+) โดยคิดจากขั้นตอนการทำไร่อ้อย+ขั้นตอนการขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงานน้ำตาล

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	0.152	0.178	0.194	0.172	0.167	0.195
Fossil fuels (MJ)	0.150	0.175	0.191	0.169	0.165	0.192
Petroleum (MJ)	0.058	0.072	0.073	0.058	0.057	0.079
VOC (g)	0.00441	0.00563	0.00563	0.00434	0.00423	0.00617
CO (g)	0.0209	0.0271	0.0267	0.0200	0.0194	0.0297
NO_x (g)	0.0291	0.0347	0.0372	0.0320	0.0312	0.0381
PM_{10} (g)	0.00221	0.00280	0.00282	0.00220	0.00215	0.00306
SO_x (g)	0.00770	0.00874	0.0098	0.00908	0.00884	0.0096
CH_4 (g)	0.0197	0.0226	0.0252	0.0229	0.0223	0.0248
N_2O (g)	0.0269	0.0298	0.0344	0.0328	0.0319	0.0326
CO_2 (g)	6.384	7.777	8.151	6.791	6.611	8.522

ตารางที่ 6-12แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นจากการผลิตกากน้ำตาล 1 กิโลกรัม (-) โดยคิดจากขั้นตอนการทำไร่อ้อย+ขั้นตอนการขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงานน้ำตาล

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	0.325	0.379	0.417	0.364	0.352	0.409
Fossil fuels (MJ)	0.320	0.373	0.411	0.358	0.346	0.403
Petroleum (MJ)	0.123	0.154	0.158	0.123	0.119	0.167
VOC (g)	0.0094	0.0120	0.0121	0.0092	0.00888	0.0130
CO (g)	0.0448	0.0578	0.0573	0.0423	0.0409	0.0624
NO_x (g)	0.0623	0.0740	0.0799	0.0678	0.0655	0.0799
PM_{10} (g)	0.00473	0.00596	0.00605	0.00466	0.00451	0.00643
SO_x (g)	0.0165	0.0186	0.0211	0.0192	0.0186	0.0201
CH_4 (g)	0.0421	0.0482	0.0541	0.0484	0.0468	0.0520
N_2O (g)	0.0575	0.0634	0.0739	0.0693	0.0670	0.0685
CO_2 (g)	13.660	16.576	17.510	14.372	13.887	17.900

กากน้ำตาลที่ออกจากโรงงานน้ำตาลเพื่อขนส่งไปยังโรงงานเอทานอล ประกอบด้วยพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้น 2 ส่วน คือ (ก) ในขั้นตอนการทำไร่อ้อยและขั้นตอนการขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงานน้ำตาล ซึ่งแสดงผลไว้ในตารางที่ 6-11 และ ตารางที่ 6-12 และ (ข) ในขั้นตอนการผลิตกากน้ำตาลในโรงงานน้ำตาลซึ่งแสดงผลไว้ในตารางที่ 6-9 และ ตารางที่ 6-10 ซึ่งพลังงานและ emissions ของกากน้ำตาล 1 กิโลกรัมในกรณี (+) ที่ออกจากโรงงานน้ำตาลดังแสดงในตารางที่ 6-13 คำนวณจากการรวมผลลัพธ์ในตารางที่ 6-9 กับ ตารางที่ 6-11 และพลังงานและ emissions ของกากน้ำตาล 1 กิโลกรัมในกรณี (-) ที่ออกจากโรงงานน้ำตาลดังแสดงในตารางที่ 6-14 คำนวณจากการรวมผลลัพธ์ในตารางที่ 6-10 กับ ตารางที่ 6-12

ตารางที่ 6-13แสดงปริมาณรวมของพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นต่อกากน้ำตาล 1 กิโลกรัมที่ออกจากโรงงานน้ำตาล (+)

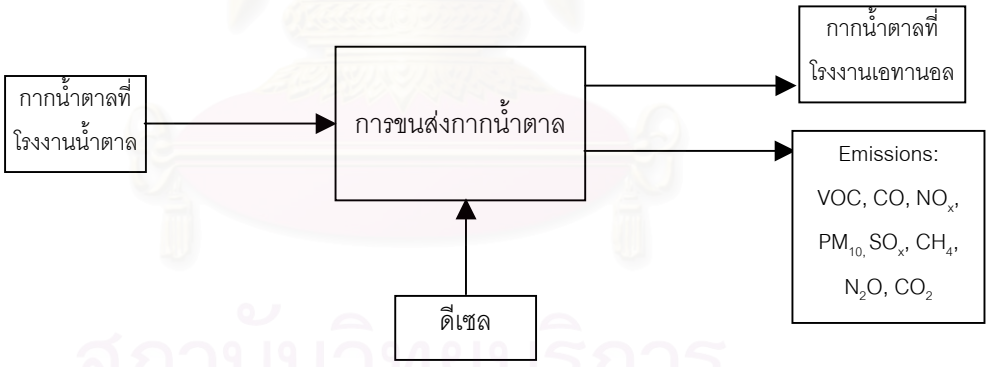
โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	1.589	1.621	2.046	1.926	1.953	1.822
Fossil fuels (MJ)	0.150	0.175	0.191	0.169	0.165	0.192
Petroleum (MJ)	0.0575	0.0723	0.0734	0.0581	0.0565	0.0793
VOC (g)	0.0117	0.0129	0.0150	0.0132	0.0133	0.0144
CO (g)	0.0718	0.0782	0.0923	0.0821	0.0827	0.0874
NO_x (g)	0.102	0.108	0.131	0.121	0.122	0.120
PM_{10} (g)	0.0117	0.0123	0.0150	0.0137	0.0139	0.0138
SO_x (g)	0.0104	0.0115	0.0134	0.0124	0.0122	0.0127
CH_4 (g)	0.0249	0.0278	0.0319	0.0292	0.0288	0.0307
N_2O (g)	0.0323	0.0352	0.0414	0.0394	0.0387	0.0388
CO_2 (g)	150.653	152.664	194.112	182.873	185.908	171.871

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6-14แสดงปริมาณรวมของพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นต่อกากน้ำตาล 1 กิโลกรัมที่ออกจากโรงงานน้ำตาล (-)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	3.400	3.455	4.396	4.075	4.103	3.826
Fossil fuels (MJ)	0.320	0.373	0.411	0.358	0.346	0.403
Petroleum (MJ)	0.123	0.154	0.158	0.123	0.119	0.167
VOC (g)	0.0250	0.0276	0.0322	0.0280	0.0279	0.0303
CO (g)	0.154	0.167	0.198	0.174	0.174	0.183
NO_x (g)	0.218	0.230	0.281	0.256	0.255	0.253
PM_{10} (g)	0.0250	0.0262	0.0322	0.0291	0.0292	0.0289
SO_x (g)	0.0223	0.0245	0.0287	0.0263	0.0257	0.0266
CH_4 (g)	0.0533	0.0594	0.0685	0.0619	0.0604	0.0644
N_2O (g)	0.0692	0.0751	0.0890	0.0834	0.0812	0.0815
CO_2 (g)	322.347	325.404	417.000	387.019	390.525	361.002

6.4 พลังงานและ emissions ระหว่างขั้นตอนการขนส่งกากน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลไปยังโรงงานเอทานอล



รูปที่ 6-4 แสดงแผนภาพการไหลโดยย่อของมวลและพลังงานในการขนส่งกากน้ำตาลที่พิจารณา

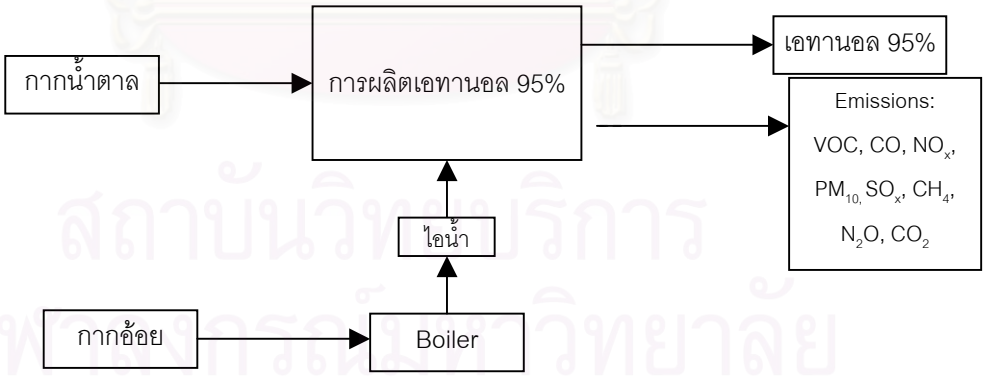
รูปที่ 6-4 แสดงขั้นตอนการขนส่งกากน้ำตาลโดยการคำนวณในขั้นตอนนี้มาจากสมมติฐานที่ว่า โรงงานเอทานอลตั้งอยู่ใกล้กับโรงงานน้ำตาล โดยใช้ตัวเลขระยะทางไป-กลับ 1 กิโลเมตรเป็นเงื่อนไขในการคำนวณเนื่องจากเมื่อระยะทางมีการเปลี่ยนแปลงเราสามารถคำนวณผลลัพธ์ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระยะทางได้โดยง่าย พลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีเซลในรถบรรทุก 10 ล้อ แสดงผลลัพธ์ต่อกากน้ำตาล 1 กิโลกรัม 3.402 กิโลกรัม

และ 5.029 กิโลกรัมเนื่องจากกากน้ำตาล 3.402 กิโลกรัมและ 5.029 กิโลกรัมเป็นวัตถุดิบของการผลิตเอทานอล 95% และเอทานอล 99.5% ปริมาณ 1 ลิตร ตามลำดับ ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 6-15

ตารางที่ 6-15แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นจากการขนส่งกากน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลไปยังโรงงานเอทานอล

	กากน้ำตาล 1 กิโลกรัม	กากน้ำตาล 3.402 กิโลกรัม	กากน้ำตาล 5.029 กิโลกรัม
Total energy (MJ)	0.000591	0.00201	0.00297
Fossil fuels (MJ)	0.000586	0.00199	0.00295
Petroleum (MJ)	0.000537	0.00183	0.00270
VOC (g)	0.0000462	0.000157	0.000232
CO (g)	0.000245	0.000834	0.00123
NO_x (g)	0.000155	0.000527	0.000779
PM_{10} (g)	0.0000217	0.0000738	0.000109
SO_x (g)	0.0000139	0.0000471	0.0000697
CH_4 (g)	0.0000506	0.000172	0.000255
N_2O (g)	0.00000103	0.00000350	0.00000518
CO_2 (g)	0.0441	0.150	0.222

6.5 พลังงานและ emissions ระหว่างขั้นตอนการผลิตเอทานอล



รูปที่ 6-5 แสดงแผนภาพการไหลโดยย่อของมวลและพลังงานในการผลิตเอทานอล 95% ที่พิจารณา

ขั้นตอนการผลิตเอทานอล 95% จากกากน้ำตาลแสดงได้ด้วยรูปที่ 6-5 ส่วนตารางที่ 6-16 แสดงสัดส่วนการใช้กากน้ำตาลในการผลิตเอทานอล 95% 1 ลิตร และตารางที่ 6-17 แสดงผลลัพธ์พลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นจากการผลิตเอทานอล 95% 1 ลิตรจากกากน้ำตาลซึ่งเป็น

กระบวนการกลั่นหลายหอกลั่นโดยใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำซึ่งผลิตจากเชื้อเพลิงกากอ้อยที่เหลือจากการผลิตในโรงงานน้ำตาล

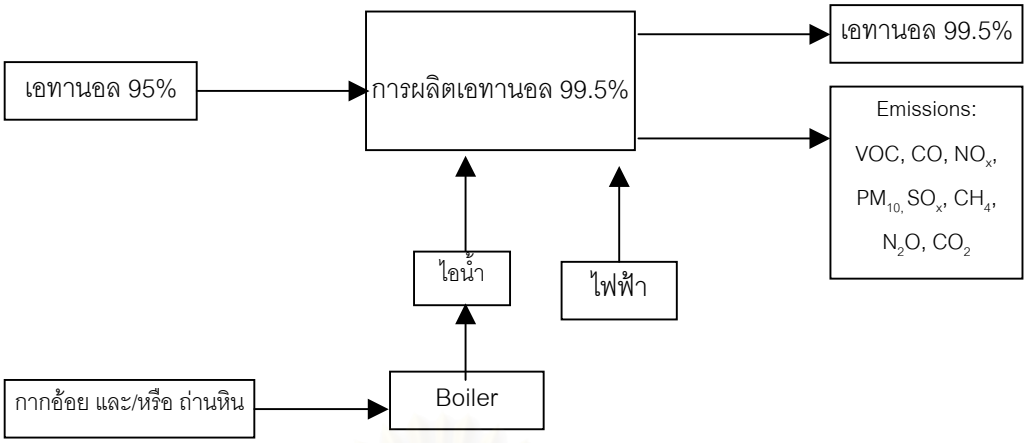
ตารางที่ 6-16 แสดงสัดส่วนการใช้กากน้ำตาลในการผลิตเอทานอล 95% 1 ลิตร

พารามิเตอร์	ปริมาณ
ปริมาณกากน้ำตาล input (กิโลกรัม)	3.402
ปริมาณเอทานอล 95% output (ลิตร)	1

ตารางที่ 6-17 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นจากการผลิตเอทานอล 95% 1 ลิตร จากกากน้ำตาล

Total energy (MJ)	10.315
Fossil fuels (MJ)	0
Petroleum (MJ)	0
VOC (g)	0.0522
CO (g)	0.366
NO_x (g)	0.522
PM_{10} (g)	0.0679
SO_x (g)	0.0196
CH_4 (g)	0.0375
N_2O (g)	0.0391
CO_2 (g)	1,035.671

ตารางที่ 6-18 แสดงผลลัพธ์จากการคำนวณระหว่างกระบวนการกำจัดน้ำจากเอทานอล 95% ไปเป็นเอทานอล 99.5% โดยเทคโนโลยี molecular sieve ซึ่งการผลิตเอทานอล 99.5% 1 ลิตร ต้องใช้เอทานอล 95% จำนวน 1.478 ลิตรเป็นวัตถุดิบ และรูปที่ 6-6 เป็นแผนภูมิแสดงขั้นตอนการผลิตเอทานอล 99.5% จากเอทานอล 95% โดยการกำจัดน้ำด้วยเทคโนโลยี molecular sieve



รูปที่ 6-6 แสดงแผนภาพการไหลโดยย่อของมวลและพลังงานในการผลิตเอทานอล 99.5% ที่พิจารณา

ตารางที่ 6-18 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นจากการผลิตเอทานอล 99.5% 1 ลิตร จากเอทานอล 95%

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	19.504	18.455	18.937	18.803	18.724	18.555
Fossil fuels (MJ)	7.978	9.258	0.257	8.693	11.577	13.430
Petroleum (MJ)	0.103	0.118	0.0145	0.111	0.144	0.165
VOC (g)	0.128	0.128	0.0960	0.127	0.138	0.144
CO (g)	0.569	0.512	0.667	0.533	0.486	0.452
NO_x (g)	2.735	2.967	0.989	2.859	3.496	3.900
PM_{10} (g)	0.201	0.206	0.125	0.203	0.229	0.245
SO_x (g)	4.445	5.165	0.0892	4.846	6.473	7.517
CH_4 (g)	0.941	1.075	0.1054	1.015	1.326	1.526
N_2O (g)	0.0461	0.0376	0.0710	0.0409	0.0305	0.0234
CO_2 (g)	1,881.894	1,765.447	1,892.305	1,805.337	1,772.246	1,739.102

ตารางที่ 6-19 และ ตารางที่ 6-20 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นรวมทุกขั้นตอน (LCA) ของการผลิตเอทานอล 95% ซึ่งเริ่มตั้งแต่การทำไร่อ้อย การขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงานน้ำตาล การผลิตน้ำตาลในโรงงานน้ำตาล การขนส่งกากน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลสู่โรงงานเอทานอล และการผลิตเอทานอล 95% จากกากน้ำตาลในโรงงานเอทานอล โดยตารางที่ 6-19 คำนวณจากผลลัพธ์ในตารางที่ 6-13 คูณกับ 3.402 แล้วนำมารวมกับผลลัพธ์ในคอลัมน์สุดท้ายในตารางที่ 6-15 แล้วนำมารวมกับผลลัพธ์ในตารางที่ 6-17 ส่วนตารางที่ 6-20 คำนวณจากผลลัพธ์ในตารางที่ 6-14 คูณกับ 3.402 แล้วนำมารวมกับผลลัพธ์ในคอลัมน์สุดท้ายในตารางที่ 6-15 แล้วนำมารวมกับผลลัพธ์ในตารางที่ 6-17

ตารางที่ 6-19 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions (LCA) ของเอทานอล 95% 1 ลิตร (+)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	15.722	15.830	17.278	16.868	16.961	16.514
Fossil fuels (MJ)	0.511	0.597	0.652	0.578	0.562	0.654
Petroleum (MJ)	0.198	0.248	0.252	0.199	0.194	0.272
VOC (g)	0.0921	0.0964	0.103	0.0973	0.0975	0.101
CO (g)	0.611	0.633	0.681	0.646	0.648	0.664
NO_x (g)	0.869	0.889	0.968	0.933	0.936	0.932
PM_{10} (g)	0.108	0.110	0.119	0.115	0.115	0.115
SO_x (g)	0.0551	0.0587	0.0651	0.0618	0.0612	0.0627
CH_4 (g)	0.122	0.132	0.146	0.137	0.135	0.142
N_2O (g)	0.149	0.159	0.180	0.173	0.171	0.171
CO_2 (g)	1,548.316	1,555.157	1,696.155	1,657.924	1,668.247	1,620.496

ตารางที่ 6-20 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions (LCA) ของเอทานอล 95% 1 ลิตร (-)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	21.882	22.069	25.271	24.181	24.274	23.333
Fossil fuels (MJ)	1.091	1.271	1.399	1.221	1.179	1.372
Petroleum (MJ)	0.421	0.526	0.538	0.420	0.406	0.568
VOC (g)	0.137	0.146	0.162	0.148	0.147	0.155
CO (g)	0.890	0.934	1.041	0.958	0.958	0.991
NO_x (g)	1.264	1.304	1.480	1.392	1.391	1.383
PM_{10} (g)	0.153	0.157	0.178	0.167	0.167	0.166
SO_x (g)	0.0956	0.103	0.117	0.109	0.107	0.110
CH_4 (g)	0.219	0.240	0.271	0.248	0.243	0.257
N_2O (g)	0.274	0.295	0.342	0.323	0.315	0.316
CO_2 (g)	2,132.388	2,142.791	2,454.381	2,352.393	2,364.318	2,263.886

ตารางที่ 6-21 และ ตารางที่ 6-22 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นจากผลรวมของทุกขั้นตอน (LCA) ของการผลิตเอทานอล 99.5% ซึ่งเริ่มตั้งแต่การทำไร่อ้อย การขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงานน้ำตาล การผลิตน้ำตาลในโรงงานน้ำตาล การขนส่งกากน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลสู่โรงงานเอทานอล การผลิตเอทานอล 95% จากกากน้ำตาลในโรงงานเอทานอล และการผลิตเอ

ทานอล 99.5% จากเอทานอล 95% โดยการกำจัดน้ำด้วยเทคโนโลยี molecular sieve โดยตารางที่ 6-21 คำนวณจากการรวมผลลัพธ์จากตารางที่ 6-18 เข้ากับผลคูณของ 1.478 กับตารางที่ 6-19 ส่วนตารางที่ 6-22 คำนวณโดยการรวมผลลัพธ์จากตารางที่ 6-18 เข้ากับผลคูณของ 1.478 กับตารางที่ 6-20 เมื่อการผลิตเอทานอล 99.5% 1 ลิตร ต้องใช้เอทานอล 95% จำนวน 1.478 ลิตร เป็นวัตถุดิบ

ตารางที่ 6-21 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions (LCA) ของเอทานอล 99.5% 1 ลิตร (+)

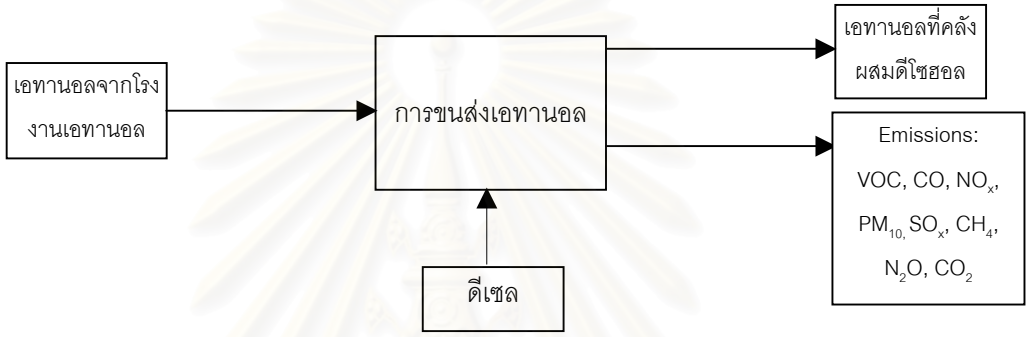
โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	42.742	41.854	44.476	43.735	43.794	42.964
Fossil fuels (MJ)	8.734	10.141	1.221	9.547	12.408	14.397
Petroleum (MJ)	0.395	0.484	0.386	0.406	0.431	0.567
VOC (g)	0.264	0.270	0.249	0.271	0.282	0.294
CO (g)	1.473	1.448	1.674	1.489	1.445	1.434
NO_x (g)	4.020	4.281	2.420	4.239	4.880	5.278
PM_{10} (g)	0.360	0.368	0.301	0.373	0.400	0.415
SO_x (g)	4.526	5.251	0.185	4.938	6.563	7.610
CH_4 (g)	1.122	1.271	0.321	1.218	1.526	1.736
N_2O (g)	0.266	0.273	0.337	0.297	0.283	0.276
CO_2 (g)	4,170.433	4,064.098	4,399.385	4,255.904	4,238.071	4,134.339

ตารางที่ 6-22 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions (LCA) ของเอทานอล 99.5% 1 ลิตร (-)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	51.848	51.076	56.291	54.546	54.604	53.044
Fossil fuels (MJ)	9.591	11.137	2.325	10.497	13.320	15.459
Petroleum (MJ)	0.725	0.896	0.810	0.732	0.744	1.006
VOC (g)	0.331	0.344	0.336	0.345	0.355	0.373
CO (g)	1.884	1.893	2.207	1.950	1.903	1.917
NO_x (g)	4.604	4.895	3.176	4.917	5.553	5.944
PM_{10} (g)	0.427	0.438	0.388	0.450	0.477	0.491
SO_x (g)	4.586	5.317	0.263	5.007	6.631	7.680
CH_4 (g)	1.264	1.429	0.506	1.382	1.686	1.905
N_2O (g)	0.452	0.473	0.576	0.518	0.497	0.491
CO_2 (g)	5,033.836	4,932.766	5,520.232	5,282.500	5,267.038	5,085.430

6.6 พลังงานและ emissions ระหว่างขั้นตอนการขนส่งเอทานอลไปคลังดีเซล

การขนส่งเอทานอลจากโรงงานเอทานอลไปยังคลังดีเซลเพื่อทำการผสมกับดีเซลเป็นเชื้อเพลิงดีโซฮอลแสดงด้วยแผนภาพดังรูปที่ 6-7 โดยคำนวณบนสมมติฐานที่ว่าการขนส่งเป็นการขนส่งจากโรงงานเอทานอลไปยังคลังดีเซลที่ใกล้ที่สุดที่ตั้งอยู่ในภาคเดียวกัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ภาค คือ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออก โดยคำนึงถึงระยะทางไป-กลับ และหาค่าเฉลี่ยของระยะทางในแต่ละภาคโดยถ่วงน้ำหนักด้วยปริมาณเอทานอล 95% ที่ผลิตได้โดยโรงงานนั้นๆ โดยพลังงานที่ใช้และ emissions ในการขนส่งเอทานอลแยกตามภาคแสดงไว้ในตารางที่ 6-23



รูปที่ 6-7 แสดงแผนภาพการไหลโดยย่อของมวลและพลังงานในการขนส่งเอทานอลที่พิจารณา

ตารางที่ 6-23 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ของการขนส่งเอทานอล 1 ลิตรไปคลังดีเซลแยกตามภาค

	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	กลาง	ตะวันออก
Total energy (MJ)	0.115	0.117	0.160	0.206
Fossil fuels (MJ)	0.114	0.116	0.158	0.204
Petroleum (MJ)	0.105	0.106	0.145	0.187
VOC (g)	0.00902	0.00917	0.0125	0.0161
CO (g)	0.0478	0.0486	0.0662	0.0855
NO_x (g)	0.0302	0.0307	0.0419	0.0540
PM_{10} (g)	0.00423	0.00430	0.00587	0.00757
SO_x (g)	0.00270	0.00275	0.00375	0.00483
CH_4 (g)	0.00988	0.0100	0.0137	0.0177
N_2O (g)	0.000201	0.000204	0.000278	0.000359
CO_2 (g)	8.595	8.739	11.915	15.374
ระยะทางเฉลี่ยต่อเที่ยว (km)	70.526	71.708	97.774	126.155

ตารางที่ 6-24 เป็นการแสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นระหว่างการขนส่งเอทานอลโดยแยกตามที่ตั้งของโรงงานซึ่งกระจายอยู่ในแต่ละภาค โดยโรงงาน ก ตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โรงงาน ข และ ฉ ตั้งอยู่ในภาคเหนือ โรงงาน ค ตั้งอยู่ในภาคตะวันออก ส่วนโรงงาน จ และ ฉ ตั้งอยู่ในภาคกลาง ซึ่งรายละเอียดของการขนส่งเอทานอลของแต่ละภาคแสดงไว้ในตารางที่ 6-23 และตารางที่ 6-25 ถึงตารางที่ 6-28 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นในการผลิตเอทานอลตั้งแต่ขั้นตอนการทำไร่อ้อยจนถึงขั้นตอนการขนส่งเอทานอลมายังคลังดีเซล โดยเรียงจากเอทานอล 95% กรณี (+) และ (-) และ เอทานอล 99.5% กรณี (+) และ (-)ตามลำดับ

ตารางที่ 6-24 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ของการขนส่งเอทานอล 1 ลิตรไปคลังดีเซลแยกตามโรงงาน

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	0.117	0.115	0.206	0.160	0.160	0.115
Fossil fuels (MJ)	0.116	0.114	0.204	0.158	0.158	0.114
Petroleum (MJ)	0.106	0.105	0.187	0.145	0.145	0.105
VOC (g)	0.00917	0.00902	0.0161	0.0125	0.0125	0.00902
CO (g)	0.0486	0.0478	0.0855	0.0662	0.0662	0.0478
NO_x (g)	0.0307	0.0302	0.0540	0.0419	0.0419	0.0302
PM_{10} (g)	0.00430	0.00423	0.00757	0.00587	0.00587	0.00423
SO_x (g)	0.00275	0.00270	0.00483	0.00375	0.00375	0.00270
CH_4 (g)	0.0100	0.00988	0.0177	0.0137	0.0137	0.00988
N_2O (g)	0.000204	0.000201	0.000359	0.000278	0.000278	0.000201
CO_2 (g)	8.739	8.595	15.374	11.915	11.915	8.595
ระยะทางเฉลี่ยต่อเที่ยว (km)	71.708	70.526	126.155	97.774	97.774	70.526

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6-25 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้น ของการผลิตเอทานอล 95% ในกรณี (+) ตั้งแต่ขั้นตอนการทำไร่อ้อยจนถึงขั้นตอนการขนส่งเอทานอลมายังคลังดีเซล

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	15.839	15.945	17.484	17.028	17.121	16.629
Fossil fuels (MJ)	0.627	0.711	0.856	0.736	0.720	0.768
Petroleum (MJ)	0.304	0.353	0.439	0.344	0.339	0.377
VOC (g)	0.101	0.105	0.120	0.110	0.110	0.110
CO (g)	0.660	0.681	0.766	0.712	0.715	0.712
NO_x (g)	0.900	0.919	1.022	0.975	0.978	0.962
PM_{10} (g)	0.112	0.114	0.127	0.121	0.121	0.119
SO_x (g)	0.0579	0.0614	0.0699	0.0656	0.0650	0.0655
CH_4 (g)	0.132	0.142	0.164	0.151	0.149	0.152
N_2O (g)	0.149	0.159	0.180	0.173	0.171	0.171
CO_2 (g)	1,557.055	1,563.752	1,711.528	1,669.839	1,680.162	1,629.090

ตารางที่ 6-26 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้น ของการผลิตเอทานอล 95% ในกรณี (-) ตั้งแต่ขั้นตอนการทำไร่อ้อยจนถึงขั้นตอนการขนส่งเอทานอลมายังคลังดีเซล

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	21.999	22.184	25.477	24.341	24.434	23.448
Fossil fuels (MJ)	1.207	1.385	1.603	1.379	1.337	1.486
Petroleum (MJ)	0.527	0.631	0.725	0.565	0.551	0.673
VOC (g)	0.147	0.155	0.178	0.160	0.160	0.164
CO (g)	0.938	0.982	1.127	1.024	1.024	1.039
NO_x (g)	1.295	1.334	1.534	1.434	1.433	1.413
PM_{10} (g)	0.157	0.161	0.185	0.173	0.173	0.171
SO_x (g)	0.0983	0.106	0.122	0.113	0.111	0.113
CH_4 (g)	0.229	0.249	0.288	0.262	0.257	0.267
N_2O (g)	0.275	0.295	0.342	0.323	0.316	0.316
CO_2 (g)	2,141.127	2,151.385	2,469.755	2,364.308	2,376.233	2,272.481

ตารางที่ 6-27 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้น ของการผลิตเอทานอล 99.5% ในกรณี (+) ตั้งแต่ขั้นตอนการทำไร่อ้อยจนถึงขั้นตอนการขนส่งเอทานอลมายังคลังดีเซล

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	42.859	41.969	44.682	43.895	43.954	43.079
Fossil fuels (MJ)	8.850	10.255	1.425	9.705	12.566	14.511
Petroleum (MJ)	0.501	0.589	0.573	0.551	0.576	0.672
VOC (g)	0.273	0.279	0.265	0.284	0.294	0.303
CO (g)	1.521	1.496	1.759	1.555	1.511	1.481
NO_x (g)	4.051	4.311	2.474	4.280	4.922	5.308
PM_{10} (g)	0.364	0.372	0.309	0.378	0.406	0.419
SO_x (g)	4.529	5.254	0.190	4.942	6.567	7.613
CH_4 (g)	1.132	1.281	0.339	1.232	1.540	1.745
N_2O (g)	0.267	0.273	0.337	0.297	0.283	0.276
CO_2 (g)	4,179.172	4,072.692	4,414.759	4,267.819	4,249.986	4,142.934

ตารางที่ 6-28 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้น ของการผลิตเอทานอล 99.5% ในกรณี (-) ตั้งแต่ขั้นตอนการทำไร่อ้อยจนถึงขั้นตอนการขนส่งเอทานอลมายังคลังดีเซล

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	51.965	51.191	56.497	54.706	54.764	53.159
Fossil fuels (MJ)	9.707	11.251	2.529	10.655	13.478	15.573
Petroleum (MJ)	0.831	1.001	0.997	0.877	0.889	1.111
VOC (g)	0.340	0.353	0.352	0.358	0.368	0.382
CO (g)	1.933	1.941	2.292	2.016	1.969	1.965
NO_x (g)	4.634	4.925	3.230	4.959	5.595	5.974
PM_{10} (g)	0.431	0.442	0.395	0.456	0.482	0.496
SO_x (g)	4.589	5.319	0.267	5.011	6.635	7.683
CH_4 (g)	1.274	1.439	0.523	1.396	1.699	1.915
N_2O (g)	0.452	0.473	0.576	0.518	0.497	0.491
CO_2 (g)	5,042.575	4,941.361	5,535.606	5,294.416	5,278.953	5,094.025

6.7 พลังงานและ emissions ระหว่างขั้นตอนการผลิตดีเซล

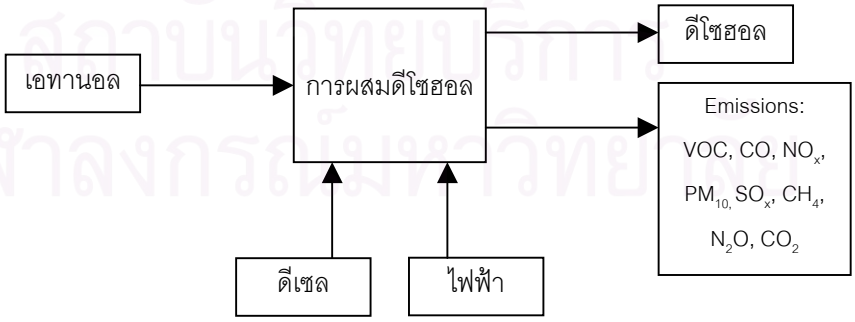
ค่าพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นของการผลิตเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไปได้มาจาก GREET Model ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 6-29

ตารางที่ 6-29 พลังงานที่ใช้และ emissions ของการผลิตเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไป 1 ลิตร

Total energy (MJ)	7.076
Fossil fuels (MJ)	6.681
Petroleum (MJ)	3.128
VOC (g)	0.300
CO (g)	0.813
NO_x (g)	1.061
PM_{10} (g)	0.0978
SO_x (g)	0.578
CH_4 (g)	3.526
N_2O (g)	0.00682
CO_2 (g)	505.152

6.8 พลังงานและ emissions ระหว่างขั้นตอนการผสมดีโซฮอลที่คลังดีเซล

ข้อมูลพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นของการผสมดีโซฮอล 1 ลิตร ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 6-30 คำนวณจากกระบวนการผสมเอทานอล 95% กับเชื้อเพลิงดีเซล ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงดีโซฮอลที่งานทดลองผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา แสดงด้วยแผนภูมิไว้ในรูปที่ 6-8



รูปที่ 6-8 แสดงแผนภาพการไหลโดยย่อของมวลและพลังงานในการผสมดีโซฮอลที่พิจารณา

ตารางที่ 6-30 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ของการผสมดีโซฮอล 1 ลิตร

	ดีโซฮอล 1 ลิตร
Total energy (MJ)	0.116
Fossil fuels (MJ)	0.109
Petroleum (MJ)	0.00618
VOC (g)	0.000658
CO (g)	0.00257
NO_x (g)	0.0189
PM_{10} (g)	0.000988
SO_x (g)	0.0229
CH_4 (g)	0.0160
N_2O (g)	0.0000834
CO_2 (g)	7.764

เนื่องจากมีข้อมูลเฉพาะกระบวนการผสมดีโซฮอล 95% และขาดข้อมูลการผสมดีโซฮอล 99.5% แต่เนื่องจากการคำนวณครั้งนี้คิดพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นจากการใช้ไฟฟ้าเพื่อหมุนมอเตอร์ขับปั๊มที่ใช้หมุนเวียนเชื้อเพลิงให้ผสมเข้ากันซึ่งเมื่อคิดเป็นพลังงานและ emissions ต่อหน่วยเชื้อเพลิงดีโซฮอล 1 ลิตรแล้วไม่ควรมีความแตกต่างกันระหว่างเชื้อเพลิงดีโซฮอล 95% และเชื้อเพลิงดีโซฮอล 99.5% จึงจะใช้ข้อมูลพลังงานและ emissions ของการผสมดีโซฮอล 95% แทนข้อมูลพลังงานและ emissions ของการผสมดีโซฮอล 99.5% ด้วย

ค่าพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้นตั้งแต่ขั้นตอนการทำไร่อ้อยจนถึงขั้นตอนการผสมดีโซฮอลที่คลังดีเซล ของการผลิตดีโซฮอล 95% และ ดีโซฮอล 99.5% ทั้งกรณี (+) และ (-) แสดงไว้ในตารางที่ 6-31 ถึงตารางที่ 6-34 ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6-31 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้น ของการผลิตดีโซฮอล 95% ในกรณี (+) ตั้งแต่ขั้นตอนการทำไร่อ้อยจนถึงขั้นตอนการผสมดีโซฮอลที่คลังดีเซล

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	8.471	8.487	8.718	8.649	8.663	8.590
Fossil fuels (MJ)	5.848	5.861	5.883	5.865	5.863	5.870
Petroleum (MJ)	2.695	2.702	2.715	2.701	2.700	2.706
VOC (g)	0.269	0.270	0.272	0.271	0.271	0.271
CO (g)	0.789	0.792	0.805	0.796	0.797	0.796
NO_x (g)	1.050	1.053	1.069	1.062	1.062	1.060
PM_{10} (g)	0.100	0.101	0.103	0.102	0.102	0.101
SO_x (g)	0.520	0.521	0.522	0.521	0.521	0.521
CH_4 (g)	3.015	3.017	3.020	3.018	3.018	3.018
N_2O (g)	0.0282	0.0297	0.0329	0.0319	0.0315	0.0315
CO_2 (g)	668.176	669.180	691.347	685.093	686.642	678.981

ตารางที่ 6-32 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้น ของการผลิตดีโซฮอล 95% ในกรณี (-) ตั้งแต่ขั้นตอนการทำไร่อ้อยจนถึงขั้นตอนการผสมดีโซฮอลที่คลังดีเซล

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	9.395	9.423	9.917	9.746	9.760	9.612
Fossil fuels (MJ)	5.936	5.962	5.995	5.961	5.955	5.977
Petroleum (MJ)	2.728	2.744	2.758	2.734	2.732	2.750
VOC (g)	0.276	0.277	0.281	0.278	0.278	0.279
CO (g)	0.830	0.837	0.859	0.843	0.843	0.845
NO_x (g)	1.110	1.116	1.145	1.131	1.130	1.127
PM_{10} (g)	0.107	0.108	0.111	0.110	0.110	0.109
SO_x (g)	0.526	0.527	0.530	0.528	0.528	0.528
CH_4 (g)	3.030	3.033	3.039	3.035	3.034	3.035
N_2O (g)	0.0470	0.0501	0.0572	0.0543	0.0532	0.0533
CO_2 (g)	755.786	757.325	805.081	789.264	791.052	775.490

ตารางที่ 6-33 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้น ของการผลิตดีโซฮอล 99.5% ในกรณี (+) ตั้งแต่ขั้นตอนการทำไร่อ้อยจนถึงขั้นตอนการผสมดีโซฮอลที่คลังดีเซล

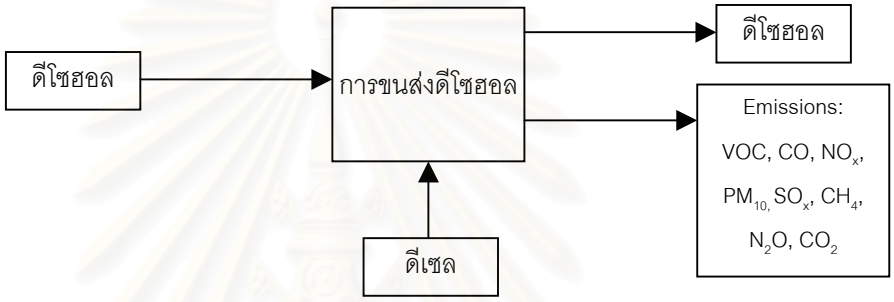
โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	10.700	10.610	10.882	10.803	10.809	10.721
Fossil fuels (MJ)	6.940	7.081	6.198	7.026	7.312	7.506
Petroleum (MJ)	2.840	2.849	2.847	2.845	2.848	2.857
VOC (g)	0.295	0.296	0.294	0.296	0.297	0.298
CO (g)	0.878	0.876	0.902	0.882	0.877	0.874
NO_x (g)	1.368	1.394	1.211	1.391	1.455	1.494
PM_{10} (g)	0.124	0.125	0.119	0.126	0.129	0.130
SO_x (g)	0.990	1.063	0.556	1.031	1.194	1.299
CH_4 (g)	3.267	3.282	3.188	3.277	3.308	3.329
N_2O (g)	0.0328	0.0334	0.0399	0.0359	0.0345	0.0338
CO_2 (g)	875.266	864.619	898.825	884.131	882.348	871.643

ตารางที่ 6-34 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ที่เกิดขึ้น ของการผลิตดีโซฮอล 99.5% ในกรณี (-) ตั้งแต่ขั้นตอนการทำไร่อ้อยจนถึงขั้นตอนการผสมดีโซฮอลที่คลังดีเซล

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	11.610	11.533	12.063	11.884	11.890	11.730
Fossil fuels (MJ)	7.026	7.180	6.308	7.121	7.403	7.612
Petroleum (MJ)	2.873	2.890	2.890	2.878	2.879	2.901
VOC (g)	0.302	0.303	0.303	0.303	0.304	0.306
CO (g)	0.919	0.920	0.955	0.928	0.923	0.923
NO_x (g)	1.427	1.456	1.286	1.459	1.523	1.561
PM_{10} (g)	0.131	0.132	0.128	0.134	0.136	0.138
SO_x (g)	0.996	1.069	0.564	1.038	1.201	1.306
CH_4 (g)	3.282	3.298	3.206	3.294	3.324	3.346
N_2O (g)	0.0514	0.0535	0.0638	0.0580	0.0559	0.0553
CO_2 (g)	961.607	951.485	1,010.910	986.791	985.245	966.752

6.9 พลังงานและ emissions ระหว่างขั้นตอนการขนส่งดีโซฮอลไปยังสถานีบริการ

เนื่องจากขั้นตอนการขนส่งดีโซฮอลยังขาดข้อมูล แต่ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าดีโซฮอลที่คลังดีโซฮอลที่ตั้งอยู่ในภาคใดควรจะส่งไปยังสถานีบริการเชื้อเพลิงในภาคนั้นๆ เพื่อความสมบูรณ์ของการพิจารณาในแง่วัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิง จึงใช้ค่าพลังงานที่ใช้และ emissions ของการขนส่งเอทานอลไปคลังดีเซลแทนการขนส่งดีโซฮอลไปยังสถานีบริการโดยแยกตามโรงงาน โดยแสดงขั้นตอนการขนส่งดีโซฮอลไว้ด้วยแผนภูมิดังรูปที่ 6-9 และแสดงพลังงานที่ใช้และ emissions จากการขนส่งดีโซฮอลแยกตามภาคและแยกตามโรงงานไว้ในตารางที่ 6-35 และตารางที่ 6-36 ตามลำดับ



รูปที่ 6-9 แสดงแผนภาพการไหลโดยย่อของมวลและพลังงานในการขนส่งดีโซฮอลที่พิจารณา

ตารางที่ 6-35 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ของการขนส่งดีโซฮอล 1 ลิตรไปยังสถานีบริการแยกตามภาค

	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	กลาง	ตะวันออก
Total energy (MJ)	0.115	0.117	0.160	0.206
Fossil fuels (MJ)	0.114	0.116	0.158	0.204
Petroleum (MJ)	0.105	0.106	0.145	0.187
VOC (g)	0.00902	0.00917	0.0125	0.0161
CO (g)	0.0478	0.0486	0.0662	0.0855
NO_x (g)	0.0302	0.0307	0.0419	0.0540
PM_{10} (g)	0.00423	0.00430	0.00587	0.00757
SO_x (g)	0.00270	0.00275	0.00375	0.00483
CH_4 (g)	0.00988	0.0100	0.0137	0.0177
N_2O (g)	0.000201	0.000204	0.000278	0.000359
CO_2 (g)	8.595	8.739	11.915	15.374
ระยะทางเฉลี่ยต่อเที่ยว (km)	70.526	71.708	97.774	126.155

ตารางที่ 6-36 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ของการขนส่งดีโซฮอล 1 ลิตรไปยังสถานีบริการ

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	0.117	0.115	0.206	0.160	0.160	0.115
Fossil fuels (MJ)	0.116	0.114	0.204	0.158	0.158	0.114
Petroleum (MJ)	0.106	0.105	0.187	0.145	0.145	0.105
VOC (g)	0.00917	0.00902	0.0161	0.0125	0.0125	0.00902
CO (g)	0.0486	0.0478	0.0855	0.0662	0.0662	0.0478
NO_x (g)	0.0307	0.0302	0.0540	0.0419	0.0419	0.0302
PM_{10} (g)	0.00430	0.00423	0.00757	0.00587	0.00587	0.00423
SO_x (g)	0.00275	0.00270	0.00483	0.00375	0.00375	0.00270
CH_4 (g)	0.0100	0.00988	0.0177	0.0137	0.0137	0.00988
N_2O (g)	0.000204	0.000201	0.000359	0.000278	0.000278	0.000201
CO_2 (g)	8.739	8.595	15.374	11.915	11.915	8.595
ระยะทางเฉลี่ยต่อเที่ยว (km)	71.708	70.526	126.155	97.774	97.774	70.526

6.10 พลังงานและ emissions ระหว่างขั้นตอนการเติมดีโซฮอล

ผลลัพธ์ในขั้นตอนนี้ไม่สามารถประเมินออกมาได้เนื่องจากยังไม่มีการนำมาใช้จริงทำให้ไม่สามารถหาข้อมูลได้ จึงละทิ้งขั้นตอนนี้ไว้ไม่นำเข้ามารวมในการคำนวณผลลัพธ์เชิง LCA แต่คงหัวข้อไว้เพื่อให้รู้ว่ามีขั้นตอนนี้รวมอยู่ด้วย

6.11 พลังงานที่ใช้และ emissions (Feedstock-to-Tank) ของดีโซฮอล

ผลลัพธ์ในตารางที่ 6-37 และ ตารางที่ 6-38 เกิดจากการผสมดีเซล 84.5% โดยปริมาตรกับเอทานอล 95% 15% โดยปริมาตร ไม่คำนึงถึงอิมัลซิไฟเออร์เนื่องจากปริมาณสัดส่วนที่เติมน้อยและข้อมูลในส่วนนี้ไม่สามารถหาได้ โดยที่ตารางที่ 6-37 มาจากผลบวกของผลลัพธ์จากตารางที่ 6-31 กับ ตารางที่ 6-36 ส่วนตารางที่ 6-38 มาจากผลบวกของผลลัพธ์จากตารางที่ 6-32 กับตารางที่ 6-36

ตารางที่ 6-37 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions (FTT) ของดีโซฮอล 95% 1 ลิตร (+)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	8.588	8.602	8.924	8.809	8.823	8.705
Fossil fuels (MJ)	5.964	5.975	6.087	6.023	6.021	5.984
Petroleum (MJ)	2.801	2.807	2.902	2.846	2.845	2.811
VOC (g)	0.279	0.279	0.288	0.283	0.283	0.280
CO (g)	0.837	0.839	0.890	0.863	0.863	0.844
NO_x (g)	1.081	1.084	1.123	1.104	1.104	1.090
PM_{10} (g)	0.105	0.105	0.110	0.108	0.108	0.106
SO_x (g)	0.523	0.523	0.527	0.525	0.525	0.524
CH_4 (g)	3.025	3.027	3.038	3.032	3.032	3.028
N_2O (g)	0.0284	0.0299	0.0333	0.0321	0.0318	0.0317
CO_2 (g)	676.914	677.775	706.720	697.008	698.557	687.576

ตารางที่ 6-38 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions (FTT) ของดีโซฮอล 95% 1 ลิตร (-)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	9.512	9.538	10.123	9.906	9.920	9.727
Fossil fuels (MJ)	6.052	6.076	6.199	6.119	6.113	6.091
Petroleum (MJ)	2.834	2.849	2.945	2.879	2.877	2.855
VOC (g)	0.285	0.286	0.297	0.291	0.291	0.288
CO (g)	0.879	0.885	0.944	0.909	0.909	0.893
NO_x (g)	1.140	1.146	1.200	1.172	1.172	1.158
PM_{10} (g)	0.112	0.112	0.119	0.115	0.115	0.113
SO_x (g)	0.529	0.530	0.534	0.532	0.532	0.531
CH_4 (g)	3.040	3.043	3.056	3.048	3.048	3.045
N_2O (g)	0.0473	0.0503	0.0575	0.0546	0.0535	0.0535
CO_2 (g)	764.525	765.920	820.454	801.179	802.968	784.084

ผลในตารางที่ 6-39 และ ตารางที่ 6-40 เกิดจากการผสมดีเซล 89% โดยปริมาตรกับเอทานอล 99.5% 10% โดยปริมาตร ไม่คำนึงถึงอิมัลซิไฟเออร์เนื่องจากปริมาณสัดส่วนที่เติมน้อยและข้อมูลในส่วนนี้ไม่สามารถหาได้ โดยที่ตารางที่ 6-39 มาจากผลบวกของผลลัพธ์จากตารางที่ 6-33 กับ ตารางที่ 6-36 ส่วนตารางที่ 6-40 มาจากผลบวกของผลลัพธ์จากตารางที่ 6-34 กับ ตารางที่ 6-36

ตารางที่ 6-39 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions (FTT) ของดีโซฮอล 99.5% 1 ลิตร (+)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	10.817	10.725	11.088	10.963	10.969	10.836
Fossil fuels (MJ)	7.056	7.195	6.402	7.184	7.470	7.620
Petroleum (MJ)	2.946	2.954	3.034	2.990	2.993	2.962
VOC (g)	0.304	0.305	0.310	0.309	0.310	0.307
CO (g)	0.927	0.924	0.988	0.948	0.943	0.922
NO_x (g)	1.399	1.425	1.265	1.433	1.497	1.524
PM_{10} (g)	0.129	0.130	0.126	0.132	0.134	0.134
SO_x (g)	0.993	1.065	0.561	1.035	1.198	1.301
CH_4 (g)	3.277	3.292	3.206	3.291	3.322	3.339
N_2O (g)	0.0330	0.0336	0.0402	0.0361	0.0347	0.0340
CO_2 (g)	884.005	873.213	914.199	896.046	894.263	880.237

ตารางที่ 6-40 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions (FTT) ของดีโซฮอล 99.5% 1 ลิตร (-)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	11.727	11.648	12.269	12.044	12.050	11.845
Fossil fuels (MJ)	7.142	7.294	6.512	7.279	7.561	7.726
Petroleum (MJ)	2.979	2.995	3.077	3.023	3.024	3.006
VOC (g)	0.311	0.312	0.319	0.316	0.317	0.315
CO (g)	0.968	0.968	1.041	0.994	0.989	0.970
NO_x (g)	1.457	1.486	1.340	1.501	1.565	1.591
PM_{10} (g)	0.135	0.136	0.135	0.139	0.142	0.142
SO_x (g)	0.999	1.072	0.569	1.042	1.205	1.308
CH_4 (g)	3.292	3.308	3.224	3.307	3.338	3.356
N_2O (g)	0.0516	0.0537	0.0642	0.0583	0.0561	0.0555
CO_2 (g)	970.345	960.080	1,026.284	998.706	997.160	975.346

6.12 การใช้งานในรถยนต์

energy content ของดีโซฮอลทั้ง 2 ชนิดและดีเซลแสดงในตารางที่ 6-41 และแสดงพลังงานการผลิตเชื้อเพลิงกับพลังงานการผลิตเชื้อเพลิงรวมกับ energy content ของดีโซฮอล 95% ดีโซฮอล 99.5% และ ดีเซล ไว้ในตารางที่ 6-42 ตารางที่ 6-43 และตารางที่ 6-44 ตามลำดับ

ตารางที่ 6-41 แสดง energy content (LHV) ของเชื้อเพลิงดีโซฮอล 95%, ดีโซฮอล 99.5% และดีเซล

ชนิดของเชื้อเพลิง	LHV (MJ/L)
ดีโซฮอล 95%	33.282
ดีโซฮอล 99.5%	33.983
ดีเซล	35.815

ตารางที่ 6-42 แสดงพลังงานการผลิต และผลบวกของพลังงานการผลิตกับ energy content (LHV) ของเชื้อเพลิงดีโซฮอล 95%

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
พลังงานการผลิต (+) (MJ)	8.588	8.602	8.924	8.809	8.823	8.705
ผลรวม (+) (MJ)	41.870	41.884	42.206	42.091	42.105	41.987
พลังงานการผลิต (-) (MJ)	9.512	9.538	10.123	9.906	9.920	9.727
ผลรวม (-) (MJ)	42.794	42.820	43.405	43.188	43.202	43.009

ตารางที่ 6-43 แสดงพลังงานการผลิต และผลบวกของพลังงานการผลิตกับ energy content (LHV) ของเชื้อเพลิงดีโซฮอล 99.5%

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
พลังงานการผลิต (+) (MJ)	10.817	10.725	11.088	10.963	10.969	10.836
ผลรวม (+) (MJ)	44.800	44.708	45.071	44.946	44.952	44.819
พลังงานการผลิต (-) (MJ)	11.727	11.648	12.269	12.044	12.050	11.845
ผลรวม (-) (MJ)	45.710	45.631	46.252	46.027	46.033	45.828

ตารางที่ 6-44 แสดงพลังงานการผลิต และผลบวกของพลังงานการผลิตกับ energy content (LHV) ของเชื้อเพลิงดีเซล

	ปริมาณพลังงาน
พลังงานการผลิตดีเซล 1 ลิตร (MJ)	7.076
ผลรวมพลังงานการผลิตกับ LHV (MJ/L)	42.891

Feedstock-to-Tank Energy Efficiency

ตารางที่ 6-45 และ ตารางที่ 6-46 แสดงประสิทธิภาพเชิงพลังงานของการผลิตเชื้อเพลิงดีโซฮอล 95% และเชื้อเพลิงดีโซฮอล 99.5% ตามลำดับ โดยที่ FTT Energy Efficiency ของดีเซลมีค่า 83.502 % คำนวณจาก

FTT energy efficiency = (LHV x 100)/(LHV + พลังงานการผลิต) (6-2)

ตารางที่ 6-45 แสดง FTT Energy Efficiency ของดีโซฮอล 95% (%)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
(+)	79.489	79.462	78.856	79.071	79.044	79.268
(-)	77.773	77.726	76.678	77.062	77.037	77.383

ตารางที่ 6-46 แสดง FTT Energy Efficiency ของดีโซฮอล 99.5% (%)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
(+)	75.856	76.010	75.399	75.608	75.598	75.822
(-)	74.345	74.474	73.473	73.832	73.823	74.154

FTW Total Energy Use

ตารางที่ 6-47 ถึง ตารางที่ 6-54 เป็นการแสดงผลการสิ้นเปลืองพลังงานของเชื้อเพลิงดีโซฮอล 95% และเชื้อเพลิงดีโซฮอล 99.5%ในรูป (kJ/km) เมื่อมีการนำมาใช้ในรถยนต์ที่ 4 จุดทำงานคือที่ เกียร์ 5 80 km/h, เกียร์ 5 100 km/h, เกียร์ 4 80 km/h และ เกียร์ 4 90 km/h

โดยที่จุดทำงาน เกียร์ 5 80 km/h การสิ้นเปลืองพลังงานของเชื้อเพลิงดีเซลในรูป (kJ/km) มีค่า 3,742.670 kJ/km

ตารางที่ 6-47 แสดง FTW Total Energy Use ในรูป kJ/km ของดีโซฮอล 95% (เกียร์ 5, 80 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
(+)	4,130.419	4,131.797	4,163.542	4,152.254	4,153.636	4,141.910
(-)	4,221.567	4,224.109	4,281.815	4,260.465	4,261.847	4,242.815

ตารางที่ 6-48 แสดง FTW Total Energy Use ในรูป kJ/km ของดีโซฮอล 99.5%
(เกียร์ 5, 80 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
(+)	4,328.457	4,319.662	4,354.668	4,342.626	4,343.194	4,330.386
(-)	4,416.435	4,408.763	4,468.828	4,447.073	4,447.641	4,427.781

โดยที่จุดทำงาน เกียร์ 5 100 km/h การสิ้นเปลืองพลังงานของเชื้อเพลิงดีเซลในรูป (kJ/km) มีค่า 4,524.367 kJ/km

ตารางที่ 6-49 แสดง FTW Total Energy Use ในรูป kJ/km ของดีโซฮอล 95%(เกียร์ 5, 100 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
(+)	5,238.996	5,240.744	5,281.009	5,266.692	5,268.444	5,253.572
(-)	5,354.608	5,357.832	5,431.026	5,403.945	5,405.698	5,381.558

ตารางที่ 6-50 แสดง FTW Total Energy Use ในรูป kJ/km ของดีโซฮอล 99.5%
(เกียร์ 5, 100 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
(+)	5,490.139	5,478.983	5,523.384	5,508.110	5,508.831	5,492.585
(-)	5,601.728	5,591.997	5,668.182	5,640.589	5,641.309	5,616.119

โดยที่จุดทำงาน เกียร์ 4 80 km/h การสิ้นเปลืองพลังงานของเชื้อเพลิงดีเซลในรูป (kJ/km) มีค่า 4,229.882 kJ/km

ตารางที่ 6-51 แสดง FTW Total Energy Use ในรูป kJ/km ของดีโซฮอล 95% (เกียร์ 4, 80 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
(+)	5,011.977	5,013.650	5,052.169	5,038.472	5,040.149	5,025.921
(-)	5,122.579	5,125.664	5,195.686	5,169.778	5,171.455	5,148.362

ตารางที่ 6-52 แสดง FTW Total Energy Use ในรูป kJ/km ของดีโซฮอล 99.5%
(เกียร์ 4, 80 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
(+)	5,251.997	5,241.324	5,283.800	5,269.189	5,269.878	5,254.337
(-)	5,358.746	5,349.437	5,422.317	5,395.921	5,396.610	5,372.512

โดยที่จุดทำงาน เกียร์4 90 km/h การสิ้นเปลืองพลังงานของเชื้อเพลิงดีเซลในรูป (kJ/km) มีค่า 4,918.693 kJ/km

ตารางที่ 6-53 แสดง FTW Total Energy Use ในรูป kJ/km ของดีโซฮอล 95% (เกียร์ 4, 90 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
(+)	5,808.832	5,810.770	5,855.414	5,839.539	5,841.482	5,824.992
(-)	5,937.018	5,940.593	6,021.749	5,991.722	5,993.665	5,966.9

ตารางที่ 6-54 แสดง FTW Total Energy Use ในรูป kJ/km ของดีโซฮอล 99.5%
(เกียร์ 4, 90 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
(+)	6,086.893	6,074.524	6,123.752	6,106.818	6,107.616	6,089.605
(-)	6,210.611	6,199.823	6,284.289	6,253.696	6,254.495	6,226.567

Net CO_2 LCA emissions ของเอทานอล

ตารางที่ 6-55 แสดง Net CO_2 LCA emissions ของเอทานอล 95% 1 ลิตร โดยหัก CO_2 emissions ที่เกิดจากการเผาไหม้กากอ้อยในขั้นตอนการผลิตน้ำตาลและขั้นตอนการผลิตเอทานอล 95% จากกากน้ำตาลซึ่งเป็นคาร์บอนจากบรรยากาศที่คืนสู่บรรยากาศมีวงจรชีวิตสั้นออกจากปริมาณ CO_2 emissions (LCA) ทั้งหมดของเอทานอล 95%

ตารางที่ 6-55 แสดง Net CO_2 LCA emissions ของเอทานอล 95% 1 ลิตร
หน่วย: กรัม

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
(+)	21.868	26.606	27.879	23.252	22.639	29.142
(-)	46.620	56.541	59.718	49.042	47.392	61.045

ตารางที่ 6-56 แสดง Net CO_2 LCA emissions ของเอทานอล 99.5% 1 ลิตร โดยหัก CO_2 emissions ที่เกิดจากการเผาไหม้กากอ้อยในขั้นตอนการผลิตน้ำตาลและขั้นตอนการผลิตเอทานอล 95% จากกากน้ำตาลซึ่งเป็นคาร์บอนจากบรรยากาศที่คืนสู่บรรยากาศมีวงจรชีวิตสั้นออกจากปริมาณ CO_2 LCA emissions ทั้งหมดของเอทานอล 99.5% ทั้งนี้ไม่ได้หักคาร์บอนจากขั้นตอนการผลิตเอทานอล 99.5% จากเอทานอล 95% เนื่องจากเชื้อเพลิงมีความผันผวน ในการผลิตจริงอาจจะเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิลชนิดอื่นที่มิใช่เชื้อเพลิงกากอ้อย

ตารางที่ 6-56 แสดง Net CO_2 LCA emissions ของเอทานอล 99.5% 1 ลิตร

หน่วย: กรัม

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
(+)	1914.221	1804.777	1933.516	1839.710	1805.712	1782.180
(-)	1950.811	1849.029	1980.583	1877.833	1842.303	1829.342

Net CO_2 FTT emissions ของดีโซฮอล

ตารางที่ 6-57 และ ตารางที่ 6-58 แสดง Net CO_2 FTT emissions ของดีโซฮอล 95% และดีโซฮอล 99.5% ตามลำดับ คำนวณจาก Net CO_2 LCA emissions ของเอทานอล 95% และเอทานอล 99.5% ตามลำดับ

ตารางที่ 6-57 แสดง Net CO_2 FTT emissions ของดีโซฮอล 95% 1 ลิตร

หน่วย: กรัม

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
(+)	447.947	448.492	456.479	451.808	451.716	448.873
(-)	451.660	452.982	461.255	455.676	455.429	453.658

ตารางที่ 6-58 แสดง Net CO_2 FTT emissions ของดีโซฮอล 99.5% 1 ลิตร

หน่วย: กรัม

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
(+)	658.384	647.281	667.612	654.427	651.027	645.021
(-)	662.043	651.706	672.319	658.239	654.686	649.738

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FTT emissions ในรูป g/km

ตารางที่ 6-59 ถึง ตารางที่ 6-74 แสดง Feedstock-to-Tank emission ในรูป g/km ของเชื้อเพลิงดีโซฮอล 95%และดีโซฮอล 99.5% ที่ 4 จุดทำงาน

ตารางที่ 6-59 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 95% (+) (เกียร์ 5, 80 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
VOC (g)	0.0275	0.0275	0.0284	0.0279	0.0279	0.0276
CO (g)	0.0826	0.0828	0.0878	0.0851	0.0851	0.0833
NO_x (g)	0.107	0.107	0.111	0.109	0.109	0.108
PM_{10} (g)	0.0103	0.0104	0.0109	0.0106	0.0106	0.0104
SO_x (g)	0.0516	0.0516	0.0520	0.0518	0.0518	0.0517
CH_4 (g)	0.298	0.299	0.300	0.299	0.299	0.299
N_2O(g)	0.00281	0.00295	0.00328	0.00317	0.00313	0.00313
CO_2 (g)	44.189	44.243	45.031	44.570	44.561	44.281

ตารางที่ 6-60 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 95% (-) (เกียร์ 5, 80 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
VOC (g)	0.0281	0.0283	0.0293	0.0287	0.0287	0.0284
CO (g)	0.0867	0.0873	0.0931	0.0897	0.0897	0.0881
NO_x (g)	0.112	0.113	0.118	0.116	0.116	0.114
PM_{10} (g)	0.0110	0.0111	0.0117	0.0114	0.0114	0.0112
SO_x (g)	0.0522	0.0523	0.0527	0.0525	0.0524	0.0524
CH_4 (g)	0.300	0.300	0.302	0.301	0.301	0.300
N_2O (g)	0.00466	0.00496	0.00567	0.00539	0.00528	0.00528
CO_2 (g)	44.556	44.686	45.502	44.952	44.927	44.753

ตารางที่ 6-61 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 99.5% (+)
(เกียร์ 5, 80 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
VOC (g)	0.0294	0.0294	0.0300	0.0298	0.0299	0.0297
CO (g)	0.0896	0.0892	0.0954	0.0916	0.0912	0.0891
NO_x (g)	0.135	0.138	0.122	0.138	0.145	0.147
PM_{10} (g)	0.0124	0.0125	0.0122	0.0127	0.0130	0.0130
SO_x (g)	0.0959	0.1029	0.0542	0.1000	0.1157	0.1257
CH_4 (g)	0.317	0.318	0.310	0.318	0.321	0.323
N_2O (g)	0.00319	0.00325	0.00389	0.00349	0.00336	0.00328
CO_2 (g)	63.612	62.539	64.504	63.230	62.901	62.321

ตารางที่ 6-62 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 99.5% (-)
(เกียร์ 5, 80 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
VOC (g)	0.0300	0.0301	0.0308	0.0305	0.0306	0.0304
CO (g)	0.0935	0.0935	0.1006	0.0960	0.0956	0.0938
NO_x (g)	0.141	0.144	0.129	0.145	0.151	0.154
PM_{10} (g)	0.0131	0.0132	0.0131	0.0135	0.0137	0.0137
SO_x (g)	0.0965	0.1036	0.0550	0.1007	0.1164	0.1264
CH_4 (g)	0.318	0.320	0.312	0.320	0.322	0.324
N_2O (g)	0.00498	0.00519	0.00620	0.00563	0.00542	0.00536
CO_2 (g)	63.965	62.967	64.958	63.598	63.255	62.777

ตารางที่ 6-63 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 95% (+)
(เกียร์ 5, 100 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
VOC (g)	0.0348	0.0349	0.0361	0.0354	0.0354	0.0350
CO (g)	0.105	0.105	0.111	0.108	0.108	0.106
NO_x (g)	0.135	0.136	0.140	0.138	0.138	0.136
PM_{10} (g)	0.0131	0.0131	0.0138	0.0135	0.0135	0.0132
SO_x (g)	0.0654	0.0655	0.0659	0.0657	0.0657	0.0655
CH_4 (g)	0.379	0.379	0.380	0.379	0.379	0.379
N_2O (g)	0.00356	0.00374	0.00416	0.00402	0.00397	0.00397
CO_2 (g)	56.049	56.118	57.117	56.532	56.521	56.165

ตารางที่ 6-64 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 95% (-)
(เกียร์ 5, 100 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
VOC (g)	0.0357	0.0358	0.0372	0.0364	0.0364	0.0360
CO (g)	0.110	0.111	0.118	0.114	0.114	0.112
NO_x (g)	0.143	0.143	0.150	0.147	0.147	0.145
PM_{10} (g)	0.0140	0.0140	0.0149	0.0144	0.0144	0.0142
SO_x (g)	0.0662	0.0663	0.0669	0.0666	0.0665	0.0664
CH_4 (g)	0.380	0.381	0.382	0.381	0.381	0.381
N_2O (g)	0.00591	0.00629	0.00720	0.00683	0.00669	0.00670
CO_2 (g)	56.514	56.679	57.715	57.017	56.986	56.764

ตารางที่ 6-65 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 99.5% (+)
(เกียร์ 5, 100 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
VOC (g)	0.0373	0.0373	0.0380	0.0378	0.0379	0.0376
CO (g)	0.114	0.113	0.121	0.116	0.116	0.113
NO_x (g)	0.171	0.175	0.155	0.176	0.183	0.187
PM_{10} (g)	0.0158	0.0159	0.0155	0.0161	0.0165	0.0164
SO_x (g)	0.1217	0.1306	0.0688	0.1269	0.147	0.159
CH_4 (g)	0.402	0.403	0.393	0.403	0.407	0.409
N_2O (g)	0.00405	0.00412	0.00493	0.00443	0.00426	0.00417
CO_2 (g)	80.684	79.324	81.815	80.199	79.783	79.047

ตารางที่ 6-66 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 99.5% (-)
(เกียร์ 5, 100 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
VOC (g)	0.0381	0.0382	0.0391	0.0387	0.0388	0.0386
CO (g)	0.119	0.119	0.128	0.122	0.121	0.119
NO_x (g)	0.179	0.182	0.164	0.184	0.192	0.195
PM_{10} (g)	0.0166	0.0167	0.0166	0.0171	0.0174	0.0174
SO_x (g)	0.1224	0.1314	0.0697	0.1277	0.148	0.160
CH_4 (g)	0.403	0.405	0.395	0.405	0.409	0.411
N_2O (g)	0.00632	0.00658	0.00786	0.00714	0.00688	0.00680
CO_2 (g)	81.133	79.866	82.392	80.667	80.231	79.625

ตารางที่ 6-67 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 95% (+)
(เกียร์ 4, 80 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
VOC (g)	0.0333	0.0334	0.0345	0.0339	0.0339	0.0335
CO (g)	0.100	0.100	0.107	0.103	0.103	0.101
NO_x (g)	0.129	0.130	0.134	0.132	0.132	0.130
PM_{10} (g)	0.0125	0.0126	0.0132	0.0129	0.0129	0.0127
SO_x (g)	0.0626	0.0626	0.0630	0.0628	0.0628	0.0627
CH_4 (g)	0.362	0.362	0.364	0.363	0.363	0.362
N_2O (g)	0.00341	0.00358	0.00398	0.00385	0.00380	0.00380
CO_2 (g)	53.621	53.686	54.642	54.083	54.072	53.731

ตารางที่ 6-68 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 95% (-)
(เกียร์ 4, 80 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
VOC (g)	0.0342	0.0343	0.0356	0.0348	0.0348	0.0345
CO (g)	0.105	0.106	0.113	0.109	0.109	0.107
NO_x (g)	0.137	0.137	0.144	0.140	0.140	0.139
PM_{10} (g)	0.0133	0.0134	0.0142	0.0138	0.0138	0.0136
SO_x (g)	0.0633	0.0634	0.0640	0.0637	0.0636	0.0636
CH_4 (g)	0.364	0.364	0.366	0.365	0.365	0.365
N_2O (g)	0.00566	0.00602	0.00688	0.00654	0.00640	0.00641
CO_2 (g)	54.065	54.223	55.214	54.546	54.516	54.304

ตารางที่ 6-69 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 99.5% (+)
(เกียร์ 4, 80 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
VOC (g)	0.0357	0.0357	0.0364	0.0362	0.0363	0.0360
CO (g)	0.1087	0.108	0.116	0.111	0.111	0.108
NO_x (g)	0.164	0.167	0.148	0.168	0.176	0.179
PM_{10} (g)	0.0151	0.0152	0.0148	0.0154	0.0158	0.0157
SO_x (g)	0.1164	0.1249	0.0658	0.1214	0.140	0.153
CH_4 (g)	0.384	0.386	0.376	0.386	0.389	0.391
N_2O (g)	0.00387	0.00394	0.00472	0.00424	0.00407	0.00399
CO_2 (g)	77.185	75.883	78.266	76.721	76.322	75.618

ตารางที่ 6-70 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 99.5% (-)

(เกียร์ 4, 80 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
VOC (g)	0.0364	0.0366	0.0374	0.0370	0.0372	0.0369
CO (g)	0.113	0.113	0.122	0.117	0.116	0.114
NO_x(g)	0.171	0.174	0.157	0.176	0.183	0.186
PM_{10} (g)	0.0159	0.0160	0.0158	0.0163	0.0167	0.0166
SO_x (g)	0.1171	0.1257	0.0667	0.1222	0.141	0.153
CH_4 (g)	0.386	0.388	0.378	0.388	0.391	0.393
N_2O (g)	0.00604	0.00629	0.00752	0.00683	0.00658	0.00650
CO_2 (g)	77.613	76.402	78.818	77.168	76.751	76.171

ตารางที่ 6-71 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 95% (+)

(เกียร์ 4, 90 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
VOC (g)	0.0386	0.0387	0.0400	0.0393	0.0393	0.0388
CO (g)	0.116	0.116	0.123	0.120	0.120	0.117
NO_x (g)	0.150	0.150	0.156	0.153	0.153	0.151
PM_{10} (g)	0.0145	0.0146	0.0153	0.0149	0.0149	0.0147
SO_x (g)	0.0725	0.0726	0.0731	0.0728	0.0728	0.0727
CH_4 (g)	0.420	0.420	0.421	0.421	0.421	0.420
N_2O (g)	0.00395	0.00415	0.00461	0.00446	0.00441	0.00440
CO_2 (g)	62.146	62.221	63.329	62.681	62.669	62.274

ตารางที่ 6-72 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 95% (-)

(เกียร์ 4, 90 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
VOC (g)	0.0396	0.0397	0.0412	0.0403	0.0403	0.0399
CO (g)	0.122	0.123	0.131	0.126	0.126	0.124
NO_x (g)	0.158	0.159	0.166	0.163	0.163	0.161
PM_{10} (g)	0.0155	0.0155	0.0165	0.0160	0.0160	0.0157
SO_x (g)	0.0734	0.0735	0.0741	0.0738	0.0738	0.0737
CH_4 (g)	0.422	0.422	0.424	0.423	0.423	0.422
N_2O (g)	0.00656	0.00697	0.00798	0.00757	0.00742	0.00742
CO_2 (g)	62.661	62.844	63.992	63.218	63.184	62.938

ตารางที่ 6-73 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 99.5% (+)
(เกียร์ 4, 90 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
VOC (g)	0.0413	0.0414	0.0422	0.0419	0.0421	0.0417
CO (g)	0.126	0.125	0.134	0.129	0.128	0.125
NO_x (g)	0.190	0.194	0.172	0.195	0.203	0.207
PM_{10} (g)	0.0175	0.0176	0.0172	0.0179	0.0183	0.0182
SO_x (g)	0.1349	0.1448	0.0762	0.1407	0.163	0.177
CH_4 (g)	0.445	0.447	0.436	0.447	0.451	0.454
N_2O (g)	0.00449	0.00457	0.00547	0.00491	0.00472	0.00462
CO_2 (g)	89.454	87.946	90.708	88.917	88.455	87.639

ตารางที่ 6-74 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 99.5% (-)
(เกียร์ 4, 90 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
VOC (g)	0.0422	0.0424	0.0433	0.0429	0.0431	0.0428
CO (g)	0.132	0.132	0.141	0.135	0.134	0.132
NO_x (g)	0.198	0.202	0.182	0.204	0.213	0.216
PM_{10} (g)	0.0184	0.0185	0.0184	0.0189	0.0193	0.0193
SO_x (g)	0.1357	0.146	0.0773	0.1416	0.164	0.178
CH_4 (g)	0.447	0.449	0.438	0.449	0.453	0.456
N_2O (g)	0.00701	0.00729	0.00872	0.00792	0.00763	0.00754
CO_2 (g)	89.951	88.547	91.348	89.435	88.952	88.280

CO_2 equivalent GHG emissions

ตารางที่ 6-75 ถึง ตารางที่ 6-82 แสดง CO_2 equivalent GHG emissions ซึ่งก็คือปริมาณเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาตลอดวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิง (Feedstock-to-Wheel) ในหน่วย g/km โดยคำนวณจากปริมาณ CH_4, N_2O และ CO_2 พิจารณาเปรียบเทียบที่ 4 จุดทำงาน

ตารางที่ 6-75 แสดง CO_2 equivalent GHG emissions จากการใช้ดีโซฮอล 95%

หน่วย: g CO_2 equivalent/km (เกียร์ 5, 80 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
+	51.327	51.428	52.341	51.834	51.813	51.524
-	52.298	52.527	53.593	52.937	52.876	52.698

ตารางที่ 6-76 แสดง CO_2 equivalent GHG emissions จากการใช้ดีโซฮอล 99.5%

หน่วย: g CO_2 equivalent/km (เกียร์ 5, 80 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
+	71.251	70.226	72.213	70.990	70.681	70.113
-	72.188	71.286	73.422	72.054	71.708	71.246

ตารางที่ 6-77 แสดง CO_2 equivalent GHG emissions จากการใช้ดีโซฮอล 95%

หน่วย: g CO_2 equivalent/km (เกียร์ 5, 100 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
+	65.102	65.231	66.389	65.746	65.719	65.353
-	66.335	66.624	67.977	67.144	67.068	66.842

ตารางที่ 6-78 แสดง CO_2 equivalent GHG emissions จากการใช้ดีโซฮอล 99.5%

หน่วย: g CO_2 equivalent/km (เกียร์ 5, 100 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
+	90.373	89.074	91.594	90.042	89.651	88.930
-	91.563	90.418	93.127	91.392	90.954	90.367

ตารางที่ 6-79 แสดง CO_2 equivalent GHG emissions จากการใช้ดีโซฮอล 95%

หน่วย: g CO_2 equivalent/km (เกียร์ 4, 80 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
+	62.281	62.405	63.512	62.897	62.871	62.521
-	63.460	63.737	65.031	64.235	64.162	63.945

ตารางที่ 6-80 แสดง CO_2 equivalent GHG emissions จากการใช้ดีโซฮอล 99.5%

หน่วย: g CO_2 equivalent/km (เกียร์ 4, 80 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
+	86.453	85.210	87.621	86.136	85.762	85.073
-	87.591	86.496	89.087	87.428	87.008	86.447

ตารางที่ 6-81 แสดง CO_2 equivalent GHG emissions จากการใช้ดีโซฮอล 95%

หน่วย: g CO_2 equivalent/km (เกียร์ 4, 90 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
+	72.184	72.326	73.610	72.897	72.867	72.461
-	73.550	73.871	75.370	74.447	74.363	74.112

ตารางที่ 6-82 แสดง CO_2 equivalent GHG emissions จากการใช้ดีโซฮอล 99.5%

หน่วย: g CO_2 equivalent/km (เกียร์ 4, 90 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
+	100.197	98.756	101.550	99.829	99.396	98.596
-	101.515	100.246	103.249	101.326	100.840	100.190

TTW efficiency

แสดงประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานจากเชื้อเพลิงไปเป็นพลังงานที่ล้อของรถยนต์ที่ 4 จุดทำงานดังตารางที่ 6-83

ตารางที่ 6-83 แสดง TTW efficiency ของดีเซล ดีโซฮอล 99.5% และ ดีโซฮอล 95% ที่ 4 จุดทำงาน

จุดทำงาน	ดีเซล	ดีโซฮอล 99.5%	ดีโซฮอล 95%
เกียร์ 5 ความเร็ว 80 km/h	28.236	26.876	26.877
เกียร์ 5 ความเร็ว 100 km/h	30.071	27.280	27.281
เกียร์ 4 ความเร็ว 80 km/h	24.984	22.150	22.150
เกียร์ 4 ความเร็ว 90 km/h	24.401	21.706	21.705

บทที่ 7

วิเคราะห์ผล สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้บรรลุวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1.ได้ค่า Feedstock-to-Tank total energy ของดีโซฮอล 95% และดีโซฮอล 99.5%

2.ได้ค่า Feedstock-to-Tank energy efficiency ของดีโซฮอล 95% และดีโซฮอล 99.5%

3.ได้ค่า Feedstock-to-Wheel total energy use ในรูป kJ/km ของดีโซฮอล 95% และดีโซฮอล 99.5%

4.ได้ค่า Feedstock-to-Tank emissions ในรูป g/L ของเชื้อเพลิงและ g/km ของดีโซฮอล 95% และดีโซฮอล 99.5%

5.ได้ค่า Global Warming Potential ในรูป CO_2-equivalent GHG emissions (g/km) ของดีโซฮอล 95% และดีโซฮอล 99.5%

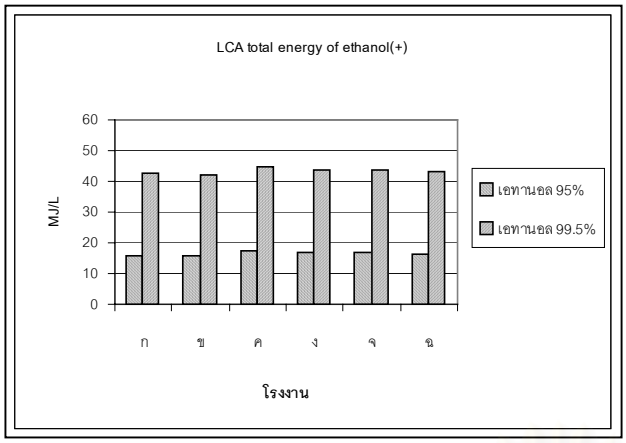
6.ได้ค่า Tank-to-Wheel efficiency ของดีโซฮอล 95% และดีโซฮอล 99.5%

7.ได้นำข้อมูลดังกล่าวเป็นเกณฑ์เบื้องต้นประกอบการตัดสินใจว่าเชื้อเพลิงชนิดใดที่มีประสิทธิภาพเชิงพลังงานโดยมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมดีกว่า

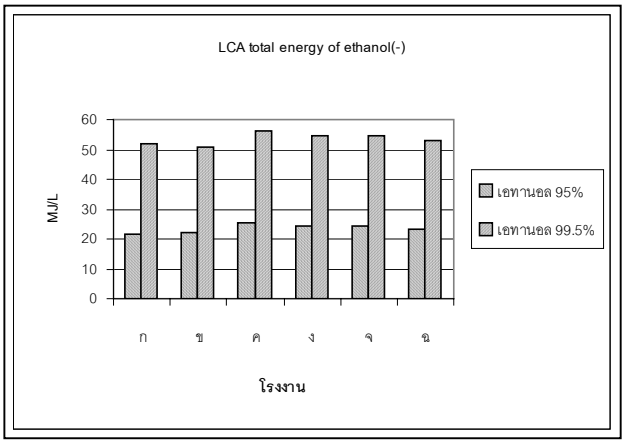
7.1 วิเคราะห์ผล

เอทานอล 95% ผลิตได้จากการกลั่นของเหลวผสมจากการหมักที่เรียกว่า “beer” ซึ่งมีแอลกอฮอล์อยู่ประมาณ 10% โดยปริมาตร จนกระทั่งได้ความบริสุทธิ์ที่ต้องการคือมีแอลกอฮอล์อยู่ประมาณ 95% โดยปริมาตร ในขณะที่การผลิตเอทานอล 99.5% นั้นต้องเพิ่มขั้นตอนการกำจัดน้ำออกจากเอทานอล 95% ขึ้นมาอีกหนึ่งขั้นตอน ซึ่งวิธีการในการกำจัดน้ำออกจากเอทานอล 95% มีหลายวิธี เช่น วิธีการ azeotropic ซึ่งใช้การเติมเบนซีนลงไปในเอทานอล 95% ก่อนที่จะนำมากลั่นซ้ำ วิธีการกำจัดน้ำด้วยเทคโนโลยี molecular sieve และวิธีการกำจัดน้ำโดยใช้เทคโนโลยี membrane เป็นต้น การใช้เทคโนโลยีในการกำจัดน้ำที่แตกต่างกันจะทำให้ผลของการวิเคราะห์พลังงานและ emissions ของการผลิตเอทานอล 99.5% แตกต่างกัน อนึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ที่นำเสนอในบทนี้ได้จากการพิจารณาเฉพาะกับเทคโนโลยีขณะที่ได้ทำการสำรวจข้อมูลเท่านั้น

การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลตลอดวัฏจักรชีวิตระหว่าง การผลิตเอทานอล 95% 1 ลิตรกับการผลิตเอทานอล 99.5% 1 ลิตร ในกรณี (+) และ (-) แสดงในรูปที่ 7-1 ก และ 7-1 ข ตามลำดับ



รูปที่ 7-1 ก



รูปที่ 7-1 ข

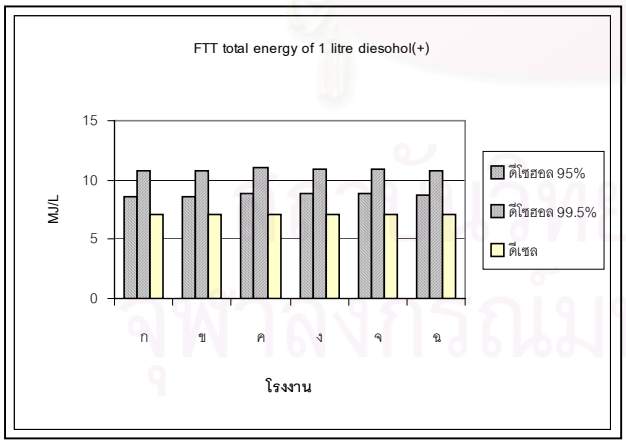
รูปที่ 7-1 ก เปรียบเทียบ LCA total energy of ethanol ในกรณี (+)

รูปที่ 7-1 ข เปรียบเทียบ LCA total energy of ethanol ในกรณี (-)

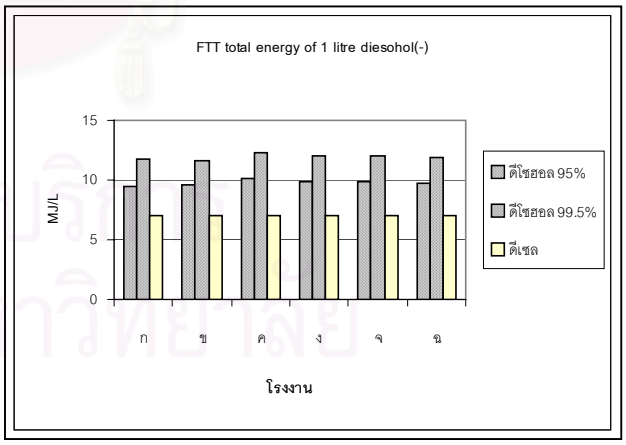
จากรูปที่ 7-1 ก และ 7-1 ข พบว่าค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 99.5% 1 ลิตรมีค่ามากกว่า 1 เท่าตัวของค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 95% 1 ลิตร

โดยที่ค่าพลังงานที่ใช้ผลิตเอทานอลชนิดเดียวกันจะแตกต่างกันในแต่ละโรงงานเนื่องมาจากความแตกต่างของปริมาณกากน้ำตาลที่ได้ต่อตันอ้อยที่เข้าสู่โรงงานน้ำตาล ความแตกต่างของ %allocation ความแตกต่างของระยะทางที่ใช้ในการขนส่งอ้อยและขนส่งเอทานอลและมาจากความแตกต่างของสัดส่วนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการกำจัดน้ำออกจากเอทานอล 95%

ผลการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ผลิตดีโซฮอลตลอดวัฏจักรชีวิตระหว่างการผลิตดีโซฮอล 95% 1 ลิตรและการผลิตดีโซฮอล 99.5% 1 ลิตรกับการผลิตดีเซล 1 ลิตร ในกรณี (+) และ (-) แสดงในรูปที่ 7-2 ก และ 7-2 ข ตามลำดับ



รูปที่ 7-2 ก



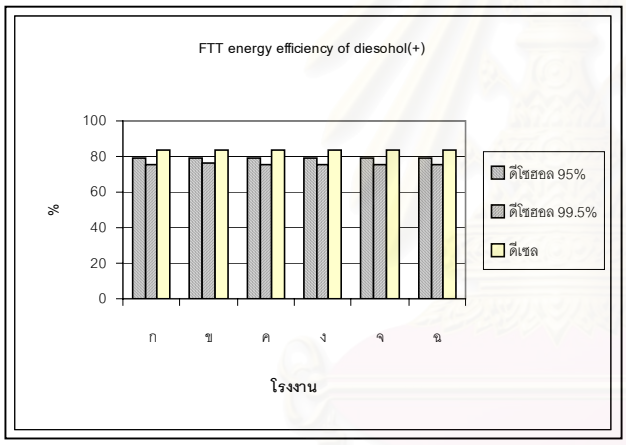
รูปที่ 7-2 ข

รูปที่ 7-2 ก เปรียบเทียบ FTT total energy of diesohol ในกรณี (+)

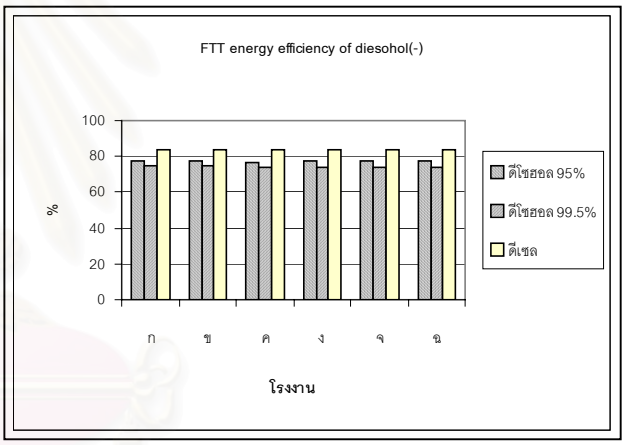
รูปที่ 7-2 ข เปรียบเทียบ FTT total energy of diesohol ในกรณี (-)

จากรูปที่ 7-2 ก และ 7-2 ข พบว่าจากวิธีการกำจัดน้ำซึ่งใช้ในโรงแอลกอฮอล์ ณ โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา ค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตดีโซฮอล 99.5% 1 ลิตรมีค่ามากกว่าค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตดีโซฮอล 95% 1 ลิตรและพลังงานในการผลิตดีโซฮอล 95% 1 ลิตรมีค่ามากกว่าค่าพลังงานในการผลิตเชื้อเพลิงดีเซล 1 ลิตร ตามลำดับ โดยที่ความแตกต่างของพลังงานในการผลิตระหว่างดีโซฮอล 2 ชนิดนี้มีค่าต่ำกว่าความแตกต่างของพลังงานในการผลิตระหว่างเอทานอล 2 ชนิดเนื่องจากค่าพลังงานในการผลิตเชื้อเพลิงดีเซลมีค่าต่ำกว่าค่าพลังงานในการผลิตเอทานอลทั้ง 2 ชนิดและสัดส่วนของดีเซลในดีโซฮอลทั้ง 2 ชนิดมีค่ามากกว่า 80% โดยปริมาตร ประกอบกับสัดส่วนของเอทานอล 95% ในดีโซฮอล 95% มีค่ามากกว่าสัดส่วนของเอทานอล 99.5% ในดีโซฮอล 99.5% จึงได้ผลออกมาดังแสดงในรูปข้างต้น

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงพลังงาน (Feedstock-to-Tank) ระหว่างดีโซฮอล 2 ชนิดกับเชื้อเพลิงดีเซลในกรณี (+) และ (-) แสดงในรูปที่ 7-3 ก และ 7-3 ข ตามลำดับ



รูปที่ 7-3 ก



รูปที่ 7-3 ข

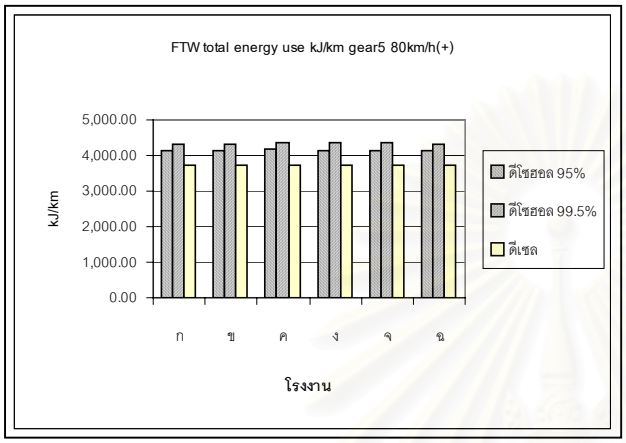
รูปที่ 7-3 ก เปรียบเทียบ FTT energy efficiency of diesohol ในกรณี (+)

รูปที่ 7-3 ข เปรียบเทียบ FTT energy efficiency of diesohol ในกรณี (-)

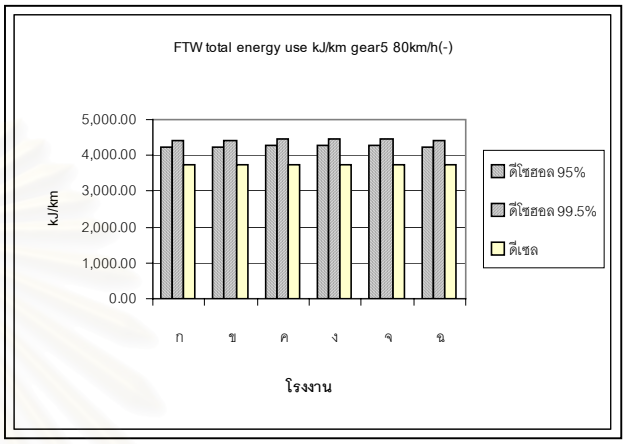
จากรูปที่ 7-3 ก และ 7-3 ข พบว่าประสิทธิภาพเชิงพลังงาน (Feedstock-to-Tank) ของดีโซฮอล 95% มีค่ามากกว่าประสิทธิภาพเชิงพลังงานของดีโซฮอล 99.5% ซึ่งใช้แอลกอฮอล์ 99.5% ที่ผลิตด้วยเทคโนโลยีเดียวกับโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา แสดงให้เห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงดีโซฮอลทั้ง 2 ชนิด 1 หน่วยพลังงานเท่ากันแล้ว ดีโซฮอล 95% จะสิ้นเปลืองพลังงานในการผลิตน้อยกว่าพลังงานในการผลิตดีโซฮอล 99.5% แต่ยังใช้พลังงานสูงกว่าการผลิตดีเซล

ผลการเปรียบเทียบพลังงานในหน่วย kJ/km โดยพิจารณาพลังงานตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงและการใช้เชื้อเพลิงในรถยนต์ ระหว่างการใช้ดีโซฮอล 95% กับดีโซฮอล 99.5% โดยเปรียบเทียบ

การใช้งานของเชื้อเพลิงดีโซฮอลทั้ง 2 ชนิดเปรียบเทียบกับดีเซลที่จุดทำงาน 4 จุด คือที่เกียร์ 5 ความเร็วคงที่ 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ที่เกียร์ 5 ความเร็วคงที่ 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ที่เกียร์ 4 ความเร็วคงที่ 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง และที่เกียร์ 4 ความเร็วคงที่ 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+) และ (-) แสดงไว้ในรูปที่ 7-4 ก และ 7-4 ข, รูปที่ 7-5 ก และ 7-5 ข, รูปที่ 7-6 ก และ 7-6 ข และ รูปที่ 7-7 ก และ 7-7 ข ตามลำดับ



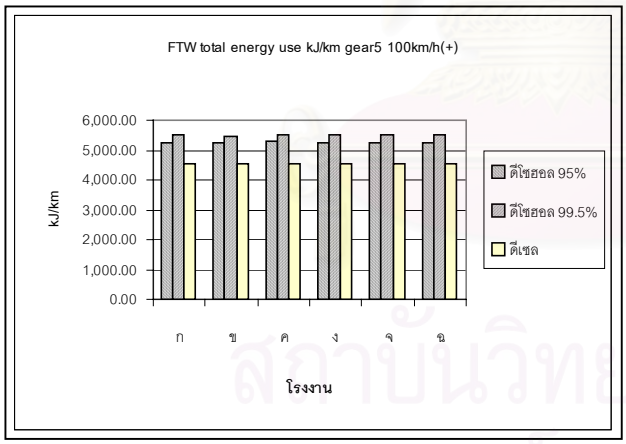
รูปที่ 7-4 ก



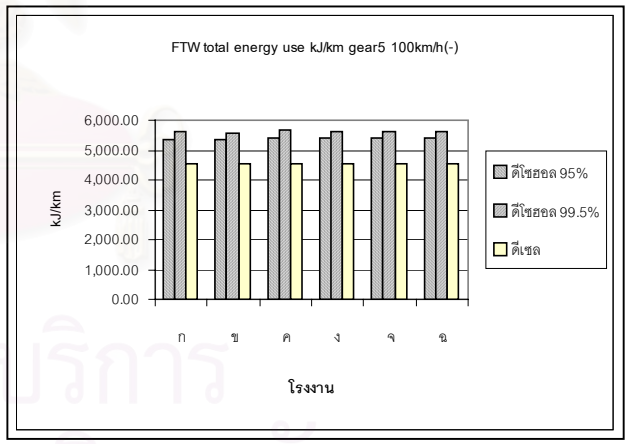
รูปที่ 7-4 ข

รูปที่ 7-4 ก เปรียบเทียบ FTW total energy use kJ/km เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-4 ข เปรียบเทียบ FTW total energy use kJ/km เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)



รูปที่ 7-5 ก

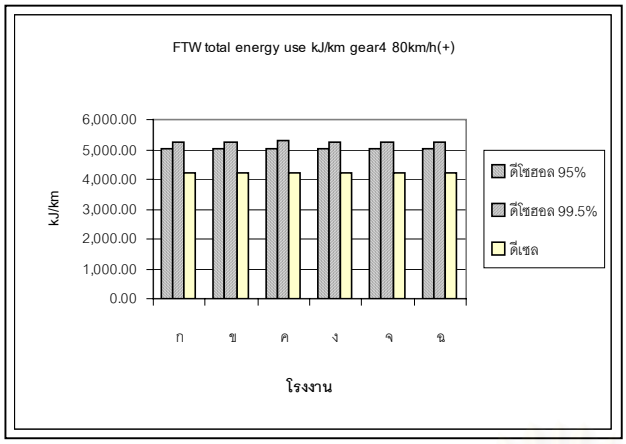


รูปที่ 7-5 ข

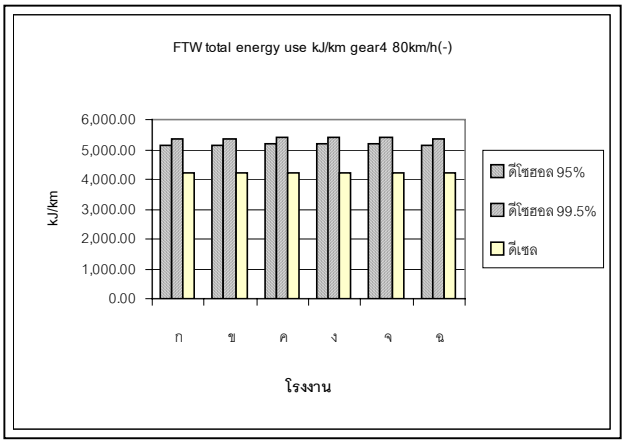
รูปที่ 7-5 ก เปรียบเทียบ FTW total energy use kJ/km เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-5 ข เปรียบเทียบ FTW total energy use kJ/km เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



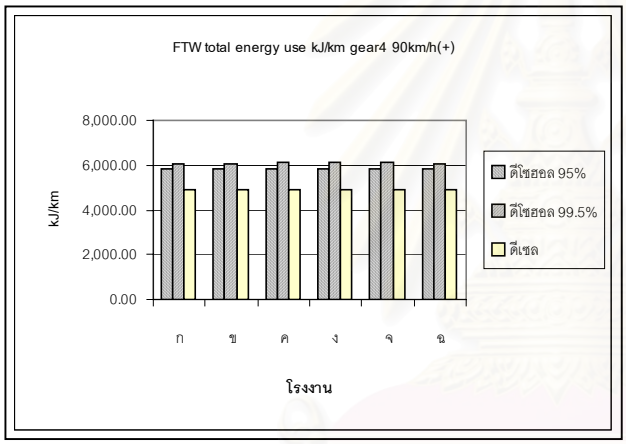
รูปที่ 7-6 ก



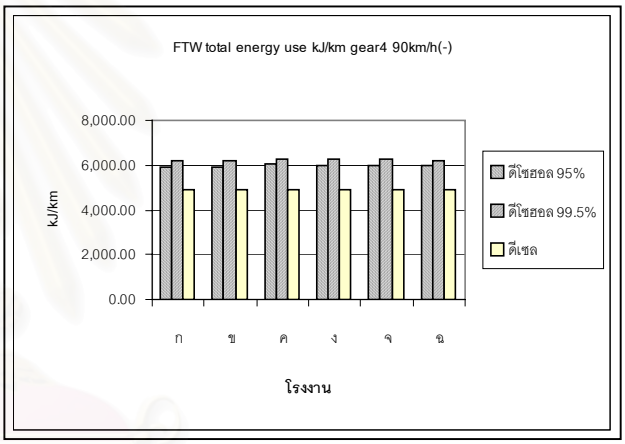
รูปที่ 7-6 ข

รูปที่ 7-6 ก เปรียบเทียบ FTW total energy use kJ/km เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-6 ข เปรียบเทียบ FTW total energy use kJ/km เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)



รูปที่ 7-7 ก



รูปที่ 7-7 ข

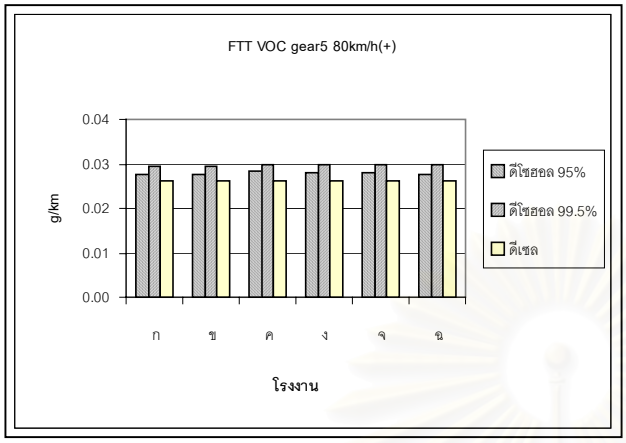
รูปที่ 7-7 ก เปรียบเทียบ FTW total energy use kJ/km เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-7 ข เปรียบเทียบ FTW total energy use kJ/km เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)

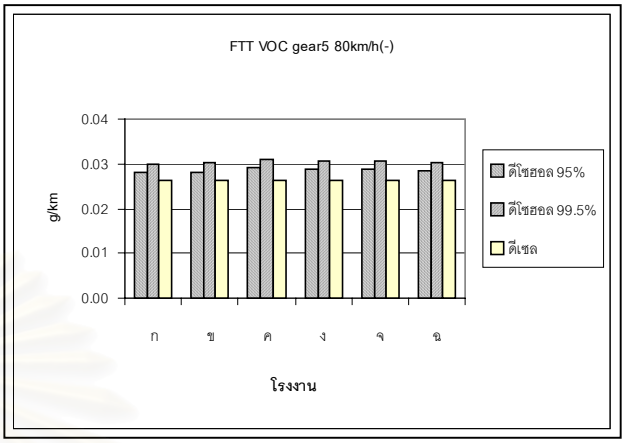
จากการพิจารณาเปรียบเทียบพลังงานในหน่วย kJ/km ตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงเมื่อนำเชื้อเพลิงมาใช้ในรถยนต์ระหว่างการใช้ดีโซฮอล 95% กับดีโซฮอล 99.5% และดีเซล ดังรูปที่ 7-4 ก และ 7-4 ข, รูปที่ 7-5 ก และ 7-5 ข, รูปที่ 7-6 ก และ 7-6 ข และ รูปที่ 7-7 ก และ 7-7 ข ตามลำดับ พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือ ค่าพลังงานที่ใช้ต่อระยะทางที่รถยนต์วิ่ง 1 กิโลเมตรของดีโซฮอล 95% มีค่าต่ำกว่าค่าของดีโซฮอล 99.5% ทั้ง 4 จุดทำงาน ในทุกโรงงาน ทั้งกรณี (+) และ (-) แต่สูงกว่าค่าพลังงานที่ใช้ต่อระยะทางของเชื้อเพลิงดีเซล

ผลการเปรียบเทียบ VOC emissions ในหน่วย กรัม/กิโลเมตร เมื่อพิจารณาตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงและนำเชื้อเพลิงมาใช้ในรถยนต์ระหว่างดีโซฮอล 95% กับดีโซฮอล 99.5% กับเชื้อเพลิง

ดีเซลทั้งกรณี (+) และ (-) ที่ 4 จุดทำงานดังได้กล่าวไว้แล้ว แสดงไว้ในรูปที่ 7-8 ก และ 7-8 ข, รูปที่ 7-9 ก และ 7-9 ข, รูปที่ 7-10 ก และ 7-10 ข และ รูปที่ 7-11 ก และ 7-11 ข ตามลำดับ



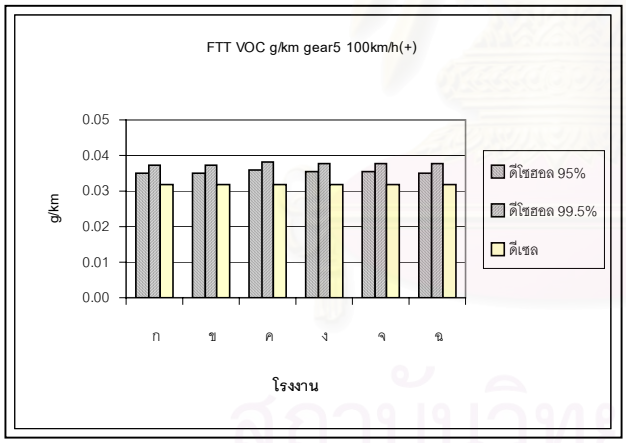
รูปที่ 7-8 ก



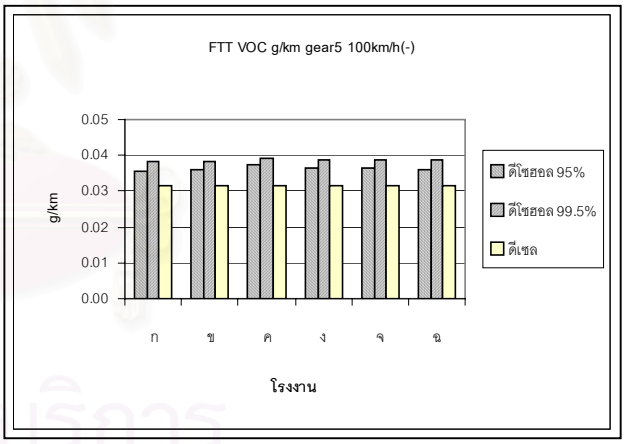
รูปที่ 7-8 ข

รูปที่ 7-8 ก เปรียบเทียบ FTT VOC emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-8 ข เปรียบเทียบ FTT VOC emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)



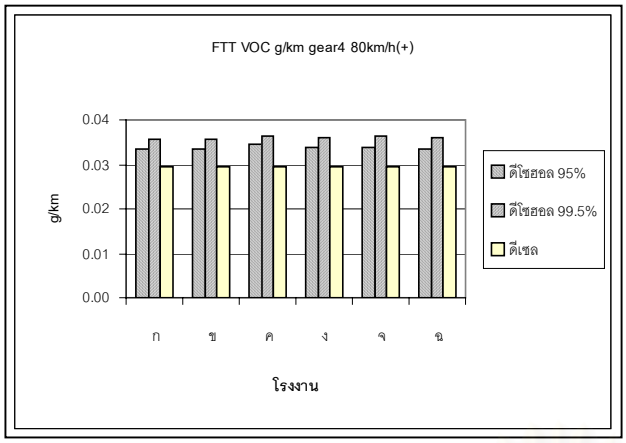
รูปที่ 7-9 ก



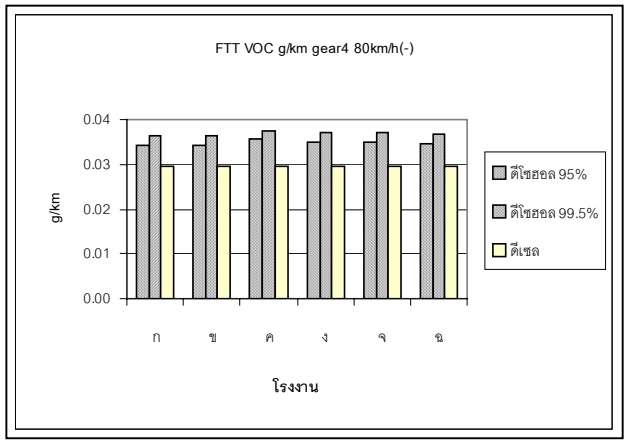
รูปที่ 7-9 ข

รูปที่ 7-9 ก เปรียบเทียบ FTT VOC emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-9 ข เปรียบเทียบ FTT VOC emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)



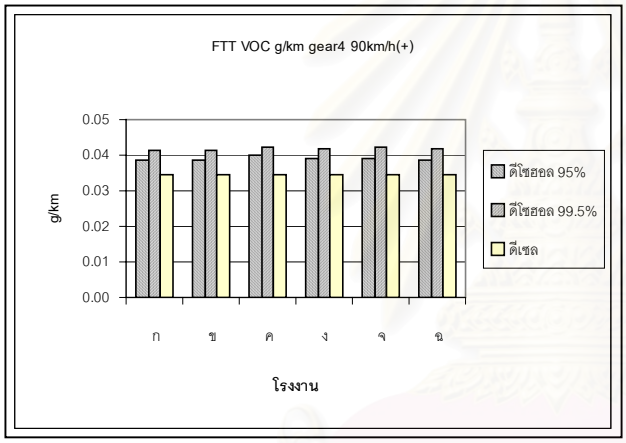
รูปที่ 7-10 ก



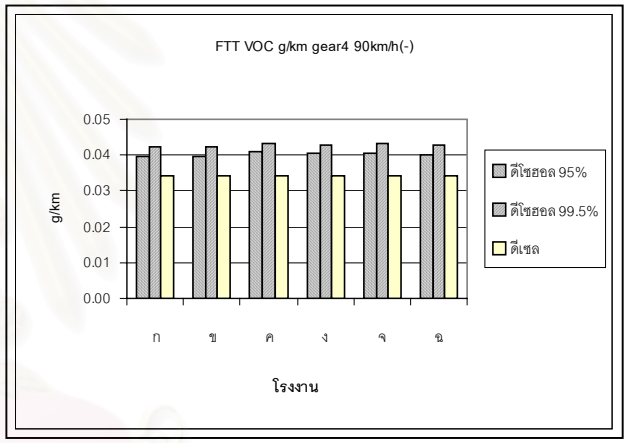
รูปที่ 7-10 ข

รูปที่ 7-10 ก เปรียบเทียบ FTT VOC emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-10 ข เปรียบเทียบ FTT VOC emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)



รูปที่ 7-11 ก



รูปที่ 7-11 ข

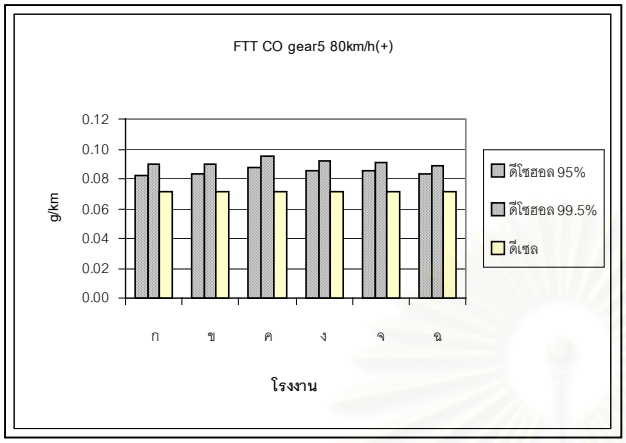
รูปที่ 7-11 ก เปรียบเทียบ FTT VOC emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-11 ข เปรียบเทียบ FTT VOC emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)

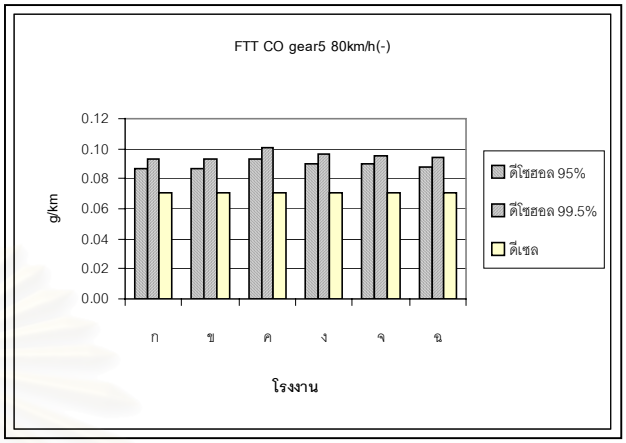
จากการพิจารณาเปรียบเทียบ VOC emissions ในหน่วย กรัม/กิโลเมตร ตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงเมื่อนำเชื้อเพลิงมาใช้ในรถยนต์ระหว่างดีโซฮอล 95% กับดีโซฮอล 99.5% และดีเซล ดังรูปที่ 7-8 ก และ 7-8 ข, รูปที่ 7-9 ก และ 7-9 ข, รูปที่ 7-10 ก และ 7-10 ข และ รูปที่ 7-11 ก และ 7-11 ข ตามลำดับ พบว่าทุกโรงงานมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 4 จุดทำงานคือ ค่า VOC emissions ในหน่วย กรัม/กิโลเมตร จากการผลิตดีโซฮอล 95% มีค่าต่ำกว่าค่าของดีโซฮอล 99.5% เล็กน้อยทั้งกรณี (+) และ (-) แต่สูงกว่าค่าจากการใช้ดีเซล

ผลการเปรียบเทียบ CO emissions ในหน่วย กรัม/กิโลเมตร เมื่อพิจารณาตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงและนำเชื้อเพลิงมาใช้ในรถยนต์ระหว่างดีโซฮอล 95% กับดีโซฮอล 99.5% กับดีเซล ทั้งกรณี

(+) และ (-) ที่ 4 จุดทำงานดังได้กล่าวไว้แล้ว แสดงไว้ในรูปที่ 7-12 ก และ 7-12 ข, รูปที่ 7-13 ก และ 7-13 ข, รูปที่ 7-14 ก และ 7-14 ข และ รูปที่ 7-15 ก และ 7-15 ข ตามลำดับ



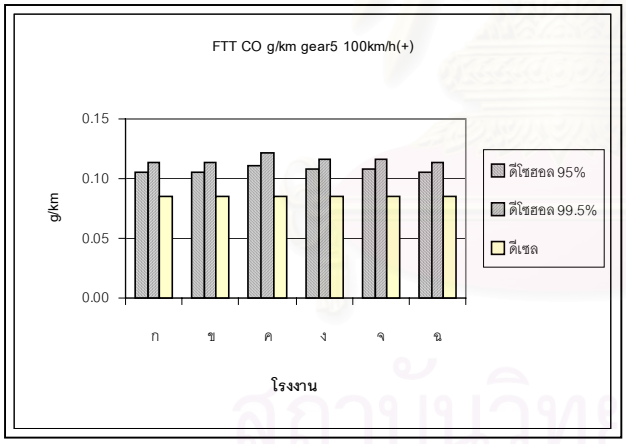
รูปที่ 7-12 ก



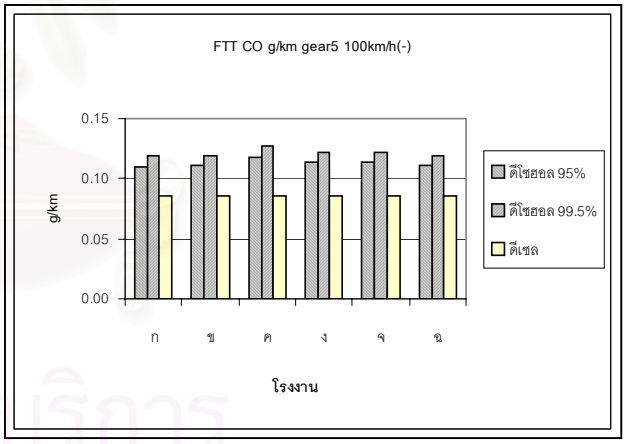
รูปที่ 7-12 ข

รูปที่ 7-12 ก เปรียบเทียบ FTT CO emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-12 ข เปรียบเทียบ FTT CO emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)



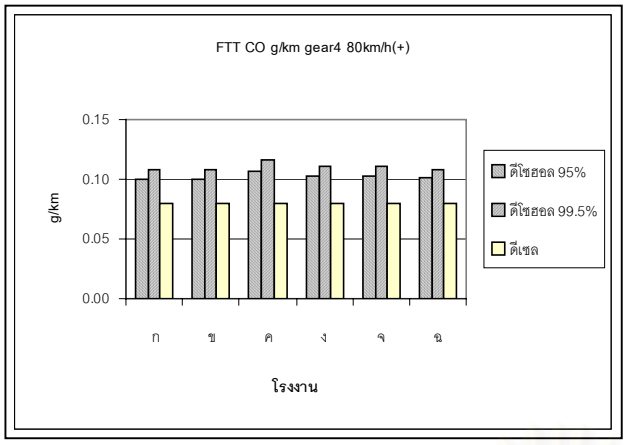
รูปที่ 7-13 ก



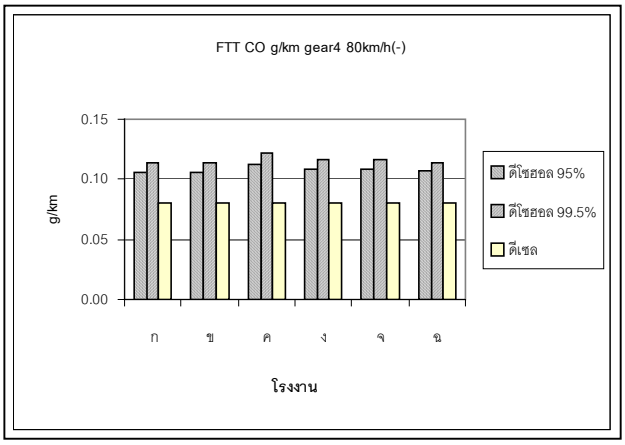
รูปที่ 7-13 ข

รูปที่ 7-13 ก เปรียบเทียบ FTT CO emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-13 ข เปรียบเทียบ FTT CO emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)



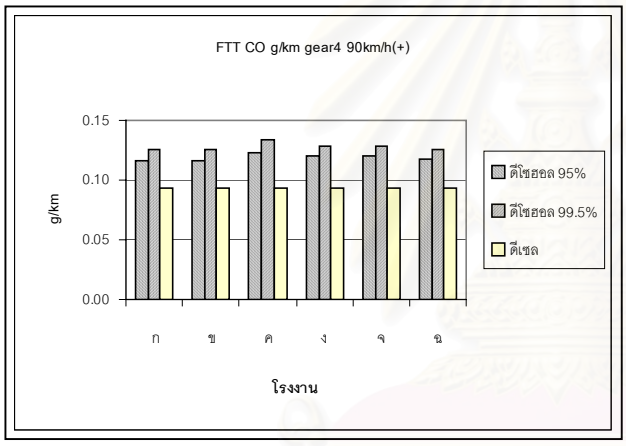
รูปที่ 7-14 ก



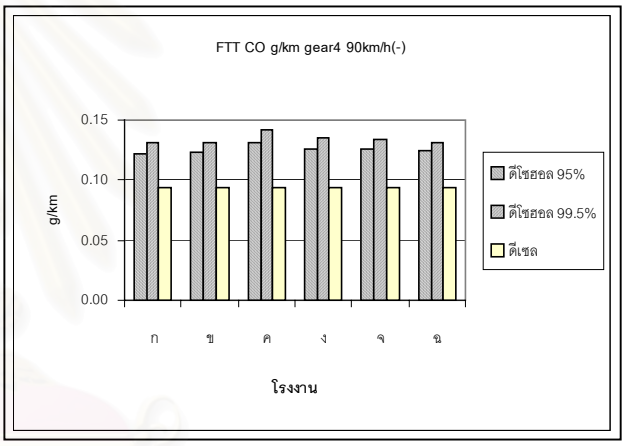
รูปที่ 7-14 ข

รูปที่ 7-14 ก เปรียบเทียบ FTT CO emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-14 ข เปรียบเทียบ FTT CO emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)



รูปที่ 7-15 ก



รูปที่ 7-15 ข

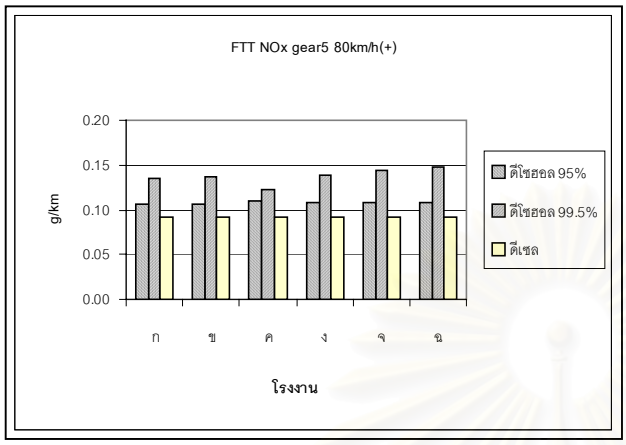
รูปที่ 7-15 ก เปรียบเทียบ FTT CO emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-15 ข เปรียบเทียบ FTT CO emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)

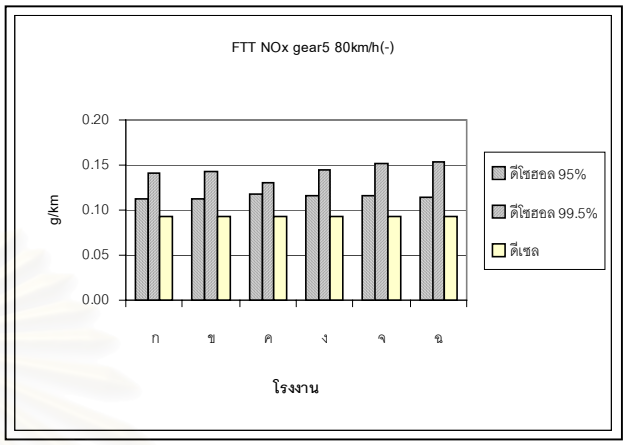
จากการพิจารณาเปรียบเทียบ CO emissions ในหน่วย กรัม/กิโลเมตร ตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงเมื่อนำเชื้อเพลิงมาใช้ในรถยนต์ระหว่างดีโซฮอล 95% กับดีโซฮอล 99.5% และดีเซล ดังรูปที่ 7-12 ก และ 7-12 ข, รูปที่ 7-13 ก และ 7-13 ข, รูปที่ 7-14 ก และ 7-14 ข และ รูปที่ 7-15 ก และ 7-15 ข ตามลำดับพบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือค่า CO emissions ในหน่วย กรัม/กิโลเมตร จากการผลิตดีโซฮอล 95% มีค่าต่ำกว่าค่าของดีโซฮอล 99.5% เล็กน้อยแต่สูงกว่าดีเซลในทุกกรณี

ผลการเปรียบเทียบ NO_x emissions ในหน่วย กรัม/กิโลเมตร เมื่อพิจารณาตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงและนำเชื้อเพลิงมาใช้ในรถยนต์ระหว่างดีโซฮอล 95% กับดีโซฮอล 99.5% และดีเซลทั้งกรณี

(+) และ (-) ที่ 4 จุดทำงานดังได้กล่าวไว้แล้ว แสดงผลไว้ในรูปที่ 7-16 ก และ 7-16 ข, รูปที่ 7-17 ก และ 7-17 ข, รูปที่ 7-18 ก และ 7-18 ข และ รูปที่ 7-19 ก และ 7-19 ข ตามลำดับ



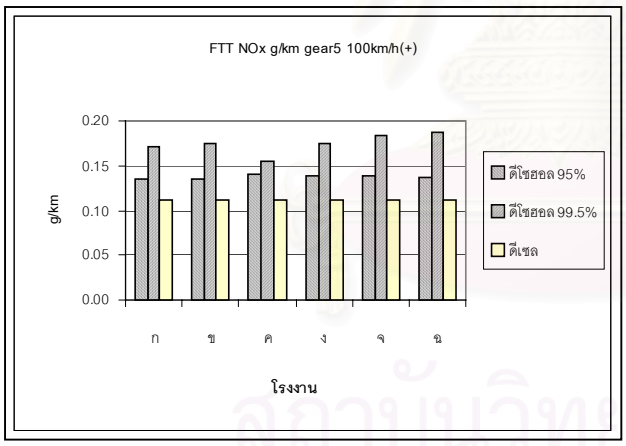
รูปที่ 7-16 ก



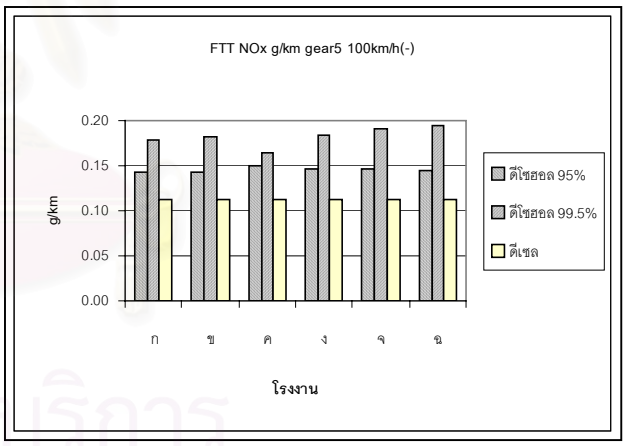
รูปที่ 7-16 ข

รูปที่ 7-16 ก เปรียบเทียบ FTT NO_x emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-16 ข เปรียบเทียบ FTT NO_x emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)



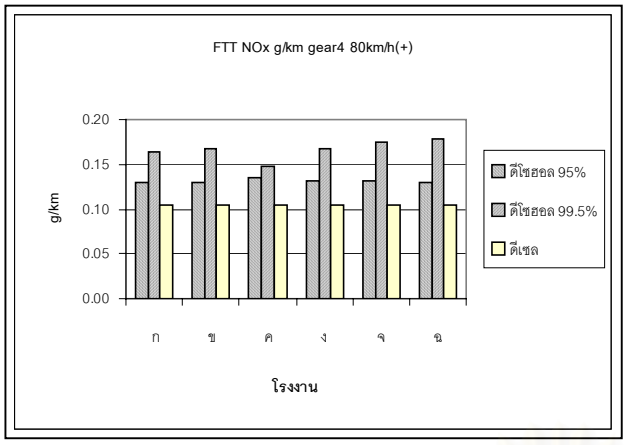
รูปที่ 7-17 ก



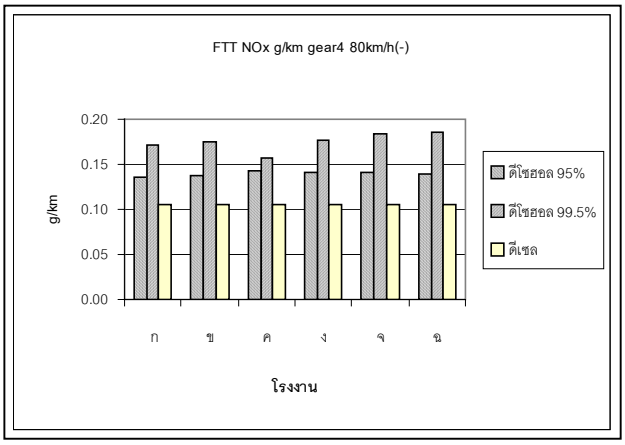
รูปที่ 7-17 ข

รูปที่ 7-17 ก เปรียบเทียบ FTT NO_x emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-17 ข เปรียบเทียบ FTT NO_x emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)



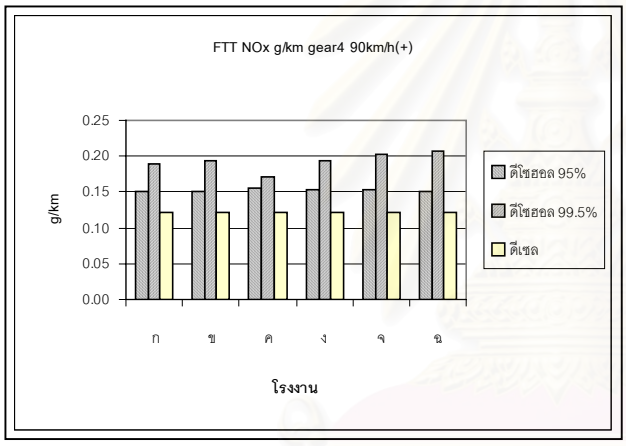
รูปที่ 7-18 ก



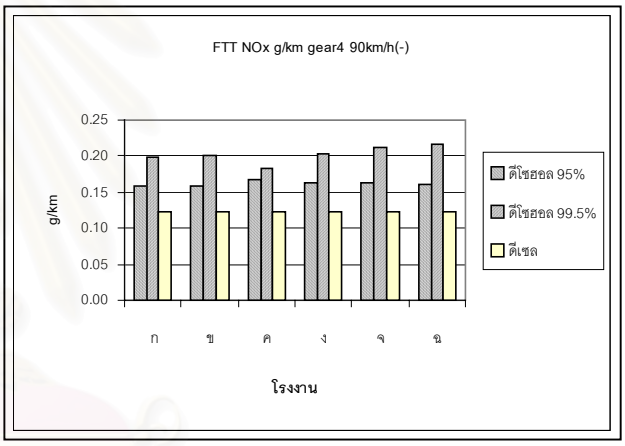
รูปที่ 7-18 ข

รูปที่ 7-18 ก เปรียบเทียบ FTT NO_x emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-18 ข เปรียบเทียบ FTT NO_x emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)



รูปที่ 7-19 ก



รูปที่ 7-19 ข

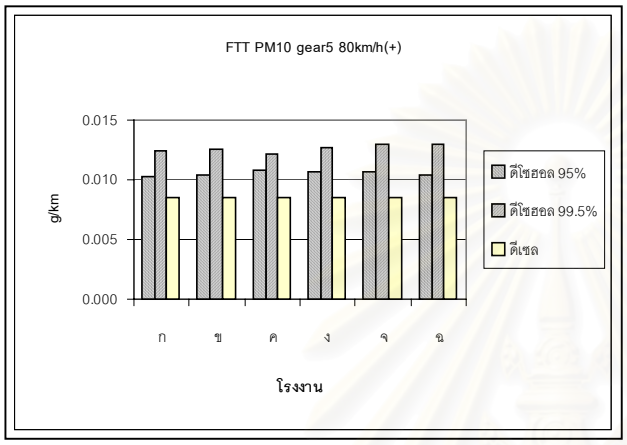
รูปที่ 7-19 ก เปรียบเทียบ FTT NO_x emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-19 ข เปรียบเทียบ FTT NO_x emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)

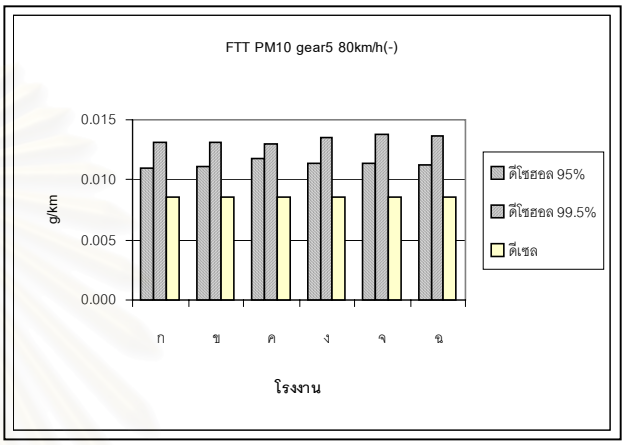
จากการพิจารณาเปรียบเทียบ NO_x emissions ในหน่วย กรัม/กิโลเมตร ตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงเมื่อนำเชื้อเพลิงมาใช้ในรถยนต์ระหว่างดีโซฮอล 95% กับดีโซฮอล 99.5% และดีเซลดังรูปที่ 7-16 ก และ 7-16 ข, รูปที่ 7-17 ก และ 7-17 ข, รูปที่ 7-18 ก และ 7-18 ข และ รูปที่ 7-19 ก และ 7-19 ข ตามลำดับพบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 4 จุดทำงานในทุกโรงงาน คือค่า NO_x emissions ในหน่วยกรัม/กิโลเมตร จากการผลิตดีโซฮอล 95% มีค่าต่ำกว่าค่าของดีโซฮอล 99.5% และความแตกต่างของค่า NO_x emissions ระหว่างดีโซฮอลทั้ง 2 ชนิดมีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละโรงงาน เนื่องจากสัดส่วนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการกำจัดน้ำออกจากเอทานอล 95% ในแต่ละโรงงานมีค่าแตกต่างกันไปตามสัดส่วนของถ่านหินที่ใช้ ซึ่งในโรงงาน ค ความแตกต่างนี้มีค่าต่ำที่สุด

เพราะว่าใช้กากอ้อยเป็นเชื้อเพลิง 100% ในการผลิตเอทานอล แต่ทุกกรณีสูงกว่าการใช้เชื้อเพลิงดีเซล

ผลการเปรียบเทียบ PM_{10} emissions ในหน่วย กรัม/กิโลเมตร เมื่อพิจารณาตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงและนำเชื้อเพลิงมาใช้ในรถยนต์ระหว่างดีโซฮอล 95% กับ ดีโซฮอล 99.5% และดีเซล ทั้งกรณี (+) และ (-) ที่ 4 จุดทำงานดังได้กล่าวไว้แล้ว แสดงผลไว้ในรูปที่ 7-20 ก และ 7-20 ข, รูปที่ 7-21 ก และ 7-21 ข, รูปที่ 7-22 ก และ 7-22 ข และ รูปที่ 7-23 ก และ 7-23 ข ตามลำดับ



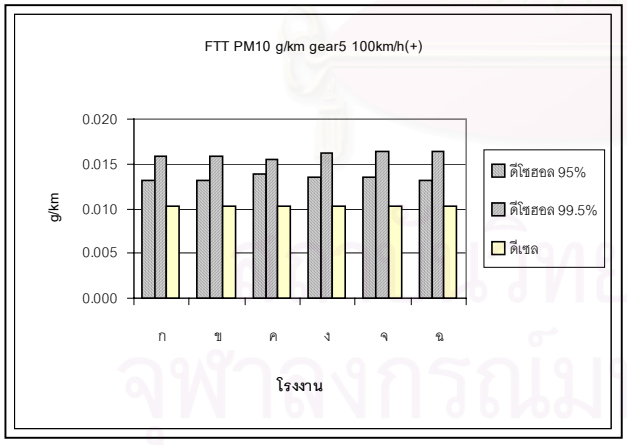
รูปที่ 7-20 ก



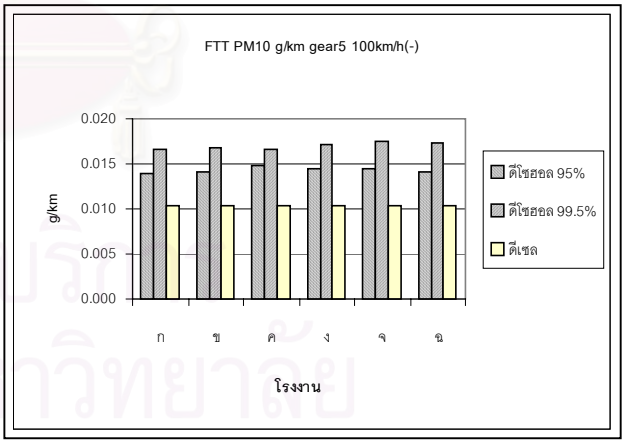
รูปที่ 7-20 ข

รูปที่ 7-20 ก เปรียบเทียบ FTT PM_{10} emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-20 ข เปรียบเทียบ FTT PM_{10} emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)



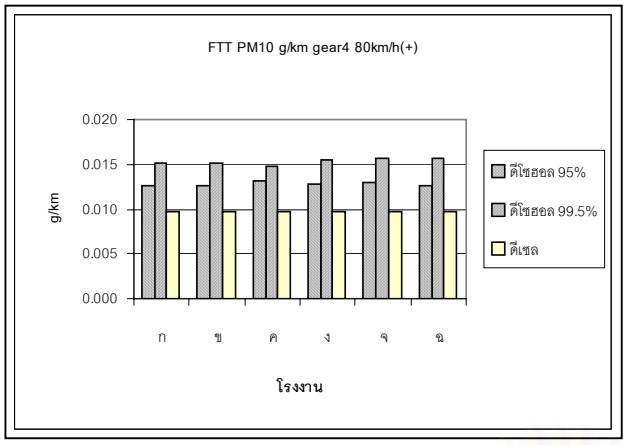
รูปที่ 7-21 ก



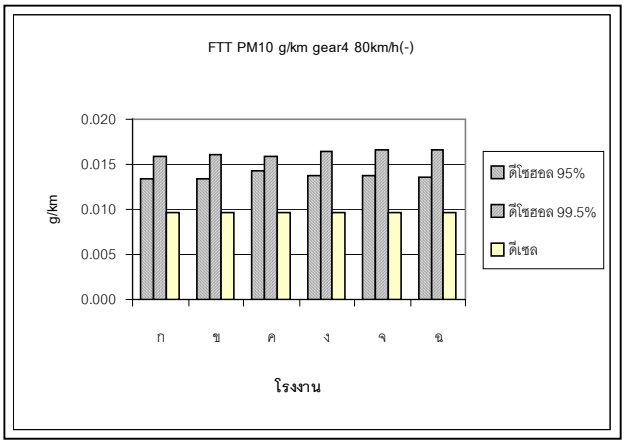
รูปที่ 7-21 ข

รูปที่ 7-21 ก เปรียบเทียบ FTT PM_{10} emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-21 ข เปรียบเทียบ FTT PM_{10} emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)



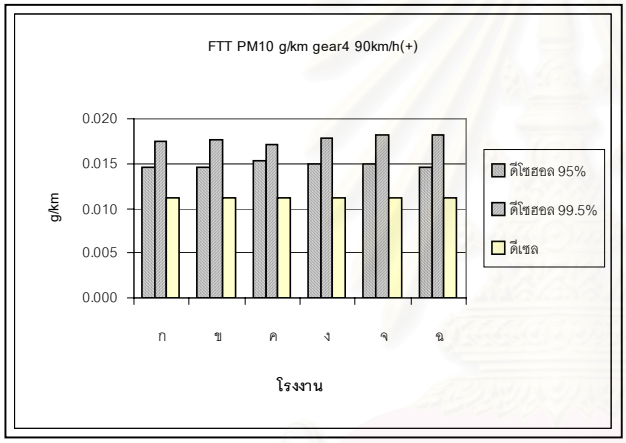
รูปที่ 7-22 ก



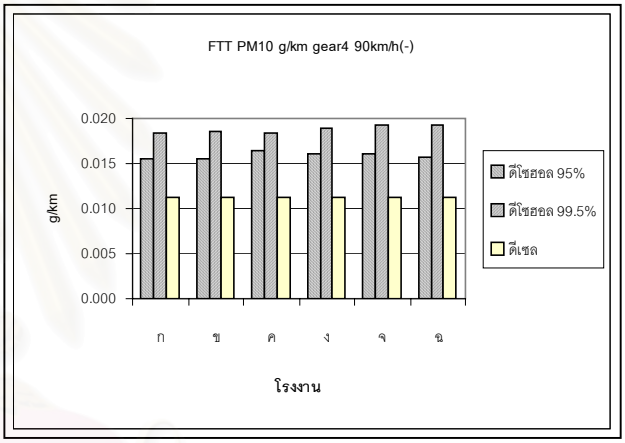
รูปที่ 7-22 ข

รูปที่ 7-22 ก เปรียบเทียบ FTT PM_{10} emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-22 ข เปรียบเทียบ FTT PM_{10} emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)



รูปที่ 7-23 ก



รูปที่ 7-23 ข

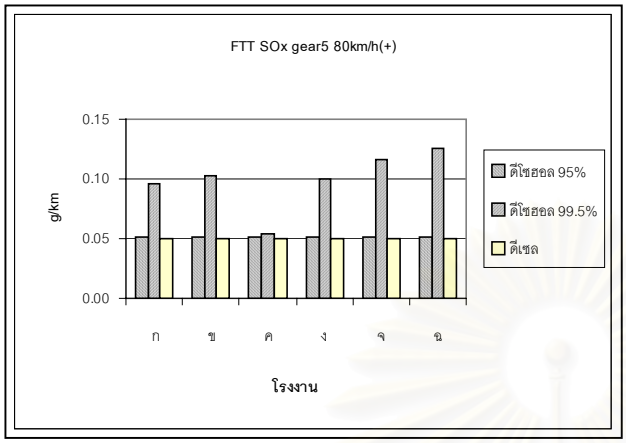
รูปที่ 7-23 ก เปรียบเทียบ FTT PM_{10} emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-23 ข เปรียบเทียบ FTT PM_{10} emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)

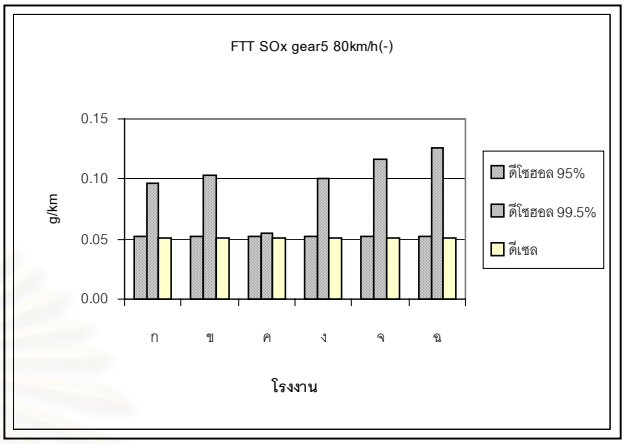
จากการพิจารณาเปรียบเทียบ PM_{10} emissions ในหน่วย กรัม/กิโลเมตร ตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงเมื่อนำเชื้อเพลิงมาใช้ในรถยนต์ระหว่างดีโซฮอล 95% กับ ดีโซฮอล 99.5% และดีเซลดังรูปที่ 7-20 ก และ 7-20 ข, รูปที่ 7-21 ก และ 7-21 ข, รูปที่ 7-22 ก และ 7-22 ข และ รูปที่ 7-23 ก และ 7-23 ข ตามลำดับ พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 4 จุดทำงานในทุกโรงงาน คือค่า PM_{10} emissions ในหน่วย กรัม/กิโลเมตร จากการผลิตดีโซฮอล 95% มีค่าต่ำกว่าค่าของดีโซฮอล 99.5% แต่สูงกว่าดีเซลในทุกกรณี

ผลการเปรียบเทียบ SO_x emissions ในหน่วย กรัม/กิโลเมตร เมื่อพิจารณาตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงและนำเชื้อเพลิงมาใช้ในรถยนต์ระหว่างดีโซฮอล 95% กับ ดีโซฮอล 99.5% และดีเซลทั้งกรณี

(+) และ (-) ที่ 4 จุดทำงานดังได้กล่าวไว้แล้ว แสดงไว้ในรูปที่ 7-24 ก และ 7-24 ข, รูปที่ 7-25 ก และ 7-25 ข, รูปที่ 7-26 ก และ 7-26 ข และ รูปที่ 7-27 ก และ 7-27 ข ตามลำดับ



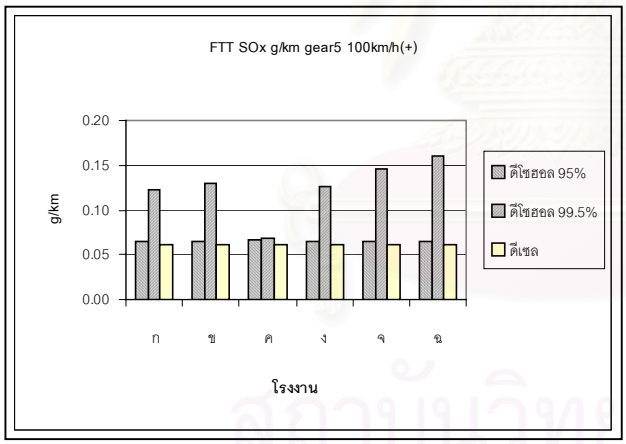
รูปที่ 7-24 ก



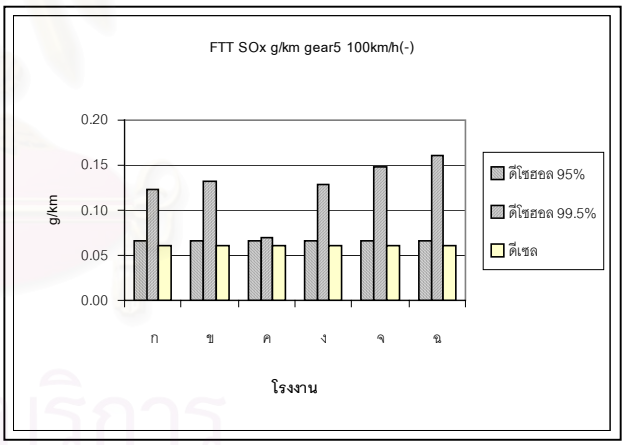
รูปที่ 7-24 ข

รูปที่ 7-24 ก เปรียบเทียบ FTT SO_x emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-24 ข เปรียบเทียบ FTT SO_x emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)



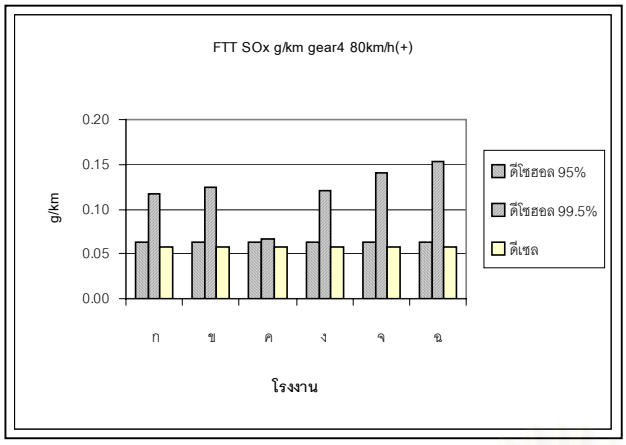
รูปที่ 7-25 ก



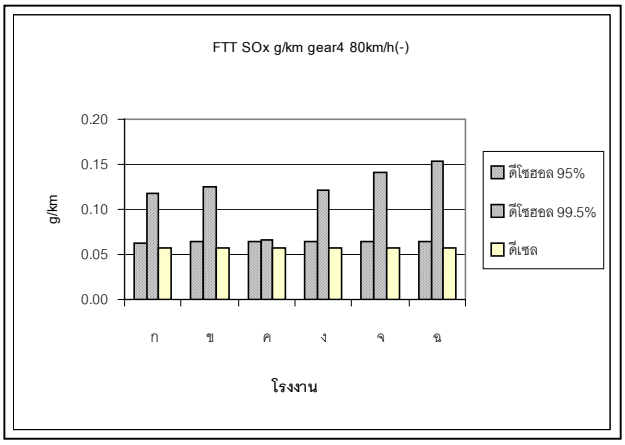
รูปที่ 7-25 ข

รูปที่ 7-25 ก เปรียบเทียบ FTT SO_x emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-25 ข เปรียบเทียบ FTT SO_x emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)



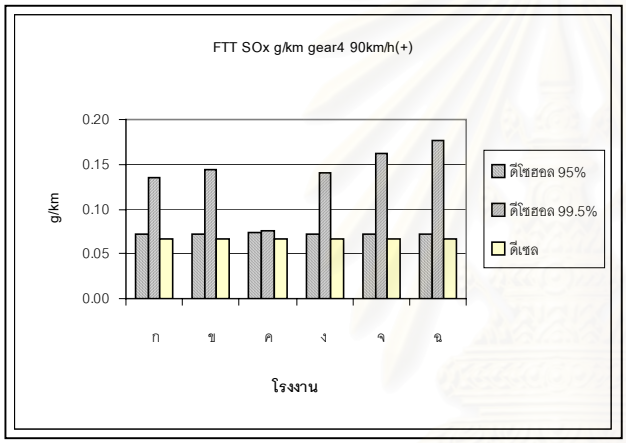
รูปที่ 7-26 ก



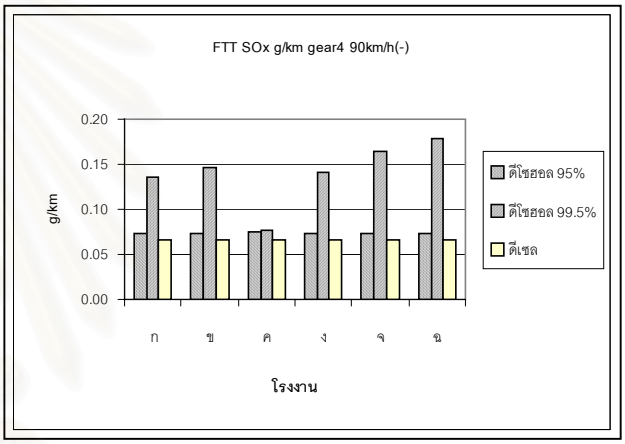
รูปที่ 7-26 ข

รูปที่ 7-26 ก เปรียบเทียบ FTT SO_x emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-26 ข เปรียบเทียบ FTT SO_x emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)



รูปที่ 7-27 ก



รูปที่ 7-27 ข

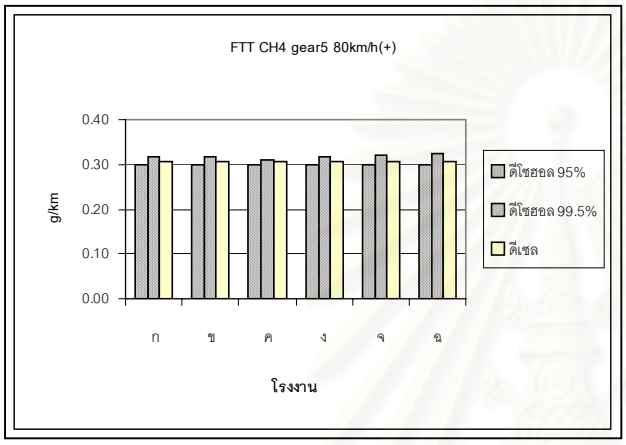
รูปที่ 7-27 ก เปรียบเทียบ FTT SO_x emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-27 ข เปรียบเทียบ FTT SO_x emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)

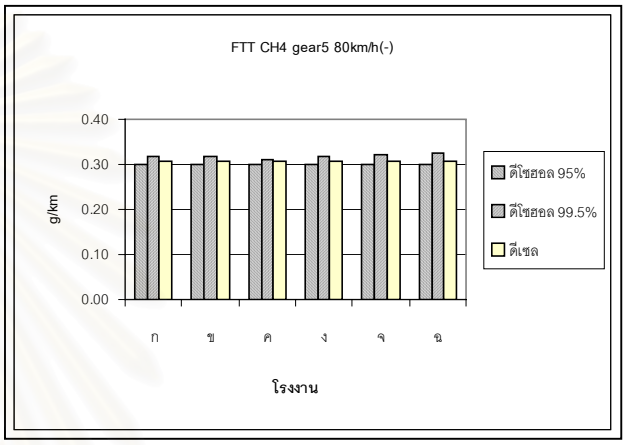
จากการพิจารณาเปรียบเทียบ SO_x emissions ในหน่วย กรัม/กิโลเมตร ตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงเมื่อนำเชื้อเพลิงมาใช้ในรถยนต์ระหว่างดีโซฮอล 95% กับ ดีโซฮอล 99.5% และดีเซล ดังรูปที่ 7-24 ก และ 7-24 ข, รูปที่ 7-25 ก และ 7-25 ข, รูปที่ 7-26 ก และ 7-26 ข และ รูปที่ 7-27 ก และ 7-27 ข ตามลำดับ พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 4 จุดทำงานในทุกโรงงาน คือค่า SO_x emissions ในหน่วยกรัม/กิโลเมตร จากการผลิตดีโซฮอล 95% มีค่าต่ำกว่าค่าของดีโซฮอล 99.5% และความแตกต่างของค่า SO_x emissions ระหว่างดีโซฮอล 2 ชนิดมีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละโรงงานเนื่องจากสัดส่วนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการกำจัดน้ำออกจากเอทานอล 95%ในแต่ละโรงงานมีค่าแตกต่างกันไปตามสัดส่วนของถ่านหินที่ใช้ ซึ่งในโรงงาน ค ความแตกต่างนี้มีค่าต่ำสุดและน้อยมากเพราะว่าใช้กากอ้อยเป็นเชื้อเพลิง 100% ในขณะที่ในโรงงาน จ และ ฉ ความแตกต่างดัง

กล่าวมีค่ามากเพราะว่าใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในสัดส่วนที่สูงกว่าโรงงานอื่นๆ อย่างไรก็ตาม ค่าที่ได้สูงกว่าดีเซลเล็กน้อยในทุกกรณี

ผลการเปรียบเทียบ CH_4 emissions ในหน่วย กรัม/กิโลเมตร เมื่อพิจารณาตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงและนำเชื้อเพลิงมาใช้ในรถยนต์ระหว่างดีโซฮอล 95% กับ ดีโซฮอล 99.5% กับดีเซล ทั้งกรณี (+) และ (-) ที่ 4 จุดทำงานดังได้กล่าวไว้แล้ว แสดงไว้ในรูปที่ 7-28 ก และ 7-28 ข, รูปที่ 7-29 ก และ 7-29 ข, รูปที่ 7-30 ก และ 7-30 ข และ รูปที่ 7-31 ก และ 7-31 ข ตามลำดับ



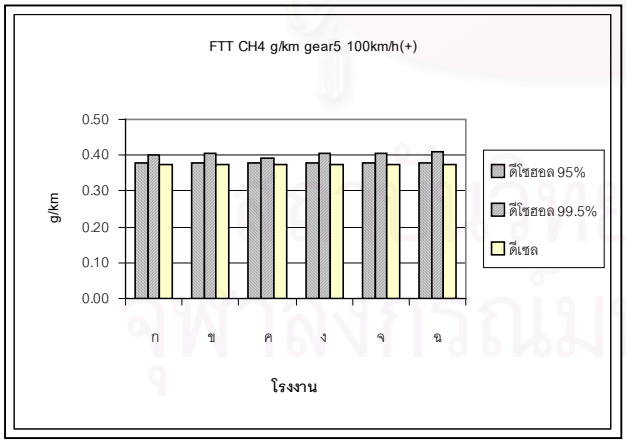
รูปที่ 7-28 ก



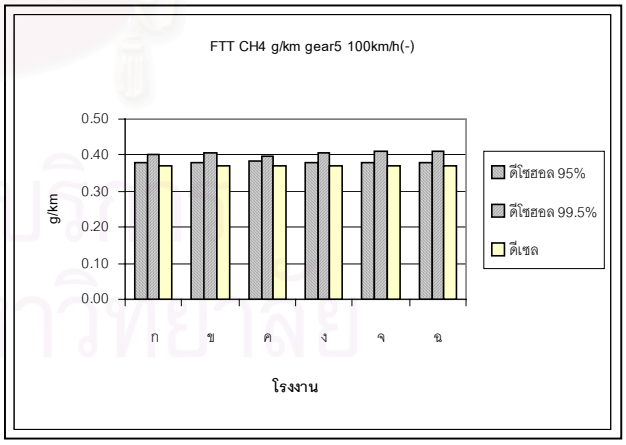
รูปที่ 7-28 ข

รูปที่ 7-28 ก เปรียบเทียบ FTT CH_4 emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-28 ข เปรียบเทียบ FTT CH_4 emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)



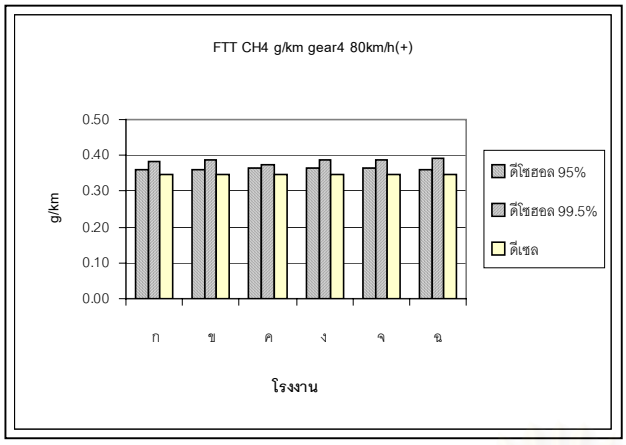
รูปที่ 7-29 ก



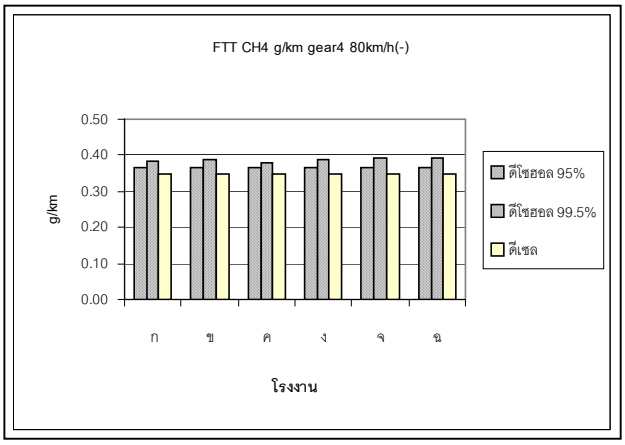
รูปที่ 7-29 ข

รูปที่ 7-29 ก เปรียบเทียบ FTT CH_4 emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-29 ข เปรียบเทียบ FTT CH_4 emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)



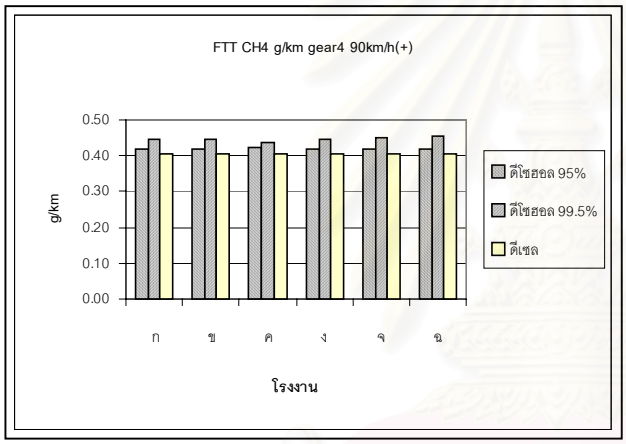
รูปที่ 7-30 ก



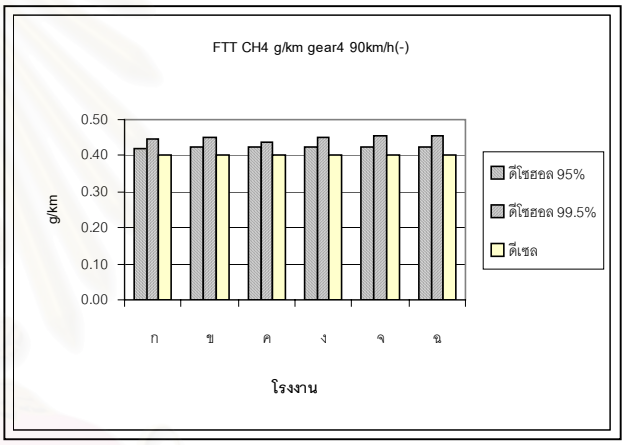
รูปที่ 7-30 ข

รูปที่ 7-30 ก เปรียบเทียบ FTT CH_4 emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-30 ข เปรียบเทียบ FTT CH_4 emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)



รูปที่ 7-31 ก



รูปที่ 7-31 ก

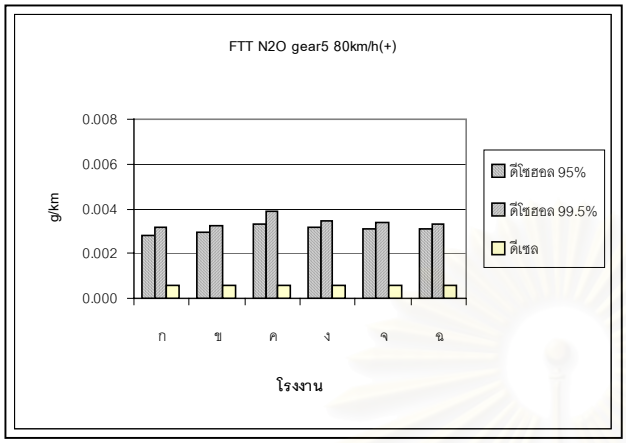
รูปที่ 7-31 ก เปรียบเทียบ FTT CH_4 emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-31 ข เปรียบเทียบ FTT CH_4 emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)

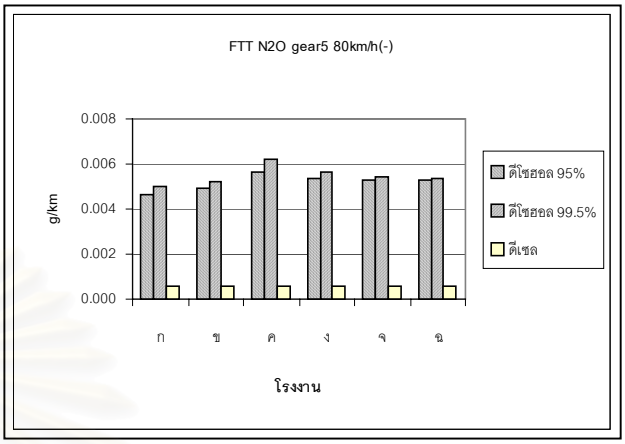
จากการพิจารณาเปรียบเทียบ CH_4 emissions ในหน่วย กรัม/กิโลเมตร ตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงเมื่อนำเชื้อเพลิงมาใช้ในรถยนต์ระหว่างดีโซฮอล 95% กับ ดีโซฮอล 99.5% กับดีเซล ดังรูปที่ 7-28 ก และ 7-28 ข, รูปที่ 7-29 ก และ 7-29 ข, รูปที่ 7-30 ก และ 7-30 ข และ รูปที่ 7-31 ก และ 7-31 ข ตามลำดับ พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 4 จุดทำงานในทุกโรงงาน คือค่า CH_4 emissions ในหน่วย กรัม/กิโลเมตร จากการผลิตดีโซฮอล 95% มีค่าต่ำกว่าค่าของดีโซฮอล 99.5% แต่สูงกว่าดีเซลเล็กน้อย

ผลการเปรียบเทียบ N_2O emissions ในหน่วย กรัม/กิโลเมตร เมื่อพิจารณาตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงและนำเชื้อเพลิงมาใช้ในรถยนต์ระหว่างดีโซฮอล 95% กับ ดีโซฮอล 99.5% และดีเซลทั้งกรณี

(+) และ (-) ที่ 4 จุดทำงานดังได้กล่าวไว้แล้วแสดงไว้ในรูปที่ 7-32 ก และ 7-32 ข, รูปที่ 7-33 ก และ 7-33 ข, รูปที่ 7-34 ก และ 7-34 ข และ รูปที่ 7-35 ก และ 7-35 ข ตามลำดับ



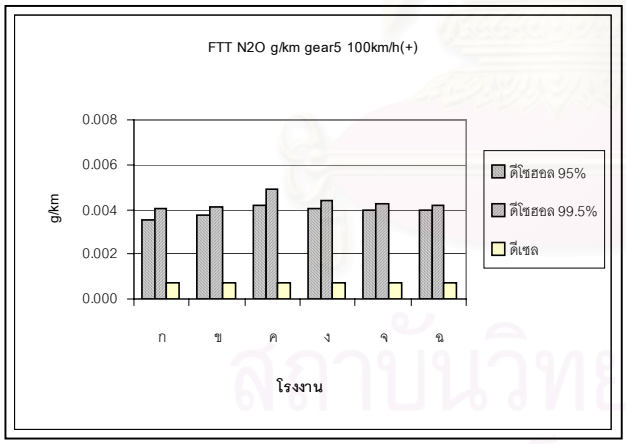
รูปที่ 7-32 ก



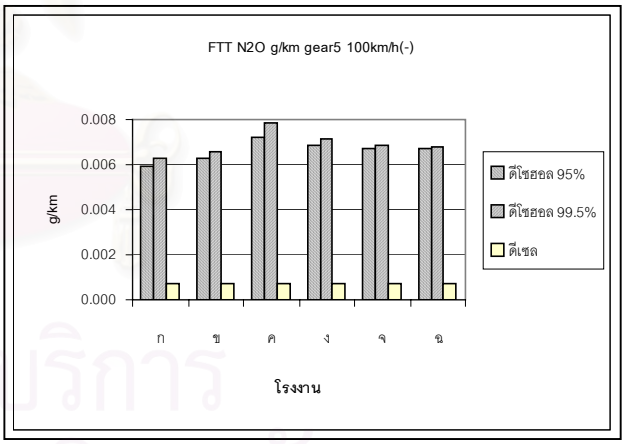
รูปที่ 7-32 ข

รูปที่ 7-32 ก เปรียบเทียบ FTT N_2O emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-32 ข เปรียบเทียบ FTT N_2O emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)



รูปที่ 7-33 ก

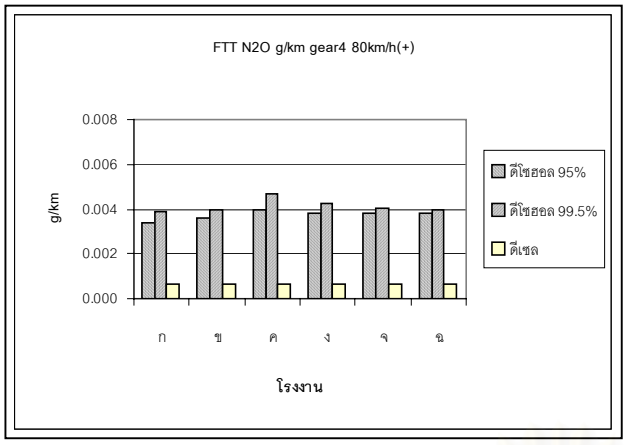


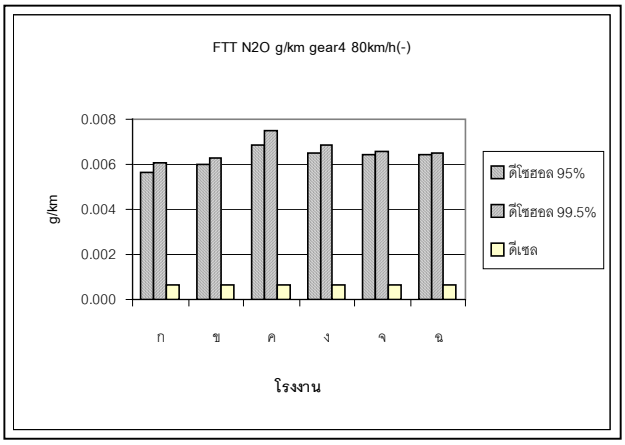
รูปที่ 7-33 ข

รูปที่ 7-33 ก เปรียบเทียบ FTT N_2O emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-33 ข เปรียบเทียบ FTT N_2O emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

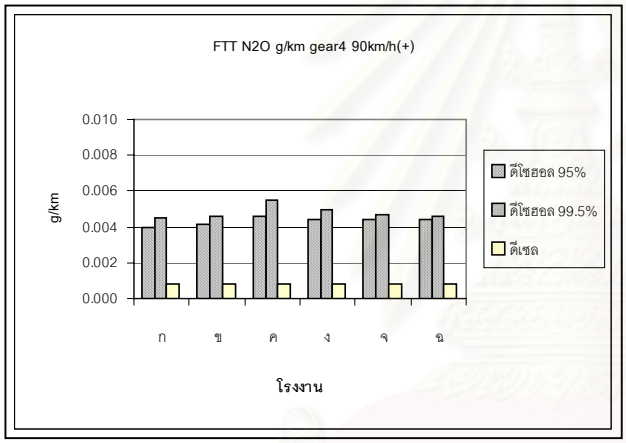


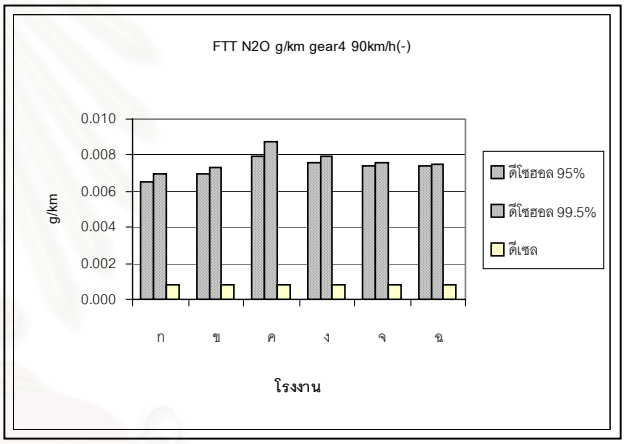


รูปที่ 7-34 ก รูปที่ 7-34 ข

รูปที่ 7-34 ก เปรียบเทียบ FTT N_2O emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-34 ข เปรียบเทียบ FTT N_2O emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)





รูปที่ 7-35 ก รูปที่ 7-35 ข

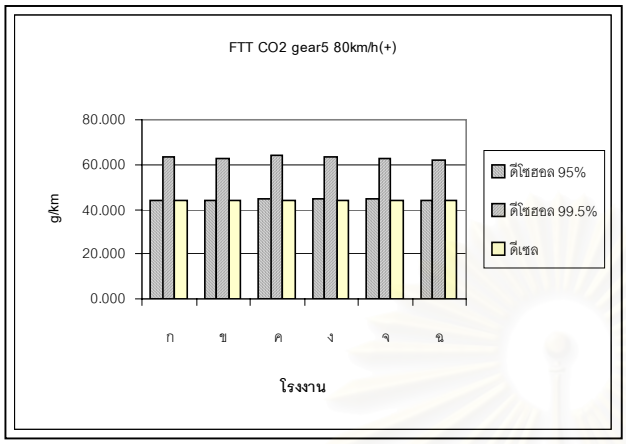
รูปที่ 7-35 ก เปรียบเทียบ FTT N_2O emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-35 ข เปรียบเทียบ FTT N_2O emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)

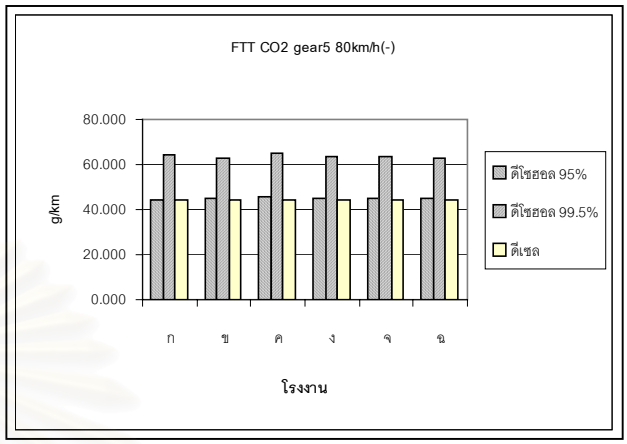
จากการพิจารณาเปรียบเทียบ N_2O emissions ในหน่วย กรัม/กิโลเมตร ตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงเมื่อนำเชื้อเพลิงมาใช้ในรถยนต์ระหว่างดีโซฮอล 95% กับ ดีโซฮอล 99.5% และดีเซล ดังรูปที่ 7-32 ก และ 7-32 ข, รูปที่ 7-33 ก และ 7-33 ข, รูปที่ 7-34 ก และ 7-34 ข และ รูปที่ 7-35 ก และ 7-35 ข ตามลำดับพบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 4 จุดทำงานในทุกโรงงาน คือค่า N_2O emissions ในหน่วย กรัม/กิโลเมตร จากการผลิตดีโซฮอล 95% มีค่าต่ำกว่าค่าของดีโซฮอล 99.5% เล็กน้อย แต่สูงกว่าดีเซลมาก

ผลการเปรียบเทียบ CO_2 emissions ในหน่วย กรัม/กิโลเมตร เมื่อพิจารณาตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงและนำเชื้อเพลิงมาใช้ในรถยนต์ระหว่างดีโซฮอล 95% กับ ดีโซฮอล 99.5% และดีเซลทั้งกรณี

(+) และ (-) ที่ 4 จุดทำงานดังได้กล่าวไว้แล้วแสดงไว้ในรูปที่ 7-36 ก และ 7-36 ข, รูปที่ 7-37 ก และ 7-37 ข, รูปที่ 7-38 ก และ 7-38 ข และ รูปที่ 7-39 ก และ 7-39 ข ตามลำดับ



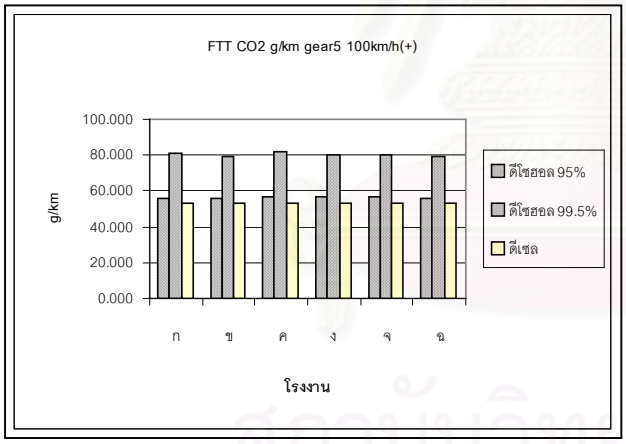
รูปที่ 7-36 ก



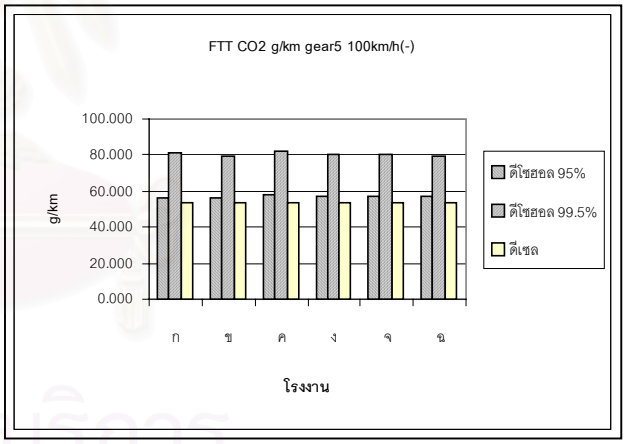
รูปที่ 7-36 ข

รูปที่ 7-36 ก เปรียบเทียบ FTT CO_2 emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-36 ข เปรียบเทียบ FTT CO_2 emissions เกียร์ 5 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)



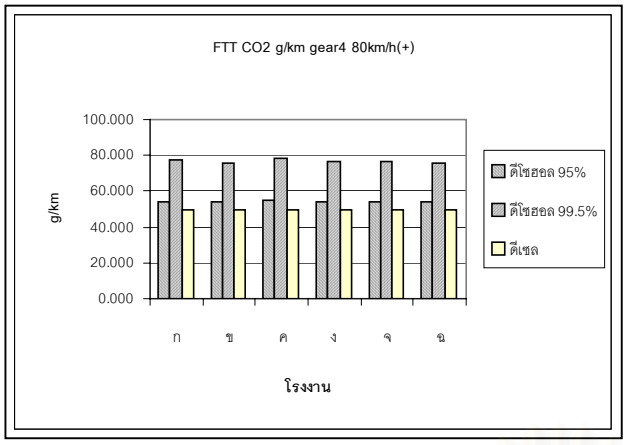
รูปที่ 7-37 ก



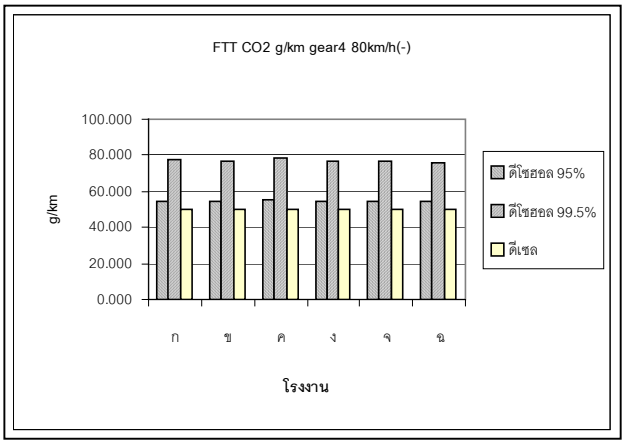
รูปที่ 7-37 ข

รูปที่ 7-37 ก เปรียบเทียบ FTT CO_2 emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-37 ข เปรียบเทียบ FTT CO_2 emissions เกียร์ 5 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)



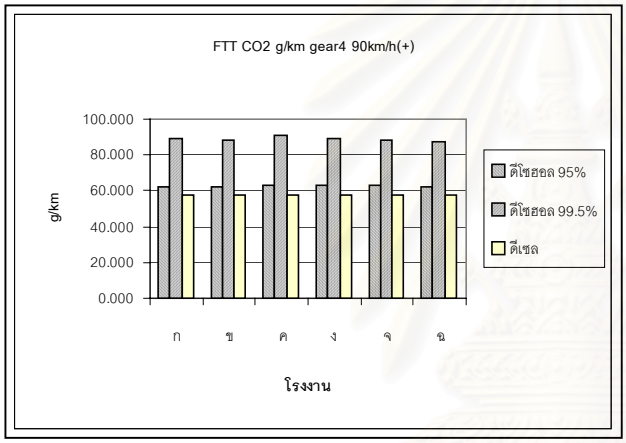
รูปที่ 7-38 ก



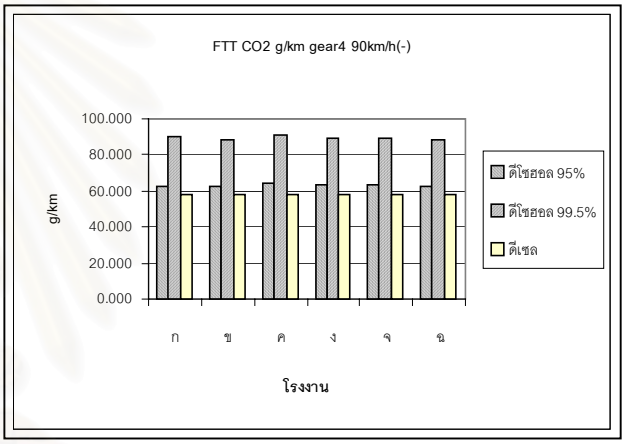
รูปที่ 7-38 ข

รูปที่ 7-38 ก เปรียบเทียบ FTT CO_2 emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-38 ข เปรียบเทียบ FTT CO_2 emissions เกียร์ 4 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)



รูปที่ 7-39 ก



รูปที่ 7-39 ข

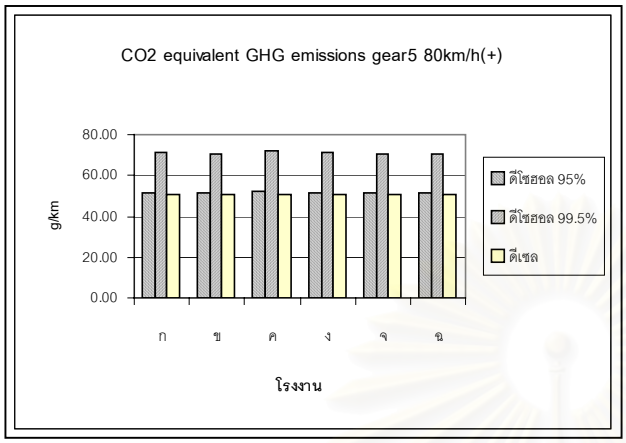
รูปที่ 7-39 ก เปรียบเทียบ FTT CO_2 emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (+)

รูปที่ 7-39 ข เปรียบเทียบ FTT CO_2 emissions เกียร์ 4 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณี (-)

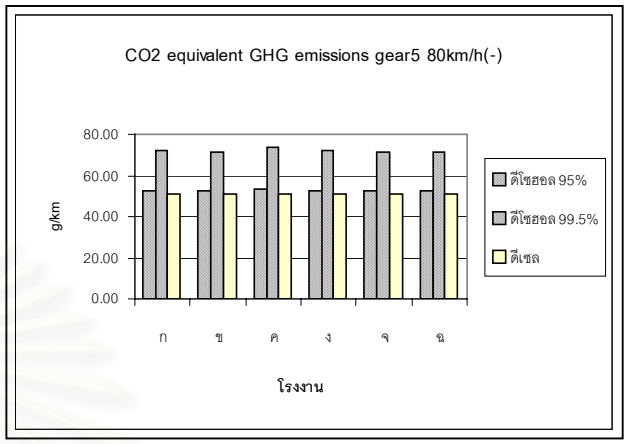
จากการพิจารณาเปรียบเทียบ CO_2 emissions ในหน่วย กรัม/กิโลเมตร ตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงเมื่อนำเชื้อเพลิงมาใช้ในรถยนต์ระหว่างดีโซฮอล 95% กับ ดีโซฮอล 99.5% และดีเซล ดังรูปที่ 7-36 ก และ 7-36 ข, รูปที่ 7-37 ก และ 7-37 ข, รูปที่ 7-38 ก และ 7-38 ข และ รูปที่ 7-39 ก และ 7-39 ข ตามลำดับพบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 4 จุดทำงานในทุกโรงงาน คือค่า CO_2 emissions ในหน่วย กรัม/กิโลเมตร จากการผลิตดีโซฮอล 95% มีค่าต่ำกว่าค่าของดีโซฮอล 99.5% แต่สูงกว่าดีเซลเล็กน้อย

ผลการเปรียบเทียบ CO_2 equivalent GHG emissions ในหน่วย กรัม/กิโลเมตร เมื่อพิจารณาตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงและนำเชื้อเพลิงมาใช้ในรถยนต์ระหว่างดีโซฮอล 95% กับ ดีโซฮอล 99.5% และดีเซล ทั้งกรณี (+) และ (-) ที่ 4 จุดทำงานดังได้กล่าวไว้แล้วแสดงไว้ในรูปที่ 7-40 ก

และ 7-40 ข, รูปที่ 7-41 ก และ 7-41 ข, รูปที่ 7-42 ก และ 7-42 ข และ รูปที่ 7-43 ก และ 7-43 ข ตามลำดับ



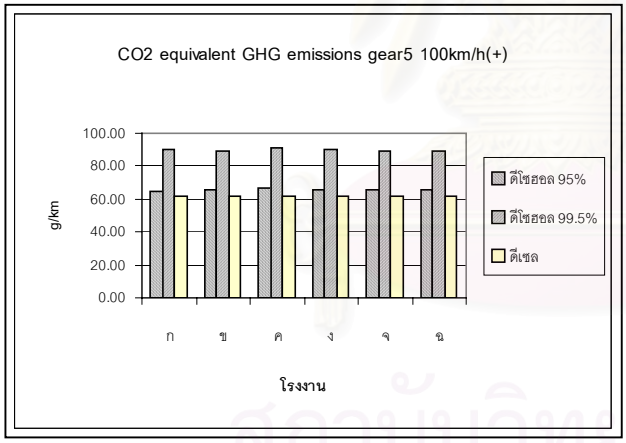
รูปที่ 7-40 ก



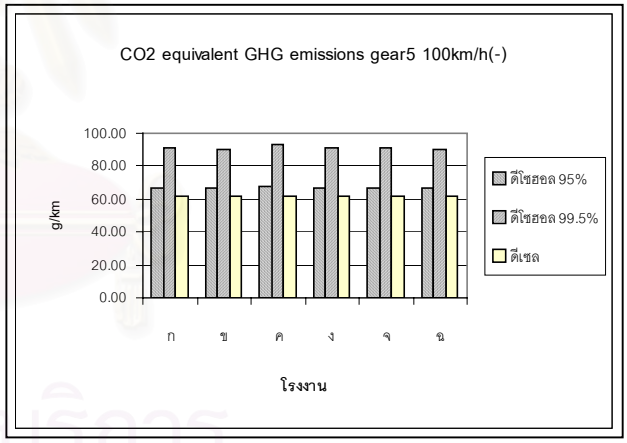
รูปที่ 7-40 ข

รูปที่ 7-40 ก เปรียบเทียบ CO_2 equivalent GHG emissions เกียร์ 5 80 km/h ในกรณี (+)

รูปที่ 7-40 ข เปรียบเทียบ CO_2 equivalent GHG emissions เกียร์ 5 80 km/h ในกรณี (-)



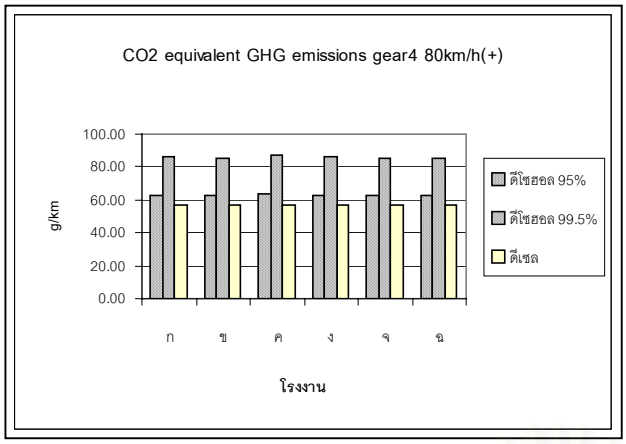
รูปที่ 7-41 ก



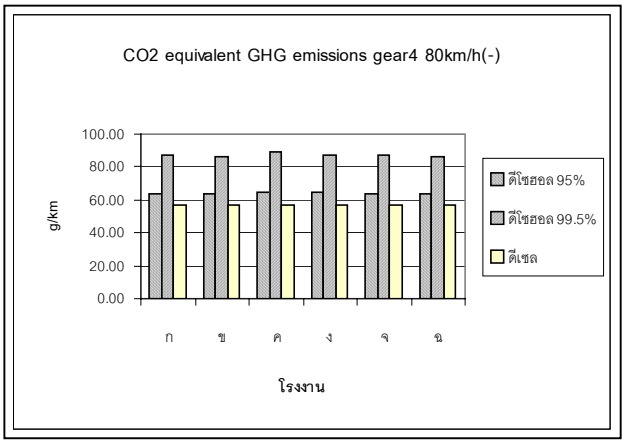
รูปที่ 7-41 ข

รูปที่ 7-41 ก เปรียบเทียบ CO_2 equivalent GHG emissions เกียร์ 5 100 km/h ในกรณี (+)

รูปที่ 7-41 ข เปรียบเทียบ CO_2 equivalent GHG emissions เกียร์ 5 100 km/h ในกรณี (-)



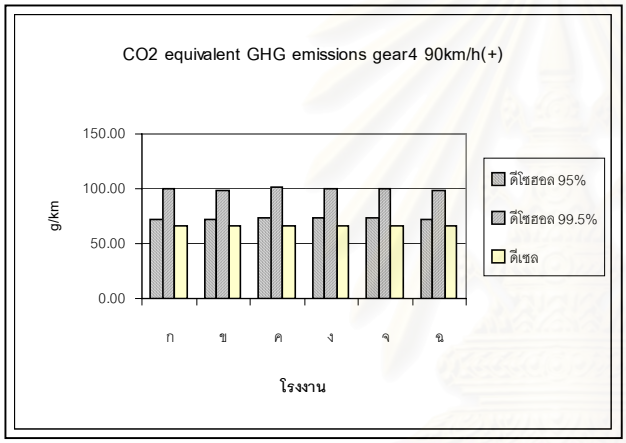
รูปที่ 7-42 ก



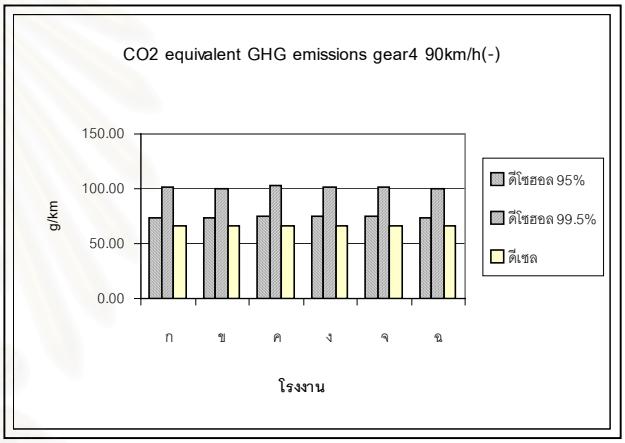
รูปที่ 7-42 ข

รูปที่ 7-42 ก เปรียบเทียบ CO_2 equivalent GHG emissions เกียร์ 4 80 km/h ในกรณี (+)

รูปที่ 7-42 ข เปรียบเทียบ CO_2 equivalent GHG emissions เกียร์ 4 80 km/h ในกรณี (-)



รูปที่ 7-43 ก



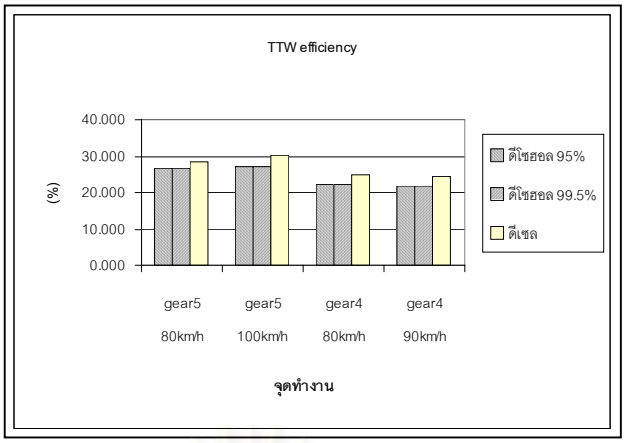
รูปที่ 7-43 ข

รูปที่ 7-43 ก เปรียบเทียบ CO_2 equivalent GHG emissions เกียร์ 4 90 km/h ในกรณี (+)

รูปที่ 7-43 ข เปรียบเทียบ CO_2 equivalent GHG emissions เกียร์ 4 90 km/h ในกรณี (-)

จากการพิจารณาเปรียบเทียบ CO_2 equivalent GHG emissions ในหน่วย กรัม/กิโลเมตร ตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิงเมื่อนำเชื้อเพลิงมาใช้ในรถยนต์ระหว่างดีโซฮอล 95% กับ ดีโซฮอล 99.5% และดีเซล ดังรูปที่ 7-40 ก และ 7-40 ข, รูปที่ 7-41 ก และ 7-41 ข, รูปที่ 7-42 ก และ 7-42 ข และ รูปที่ 7-43 ก และ 7-43 ข ตามลำดับพบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 4 จุดทำงานในทุกโรงงาน คือค่า CO_2 equivalent GHG emissions ในหน่วย กรัม/กิโลเมตร จากการผลิตดีโซฮอล 95% มีค่าต่ำกว่าค่าของดีโซฮอล 99.5% แต่สูงกว่าดีเซลเล็กน้อย

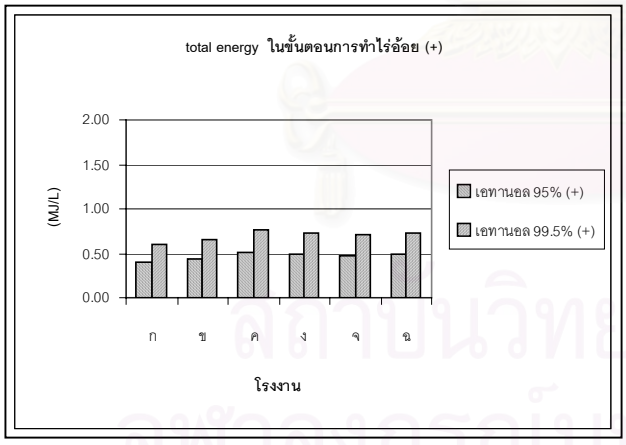
รูปที่ 7-44 แสดง Tank-to-Wheel efficiency เปรียบเทียบระหว่างการใช้ดีโซฮอล 95% และดีโซฮอล 99.5% และดีเซล ในรถยนต์ ที่ 4 จุดทำงาน



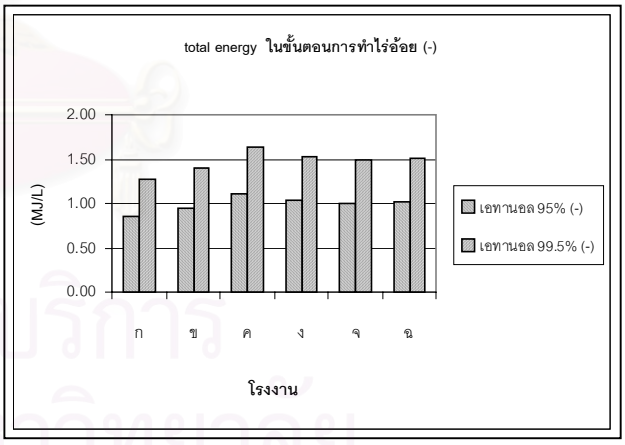
รูปที่ 7-44 แสดง Tank-to-Wheel efficiency

จากการพิจารณาเปรียบเทียบ Tank-to-Wheel efficiency ระหว่างการใช้ดีโซฮอล 95% และ ดีโซฮอล 99.5% และ ดีเซล ในรถยนต์ ที่ 4 จุดทำงาน ดังรูปที่ 7-44 พบว่าค่า Tank-to-Wheel efficiency จากการใช้ดีโซฮอล 95% ในรถยนต์และการใช้ดีโซฮอล 99.5% ในรถยนต์มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงถึงประสิทธิภาพในการเปลี่ยนเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิดนี้ให้เป็นพลังงานขับเคลื่อนที่ล้อมีค่าพอๆกัน ซึ่งดีโซฮอลทั้งสองมีค่าต่ำกว่าดีเซล

ผลการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิต (total energy) เอทานอล 1 ลิตร พิจารณาเฉพาะขั้นตอนการทำไร่อ้อยแสดงในรูปที่ 7-45 ก และ 7-45 ข โดยเปรียบเทียบระหว่างเอทานอล 95% และเอทานอล 99.5% แยกเป็นกรณี (+) และ (-) ใน 6 โรงงาน



รูปที่ 7-45 ก



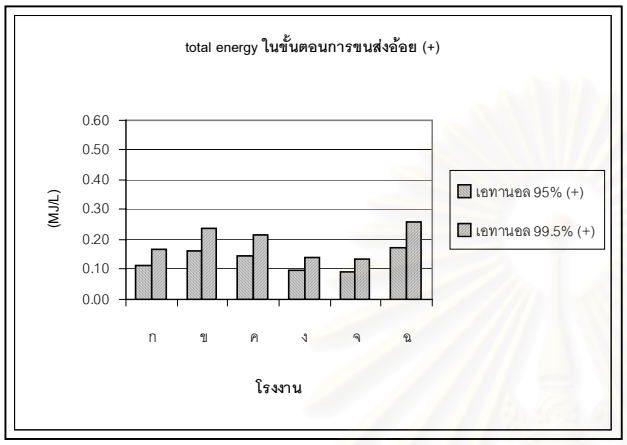
รูปที่ 7-45 ข

รูปที่ 7-45 ก เปรียบเทียบ total energy ของขั้นตอนการทำไร่อ้อย (+)ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร
รูปที่ 7-45 ข เปรียบเทียบ total energy ของขั้นตอนการทำไร่อ้อย (-)ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร

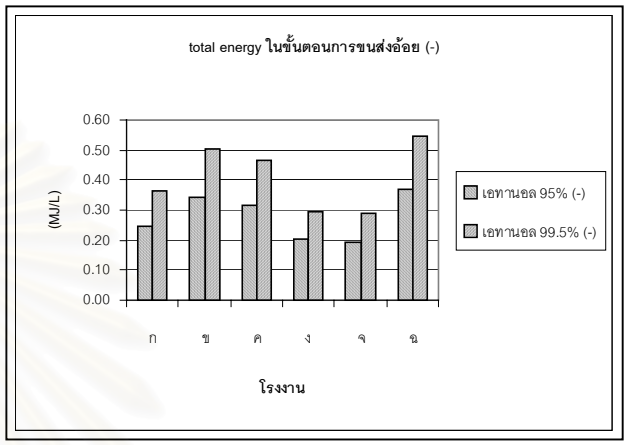
จากการพิจารณาเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิต (total energy) เอทานอล 1 ลิตร เมื่อพิจารณาเฉพาะขั้นตอนการทำไร่อ้อยดังรูปที่ 7-45 ก และ 7-45 ข พบว่าค่าพลังงานที่ใช้ในการ

ผลิต (total energy) ของเอทานอล 95% มีค่าต่ำกว่าค่าของเอทานอล 99.5% ในทุกโรงงานทั้งกรณี (+) และ (-)

ผลการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิต (total energy) เอทานอล 1 ลิตร พิจารณาเฉพาะขั้นตอนการขนส่งอ้อยแสดงในรูปที่ 7-46 ก และ 7-46 ข โดยเปรียบเทียบระหว่างเอทานอล 95% และเอทานอล 99.5% แยกเป็นกรณี (+) และ (-) ใน 6 โรงงาน



รูปที่ 7-46 ก



รูปที่ 7-46 ข

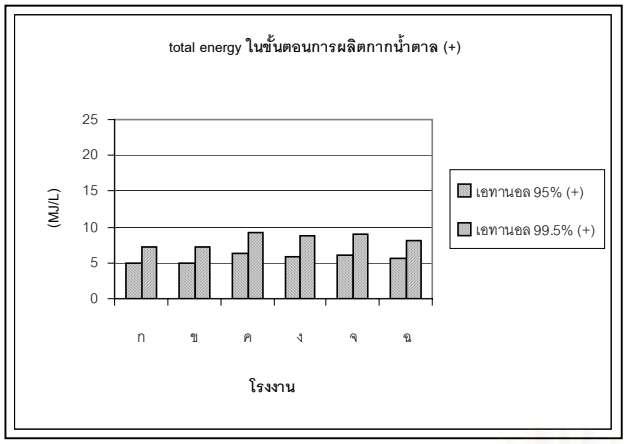
รูปที่ 7-46 ก เปรียบเทียบ total energy ของขั้นตอนการขนส่งอ้อย (+)ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร

รูปที่ 7-46 ข เปรียบเทียบ total energy ของขั้นตอนการขนส่งอ้อย (-)ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร

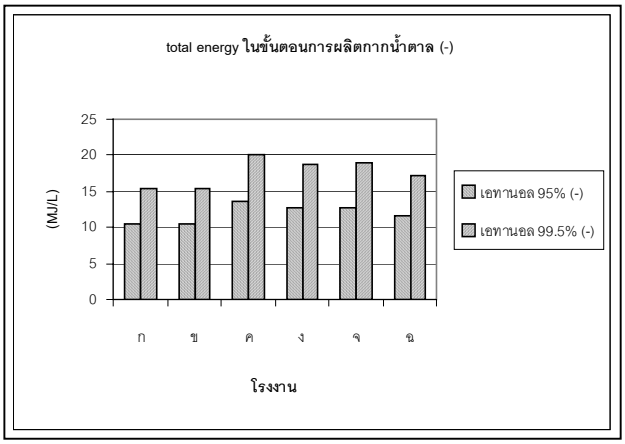
จากการพิจารณาเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิต (total energy) เอทานอล 1 ลิตร เมื่อพิจารณาเฉพาะขั้นตอนการขนส่งอ้อยดังรูปที่ 7-46 ก และ 7-46 ข พบว่าค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิต (total energy) ของเอทานอล 95% มีค่าต่ำกว่าค่าของเอทานอล 99.5% ในทุกโรงงานทั้งกรณี (+) และ (-) เนื่องจากมีการใช้วัตถุดิบน้อยกว่า

ผลการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิต (total energy) เอทานอล 1 ลิตร พิจารณาเฉพาะขั้นตอนการผลิตกากน้ำตาลแสดงในรูปที่ 7-47 ก และ 7-47 ข โดยเปรียบเทียบระหว่างเอทานอล 95% และเอทานอล 99.5% แยกเป็นกรณี (+) และ (-) ใน 6 โรงงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7-47 ก



รูปที่ 7-47 ข

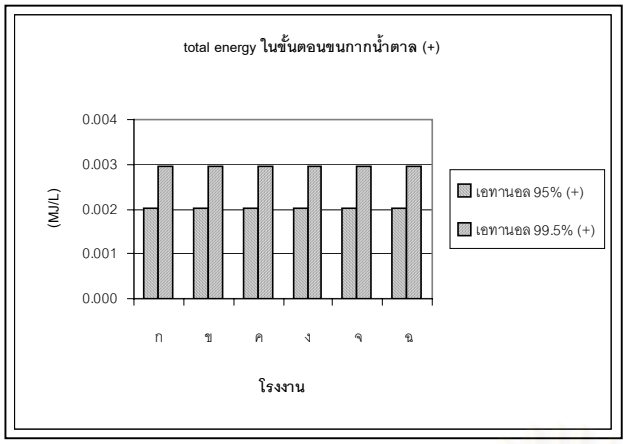
รูปที่ 7-47 ก เปรียบเทียบ total energy ของขั้นตอนผลิตกากน้ำตาล (+) ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร

รูปที่ 7-47 ข เปรียบเทียบ total energy ของขั้นตอนผลิตกากน้ำตาล (-) ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร

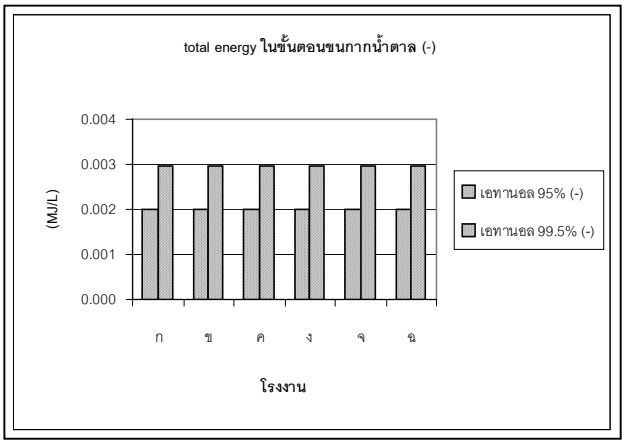
จากการพิจารณาเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิต (total energy) เอทานอล 1 ลิตร เมื่อพิจารณาเฉพาะขั้นตอนการผลิตกากน้ำตาลดังรูปที่ 7-47 ก และ 7-47 ข พบว่าค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิต (total energy) ของเอทานอล 95% มีค่าต่ำกว่าค่าของเอทานอล 99.5% ในทุกโรงงานทั้งกรณี (+) และ (-)

ผลการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิต (total energy) เอทานอล 1 ลิตร พิจารณาเฉพาะขั้นตอนการขนส่งกากน้ำตาลแสดงในรูปที่ 7-48 ก และ 7-48 ข โดยเปรียบเทียบระหว่างเอทานอล 95% และเอทานอล 99.5% แยกเป็นกรณี (+) และ (-) ใน 6 โรงงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7-48 ก



รูปที่ 7-48 ข

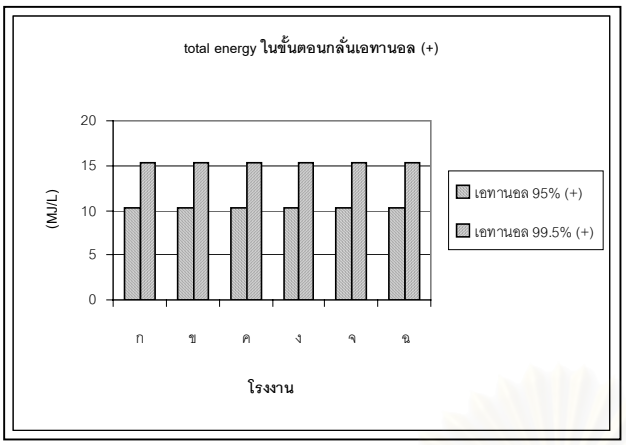
รูปที่ 7-48 ก เปรียบเทียบ total energy ของขั้นตอนขนกากน้ำตาล (+) ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร

รูปที่ 7-48 ข เปรียบเทียบ total energy ของขั้นตอนขนกากน้ำตาล (-) ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร

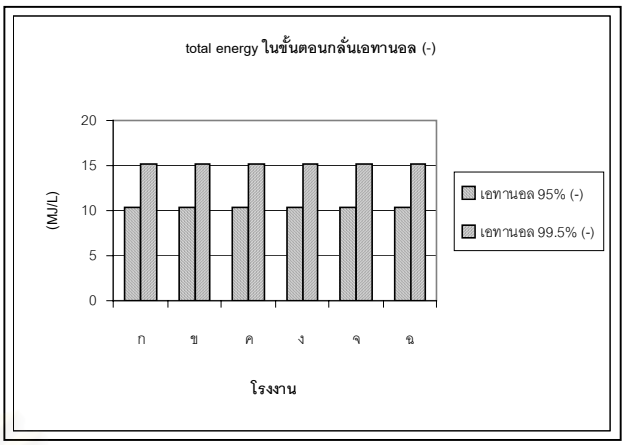
จากการพิจารณาเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิต (total energy) เอทานอล 1 ลิตร เมื่อพิจารณาเฉพาะขั้นตอนการขนส่งกากน้ำตาลดังรูปที่ 7-48 ก และ 7-48 ข พบว่าค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิต (total energy) ของเอทานอล 95% มีค่าต่ำกว่าค่าของเอทานอล 99.5% ในทุกโรงงานทั้งกรณี (+) และ (-)

ผลการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิต (total energy) เอทานอล 1 ลิตร พิจารณาเฉพาะขั้นตอนการกลั่นเอทานอลจากกากน้ำตาลเป็นเอทานอล 95% แสดงในรูปที่ 7-49 ก และ 7-49 ข โดยเปรียบเทียบระหว่างเอทานอล 95% และเอทานอล 99.5% แยกเป็นกรณี (+) และ (-) ใน 6 โรงงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7-49 ก



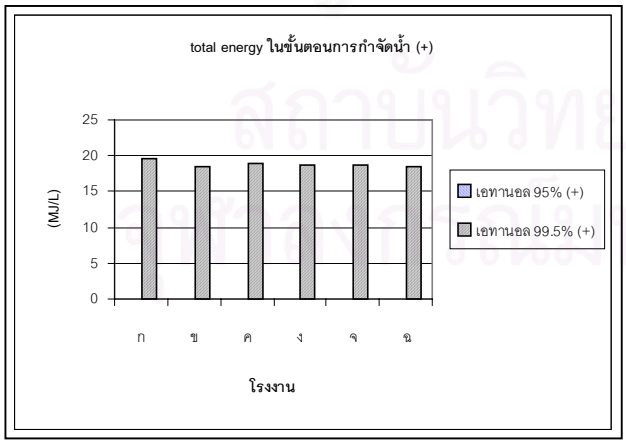
รูปที่ 7-49 ข

รูปที่ 7-49 ก เปรียบเทียบ total energy ของขั้นตอนกลั่นเอทานอล (+)
ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร

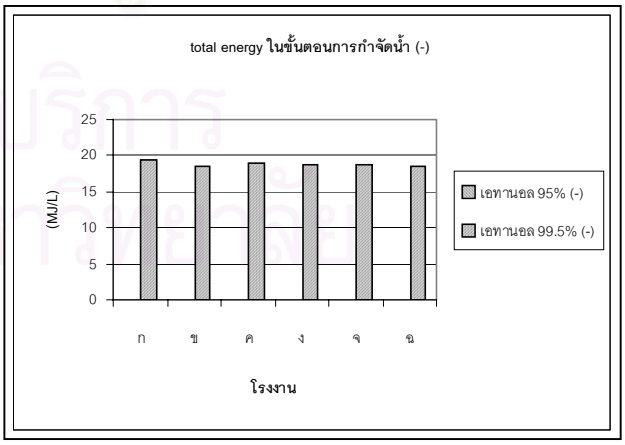
รูปที่ 7-49 ข เปรียบเทียบ total energy ของขั้นตอนกลั่นเอทานอล (-)
ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร

จากการพิจารณาเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิต (total energy) เอทานอล 1 ลิตร เมื่อพิจารณาเฉพาะขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลเป็นเอทานอล 95% ดังรูปที่ 7-49 ก และ 7-49 ข พบว่าค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิต (total energy) ในขั้นตอนดังกล่าวนี้ของเอทานอล 95% มีค่าต่ำกว่าค่าของเอทานอล 99.5% ในทุกโรงงานทั้งกรณี (+) และ (-)

ผลการใช้พลังงานในการผลิต (total energy) เอทานอล 1 ลิตร พิจารณาเฉพาะขั้นตอนการกำจัดน้ำเพื่อผลิตเอทานอล 99.5% จากเอทานอล 95% แสดงในรูปที่ 7-50 ก และ 7-50 ข แยกเป็นกรณี (+) และ (-) ใน 6 โรงงาน



รูปที่ 7-50 ก



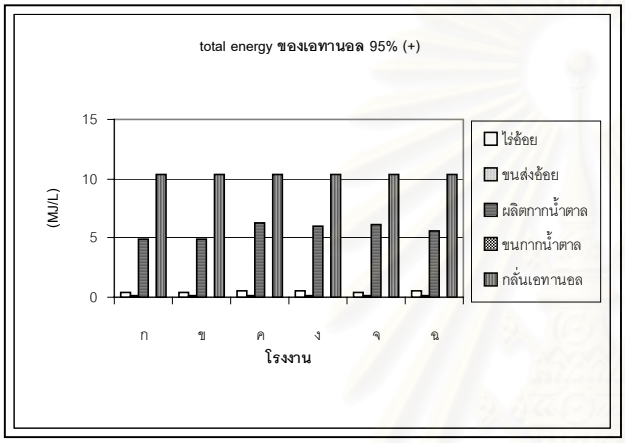
รูปที่ 7-50 ข

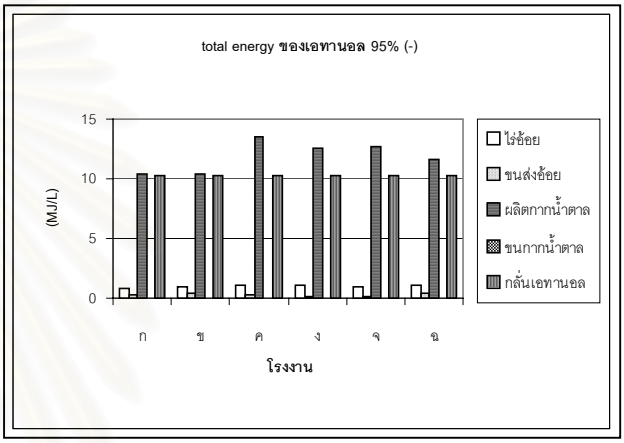
รูปที่ 7-50 ก ค่า total energy ของขั้นตอนกำจัดน้ำ (+)ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร

รูปที่ 7-50 ข ค่า total energy ของขั้นตอนกำจัดน้ำ (-)ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร

จากการพิจารณาพลังงานที่ใช้ในการผลิต (total energy) เอทานอล 1 ลิตร เมื่อพิจารณาเฉพาะขั้นตอนการกำจัดน้ำเพื่อผลิตเอทานอล 99.5% จากเอทานอล 95% ดังรูปที่ 7-50 ก และ 7-50 ข พบว่าค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิต (total energy) ในขั้นตอนดังกล่าวนี้มีค่าประมาณ 19 MJ/L

รูปที่ 7-51 ก และ 7-51 ข เป็นแผนภูมิแท่งแสดงการแจกแจงพลังงานที่ใช้ในการผลิต (total energy) เอทานอล 95% 1 ลิตร ทั้งในกรณี (+) และ (-) ตามลำดับ โดยแสดงให้เห็นสัดส่วนของพลังงานที่ใช้ในการผลิตในแต่ละขั้นตอน





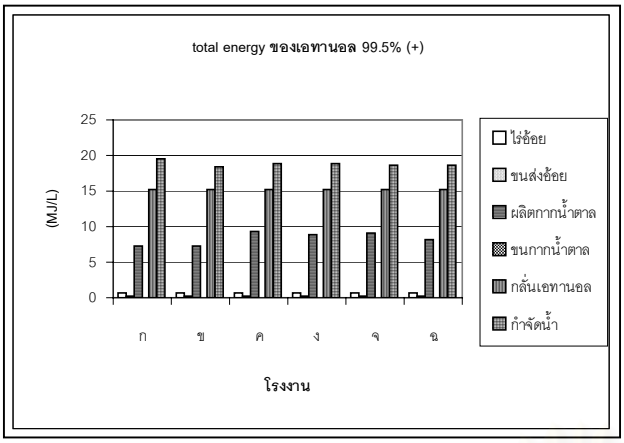
รูปที่ 7-51 ก รูปที่ 7-51 ข

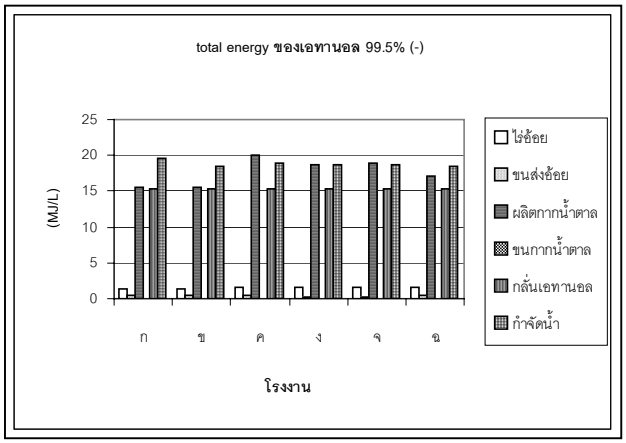
รูปที่ 7-51 ก การแจกแจง total energy แต่ละขั้นตอน ในการผลิตเอทานอล 95% 1 ลิตร (+)

รูปที่ 7-51 ข การแจกแจง total energy แต่ละขั้นตอน ในการผลิตเอทานอล 95% 1 ลิตร (-)

เมื่อแจกแจงพลังงานที่ใช้ในการผลิต (total energy) ในแต่ละขั้นตอนของการผลิตเอทานอล 95% 1 ลิตร และนำมาเปรียบเทียบกัน ดังรูปที่ 7-51 ก และ 7-51 ข พบว่าในทุกกรณีให้แนวโน้มเดียวกันคือ การผลิตเอทานอล 95% 1 ลิตร พลังงานส่วนใหญ่ต้องใช้ในขั้นตอนการกลั่นเอทานอลกับขั้นตอนการผลิตกากน้ำตาล โดยมีการใช้พลังงานในขั้นตอนการทำไร่อ้อยเพียงเล็กน้อย ส่วนพลังงานในขั้นตอนการขนส่งอ้อยและขั้นตอนการขนส่งกากน้ำตาลมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนอื่นๆ

รูปที่ 7-52 ก และ 7-52 ข เป็นแผนภูมิแท่งแสดงการแจกแจงพลังงานที่ใช้ในการผลิต (total energy) เอทานอล 99.5% 1 ลิตร ทั้งในกรณี (+) และ (-) ตามลำดับ โดยแสดงให้เห็นสัดส่วนของพลังงานที่ใช้ในการผลิตในแต่ละขั้นตอน





รูปที่ 7-52 ก รูปที่ 7-52 ข

รูปที่ 7-52 ก การแจกแจง total energy แต่ละขั้นตอน ในการผลิตเอทานอล 99.5% 1 ลิตร (+)

รูปที่ 7-52 ข การแจกแจง total energy แต่ละขั้นตอน ในการผลิตเอทานอล 99.5% 1 ลิตร (-)

เมื่อแจกแจงพลังงานที่ใช้ในการผลิต (total energy) ในแต่ละขั้นตอนของการผลิตเอทานอล 99.5% 1 ลิตร และนำมาเปรียบเทียบกัน ดังรูปที่ 7-52 ก และ 7-52 ข พบว่าในทุกกรณีให้แนวโน้มเดียวกันคือ การผลิตเอทานอล 99.5% 1 ลิตร ต้องใช้พลังงานส่วนใหญ่ในขั้นตอนการกำจัดน้ำ ขั้นตอนการกลั่นเอทานอลและขั้นตอนการผลิตกากน้ำตาล ตามลำดับ โดยการใช้พลังงานในขั้นตอนการทำไร่อ้อยมีปริมาณเล็กน้อย ส่วนพลังงานในขั้นตอนการขนส่งอ้อยและขั้นตอนการขนส่งกากน้ำตาลมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนอื่นๆ

7.2 สรุปผล

จากการวิเคราะห์วงจรชีวิตของการผลิตแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลด้วยข้อมูลทุติยภูมิซึ่งใช้เทคโนโลยีการกลั่นและเทคโนโลยี Molecular sieve ที่ติดตั้งในโรงกลั่นแอลกอฮอล์โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา ในกรณีศึกษานี้สามารถสรุปผลได้ดังนี้

พลังงาน

เมื่อพิจารณา FTT Total energy use ต่อเชื้อเพลิง 1 ลิตรพบว่าดีโซฮอล 95% ใช้พลังงานในการผลิตต่ำกว่าดีโซฮอล 99.5% สอดคล้องกับ FTT energy efficiency แต่เมื่อคิดต่อเชื้อเพลิง 1 ลิตรถึงแม้ว่าดีโซฮอลทั้ง 2 ชนิดจะเปลืองพลังงาน Total energy กว่าดีเซล แต่ประหยัด Fossil fuels และ Petroleum กว่าดีเซล ยกเว้นดีโซฮอล 99.5% ทั้งกรณี (+) และกรณี (-) ในโรงงาน ก ข ง จ และ ฉ ซึ่งมีปริมาณการใช้ Fossil fuels มากกว่าดีเซล และถ้าพิจารณา FTW Total energy use ในรูป kJ/km ดีโซฮอล 95% จะประหยัดพลังงานกว่าดีโซฮอล 99.5% แต่ดีโซฮอลทั้ง 2 ชนิดจะเปลืองพลังงานกว่าดีเซล

เมื่อพิจารณา TTW efficiency พบว่าดีโซฮอล 95% ให้ค่าใกล้เคียงกับดีโซฮอล 99.5% เนื่องจาก LHV และ fuel economy ใกล้เคียง แต่ต่างก็ให้ค่าต่ำกว่า TTW efficiency ของดีเซลเนื่องจากดีเซลมี LHV สูงกว่าและประหยัดเชื้อเพลิงกว่า

จากผลดังกล่าวข้างต้นในเชิงพลังงานสามารถสรุปได้ว่าจากการผลิตแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลด้วยเทคโนโลยีการผลิตในกรณีศึกษานี้ ดีโซฮอล 95% ประหยัดพลังงานกว่าดีโซฮอล 99.5%

Emissions

เมื่อพิจารณา Net CO_2 FTT emissions ต่อเชื้อเพลิง 1 ลิตรพบว่าดีโซฮอล 95% ให้ Net CO_2 FTT emissions ต่ำกว่าดีโซฮอล 99.5% และเมื่อเทียบกับดีเซลเฉพาะเชื้อเพลิงดีโซฮอล 95% เท่านั้นที่ให้ Net CO_2 FTT emissions ต่ำกว่าดีเซล เพราะอิทธิพลของ Net CO_2 LCA emissions ของเอทานอล 95% ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าของดีเซล

และเมื่อพิจารณาในแง่ Global Warming Potential ในรูป CO_2 equivalent GHG emissions (g/km) พบว่าดีโซฮอล 99.5% ให้ค่าสูงกว่าดีโซฮอล 95% จึงสรุปได้ว่าในช่วง FTT ดีโซฮอล 95% เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมกว่าดีโซฮอล 99.5% เมื่อพิจารณาค่า CO_2 equivalent GHG emissions อย่างไรก็ตามผลของ GWP ในรูป CO_2 equivalent GHG emissions ของเชื้อเพลิงดีโซฮอลทุกชนิดมีค่าสูงกว่าดีเซล

ส่วน emissions ตัวอื่นๆในรูป g/km พบว่าดีโซฮอล 95% จะให้ค่าที่ต่ำกว่าค่าของดีโซฮอล 99.5% ทุกกรณี

ทั้งในเชิงพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสามารถสรุปได้อย่างชัดเจนว่าดีโซฮอล 95% ประหยัดพลังงานกว่าดีโซฮอล 99.5% ตลอดวัฏจักร FTW และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมกว่าในช่วง FTT

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความสามารถในการทดแทนดีเซล

กากน้ำตาล [22] (ปีการผลิต 2542/43 คำนวณจากปริมาณกากน้ำตาลของแต่ละโรงงาน) ปริมาณ 2,367,121.51 ตัน หากนำมาผลิตเอทานอล 95% ทั้งหมดสามารถผลิตได้ 695,802,913 ลิตรต่อปี ซึ่งสามารถผสมกับดีเซลในสัดส่วน 84.5% ดีเซลผสม 15% เอทานอล 95% เป็นดีโซฮอล 95% ได้ 4,638,686,087 ลิตรต่อปี โดยใช้ดีเซล 3,919,689,743 ลิตรต่อปี (ปีการผลิต 2542/43)

ถ้านำกากน้ำตาลปริมาณเดียวกันมาผลิตเอทานอล 99.5% ทั้งหมดจะสามารถผลิตได้เพียง 470,710,670.6 ลิตรต่อปี ซึ่งสามารถผสมกับดีเซลในสัดส่วน 89% ดีเซลผสม 10% เอทานอล 99.5% เป็นดีโซฮอล จะได้ดีโซฮอล 99.5% ปริมาณ 4,707,106,706 ลิตรต่อปี โดยใช้ดีเซล 4,189,324,968 ลิตรต่อปี (ปีการผลิต 2542/43)

ถ้าผลิตดีโซฮอล 95% แทนดีโซฮอล 99.5% จะทดแทนดีเซลได้มากกว่า 200 ล้านลิตรต่อปี จะประหยัดพลังงานได้ปีละมากกว่า 9,000 ล้าน MJ

ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าเมื่อพิจารณาถึงศักยภาพการผลิตของประเทศจะพบว่าดีโซฮอล 95% ประหยัดพลังงานกว่าดีโซฮอล 99.5%

และเมื่อพิจารณาปริมาณการทดแทนดีเซล ดีโซฮอล 95% ก็สามารถทดแทนดีเซลได้มากกว่าดีโซฮอล 99.5%

7.3 ข้อเสนอแนะ

1.ถึงแม้ว่าดีโซฮอล 95% จะได้เปรียบเชิงพลังงานและให้ผลดีกว่าเมื่อพิจารณาในแง่ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเปรียบเทียบกับดีโซฮอล 99.5% การนำมาใช้ในเครื่องยนต์ต้องคำนึงถึงสมรรถนะและผลกระทบต่อเครื่องยนต์ด้วย และการตัดสินใจทดแทนเชื้อเพลิงทั่วไปด้วยเชื้อเพลิงทางเลือกต้องคำนึงถึงด้านอื่นๆด้วย เช่น ด้านเศรษฐศาสตร์ทั้งในแง่ของความได้เปรียบดุลพลังงานและในแง่ของผลกระทบของราคาของเชื้อเพลิงทางเลือกที่นำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงทั่วไป ผลกระทบต่อสังคมและธุรกิจอื่นๆที่เกี่ยวข้องด้วย ซึ่งการตัดสินใจนั้นในที่สุดก็ขึ้นอยู่กับผู้มีอำนาจกำหนดนโยบายว่าอะไรเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดที่ต้องพิจารณาเป็นเกณฑ์ลำดับแรก

2.การทำ LCA นั้นข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณเป็นข้อมูลสถิติที่มีตัวเลขคงที่ซึ่งในความเป็นจริงข้อมูลต่างๆมีความแปรผันและไม่แน่นอนและจะแปรผันตามปัจจัยต่างๆอีกมากมาย จึงเป็นการยากที่จะกำหนดตัวแทนของสภาพภาวะการณ์ด้วยตัวเลขที่แน่นอนตายตัวได้ แต่อย่างไรก็ตาม การทำ LCA จะช่วยให้เราเห็นภาพทิศทางได้อย่างคร่าวๆจากการที่เราไม่เคยมองเลย จึงเป็นข้อมูลสำคัญที่จะช่วยให้เราประเมินสิ่งต่างๆอย่างเป็นระบบได้ดียิ่งขึ้น

3.ด้วยวัตถุดิบปริมาณเท่าๆกัน เราผลิตเอทานอล 95% ได้มากกว่าเอทานอล 99.5% เสมอ และใช้พลังงานน้อยกว่าเสมอถ้าใช้เทคโนโลยีเดียวกัน ประสิทธิภาพพอๆกัน ดังนั้นถึงแม้ว่าเราจะทำ LCI (Life Cycle Inventory) ได้ตัวเลขที่ถูกต้องที่สุดและเป็นปัจจุบันที่สุดก็ตาม เราก็จะพบว่าเอทานอล 95% ในรูปของดีโซฮอล 95% ได้เปรียบกว่าเอทานอล 99.5% ในรูปดีโซฮอล 99.5% เสมอ แต่สำหรับการนำมาใช้ในรถยนต์ในแง่ของผลกระทบต่อเครื่องยนต์ เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นพิเศษ เนื่องจากถ้าทั้งดีโซฮอล 95% และดีโซฮอล 99.5% มีผลกระทบต่อเครื่องยนต์พอๆกัน เป็นที่แน่นอนว่า ดีโซฮอล 95% ย่อมได้เปรียบดีโซฮอล 99.5% (ไม่พิจารณาอิมัลซิไฟเออร์)

4.เมื่อเปรียบเทียบดีโซฮอลกับดีเซลสำหรับประเทศไทย ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพเชิงพลังงานจะต่ำกว่าดีเซล แต่การใช้ดีโซฮอลแทนดีเซลจะเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงฟอสซิลและลดการพึ่งพาปิโตรเลียมจากต่างชาติ

5.ที่ตั้งของโรงงานผลิตเอทานอลกับโรงงานน้ำตาลควรติดกัน เพื่อลดพลังงานและ emissions จากการขนส่งกากน้ำตาลและการขนส่งเชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตเอทานอล

6.การผสมดีโซฮอลควรกระทำที่โรงงานเอทานอล เพื่อลดพลังงานจากการขนส่งเอทานอลไปยังคลังดีเซล และควรจำหน่ายในพื้นที่รอบๆโรงงานเพื่อลดพลังงานจากการขนส่งดีโซฮอล

7.ถ้าพิจารณาเฉพาะเอทานอลจากกากน้ำตาลอย่างเดียวพบว่าปริมาณเอทานอลทั้งปีไม่พอที่จะผสมดีโซฮอลเพื่อทดแทนความต้องการใช้ดีเซลทั้งหมดได้ จึงควรส่งเสริมการนำดีโซฮอลมาใช้เฉพาะในพื้นที่ที่มีการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลได้เท่านั้น

8.เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ละเอียดถูกต้องกว่านี้สำหรับเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งในประเทศไทยต้องมีการศึกษาเชื้อเพลิงทุกชนิดในประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกัน เนื่องจากเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะมีเชื้อเพลิงชนิดอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องในการผลิตด้วยเสมอ

รายการอ้างอิง

[1] European Environmental Agency, Life Cycle Assessment (LCA) a guide to approaches, experiences and information sources. Environmental issues no.6. Germany, 1997.

[2] Wang, M. GREET1.5-transportation fuel cycles model (technical report). Argonne National Laboratory, 1999.

[3] Wang, M. Development and use of GREET 1.6 fuel-cycle model for transportation fuels and vehicle technologies. Argonne National Laboratory, 2001.

[4] Beer, T., et al. Comparison of transport fuels (6. Hydrated ethanol, detailes of fuels),(final report (EV45A/2/F3C) to the Australian Greenhouse Office on the stage 2 study on life-cycle emissions analysis of alternative fuels for heavy vehicles).(ม.ป.ท.), 2000.

[5] ศรีสุดา ทิพยรักษ์ และ คณะ, ผลของอัตราปุ๋ยเคมีและการแบ่งใส่ต่อผลผลิตอ้อยในดินทรายภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, สถาบันวิจัยพืชไร่.

[6] วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กรม. การศึกษาพฤติกรรมและรูปแบบการใช้พลังงานในการเพาะปลูกอ้อย (ดำเนินการศึกษาโดย คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (ม.ป.ท.).

[7] จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, สถาบันวิจัยพลังงาน. การใช้และการประหยัดพลังงานในโรงงานน้ำตาล (รายงานการศึกษา). (ม.ป.ท.), 2541. (เสนอ สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย กระทรวงอุตสาหกรรม)

[8] ธุรกิจพลังงาน, กรม. คุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง, สำนัก. การสัมมนาเรื่อง “โครงการเอทานอลกับอุตสาหกรรมมันสำปะหลัง” (โดยมูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี). 27 พฤศจิกายน 2545 ณ ห้องบอลรูม โรงแรมนารายณ์ สีลม กรุงเทพฯ.

[9] Beer, T., et al, Comparison of transport fuels (7. Diesohol, summary of fuels), (Final report (EV4SA/2/F3C) to the Australian Greenhouse Office on the stage 2 study on life-cycle emissions analysis of alternative fuels for heavy vehicles). (ม.ป.ท.), 2000.

[10] พิสุทธิ์ ธนบดีภัทร์. การศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้ดีโซฮอลต่อการเผาไหม้และสมรรถนะของเครื่องยนต์ CI. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

[11] Corkwell K. et al. The development of diesel/ethanol (diesohol) fuel blends for diesohol vehicles: Fuel formulation and properties (ISAF XIV technical papers fuel technologies session (5) 2002-FT-27). The 14th International Symposium on Alcohol Fuels. Phuket, Thailand, Nov 12-15, 2002.

[12] คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, สำนักงาน. สถานการณ์ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง ผลกระทบและแนวทางแก้ไข. (ม.ป.ท.), 2542.

[13] อภิรดี ยิ้มละมัย, ระบบการผลิตอ้อยและน้ำตาลทรายของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: กองวิจัยฝ่ายวางแผน ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร, 2530.

[14] คณะกรรมการการจัดทัศนศึกษาเรื่องอ้อยและน้ำตาลของไทยสำหรับนักวิชาการอ้อยและน้ำตาลนานาชาติ. อุตสาหกรรมน้ำตาลไทย. กรุงเทพฯ:คณะกรรมการจัดทัศนศึกษาเรื่องอ้อยและน้ำตาลของไทยสำหรับนักวิชาการอ้อยและน้ำตาลนานาชาติ, 2529.

[15] เกษตรและสหกรณ์, กระทรวง. เศรษฐกิจการเกษตร, สำนักงาน. ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีเพาะปลูก 2544/45

[16] วิธีการปลูกอ้อย.แหล่งที่มา: http://www.thai.net/canefarm.

[17] การจัดการปุ๋ย.แหล่งที่มา: http://www.thai.net/canefarm.

[18] เกษตรและสหกรณ์, กระทรวง. วิชาการเกษตร, กรม. เกษตรดีที่เหมาะสม สำหรับอ้อย (เกษตรดีที่เหมาะสม ลำดับที่ 19, ISBN 974-436-149-2). กรุงเทพฯ:โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, 2545.(พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ.2545 9,400 เล่ม)

[19] Fitzgerald, C., et al. Ethanol in Thailand: A feasible alternative to gasoline?. King Mongkut's university of technology thonburi, 2002.

[20] การเก็บเกี่ยว. แหล่งที่มา: http://www.thai.net/canefarm.

[21] การจัดการพันธุ์. แหล่งที่มา: http://www.thai.net/canefarm.

[22] อุตสาหกรรม, กระทรวง. ปลัดกระทรวงอุตสาหกรรม, สำนักงาน. คณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, สำนักงาน. ส่วนพัฒนาการผลิต. ฝ่ายเทคโนโลยีและประสานการควบคุม. ทำเนียบโรงงานน้ำตาลฤดูการผลิตปี 2542/43.(ม.ป.ท.),(ม.ป.ป.).

[23] อุตสาหกรรม, กระทรวง. ปลัดกระทรวงอุตสาหกรรม, สำนักงาน. คณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, สำนักงาน. ส่วนพัฒนาการผลิต. ฝ่ายเทคโนโลยีและประสานการควบคุม. ทำเนียบโรงงานน้ำตาลฤดูกาลผลิตปี 2543/44. (ม.ป.ท.),(ม.ป.ป.)

[24] ศจี ปิยะพงศ์ และ คณะ. การศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจ โครงการผลิตแอลกอฮอล์จากมันสำปะหลังเพื่อเป็นพลังงานทดแทน. โครงการวิจัยที่ ภ.25-02 การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์จากมันสำปะหลัง. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

[25] U.S. Environmental Protection Agency and Science Applications International Corporation. LCAccess-LCA101. 2001. Retrieved from http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/lca101.htm.

[26] Wang, M. GREET transportation fuel cycle analysis model [โปรแกรมคอมพิวเตอร์]. Illinoise: University of Chicago, Argonne National Laboratory, 1999.

[27] Sullivan, J. L., Han, W., Pipat Srithammavong. A life cycle assessment and cost analysis of ethanol use as an automotive fuel (ISAF XIV technical papers environmental and economic impacts (2) 2002-EE-12). The 14th International Symposium on Alcohol Fuels. Phuket, Thailand, Nov 12-15, 2002.

[28] คณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, สำนักงาน. สารสนเทศภูมิศาสตร์. แหล่งที่มา: http://www.ocsb.go.th.

[29] ณัฐพล อัษฎาธร. Deputy Managing Director, Karnchanaburi-sugar Industry Co.,Ltd. สัมภาษณ์, 21 กรกฎาคม 2546.

[30] รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์. Supervisor, Textile Division, Intertek Testing Services (Thailand) Limited. สัมภาษณ์, 2 พฤศจิกายน 2546.

[31] คณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, สำนักงาน. ข้อมูลสถิติ. แหล่งที่มา: http://www.ocsb.go.th.

[32] เทียนไชย จงพีร์เพียรและคณะ. การปรับปรุงบัญชีค่าขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงของประเทศ (รายงานการศึกษาขั้นสุดท้าย). (ม.ป.ท.), 2538. (บริษัทเบอร์รา จำกัด เสนอต่อ สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ).

[33] จากการคำนวณจากข้อมูลจากงานทดลองผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา

[34] บริษัท ปตท. จำกัด(มหาชน)

[35] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, รายงานประจำปี 2545. แหล่งที่มา: http://www.egat.co.th.

[36] General Motors, Corporation. Well-to-wheel energy use and greenhouse gas emissions of advanced fuel/vehicle systems (north American analysis). General Motors Corporation, 2001.

[37] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, โรงไฟฟ้าและเขื่อน. แหล่งที่มา: http://www.egat.co.th.

[38] การปกครอง, กรม. ข้อมูลพื้นฐานระดับอำเภอ. แหล่งที่มา: http://www.dopa.go.th .

[39] คณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, สำนักงาน. ศูนย์บริหารการผลิต, ราคาน้ำตาลและราคากากน้ำตาล.

[40] สถิติแห่งชาติ, สำนักงาน. ปริมาณเชื้อเพลิงที่ผู้ค้าน้ำมันจำหน่ายให้ลูกค้า จำแนกตามชนิดน้ำมันเชื้อเพลิง ภาค และจังหวัด พ.ศ. 2545. แหล่งที่มา: http://www.nso.go.th.

[41] โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา. โรงแอลกอฮอล์.(จัดทำโดย บริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน))

[42] โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา. เครื่องแยกน้ำออกจากแอลกอฮอล์ด้วยตัวดูดซับ (คู่มือการใช้งาน). (จัดทำโดย สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

Emission Factors

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Emission Factors

Emission factors ($EF_{i,j,k}$) ของ VOC, CO, NO_x, PM_{10}, CH_4 สำหรับเทคโนโลยีการเผาไหม้ต่างๆ ที่ใช้เชื้อเพลิงต่างๆกัน ได้จาก the fifth edition of EPA's AP-42 document (EPA 1995)[2]

คำนวณ SO_X emission factor สำหรับเทคโนโลยีการเผาไหม้ที่มิได้ใช้เชื้อเพลิงจากถ่านหิน, น้ำมันดิบ และน้ำมันเตา โดยสมมติว่า sulfur ทั้งหมดที่บรรจุในเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้จะถูกเปลี่ยนเป็น SO_2 โดยมีสูตรดังนี้ [2]

$$SO_{x,j} = Density / LHV_j \times 1{,}000{,}000 \times S_ratio_j \times 64 / 32, \quad (ก\text{-}1)$$

เมื่อ

$SO_{x,j}$ = SO_x (SO_2 เป็นหลัก) emission factor จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง j (มีหน่วย g/10^6 kJ ของเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้)

Density = ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง j (มีหน่วย กรัมต่อลิตร [g/l] สำหรับเชื้อเพลิงเหลว, กรัมต่อลูกบาศก์เมตร [g/m^3] สำหรับเชื้อเพลิงก๊าซ เช่น ก๊าซธรรมชาติและก๊าซไฮโดรเจน, หรือ กรัมต่อตัน [g/tonne] สำหรับเชื้อเพลิงแข็ง เช่น ถ่านหินและชีวมวล)

LHV_j = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง j (มีหน่วย kJ/l สำหรับเชื้อเพลิงเหลว, kJ/m^3 สำหรับเชื้อเพลิงก๊าซ, หรือ kJ/tonne สำหรับเชื้อเพลิงแข็ง)

S_ratio_j = สัดส่วนโดยน้ำหนักของซัลเฟอร์ในเชื้อเพลิง j

64 = มวลโมเลกุลของ SO_2

32 = มวลอะตอมของธาตุซัลเฟอร์ [2]

ใน GREET การคำนวณ CO_2 emission factor จากการเผาไหม้ คำนวณโดยใช้วิธีการ carbon balance มีสูตรดังนี้

$$CO_{2,j,k} = [Density_j / LHV_j \times 1{,}000{,}000 \times C_ratio_j - (VOC_{j,k} \times 0.85 + CO_{j,k} \times 0.43 + CH_{4,j,k} \times 0.75)] \times 44 / 12 \quad (ก\text{-}2)$$

เมื่อ

$CO_{2,j,k}$ = CO_2 emission factor จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง j โดยเทคโนโลยี k (มีหน่วย g/10^6 kJ ของเชื้อเพลิง j ที่ถูกเผาไหม้)

Density = ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง j (มีหน่วย g/l สำหรับเชื้อเพลิงเหลว, g/m^3 สำหรับเชื้อเพลิงก๊าซ, หรือ g/tonne สำหรับเชื้อเพลิงแข็ง)

LHV_j = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง j (มีหน่วย kJ/l สำหรับเชื้อเพลิง j, kJ/m^3 สำหรับเชื้อเพลิงก๊าซ, หรือ kJ/tonne สำหรับเชื้อเพลิงแข็ง)

C_ratio_j = สัดส่วนคาร์บอนโดยน้ำหนักในเชื้อเพลิง j

$VOC_{j,k}$ = VOC emission factor ของการเผาไหม้เชื้อเพลิง j โดยเทคโนโลยี k (มีหน่วย g/10^6 kJ ของเชื้อเพลิง j ที่ถูกเผาไหม้)

0.85 = ค่าประมาณเฉลี่ยของสัดส่วนคาร์บอนโดยน้ำหนักใน VOC emission จากการเผาไหม้

$CO_{j,k}$ = CO emission factor ของการเผาไหม้เชื้อเพลิง j โดยเทคโนโลยี k (มีหน่วย g/10^6 kJ ของเชื้อเพลิง j ที่ถูกเผาไหม้)

0.43 = สัดส่วนคาร์บอนโดยน้ำหนักใน CO

$CH_{4,j,k}$ = CH_4 emission factor ของการเผาไหม้เชื้อเพลิง j โดยเทคโนโลยี k (มีหน่วย g/10^6 kJ ของเชื้อเพลิง j ที่ถูกเผาไหม้)

0.75 = สัดส่วนคาร์บอนโดยน้ำหนักใน CH_4

44 = มวลโมเลกุลของ CO_2

12 = มวลอะตอมของธาตุคาร์บอน [2]

emission factors ของการเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันดีเซล แกโซลีน ถ่านหิน น้ำมันดิบ และไม้ และน้ำมันเตา แสดงในตารางที่ ก-1 ถึงตารางที่ ก-6 ตามลำดับ

ตารางที่ ก-1 แสดง emission factors ของการเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติ (in grams per mmBtu of fuel burned, based on lower heating values of fuels) [26]

	Utility/industrial boiler	Small industrial boiler	Large gas turbine	CC gas turbine	Stationary reciprocating engine
VOC (g)	2.7	2.7	1.4	1.4	230.4
CO (g)	41.1	41.1	3.7	3.7	379.847
NO_x (g)	92.9	48.9	78.2	78.2	1,074.467
PM_{10} (g)	3.7	3.7	3.6	3.6	11.607
SO_x (g)	0.309	0.309	0.309	0.309	0.309
CH_4 (g)	1.1	1.1	2.5	2.5	328.393
N_2O (g)	1.1	1.1	1.1	1.1	2.000
CO_2 (g)	59,863	59,863	59,922	59,922	57,721

ตารางที่ ก-2 แสดง emission factors ของการเผาไหม้น้ำมันดีเซล (in grams per mmBtu of fuel burned, based on lower heating values of fuels) [26]

	Industrial boiler	Commercial boiler	Stationary reciprocating engine	HDE trucks	Farming tractor
VOC (g)	0.710	1.2	40.86	90.0	90.0
CO (g)	17.700	17.7	459.6	500.0	334.0
NO_x (g)	84.700	70.6	2,133.6	300.0	939.0
PM_{10} (g)	3.530	3.81	150.0	43.52	43.520
SO_x (g)	12.607	12.607	12.607	12.607	12.607
CH_4 (g)	0.180	0.76	4.54	4.41	4.410
N_2O (g)	0.390	0.39	2.0	2.0	2.0
CO_2 (g)	80,402	80,399	79,571	79,354	79,615

ตารางที่ ก-3 แสดง emission factors ของการเผาไหม้แก๊โซลีน (in grams per mmBtu of fuel burned, based on lower heating values of fuels) [26]

	Stationary reciprocating engine	HDE trucks	Farming tractor
VOC (g)	1,169.05	210.0	210.0
CO (g)	30,754.4	1,200.0	1,200.0
NO_x (g)	799.5	200.0	662.0
PM_{10} (g)	49.1	7.81	7.81
SO_x (g)	9.666	9.666	9.666
CH_4 (g)	33.810	33.81	33.81
N_2O (g)	2.0	2.0	2.0
CO_2 (g)	23,691	73,123	73,123

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-4 แสดง emission factors ของการเผาไหม้ถ่านหิน (in grams per mmBtu of fuel burned, based on lower heating values of fuels) [26]

	Utility boiler	Gasification/ turbine	Industrial boiler
VOC (g)	1.501	1.477	1.501
CO (g)	12.567	12.309	12.567
NO_x (g)	285.020	44.068	285.020
PM_{10} (g)	12.661	6.524	12.661
SO_x (g)	600.230	44.068	600.230
CH_4 (g)	0.750	5.098	0.750
N_2O (g)	0.298	5.098	0.298
CO_2 (g)	97,180	97,169	97,180

ตารางที่ ก-5 แสดง emission factors ของการเผาไหม้น้ำมันดิบและไม้ (in grams per mmBtu of fuel burned, based on lower heating values of fuels) [26]

	น้ำมันดิบ	ไม้
	Industrial boiler	FBC boiler
VOC (g)	0.820	5.341
CO (g)	23.740	37.388
NO_x (g)	181.600	53.412
PM_{10} (g)	29.712	6.944
SO_x (g)	393.846	2.003
CH_4 (g)	0.36	3.834
N_2O (g)	2.0	4.0
CO_2 (g)	76,677	105,933

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-6 แสดง emission factors ของการเผาไหม้น้ำมันเตา (in grams per mmBtu of fuel burned, based on lower heating values of fuels) [26]

	Utility boiler	Industrial boiler	Commercial boiler
VOC (g)	2.460	0.910	1.103
CO (g)	16.2	16.2	16.214
NO_x (g)	103.7	178.2	19.457
PM_{10} (g)	6.15	6.15	14.083
SO_x (g)	129.643	129.643	129.643
CH_4 (g)	0.91	3.24	0.7
N_2O (g)	0.36	0.36	0.357
CO_2 (g)	82,677	82,675	82,681

ค่า Carbon and Sulfur Ratios แสดงในตารางที่ ก-7 ส่วนค่า Global Warming Potentials of GHGs แสดงในตารางที่ ก-8 และค่า Specifications ของเชื้อเพลิงต่างๆแสดงในตารางที่ ก-9

ตารางที่ ก-7 แสดงค่า Carbon and Sulfur Ratios [26]

ITEM	RATIO
Carbon ratio of VOC	0.85
Carbon ratio of CO	0.43
Carbon ratio of CH_4	0.75
Carbon ratio of CO_2	0.27
Sulfur ratio of SO_2	0.50

ตารางที่ ก-8 แสดงค่า Global Warming Potentials of GHGs [26]

ITEM	GWPs
CO_2	1
CH_4	21
N_2O	310
VOC	0
CO	0
NO_2	0

ตารางที่ ก-9 แสดงค่า Specifications of Fuels [26]

Fuel	Heating Value			Density	C ratio	S ratio
	Calculation: LHV	LHV	HHV		(% by wt)	(ppm by wt)
Liquid Fuels:	*Btu/gal*	*Btu/gal*	*Btu/gal*	*Grams/gal*		
Crude oil	130,000	130,000	138,100	3,200	85.0%	16,000
Conventional gasoline	115,500	115,500	125,000	2,791	85.5%	200
Conventional diesel	128,500	128,500	138,700	3,240	87.0%	250
Residual oil	140,000	140,000	149,500	3,630	87.0%	5,000
Ethanol	76,000	76,000	84,500	2,996	52.2%	0
Natural gas liquids	81,460	81,460	90,500			0
Gaseous Fuels:	*Btu/SCF*	*Btu/SCF*	*Btu/SCF*	*Grams/SCF*		
Natural gas	928	928	1,031	20.5	74.0%	7
Solid Fuels:	*Btu/ton*	*Btu/ton*	*Btu/ton*			
Coal	18,495,000	18,495,000	20,550,000		60.0%	11,000
Coking coal	20,532,600	20,532,600	22,814,000			11,800
Woody biomass	17,000,000	17,000,000				0
Herbaceous biomass	15,600,000	15,600,000				0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

พลังงานและ emissions ของการผลิตเชื้อเพลิงปิโตรเลียม ถ่านหินและก๊าซธรรมชาติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พลังงานและ emissions ของการผลิตเชื้อเพลิงปิโตรเลียม ถ่านหินและก๊าซธรรมชาติ

พลังงานและ emissions ของการผลิตเชื้อเพลิงปิโตรเลียม ถ่านหินและก๊าซธรรมชาติแสดงในตารางที่ ข-1 ตารางที่ ข-2 และ ตารางที่ ข-3 ตามลำดับ

ตารางที่ ข-1 แสดงพลังงานและ emissions ของการผลิตเชื้อเพลิงปิโตรเลียม [26]

หน่วย: Btu or Grams per mmBtu of Fuel Throughput

	Conventional Gasoline	Residual Oil	Diesel
Total energy (Btu)	262,049	109,985	197,564
Fossil fuels (Btu)	248,604	102,982	186,546
Petroleum (Btu)	116,022	47,300	87,351
VOC (g)	17.343	7.031	8.848
CO (g)	27.147	19.156	23.954
NO_x (g)	38.763	19.676	31.260
PM_{10} (g)	3.681	1.573	2.881
SO_x (g)	22.357	9.310	17.029
CH_4 (g)	112.844	96.517	103.868
N_2O (g)	0.263	0.117	0.201
CO_2 (g)	19,493	8,749	14,881

ตารางที่ ข-2 แสดงพลังงานและ emissions ของการผลิตถ่านหิน [26]

หน่วย: Btu or Grams per mmBtu of Fuel Throughput

Total energy (Btu)	18,891
Fossil fuels (Btu)	17,110
Petroleum (Btu)	11,657
VOC (g)	7.991
CO (g)	9.087
NO_x (g)	8.082
PM_{10} (g)	4.418
SO_x (g)	6.976
CH_4 (g)	118.954
N_2O (g)	0.020
CO_2 (g)	1,403

ตารางที่ ข-3 แสดงพลังงานและ emissions ของการผลิตก๊าซธรรมชาติ [26]

หน่วย: Btu or Grams per mmBtu of Fuel Throughput

Total energy (Btu)	96,271
Fossil fuels (Btu)	94,784
Petroleum (Btu)	4,607
VOC (g)	3.090
CO (g)	20.474
NO_x (g)	31.164
PM_{10} (g)	0.832
SO_x (g)	3.363
CH_4 (g)	197.371
N_2O (g)	0.126
CO_2 (g)	6,776

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

การคำนวณพลังงานและ emissions ของการผลิตไฟฟ้า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณพลังงานและ emissions ของการผลิตไฟฟ้า

ตารางที่ ค-1 และตารางที่ ค-2 แสดงการผลิตและซื้อพลังงานไฟฟ้าและแสดงกำลังผลิตในระบบตามลำดับ

ตารางที่ ค-1 แสดงการผลิตและซื้อพลังงานไฟฟ้า [35]

ผลิตจาก	ปีงบประมาณ 2545	ร้อยละ
	ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง	
ก๊าซธรรมชาติ	35,607.91	32.85
ลิกไนต์	16,890.30	15.58
น้ำมันเตา	2,024.49	1.87
พลังน้ำ	6,480.87	5.98
น้ำมันดีเซล	257.52	0.24
พลังงานทดแทน	1.81	-
พลังงานไฟฟ้าที่ซื้อ	47,126.34	43.48
รวมทั้งสิ้น	108,389.24	100.00

ตารางที่ ค-2 แสดงกำลังผลิตในระบบ [35]

ประเภทโรงไฟฟ้า	ปีงบประมาณ 2545	ร้อยละ
	เมกะวัตต์	
พลังความร้อน	6,255.00	26.33
พลังความร้อนร่วม	5,074.60	21.36
พลังน้ำ	2,886.27	12.15
กังหันแก๊ส	778.00	3.28
ดีเซล	6.00	0.03
พลังงานทดแทน	0.53	-
รวมกำลังการผลิตของ กฟผ.	15,000.40	63.15
กำลังผลิตเอกชนรายใหญ่		
ภายในประเทศ	6,346.00	26.72
ภายนอกประเทศ	340.00	1.43
กำลังผลิตเอกชนรายเล็ก	1,768.40	7.44
สายส่งเชื่อมโยงไทย-มาเลเซีย	300.00	1.26
รวมกำลังผลิตเอกชน	8,754.40	36.85
รวมกำลังผลิตในระบบ	23,754.80	100.00

ประสิทธิภาพของโรงงานไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ [37]

1. โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (Combined Cycle Power Plant)

   ประสิทธิภาพรวม ≈ 40-45 %

2. โรงไฟฟ้าพลังความร้อน (Steam Power Plant)

   ประสิทธิภาพรวม ≈ 30-35 %

3. โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ (Gas Turbine Power Plant)

   ประสิทธิภาพรวม ≈ 25 %

4. โรงไฟฟ้าดีเซล (Diesel Power Plant)

   ประสิทธิภาพรวม ≈ 30-40 %

การคำนวณ

1. โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (Combined Cycle Power Plant)

   เลือก ประสิทธิภาพรวม = 40%

   Process Fuel = 1/efficiency – 1 = 1/0.4 – 1 = 1.5 kW-h/kW-h ของไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าแบบนี้

   1.5 kW-h นี้มาจากก๊าซธรรมชาติ 100%

2. โรงไฟฟ้าพลังความร้อน (Steam Power Plant)

   เลือก ประสิทธิภาพรวม = 30%

   Process Fuel = 1/efficiency – 1 = 1/0.3 – 1 = 2.333 kW-h/kW-h ของไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าแบบนี้

   สมมติให้โรงไฟฟ้าแบบนี้ใช้เชื้อเพลิงลิกไนต์กับน้ำมันเตา

3. โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ (Gas Turbine Power Plant)

   เลือก ประสิทธิภาพรวม = 25%

   Process Fuel = 1/efficiency – 1 = 1/0.25 – 1 = 3 kW-h/kW-h ของไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าแบบนี้

   3 kW-h นี้มาจากก๊าซธรรมชาติ 100%

4. โรงไฟฟ้าดีเซล (Diesel Power Plant)

   เลือก ประสิทธิภาพรวม = 30%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Process Fuel = 1/efficiency – 1 = 1/0.3 – 1 = 2.333 kW-h/kW-h ของไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าแบบนี้

2.333 kW-h นี้มาจากดีเซล

จากข้อมูลกำลังผลิตในระบบของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมและโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซพบว่า

กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมเป็น 5,074.60 MW

กำลังผลิตของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซเป็น 778.00 MW

จึงสมมติให้สัดส่วนของไฟฟ้าที่ผลิตจากก๊าซธรรมชาติสำหรับแต่ละเทคโนโลยีเป็นดังนี้

ไฟฟ้าที่ผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติคิดเป็นสัดส่วน

(5,074.60 / (5,074.60+778.00)) x 100 = 86.707%

ไฟฟ้าที่ผลิตจากโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติคิดเป็นสัดส่วน

100 – 86.707 = 13.293%

เมื่อพิจารณาพลังงานไฟฟ้าเฉพาะที่ผลิตจาก ก๊าซธรรมชาติ ลิกไนต์ น้ำมันเตา พลังน้ำ และน้ำมันดีเซล พบว่า

ผลิตจากก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง

=((0.86707x35,607.91x1.5)+(0.13293x35,607.91x3)) x 10^6 kW-h

ดังนั้นใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง = 60,511.904 x 10^6 kW-h --*

ผลิตจากลิกไนต์ = 16,890.30 x 2.333 x 10^6 kW-h

ดังนั้นใช้ลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง = 39,405.07 x 10^6 kW-h --*

ผลิตจากน้ำมันเตา = 2,024.49 x 2.333 x 10^6 kW-h

ดังนั้นใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง = 4,723.135 x 10^6 kW-h --*

ผลิตจากน้ำมันดีเซล = 257.52 x 2.333 x 10^6 kW-h

ดังนั้นใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง = 600.794 x 10^6 kW-h --*

เมื่อพลังงานไฟฟ้ารวม = 61,261.09 x 10^6 kW-h

เป็นพลังงานไฟฟ้าที่มาจากเชื้อเพลิง

(61,261.09 – 6480.87)/61,261.09 x 100 = 89.421%

เป็นพลังงานไฟฟ้าที่มาจากน้ำ = 100 – 89.421 = 10.579%

ดังนั้นพลังงานไฟฟ้า 1 kW-h

เป็นพลังงานไฟฟ้าที่มาจากเชื้อเพลิง 0.89421 kW-h

เป็นพลังงานไฟฟ้าที่มาจากน้ำ 0.10579 kW-h

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คิดเป็น 0.10579 x 3,412.128 = 360.969 Btu

เชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตไฟฟ้ารวม 60,511.904 + 39,405.07 + 4,723.135 + 600.794

= 105,240.903 x 10^6 kW-h

ประกอบด้วยก๊าซธรรมชาติ (60,511.904/105,240.903) x 100 = 57.498%

ลิกไนต์ (39,405.07/105,240.903) x 100 = 37.443%

น้ำมันเตา (4,723.135/105,240.903) x 100 = 4.488%

น้ำมันดีเซล 100 – 57.498 – 37.443 – 4.488 = 0.571%

เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากเชื้อเพลิง (61,261.09 – 6,480.87) x 10^6 = 54,780.22 x 10^6 kW-h มาจากเชื้อเพลิง 105,240.903 x 10^6 kW-h

ดังนั้นไฟฟ้า (ที่ผลิตจากเชื้อเพลิง) 1 kW-h มาจากเชื้อเพลิง 105,240.903 / 54,780.22 = 1.921 kW-h

∴ ไฟฟ้า 0.89421 kW-h (ที่ผลิตจากเชื้อเพลิง) มาจากเชื้อเพลิง = 1.921 x 0.89421

= 1.718 kW-h

ประกอบด้วยก๊าซธรรมชาติ 0.57498 x 1.718 = 0.988 kW-h

ลิกไนต์ 0.37443 x 1.718 = 0.643 kW-h

น้ำมันเตา 0.04488 x 1.718 = 0.077 kW-h

น้ำมันดีเซล 1.718 – 0.988 – 0.643 – 0.077 = 0.01 kW-h

ดังนั้นพลังงานไฟฟ้า 1 kW-h (จากก๊าซธรรมชาติ, ลิกไนต์, น้ำมันเตา, พลังน้ำ, น้ำมันดีเซล) ใช้

ก๊าซธรรมชาติ 0.988 kW-h

ลิกไนต์ 0.643 kW-h

น้ำมันเตา 0.077 kW-h

น้ำมันดีเซล 0.01 kW-h

1 kW-h = 3,600 kJ

1 Btu = 1,055.06 J = 1.05506 kJ

จากสมมติฐานการคำนวณ 1 kW-h = 3,600/1.05506 = 3,412.128 Btu

เนื่องจากการผลิต ก๊าซธรรมชาติ, ลิกไนต์, น้ำมันเตา, น้ำมันดีเซล 1 Btu มีค่าต่างๆ ดังตารางที่ ค-3

ตารางที่ ค-3 แสดงค่าพลังงานและ emissions ของการผลิตเชื้อเพลิงต่างๆ 1 Btu

หน่วย: Btu หรือ กรัม ($x10^{-6}$)

	น้ำมันเตา	น้ำมันดีเซล	ลิกไนต์	ก๊าซธรรมชาติ
Total energy (Btu)	109,985	197,564	18,891	96,271
Fossil fuels (Btu)	102,982	186,546	17,110	94,784
Petroleum (Btu)	47,300	87,351	11,657	4,607
VOC (g)	7.031	8.848	7.991	3.090
CO (g)	19.156	23.954	9.087	20.474
NO_x (g)	19.676	31.260	8.082	31.164
PM_{10} (g)	1.573	2.881	4.418	0.832
SO_x (g)	9.310	17.029	6.976	3.363
CH_4 (g)	96.517	103.868	118.954	197.371
N_2O (g)	0.117	0.201	0.020	0.126
CO_2 (g)	8,749	14,881	1,403	6,776

ดังนั้น ก๊าซธรรมชาติ 0.988 kW-h

ลิกไนต์ 0.643 kW-h

น้ำมันเตา 0.077 kW-h

น้ำมันดีเซล 0.01 kW-h

เกิดค่าต่างๆ ดังตารางที่ ค-4

ตารางที่ ค-4 แสดงค่าพลังงานและ emissions ของการผลิตเชื้อเพลิงต่างๆที่ใช้ผลิตไฟฟ้า 1 kW-h

	น้ำมันเตา	น้ำมันดีเซล	ลิกไนต์	ก๊าซธรรมชาติ	รวม
Total energy (Btu)	28.897	6.741	41.447	324.547	401.632
Fossil fuels (Btu)	27.057	6.365	37.539	319.534	390.495
Petroleum (Btu)	12.427	2.981	25.575	15.531	56.514
VOC (g)	0.00185	0.000302	0.0175	0.0104	0.0301
CO (g)	0.00503	0.000817	0.02	0.069	0.0948
NO_x (g)	0.00517	0.00107	0.018	0.105	0.129
PM_{10} (g)	0.000413	0.0000983	0.00969	0.0028	0.0130
SO_x (g)	0.00245	0.000581	0.0153	0.0113	0.0296
CH_4 (g)	0.0254	0.00354	0.261	0.665	0.955
N_2O (g)	0.0000307	0.00000686	0.0000439	0.000425	0.000506
CO_2 (g)	2.299	0.508	3.078	22.843	28.728

Emissions จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้า

1. จากก๊าซธรรมชาติ 0.988 kW-h

86.707% ใช้ใน CC Gas Turbine

13.293% ใช้ใน Large Gas Turbine

VOC:

$(1.4 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.988 \times 0.86707) + (1.4 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.988 \times 0.13293)$ กรัม

CO:

$(3.7 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.988 \times 0.86707) + (3.7 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.988 \times 0.13293)$ กรัม

NO_x:

$(78.2 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.988 \times 0.86707) + (78.2 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.988 \times 0.13293)$ กรัม

PM_{10}:

$(3.6 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.988 \times 0.86707) + (3.6 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.988 \times 0.13293)$ กรัม

SO_x:

$(0.309 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.988 \times 0.86707) + (0.309 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.988 \times 0.13293)$ กรัม

CH_4:

$(2.5 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.988 \times 0.86707) + (2.5 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.988 \times 0.13293)$ กรัม

N_2O:

$(1.1 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.988 \times 0.86707) + (1.1 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.988 \times 0.13293)$ กรัม

CO_2:

$(59,922 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.988 \times 0.86707) + (59,922 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.988 \times 0.13293)$ กรัม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

VOC: 0.00472 กรัม

CO: 0.0125 กรัม

NO_x: 0.264 กรัม

PM_{10}: 0.0121 กรัม

SO_x: 0.00104 กรัม

CH_4: 0.00843 กรัม

N_2O: 0.00371 กรัม

CO_2: 202.008 กรัม

2. จาก ลิกไนต์ 0.643 kW-h (Industrial boiler 100%)

VOC = $1.501 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.643 = 0.00329$ กรัม

CO = $12.567 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.643 = 0.0276$ กรัม

NO_x = $285.020 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.643 = 0.625$ กรัม

PM_{10} = $12.661 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.643 = 0.0278$ กรัม

SO_x = $600.230 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.643 = 1.317$ กรัม

CH_4 = $0.750 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.643 = 0.00165$ กรัม

N_2O = $0.298 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.643 = 0.000654$ กรัม

CO_2 = $97,180 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.643 = 213.213$ กรัม

3. จาก น้ำมันเตา 0.077 kW-h (Industrial boiler 100%)

VOC = $0.910 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.077 = 0.000239$ กรัม

CO = $16.2 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.077 = 0.00426$ กรัม

NO_x = $178.2 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.077 = 0.0468$ กรัม

PM_{10} = $6.15 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.077 = 0.00162$ กรัม

SO_x = $129.643 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.077 = 0.0341$ กรัม

CH_4 = $3.24 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.077 = 0.000851$ กรัม

N_2O = $0.36 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.077 = 0.0000946$ กรัม

CO_2 = $82,675 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.077 = 21.722$ กรัม

4. จาก น้ำมันดีเซล 0.01 kW-h (Stationary reciprocating engine 100%)

VOC = $40.86 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.01 = 0.00139$ กรัม

CO = $459.6 \times 10^{-6} \times 3,412.128 \times 0.01 = 0.0157$ กรัม

NO_x = 2,133.6 x 10^{-6} x 3,412.128 x 0.01 = 0.0728 กรัม

PM_{10} = 150.0x 10^{-6} x 3,412.128 x 0.01 = 0.00512 กรัม

SO_x = 12.607 x 10^{-6} x 3,412.128 x 0.01 = 0.000430 กรัม

CH_4 = 4.54 x 10^{-6} x 3,412.128 x 0.01 = 0.000155 กรัม

N_2O = 2.0 x 10^{-6} x 3,412.128 x 0.01 = 0.0000682 กรัม

CO_2 = 79,571 x 10^{-6} x 3,412.128 x 0.01 = 2.715 กรัม

สรุปพลังงานและ emissions จากการผลิตไฟฟ้า

1 kW-h ของไฟฟ้ามาจาก 1.718 kW-h ของเชื้อเพลิง ซึ่งประกอบด้วย

ก๊าซธรรมชาติ 0.988 kW-h

ลิกไนต์ 0.643 kW-h

น้ำมันเตา 0.077 kW-h

น้ำมันดีเซล 0.01 kW-h

1.718 kW-h = 1.718 x 3,412.128 = 5,862.036 Btu

ดังนั้น Total energy = พลังงานทั้งหมดจากทุกเชื้อเพลิง + พลังงานทั้งหมดที่ใช้ผลิตเชื้อเพลิงนั้น

Fossil fuels = พลังงานทั้งหมดจาก Fossil fuels + พลังงานจาก Fossil fuels ที่ใช้ผลิตเชื้อเพลิงนั้น

Petroleum = พลังงานทั้งหมดจาก Petroleum + พลังงานจาก Petroleum ที่ใช้ผลิตเชื้อเพลิงนั้น

Total energy = 5,862.036 + 401.632 + 360.969 = 6,624.637 Btu

Fossil fuels = 5,862.036 + 390.495 = 6,252.531 Btu

Petroleum = 3,412.128 x (0.077 + 0.01) + 56.514 = 353.369 Btu

VOC = 0.0397 g

CO = 0.155 g

NO_x = 1.138 g

PM_{10} = 0.0596 g

SO_x = 1.382 g

CH_4 = 0.966 g

N_2O = 0.00503 g

CO_2 = 468.386 g

เมื่อคิดต่อไฟฟ้า 10^6 Btu จะคูณค่าเหล่านี้ด้วย 10^6/3,412.128 = 293.072 จะได้ดังตารางที่ ค-5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-5 แสดงพลังงานและ emissions จากการผลิตไฟฟ้า (ที่โรงไฟฟ้า)

หน่วย: Btu หรือ กรัม ต่อ mmBtu ของไฟฟ้า

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
Total energy (Btu)	1,941,495.615
Fossil fuels (Btu)	1,832,441.765
Petroleum (Btu)	103,562.560
VOC (g)	11.635
CO (g)	45.426
NO_x (g)	333.516
PM_{10} (g)	17.467
SO_x (g)	405.026
CH_4 (g)	283.108
N_2O (g)	1.474
CO_2 (g)	137,270.822

เมื่อคิดการสูญเสียพลังงานจากระบบสายส่งไฟฟ้าเป็น 10% จะต้องหารค่าต่างๆจากตารางที่ ค-5 ด้วย 0.9 เกิดค่าต่างๆ ดังตารางที่ ค-6

ตารางที่ ค-6 แสดงพลังงานและ emissions จากการผลิตไฟฟ้า (ผ่านระบบสายส่ง)

หน่วย: Btu หรือ กรัม ต่อ mmBtu ของไฟฟ้า

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
Total energy (Btu)	2,157,217.350
Fossil fuels (Btu)	2,036,046.406
Petroleum (Btu)	115,069.511
VOC (g)	12.928
CO (g)	50.473
NO_x (g)	370.573
PM_{10} (g)	19.408
SO_x (g)	450.029
CH_4 (g)	314.564
N_2O (g)	1.638
CO_2 (g)	152,523.136

ภาคผนวก ง

การคำนวณพลังงานและ emissions ของการผลิตปุ๋ยและสารเคมี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณพลังงานและ emissions ของการผลิตปุ๋ยและสารเคมี

ตารางที่ ง-1 และ ง-2 แสดงพลังงานและสัดส่วนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยและสารเคมีตามลำดับ

ตารางที่ ง-1 แสดงพลังงานและสัดส่วนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตปุ๋ย [2]

Parameter	N	P_2O_5	K_2O
Energy use (Btu/lb)			
Shapouri et al. 1995[a]	22,159	4,175	1,245
Wang et al. 1997b	21,111	4,903	2,270
Bhat et al. 1994	23,893	1,947	2,067
Mudahar and Hignett (1987 a,b)[b]	33,641	7,515	5,900
GREET 1.5: per lb (per g.)	21,110 (46.5)	4,900 (10.8)	2,270 (5.0)
Fuel Share (%)[c]			
Diesel	0	27	31
Natural gas	90	26	27
Electricity	10	47	42

[a]Data in Shapouri et al. were based on the 1992 survey by the Fertilizer Institute. The energy use was an HHV-based value.

[b] The values by Mudahar et al. were based on data from the early 1980s. The energy use values explicitly included packaging, transportation, and application as well as production. Other studies may implicitly include energy use for packaging and transportation. Energy use required for application might be included in farming activities in other studies. The values are HHV based.

[c] Based on Shapouri et al. (1995)

ตารางที่ ง-2 แสดงพลังงานและสัดส่วนเชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตสารเคมี [2]

Parameter	Herbicides				Insecticides	
	Atrazine	Metolachor	Acetochlor	Cyanazine	Other Crops	Corn
Energy Use (Btu/lb)						
Wang et al. 1997b	81,720	118,949	119,856	86,714	NE[a]	104,420
Swanton et al. 1996	81,811	158,446	NE	NE	NE	NE
Shapouri et al. 1995	NE	NE	NE	NE	158,464	NE
Bhat et al. 1994	81,825	118,862	NE	86,563	NE	NE
Green 1987	82,687	119,723	NE	87,423	NE	NE
GREET 1.5: per lb	82,000	119,000	120,000	86,850	117,000	105,400
(per g)	(180.6)	(262.1)	(264.3)	(191.3)	(257.7)	(231.3)
Fuel share (%)						
Diesel	30%	30%	30%	30%	60%	60%
Residual oil	30%	30%	30%	30%	0%	0%
NG	23%	23%	23%	23%	23%	23%
Electricity	17%	17%	17%	17%	17%	17%
[a]NE = not estimated						

คำนวณพลังงานและ emissions ของการผลิตปุ๋ย

รูปที่ ง-1 แสดงแผนภาพขั้นตอนการผลิตปุ๋ย

ตัวอย่างสูตรปุ๋ย 15 – 15 – 15 หมายความว่า

มี N 15% โดยน้ำหนัก

P_2O_5 15% โดยน้ำหนัก

K_2O 15% โดยน้ำหนัก

งานวิจัยครั้งนี้เลือกใช้ค่าพลังงานของการผลิตปุ๋ยดังตารางที่ ง-3 ข้างล่างนี้

ตารางที่ ง-3 แสดงพลังงานและสัดส่วนเชื้อเพลิงในการผลิตปุ๋ยที่เลือกใช้ในการคำนวณ [2]

Parameter	N	N_2O_5	K_2O
Energy use (Btu/lb)			
GREET 1.5: per lb (per g.)	21,110 (46.5)	4,900 (10.8)	2,270 (5.0)
Fuel share (%)			
Diesel	0	27	31
Natural gas	90	26	27
Electricity	10	47	42

การคำนวณ

N:พลังงานที่ใช้ผลิตปุ๋ย N = 46.5 Btu/g

เป็นพลังงานจากก๊าซธรรมชาติ = 46.5 x 0.9 = 41.85 Btu

เป็นพลังงานจากไฟฟ้า = 46.5 x 0.1 = 4.65 Btu

P_2O_5:พลังงานที่ใช้ผลิตปุ๋ย P_2O_5 = 10.8 Btu/g

เป็นพลังงานจากน้ำมันดีเซล = 10.8 x 0.27 = 2.916 Btu

เป็นพลังงานจากก๊าซธรรมชาติ = 10.8 x 0.26 = 2.808 Btu

เป็นพลังงานจากไฟฟ้า = 10.8 x 0.47 = 5.076 Btu

K_2O:พลังงานที่ใช้ผลิตปุ๋ย K_2O = 5.0 Btu/g

เป็นพลังงานจากน้ำมันดีเซล = 5.0 x 0.31 = 1.55 Btu

เป็นพลังงานจากก๊าซธรรมชาติ = 5.0 x 0.27 = 1.35 Btu

เป็นพลังงานจากไฟฟ้า = 5.0 x 0.42 = 2.1 Btu

เกิดค่าต่างๆดังนี้ (พลังงานและ emissions จากการผลิตเชื้อเพลิงซึ่งนำมาผลิตปุ๋ย)

N:

Total energy = $[(96,271x41.85)+(2,157,217.350x4.65)] x10^{-6}$ = 14.060 Btu

Fossil fuels = $[(94,784x41.85)+(2,036,046.406x4.65)] x10^{-6}$ = 13.434 Btu

Petroleum = $[(4,607x41.85)+(115,069.511x4.65)] x10^{-6}$ = 0.728 Btu

VOC = [(3.090x41.85)+(12.928x4.65)] $x10^{-6}$ = 0.000189 กรัม

CO = [(20.474x41.85)+(50.473x4.65)] $x10^{-6}$ = 0.00109 กรัม

NO_x = [(31.164x41.85)+(370.573x4.65)] $x10^{-6}$ = 0.00303 กรัม

PM_{10} = [(0.832x41.85)+(19.408x4.65)] $x10^{-6}$ = 0.000125 กรัม

SO_x = [(3.363x41.85)+(450.029x4.65)] $x10^{-6}$ = 0.00223 กรัม

CH_4 = [(197.371x41.85)+(364.564x4.65)] $x10^{-6}$ = 0.00972 กรัม

N_2O = [(0.126x41.85)+(1.638x4.65)] $x10^{-6}$ = 0.0000129 กรัม

CO_2 = [(6,776x41.85)+(152,523.136x4.65)] $x10^{-6}$ = 0.993 กรัม

P_2O_5:

Total energy = [(197,564x2.916)+(96,271x2.808)+(2,157,217.350x5.076)] $x10^{-6}$

= 11.796 Btu

Fossil fuels = [(186,546x2.916)+(94,784x2.808)+(2,036,046.406x5.076)] $x10^{-6}$

= 11.145 Btu

Petroleum = [(87,351x2.916)+(4,607x2.808)+(115,069.511x5.076)] $x10^{-6}$ = 0.852 Btu

VOC = [(8.848x2.916)+(3.090x2.808)+(12.928x5.076)] $x10^{-6}$ = 0.000100 กรัม

CO = [(23.954x2.916)+(20.474x2.808)+(50.473x5.076)] $x10^{-6}$ = 0.000384 กรัม

NO_x = [(31.260x2.916)+(31.164x2.808)+(370.573x5.076)] $x10^{-6}$ = 0.00206 กรัม

PM_{10} = [(2.881x2.916)+(0.832x2.808)+(19.408x5.076)] $x10^{-6}$ = 0.000109 กรัม

SO_x = [(17.029x2.916)+(3.363x2.808)+(450.029x5.076)] $x10^{-6}$ = 0.00234 กรัม

CH_4 = [(103.868x2.916)+(197.371x2.808)+(314.564x5.076)] $x10^{-6}$ = 0.00245 กรัม

N_2O = [(0.201x2.916)+(0.126x2.808)+(1.638x5.076)] $x10^{-6}$ = 0.00000925 กรัม

CO_2 = [(14,881x2.916)+(6,776x2.808)+(152,523.136x5.076)] $x10^{-6}$ = 0.837 กรัม

K_2O:

Total energy = [(197,564x1.55)+(96,271x1.35)+(2,157,217.350x2.1)] $x10^{-6}$ =4.966 Btu

Fossil fuels = [(186,546x1.55)+(94,784x1.35)+(2,036,046.406x2.1)] $x10^{-6}$ = 4.693 Btu

Petroleum = [(87,351x1.55)+(4,607x1.35)+(115,069.511x2.1)] $x10^{-6}$ = 0.383 Btu

VOC = [(8.848x1.55)+(3.090x1.35)+(12.928x2.1)] $x10^{-6}$ = 0.0000450 กรัม

CO = [(23.954x1.55)+(20.474x1.35)+(50.473x2.1)] $x10^{-6}$ =0.000171 กรัม

NO_x = [(31.260x1.55)+(31.164x1.35)+(370.573x2.1)] $x10^{-6}$ = 0.000869 กรัม

PM_{10} = [(2.881x1.55)+(0.832x1.35)+(19.408x2.1)] $x10^{-6}$ = 0.0000463 กรัม

SO_x = [(17.029x1.55)+(3.363x1.35)+(450.029x2.1)] $x10^{-6}$ = 0.000976 กรัม

CH_4 = [(103.868x1.55)+(197.371x1.35)+(314.564x2.1)] $x10^{-6}$ = 0.00109 กรัม

N_2O = [(0.201x1.55)+(0.126x1.35)+(1.638x2.1)] $x10^{-6}$ = 0.00000392 กรัม

CO_2 = [(14,881x1.55)+(6,776x1.35)+(152,523.136x2.1)] $x10^{-6}$ = 0.353 กรัม

สรุปพลังงานและ emissions จากการผลิตปุ๋ย

เพราะว่าจากข้อมูลที่มียังไม่สามารถสรุปได้ว่าพลังงานจากก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดีเซลที่ใช้ผลิตปุ๋ยนั้นถูกเผาไหม้หรือใช้เป็นสารเคมีในกระบวนการทางเคมี จึงสรุปค่า emissions ที่เกิดจากการผลิตก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดีเซลเท่านั้น โดยไม่คิดว่าพลังงานจากเชื้อเพลิงทั้ง 2 ตัวนี้ผ่านกระบวนการเผาไหม้ ส่วนค่าพลังงานจะคิดจากพลังงานที่ใช้ผลิตปุ๋ยซึ่งได้จากเชื้อเพลิงรวมกับพลังงานที่ใช้ผลิตเชื้อเพลิง คือ

Total energy = พลังงานทั้งหมดจากทุกเชื้อเพลิง+พลังงานทั้งหมดที่ใช้ผลิตเชื้อเพลิงนั้น

Fossil fuels = พลังงานทั้งหมดจาก Fossil fuels+พลังงานจาก Fossil fuels ที่ใช้ผลิตเชื้อเพลิงนั้น

Petroleum = พลังงานทั้งหมดจาก Petroleum+พลังงานจาก Petroleum ที่ใช้ผลิตเชื้อเพลิงนั้น

ปุ๋ย N:

Total energy: 41.85+14.060 = 55.91 Btu

Fossil fuels: 41.85+13.434 = 55.284 Btu

Petroleum: 0.728 = 0.728 Btu

VOC = 0.000189 g

CO = 0.00109 g

NO_x = 0.00303 g

PM_{10} = 0.000125 g

SO_x = 0.00223 g

CH_4 = 0.00972 g

N_2O = 0.0000129 g

CO_2 = 0.993 g

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปุ๋ย P_2O_5:

Total energy: 2.916+2.808+11.796 = 17.52 Btu

Fossil fuels: 2.916+2.808+11.145 = 16.869 Btu

Petroleum: 2.916+0.852 = 3.768 Btu

VOC = 0.000100 g

CO = 0.000384 g

NO_x = 0.00206 g

PM_{10} = 0.000109 g

SO_x = 0.00234 g

CH_4 = 0.00245 g

N_2O = 0.00000925 g

CO_2 = 0.837 g

ปุ๋ย K_2O:

Total energy: 1.55+1.35+4.966 = 7.866 Btu

Fossil fuels: 1.55+1.35+4.693 = 7.593 Btu

Petroleum: 1.55+0.383 = 1.933 Btu

VOC = 0.0000450 g

CO = 0.000171 g

NO_x = 0.000869 g

PM_{10} = 0.0000463 g

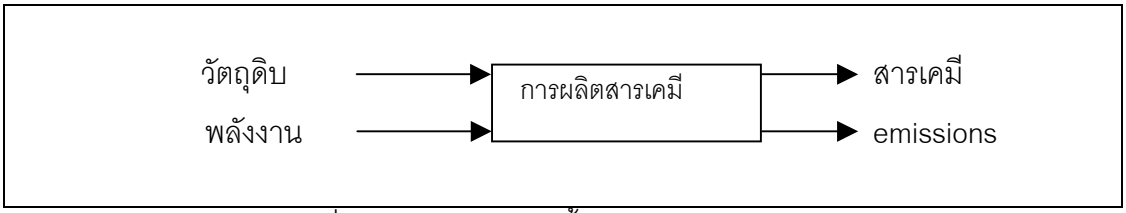
SO_x = 0.000976 g

CH_4 = 0.00109 g

N_2O = 0.00000392 g

CO_2 = 0.353 g

คำนวณพลังงานและ emissions ของการผลิตสารเคมี



รูปที่ ง-2 แสดงแผนภาพขั้นตอนการผลิตสารเคมี

งานวิจัยครั้งนี้เลือกใช้ค่าพลังงานของการผลิตสารเคมีดังตารางที่ ง-4 ข้างล่างนี้

ตารางที่ ง-4 แสดงพลังงานและสัดส่วนเชื้อเพลิงในการผลิตสารเคมีที่เลือกใช้ในการคำนวณ [2]

	Herbicides				Insecticides	
Parameter	Atrazine	Metolachor	Acetochlor	Cyanazine	Other Crops	Corn
Energy use (Btu/lb)						
GREET 1.5:per lb	82,000	119,000	120,000	86,850	117,000	105,400
(per g.)	(180.6)	(262.1)	(264.3)	(191.3)	(257.7)	(231.3)
Fuel share (%)						
Diesel	30%	30%	30%	30%	60%	60%
Residual Oil	30%	30%	30%	30%	0%	0%
NG	23%	23%	23%	23%	23%	23%
Electricity	17%	17%	17%	17%	17%	17%

การคำนวณ

Atrazine: พลังงานที่ใช้ผลิต Atrazine 1 กรัม = 1 x 180.6 = 180.6 Btu/g

เป็นพลังงานจากน้ำมันดีเซล = 0.3 x 180.6 = 54.18 Btu/g

เป็นพลังงานจากน้ำมันเตา = 0.3 x 180.6 = 54.18 Btu/g

เป็นพลังงานจากก๊าซธรรมชาติ = 0.23 x 180.6 = 41.538 Btu/g

เป็นพลังงานจากไฟฟ้า = 0.17 x 180.6 = 30.702 Btu/g

Metolachor: พลังงานที่ใช้ผลิต Metolachor 1 กรัม = 1 x 262.1 = 262.1 Btu/g

เป็นพลังงานจากน้ำมันดีเซล = 0.3 x 262.1 = 78.63 Btu/g

เป็นพลังงานจากน้ำมันเตา = 0.3 x 262.1 = 78.63 Btu/g

เป็นพลังงานจากก๊าซธรรมชาติ = 0.23 x 262.1 = 60.283 Btu/g

เป็นพลังงานจากไฟฟ้า = 0.17 x 262.1 = 44.557 Btu/g

Acetochlor: พลังงานที่ใช้ผลิต Acetochlor 1 กรัม = 1 x 264.3 = 191.3 Btu/g

เป็นพลังงานจากน้ำมันดีเซล = 0.3 x 264.3 = 79.29 Btu/g

เป็นพลังงานจากน้ำมันเตา = 0.3 x 264.3 = 79.29 Btu/g

เป็นพลังงานจากก๊าซธรรมชาติ = 0.23 x 264.3 = 60.789 Btu/g

เป็นพลังงานจากไฟฟ้า = 0.17 x 264.3 = 44.931 Btu/g

Cyanazine: พลังงานที่ใช้ผลิต Cyanazine 1 กรัม = 1 x 191.3 = 191.3 Btu/g

เป็นพลังงานจากน้ำมันดีเซล = 0.3 x 191.3 = 57.39 Btu/g

เป็นพลังงานจากน้ำมันเตา = 0.3 x 191.3 = 57.39 Btu/g

เป็นพลังงานจากก๊าซธรรมชาติ = 0.23 x 191.3 = 43.999 Btu/g

เป็นพลังงานจากไฟฟ้า = 0.17 x 191.3 = 32.521 Btu/g

Insecticides (other Crops): พลังงานที่ใช้ผลิต 1 กรัม = 1 x 257.7 = 257.7 Btu/g

เป็นพลังงานจากน้ำมันดีเซล = 0.6 x 257.7 = 154.62 Btu/g

เป็นพลังงานจากก๊าซธรรมชาติ = 0.23 x 257.7 = 59.271 Btu/g

เป็นพลังงานจากไฟฟ้า = 0.17 x 257.7 = 43.809 Btu/g

ยาปราบศัตรูพืช

Atrazine:

Total energy

$[(197,564x54.18)+(109,985x54.18)+(96,271x41.538)+(2,157,217.350x30.702)] \times 10^{-6}$

= 86.893 Btu

Fossil fuels

$[186,546x54.18)+(102,982x54.18)+(94,784x41.538)+(2,036,046.406x30.702)] \times 10^{-6}$

= 82.134 Btu

Petroleum

$[(87,351x54.18)+(47,300x54.18)+(4,607x41.538)+(115,069.511x30.702)] \times 10^{-6}$

= 11.020 Btu

VOC

$[(8.848x54.18)+(7.031x54.18)+(3.090x41.538)+(12.928x30.702)] x10^{-6}$ = 0.00139 กรัม

CO

$[(23.954x54.18)+(19.156x54.18)+(20.474x41.538)+(50.473x30.702)] x10^{-6}$

= 0.00474 กรัม

NO_x

$[(31.260x54.18)+(19.676x54.18)+(31.164x41.538)+(370.573x30.702)] x10^{-6}$

= 0.0154 กรัม

PM_{10}

$[(2.881x54.18)+(1.573x54.18)+(0.832x41.538)+(19.408x30.702)] x10^{-6}$ = 0.000872 กรัม

SO_x

$[(17.029x54.18)+(9.310x54.18)+(3.363x41.538)+(450.029x30.702)] x10^{-6}$ = 0.0154 กรัม

CH_4

$[(103.868x54.18)+(96.517x54.18)+(197.371x41.538)+(314.564x30.702)] x10^{-6}$

= 0.0287 กรัม

N_2O

$[(0.201x54.18)+(0.117x54.18)+(0.126x41.538)+(1.638x30.702)] x10^{-6}$ = 0.0000728 กรัม

CO_2

$[(14,881x54.18)+(8,749x54.18)+(6,776x41.538)+(152,523.136x30.702)] x10^{-6}$

= 6.245 กรัม

Metolachor:

Total energy

$[(197,564x78.63)+(109,985x78.63)+(96,271x60.283)+(2,157,217.350x44.557)] x10^{-6}$

= 126.105 Btu

Fossil fuels

$[186,546x78.63)+(102,982x78.63)+(94,784x60.283)+(2,036,046.406x44.557)] x10^{-6}$

= 119.200 Btu

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Petroleum

$[(87,351x78.63)+(47,300x78.63)+(4,607x60.283)+(115,069.511x44.557)] x10^{-6}$

= 15.992 Btu

VOC

$[(8.848x78.63)+(7.031x78.63)+(3.090x60.283)+(12.928x44.557)] x10^{-6}$ = 0.00201 กรัม

CO

$[(23.954x78.63)+(19.156x78.63)+(20.474x60.283)+(50.473x44.557)] x10^{-6}$

= 0.00687 กรัม

NO_x

$[(31.260x78.63)+(19.676x78.63)+(31.164x60.283)+(370.573x44.557)] x10^{-6}$

= 0.0224 กรัม

PM_{10}

$[(2.881x78.63)+(1.573x78.63)+(0.832x60.283)+(19.408x44.557)] x10^{-6}$ = 0.00127 กรัม

SO_x

$[(17.029x78.63)+(9.310x78.63)+(3.363x60.283)+(450.029x44.557)] x10^{-6}$ = 0.0223 กรัม

CH_4

$[(103.868x78.63)+(96.517x78.63)+(197.371x60.283)+(314.564x44.557)] x10^{-6}$

= 0.0417 กรัม

N_2O

$[(0.201x78.63)+(0.117x78.63)+(0.126x60.283)+(1.638x44.557)] x10^{-6}$ = 0.000106 กรัม

CO_2

$[(14,881x78.63)+(8,749x78.63)+(6,776x60.283)+(152,523.136x44.557)] x10^{-6}$

= 9.062 กรัม

Acetochlor:

Total energy

$[(197,564x79.29)+(109,985x79.29)+(96,271x60.789)+(2,157,217.350x44.931)] x10^{-6}$

= 127.164 Btu

Fossil fuels

$[186,546x79.29)+(102,982x79.29)+(94,784x60.789)+(2,036,046.406x44.931)] x10^{-6}$

= 120.200 Btu

Petroleum

$[(87,351x79.29)+(47,300x79.29)+(4,607x60.789)+(115,069.511x44.931)]\ x10^{-6}$

= 16.127 Btu

VOC

$[(8.848x79.29)+(7.031x79.29)+(3.090x60.789)+(12.928x44.931)]\ x10^{-6}$ = 0.00203 กรัม

CO

$[(23.954x79.29)+(19.156x79.29)+(20.474x60.789)+(50.473x44.931)]\ x10^{-6}$

= 0.00693 กรัม

NO_x

$[(31.260x79.29)+(19.676x79.29)+(31.164x60.789)+(370.573x44.931)]\ x10^{-6}$

= 0.0226 กรัม

PM_{10}

$[(2.881x79.29)+(1.573x79.29)+(0.832x60.789)+(19.408x44.931)]\ x10^{-6}$ = 0.00128 กรัม

SO_x

$[(17.029x79.29)+(9.310x79.29)+(3.363x60.789)+(450.029x44.931)]\ x10^{-6}$ = 0.0225 กรัม

CH_4

$[(103.868x79.29)+(96.517x79.29)+(197.371x60.789)+(314.564x44.931)]\ x10^{-6}$

= 0.0420 กรัม

N_2O

$[(0.201x79.29)+(0.117x79.29)+(0.126x60.789)+(1.638x44.931)]\ x10^{-6}$ = 0.000106 กรัม

CO_2

$[(14,881x79.29)+(8,749x79.29)+(6,776x60.789)+(152,523.136x44.931)]\ x10^{-6}$

= 9.139 กรัม

Cyanazine:

Total energy

$[(197,564x57.39)+(109,985x57.39)+(96,271x43.999)+(2,157,217.350x32.521)]\ x10^{-6}$

= 92.041 Btu

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Fossil fuels

$[(186,546x57.39)+(102,982x57.39)+(94,784x43.999)+(2,036,046.406x32.521)] x10^{-6}$

= 87.001 Btu

Petroleum

$[(87,351x57.39)+(47,300x57.39)+(4,607x43.999)+(115,069.511x32.521)] x10^{-6}$

= 11.672 Btu

VOC

$[(8.848x57.39)+(7.031x57.39)+(3.090x43.999)+(12.928x32.521)] x10^{-6}$ = 0.00147 กรัม

CO

$[(23.954x57.39)+(19.156x57.39)+(20.474x43.999)+(50.473x32.521)] x10^{-6}$

= 0.00502 กรัม

NO_x

$[(31.260x57.39)+(19.676x57.39)+(31.164x43.999)+(370.573x32.521)] x10^{-6}$

= 0.0163 กรัม

PM_{10}

$[(2.881x57.39)+(1.573x57.39)+(0.832x43.999)+(19.408x32.521)] x10^{-6}$ = 0.000923 กรัม

SO_x

$[(17.029x57.39)+(9.310x57.39)+(3.363x43.999)+(450.029x32.521)] x10^{-6}$ = 0.0163 กรัม

CH_4

$[(103.868x57.39)+(96.517x57.39)+(197.371x43.999)+(314.564x32.521)] x10^{-6}$

= 0.0304 กรัม

N_2O

$[(0.201x57.39)+(0.117x57.39)+(0.126x43.999)+(1.638x32.521)] x10^{-6}$ = 0.0000771 กรัม

CO_2

$[(14,881x57.39)+(8,749x57.39)+(6,776x43.999)+(152,523.136x32.521)] x10^{-6}$

= 6.614 กรัม

Insecticides (other crops):

Total energy

$[(197,564x154.62)+(96,271x59.271)+(2,157,217.350x43.809)] x10^{-6}$ =130.759 Btu

Fossil fuels

[(186,546x154.62)+(94,784x59.271)+(2,036,046.406x43.809)] $x10^{-6}$ =123.659 Btu

Petroleum

[(87,351x154.62)+(4,607x59.271)+(115,069.511x43.809)] $x10^{-6}$ = 18.820 Btu

VOC

[(8.848x154.62)+(3.090x59.271)+(12.928x43.809)] $x10^{-6}$ = 0.00212 กรัม

CO

[(23.954x154.62)+(20.474x59.271)+(50.473x43.809)] $x10^{-6}$ = 0.00713 กรัม

NO_x

[(31.260x154.62)+(31.164x59.271)+(370.573x43.809)] $x10^{-6}$ = 0.0229 กรัม

PM_{10}

[(2.881x154.62)+(0.832x59.271)+(19.408x43.809)] $x10^{-6}$ = 0.00135 กรัม

SO_x

[(17.029x154.62)+(3.363x59.271)+(450.029x43.809)] $x10^{-6}$ = 0.0225 กรัม

CH_4

[(103.868x154.62)+(197.371x59.271)+(314.564x43.809)] $x10^{-6}$ = 0.0415 กรัม

N_2O

[(0.201x154.62)+(0.126x59.271)+(1.638x43.809)] $x10^{-6}$ = 0.000110 กรัม

CO_2

[(14,881x154.62)+(6,776x59.271)+(152,523.136x43.809)] $x10^{-6}$ = 9.384 กรัม

สรุปพลังงานและ emissions จากการผลิตสารเคมี

Total energy = พลังงานทั้งหมดจากทุกเชื้อเพลิง+พลังงานทั้งหมดที่ใช้ผลิตเชื้อเพลิงนั้น

Fossil fuels = พลังงานทั้งหมดจาก Fossil fuels+พลังงานจาก Fossil fuels ที่ใช้ผลิตเชื้อเพลิงนั้น

Petroleum = พลังงานทั้งหมดจาก Petroleum+พลังงานจาก Petroleum ที่ใช้ผลิตเชื้อเพลิงนั้น

Atrazine:

Total energy: 54.18+54.18+41.538+86.893 = 236.791 Btu

Fossil fuels: 54.18+54.18+41.538+82.134 = 232.032 Btu

Petroleum: 54.18+54.18+11.020 =119.38 Btu

VOC = 0.00139 g

CO = 0.00474 g

NO_x = 0.0154 g

PM_{10} = 0.000872 g

SO_x = 0.0154 g

CH_4 = 0.0287 g

N_2O = 0.0000728 g

CO_2 = 6.245 g

Metolachor:

Total energy: 78.63+78.63+60.283+126.105 = 343.648 Btu

Fossil fuels: 78.63+78.63+60.283+119.200 = 336.743 Btu

Petroleum: 78.63+78.63+15.992 = 173.252 Btu

VOC = 0.00201 g

CO = 0.00687 g

NO_x = 0.0224 g

PM_{10} = 0.00127 g

SO_x = 0.0223 g

CH_4 = 0.0417 g

N_2O = 0.000106 g

CO_2 = 9.062 g

Acetochlor:

Total energy: 79.29+79.29+60.789+127.164 = 346.533 Btu

Fossil fuels: 79.29+79.29+60.789+120.200 = 339.569 Btu

Petroleum: 79.29+79.29+16.127 = 174.707 Btu

VOC = 0.00203 g

CO = 0.00693 g

NO_x = 0.0226 g

PM_{10} = 0.00128 g

SO_x = 0.0225 g

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CH_4 = 0.0420 g

N_2O = 0.000106 g

CO_2 = 9.139 g

Cyanazine:

Total energy: 57.39+57.39+43.999+92.041 = 250.82 Btu

Fossil fuels: 57.39+57.39+43.999+87.001 = 245.78 Btu

Petroleum: 57.39+57.39+11.672 = 126.452 Btu

VOC = 0.00147 g

CO = 0.00502 g

NO_x = 0.0163 g

PM_{10} = 0.000923 g

SO_x = 0.0163 g

CH_4 = 0.0304 g

N_2O = 0.0000771 g

CO_2 = 6.614 g

Insecticides (other crops):

Total energy: 154.62+59.271+130.759 = 344.65 Btu

Fossil fuels: 154.62+59.271+123.659 = 337.55 Btu

Petroleum: 154.62+18.820 = 173.44 Btu

VOC = 0.00212 g

CO = 0.00713 g

NO_x = 0.0229 g

PM_{10} = 0.00135 g

SO_x = 0.0225 g

CH_4 = 0.0415 g

N_2O = 0.000110 g

CO_2 = 9.384 g

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

การคำนวณการใช้พลังงานในไร่อ้อย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณการใช้พลังงานในไร่อ้อย

ค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้คำนวณการใช้พลังงานในไร่อ้อยแสดงในตารางที่ จ-1

ตารางที่ จ-1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้คำนวณการใช้พลังงานในไร่อ้อย

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
1.ผลผลิตอ้อยเฉลี่ยทั่วประเทศปี 2543/44 (ตัน/ไร่) [15]	9.042
2.ปริมาณการใช้ปุ๋ย (กก./ไร่) [5]	
N	
P_2O_5	15
K_2O	15
3.อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในไร่อ้อย (ลิตร/ไร่) [6]	15
น้ำมันดีเซล	
น้ำมันเบนซิน	5.54
4.อัตราการใช้สารเคมีในไร่อ้อย (กรัม/ไร่) [6]	0.02
	ใช้ Atrazine 400 กรัม/ไร่

emission factors ของน้ำมันดีเซลและแกโซลีนแสดงในตารางที่ จ-2 และ จ-3 ตามลำดับ

ตารางที่ จ-2 แสดง emission factors ของน้ำมันดีเซล [26]

หน่วย:grams per mmBtu of fuel burned, based on lower heating values

	Farming tractor
VOC (g)	90.000
CO (g)	334.000
NO_x (g)	939.000
PM_{10} (g)	43.520
SO_x (g)	12.607
CH_4 (g)	4.410
N_2O (g)	2.000
CO_2 (g)	79,615

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ-3 แสดง emission factors ของแกโซลีน [26]

หน่วย:grams per mmBtu of fuel burned, based on lower heating values

	Farming tractor
VOC (g)	210.000
CO (g)	1,200.000
NO_x (g)	662.000
PM_{10} (g)	7.810
SO_x (g)	9.666
CH_4 (g)	33.810
N_2O (g)	2.000
CO_2 (g)	73,123

พลังงานและ emissions ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตน้ำมันดีเซลและแกโซลีนแสดงในตารางที่ จ-4

ตารางที่ จ-4 แสดงพลังงานและ emissions ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตน้ำมันดีเซลและแกโซลีน[26]

หน่วย: Btu or Grams per mmBtu of fuel throughput

	น้ำมันดีเซล	แกโซลีน
Total Energy (Btu)	197,564	262,049
Fossil fuels (Btu)	186,546	248,604
Petroleum (Btu)	87,351	116,022
VOC (g)	8.848	17.343
CO (g)	23.954	27.147
NO_x (g)	31.260	38.763
PM_{10} (g)	2.881	3.681
SO_x (g)	17.029	22.357
CH_4 (g)	103.868	112.844
N_2O (g)	0.201	0.263
CO_2 (g)	14,881	19,493

พลังงานและ emissions ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตปุ๋ย N, P_2O_5, K_2O แสดงในตารางที่ จ-5 ซึ่งอยู่ในหน้าถัดไป

ตารางที่ จ-5 แสดงพลังงานและ emissions ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตปุ๋ย N, P_2O_5, K_2O

หน่วย: Btu or Grams per Gram ของปุ๋ย N, P_2O_5, K_2O

	N	P_2O_5	K_2O
Total energy (Btu)	55.91	17.52	7.866
Fossil fuels (Btu)	55.284	16.869	7.593
Petroleum (Btu)	0.728	3.768	1.933
VOC (g)	0.000189	0.000100	0.0000450
CO (g)	0.00109	0.000384	0.000171
NO_x (g)	0.00303	0.00206	0.000869
PM_{10} (g)	0.000125	0.000109	0.0000463
SO_x (g)	0.00223	0.00234	0.000976
CH_4 (g)	0.00972	0.00245	0.00109
N_2O (g)	0.0000129	0.00000925	0.00000392
CO_2 (g)	0.993	0.837	0.353

พลังงานและ emissions ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสารเคมี Atrazine แสดงดังตารางที่ จ-6

ตารางที่ จ-6 แสดงพลังงานและ emissions ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสารเคมี Atrazine

หน่วย Btu or Grams per Gram of Atrazine

	Atrazine
Total energy (Btu)	236.791
Fossil fuels (Btu)	232.032
Petroleum (Btu)	119.38
VOC (g)	0.00139
CO (g)	0.00474
NO_x (g)	0.0154
PM_{10} (g)	0.000872
SO_x (g)	0.0154
CH_4 (g)	0.0287
N_2O (g)	0.0000728
CO_2 (g)	6.245

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำนวณพลังงานและ emissions จากการผลิตน้ำมันดีเซลที่ใช้ในไร่

LHV ของน้ำมันดีเซลทั่วไปเท่ากับ 128,500 Btu/gal [26]

1 gal (US) = 3.78541 L

ดังนั้น LHV ของน้ำมันดีเซล = 128,500/3.78541 Btu/L = 33,946.125 Btu/L

ดังนั้นน้ำมันดีเซล 5.54 ลิตร/ไร่ มีค่า = 33,946.125 x 5.54 Btu/ไร่

= 188,061.533 Btu/ไร่

เกิดค่าต่างๆดังนี้ โดยมีหน่วย Btu/ไร่ หรือ กรัม/ไร่

Total energy: (188,061.533 /10^6) x 197,564 = 37,154.189 Btu

Fossil fuels: (188,061.533 /10^6) x 186,546 = 35,082.127 Btu

Petroleum: (188,061.533 /10^6) x 87,351 = 16,427.363 Btu

VOC: (188,061.533 /10^6) x 8.848 = 1.664 g

CO: (188,061.533 /10^6) x 23.954 = 4.505 g

NO_x: (188,061.533 /10^6) x 31.260 = 5.879 g

PM_{10}: (188,061.533 /10^6) x 2.881 = 0.542 g

SO_x: (188,061.533 /10^6) x 17.029 = 3.202 g

CH_4: (188,061.533 /10^6) x 103.868 = 19.534 g

N_2O: (188,061.533 /10^6) x 0.201 = 0.0378 g

CO_2: (188,061.533 /10^6) x 14,881 = 2,798.544 g

คำนวณพลังงานและ emissions จากการผลิตแกโซลีนที่ใช้ในไร่

LHV ของแกโซลีนเท่ากับ 115,500 Btu/gal [26]

ดังนั้น LHV ของแกโซลีน = 115,500 /3.78541 = 30,511.886 Btu/L

ดังนั้นแกโซลีน 0.02 ลิตร/ไร่ มีค่า = 30,511.886 x 0.02 Btu/ไร่

= 610.238 Btu/ไร่

เกิดค่าต่างๆดังนี้

หน่วย Btu/ไร่ หรือ กรัม/ไร่

Total energy: (610.238 /10^6) x 262,049 = 159.912 Btu

Fossil fuels: (610.238 /10^6) x 248,604 = 151.708 Btu

Petroleum: (610.238 /10^6) x 116,022 = 70.801 Btu

VOC: (610.238 /10^6) x 17.343 = 0.0106 g

CO: (610.238 /10^6) x 27.147 = 0.0166 g

NO_x: (610.238 /10^6) x 38.763 = 0.0237 g

PM_{10}: (610.238 /10^6) x 3.681 = 0.00225 g

SO_x: (610.238 /10^6) x 22.357 = 0.0136 g

CH_4: (610.238 /10^6) x 112.844 = 0.0689 g

N_2O: (610.238 /10^6) x 0.263 = 0.000160 g

CO_2: (610.238 /10^6) x 19,493 = 11.895 g

คำนวณพลังงานและ emissions จากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลที่ใช้ในไร่

สมมติใช้เครื่องจักรกลเป็น Farming tractor 100%

น้ำมันดีเซล 188,061.533 Btu/ไร่ เกิดค่าต่างๆดังนี้ โดยมีหน่วย Btu/ไร่ หรือ กรัม/ไร่

Total energy: 188,061.533 Btu

Fossil fuels: 188,061.533 Btu

Petroleum: 188,061.533 Btu

VOC: (188,061.533 /10^6) x 90.000 = 16.926 g

CO: (188,061.533 /10^6) x 334.000 = 62.813 g

NO_x: (188,061.533 /10^6) x 939.000 = 176.590 g

PM_{10}: (188,061.533 /10^6) x 43.520 = 8.184 g

SO_x: (188,061.533 /10^6) x 12.607 = 2.371 g

CH_4: (188,061.533 /10^6) x 4.410 = 0.829 g

N_2O: (188,061.533 /10^6) x 2.000 = 0.376 g

CO_2: (188,061.533 /10^6) x 79,615 = 14,972.519 g

คำนวณพลังงานและ emissions จากการเผาไหม้แกโซลีนที่ใช้ในไร่

สมมติใช้เครื่องจักรกลเป็น Farming tractor 100%

แกโซลีน 610.238 Btu/ไร่ เกิดค่าต่างๆดังนี้ โดยมีหน่วย Btu/ไร่ หรือ กรัม/ไร่

Total energy: 610.238 Btu

Fossil fuels: 610.238 Btu

Petroleum: 610.238 Btu

VOC: (610.238 /10^6) x 210.000 = 0.128 g

CO: (610.238 /10^6) x 1,200.000 = 0.732 g

NO_x: (610.238 /10^6) x 662.000 = 0.404 g

PM_{10}: (610.238 /10^6) x 7.810 = 0.00477 g

SO_x: (610.238 /10^6) x 9.666 = 0.00590 g

CH_4: (610.238 /10^6) x 33.810 = 0.0206 g

N_2O: (610.238 /10^6) x 2.000 = 0.00122 g

CO_2: (610.238 /10^6) x 73,123 = 44.622 g

พลังงานและ emissions จากการใช้ปุ๋ย N

ปุ๋ย N 15 กิโลกรัม/ไร่ เกิดค่าต่างๆดังนี้

หน่วย Btu/ไร่ หรือ กรัม/ไร่

Total energy: 55.91 x 1,000 x15 = 838,650 Btu

Fossil fuels: 55.284 x 1,000 x 15 = 829,260 Btu

Petroleum: 0.728 x 1,000 x15 = 10,920 Btu

VOC: 0.000189 x 1,000 x15 = 2.835 g

CO: 0.00109 x 1,000 x15 = 16.350 g

NO_x: 0.00303 x 1,000 x15 = 45.450 g

PM_{10}: 0.000125 x 1,000 x15 = 1.875 g

SO_x: 0.00223 x 1,000 x15 = 33.450 g

CH_4: 0.00972 x 1,000 x15 = 145.800 g

N_2O: 0.0000129 x 1,000 x15 = 0.194 g

CO_2: 0.993 x 1,000 x15 = 14,895 g

พลังงานและ emissions จากการใช้ปุ๋ย P_2O_5

ปุ๋ย P_2O_5 15 กิโลกรัม/ไร่ เกิดค่าต่างๆดังนี้

หน่วย Btu/ไร่ หรือ กรัม/ไร่

Total energy: 17.52 x 1,000 x15 = 262,800 Btu

Fossil fuels: 16.869 x 1,000 x 15 = 253,035 Btu

Petroleum: 3.768 x 1,000 x15 = 56,520 Btu

VOC: 0.000100 x 1,000 x15 = 1.500 g

CO: 0.000384 x 1,000 x15 = 5.76 g

NO_x: 0.00206 x 1,000 x15 = 30.9 g

PM_{10}: 0.000109 x 1,000 x15 = 1.635 g

SO_x: 0.00234 x 1,000 x15 = 35.100 g

CH_4: 0.00245 x 1,000 x15 = 36.750 g

N_2O: 0.00000925 x 1,000 x15 = 0.139 g

CO_2: 0.837 x 1,000 x15 = 12,555 g

พลังงานและ emissions จากการใช้ปุ๋ย K_2O

ปุ๋ย K_2O 15 กิโลกรัม/ไร่ เกิดค่าต่างๆดังนี้

หน่วย Btu/ไร่ หรือ กรัม/ไร่

Total energy: 7.866 x 1,000 x15 =117,990 Btu

Fossil fuels: 7.593 x 1,000 x 15 = 113,895 Btu

Petroleum: 1.933x 1,000 x15 = 28,995 Btu

VOC: 0.0000450 x 1,000 x15 = 0.675 g

CO: 0.000171 x 1,000 x15 = 2.565 g

NO_x: 0.000869 x 1,000 x15 = 13.035 g

PM_{10}: 0.0000463 x 1,000 x15 = 0.695 g

SO_x: 0.000976 x 1,000 x15 = 14.640 g

CH_4: 0.00109 x 1,000 x15 = 16.350 g

N_2O: 0.00000392 x 1,000 x15 = 0.0588 g

CO_2: 0.353 x 1,000 x15 = 5,295 g

พลังงานและ emissions จากการใช้สารเคมี Atrazine

Atrazine 400 กรัม/ไร่ เกิดค่าต่างๆดังนี้

หน่วย Btu/ไร่ หรือ กรัม/ไร่

Total energy: 236.791 x 400 = 94,716.4 Btu

Fossil fuels: 232.032 x 400 = 92,812.8 Btu

Petroleum: 119.38 x 400 = 47,752 Btu

VOC: 0.00139 x 400 = 0.556 g

CO: 0.00474 x 400 = 1.896 g

NO_x: 0.0154 x 400 = 6.16 g

PM_{10}: 0.000872 x 400 = 0.349 g

SO_x: 0.0154 x 400 = 6.16 g

CH_4: 0.0287 x 400 = 11.48 g

N_2O: 0.0000728 x 400 = 0.0291 g

CO_2: 6.245 x 400 = 2,498 g

สรุปพลังงานและ emissions ในขั้นตอนการทำไร่อ้อย

Total energy:

838,650+262,800+117,990+94,716.4+37,154.189+159.912+188,061.533+610.238

= 1,540,142.272 Btu/ไร่

Fossil fuels:

829,260+253,035+113,895+92,812.8+35,082.127+151.708+188,061.533+610.238

= 1,512,908.406 Btu/ไร่

Petroleum: 10,920+56,520+28,995+47,752+16,427.363+70.801+188,061.533+610.238

= 349,356.935 Btu/ไร่

VOC: 2.835+1.500+0.675+0.556+1.664+0.0106+16.926+0.128 = 24.295 กรัม/ไร่

CO: 16.35+5.76+2.565+1.896+4.505+0.0166+62.813+0.732 = 94.638 กรัม/ไร่

NO_x: 45.45+30.9+13.035+6.16+5.879+0.0237+176.590+0.404 = 278.442 กรัม/ไร่

PM_{10}: 1.875+1.635+0.695+0.349+0.542+0.00225+8.184+0.00477 = 13.287 กรัม/ไร่

SO_x: 33.45+35.1+14.64+6.16+3.202+0.0136+2.371+0.00590 = 94.943 กรัม/ไร่

CH_4: 145.8+36.75+16.35+11.48+19.534+0.0689+0.829+0.0206 = 230.833 กรัม/ไร่

N_2O: 0.194+0.139+0.0588+0.0291+0.0378+0.000160+0.376+0.00122+368

= 368.836 กรัม/ไร่

CO_2: 14,895+12,555+5,295+2,498+2,798.544+11.895+14,972.519+44.622

= 53,070.58 กรัม/ไร่

พลังงานและ emissions ที่เกิดขึ้นจากการผลิตอ้อยซึ่งได้จากผลการคำนวณดังที่แสดงไว้ข้างบนแสดงในตารางที่ จ-7

ตารางที่ จ-7 แสดงพลังงานและ emissions ที่เกิดขึ้นจากการผลิตอ้อย

หน่วย: Btu หรือ กรัม

	ต่อไร่	ต่อ 1 ตันอ้อย (หารด้วย 9.042)
Total energy (Btu)	1,540,142.272	170,332.036
Fossil fuels (Btu)	1,512,908.406	167,320.107
Petroleum (Btu)	349,356.935	38,637.131
VOC (g)	24.295	2.687
CO (g)	94.638	10.466
NO_x (g)	278.442	30.794
PM_{10} (g)	13.287	1.469
SO_x (g)	94.943	10.500
CH_4 (g)	230.833	25.529
N_2O (g)	368.836	40.791
CO_2 (g)	53,070.58	5,869.341

การคำนวณ N_2O and NO_x Emissions from Nitrification and Denitrification of Nitrogen Fertilizer

ตารางที่ จ-8 แสดง Output from cane growing เพื่อเป็นข้อมูลในการคำนวณหา N_2O จากการใช้ปุ๋ย N ในไร่อ้อย

ตารางที่ จ-8 แสดง Output from cane growing [4]

	Applied kg per year	Emission factor% of N applied	Nitrogen emitted kg N/ha/year	Conversion factor ($N\text{-}N_2O$)	N_2O per Ha	%activity in 5 year rotation	Total per annum
Soil disturbance			0.29	1.57	0.46		0.46
Plant cane nitrogen	170	1.25%	2.125	1.57	3.34	20%	0.66725
Ratoon cane nitrogen	160	1.25%	2	1.57	3.14	80%	2.512
Total N_2O per Ha							3.63

1 hectare = 10,000 m^2 = 10,000/1,600 m^2 = 6.25 ไร่

ดังนั้นเมื่อใช้ปุ๋ย N 15 kg/ไร่/ปี หรือ 15 x 6.25 = 93.75 kg/ha/ปี

เกิดค่าต่างๆดังนี้

N_2O = 0.46 + (93.75 x 0.0125 x 1.57) = 0.46 + 1.84 = 2.3 kg/ha/ปี

หรือเกิด N_2O = 2.3/6.25 = 0.368 kg N_2O/ไร่/ปี

สำหรับ CO_2 Emissions or Sequestation from Potential Land Use Change for Ethanol Production มิได้ทำการประมาณค่า เนื่องจากข้อมูลไม่เพียงพอ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ

รายละเอียดการคำนวณหาระยะทางระหว่างโรงงานน้ำตาลกับไร่อ้อย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายละเอียดการคำนวณหาระยะทางระหว่างโรงงานน้ำตาลกับไร่อ้อย

เนื้อที่อำเภอที่ตั้งโรงงานน้ำตาลแสดงในตารางที่ ฉ-1 เพื่อใช้ในการคำนวณหาระยะทางระหว่างโรงงานน้ำตาลกับไร่อ้อยในอำเภอที่ตั้งโรงงานน้ำตาลนั้นๆ

ตารางที่ ฉ-1 แสดงเนื้อที่อำเภอที่ตั้งโรงงานน้ำตาล [38]

อำเภอ	เนื้อที่ (ตารางกิโลเมตร)	รัศมี (กิโลเมตร)	รัศมี/2 (กิโลเมตร)
1.สันกำแพง	196.696	7.913	3.957
2.เกาะคา	551.152	13.245	6.623
3.เมืองอุตรดิตถ์	765.476	15.610	7.805
4.เมืองกำแพงเพชร	1,962.047	24.991	12.496
5.เมืองนครสวรรค์	750	15.451	7.726
6.ตาคลี	462	12.127	6.064
7.บางกระทุ่ม	451.798	11.992	5.996
8.ศรีเทพ	810	16.057	8.029
9.ปราณบุรี	765.371	15.608	7.804
10.บ้านโป่ง	390	11.142	5.571
11.ท่ามะกา	340.809	10.416	5.208
12.ท่าม่วง	610.97	13.946	6.973
13.วังม่วง	341.584	10.427	5.214
14.ท่าหลวง	538.865	13.097	6.549
15.สามชุก	362	10.734	5.367
16.ด่านช้าง	1,135	19.007	9.504
17.อู่ทอง	614	13.980	6.99
18.บางระจัน	190.546	7.788	3.894
19.บ้านไร่	3,621.5	33.952	16.976
20.บ้านบึง	646	14.340	7.17
21.พนัสนิคม	448.259	11.945	5.973
22.บ้านค่าย	479.520	12.355	6.178
23.วัฒนานคร	1,532.28	22.085	11.043
24.คูเมือง	442	11.861	5.931
25.เมืองมุกดาหาร	1,194	19.495	9.748

ตารางที่ ฉ-1 แสดงเนื้อที่อำเภอที่ตั้งโรงงานน้ำตาล (ต่อ)

อำเภอ	เนื้อที่ (ตารางกิโลเมตร)	รัศมี (กิโลเมตร)	รัศมี/2 (กิโลเมตร)
26.หนองหาน	721.189	15.151	7.576
27.กุมภวาปี	672.575	14.632	7.316
28.น้ำพอง	826.590	16.221	8.111
29.หนองเรือ	673	14.636	7.318
30.ภูเขียว	801.678	15.974	7.987
31.พิมาย	881	16.746	8.373
32.แก้งสนามนาง	307.2	9.889	4.945
33.ครบุรี	1,784	23.830	11.915
34.สามชัย	550.853	13.242	6.621
35.กุฉินารายณ์	739.246	15.340	7.67

ตารางที่ ฉ-2 ถึง ฉ-36 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยในแต่ละพื้นที่กับอำเภอที่ตั้งโรงงานน้ำตาล

ตารางที่ ฉ-2 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอครบุรี

รับได้ 1,292,219.81 ตัน	โรงงานที่อำเภอครบุรี		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
ครบุรี	11.915	206,784.5	2,463,837
โชคชัย	20	222,169.1	4,443,382
เสิงสาง	21	128,595	2,700,495
ปักธงชัย	35	198,570	6,949,950
โนนสุวรรณ	35	7,662.7	268,194.5
หนองกี่	41	57,751.1	2,367,795
หนองบุนนาก	42	179,378.2	7,533,884
ปะคำ	54	23,819.4	1,286,248
นางรอง	65	30,465.1	1,980,232
กิ่ง อ.วังน้ำเขียว	66	113,928.9	7,519,307
หนองหงส์	67	84,015.7	5,629,052
โนนดินแดง	70	10,567.7	739,739
ชำนิ	82	4,209.4	345,170.8
กิ่ง อ.พนมดงรัก	121	5,006.9	605,834.9

ตารางที่ ฉ-2 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอครบุรี (ต่อ)

รับได้ 1,292,219.81 ตัน	โรงงานที่อำเภอครบุรี		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
ปราสาท	135	2,047.6	276,426
กาบเชิง	160	8,820.7	1,411,312
สังขะ	187	2,100.6	392,812.2
บัวเชด	210	3,420.2	718,242
	รวม	1,289,313	47,631,913

ตารางที่ ฉ-3 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอหนองหาน

รับได้ 1,495,804.83 ตัน	โรงงานที่อำเภอหนองหาน		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
หนองหาน	7.576	100,364.9	760,364.48
กิ่ง อ.สระใคร	72	753.9	54,280.8
ท่าบ่อ	114	611.9	69,756.6
ศรีเชียงใหม่	124	797.9	98,939.6
สุวรรณคูหา	155	2,917.5	452,212.5
นากลาง	121	14,032	1,697,872
เมืองหนองบัวลำภู	83	18,331.2	1,521,489.6
นาด้วง	174	4,284.2	745,450.8
เมืองเลย	187	2,127.2	397,786.4
วังสะพุง	165	316,919.2	52,291,668
กิ่ง อ.รัตนวาปี	131	503.7	65,984.7
โพนพิสัย	110	4,435.6	487,916
กิ่ง อ.เฝ้าไร่	87	3,791.6	329,869.2
เมืองอุดรธานี	38	116,002.9	4,408,110.2
บ้านม่วง	93	15,418.9	1,433,957.7
หนองวัวซอ	76	94,132.4	7,154,062.4
บ้านดุง	43	93,410	4,016,630
บ้านผือ	92	82,184.3	7,560,955.6
กุดจับ	63	77,021.2	4,852,335.6
น้ำโสม	127	60,795.4	7,721,015.8

ตารางที่ ฉ-3 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอหนองหาน (ต่อ)

รับได้ 1,495,804.83 ตัน	โรงงานที่อำเภอหนองหาน		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
เพ็ญ	47	7,571.1	355,841.7
สร้างคอม	70	474.5	33,215
พิบูลย์รักษ์	28	11,204.4	313,723.2
นายูง	129	12,047.2	1,554,088.8
โซ่พิสัย	110	5,632.4	619,564
บึงกาฬ	163	3,379.1	550,793.3
สังคม	159	422.6	67,193.4
กิ่ง อ.เอราวัณ	141	113,940.9	16,065,667
ไชยวาน	27	290,796.8	7,851,513.6
ทุ่งฝน	28	19,313.7	540,783.6
กิ่ง อ.ประจักษ์ศิลปาคม	12	13,060	156,720
ศรีสงคราม	148	11,033.9	1,633,017.2
	รวม	1,497,713	125,862,779

ตารางที่ ฉ-4 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอเมืองนครสวรรค์

รับได้ 1,077,110.75	โรงงานที่อำเภอเมืองนครสวรรค์		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
เมืองนครสวรรค์	7.726	88,212.1	681,526.7
โกรกพระ	18	19,906.2	358,311.6
เก้าเลี้ยว	20	121,441.4	2,428,828
พยุหะคีรี	28	384,340	10,761,520
ลาดยาว	40	41,495.5	1,659,820
บรรพตพิสัย	45	345,850.4	15,563,268
ทัพทัน	44	4,254.7	187,206.8
สว่างอารมณ์	49	7,780.7	381,254.3
บางมูลนาก	57	6,947.5	396,007.5
ขาณุวรลักษบุรี	66	253,184.7	16,710,190
	รวม	1,273,413	49,127,933

ตารางที่ ฉ-5 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอบ้านบึง

รับได้ 1,032,169.04 ตัน	โรงงานที่อำเภอบ้านบึง		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
บ้านบึง	7.17	293,899.6	2,107,260
เมืองชลบุรี	18	4,069.63	73,253.34
ศรีราชา	40	18,879.01	755,160.4
หนองใหญ่	45	250,104.7	11,254,712
กิ่ง อ.เกาะจันทร์	37	99,047.27	3,664,749
พานทอง	19	27,415.1	520,886.9
บ่อทอง	47	414,992.1	19,504,629
แปลงยาว	50	46,061.7	2,303,085
พนมสารคาม	72	6,555.6	472,003.2
	รวม	1,161,025	40,655,739

ตารางที่ ฉ-6 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอเมืองอุตรดิตถ์

รับได้ 1,512,193.87 ตัน	โรงงานที่อำเภอเมืองอุตรดิตถ์		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
เมืองอุตรดิตถ์	7.805	69,743.2	544,345.7
ทุ่งเสลี่ยม	97	77,171	7,485,587
ลับแล	8	7,691.4	61,531.2
ตรอน	25	126,739	3,168,475
ศรีสัชนาลัย	34	384,175.1	13,061,953
ท่าปลา	40	32,541.6	1,301,664
ทองแสนขัน	42	246,702.8	10,361,518
ศรีนคร	35	238,700.6	8,354,521
พิชัย	47	86,008.4	4,042,395
สวรรคโลก	63	461,692.2	29,086,609
น้ำปาด	72	18,425.5	1,326,636
เมืองแพร่	74	2,950.7	218,351.8
ศรีสำโรง	81	71,917.7	5,825,334
ชาติตระการ	84	40,431.7	3,396,263
หนองม่วงไข่	93	339.5	31,573.5
ร้องกวาง	104	9,599.1	998,306.4
	รวม	1,874,830	89,265,064

ตารางที่ ฉ-7 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอสันกำแพง

รับได้ 24,321.07 ตัน	โรงงานที่อำเภอสันกำแพง		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
แม่แตง	42.5	1,594.5	67,766.25
วังเหนือ	105	7,271.4	763,497
พร้าว	105	13,276.5	1,394,033
เวียงป่าเป้า	108	7,272.9	785,473.2
แม่สรวย	147	1,495.1	219,779.7
	รวม	30,910	3,230,549

ตารางที่ ฉ-8 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอวัฒนานคร

รับได้ 1,166,810 ตัน	โรงงานที่อำเภอวัฒนานคร		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
วัฒนานคร	11.043	121,062.9	1,336,898
เมืองสระแก้ว	13	73,451.8	954,873.4
อรัญประเทศ	23	176,684.4	4,063,741
คลองหาด	42	214,241	8,998,122
เขาฉกรรจ์	43	59,117.1	2,542,035
วังน้ำเย็น	69	31,751.1	2,190,826
กบินทร์บุรี	75	40,092.8	3,006,960
ตาพระยา	79	74,903.1	5,917,345
กิ่ง อ.วังสมบูรณ์	86	81,208.9	6,983,965
นาดี	95	8,899.2	845,424
สอยดาว	120	108,492	13,019,040
โป่งน้ำร้อน	145	46,103.3	6,684,979
กิ่ง อ.โคกสูง	58	62,118.7	3,602,885
	รวม	1,098,126	60,147,093

ตารางที่ ฉ-9 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอท่าหลวง

รับได้ 1,659,172.58 ตัน	โรงงานที่อำเภอท่าหลวง		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
ท่าหลวง	6.549	203,953.9	1,335,694
ชัยบาดาล	21	325,446.6	6,834,379
สระโบสถ์	39	4,210.7	164,217.3
เฉลิมพระเกียรติ(สระบุรี)	59	39.9	2,354.1
โคกสำโรง	42	59,392.9	2,494,502
กิ่ง อ.ลำสนธิ	51	162,499.2	8,287,459
เทพสถิต	78	206,835	16,133,130
กิ่ง อ.เทพารักษ์	108	22,976.88	2,481,503
บำเหน็จณรงค์	110	147,621.4	16,238,354
กิ่ง อ.ซับใหญ่	131	75,908	9,943,948
	รวม	1,208,884	63,915,540

ตารางที่ ฉ-10 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอภูเขียว

รับได้ 1,912,788.69 ตัน	โรงงานที่อำเภอภูเขียว		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
ภูเขียว	7.987	844,132.3	6,742,085
เกษตรสมบูรณ์	23	502,665.1	11,561,297
บ้านแท่น	30	211,127.5	6,333,825
แก้งคร้อ	39	351,142.7	13,694,565
ภูผาม่าน	53	20,964.8	1,111,134
	รวม	1,930,032	39,442,906

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ-11 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอบางระจัน

รับได้ 911,205.29 ตัน	โรงงานที่อำเภอบางระจัน		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
บางระจัน	3.894	125,387.3	488,258.1
เมืองสิงห์บุรี	10	1,842.8	18,420.8
แสวงหา	21	124,112.9	2,606,371
อินทร์บุรี	27	3,544.8	95,709.6
เมืองลพบุรี	37	1,543.6	57,113.2
โพธิ์ทอง	40	35,545.9	1,421,836
ค่ายบางระจัน	40	80,085.1	3,203,404
บ้านหมี่	46	10,782.2	495,981.2
สามโก้	54	7,279.6	393,098.4
วิเศษชัยชาญ	68	1,981.6	134,748.8
ดอนเจดีย์	62	93,983.4	5,826,971
เดิมบางนางบวช	30	548,035.6	16,441,068
หันคา	48	7,656.6	367,516.8
สรรคบุรี	25	20,262.8	506,570
	รวม	1,062,044	32,057,067

ตารางที่ ฉ-12 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอตาคลี

รับได้ 3,116,849.61 ตัน	โรงงานที่อำเภอตาคลี		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
ตาคลี	6.064	521,045.7	3,159,621.1
ตากฟ้า	21	777,204.5	16,321,295
วัดสิงห์	47	476.8	22,409.6
กิ่ง อ.หนองม่วง	47	446,684	20,994,148
ท่าตะโก	56	59,178.6	3,314,001.6
ไพศาลี	69	117,464.8	8,105,071.2
มโนรมย์	42	945.5	39,711
หนองหญ้าไซ	96	838,782.2	80,523,091
แม่วงก์	154	28,493.4	4,387,983.6
แม่เปิน+ชุมตาบง	137	84,266.9	11,544,565

ตารางที่ ฉ-12 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอตาคลี (ต่อ)

รับได้ 3,116,849.61 ตัน	โรงงานที่อำเภอตาคลี		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
โพทะเล	132	44,658.4	5,894,908.8
กิ่ง อ.บึงสามัคคี	146	427,285.3	62,383,654
	รวม	3,346,486	216,690,460

ตารางที่ ฉ-13 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอวังม่วง

รับได้ 1,634,242.37 ตัน	โรงงานที่อำเภอวังม่วง		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
วังม่วง	5.214	153,398.4	799,819.3
พัฒนานิคม	18	417,770.7	7,519,873
มวกเหล็ก	24	96,863.7	2,324,729
แก่งคอย	36	24,464.5	880,722
ปากช่อง	43	253,256.8	10,890,042
สีคิ้ว	87	177,385.7	15,432,556
สูงเนิน	90	132,157.8	11,894,202
ขามทะเลสอ	101	1,962.9	198,252.9
พระพุทธบาท	51	279.4	14,249.4
	รวม	1,257,540	49,954,446

ตารางที่ ฉ-14 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอศรีเทพ

รับได้ 1,073,877.92 ตัน	โรงงานที่อำเภอศรีเทพ		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
ศรีเทพ	8.029	135,335.1	1,086,605.5
วิเชียรบุรี	24	179,681.1	4,312,346.4
โคกเจริญ	37	61,867.2	2,289,086.4
บึงสามพัน	39	21,154.9	825,041.1
หนองบัว	90	22,442.5	2,019,825
ภักดีชุมพล	89	15,506	1,380,034

ตารางที่ ฉ-14 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอศรีเทพ (ต่อ)

รับได้ 1,073,877.92 ตัน	โรงงานที่อำเภอศรีเทพ		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
หนองบัวแดง	142	316,453.5	44,936,397
จัตุรัส	133	245,816.7	32,693,621
หนองบัวระเหว	112	181,094.2	20,282,550
	รวม	1,179,351	109,825,506

ตารางที่ ฉ-15 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอบ้านไร่

รับได้ 1,235,263.42 ตัน	โรงงานที่อำเภอบ้านไร่		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
บ้านไร่	16.976	697,529.9	11,841,268
ห้วยคต	32	57,644.7	1,844,630
กิ่ง อ.หนองมะโมง	60	15,786	947,160
หนองฉาง	63	24,284.3	1,529,911
ลานสัก	63	60,905.7	3,837,059
กิ่ง อ.หนองปรือ	80	421,112.9	33,689,032
	รวม	1,277,264	53,689,060

ตารางที่ ฉ-16 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอคูเมือง

รับได้ 783,643.51 ตัน	โรงงานที่อำเภอคูเมือง		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
คูเมือง	5.931	56,433.5	334,707.1
กิ่ง อ.แคนดง	18	32,888.2	591,987.6
พุทไธสง	32	1,339.8	42,873.6
เมืองบุรีรัมย์	35	12,102	423,570
สตึก	41	52,812.1	2,165,296
ชุมพวง	42	78,930.25	3,315,071
กิ่ง อ.บ้านด่าน	63	13,326.8	839,588.4
ลำปลายมาศ	68	35,519.1	2,415,299

ตารางที่ ฉ-16 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอคูเมือง (ต่อ)

รับได้ 783,643.51 ตัน	โรงงานที่อำเภอคูเมือง		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
นาเชือก	89	12,828.4	1,141,728
นาดูน	80	1,201.3	96,104
ละหานทราย	127	146,577.5	18,615,343
ประโคนชัย	80	8,918.5	713,480
บ้านกรวด	112	72,046.3	8,069,186
	รวม	524,924	38,764,234

ตารางที่ ฉ-17 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอสามชัย

รับได้ 247,941.73 ตัน	โรงงานที่กิ่งอำเภอสามชัย		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
กิ่ง อ.สามชัย	6.621	78,821.8	521,879.1
คำม่วง	23	34,038.8	782,892.4
สมเด็จ	36	13,686.5	492,714
สหัสขันธ์	38	27,500.8	1,045,030
เมืองกาฬสินธุ์	70	24,309.9	1,701,693
ภูพาน	77	1,726.6	132,948.2
ยางตลาด	81	4,695.9	380,367.9
กุดบาก	116	10,389.6	1,205,194
	รวม	195,170	6,262,719

ตารางที่ ฉ-18 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอพนัสนิคม

รับได้ 595,546.27 ตัน	โรงงานที่อำเภอพนัสนิคม		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
พนัสนิคม	5.973	124,199.6	741,844.1
สนามชัยเขต	62	172,858.5	10,717,227
กิ่ง อ.ท่าตะเกียบ	85	356,907.2	30,337,112
	รวม	653,965	41,796,183

ตารางที่ ฉ-19 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอบ้านค่าย

รับได้ 295,913.97	โรงงานที่อำเภอบ้านค่าย		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
บ้านค่าย	6.178	28,345.7	175,119.7
กิ่ง อ.วังจันทร์	37	107,072.6	3,961,686
ปลวกแดง	40	152,628.3	6,105,132
กิ่ง อ.เขาชะเมา	91	8,284.4	753,880.4
แก่งหางแมว	115	1,149.7	132,215.5
	รวม	297,481	11,128,034

ตารางที่ ฉ-20 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอกุมภวาปี

รับได้ 1,375,798.27+1,374,082.02 =2,749,880.29	โรงงานที่อำเภอกุมภวาปี		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
ส่องดาว	75	18,834	1,412,550
สว่างแดนดิน	73	24,902.1	1,817,853.3
พรรณนานิคม	118	7,546	890,428
วาริชภูมิ	114	5,693.1	649,013.4
เจริญศิลป์	87	4,564.1	397,076.7
นิคมน้ำอูน	124	3,599.6	446,350.4
อากาศอำนวย	150	693.8	104,070
เต่างอย	184	437.2	80,444.8
พังโคน	100	409.1	40,910
ท่าคันโท	30	122,405	3,672,150
โนนสะอาด	21	658,020	13,818,420
กุมภวาปี	7.316	645,278.7	4,720,858.969
วังสามหมอ	54	314,434.8	16,979,479.20
ศรีธาตุ	29	541,337.2	15,698,778.8
หนองแสง	35	286,264.1	10,019,243.5
กิ่ง อ.กู่แก้ว	16	78,239.4	1,251,830.4
บ้านแพง	221	7,713.6	1,704,705.6
นาทม	218	1,963.8	428,108.4

ตารางที่ ฉ-20 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอกุมภวาปี (ต่อ)

รับได้ 1,375,798.27+1,374,082.02 =2,749,880.29	โรงงานที่อำเภอกุมภวาปี		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
เซกา	192	6,707.5	1,287,840
บึงโขงหลง	198	4,763.6	943,192.8
ศรีวิไล	208	2,576.2	535,849.6
พรเจริญ	179	4,133	739,807
	รวม	2,740,516	77,638,961

หมายเหตุ: ผลผลิตของอำเภอวังสามหมอแบ่งเข้าโรงงานที่อำเภอกุฉินารายณ์ 300,000 ตัน

ตารางที่ ฉ-21 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอเมืองมุกดาหาร

รับได้ 722,799.53 ตัน	โรงงานที่อำเภอเมืองมุกดาหาร		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
เมืองมุกดาหาร	9.748	240,166.1	2,341,139
นิคมคำสร้อย	28	217,207.2	6,081,802
ดอนตาล	33	140,172.1	4,625,679
หว้านใหญ่	35	4,290.9	150,181.5
ดงหลวง	55	51,301	2,821,555
เลิงนกทา	57	32,175.2	1,833,986
ชานุมาน	59	13,794.1	813,851.9
กิ่ง อ.ไทยเจริญ	72	5,984.4	430,876.8
กุดชุม	85	6,464.2	549,457
เมืองอำนาจเจริญ	88	1,439.4	126,667.2
ปทุมราชวงศา	94	6,587.6	619,234.4
ทรายมูล	104	2,583.4	268,673.6
เมืองยโสธร	111	694.8	77,122.8
ป่าติ้ว	119	595	70,805
	รวม	723,455	20,811,031

ตารางที่ ฉ-22 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอน้ำพอง

รับได้ 2,288,932.26 ตัน	โรงงานที่อำเภอน้ำพอง		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
น้ำพอง	8.111	353,220.7	2,864,973
เขาสวนกวาง	21	232,751	4,887,771
กระนวน	27	378,868.4	10,229,447
เมืองขอนแก่น	35	144,615	5,061,525
กิ่ง อ.ชำสูง	37	55,267.7	2,044,905
อุบลรัตน์	44	177,205.9	7,797,060
ห้วยเม็ก	53	74,101	3,927,353
กิ่ง อ.บ้านแฮด	60	136,129	8,167,740
หนองกุงศรี	63	212,602.6	13,393,964
เชียงยืน	64	1,317.3	84,307.2
โนนสัง	64	11,670.2	746,892.8
มัญจาคีรี	113	206,311.6	23,313,211
บ้านไผ่	77	201,967.1	15,551,467
	รวม	2,186,028	98,070,616

ตารางที่ ฉ-23 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอท่ามะกา

รับได้ 4,876,646.36 ตัน	โรงงานที่อำเภอท่ามะกา		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
ท่ามะกา	5.208	582,645.9	3,034,419.847
กำแพงแสน	47	643,452.9	30,242,286.3
เมืองราชบุรี	55	177,230.4	9,747,672
เมืองนครปฐม	38	150,540.4	5,720,535.2
ดอนตูม	58	13,202.7	765,756.6
จอมบึง	64	1,084,493	69,407,564.8
สวนผึ้ง	94	166,116.3	15,614,932.2
บ่อพลอย	68	1,355,243	92,156,517.2
สองพี่น้อง	50	1,167,832	58,391,595
ด่านมะขามเตี้ย	55	436,690.2	24,017,961
ไทรโยค	83	191,319.3	15,879,501.9

ตารางที่ ฉ-23 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอท่ามะกา (ต่อ)

รับได้ 4,876,646.36 ตัน	โรงงานที่อำเภอท่ามะกา		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
ทองผาภูมิ	158	8,822	1,393,876
	รวม	5,977,588	326,372,618

ตารางที่ ฉ-24 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอท่าม่วง

รับได้ 1,548,027.57 ตัน	โรงงานที่อำเภอท่าม่วง		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
ท่าม่วง	6.973	616,068.2	4,295,844
เมืองกาญจนบุรี	12	644,725.4	7,736,705
พนมทวน	36	444,029.2	15,985,051
	รวม	1,704,823	28,017,600

ตารางที่ ฉ-25 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภออู่ทอง

รับได้ 1,190,995.16 ตัน	โรงงานที่อำเภออู่ทอง		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
อู่ทอง	6.99	694,983	4,857,931
กิ่ง อ.ห้วยกระเจา	27	376,534	10,166,418
เมืองสุพรรณบุรี	32	90,413.3	2,893,226
	รวม	1,161,930	17,917,575

ตารางที่ ฉ-26 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอด่านช้าง

รับได้ 2,164,812.98	โรงงานที่อำเภอด่านช้าง		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
ด่านช้าง	9.504	1,199,911	11,403,951
เลาขวัญ	38	984,028.9	37,393,098
	รวม	2,183,940	48,797,049

ตารางที่ ฉ-27 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอปราณบุรี

รับได้ 458,968.98	โรงงานที่อำเภอปราณบุรี		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
ปราณบุรี	7.804	73,807.7	575,995.3
บางสะพาน	200	4,909.6	981,920
เมืองประจวบคีรีขันธ์	70	104,212.5	7,294,875
กุยบุรี	45	47,648.4	2,144,178
กิ่ง อ.สามร้อยยอด	15	56,738.3	851,074.5
หัวหิน	25	239,156.5	5,978,913
	รวม	526,473	17,826,956

ตารางที่ ฉ-28 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอแก้งสนามนาง

รับได้ 1,389,054.93 ตัน	โรงงานที่อำเภอแก้งสนามนาง		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
แก้งสนามนาง	4.945	206,066	1,018,996
บัวใหญ่	19	114,380.7	2,173,233
แวงน้อย	19	29,471.2	559,952.8
บ้านเหลื่อม	30	160,519.7	4,815,591
คอนสวรรค์	38	163,169.4	6,200,437
พล	43	54,672.2	2,350,905
เมืองชัยภูมิ	44	215,084.4	9,463,714
แวงใหญ่	44	23,313	1,025,772
บ้านเขว้า	58	67,071.4	3,890,141
ชนบท	59	38,268.5	2,257,842
กิ่ง อ.เนินสง่า	64	92,532.6	5,922,086
หนองสองห้อง	60	53,197	3,191,820
เปือยน้อย	104	23,698.7	2,464,665
โคกโพธิ์ชัย	91	42,531.8	3,870,394
โนนศิลา	60	80,306.3	4,818,378
	รวม	1,364,283	54,023,927

ตารางที่ ฉ-29 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอกุฉินารายณ์

รับได้ 1,567,397.59 ตัน	โรงงานที่อำเภอกุฉินารายณ์		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
กุฉินารายณ์	7.67	63,392.5	486,220.5
เขาวง	20	2,371	47,420
ห้วยผึ้ง	22	12,011.2	264,246.4
โพนทอง	30	29,090.5	872,715
หนองสูง	33	11,914.1	393,165.3
กิ่ง อ.นาคู	35	539.5	18,882.5
เมยวดี	35	3,112.4	108,934
นามน	41	24,423.5	1,001,364
คำชะอี	47	20,707.6	973,257.2
โพธิ์ชัย	54	23,527.4	1,270,480
เสลภูมิ	63	8,981.1	565,809.3
หนองพอก	65	31,820.5	2,068,333
ร่องคำ	66	599.9	39,593.4
กิ่ง อ.ดอนจาน	72	32,924.3	2,370,550
กมลาไสย	80	347.8	27,824
นาแก	95	35,753.8	3,396,611
ธาตุพนม	122	18,302.1	2,232,856
ท่าอุเทน	158	6,417.9	1,014,028
วังสามหมอ	86	300,000	25,800,000
	รวม	626,237	42,952,290

ตารางที่ ฉ-30 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอพิมาย

รับได้ 1,949,125.45 ตัน	โรงงานที่อำเภอพิมาย		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
พิมาย	8.373	328,194.6	2,747,973.4
ห้วยแถลง	33	116,862.1	3,856,449
คง	41	197,347.8	8,091,260
จักราช	46	452,256.4	20,803,794
กิ่ง อ.บ้านสีดา	46	1,407.4	64,740.4

ตารางที่ ฉ-30 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอพิมาย (ต่อ)

รับได้ 1,949,125.45 ตัน	โรงงานที่อำเภอพิมาย		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
เมืองโคราช	58	32,287.63	1,872,683
ขามสะแกแสง	71	41,190.98	2,924,560
กิ่ง อ.พระทองคำ	80	128,654.2	10,292,336
ด่านขุนทด	129	245,375.6	31,653,452
ลำทะเมนชัย	53	29,709.95	1,574,627
เฉลิมพระเกียรติ(โคราช)	69	25,265.68	1,743,332
	รวม	1,598,552	85,625,207

ตารางที่ ฉ-31 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอเกาะคา

รับได้ 170,079.389 ตัน	โรงงานที่อำเภอเกาะคา		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
เกาะคา	6.623	27,464.5	181,897.4
เมืองลำปาง	15	153,098.7	2,296,481
	รวม	180,563	2,478,378

ตารางที่ ฉ-32 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอบางกระทุ่ม

รับได้ 933,322.08 ตัน	โรงงานที่อำเภอบางกระทุ่ม		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
บางกระทุ่ม	5.996	43,500.6	260,829.6
เมืองพิจิตร	22	6,234.2	137,152.4
กิ่ง อ.สากเหล็ก	25	14,673.1	366,827.5
สามง่าม	32	34,098.2	1,091,142
เมืองพิษณุโลก	35	56,818.7	1,988,655
เนินมะปราง	37	50,768.6	1,878,438
โพธิ์ประทับช้าง	45	81,924.7	3,686,612
วังทอง	49	90,849.5	4,451,626
ตะพานหิน	49	11,884.8	582,355.2

ตารางที่ ฉ-32 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอบางกระทุ่ม (ต่อ)

รับได้ 933,322.08 ตัน	โรงงานที่อำเภอบางกระทุ่ม		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
บางระกำ	52	253,540.8	13,184,122
วชิรบารมี	56	8,337	466,872
วัดโบสถ์	65	65,509.1	4,258,092
กงไกรลาศ	73	17,429.6	1,272,361
พรหมพิราม	75	37,772	2,832,900
เมืองปาน	330	32,562.7	10,745,691
แจ้ห่ม	315	4,181.9	1,317,299
ห้างฉัตร	278	33,854.9	9,411,662
แม่เมาะ	265	10,231.6	2,711,374
แม่ทะ	257	15,130.1	3,888,436
เสริมงาม	297	669.6	198,871.2
สบปราบ	302	37,402.5	11,295,555
วังชิ้น	245	506.2	124,019
ลอง	257	4,098.9	1,053,417
สอง	256	10,006.5	2,561,664
บ้านด่านลานหอย	119	8,236.3	980,119.7
กิ่ง อ.บึงนาราง	59	103,925.1	6,131,581
	รวม	1,034,147	86,877,674

ตารางที่ ฉ-33 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอบ้านโป่ง

รับได้ 1,321,322.36 ตัน	โรงงานที่อำเภอบ้านโป่ง		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
บ้านโป่ง	5.571	490,093.1	2,730,309
ชะอำ	137	109,516.1	15,003,706
แก่งกระจาน	140	4,969.8	695,772
ท่ายาง	110	97,278.6	10,700,646
โพธาราม	25	424,047.1	10,601,178
ปากท่อ	47	191,115.7	8,982,438
หนองหญ้าปล้อง	60	28,913.4	1,734,804
	รวม	1,345,934	50,448,853

ตารางที่ ฉ-34 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอหนองเรือ

รับได้ 1,581,666.69 ตัน	โรงงานที่อำเภอหนองเรือ		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
หนองเรือ	7.318	98,205.6	718,668.58
ภูเวียง	23	235,708.3	5,421,290.9
บ้านฝาง	27	153,622.2	4,147,799.4
พระยืน	42	14,799.9	621,595.8
ชุมแพ	39	77,904	3,038,256
กิ่ง อ.หนองนาคำ	35	19,340.7	676,924.5
กิ่ง อ.โกสุมพิสัย	85	59,153.1	5,028,013.5
กิ่ง อ.กุดรัง	112	34,639.7	3,879,646.4
บรบือ	122	11,310.3	1,379,856.6
ภูหลวง	141	5,323	750,543
กิ่ง อ.หนองหิน	121	130,988.5	15,849,609
ภูกระดึง	97	19,818	1,922,346
ผาขาว	122	215,247	26,260,134
ศรีบุญเรือง	60	138,807.4	8,328,444
สีชมพู	66	152,769.5	10,082,787
คอนสาร	62	286,727.9	17,777,130
	รวม	1,654,365	105,883,045

ตารางที่ ฉ-35 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอสามชุก

รับได้ 316,857.36 ตัน	โรงงานที่อำเภอสามชุก		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
สามชุก	5.367	152,266.4	817,213.8
ศรีประจันต์	18	192,812.5	3,470,625
	รวม	345,079	4,287,839

ตารางที่ ฉ-36 แสดงระยะทางระหว่างอำเภอที่ปลูกอ้อยกับอำเภอเมืองกำแพงเพชร

รับได้ 2,354,727.05 ตัน	โรงงานที่อำเภอเมืองกำแพงเพชร		
อำเภอ	ระยะห่างจากโรงงานน้ำตาล (กม.)	ปริมาณ (ตัน)	ผลคูณ
เมืองกำแพงเพชร	12.496	822,433.4	10,277,128
กิ่ง อ.โกสัมพีนคร	25	32,199.6	804,990
พรานกระต่าย	25	296,242.2	7,406,055
ไทรงาม	42	382,294.8	16,056,382
คลองขลุง	42	327,654.5	13,761,489
กิ่ง อ.วังเจ้า	48	79,902	3,835,296
คลองลาน	52	27,296.7	1,419,428
ทรายทองวัฒนา	53	240,269.1	12,734,262
คีรีมาศ	57	142,074	8,098,218
เมืองสุโขทัย	77	4,866.5	374,720.5
ปางศิลาทอง	70	31,077.1	2,175,397
ลานกระบือ	59	352,924.6	20,822,551
	รวม	2,739,235	97,765,917

วิธีการคำนวณหาระยะทางระหว่างไร่อ้อยกับโรงงานน้ำตาล

1.ระบุอำเภอตำแหน่งที่ตั้งโรงงานน้ำตาลในแผนที่ทางหลวง

2.ระบุอำเภอตำแหน่งที่ปลูกอ้อยในแผนที่ทางหลวง

3.อำเภอใดอยู่ใกล้โรงงานน้ำตาลใดมากที่สุด จะส่งอ้อยป้อนโรงงานน้ำตาลนั้นและวัดระยะทางจากแผนที่ทางหลวง

4.พิจารณาให้อำเภอปลูกอ้อยที่มีระยะห่างสั้นที่สุดส่งอ้อยเข้าโรงงานน้ำตาลก่อนและถัดมาตามลำดับจนกระทั่งเต็ม ถ้ามีปริมาณอ้อยเกินปริมาณที่โรงงานจะรับได้ จะต้องส่งอ้อยไปยังโรงงานอื่นที่อยู่ใกล้เป็นลำดับถัดไปและวัดระยะทางใหม่

5.ระยะทางเฉลี่ย = (Σปริมาณ x ระยะทาง)/ปริมาณรวม (กม.)

หมายเหตุ

1.ข้อมูลพื้นที่ปลูกอ้อยรายอำเภอได้จากการใช้ภาพถ่ายทางดาวเทียมโดยสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย แต่ไม่มีปริมาณผลผลิตรายอำเภอ

2.ทำให้ต้องใช้ปริมาณผลผลิตรายจังหวัดจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (ผลผลิตรวมประมาณ 49 ล้านตัน)

3.ถ้าใช้พื้นที่ปลูกอ้อยทั้งหมดจากข้อ1.คูณกับผลผลิตเฉลี่ยทั้งประเทศจากข้อ2.จะได้ปริมาณผลผลิตรวมประมาณ 55 ล้านตัน ซึ่งมากกว่าปริมาณผลผลิตรวมจากข้อ2. และปริมาณรวมที่โรงงานรับได้ ดังนั้นจึงแก้ไขใหม่

การแก้ไข

ปริมาณอ้อยรายอำเภอ = (%พื้นที่) x (ปริมาณอ้อยรายจังหวัดจากข้อ2.)

เมื่อ %พื้นที่ = พื้นที่ปลูกอ้อยของอำเภอนั้น/พื้นที่ปลูกอ้อยทั้งจังหวัด

สมมติฐาน

1.ให้พื้นที่อำเภอที่ตั้งโรงงานน้ำตาลมีรูปร่างเป็นวงกลม

2.พื้นที่ = π x r^2 ดังนั้น r = (พื้นที่/π)$^{1/2}$ เมื่อ r คือรัศมีและสมมติให้ r/2 เป็นระยะทางที่ต้องขนส่งอ้อยจากอำเภอนั้นไปยังโรงงานน้ำตาล โดยสมมติโรงงานน้ำตาลตั้งอยู่ที่จุดศูนย์กลางวงกลม

3. 1 ไร่ = 1600 ตารางเมตร

1 ตารางกิโลเมตร = 10^6 ตารางเมตร

ดังนั้น 1 ไร่ = ($16/10^4$) ตารางกิโลเมตร

Σ(ปริมาณ x ระยะทาง) = 2,245,242,761 ตัน-กม.

ปริมาณรวม = 49,251,619 ตัน ดังนั้นระยะทางเฉลี่ย = 45.587 กม.

ระยะทางเฉลี่ยของกลุ่มโรงงานในแต่ละภาคแสดงในตารางที่ ฉ-37

ตารางที่ ฉ-37 แสดงระยะทางเฉลี่ยของกลุ่มโรงงานในแต่ละภาค

ภาค	จำนวนโรงงาน	ระยะทางเฉลี่ย (กม.)	SD (กม.)
เหนือ	10	60.251	29.626
ตะวันออกเฉียงเหนือ	13	47.974	19.701
กลาง	18	32.489	13.93
ตะวันออก	5	47.777	12.037

ภาคผนวก ช

การคำนวณพลังงานและ emissions
ขั้นตอนการขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงานน้ำตาล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณพลังงานและ emissions
ขั้นตอนการขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงานน้ำตาล

ตัวอย่างการคำนวณโดยใช้ระยะทางเฉลี่ยจากทุกภาค

เมื่อ

ระยะทางระหว่างไร่อ้อยกับโรงงานน้ำตาล = 45.587 กม.

น้ำหนักบรรทุกอ้อยของรถบรรทุก = 20 ตัน [29]

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุก = 2.0 กม./ลิตร [30]

ดังนั้น อ้อย 1 ตัน ต้องใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่ง = (45.587/2.0)/20 ลิตร

= 1.14 ลิตร

= 1.14 x 33,946.125 = 38,698.583 Btu

แสดงเป็นค่าพลังงานและ emissions ได้ดังนี้

จากการผลิตน้ำมันดีเซล

หน่วย: Btu หรือ กรัม ต่อการขนส่งอ้อย 1 ตัน

Total energy: (38,698.583 /10^6) x 197,564 = 7,645.447 Btu

Fossil fuels: (38,698.583 /10^6) x 186,546 = 7,219.066 Btu

Petroleum: (38,698.583 /10^6) x 87,351 = 3,380.360 Btu

VOC: (38,698.583 /10^6) x 8.848 = 0.342 g

CO: (38,698.583 /10^6) x 23.954 = 0.927 g

NO_x: (38,698.583 /10^6) x 31.26 = 1.210 g

PM_{10}: (38,698.583 /10^6) x 2.881 = 0.111 g

SO_x: (38,698.583 /10^6) x 17.029 = 0.659 g

CH_4: (38,698.583 /10^6) x 103.868 = 4.020 g

N_2O: (38,698.583 /10^6) x 0.201 = 0.00778 g

CO_2: (38,698.583 /10^6) x 14,881 = 575.874 g

จากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลในรถบรรทุก

หน่วย: Btu หรือ กรัม ต่อการขนส่งอ้อย 1 ตัน

Total energy: 38,698.583 Btu

Fossil fuels: 38,698.583 Btu

Petroleum: 38,698.583 Btu

VOC: (38,698.583 /10^6) x 90.000 = 3.483 g

CO: (38,698.583 /10^6) x 500.000 = 19.349 g

NO_x: (38,698.583 /10^6) x 300.000 = 11.610 g

PM_{10}: (38,698.583 /10^6) x 43.520 = 1.684 g

SO_x: (38,698.583 /10^6) x 12.607 = 0.488 g

CH_4: (38,698.583 /10^6) x 4.410 = 0.171 g

N_2O: (38,698.583 /10^6) x 2.000 = 0.0774 g

CO_2: (38,698.583 /10^6) x 79,354 = 3,070.887 g

สรุปพลังงานและ emissions ขั้นตอนการขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงานน้ำตาล

หน่วย: Btu หรือ กรัม ต่อการขนส่งอ้อย 1 ตัน

Total energy: 7,645.447 + 38,698.583 = 46,344.030 Btu

Fossil fuels: 7,219.066 + 38,698.583 = 45,917.649 Btu

Petroleum: 3,380.360 + 38,698.583 = 42,078.943 Btu

VOC: 0.342 + 3.483 = 3.825 g

CO: 0.927 + 19.349 = 20.276 g

NO_x: 1.210 + 11.610 = 12.819 g

PM_{10}: 0.111 + 1.684 = 1.796 g

SO_x: 0.659 + 0.488= 1.147 g

CH_4: 4.020 + 0.171= 4.190 g

N_2O: 0.00778 + 0.0774= 0.0852 g

CO_2: 575.874 + 3,070.887= 3,646.761 g

สรุปพลังงานและ emissions ขั้นตอนการขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงานน้ำตาลซึ่งได้จากตัวอย่างการคำนวณดังข้างบนแสดงในรูปตารางได้ดังตารางที่ ช-1 และแสดงระยะทางระหว่างไร่อ้อยกับโรงงานน้ำตาลโดยเฉลี่ยของแต่ละภาคไว้ในตารางที่ ช-2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ช-1 แสดงพลังงานและ emissions ขั้นตอนการขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงานน้ำตาล

หน่วย: Btu หรือ กรัม ต่อ 1 ตันอ้อย (เที่ยวเดียว)

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
Total energy (Btu)	46,344.030
Fossil fuels (Btu)	45,917.649
Petroleum (Btu)	42,078.943
VOC (g)	3.825
CO (g)	20.276
NO_x (g)	12.819
PM_{10} (g)	1.796
SO_x (g)	1.147
CH_4 (g)	4.190
N_2O (g)	0.0852
CO_2 (g)	3,646.761

ตารางที่ ช-2 แสดงระยะทางระหว่างไร่อ้อยกับโรงงานน้ำตาลโดยเฉลี่ยของแต่ละภาค

ภาค	จำนวนโรงงาน	ระยะทางเฉลี่ย (กม.)	SD (กม.)
เหนือ	10	60.251	29.626
ตะวันออกเฉียงเหนือ	13	47.974	19.701
กลาง	18	32.489	13.93
ตะวันออก	5	47.777	12.037

โดยใช้วิธีการเดียวกันจะได้พลังงานและ emissions ของการขนส่งอ้อยแต่ละภาคดังตารางที่ ช-3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ช-3 แสดงพลังงานและ emissions ของการขนส่งอ้อยแยกตามภาค

หน่วย: Btu หรือ กรัม ต่อ 1 ตันอ้อย (เที่ยวเดียว)

พารามิเตอร์	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	กลาง	ตะวันออก
Total energy (Btu)	61,234.081	48,756.764	33,019.105	48,556.550
Fossil fuels (Btu)	60,670.707	48,308.185	32,715.317	48,109.813
Petroleum (Btu)	55,598.648	44,269.631	29,980.324	44,087.843
VOC (g)	5.054	4.024	2.725	4.008
CO (g)	26.791	21.332	14.446	21.244
NO_x (g)	16.938	13.487	9.133	13.431
PM_{10} (g)	2.373	1.889	1.279	1.881
SO_x (g)	1.515	1.207	0.817	1.202
CH_4 (g)	5.536	4.408	2.985	4.390
N_2O (g)	0.113	0.090	0.061	0.089
CO_2 (g)	4,818.443	3,836.616	2,598.237	3,820.862

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ซ

การคำนวณการใช้พลังงานในโรงงานน้ำตาล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณการใช้พลังงานในโรงงานน้ำตาล

จากข้อมูลการสำรวจพลังงานในโรงงานน้ำตาล 6 โรง จาก 46 โรงงานทั่วประเทศ ปี 2540/41 โดยสถาบันวิจัยพลังงานพบว่า คุณสมบัติของกากอ้อยของแต่ละโรงงานเป็นดังที่แสดงไว้ในตารางที่ ซ-1

ตารางที่ ซ-1 แสดงคุณสมบัติของกากอ้อยของ 6 โรงงาน [7]

โรงงาน	ค่าความร้อนต่ำ (kJ/kg กากอ้อย)	ความชื้นกากอ้อย (%)
ก	8,737.68	51
ข	7,932.48	52
ค	8,807.26	51
ง	8,746.50	49
จ	9,148.89	49
ฉ	8,160.96	53

ประมาณการใช้กากอ้อยรายปีของ 6 โรงงานในปี 2540/2541 แสดงไว้ในตารางที่ ซ-2

ตารางที่ ซ-2 แสดงประมาณการใช้กากอ้อยรายปีของ 6 โรงงานในปี 2540/2541 [7]

โรงงาน	กำลังหีบอ้อย (ตัน)	ใช้กากอ้อย (ตัน)	กากอ้อยเหลือ (ตัน)	%การใช้กากอ้อย	%กากอ้อย
ก	1,743,215	435,804	52,296	89.286	28
ข	1,100,778	275,194	33,023	89.286	28
ค	404,997	101,249	12,150	89.286	28
ง	661,619	165,405	19,849	89.286	28
จ	740,034	185,009	22,201	89.286	28
ฉ	2,669,639	667,410	80,089	89.286	28

ตารางที่ ซ-3 แสดงปริมาณของกากน้ำตาลและน้ำตาลของ 6 โรงงานในปี 2540/2541 ตารางที่ ซ-4 แสดงราคากากน้ำตาลในปี พ.ศ. 2543-2547 และตารางที่ ซ-5 แสดงราคาน้ำตาลในปี พ.ศ. 2537-2544 เพื่อนำมาคำนวณหา % allocation ในการจัดสรรพลังงานระหว่างน้ำตาลกับกากน้ำตาล ซึ่งแสดง % allocation ในตารางที่ ซ-6 ตามลำดับ

ตารางที่ ซ-3 แสดงปริมาณของกากน้ำตาลและน้ำตาลของ 6 โรงงานในปี 2540/2541 [31]

โรงงาน	กากน้ำตาล (ตัน)	น้ำตาล (ตัน)
ก	85,923.086	191,650.02
ข	53,960.125	109,031.57
ค	13,976.443	34,940.3
ง	34,470.356	59,080.22
จ	45,682.325	67,428.59
ฉ	161,646.635	238,141.52

ตารางที่ ซ-4 แสดงราคากากน้ำตาลในปี พ.ศ. 2543-2547 (บาทต่อตันกากน้ำตาล) [39]

ปี พ.ศ.	ราคากากน้ำตาลเฉลี่ย (บาท)
2543	1,251
2544	1,862
2545	1,600
2546	920
2547	837

ตารางที่ ซ-5 แสดงราคาน้ำตาลในปี พ.ศ. 2537-2544 (บาทต่อตันน้ำตาล) [39]

ปี พ.ศ.	ราคาน้ำตาลเฉลี่ย (บาท)
2537	11,281.3
2538	11,198.9
2539	11,196.4
2540	11,189.9
2541	11,199.4
2542	11,184.4
2543	11,577.3
2544	11,938.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยเลือกใช้ราคาน้ำตาลเฉลี่ยในปี 2541 คือ 11,199.4 บาทต่อตัน และ ราคากากน้ำตาลต่ำสุดและสูงสุดจากข้อมูลในปี 2547 และ 2544 คือ 837 บาทต่อตัน และ 1,862 บาทต่อตันตามลำดับ ในการคำนวณ % allocation

เมื่อ % allocation = $[(\text{ราคา x มวล})_{\text{กากน้ำตาล}} / ((\text{ราคา x มวล})_{\text{กากน้ำตาล}} + (\text{ราคา x มวล})_{\text{น้ำตาล}})] \times 100$ % (ซ-1)

โดยที่ (+) หมายถึงกรณีที่คำนวณ % allocation จากราคากากน้ำตาลต่ำสุด

(-) หมายถึงกรณีที่คำนวณ % allocation จากราคากากน้ำตาลสูงสุด

ตารางที่ ซ-6 แสดง % allocation ของ 6 โรงงาน

โรงงาน	% allocation (+)	% allocation (-)
ก	3.242	6.937
ข	3.567	7.603
ค	2.903	6.236
ง	4.178	8.843
จ	4.819	10.124
ฉ	4.828	10.141

พลังงานจากกากอ้อยที่ใช้ในโรงงานน้ำตาล 6 โรง และที่จัดสรรให้กากน้ำตาลแสดงในตารางที่ ซ-7

ตารางที่ ซ-7 แสดงพลังงานจากกากอ้อยที่ใช้ในโรงงานน้ำตาล 6 โรง และที่จัดสรรให้กากน้ำตาล

โรงงาน	พลังงานจากกากอ้อย (MJ)	พลังงานจัดสรรให้กากน้ำตาล (MJ/kg) (+)	พลังงานจัดสรรให้กากน้ำตาล (MJ/kg) (-)
ก	3,807,915,894.720	1.437	3.074
ข	2,182,970,901.120	1.443	3.076
ค	891,726,267.740	1.852	3.979
ง	1,446,714,832.500	1.754	3.711
จ	1,692,626,990.010	1.786	3.417
ฉ	5,446,706,313.600	1.627	3.803

ตารางที่ ซ-8 ซึ่งอยู่ในหน้าถัดไปแสดงพลังงานและ emissions รวมจากการผลิตและขนส่งอ้อย 1 ตันของ 6 โรงงาน

ตารางที่ ซ-8 แสดงพลังงานและ emissions รวมการผลิตและขนส่งอ้อยของ 6 โรงงาน (ต่อตันอ้อย)

	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (Btu)	219,088.800	231,566.117	218,888.586	203,351.141	203,351.141	231,566.117
Fossil fuels (Btu)	215,628.292	227,990.814	215,429.920	200,035.424	200,035.424	227,990.814
Petroleum (Btu)	82,906.762	94,235.779	82,724.974	68,617.455	68,617.455	94,235.779
VOC (g)	6.711	7.741	6.695	5.412	5.412	7.741
CO (g)	31.798	37.257	31.710	24.912	24.912	37.257
NO_x (g)	44.281	47.732	44.225	39.927	39.927	47.732
PM_{10} (g)	3.358	3.842	3.350	2.748	2.748	3.842
SO_x (g)	11.707	12.015	11.702	11.317	11.317	12.015
CH_4 (g)	29.937	31.065	29.919	28.514	28.514	31.065
N_2O (g)	40.881	40.904	40.880	40.852	40.852	40.904
CO_2 (g)	9,705.957	10,687.784	9,690.203	8,467.578	8,467.578	10,687.784

จากตารางที่ ซ-8 เมื่อจัดสรรให้กากน้ำตาล 1 กิโลกรัมในกรณี (+) จะได้ค่าตามตารางที่ ซ-9 และเมื่อจัดสรรให้กากน้ำตาล 1 กิโลกรัมในกรณี (-) จะได้ค่าตามตารางที่ ซ-10 ตามลำดับ

ตารางที่ ซ-9 แสดงพลังงานและ emissions ของการผลิตและขนส่งอ้อยของ 6 โรงงานที่จัดสรรให้กากน้ำตาล 1 กิโลกรัม (+)

	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (Btu)	144.105	168.491	184.114	163.083	158.757	184.642
Fossil fuels (Btu)	141.829	165.890	181.204	160.424	156.168	181.791
Petroleum (Btu)	54.532	68.568	69.582	55.030	53.570	75.140
VOC (g)	0.00441	0.00563	0.00563	0.00434	0.00423	0.00617
CO (g)	0.0209	0.0271	0.0267	0.0200	0.0194	0.0297
NO_x (g)	0.0291	0.0347	0.0372	0.0320	0.0312	0.0381
PM_{10} (g)	0.00221	0.00280	0.00282	0.00220	0.00215	0.00306
SO_x (g)	0.00770	0.00874	0.00984	0.00908	0.00884	0.00958
CH_4 (g)	0.0197	0.0226	0.0252	0.0229	0.0223	0.0248
N_2O (g)	0.0269	0.0298	0.0344	0.0328	0.0319	0.0326
CO_2 (g)	6.384	7.777	8.151	6.791	6.611	8.522

ตารางที่ ซ-10 แสดงพลังงานและ emissions ของการผลิตและขนส่งอ้อยของ 6 โรงงานที่จัดสรรให้กากน้ำตาล 1 กิโลกรัม (-)

	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (Btu)	308.335	359.141	395.522	345.137	333.490	387.827
Fossil fuels (Btu)	303.465	353.596	389.272	339.509	328.052	381.839
Petroleum (Btu)	116.679	146.152	149.480	116.461	112.531	157.826
VOC(g)	0.00945	0.0120	0.0121	0.00919	0.00888	0.0130
CO (g)	0.0448	0.0578	0.0573	0.0423	0.0409	0.0624
NO_x (g)	0.0623	0.0740	0.0799	0.0678	0.0655	0.0799
PM_{10} (g)	0.00473	0.00596	0.00605	0.00466	0.00451	0.00643
SO_x (g)	0.0165	0.0186	0.0211	0.0192	0.0186	0.0201
CH_4 (g)	0.0421	0.0482	0.0541	0.0484	0.0468	0.0520
N_2O (g)	0.0575	0.0634	0.0739	0.0693	0.0670	0.0685
CO_2 (g)	13.660	16.576	17.510	14.372	13.887	17.900

พลังงานจากกากอ้อยที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกากน้ำตาลในโรงงานน้ำตาลถูกจัดสรรให้กากน้ำตาลที่ผลิตได้ในแต่ละโรงงานแบ่งเป็นกรณี (+) และ (-) แสดงค่าในตารางที่ ซ-11 และจัดสรรต่อ 1 กิโลกรัมกากน้ำตาลในกรณี (+) และ (-) พร้อมทั้งแสดงค่า emissions ที่คำนวณได้แสดงผลในตารางที่ ซ-12 และตารางที่ ซ-13 ตามลำดับ

ตารางที่ ซ-11 แสดงพลังงานจากกากอ้อยจัดสรรให้กากน้ำตาล (Btu)

โรงงาน	จัดสรรให้กากน้ำตาล (Btu) (+)	จัดสรรให้กากน้ำตาล (Btu) (-)
ก	117,011,471,538.194	250,365,036,904.829
ข	73,798,688,228.233	157,302,576,263.783
ค	24,533,742,404.421	52,704,548,223.957
ง	57,293,808,391.312	121,252,239,132.967
จ	77,315,597,168.646	162,412,052,410.462
ฉ	249,245,915,602.764	523,522,347,749.981

ตารางที่ ซ-12 แสดงพลังงานและ emissions จากกากอ้อยจัดสรรให้กากน้ำตาล 1 kg (+)

	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (Btu)	1,361.816	1,367.652	1,755.364	1,662.118	1,692.462	1,541.918
Fossil fuels (Btu)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Petroleum (Btu)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
VOC (g)	0.00727	0.00730	0.00938	0.00888	0.00904	0.00824
CO (g)	0.0509	0.0511	0.0656	0.0621	0.0633	0.0576
NO_x (g)	0.0727	0.0730	0.0938	0.0888	0.0904	0.0824
PM_{10} (g)	0.00946	0.00950	0.0122	0.0115	0.0118	0.0107
SO_x (g)	0.00273	0.00274	0.00352	0.00333	0.00339	0.00309
CH_4 (g)	0.00522	0.00524	0.00673	0.00637	0.00649	0.00591
N_2O (g)	0.00545	0.00547	0.00702	0.00665	0.00677	0.00617
CO_2 (g)	144.261	144.880	185.951	176.073	179.288	163.340

ตารางที่ ซ-13 แสดงพลังงานและ emissions จากกากอ้อยจัดสรรให้กากน้ำตาล 1 kg (-)

	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (Btu)	2,913.827	2,915.163	3,770.956	3,517.580	3,238.684	3,604.386
Fossil fuels (Btu)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Petroleum (Btu)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
VOC (g)	0.0156	0.0156	0.0201	0.0188	0.0190	0.0173
CO (g)	0.109	0.109	0.141	0.132	0.133	0.121
NO_x (g)	0.156	0.156	0.201	0.188	0.190	0.173
PM_{10} (g)	0.0202	0.0202	0.0262	0.0244	0.0247	0.0225
SO_x (g)	0.00584	0.00584	0.00755	0.00705	0.00712	0.00649
CH_4 (g)	0.0112	0.0112	0.0145	0.0135	0.0136	0.0124
N_2O (g)	0.0117	0.0117	0.0151	0.0141	0.0142	0.0130
CO_2 (g)	308.670	308.812	399.469	372.628	376.618	343.083

พลังงานและ emissions รวมที่จัดสรรให้กากน้ำตาล 1 kg ที่ออกจากโรงงานน้ำตาลทั้งกรณี (+) และ (-) แสดงในตารางที่ ซ-14 และ ตารางที่ ซ-15 ตามลำดับ

ตารางที่ ซ-14 แสดงพลังงานและ emissions รวมที่จัดสรรให้กากน้ำตาล 1 kg (+) ออกจากโรงงานน้ำตาล

	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (Btu)	1,505.921	1,536.144	1,939.477	1,825.201	1,851.219	1,726.560
Fossil fuels (Btu)	141.829	165.890	181.204	160.424	156.168	181.791
Petroleum (Btu)	54.532	68.568	69.582	55.030	53.570	75.140
VOC (g)	0.0117	0.0129	0.0150	0.0132	0.0133	0.0144
CO (g)	0.0718	0.0782	0.0923	0.0821	0.0827	0.0874
NO_x (g)	0.102	0.108	0.131	0.121	0.122	0.120
PM_{10} (g)	0.0117	0.0123	0.0150	0.0137	0.0139	0.0138
SO_x (g)	0.0104	0.0115	0.0134	0.0124	0.0122	0.0127
CH_4 (g)	0.0249	0.0278	0.0319	0.0292	0.0288	0.0307
N_2O (g)	0.0323	0.0352	0.0414	0.0394	0.0387	0.0388
CO_2 (g)	150.645	152.656	194.102	182.864	185.898	171.862

ตารางที่ ซ-15 แสดงพลังงานและ emissions รวมที่จัดสรรให้กากน้ำตาล 1 kg (-) ออกจากโรงงานน้ำตาล

	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (Btu)	3,222.163	3,274.304	4,166.477	3,862.717	3,572.174	3,992.213
Fossil fuels (Btu)	303.465	353.596	389.272	339.509	328.052	381.839
Petroleum (Btu)	116.679	146.152	149.480	116.461	112.531	157.826
VOC (g)	0.0250	0.0276	0.0322	0.0280	0.0279	0.0303
CO (g)	0.154	0.167	0.198	0.174	0.174	0.183
NO_x (g)	0.218	0.230	0.281	0.256	0.255	0.253
PM_{10} (g)	0.0250	0.0262	0.0322	0.0291	0.0292	0.0289
SO_x (g)	0.0223	0.0245	0.0287	0.0263	0.0257	0.0266
CH_4 (g)	0.0533	0.0594	0.0685	0.0619	0.0604	0.0644
N_2O(g)	0.0692	0.0751	0.0890	0.0834	0.0812	0.0815
CO_2 (g)	322.330	325.388	416.978	386.999	390.505	360.983

emission factors ของการเผาไหม้ไม้ใน FBC boiler แสดงไว้ในตารางที่ ซ-16 เพื่อนำมาแสดงตัวอย่างการคำนวณ emissions จากการเผาไหม้กากอ้อยในโรงงานน้ำตาล

ตารางที่ ซ-16 แสดง emission factors ของการเผาไหม้ไม้ใน FBC boiler [26]

หน่วย: grams per mmBtu of fuel burned

	Wood
	FBC boiler
VOC (g)	5.341
CO (g)	37.388
NO_x (g)	53.412
PM_{10} (g)	6.944
SO_x (g)	2.003
CH_4 (g)	3.834
N_2O (g)	4.0
CO_2 (g)	105,933

ตัวอย่างการคำนวณ

ให้ใช้ emission factors ของ Wood จาก GREET 1.5a ได้ผลลัพธ์ดังนี้

VOC = 1,361.816 x 10^{-6} x 5.341 = 0.00727 g/kg กากน้ำตาล

CO = 1,361.816 x 10^{-6} x 37.388 = 0.0509 g/kg กากน้ำตาล

NO_x = 1,361.816 x 10^{-6} x 53.412 =0.0727 g/kg กากน้ำตาล

PM_{10} = 1,361.816 x 10^{-6} x 6.944 = 0.00946 g/kg กากน้ำตาล

SO_x = 1,361.816 x 10^{-6} x 2.003 = 0.00273 g/kg กากน้ำตาล

CH_4 = 1,361.816 x 10^{-6} x 3.834 = 0.00522 g/kg กากน้ำตาล

N_2O = 1,361.816 x 10^{-6} x 4.0 = 0.00545 g/kg กากน้ำตาล

CO_2 = 1,361.816 x 10^{-6} x 105,933 =144.261 g/kg กากน้ำตาล

ภาคผนวก ฌ

การคำนวณพลังงานและ emissions ขั้นตอนการขนส่งกากน้ำตาล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณพลังงานและ emissions ขั้นตอนการขนส่งกากน้ำตาล

เอทานอลส่วนใหญ่ที่ผลิตในประเทศไทยจะมาจากกากน้ำตาล โรงงานที่ผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลควรจะอยู่ใกล้กับแหล่งวัตถุดิบคือโรงงานน้ำตาลซึ่งถ้าเป็นไปได้ควรจะเป็นโรงงานที่ต่อเนื่องจากกระบวนการผลิตกากน้ำตาล ดังนั้นจึงสมมติให้ระยะทางที่ต้องขนส่งกากน้ำตาลเป็น 1 กิโลเมตร (ไป-กลับ)

ดังนั้นเมื่อระยะทางระหว่างโรงงานน้ำตาลกับโรงงานเอทานอล = 1 กม. (ไป-กลับ)

ปริมาณบรรจุของรถบรรทุก = 15,000 ลิตร [32]

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุก = 3.5 กม./ลิตร [32]

ดังนั้น กากน้ำตาล 1 ลิตร ต้องใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่ง = (1/3.5)/15,000 ลิตร

= 0.000019 ลิตร

= 0.000019 x 33,946.125 Btu

= 0.645 Btu

แสดงเป็นค่าพลังงานและ emissions ได้ดังนี้

จากการผลิตน้ำมันดีเซล

Total energy: (0.645 /10^6) x 197,564 = 0.127 Btu

Fossil fuels: (0.645 /10^6) x 186,546 = 0.120 Btu

Petroleum: (0.645 /10^6) x 87,351 = 0.0563 Btu

VOC: (0.645 /10^6) x 8.848 = 0.00000571 g

CO: (0.645 /10^6) x 23.954 = 0.0000155 g

NO_x: (0.645 /10^6) x 31.260 = 0.0000202 g

PM_{10}: (0.645 /10^6) x 2.881 = 0.00000186 g

SO_x: (0.645 /10^6) x 17.029 = 0.0000110 g

CH_4: (0.645 /10^6) x 103.868 = 0.0000670 g

N_2O: (0.645 /10^6) x 0.201 = 0.000000130 g

CO_2: (0.645 /10^6) x 14,881 = 0.00960 g

จากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลในรถบรรทุก

Total energy: 0.645 Btu

Fossil fuels: 0.645 Btu

Petroleum: 0.645 Btu

VOC: (0.645 /10^6) x 90.000 = 0.0000581 g

CO: (0.645 /10^6) x 500.000 = 0.000323 g

NO_x: (0.645 /10^6) x 300.000 = 0.000194 g

PM_{10}: (0.645 /10^6) x 43.520 = 0.0000281 g

SO_x: (0.645 /10^6) x 12.607 = 0.00000813 g

CH_4: (0.645 /10^6) x 4.410 = 0.00000284 g

N_2O: (0.645 /10^6) x 2.000 = 0.00000129 g

CO_2: (0.645 /10^6) x 79,354 = 0.0512 g

สรุปพลังงานและ emissions ขั้นตอนการขนส่งกากน้ำตาล

Total energy: 0.127 + 0.645 = 0.772 Btu

Fossil fuels: 0.120 + 0.645 = 0.765 Btu

Petroleum: 0.0563 + 0.645 = 0.701 Btu

VOC: 0.00000571 + 0.0000581 = 0.0000638 g

CO: 0.0000155 + 0.000323 = 0.000339 g

NO_x: 0.0000202 + 0.000194 = 0.000214 g

PM_{10}: 0.00000186 + 0.0000281 = 0.00003 g

SO_x: 0.0000110 + 0.00000813 = 0.0000191 g

CH_4: 0.0000670 + 0.00000284 = 0.0000698 g

N_2O: 0.000000130 + 0.00000129 = 0.00000142 g

CO_2: 0.00960 + 0.0512 = 0.0608 g

จากผลการคำนวณพลังงานที่ใช้และ emissions ของการขนส่งกากน้ำตาล 1 ลิตร ได้นำมาแสดงไว้ในตารางที่ ฌ-1 ในหน้าถัดไป

ตารางที่ ฌ-1 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ของการขนส่งกากน้ำตาล 1 ลิตร

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
Total energy (Btu)	0.772
Fossil fuels (Btu)	0.765
Petroleum (Btu)	0.701
VOC (g)	0.0000638
CO (g)	0.000339
NO_x (g)	0.000214
PM_{10} (g)	0.00003
SO_x (g)	0.0000191
CH_4 (g)	0.0000698
N_2O (g)	0.00000142
CO_2 (g)	0.0608

เนื่องจากกากน้ำตาลมีความหนาแน่น 1.380 กิโลกรัม/ลิตร เมื่อคิดพลังงานและ emissions ในหน่วย Btu หรือ กรัม ต่อการขนส่งกากน้ำตาล 1 กิโลกรัม จะต้องหารค่าจากตารางข้างบนด้วย 1.380 จะได้ดังตารางที่ ฌ-2

ตารางที่ ฌ-2 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions ของการขนส่งกากน้ำตาล 1 กิโลกรัม

Total energy (Btu)	0.559
Fossil fuels (Btu)	0.554
Petroleum (Btu)	0.508
VOC (g)	0.0000462
CO (g)	0.000246
NO_x (g)	0.000155
PM_{10} (g)	0.0000217
SO_x (g)	0.0000138
CH_4 (g)	0.0000506
N_2O (g)	0.00000103
CO_2 (g)	0.0441

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ญ

การคำนวณพลังงานและ emissions ขั้นตอนการผลิตเอทานอล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณพลังงานและ emissions ขั้นตอนการผลิตเอทานอล

วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการหมักเพื่อผลิตเอทานอล 95% แสดงในตารางที่ ญ-1

ตารางที่ ญ-1 แสดง Inputs to fermentation process ของการผลิตเอทานอล 95% [4]

Fermentation source for ethanol	Input material	Mass of input material	Energy source	Energy use(primarily energy)[2,3]	Diesel to denature ethanol[1]	Calcined Lime(Aus)[1]	Ammonia[1]	Additional energy to convert to Anhydrous (Brunoro,pers.comm.)
Molasses	Molasses(Aus)	4.32 kg	Bagasse/coal[3]	13.1 MJ	6 g	2 g	-	0.24 MJ

1.Kadam (1999). 2.The value 9 MJ is based on Bomaderry and in agreement with Kadam (1999).

3.For molasses from the Sarina distillery the value is 13.1 MJ. Note that, on an annual basis, 50% of this energy is from bagasse (David Brunoro, Policy Analyst, Energy Strategies Ltd.,pers. comm., July 2001).

จากตารางที่ ญ-1 กากน้ำตาลมวล 4.32 กิโลกรัม ให้เอทานอล 1 กิโลกรัมหรือ 1.27 ลิตร โดยที่เอทานอล 95% ใช้พลังงาน 13.1 MJ ซึ่งเป็นพลังงานจากกากอ้อย 50%, coal 50% แต่จากตัวเลขการประเมินกากอ้อยเหลือในปี 2540/41 ของ 6 โรงงานพบว่ามีกากอ้อยเหลือพอผลิตเอทานอล 95% ดังนั้นในการคำนวณจึงใช้กากอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในโรงงานเอทานอลและเอทานอล 95% 1 ลิตรใช้พลังงานในการผลิต 10.315 MJ และใช้กากน้ำตาล 3.402 กิโลกรัม

เอทานอล 1,270 ลิตรใช้ดีเซลเป็น denature 6 กิโลกรัม และใช้ calcined lime 2 กิโลกรัม

พลังงานและสัดส่วนเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล 95% แสดงในตารางที่ ญ-2

ตารางที่ ญ-2 แสดงพลังงานและสัดส่วนเชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตเอทานอล

เอทานอล 95% 1 ลิตร	
พลังงานที่ใช้	10.315 MJ
% เชื้อเพลิงที่ใช้	
กากอ้อย	100

Emission factors ของการเผาไหม้ไม้ใน FBC boiler แสดงไว้ในตารางที่ ญ-3 เพื่อคำนวณหา emissions จากการเผาไหม้กากอ้อย

ตารางที่ ญ-3แสดง emission factors ของการเผาไหม้ไม้ใน FBC boiler [26]

หน่วย: grams per mmBtu of fuel burned

Wood	FBC boiler
VOC (g)	5.341
CO (g)	37.388
NO_x (g)	53.412
PM_{10} (g)	6.944
SO_x (g)	2.003
CH_4 (g)	3.834
N_2O (g)	4.0
CO_2 (g)	105,933

ตัวอย่างการคำนวณ

ใช้ emission factors ของ Wood จาก GREET 1.5a ได้ผลลัพธ์ดังนี้

พลังงานและ emissions จากการเผาไหม้กากอ้อย

เอทานอล 95%

Total energy = $(10.315 \times 10^6)/1{,}055.06 = 9{,}776.657$ Btu/ลิตร

Fossil fuels = 0 Btu/ลิตร

Petroleum = 0 Btu/ลิตร

VOC = (10.315 /1,055.06) x 5.341 = 0.0522 g/ลิตร

CO = (10.315 /1,055.06) x 37.388 = 0.366 g/ลิตร

NO_x = (10.315 /1,055.06) x 53.412 =0.522 g/ลิตร

PM_{10} = (10.315 /1,055.06) x 6.944 = 0.0679 g/ลิตร

SO_x = (10.315 /1,055.06) x 2.003 = 0.0196 g/ลิตร

CH_4 = (10.315 /1,055.06) x 3.834 = 0.0375 g/ลิตร

N_2O = (10.315 /1,055.06) x 4.0 = 0.0391 g/ลิตร

CO_2 = (10.315 /1,055.06) x 105,933 = 1,035.67 g/ลิตร

หมายเหตุ ไม่คิด ดีเซลที่ใช้ denature และ calcined lime

จากการคำนวณพลังงานที่ใช้ในการดูดน้ำออกจากเอทานอล 95% เพื่อให้เป็นเอทานอล 99.5% โดยใช้ข้อมูลจากโรงงานแอลกอฮอล์ในโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดาพบว่ามีค่า 16.32 MJ/L ซึ่งพลังงานที่ใช้มาจากน้ำมันดีเซล 99.23% และไฟฟ้า 0.77% โดยที่ 16.32 MJ มีค่า 15,468.375 Btu สามารถคำนวณพลังงานที่ใช้และ emissions ได้ดังนี้

ตัวอย่างการคำนวณ (เมื่อใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันดีเซลกับไฟฟ้า)

พลังงานและ emissions จากการผลิตน้ำมันดีเซล

Total energy: 15,468.375 /10^6 x 0.9923 x 197,564 = 3,032.463 Btu

Fossil fuels: 15,468.375 /10^6 x 0.9923 x 186,546 = 2,863.345 Btu

Petroleum: 15,468.375 /10^6 x 0.9923 x 87,351 = 1340.774 Btu

VOC: 15,468.375 /10^6 x 0.9923 x 8.848 = 0.136 g

CO: 15,468.375 /10^6 x 0.9923 x 23.954 = 0.368 g

NO_x: 15,468.375 /10^6 x 0.9923 x 31.260 = 0.480 g

PM_{10}: 15,468.375 /10^6 x 0.9923 x 2.881 = 0.0442 g

SO_x: 15,468.375 /10^6 x 0.9923 x 17.029 = 0.261 g

CH_4: 15,468.375 /10^6 x 0.9923 x 103.868 = 1.594 g

N_2O: 15,468.375 /10^6 x 0.9923 x 0.201 = 0.00309 g

CO_2: 15,468.375 /10^6 x 0.9923 x 14,881 = 228.413 g

พลังงานและ emissions จากการเผาไหม้น้ำมันดีเซล (Industrial boiler)

Total energy: 15,468.375 x 0.9923 = 15,349.269 Btu

Fossil fuels: 15,468.375 x 0.9923 = 15,349.269 Btu

Petroleum: 15,468.375 x 0.9923 = 15,349.269 Btu

VOC: 15,468.375 /10^6 x 0.9923 x 0.710 = 0.0109 g

CO: 15,468.375 /10^6 x 0.9923 x 17.700 = 0.272 g

NO_x: 15,468.375 /10^6 x 0.9923 x 84.700 = 1.300 g

PM_{10}: 15,468.375 /10^6 x 0.9923 x 3.530 = 0.0542 g

SO_x: 15,468.375 /10^6 x 0.9923 x 12.607 = 0.194 g

CH_4: 15,468.375 /10^6 x 0.9923 x 0.180 = 0.00276 g

N_2O: 15,468.375 /10^6 x 0.9923 x 0.390 = 0.00599 g

CO_2: 15,468.375 /10^6 x 0.9923 x 80,402 = 1,234.112 g

พลังงานจากไฟฟ้า

Total energy: 15,468.375 /10^6 x 0.0077 x 2,157,217.350 = 256.939 Btu

Fossil fuels: 15,468.375 /10^6 x 0.0077 x 2,036,046.406 = 242.506 Btu

Petroleum: 15,468.375 /10^6 x 0.0077 x 115,069.511 = 13.706 Btu

VOC: 15,468.375 /10^6 x 0.0077 x 12.928 = 0.00154 g

CO: 15,468.375 /10^6 x 0.0077 x 50.473 = 0.00601 g

NO_x: 15,468.375 /10^6 x 0.0077 x 370.573 = 0.0441 g

PM_{10}: 15,468.375 /10^6 x 0.0077 x 19.408 = 0.00231 g

SO_x: 15,468.375 /10^6 x 0.0077 x 450.029 = 0.0536 g

CH_4: 15,468.375 /10^6 x 0.0077 x 314.564 = 0.0375 g

N_2O: 15,468.375 /10^6 x 0.0077 x 1.638 = 0.000195 g

CO_2: 15,468.375 /10^6 x 0.0077 x 152,523.136 = 18.166 g

พลังงานและ emissions ที่ใช้ผลิตเอทานอล 99.5% 1 ลิตรจากเอทานอล 95% 1.478 ลิตร แสดงไว้ในตารางที่ ญ-4

ตารางที่ ญ-4 พลังงานและ emissions ที่ใช้ผลิตเอทานอล 99.5% 1 ลิตรจากเอทานอล 95% 1.478 ลิตร

Total energy (Btu)	18,638.670
Fossil fuels (Btu)	18,455.119
Petroleum (Btu)	16,703.748
VOC (g)	0.148
CO (g)	0.645
NO_x (g)	1.824
PM_{10} (g)	0.101
SO_x (g)	0.508
CH_4 (g)	1.635
N_2O (g)	0.00927
CO_2 (g)	1,480.691

พลังงานและ emissions ของการผลิตเอทานอล 99.5% 1 ลิตร จากกากน้ำตาล 5.029 กิโลกรัม

ตารางที่ ญ-5 พลังงานและ emissions ของการผลิตเอทานอล 99.5% 1 ลิตร จากกากน้ำตาล 5.029 กิโลกรัม

Total energy (Btu)	33,088.569
Fossil fuels (Btu)	18,455.119
Petroleum (Btu)	16,703.748
VOC (g)	0.225
CO (g)	1.186
NO_x (g)	2.596
PM_{10} (g)	0.201
SO_x (g)	0.537
CH_4 (g)	1.690
N_2O (g)	0.0671
CO_2 (g)	3,011.411

ตัวอย่างการคำนวณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการ dehydration

จากข้อมูลจากตารางบันทึกการกลั่น Molecular Sieve และ รายงานการใช้หม้อน้ำวันที่ 8/10/46 เวลา 10.00-24.00 น. ซึ่งมีเงื่อนไขคือ มีการเดินเครื่องเฉพาะ Molecular Sieve Unit เท่านั้น

พบว่า

-ระดับน้ำมันดีเซลลดลง 13 cm คิดเป็น 13 x 8 = 104 ลิตร

-ใช้ไฟฟ้า 8 kW-h

-ใช้เอทานอล 95% 340 ลิตร

-ได้ purge alcohol 82.6% 110 ลิตร

-ได้เอทานอล 99.55% 230 ลิตร

-น้ำเข้าหม้อน้ำ 0.9 m^3

สมดุลมวล

มวลเอทานอล

Input; 0.95 x 340 = 323 L

Output; (0.9955 x 230)+(0.826 x 110) = 229 + 91 = 320 L

มวลน้ำ

Input; 0.05 x 340 = 17 L

Output; (0.0045 x 230) + (0.174 x 110) = 1.035 + 19.14 = 20 L

*ความคลาดเคลื่อนมาจากการวัดและการอ่านค่า

LHV ของดีเซล = 33,946.125 Btu/L = 35.815 MJ/L

พลังงานไฟฟ้า 1 kW-h = 3,412.128 Btu = 3.6 MJ

ดังนั้น พลังงานจากดีเซล = 104 x 35.815 = 3,724.76 MJ

พลังงานจากไฟฟ้า = 3.6 x 8 = 28.8 MJ

รวม = 3,753.56 MJ

สัดส่วนเอทานอล 99.5%:เอทานอล 95% = (230/340) x 100 = 67.65% (โดยปริมาตร)

เนื่องจาก purge alcohol เป็นสิ่งที่ได้ออกมาพร้อมกันกับเอทานอล 99.5% แต่ถูกนำกลับเข้าไปในระบบใหม่ ดังนั้นในที่นี้ผลิตภัณฑ์จึงมีชนิดเดียวคือเอทานอล 99.5%

ดังนั้นคิดเป็นพลังงานนำเข้าต่อลิตรเอทานอล 99.5% = 3,753.56 /230 = 16.32 MJ/L

ค่าที่สูงอาจเนื่องมาจากหม้อน้ำทำงานที่ภาระต่ำๆ ประสิทธิภาพจึงลดลงและหัวฉีดของหม้อน้ำตัวใหม่เป็นแบบ on/off มี 2 ตัว ใหญ่กับเล็ก การปรับอัตราการฉีดจึงทำได้ไม่ละเอียดเท่ากับหัวฉีดแบบแปรผันได้

จากตัวเลขประเมินกากอ้อยเหลือหลังจากที่นำไปเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตเอทานอล 95% แล้ว ยังเหลือกากอ้อยส่วนหนึ่งสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตจากเอทานอล 95% ไปเป็นเอทานอล 99.5% จากการประเมินพบว่าทุกโรงงานต้องใช้เชื้อเพลิงเป็นกากอ้อยกับถ่านหิน ยกเว้นโรงงาน ค โรงเดียวที่มีกากอ้อยพอเพียง โดยการคำนวณกระทำที่พลังงานนำเข้าของกระบวนการกำจัดน้ำจากเชื้อเพลิงดีเซลมีค่า 16.194 MJ/L และพลังงานนำเข้าจากไฟฟ้ามีค่า 0.126 MJ/L ของเอทานอล 99.5% โดยประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำดีเซลมีค่า 0.75 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำถ่านหินมีค่า 0.70 และประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำกากอ้อยมีค่าแตกต่างกันในแต่ละโรงงาน ดังจะแสดงข้อมูลต่างๆของการคำนวณพลังงานผลิตเอทานอล 99.5% ไว้ในตารางที่ ญ-6 ถึงตารางที่ ญ-9 ดังนี้

ตารางที่ ญ-6 แสดงข้อมูลต่างๆ ของการคำนวณพลังงานผลิตเอทานอล 99.5%

โรงงาน	ปริมาณเอทานอล 95%ที่ผลิตได้ (ลิตร)	ต้องการพลังงานในการกลั่น (MJ)	พลังงานจากกากอ้อยเหลือ (MJ)	พลังงานเหลือจากการผลิตเอทานอล 95% (MJ)
ก	25,256,639.036	260,522,231.655	456,945,713.280	196,423,481.625
ข	15,861,294.772	163,609,255.575	261,954,287.040	98,345,031.465
ค	4,108,301.881	42,377,133.905	107,008,209.000	64,631,075.095
ง	10,132,379.777	104,515,497.396	173,609,278.500	69,093,781.104
จ	13,428,079.071	138,510,635.619	203,114,506.890	64,603,871.271
ฉ	47,515,177.837	490,119,059.384	653,603,125.440	163,484,066.056

ตารางที่ ญ-7 แสดงข้อมูลต่างๆ ของการคำนวณพลังงานผลิตเอทานอล 99.5%

โรงงาน	ปริมาณเอทานอล 99.5%ที่สามารถผลิตได้ (ลิตร)	พลังงานในการดูดน้ำ (MJ) (จากดีเซล)	ตรวจว่าพลังงานจากกากอ้อยพอผลิตเอทานอล 99.5% หรือไม่ (MJ)	พลังงานในการดูดน้ำ(MJ) (จากกากอ้อย)
ก	17,085,373.465	276,680,537.899	-80,257,056.274	349,226,528.819
ข	10,729,699.405	173,756,752.159	-75,411,720.694	200,735,619.408
ค	2,779,145.390	45,005,480.450	19,625,594.645	51,873,536.710
ง	6,854,256.908	110,997,836.363	-41,904,055.259	132,371,406.062
จ	9,083,700.548	147,101,446.676	-82,497,575.405	180,183,055.703
ฉ	32,142,620.301	520,517,593.158	-357,033,527.102	644,843,400.840

ตารางที่ ญ-8 แสดงข้อมูลต่างๆ ของการคำนวณพลังงานผลิตเอทานอล 99.5%

โรงงาน	ตรวจว่าพลังงานจากกากอ้อยพอผลิตเอทานอล 99.5% หรือไม่ (MJ)	พลังงานที่ใช้จากกากอ้อย (MJ)	พลังงานที่ใช้จากถ่านหิน (MJ)	ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำดีเซล
ก	-152,803,047.194	196,423,481.625	129,707,958.061	0.75
ข	-102,390,587.942	98,345,031.465	94,959,956.703	0.75
ค	12,757,538.385	51,873,536.710	0.000	0.75
ง	-63,277,624.958	69,093,781.104	56,850,426.194	0.75
จ	-115,579,184.432	64,603,871.271	101,098,763.754	0.75
ฉ	-481,359,334.784	163,484,066.056	416,307,058.969	0.75

ตารางที่ ญ-9 แสดงข้อมูลต่างๆ ของการคำนวณพลังงานผลิตเอทานอล 99.5%

โรงงาน	ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำกากอ้อย	ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำถ่านหิน	กากอ้อยทดแทนดีเซลได้ (MJ)	ดีเซลที่ถูกทดแทนด้วยถ่านหิน (MJ)
ก	0.5942	0.7	155,619,777.042	121,060,760.857
ข	0.6492	0.7	85,127,459.236	88,629,292.923
ค	0.6507	0.7	-	-
ง	0.6289	0.7	57,937,438.582	53,060,397.781
จ	0.6123	0.7	52,742,600.506	94,358,846.170
ฉ	0.6054	0.7	131,964,338.120	388,553,255.037

พลังงานและ emissions จากกากอ้อยที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการกำจัดน้ำของแต่ละโรงงานแสดงในตารางที่ ญ-10

ตารางที่ ญ-10 พลังงานและ emissions จากกากอ้อยของ 6 โรงงาน

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	196,423,481.625	98,345,031.465	51,873,536.710	69,093,781.104	64,603,871.271	163,484,066.056
Fossil fuels (MJ)	0	0	0	0	0	0
Petroleum (MJ)	0	0	0	0	0	0
VOC (g)	994,352.744	497,851.128	262,598.917	349,772.798	327,043.570	827,603.850
CO (g)	6,960,655.382	3,485,051.109	1,838,241.586	2,448,475.077	2,289,366.223	5,793,381.905
NO_x (g)	9,943,899.788	4,978,697.707	2,626,087.504	3,497,858.960	3,270,558.166	8,276,348.409
PM_{10} (g)	1,292,788.889	647,271.716	341,413.009	454,750.480	425,199.504	1,075,993.473
SO_x (g)	372,905.551	186,705.825	98,480.740	131,172.985	122,648.993	310,370.813
CH_4 (g)	713,789.257	357,378.997	188,504.821	251,081.990	234,765.970	594,089.714
N_2O (g)	744,694.060	372,852.371	196,666.480	261,953.041	244,930.590	619,811.908
CO_2 (g)	19,721,918,973.335	9,874,342,547.768	5,208,367,550.535	6,937,367,881.006	6,486,558,043.030	16,414,633,716.442

พลังงานที่ใช้และ emissions ของการผลิตถ่านหินแสดงในตารางที่ ญ-11 ในหน้าถัดไป เพื่อนำมาคำนวณพลังงานและ emissions จากการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการกำจัดน้ำในแต่ละโรงงาน

ตารางที่ ญ-11 พลังงานที่ใช้และ emissions ของการผลิตถ่านหิน [26]

หน่วย: Btu or grams per mmBtu of fuel throughput

Total energy (Btu)	18,891.000
Fossil fuels (Btu)	17,110.000
Petroleum (Btu)	11,657.000
VOC (g)	7.991
CO (g)	9.087
NO_x (g)	8.082
PM_{10} (g)	4.418
SO_x (g)	6.976
CH_4 (g)	118.954
N_2O (g)	0.020
CO_2 (g)	1,403.000

emission factors ของการเผาไหม้ถ่านหินใน Industrial Boiler แสดงในตารางที่ ญ-12 เพื่อนำมาคำนวณ emissions ที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินในกระบวนการกำจัดน้ำ

ตารางที่ ญ-12 emission factors ของการเผาไหม้ถ่านหินใน Industrial Boiler [26]

หน่วย: grams per mmBtu of fuel burned

VOC (g)	1.501
CO (g)	12.567
NO_x (g)	285.020
PM_{10} (g)	12.661
SO_x (g)	600.230
CH_4 (g)	0.750
N_2O (g)	0.298
CO_2 (g)	97,180.000

ตารางที่ ญ-13 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions จากการผลิตถ่านหินในปริมาณที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการกำจัดน้ำเพื่อผลิตเอทานอล 99.5% จากเอทานอล 95% และตารางที่ ญ-14 แสดง emissions ที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินในปริมาณที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการกำจัดน้ำเพื่อผลิตเอทานอล 99.5% จากเอทานอล 95%

ตารางที่ ญ-13 พลังงานที่ใช้และ emissions จากการผลิตถ่านหินของโรงงาน ก ข ง จ และ ฉ

โรงงาน	ก	ข	ง	จ	ฉ
Total energy (Btu)	2,322,448,350.590	1,700,278,056.287	1,017,918,873.435	1,810,194,691.497	7,454,065,709.560
Fossil fuels (Btu)	2,103,493,265.502	1,539,979,754.543	921,951,824.915	1,639,533,702.372	6,751,313,550.928
Petroleum (Btu)	1,433,104,675.392	1,049,184,336.570	628,123,461.311	1,117,010,191.032	4,599,652,955.182
VOC (g)	982,408.807	719,227.248	430,585.449	765,722.608	3,153,112.016
CO (g)	1,117,150.398	817,872.357	489,642.094	870,744.755	3,585,574.882
NO_x (g)	993,596.293	727,417.672	435,488.875	774,442.512	3,189,019.060
PM_{10} (g)	543,146.303	397,640.594	238,058.630	423,346.575	1,743,267.286
SO_x (g)	857,625.308	627,872.517	375,893.392	668,462.134	2,752,610.364
CH_4 (g)	14,624,134.302	10,706,414.478	6,409,693.593	11,398,544.245	46,937,215.204
N_2O (g)	2,458.788	1,800.093	1,077.676	1,916.463	7,891.658
CO_2 (g)	172,483,988.983	126,276,539.779	75,598,971.967	134,439,847.132	553,599,819.518

ตารางที่ ญ-14 emissions จากการเผาไหม้ถ่านหินของโรงงาน ก ข ง จ และ ฉ

โรงงาน	ก	ข	ง	จ	ฉ
VOC (g)	184,532.051	135,096.997	80,879.584	143,830.514	592,268.944
CO (g)	1,544,979.536	1,131,088.578	677,157.720	1,204,209.237	4,958,723.401
NO_x (g)	35,040,189.979	25,653,128.559	15,357,960.791	27,311,507.648	112,464,020.356
PM_{10} (g)	1,556,535.841	1,139,549.016	682,222.797	1,213,216.611	4,995,814.195
SO_x (g)	73,791,920.675	54,023,497.842	32,342,673.517	57,515,915.498	236,840,498.695
CH_4 (g)	92,204.556	67,503.496	40,412.850	71,867.345	295,937.181
N_2O (g)	36,635.943	26,821.389	16,057.373	28,555.292	117,585.706
CO_2 (g)	11,947,251,638.893	8,746,652,983.429	5,236,427,723.274	9,312,091,478.463	38,345,566,971.314

พลังงานที่ใช้และ emissions จากการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการกำจัดน้ำเพื่อผลิตเอทานอล 99.5% จากเอทานอล 95% ของโรงงาน ก ข ง จ และ ฉ แสดงในตารางที่ ญ-15 ในหน้าถัดไป

ตารางที่ ญ-15 สรุปพลังงานที่ใช้และ emissions จากถ่านหินของโรงงาน ก ข ง จ และ ฉ

โรงงาน	ก	ข	ง	จ	ฉ
Total energy (Btu)	125,261,856,036.25	91,704,939,338.743	54,901,719,277.57	97,633,321,656.54	402,036,973,420.135
Fossil fuels (Btu)	125,042,900,951.17	91,544,641,036.999	54,805,752,229.05	97,462,660,667.41	401,334,221,261.503
Petroleum (Btu)	1,433,104,675.39	1,049,184,336.570	628,123,461.31	1,117,010,191.03	4,599,652,955.182
VOC (g)	1,166,940.86	854,324.245	511,465.03	909,553.12	3,745,380.960
CO (g)	2,662,129.93	1,948,960.935	1,166,799.81	2,074,953.99	8,544,298.284
NO_x (g)	36,033,786.27	26,380,546.231	15,793,449.67	28,085,950.16	115,653,039.416
PM_{10} (g)	2,099,682.14	1,537,189.610	920,281.43	1,636,563.19	6,739,081.481
SO_x (g)	74,649,545.98	54,651,370.359	32,718,566.91	58,184,377.63	239,593,109.059
CH_4 (g)	14,716,338.86	10,773,917.974	6,450,106.44	11,470,411.59	47,233,152.385
N_2O (g)	39,094.73	28,621.482	17,135.05	30,471.75	125,477.365
CO_2 (g)	12,119,735,627.88	8,872,929,523.208	5,312,026,695.24	9,446,531,325.59	38,899,166,790.832

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ผลิตเอทานอล 99.5% (dehydration process) : 119.425 (Btu/L)

พลังงานที่ใช้และ emissions ของการผลิตไฟฟ้า 1 mmBtu แสดงไว้ดังตารางที่ ญ-16 เพื่อนำมาคำนวณพลังงานที่ใช้และ emissions จากการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการกำจัดน้ำเพื่อผลิตเอทานอล 99.5% 1 ลิตร ซึ่งแสดงผลไว้ในตารางที่ ญ-17

ตารางที่ ญ-16 พลังงานที่ใช้และ emissions ของการผลิตไฟฟ้า

Total energy (Btu/mmBtu)	2,157,217.35
Fossil fuels (Btu/mmBtu)	2,036,046.41
Petroleum (Btu/mmBtu)	115,069.51
VOC (g/mmBtu)	12.928
CO (g/mmBtu)	50.473
NO_x (g/mmBtu)	370.573
PM_{10} (g/mmBtu)	19.408
SO_x(g/mmBtu)	450.029
CH_4 (g/mmBtu)	314.564
N_2O (g/mmBtu)	1.638
CO_2 (g/mmBtu)	152,523.14

ตารางที่ ญ-17 พลังงานและ emissions จากการใช้ไฟฟ้าในการผลิตเอทานอล 99.5% 1 ลิตร

Total energy (Btu)	257.626
Fossil fuels (Btu)	243.155
Petroleum (Btu)	13.742
VOC (g)	0.00154
CO (g)	0.00603
NO_x(g)	0.0443
PM_{10} (g)	0.00232
SO_x (g)	0.0537
CH_4 (g)	0.0376
N_2O (g)	0.000196
CO_2 (g)	18.215

สรุปพลังงานที่ใช้และ emissions ของการผลิตเอทานอล 99.5% 1 ลิตรจากเอทานอล 95% แสดงในตารางที่ ญ-18

ตารางที่ ญ-18 สรุปพลังงานที่ใช้และ emissions ของการผลิตเอทานอล 99.5% 1 ลิตรจากเอทานอล 95% ของ 6 โรงงาน

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
Total energy (MJ)	19.504	18.455	18.937	18.803	18.724	18.555
Fossil fuels (MJ)	7.978	9.258	0.257	8.693	11.577	13.430
Petroleum (MJ)	0.103	0.118	0.0145	0.111	0.144	0.165
VOC (g)	0.128	0.128	0.0960	0.127	0.138	0.144
CO (g)	0.569	0.512	0.667	0.533	0.486	0.452
NO_x (g)	2.735	2.967	0.989	2.859	3.496	3.900
PM_{10} (g)	0.201	0.206	0.125	0.203	0.229	0.245
SO_x (g)	4.445	5.165	0.0892	4.846	6.473	7.517
CH_4 (g)	0.941	1.075	0.1054	1.015	1.326	1.526
N_2O (g)	0.0461	0.0376	0.0710	0.0409	0.0305	0.0234
CO_2 (g)	1,881.894	1,765.447	1,892.305	1,805.337	1,772.246	1,739.102

ภาคผนวก ฏ

การคำนวณพลังงานและ emissions ขั้นตอนการขนส่งเอทานอล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณพลังงานและ emissions ขั้นตอนการขนส่งเอทานอล

ปกติการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศไทยจะขนส่งจากโรงกลั่นไปยังคลังน้ำมัน และจากคลังน้ำมันไปยังสถานีบริการในจังหวัดต่างๆ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมมติให้มีการขนส่งเอทานอลจากโรงงานเอทานอลซึ่งสมมติให้สร้างบริเวณเดียวกันกับโรงงานน้ำตาล มายังคลังน้ำมันเพื่อทำการผสมกับเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไปเป็นดีโซฮอล แล้วจึงขนส่งดีโซฮอลกลับไปยังสถานีบริการที่จะทำการจำหน่ายดีโซฮอล ระยะทางที่ใช้ขนส่งจะใช้ค่าเฉลี่ยของแต่ละภาคของระยะทางจากคลังน้ำมันไปยังอำเภอของจังหวัดที่มีโรงงานน้ำตาลตั้งอยู่ซึ่งแสดงในตารางที่ ฎ-1 ดังนี้

ตารางที่ ฎ-1 แสดงระยะทางที่ต้องขนส่งเอทานอลจากโรงงานน้ำตาลไปยังคลังน้ำมัน [34]

ลำดับ	จังหวัดที่ตั้งโรงงานน้ำตาล	อำเภอที่ตั้งโรงงานน้ำตาล	จำนวนโรงงาน	ที่ตั้งคลังน้ำมัน	ระยะทาง (กม.)
1	ลำปาง	เกาะคา	1	ลำปาง	15
2	เชียงใหม่	สันกำแพง	1	เชียงใหม่	18
3	นครสวรรค์	เมือง	1	นครสวรรค์	7.726
4		ตาคลี	1	นครสวรรค์	67
5	เพชรบูรณ์	ศรีเทพ	1	นครสวรรค์	145
6	กำแพงเพชร	เมือง	1	พิษณุโลก	103
7		เมือง	1	พิษณุโลก	103
8	พิษณุโลก	บางกระทุ่ม	1	พิษณุโลก	35
9	อุตรดิตถ์	เมือง	1	เด่นชัย	61
10		เมือง	1	เด่นชัย	61
11	นครราชสีมา	พิมาย	1	นครราชสีมา	58
12		แก้งสนามนาง	1	นครราชสีมา	104
13		ครบุรี	1	นครราชสีมา	57
14	บุรีรัมย์	คูเมือง	1	ขอนแก่น	160
15	ขอนแก่น	น้ำพอง	1	ขอนแก่น	35
16		หนองเรือ	1	ขอนแก่น	43
17	กาฬสินธุ์	สามชัย	1	อุดรธานี	107
18		กุฉินารายณ์	1	ขอนแก่น	147
19	อุดรธานี	หนองหาน	1	อุดรธานี	35
20		กุมภวาปี	1	อุดรธานี	41
21		กุมภวาปี	1	อุดรธานี	41
22	มุกดาหาร	เมือง	1	อุบลราชธานี	167

ตารางที่ ฎ-1 แสดงระยะทางที่ต้องขนส่งเอทานอลจากโรงงานน้ำตาลไปยังคลังน้ำมัน (ต่อ) [34]

ลำดับ	จังหวัดที่ตั้งโรงงานน้ำตาล	อำเภอที่ตั้งโรงงานน้ำตาล	จำนวนโรงงาน	ที่ตั้งคลังน้ำมัน	ระยะทาง (กม.)
23	ชลบุรี	บ้านบึง	1	ศรีราชา	42
24		บ้านบึง	1	ศรีราชา	42
25		พนัสนิคม	1	ศรีราชา	47
26	ระยอง	บ้านค่าย	1	ศรีราชา	73
27	สระแก้ว	วัฒนานคร	1	ศรีราชา	250
28	สระบุรี	วังม่วง	1	สระบุรี	59
29	สิงห์บุรี	บางระจัน	1	สระบุรี	90
30	ลพบุรี	ท่าหลวง	1	สระบุรี	72
31	ราชบุรี	บ้านโป่ง	1	สมุทรสาคร	70
32	กาญจนบุรี	บ้านโป่ง	1	สมุทรสาคร	70
33		ท่ามะกา	1	สมุทรสาคร	85
34		ท่ามะกา	1	สมุทรสาคร	85
35		ท่ามะกา	1	สมุทรสาคร	85
36		ท่ามะกา	1	สมุทรสาคร	85
37		ท่ามะกา	1	สมุทรสาคร	85
38		ท่ามะกา	1	สมุทรสาคร	85
39		ท่าม่วง	1	สมุทรสาคร	100
40	สุพรรณบุรี	ท่าม่วง	1	สมุทรสาคร	100
41		สามชุก	1	บางปะอิน	96
42		ด่านช้าง	1	บางปะอิน	130
43		อู่ทอง	1	บางปะอิน	100
44	อุทัยธานี	บ้านไร่	1	บางปะอิน	162
45	ชัยภูมิ	ภูเขียว	1	ขอนแก่น	95
46	ประจวบคีรีขันธ์	ปราณบุรี	1	สมุทรสาคร	180

จังหวัดที่ตั้งของโรงงานน้ำตาลแยกตามภาคได้แสดงไว้ในตารางที่ ฎ-2 ในหน้าถัดไป ส่วนค่าเฉลี่ยของระยะทางในการขนส่งเอทานอลแยกตามภาคได้แสดงไว้ในตารางที่ ฎ-3 ซึ่งอยู่ในหน้าถัดไปตามลำดับ

ตารางที่ ฎ-2 แสดงจังหวัดที่ตั้งโรงงานน้ำตาลแยกตามภาค [34]

เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	กลาง	ตะวันออก
ลำปาง	นครราชสีมา	สระบุรี	ชลบุรี
เชียงใหม่	บุรีรัมย์	สิงห์บุรี	ระยอง
นครสวรรค์	ขอนแก่น	ลพบุรี	สระแก้ว
เพชรบูรณ์	กาฬสินธุ์	ราชบุรี	
กำแพงเพชร	อุดรธานี	กาญจนบุรี	
พิษณุโลก	มุกดาหาร	สุพรรณบุรี	
อุตรดิตถ์	ชัยภูมิ	อุทัยธานี	
		ประจวบคีรีขันธ์	

ตารางที่ ฎ-3 แสดงระยะทางเฉลี่ยที่ต้องขนส่งเอทานอลจากโรงงานน้ำตาลไปยังคลังน้ำมัน

ภาค	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	กลาง	ตะวันออก
ระยะทางเฉลี่ย (กม.)	70.526	71.708	97.774	126.155

ตัวอย่างการคำนวณ พลังงานและ emissions จากการขนส่งเอทานอลในภาคเหนือ

เมื่อระยะทางระหว่างโรงงานเอทานอลกับคลังน้ำมัน = 70.526 กม.

ปริมาณบรรจุของรถบรรทุก = 15,000 ลิตร [32]

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุก = 3.5 กม./ลิตร [32]

ดังนั้น เอทานอล 1 ลิตร ต้องใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่ง = ((70.526/3.5)/15,000)*33,946.125

= 45.602 Btu

แสดงเป็นค่าพลังงานและ emissions ได้ดังนี้

จากการผลิตน้ำมันดีเซล

Total energy: (45.602 /10^6) x 197,564 = 9.009 Btu

Fossil fuels: (45.602 /10^6) x 186,546 = 8.507 Btu

Petroleum: (45.602 /10^6) x 87,351 = 3.983 Btu

VOC: (45.602 /10^6) x 8.848 = 0.000403 g

CO: (45.602 /10^6) x 23.954 = 0.00109 g

NO_x: (45.602 /10^6) x 31.260 = 0.00143 g

PM_{10}: (45.602 /10^6) x 2.881 = 0.000131 g

SO_x: (45.602 /10^6) x 17.029 = 0.000777 g

CH_4: (45.602 /10^6) x 103.868 = 0.00474 g

N_2O: (45.602 /10^6) x 0.201 = 0.00000917 g

CO_2: (45.602 /10^6) x 14,881 = 0.679 g

จากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลในรถบรรทุก

Total energy: 45.602 Btu

Fossil fuels: 45.602 Btu

Petroleum: 45.602 Btu

VOC: (45.602 /10^6) x 90.000 = 0.00410 g

CO: (45.602 /10^6) x 500.000 = 0.0228 g

NO_x: (45.602 /10^6) x 300.000 = 0.0137 g

PM_{10}: (45.602 /10^6) x 43.520 = 0.00198 g

SO_x: (45.602 /10^6) x 12.607 = 0.000575 g

CH_4: (45.602 /10^6) x 4.410 = 0.000201 g

N_2O: (45.602 /10^6) x 2.000 = 0.0000912 g

CO_2: (45.602 /10^6) x 79,354 = 3.619 g

ค่าพลังงานและ emissions จากการผลิตดีเซลแยกตามภาคและจากการเผาไหม้ดีเซลแยกตามภาคแสดงไว้ในตารางที่ ฎ-4 และตารางที่ ฎ-5 ตามลำดับ โดยแสดงไว้ในหน้าถัดไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฎ-4 แสดงพลังงานและ emissions จากการผลิตดีเซลแยกตามภาค

	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	กลาง	ตะวันออก
Total energy (Btu)	9.009	9.160	12.490	16.115
Fossil fuels (Btu)	8.507	8.649	11.793	15.217
Petroleum (Btu)	3.983	4.050	5.522	7.125
VOC (g)	0.000403	0.000410	0.000559	0.000722
CO (g)	0.00109	0.00111	0.00151	0.00195
NO_x (g)	0.00143	0.00145	0.00198	0.00255
PM_{10} (g)	0.000131	0.000134	0.000182	0.000235
SO_x (g)	0.000777	0.000790	0.00108	0.00139
CH_4 (g)	0.00474	0.00482	0.00657	0.00847
N_2O (g)	0.00000917	0.00000932	0.0000127	0.0000164
CO_2 (g)	0.679	0.690	0.941	1.214

ตารางที่ ฎ-5 แสดงพลังงานและ emissions จากการเผาไหม้ดีเซลแยกตามภาค

	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	กลาง	ตะวันออก
Total energy (Btu)	45.602	46.366	63.220	81.571
Fossil fuels (Btu)	45.602	46.366	63.220	81.571
Petroleum (Btu)	45.602	46.366	63.220	81.571
VOC (g)	0.00410	0.00417	0.00569	0.00734
CO (g)	0.0228	0.0232	0.0316	0.0408
NO_x (g)	0.0137	0.0139	0.0190	0.0245
PM_{10} (g)	0.00198	0.00202	0.00275	0.00355
SO_x (g)	0.000575	0.000585	0.000797	0.00103
CH_4 (g)	0.000201	0.000204	0.000279	0.000360
N_2O (g)	0.0000912	0.0000927	0.000126	0.000163
CO_2 (g)	3.619	3.679	5.017	6.473

ตารางที่ ฎ-6 และตารางที่ ฎ-7 ซึ่งอยู่ในหน้าถัดไปแสดงค่าพลังงานและ emissions ในขั้นตอนการขนส่งเอทานอลแยกตามภาค ในกรณีขนส่ง 1 เที่ยว และขนส่งไป-กลับ ตามลำดับ

ตารางที่ ฎ-6 แสดงพลังงานและ emissions ขั้นตอนการขนส่งเอทานอลแยกตามภาค (1 เที่ยว) ต่อ 1 ลิตรเอทานอล

	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	กลาง	ตะวันออก
Total energy (Btu)	54.611	55.526	75.710	97.686
Fossil fuels (Btu)	54.108	55.015	75.013	96.788
Petroleum (Btu)	49.585	50.416	68.742	88.696
VOC (g)	0.00451	0.00458	0.00625	0.00806
CO (g)	0.0239	0.0243	0.0331	0.0427
NO_x (g)	0.0151	0.0154	0.0209	0.0270
PM_{10} (g)	0.00212	0.00215	0.00293	0.00378
SO_x (g)	0.00135	0.00137	0.00187	0.00242
CH_4 (g)	0.00494	0.00502	0.00685	0.00883
N_2O (g)	0.000100	0.000102	0.000139	0.000180
CO_2 (g)	4.297	4.369	5.958	7.687

ตารางที่ ฎ-7 แสดงพลังงานและ emissions ขั้นตอนการขนส่งเอทานอลแยกตามภาค (ไป-กลับ) ต่อ 1 ลิตรเอทานอล

	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	กลาง	ตะวันออก
Total energy (Btu)	109.222	111.052	151.420	195.373
Fossil fuels (Btu)	108.217	110.031	150.027	193.575
Petroleum (Btu)	99.170	100.832	137.485	177.392
VOC (g)	0.00902	0.00917	0.0125	0.0161
CO (g)	0.0478	0.0486	0.0662	0.0855
NO_x (g)	0.0302	0.0307	0.0419	0.0540
PM_{10} (g)	0.00423	0.00430	0.00587	0.00757
SO_x (g)	0.00270	0.00275	0.00375	0.00483
CH_4 (g)	0.00988	0.0100	0.0137	0.0177
N_2O (g)	0.000201	0.000204	0.000278	0.000359
CO_2 (g)	8.595	8.739	11.915	15.374

ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผู้ค้าน้ำมันจำหน่ายให้ลูกค้า โดยจำแนกตามชนิดน้ำมันเชื้อเพลิง ภาคและจังหวัด ในปี พ.ศ.2545 แสดงไว้ในตารางที่ ฎ-8 ส่วนตารางที่ ฎ-9 แสดงปริมาณ 15% และ 10% ของปริมาณการใช้เชื้อเพลิงดีเซลหมุนเร็วที่จำหน่ายในปี พ.ศ.2545 เพื่อนำมาประเมินศักยภาพของคลังดีเซลในการรับเอทานอลไปผสมเป็นดีโซฮอล

ตารางที่ ฎ-8 ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผู้ค้าน้ำมันจำหน่ายให้ลูกค้า จำแนกตามชนิดน้ำมันเชื้อเพลิง ภาคและจังหวัด พ.ศ.2545 (หน่วย: พันลิตร) [40]

ภาค	ชนิดน้ำมันเชื้อเพลิง
	ดีเซลหมุนเร็ว
ทั่วราชอาณาจักร	15,962,576.64
กรุงเทพและปริมณฑล	6,060,624.82
ภาคกลางและภาคตะวันออก	4,061,252.89
ภาคเหนือ	1,721,553.56
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	2,071,820.62

หมายเหตุ: ไม่ได้แสดงปริมาณน้ำมันดีเซลในภาคใต้เนื่องจากอยู่นอกเขตการผลิตดีโซฮอล

ตารางที่ ฎ-9 แสดงปริมาณ 15% และ 10% ของปริมาณการใช้เชื้อเพลิงดีเซลหมุนเร็วที่จำหน่ายในปี พ.ศ.2545 (หน่วย: ลิตร)

	15%	10%
ทั่วราชอาณาจักร	2,394,386,496	1,596,257,664
กรุงเทพและปริมณฑล	909,093,723	606,062,482
ภาคกลางและภาคตะวันออก	609,187,933.5	406,125,289
ภาคเหนือ	258,233,034	172,155,356
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	310,773,093	207,182,062

ตารางที่ ฎ-10 ซึ่งอยู่ในหน้าถัดไปแสดงศักยภาพในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลของแต่ละภาคโดยใช้ข้อมูลผลผลิตกากน้ำตาลในปีการผลิต 2542/43 ซึ่งมีค่ามากกว่าผลผลิตกากน้ำตาลในปีการผลิต 2543/44 เพื่อประเมินปริมาณเอทานอลที่สามารถผลิตได้ในแต่ละภาคและปริมาณรวมทั้งประเทศ

ตารางที่ ฎ-10 แสดงศักยภาพในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลของแต่ละภาคโดยใช้ข้อมูลในปีการผลิต 2542/43 ซึ่งมีค่ามากกว่าในปีการผลิต 2543/44 (หน่วย:ลิตร)

ชนิดเอทานอล	เหนือ	กลาง	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันออก
95%	146,028,395.06	248,020,815.11	259,221,970.90	42,531,731.33
99.5%	98,788,209.26	167,786,081.42	175,363,663.31	28,772,716.25

จากปริมาณการใช้ดีเซลทั้งประเทศสามารถรับเอทานอล 95% ได้ 2,394,386,496 ลิตร หรือ เอทานอล 99.5% ได้ 1,596,257,664 ลิตร ซึ่งปริมาณเอทานอลทั้งหมดที่สามารถผลิตได้ถ้าเป็นเอทานอล 95%ทั้งหมดจะมีปริมาณเพียง 695,802,912.40 ลิตรเท่านั้น หรือถ้าผลิตเป็นเอทานอล 99.5% ทั้งหมดจะมีปริมาณเพียง 470,710,670.24 ลิตร เมื่อพิจารณาแยกรายภาคเอทานอลจากแต่ละภาคสามารถใช้ได้ในภาคนั้นๆ จึงกำหนดสมมติฐานโดยการให้คิดระยะทางเฉลี่ยของแต่ละภาคของการขนส่งเอทานอลจากระยะห่างที่ใกล้ที่สุดของโรงงานนั้นกับคลังดีเซลของ ปตท. ในภาคนั้นๆ และจะถ่วงน้ำหนักด้วยปริมาณเอทานอล 95% ของแต่ละโรงงานที่ผลิตได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฏ

การคำนวณพลังงานและ emissions ขั้นตอนการผสมเชื้อเพลิงดีโซฮอล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณพลังงานและ emissions ขั้นตอนการผสมเชื้อเพลิงดีโซฮอล

การผสมเชื้อเพลิงดีโซฮอล 95% จากเอทานอล 95%

วิธีการผสมโดยละเอียดได้จากโรงงานแอลกอฮอล์ของงานทดลองผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา

วิธีผสม

1.Drain Diesohol ที่เหลือในถังผสมออกและเก็บไว้เป็นตัวอย่างที่ 1

2.เตรียมน้ำมันดีเซลจำนวน 417.5 ลิตร ป้อนเข้าถังผสมโดยใช้ปั๊ม

3.เตรียม SB407 จำนวน 4.8 ลิตร

4.เตรียมน้ำมันดีเซลจำนวน 5 ลิตร จากน้ำมันดีเซล 417.5 ลิตรในถังผสม

5.จากข้อ 3. และ 4. นำมาผสมกันได้ปริมาตรรวม 9.8 ลิตร

6.เตรียมน้ำมันดีเซลจำนวน 5 ลิตร จากถังผสม

7.จากข้อ 5. และ 6. นำมาผสมกันได้ปริมาตรรวม 14.8 ลิตร

8.เตรียมน้ำมันดีเซล จำนวน 5 ลิตร จากถังผสม

9.จากข้อ 7. และ 8. นำมาผสมกันได้ปริมาตรรวม 19.8 ลิตร

10.นำสารผสมที่ได้จากข้อ 9. ป้อนเข้าถังผสมโดยใช้ปั๊มและ circulate 5 นาที

11.เตรียมเอทานอลจำนวน 72.5 ลิตร

12.นำเอทานอลจากข้อ 11. จำนวน 60 ลิตรป้อนเข้าถังผสมโดยใช้ปั๊ม

13.เตรียม PEOPS จำนวน 5.2 ลิตร

14.นำเอทานอลที่เหลือจำนวน 12.5 ลิตรมาผสมกับ PEOPS ที่เตรียมไว้จากข้อ 13.

15.นำสารผสมที่เตรียมไว้จากข้อ 14. ป้อนเข้าถังโดยใช้ปั๊ม

16.ทำการ circulate 1 ชั่วโมงครึ่ง จะได้ Diesohol จำนวน 500 ลิตร

17.เก็บ Diesohol หลังทำการ circulate แล้ว

ปริมาตรรวมทั้งหมด 417.5+4.8+5.2+72.5 = 500 ลิตร

คิดเป็น ดีเซล (417.5/500) x 100 = 83.5%

เอทานอล 95% (72.5/500) x 100 = 14.5%

emulsifier 100-83.5-14.5 = 2%

ต้นกำลังที่ใช้

Motor pump.(BALDOR MOTOR&DRIVES) บริษัท ALLIED MOTORS CO.,LTD.

Spec. 36E145 x 257

HP 5 F

VOLTS 380

AMPS 9

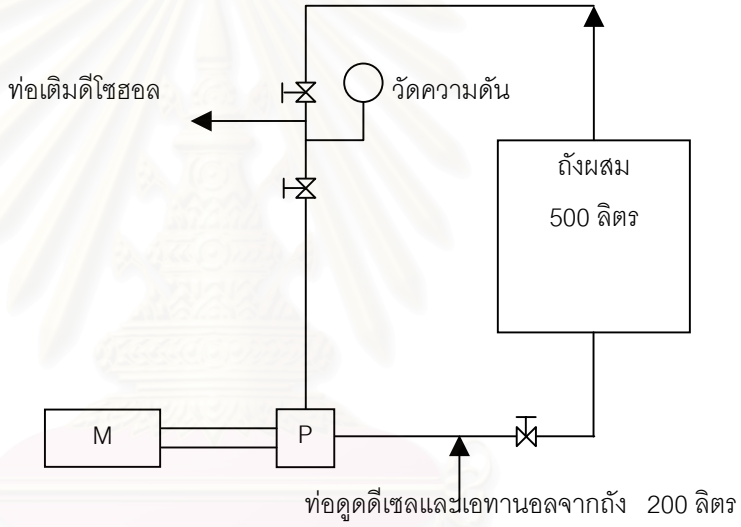
R.P.M. 1,450

CYCLE 50 PH 3 CLASS B

SER.F. 1.00 DES B CODE J

RATING 40C AMB-CONT

FRAME 184T SER 1196



รูปที่ ฎ-1 แสดงผังระบบการผสมดีโซฮอล

การคำนวณพลังงานที่ใช้ผสมดีโซฮอล

พลังงานมาจากไฟฟ้าที่ใช้หมุนมอเตอร์ขับปั๊ม โดยมีช่วงการทำงานดังนี้

1.ป้อนน้ำมันดีเซล 417.5 ลิตรเข้าถังผสม

2.circulate ดีเซล 417.5 ลิตร + SB407 4.8 ลิตรเป็นเวลา 5 นาที

3.ป้อนเอทานอล 60 ลิตรเข้าถังผสม

4.ป้อนเอทานอล 12.5 ลิตร+PEOPS 5.2 ลิตรเข้าถังผสม

5.circulate ดีโซฮอล 500 ลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมงครึ่ง

เนื่องจากจากข้อมูลที่มีไม่สามารถคำนวณเวลาที่ใช้ปั๊มดูดของเหลวต่างๆได้จึงสมมติให้ใช้เวลาในการดูด 30 นาทีรวมกับเวลาในการ circulate อีก 1 ชั่วโมงครึ่งรวมเป็น 2 ชั่วโมง

คำนวณพลังงานที่ใช้จากกำลังของมอเตอร์คูณกับเวลา เนื่องจากมอเตอร์มีขนาด 5 แรงม้า หรือ 3.728 kW (kJ/s) เวลา 2 ชั่วโมงมีค่า 7,200 วินาที ดังนั้นการผสมดีโซฮอล 1 ครั้งสิ้นเปลืองพลังงานจากไฟฟ้า เป็นปริมาณ 26,841.6 kJ ต่อดีโซฮอล 500 ลิตร ดังนั้น ดีโซฮอล 1 ลิตรสิ้นเปลืองไฟฟ้า 53.683 kJ หรือ 0.0537 MJ

ตารางที่ ฎ-1 แสดงพลังงานและ emissions ของการผลิตไฟฟ้า 1 GJ

Total energy (MJ)	2,157.332
Fossil fuels (MJ)	2,036.155
Petroleum (MJ)	115.076
VOC (g)	12.254
CO (g)	47.842
NO_x (g)	351.254
PM_{10} (g)	18.396
SO_x (g)	426.568
CH_4 (g)	298.165
N_2O (g)	1.553
CO_2 (g)	144,571.693

ตารางที่ ฎ-2 แสดงพลังงานและ emissions ของการผลิตไฟฟ้าที่ใช้ผสมดีโซฮอล 1 ลิตร ต่อ ไฟฟ้า 0.0537 MJ (ผสมดีโซฮอล 1 ลิตร)

Total energy (MJ)	0.116
Fossil fuels (MJ)	0.109
Petroleum (MJ)	0.00618
VOC (g)	0.000658
CO (g)	0.00257
NO_x (g)	0.0189
PM_{10} (g)	0.000988
SO_x (g)	0.0229
CH_4 (g)	0.0160
N_2O (g)	0.0000834
CO_2 (g)	7.764

ภาคผนวก ฐ

การคำนวณพลังงานและ emissions ขั้นตอนการเผาไหม้เชื้อเพลิงในรถยนต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณพลังงานและ emissions ขั้นตอนการเผาไหม้เชื้อเพลิงในรถยนต์

รายละเอียดของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบจากงาน [10] แสดงในตารางที่ ฐ-1 และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของการใช้เชื้อเพลิงดีเซลและดีโซฮอล 99.5% จากงาน [10] แสดงในตารางที่ ฐ-2

ตารางที่ ฐ-1 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ [10]

เครื่องยนต์รุ่น	WL 81
เครื่องยนต์แบบ	4 สูบ 12 วาล์ว SOHC
ระบบระบายความร้อน	ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ
ระบบ Induction system	Natural aspirated
ขนาดความจุกระบอกสูบ	2.499 ลิตร
ความกว้างกระบอกสูบ x ช่วงชัก	93 x 92 มม.
อัตราส่วนการอัด	21.6:1
ลักษณะห้องเผาไหม้	Pre-Chamber
ระบบจ่ายเชื้อเพลิง	ปั๊มหัวฉีดน้ำมันแบบจานจ่าย
Opening Pressure ของหัวฉีด	11.4-12.1 MPa

ตารางที่ ฐ-2 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง [10]

หน่วย กิโลเมตร:ลิตร

อัตราเร็ว	เกียร์	ดีเซล	ดีโซฮอล 99.5%
60	4	12.83	11.39
70	4	10.63	10.30
80	4	10.14	8.53
90	4	8.72	7.36
100	4	8.17	7.11
80	5	11.46	10.35
90	5	9.81	9.05
100	5	9.48	8.16

สัดส่วนการผสมดีเซลกับเอทานอลเพื่อผลิตเป็นดีโซฮอลแสดงในตารางที่ ฐ-3

ตารางที่ ฐ-3 สัดส่วนการผสมเชื้อเพลิงดีโซฮอล

ดีโซฮอล 95% [9]	
ดีเซล	84.5% (83.5%)
เอทานอล 95%	15% (14.5%)
Emulsifier	0.5% (2%)
ดีโซฮอล 99.5% [10]	
ดีเซล	89%
เอทานอล 99.5%	10%
emulsifier	1%

หมายเหตุ: ค่าในวงเล็บได้จากการผสมดีโซฮอลที่โรงงานแอลกอฮอล์ในโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา

LHV ของเอทานอล = 76,000 Btu/l [26]

ดังนั้น LHV ของเอทานอล = 76,000/3.78541 = 20,077.085 Btu/l

สมมติให้เอทานอล 100% มี LHV 20,077.085 Btu/l

ดังนั้นเอทานอล 95% มี LHV 0.95 x 20,077.085 = 19,073.231 Btu/l

เอทานอล 99.5% มี LHV 0.995 x 20,077.085 = 19,976.670 Btu/l

เอทานอล 95% 1 mmBtu มีปริมาณ 10^6/19,073.231 = 52.430 ลิตร

เอทานอล 99.5% 1 mmBtu มีปริมาณ 10^6/19,976.670 = 50.058 ลิตร

LHV ของดีเซล = 33,946.125 Btu/l

ดังนั้น

ดีโซฮอล 95% มี LHV = 0.845 x 33,946.125 + 0.15 x 19,073.231 = 31,545.460 Btu/l

ดีโซฮอล 99.5% มี LHV = 0.89 x 33,946.125 + 0.10 x 19,976.670 = 32,209.718 Btu/l

ดีโซฮอล 95% 1 mmBtu มีปริมาณ 10^6/31,545.460 = 31.7 ลิตร

ดีโซฮอล 99.5% 1 mmBtu มีปริมาณ 10^6/32,209.718 = 31.05 ลิตร

ดีโซฮอล 95% 1 GJ มีปริมาณ 31.7/1.055 = 30.047 ลิตร

ดีโซฮอล 99.5% 1 GJ มีปริมาณ 31.05/1.055 = 29.431 ลิตร

หมายเหตุ: ไม่ได้คำนวณพลังงานจาก emulsifier

ตารางที่ ฐ-4 แสดงจุดทำงานที่เลือกใช้ในการเปรียบเทียบการใช้เชื้อเพลิงในรถยนต์ระหว่างการใช้ดีเซล ดีโซฮอล 99.5% และดีโซฮอล 95%

ตารางที่ ฐ-4 จุดที่เลือกใช้ในการเปรียบเทียบ [10]

จุดทำงาน	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (กม./ลิตร)			แรงขับเคลื่อน (N)
	ดีเซล	ดีโซฮอล 99.5%	ดีโซฮอล 95%	
เกียร์ 5 ความเร็ว 80 km/h	11.46	10.35	10.137	882.44
เกียร์ 5 ความเร็ว 100 km/h	9.48	8.16	7.992	1,136.08
เกียร์ 4 ความเร็ว 80 km/h	10.14	8.53	8.354	882.44
เกียร์ 4 ความเร็ว 90 km/h	8.72	7.36	7.208	1,002.21

การคำนวณ Feedstock-to-Tank Energy Efficiency [36]

Efficiency = 1,000,000/(1,000,000+total energy use) (ฐ-1)

เมื่อ

1,000,000 = เชื้อเพลิงปริมาณ 1 GJ ที่ถังเชื้อเพลิงในรถยนต์ และ

total energy use = พลังงานทั้งหมด (FTT total energy use) ที่ใช้ผลิตและขนส่งเชื้อเพลิงปริมาณ 1 GJ ไปยังถังเชื้อเพลิงในรถยนต์ (มีหน่วย kJ ต่อ GJ ของเชื้อเพลิงในถังเชื้อเพลิง)

ดีโซฮอล 95% 1 ลิตร มี LHV 31,545.460 Btu หรือ 33.282 MJ

ดีโซฮอล 99.5% 1 ลิตร มี LHV 32,209.718 Btu หรือ 33.983 MJ

พลังงานที่ใช้และ emissions (Feedstock-to-Tank) ของดีโซฮอล 95% กรณี (+) ในโรงงาน ก ถูกแสดงผลในตารางที่ ฐ-5 ซึ่งอยู่ในหน้าถัดไป เพื่อเป็นตัวอย่างของผลจากการคำนวณหาพลังงานที่ใช้และ emissions ตลอดวัฏจักรเชื้อเพลิง โดยที่ผลลัพธ์ในทุกโรงงานทั้งกรณี (+) และ (-) ได้แสดงไว้ในบทที่ 6 ส่วนตารางที่ ฐ-6 และ ตารางที่ ฐ-7 ซึ่งอยู่ในหน้าถัดไปแสดงค่า Feedstock-to-Tank energy efficiency ของดีโซฮอล 95% และดีโซฮอล 99.5% ตามลำดับ

ตารางที่ ฐ-5 แสดงพลังงานที่ใช้และ emissions (FTT) ของดีโซฮอล 95% (+) โรงงาน ก (ต่อลิตร)

โรงงาน	ก
Total energy (MJ)	8.588
Fossil fuels (MJ)	5.964
Petroleum (MJ)	2.801
VOC (g)	0.279
CO (g)	0.837
NO_x (g)	1.081
PM_{10} (g)	0.105
SO_x (g)	0.523
CH_4 (g)	3.025
N_2O (g)	0.0284
CO_2 (g)	676.918

ดังนั้นการผลิตดีโซฮอล 95% (+) ในโรงงาน ก มี FTT Energy Efficiency 79.489%

ตารางที่ ฐ-6 แสดง FTT Energy Efficiency ของดีโซฮอล 95% (%)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
(+)	79.489	79.462	78.856	79.071	79.044	79.268
(-)	77.773	77.726	76.678	77.062	77.343	77.030

ตารางที่ ฐ-7 แสดง FTT Energy Efficiency ของดีโซฮอล 99.5% (%)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
(+)	75.856	76.010	75.399	75.608	75.598	75.822
(-)	74.345	74.474	73.473	73.832	74.093	73.841

การคำนวณ FTW Total Energy Use: ในรูป kJ/km คำนวณได้ดังนี้ [36]

(kJ/km) = (1/FTT Eff)*(LGE/km)*(31,491 kJ/LGE) (ฐ-2)

เมื่อ

FTT Eff = Feedstock-to-Tank efficiency = 1,000,000/(1,000,000+E)

LGE = ปริมาณเทียบเท่ากับจำนวนลิตรของแกโซลีน และ

E = พลังงานที่สูญเสียไปต่อเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ 10^6 kJ ในระหว่างกระบวนการ FTT

เนื่องจากงานวิจัยครั้งนี้ศึกษาเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลจึงใช้ค่า LHV ของแต่ละเชื้อเพลิงในการคำนวณ ตัวอย่างการคำนวณกระทำที่อัตราเร็วคงที่ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เกียร์ 5 ซึ่งเชื้อเพลิงดีเซลทำได้ 11.46 กิโลเมตรต่อลิตร และเชื้อเพลิงดีโซฮอล 99.5% ทำได้ 10.35 กิโลเมตรต่อลิตร เนื่องจากไม่มีข้อมูลอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของดีโซฮอล 95% จึงใช้สัดส่วน LHV ของดีโซฮอล 95% และดีโซฮอล 99.5%ในการประมาณ จะได้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของดีโซฮอล 95% เป็น 10.137 กิโลเมตรต่อลิตร

FTT Energy Efficiency ของดีเซลมีค่า 83.502% คำนวณ FTW Total Energy Use: ในรูป kJ/km ได้ มีค่า 3,742.670 kJ/km โดยที่แสดงค่า FTW Total Energy Use ในรูป kJ/km ที่จุดทำงาน เกียร์ 5 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ของการใช้ดีโซฮอล 95% และดีโซฮอล 99.5% ในตารางที่ ฐ-8 และตารางที่ ฐ-9 ตามลำดับ

ตารางที่ ฐ-8 แสดง FTW Total Energy Use ในรูป kJ/km ของดีโซฮอล 95% (เกียร์ 5, 80 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
(+)	4,130.419	4,131.797	4,163.542	4,152.254	4,153.636	4,141.910
(-)	4,221.567	4,224.109	4,281.815	4,260.465	4,245.034	4,262.237

ตารางที่ ฐ-9 แสดง FTW Total Energy Use ในรูป kJ/km ของดีโซฮอล 99.5% (เกียร์ 5, 80 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
(+)	4,328.457	4,319.662	4,354.668	4,342.626	4,343.194	4,330.386
(-)	4,416.435	4,408.763	4,468.828	4,447.073	4,431.413	4,446.527

การคำนวณ FTW Greenhouse Gas Emissions: ในรูป g/km คำนวณได้ดังนี้ [36]

Feedstock-to-Wheel GHG emissions = (Feedstock-to-Tank GHG emissions)+ (Tank-to-Wheel GHG emissions) (ฐ-3)

เมื่อ

Feedstock-to-Tank GHG emissions(g/km) = (FTT GHG emissions(g)/FTT(million kJ))*(LGE/km)*(31,491 kJ/LGE) (ฐ-4)

Tank-to-Wheel GHG emissions(g/km) = (TTW GHG emissions(g)/TTW(million kJ))*(LGE/km)*(31,491 kJ/LGE) (ฐ-6)

เนื่องจากขาดข้อมูล TTW GHG emissions ที่สอดคล้องกับ FTT GHG emissions จึงไม่สามารถคำนวณตามสมการนี้ได้ จึงทำการคำนวณเฉพาะ FTT GHG emissions ในรูป g/km เท่านั้นและรวมถึง emissions ตัวอื่นด้วย

ตารางที่ ฐ-10 ถึง ตารางที่ ฐ-13 แสดงค่า Feedstock-to-Tank emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 95% ในกรณี (+) และ (-) และจากการใช้ดีโซฮอล 99.5% ในกรณี (+) และ (-) ตามลำดับ โดยค่าที่แสดงทั้งหมดเป็นค่าที่คำนวณที่จุดทำงาน เกียร์ 5 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ตารางที่ ฐ-10 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 95% (+)(เกียร์ 5, 80 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
VOC (g)	0.0275	0.0275	0.0284	0.0279	0.0279	0.0276
CO (g)	0.0826	0.0828	0.0878	0.0851	0.0851	0.0833
NO_x (g)	0.107	0.107	0.111	0.109	0.109	0.108
PM_{10} (g)	0.0103	0.0104	0.0109	0.0106	0.0106	0.0104
SO_x (g)	0.0516	0.0516	0.0520	0.0518	0.0518	0.0517
CH_4 (g)	0.298	0.299	0.300	0.299	0.299	0.299
N_2O (g)	0.00281	0.00295	0.00328	0.00317	0.00313	0.00313
CO_2 (g)	44.189	44.243	45.031	44.570	44.561	44.281

ตารางที่ ฐ-11 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 95% (-) (เกียร์ 5, 80 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
VOC (g)	0.0281	0.0283	0.0293	0.0287	0.0287	0.0284
CO (g)	0.0867	0.0873	0.0931	0.0897	0.0897	0.0881
NO_x (g)	0.112	0.113	0.118	0.116	0.116	0.114
PM_{10} (g)	0.0110	0.0111	0.0117	0.0114	0.0114	0.0112
SO_x (g)	0.0522	0.0523	0.0527	0.0525	0.0524	0.0524
CH_4 (g)	0.300	0.300	0.302	0.301	0.301	0.300
N_2O (g)	0.00466	0.00496	0.00567	0.00539	0.00528	0.00528
CO_2 (g)	44.556	44.686	45.502	44.952	44.927	44.753

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฐ-12 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 99.5% (+)

(เกียร์ 5, 80 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
VOC (g)	0.0294	0.0294	0.0300	0.0298	0.0299	0.0297
CO (g)	0.0896	0.0892	0.0954	0.0916	0.0912	0.0891
NO_x (g)	0.135	0.138	0.122	0.138	0.145	0.147
PM_{10} (g)	0.0124	0.0125	0.0122	0.0127	0.0130	0.0130
SO_x (g)	0.0959	0.1029	0.0542	0.1000	0.1157	0.1257
CH_4 (g)	0.317	0.318	0.310	0.318	0.321	0.323
N_2O (g)	0.00319	0.00325	0.00389	0.00349	0.00336	0.00328
CO_2 (g)	63.612	62.539	64.504	63.230	62.901	62.321

ตารางที่ ฐ-13 แสดง FTT emissions ในรูป g/km จากการใช้ดีโซฮอล 99.5% (-)

(เกียร์ 5, 80 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
VOC (g)	0.0300	0.0301	0.0308	0.0305	0.0306	0.0304
CO (g)	0.0935	0.0935	0.1006	0.0960	0.0956	0.0938
NO_x (g)	0.141	0.144	0.129	0.145	0.151	0.154
PM_{10} (g)	0.0131	0.0132	0.0131	0.0135	0.0137	0.0137
SO_x (g)	0.0965	0.1036	0.0550	0.1007	0.1164	0.1264
CH_4 (g)	0.318	0.320	0.312	0.320	0.322	0.324
N_2O (g)	0.00498	0.00519	0.00620	0.00563	0.00542	0.00536
CO_2 (g)	63.965	62.967	64.958	63.598	63.255	62.777

ตารางที่ ฐ-14 และ ตารางที่ ฐ-15 แสดงค่า CO_2 equivalent GHG emissions จากการใช้ดีโซฮอล 95% และดีโซฮอล 99.5% ที่จุดทำงาน เกียร์ 5 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

ตารางที่ ฐ-14 แสดง CO_2 equivalent GHG emissions จากการใช้ดีโซฮอล 95%

หน่วย: g CO_2 equivalent/km (เกียร์ 5, 80 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
+	51.327	51.428	52.341	51.834	51.813	51.524
-	52.298	52.527	53.593	52.937	52.876	52.698

ตารางที่ ฐ-15 แสดง CO_2 equivalent GHG emissions จากการใช้ดีโซฮอล 99.5%

หน่วย: g CO_2 equivalent/km (เกียร์ 5, 80 km/h)

โรงงาน	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
+	71.251	70.226	72.213	70.990	70.681	70.113
-	72.188	71.286	73.422	72.054	71.708	71.246

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฑ

กระบวนการผลิตเอทานอล 99.5%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กระบวนการผลิตเอทานอล 99.5% [41]

ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

1. การหมัก

1.1 เขี่ยเชื้อ Sc.90 (Saccharomyces cerevisae) จากหลอดทดลองลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ (วุ้น) ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

1.2 เขี่ยเชื้อ Sc.90 จากหลอดทดลองลงสู่ Conical flask ที่มีอาหารเลี้ยงเชื้ออยู่ประมาณ 50 cc. ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

1.3 นำเชื้อ Sc.90 จาก Conical flask ใส่ลงใน Balloon flask flat bottom ที่มีอาหารเลี้ยงเชื้ออยู่ประมาณ 1.5 ลิตร ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

1.4 นำเชื้อ Sc.90 จาก Balloon flask flat bottom ใส่ลงในถัง Starter ขนาด 100 ลิตร ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

1.5 เปิดวาล์วให้เชื้อ Sc.90 จากถัง Starter 100 ลิตร ลงสู่ถังหมักใหญ่ ขนาด 3,000 ลิตร จำนวน 4 ถัง ทิ้งไว้ 72 ชั่วโมง จะได้น้ำหมักที่มีเอทานอล 10% จำนวน 10,000 ลิตร

2. การกลั่น

2.1 ป้อนน้ำหมักที่มีเอทานอล 10% จำนวน 10,000 ลิตรเข้าสู่หอกลั่นลำดับส่วนที่ 1 จะได้เอทานอลประมาณ 50%

2.2 ป้อนเอทานอล 50% ดังกล่าวเข้าสู่หอกลั่นที่ 2 จะได้เอทานอล 95% จำนวน 900 ลิตร

3.การดึงน้ำออกจากเอทานอล

นำเอทานอล 95% ป้อนเข้าสู่เครื่องแยกน้ำออกจากเอทานอล (Dehydration Unit) ซึ่งมี 2 ระบบ คือ Molecular Sieve Dehydration Unit และ Membrane Dehydration Unit

วิธีการกำจัดน้ำออกจากเอทานอลมีหลายวิธี สำหรับในโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา มีเครื่องแยกน้ำออกจากเอทานอล (Dehydration Unit) 2 ระบบ คือ

1. Molecular Sieve Dehydration Unit

2. Membrane Dehydration Unit

ในปัจจุบันไม่ได้ใช้ Membrane Dehydration Unit เนื่องจากมีปัญหาเรื่องการอุดตันของ membrane ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงในการเปลี่ยน และเอทานอลที่ได้ยังมีความบริสุทธิ์ไม่ถึง 99.5%

หลักการทำงานโดยสังเขปของ Molecular Sieve Dehydration Unit [42]

วัตถุดิบคือแอลกอฮอล์ 95% ที่ป้อนเข้าเครื่องจะถูกทำให้กลายเป็นไอก่อนเข้าหอดูดซับด้วยอุปกรณ์ Steam-heated vaporizer (E-101) และ Superheater (E-102) จากนั้นไอของน้ำและแอลกอฮอล์จะไหลผ่านไปทางด้านบนของหอดูดซับหอใดหอหนึ่ง (Absorbers V-101-A,-B,-C) ซึ่งในหน่วยนี้ไอน้ำจะถูกดูดซับไว้ในตัวดูดซับโมเลกุลาร์ซีฟที่บรรจุอยู่ในหอดูดซับและปล่อยให้ไอของแอลกอฮอล์ไหลผ่านออกมาทางด้านล่างของหอดูดซับ จากนั้นไอของแอลกอฮอล์จะถูกควบแน่นทำให้เป็นของเหลวด้วยอุปกรณ์ Product condenser (E-104) และนำไปเก็บที่ Product surge drum (V-103) ซึ่งแอลกอฮอล์ที่ได้จะมีความบริสุทธิ์ 99.5% ส่วนหอดูดซับอีกหอหนึ่งที่ดูดซับน้ำไว้จนเต็มแล้วจะทำงานเพื่อดึงเอาน้ำออกจากตัวดูดซับโมเลกุลาร์ซีฟโดยการใช้ปั๊มสุญญากาศดูดออก โดยไอน้ำจะถูกดูดออกทางด้านบนของหอดูดซับและถูกควบแน่นให้กลายเป็นน้ำด้วยอุปกรณ์ Purge condenser (E-105) ผ่านปั๊มสุญญากาศ (VP1) แล้วส่งไปเก็บที่ถัง Purge drum (V-102) ในส่วนนี้จะมีเอทานอลติดไปด้วยประมาณ 65%

การทำเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5% โดยอาศัยหลักการดูดซับ [42]

1.ทฤษฎีการแยกโดยอาศัยหลักการดูดซับ

กระบวนการแยกโดยใช้หลักการดูดซับเป็นกระบวนการแยกกระบวนการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการแยกของผสมทั้งที่เป็นก๊าซหรือของเหลวออกจากกัน อาศัยหลักการว่าสารอย่างน้อยสองชนิดที่ต้องการแยกต้องมีค่าการดูดซับแตกต่างกัน กล่าวคือ สารที่ถูกดูดซับ (Adsorbate) ได้ดีกว่าจะเกาะอยู่บนตัวดูดซับ (Adsorbent) ส่วนสารที่ไม่ถูกดูดซับจะผ่านออกมาทางขาออกทำให้สามารถแยกสารออกจากกันได้ ซึ่งในกรณีการแยกน้ำออกจากเอทานอลนั้นในปัจจุบันจะใช้ตัวถูกดูดซับที่ชื่อว่า โมเลกุลาร์ซีฟเป็นตัวดูดซับน้ำออกจากเอทานอล แต่เมื่อใช้งานไประยะเวลาหนึ่งประสิทธิภาพของตัวดูดซับก็จะลดลงเนื่องจากดูดซับน้ำไว้จนเต็มทำให้ไม่สามารถแยกสารได้อีกต่อไป ดังนั้นเพื่อที่จะนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง สิ่งหนึ่งที่สำคัญสำหรับกระบวนการนี้ก็คือการแยกหรือดึงน้ำที่ถูกดูดซับออกจากตัวดูดซับ หรือที่เรียกกันทั่วไปว่าการฟื้นฟูสภาพตัวดูดซับ (Regeneration of Adsorbent) ซึ่งวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันคือ Pressure Swing Adsorption (PSA) ซึ่งเป็นการฟื้นฟูสภาพตัวดูดซับโดยใช้หลักการลดความดันลง (อุณหภูมิคงที่) จนแรงดึงดูดระหว่างสารที่ถูกดูดซับและตัวดูดซับเหลือน้อยและหลุดออกจากกันในที่สุด มีข้อดีคือใช้เวลาน้อย และโดยทั่วไปถ้าจะให้การทำงานเป็นไปอย่างต่อเนื่องก็ต้องมีหอดูดซับอย่างน้อยสองหอเพื่อสับเปลี่ยนกันใช้งาน

หลักการทำงานของเครื่อง Vogelbusch ethanol dehydrator test unit

เครื่อง Vogelbusch ethanol dehydrator test unit ประกอบด้วยหอดูดซับ 3 หอซึ่งออกแบบมาเพื่อสามารถใช้งานได้ทั้งแบบ 2 หอและแบบ 3 หอขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ต้องการ กล่าวคือในกรณีที่ต้องการผลิตเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5% ก็ใช้งานแบบ 2 หอ ส่วนถ้าต้องการผลิตเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์มากกว่า 99.5% (หรือต้องการแยกเอาสารปนเปื้อนอื่นๆ ออก) ก็ต้องใช้งานแบบ 3 หอ โดยเครื่องมีการควบคุมการทำงานโดยใช้แผงการควบคุมที่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและเป็นไปอย่างอัตโนมัติ

จากที่กล่าวมาแล้วว่าเครื่อง Vogelbusch ethanol dehydrator test unit เป็นเครื่องที่ใช้ในการผลิตเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์มากกว่า 99.5% จากแอลกอฮอล์ 95% โดยใช้เทคนิคการดูดซับแบบ Pressure Swing Adsorption (PSA) และใช้โมเลกุลาร์ซีฟชื่อซีโอไลต์สังเคราะห์ชนิดสามเอ (synthetic 3A zeolite) ในการดูดซับน้ำออกจากแอลกอฮอล์ ซึ่งซีโอไลต์สังเคราะห์ชนิดสามเอนี้มีลักษณะพิเศษคือมีความเป็นรูพรุนสูงและสามารถดูดซับน้ำที่มีความเข้มข้นต่ำๆได้ดี

เทคนิคการดูดซับแบบ PSA มีการทำงานแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. **การดูดซับ (Adsorption)** ในส่วนนี้มีลำดับขั้นตอนการทำงานเป็น 3 ขั้นตอนย่อยๆดังนี้คือ

1.1 ขั้นตอนการเพิ่มความดัน (Repressurisation)

1.2 ขั้นตอนการดูดซับน้ำ (Adsorption)

1.3 ขั้นตอนการลดความดัน (Depressurisation)

ในขั้นตอนการดูดซับนี้เป็นขั้นตอนการดูดน้ำออกจากเอทานอล 95% เพื่อผลิตเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5% ซึ่งขั้นตอนนี้ทำงานภายใต้สภาวะที่มีความดัน

2. **การฟื้นฟูสภาพตัวดูดซับ (Regeneration)** ซึ่งในส่วนนี้ก็มีลำดับขั้นตอนการทำงานแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนย่อยๆเช่นกันคือ

2.1 ขั้นตอนการลดความดัน (Depressurisation)

2.2 ขั้นตอนการดึงน้ำออกจากตัวดูดซับ (Purge)

2.3 ขั้นตอนการเพิ่มความดัน (Repressurisation)

ขั้นตอนการฟื้นฟูสภาพนี้เป็นขั้นตอนการดึงเอาน้ำออกจากตัวดูดซับเพื่อที่จะทำให้สามารถนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่ได้ซึ่งขั้นตอนนี้ทำงานภายใต้สภาวะสุญญากาศ

โดยในการทำงานขณะที่ตัวดูดซับในหอดูดซับ A กำลังอยู่ในขั้นตอนที่ 1 คือการดูดซับ หอดูดซับ B ก็จะทำงานในขั้นตอนที่ 2 คือการฟื้นฟูสภาพตัวดูดซับและทั้งสองหอจะทำงานสลับขั้นตอนกันไปอย่างต่อเนื่องทุกๆ 5 นาที

ขีดความสามารถของเครื่อง

1. วัตถุดิบ วัตถุดิบเอทานอลที่ใช้ต้องไม่มีสารจำพวกพาราฟินส์หรือน้ำมันปนอยู่ด้วย

อัตราการไหลของวัตถุดิบ	70 ปอนด์ต่อชั่วโมง
มีเอทานอลเป็นองค์ประกอบ	90% โดยปริมาตร
อุณหภูมิของวัตถุดิบ	25 องศาเซลเซียส
ความดันสัมพัทธ์	อย่างน้อย 1.5 บาร์

2. ผลิตภัณฑ์เอทานอลที่ได้

อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์	50 ปอนด์ต่อชั่วโมง
ความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่	20 องศาเซลเซียส 99.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

3. น้ำที่แยกออกจากเอทานอล

อัตราการไหล	20 ปอนด์ต่อชั่วโมง
มีเอทานอลปนไปด้วย	65 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

4. สาธารณูปโภค

4.1 น้ำ น้ำที่ใช้ในระบบหล่อเย็นจะต้องไม่มีสิ่งสกปรกแขวนลอยอยู่ ดังนั้นต้องมีระบบกรองน้ำก่อนเข้าเครื่อง มีความกระด้างไม่เกิน 12 องศา dH และความกระด้างถาวรสูงสุดไม่เกิน 4.5 องศา dH และมีเหล็กได้ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร

อัตราการไหลของน้ำ 2 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

-น้ำขาเข้า	อุณหภูมิสูงสุด	31 องศาเซลเซียส
	ความดันสัมพัทธ์ต่ำสุด	3 บาร์
-น้ำขาออก	อุณหภูมิสูงสุด	40 องศาเซลเซียส
	ความดันสัมพัทธ์สูงสุด	1 บาร์

4.2 ไอน้ำ (Steam)

อัตราการไหล 20 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ไอน้ำขาเข้า ความดันสัมพัทธ์ 45+/- ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ไอน้ำขาออก อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส

ความดันสัมพัทธ์ 30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

4.3 ไฟฟ้า

ใช้ไฟ 380 V +/- 5% และความถี่ 50 Hz +/- 0.5%

ไฟฟ้าที่ใช้ประมาณ 4 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง

4.4 เครื่องอัดอากาศ มีความดันสัมพัทธ์ขาเข้าประมาณ 0.55 MPa +/- bar

สภาพการใช้พลังงาน

พลังงานที่ใช้ผลิตเอทานอลในโรงงานผลิตเอทานอลของโครงการส่วนพระองค์ได้จาก ไอน้ำและไฟฟ้า ไอน้ำจะผลิตจากหม้อต้มไอน้ำ (boiler) 2 ตัว ซึ่งใช้เชื้อเพลิงได้ทั้งน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล โดยจะจ่ายไอน้ำเข้าระบบหอกลั่นของการผลิตเอทานอล 95% และจ่ายไอน้ำเข้าระบบ dehydration unit ของการผลิตเอทานอล 99.5% ส่วนไฟฟ้าได้จากระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงโดยมิเตอร์ที่ใช้วัดจะเป็นมิเตอร์รวมซึ่งวัดการใช้ไฟฟ้าทั้งในโรงงานและส่วนของสำนักงาน

จากข้อมูลการกลั่นเอทานอล 99.5% ซึ่งได้จากตารางบันทึกการกลั่น Molecular Sieve ในช่วงวันที่ 3, 6, 7, 8, 9 และ 10 ตุลาคม 2546 และข้อมูลการใช้หม้อน้ำซึ่งได้จากรายงานการใช้หม้อน้ำในช่วงวันที่ 6, 7, 8, 9 และ 10 ตุลาคม 2546 พบว่าเป็นการเดินเครื่องระบบ dehydration unit เท่านั้นโดยไม่มีการกลั่นเอทานอล 95% และเดินเครื่องหม้อน้ำเพียง 1 ตัว คือ ตัวที่ 1 ซึ่งเป็นตัวใหม่โดยใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันดีเซล 100% ทำให้สามารถคำนวณหาพลังงานที่ใช้ผลิตเอทานอล 99.5% จากระบบ Molecular sieve ได้โดยตรง วิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวก ญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย จักรภพ นาคฤทธิ์ เกิดเมื่อวันที่ 28 เดือนตุลาคม พุทธศักราช 2521 ที่ อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2542 เข้าศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2543

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย