

การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว กะลาปาล์มและซังข้าวโพด



นางสาวไอศิกา น้อยจันทร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR THE ACTIVATED CARBON PRODUCTION BY
COCONUT SHELLS, PALM-OIL SHELLS AND CORNCOBS



Miss I-sika Noijuntira

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตถ่านกัมมันต์จาก
กะลามะพร้าว กะลาปาล์มและขี้ข้าวโพด

โดย

นางสาวไอศิกา น้อยจันทร์

สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี


อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก


รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล กิตติศุภกร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศนัทธวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะसार ประเสริฐธรรม)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล กิตติศุภกร)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนงค์นาฏ สมหวังโรจน์)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.วชิรา ดาวสุด)

ไอศิกา น้อยจันทิระ : การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว กะลาปาล์ม และซังข้าวโพด. (LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR THE ACTIVATED CARBON PRODUCTION BY COCONUT SHELLS, PALM-OIL SHELLS AND CORNCOBS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.ไพศาล กิตติศุภกร, 128 หน้า.

ในปัจจุบันปริมาณความต้องการถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นทุกปี ดังนั้นปริมาณการผลิตถ่านกัมมันต์ย่อมเพิ่มขึ้นตามปริมาณความต้องการด้วยเช่นกัน งานวิจัยนี้ได้เสนอการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามกระบวนการผลิตที่ใช้วัตถุดิบเป็นสารตั้งต้นแตกต่างกัน ได้แก่ การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม และการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด ในงานวิจัยใช้โปรแกรม HYSYS เพื่อจำลองกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ เพื่อให้ทราบถึงข้อมูลปริมาณวัตถุดิบ พลังงานที่ใช้และปริมาณสารที่ออกจากกระบวนการผลิต เนื่องจากข้อมูลของการผลิตถ่านกัมมันต์ที่ได้มาจากบทความทางวิชาการระดับนานาชาติ วิทยานิพนธ์และดุษฎีนิพนธ์ในประเทศไทย จะทราบเพียงภาวะที่ใช้ในการผลิตและสารที่ออกจากกระบวนการผลิต ซึ่งการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตนั้นใช้ดัชนีชี้วัดเชิงนิเวศน์ (Eco-indicator 99) ซึ่งดัชนีนี้สามารถประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ ประกอบด้วย ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ และการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ โดยหน่วยของค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมคือ Point : Pt ซึ่งผลการศึกษาระบบการผลิตทั้งสามแบบโดยใช้ดัชนีชี้วัดเชิงนิเวศน์ พบว่า กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวมีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเท่ากับ 2.6136 Pt รองลงมาคือกระบวนการผลิตจากกะลาปาล์ม มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 2.0068 Pt และกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดมีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดเท่ากับ 1.2276 Pt และศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนโดยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ซึ่งวัดค่าในหน่วยของกิโลกรัมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า จากผลการศึกษา พบว่า กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนมากที่สุดเท่ากับ 119.5567 kgCO₂e รองลงมาคือกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดเท่ากับ 89.0543 kgCO₂e และกระบวนการผลิตที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด คือ กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มเท่ากับ 87.1017 kgCO₂e

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....

ลายมือชื่อนิสิต.....ไอศิกา น้อยจันทิระ.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....*Prof. Dr. Paisal Kittisakul*.....

ปีการศึกษา.....2553.....

5070651421 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) / ACTIVATED CARBON PRODUCTION

I-SIKA NOIJUNTIRA : LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR THE ACTIVATED CARBON PRODUCTION BY COCONUT SHELLS , PALM-OIL SHELLS AND CORNCOBS.

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PAISAN KITTISUPAKORN, PhD.,128 pp.

Nowadays, the demand of activated carbon has increased every year, so the amount of activated carbon production is increasingly needed. This research proposes a simple model based on the application of life cycle assessment (LCA) to evaluate the environmental impacts of activated carbon production process. Three production processes studied are based on different raw materials: coconut shells, palm-oil shells and corncobs. HYSYS Simulation Software has been used to simulate activated carbon production process to obtain data of the amount of raw material, energy consumption and material stream from the production process because the data of activated carbon production process derived from academic articles, thesis and dissertations in Thailand that just show the conditions of production and material stream from the production process. The analysis is accomplished using Eco-indicator 99, which is able to evaluate all environmental impacts consisting of human health, ecosystem and resource depletion. The unit of single score of the environmental impacts is Point : Pt. The results show that the process using coconut shells has the highest environmental impacts of 2.6136 Pt. The process using palm-oil shells has the lower environmental impacts than using coconut shells of 2.0068 Pt and the lowest environmental impacts is the process using corncobs which is 1.2276 Pt. The impact of global warming is studied by carbon footprint which is measured in unit of kilogram carbon dioxide equivalent. From these experimental data, It is observed that the process using coconut shells has the highest impact of global warming of 119.5567 kgCO₂e. The process using corncobs has the lower impact of global warming than using coconut shells of 89.0543 kgCO₂e and the lowest impact of global warming is the process using palm-oil shells which is 87.1017 kgCO₂e.

Department : ..Chemical Engineering.....

Student's Signature *I-sika Noijuntira*.....

Field of Study : ..Chemical Engineering.....

Advisor's Signature *Paisan Kittisupakorn*.....

Academic Year : ..2010.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล กิตติสุขภกร อาจารย์ที่
ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาในการทำงานวิจัยและให้ข้อคิดเห็นในการแก้ปัญหา
ต่างๆ และช่วยแนะนำแก้ไขปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้
อย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ศาสตราจารย์
ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม (ประธานกรรมการ) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนงค์นาฏ สมหวังธน
โรจน์ (กรรมการ) และดร.วชิรา ดาวสุด (กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย) ที่กรุณาให้ข้อคิดเห็น
และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ขึ้น

ขอขอบคุณพี่และเพื่อนทุกคนที่เป็นสมาชิกในห้องปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมวัสดุ
ชีวิต (LCE) ที่คอยให้คำสั่งสอน ข้อเสนอแนะและกำลังใจในตลอดช่วงการทำงานวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดาและมารดาที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้
ตลอดการทำงานวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
สารบัญตัวย่อ.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	2
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย.....	2
1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	3
1.6 เนื้อหาแต่ละบท.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 หลักการและทฤษฎีการประเมินวัฏจักรชีวิต.....	4
2.1.1 ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต.....	4
2.1.2 ประวัติความเป็นมาของการประเมินวัฏจักรชีวิต.....	7
2.1.3 วัตถุประสงค์ของการประเมินวัฏจักรชีวิต.....	7
2.1.4 ขั้นตอนโดยทั่วไปของการประเมินวัฏจักรชีวิต.....	10
2.1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการประเมินวัฏจักรชีวิต.....	10
2.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์.....	10
2.2.1 กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของผลิตภัณฑ์การศึกษา.....	11
2.2.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์.....	12
2.2.3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์.....	14
2.2.4 การแปลผล.....	15

2.3 การประเมินวัฏจักรชีวิตร่วมกับการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิต ด้วยโปรแกรม HYSYS.....	15
2.4 โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับประเมินวัฏจักรชีวิต.....	15
2.4.1 โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro.....	16
2.4.2 การเลือกดัชนีวัดผลกระทบ.....	19
2.4.3 การประเมินผลกระทบโดยวิธี Eco-indicator 99.....	21
2.5 คาร์บอนฟุตพริ้น.....	26
2.5.1 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้น.....	26
2.5.2 ประโยชน์ของคาร์บอนฟุตพริ้น.....	28
2.6 โปรแกรม HYSYS.....	28
2.7 ข้อมูลทั่วไปของถ่านกัมมันต์.....	28
2.7.1 ข้อมูลทั่วไปของถ่านกัมมันต์.....	28
2.7.2 วัตถุประสงค์สำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์.....	31
2.8 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์.....	32
2.8.1 การเผาถ่านหรือคาร์บอนไนซ์ไซชั่น.....	32
2.8.2 การผลิตถ่านกัมมันต์.....	33
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	34
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	43
3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	43
3.2 ข้อมูลมาตรฐานและข้อกำหนด.....	46
3.3 โปรแกรมสำหรับการทำวิจัย.....	47
3.4 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้น.....	47
3.5 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการศึกษา.....	48
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์.....	58
4.1 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิต ถ่านกัมมันต์.....	58
4.2 ผลการประเมินเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิต ถ่านกัมมันต์.....	62

4.3 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ ทั้งสามแบบโดยวิธีวัดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์.....	74
บทที่ 5 .บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	79
5.1 บทสรุป.....	79
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	82
รายการอ้างอิง.....	83
ภาคผนวก.....	86
ภาคผนวก ก. แผนผังการจำลองกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ ด้วยโปรแกรม HYSYS.....	87
ภาคผนวก ข. การคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม.....	95
ภาคผนวก ค. ตารางแสดงค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิต ถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ.....	118
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	128

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คำจำกัดความย่อของการประเมินวัฏจักรชีวิตในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14000.....	5
ตารางที่ 2.2 เครื่องมือสำหรับจัดการและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	8
ตารางที่ 2.3 กลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ศึกษาแต่ละดัชนีชีวิต.....	20
ตารางที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มเป้าหมายที่ถูกทำลาย ประเภทของผลกระทบและสสารที่เป็นปัจจัยของผลกระทบ.....	22
ตารางที่ 2.5 อธิบายลักษณะผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของแต่ละประเภทของผลกระทบทั้ง 11 ผลกระทบ.....	23
ตารางที่ 2.6 แสดงค่าศักยภาพการก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ...	27
ตารางที่ 2.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ใช้ในการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้น.....	27
ตารางที่ 3.1 ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ และพลังงานที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว.....	44
ตารางที่ 3.2 ปริมาณผลิตภัณฑ์หลักของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว(แบบที่ 1) กะลาปาล์ม(แบบที่ 2) และซังข้าวโพด(แบบที่ 3).....	45
ตารางที่ 3.3 ปริมาณสารและพลังงานที่ปล่อยออกของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว (แบบที่ 1) กะลาปาล์ม (แบบที่ 2) ซังข้าวโพด (แบบที่ 3).....	45
ตารางที่ 3.4 แสดงผลการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ.....	47
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมกลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human health) ของการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ.....	76
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมกลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ (Ecosystem quality)ของการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ.....	76

ตารางที่ 4.3	เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมกลุ่มผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ(Resource) ของการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ.....	77
ตารางที่ 4.4	เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรวมแบบคะแนนเดียวของการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ..	77
ตารางที่ 4.5	เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อน (Carbon footprint) ของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ..	78

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต.....	11
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างผังแสดงสาขาเข้าและสาขาออกของกระบวนการ.....	13
รูปที่ 2.3 แสดงแนวคิดในการจัดทำกรประเมินวัฏจักรชีวิตโดยใช้ Eco-indicator 99.....	24
รูปที่ 3.1 ขอบเขตของงานวิจัยที่ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการ ผลิตถ่านกัมมันต์.....	38
รูปที่ 3.2 ภาพรวมขั้นตอนการทำงานวิจัยในขอบเขตของการประเมิน วัฏจักรชีวิต.....	46
รูปที่ 3.3 แผนผังของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว.....	48
รูปที่ 3.4 แผนผังจำลองโดยโปรแกรม HYSYS ของกระบวนการผลิต ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว.....	50
รูปที่ 3.5 แผนผังของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม.....	52
รูปที่ 3.6 แผนผังจำลองโดยโปรแกรม HYSYS ของกระบวนการผลิต ถ่านกัมมันต์โดยกะลาปาล์ม.....	53
รูปที่ 3.7 แผนผังของการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด.....	55
รูปที่ 3.8 แผนผังจำลองโดยโปรแกรม HYSYS ของกระบวนการผลิต ถ่านกัมมันต์โดยซังข้าวโพด.....	56
รูปที่ 4.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตถ่านกัมมันต์ จากกะลามะพร้าว.....	58
รูปที่ 4.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตถ่านกัมมันต์ จากกะลาปาล์ม.....	59
รูปที่ 4.3 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตถ่านกัมมันต์ จากซังข้าวโพด.....	61
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตถ่านของกระบวนการ ผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ: กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์	63

รูปที่ 4.5	เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ : กลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์.....	64
รูปที่ 4.6	เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ : กลุ่มผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ....	64
รูปที่ 4.7	เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ : ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหน่วย Pt (กราฟคะแนนเดียว).....	66
รูปที่ 4.8	เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ: กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์.....	67
รูปที่ 4.9	เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ : กลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์.....	68
รูปที่ 4.10	เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ : กลุ่มผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ...	68
รูปที่ 4.11	เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ : ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหน่วย Pt (กราฟคะแนนเดียว).....	69
รูปที่ 4.12	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตถ่านจนถึงขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์(cradle-to-gate) : กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์.....	70
รูปที่ 4.13	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตถ่านจนถึงขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์(cradle-to-gate) : กลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์.....	71
รูปที่ 4.14	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตถ่านจนถึงขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์(cradle-to-gate) : กลุ่มผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ.....	72
รูปที่ 4.15	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตถ่านจนถึงขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์(cradle-to-gate) : ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหน่วย Pt (กราฟคะแนนเดียว).....	73

- รูปที่ 4.16 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนของพลังงานที่ใช้และก๊าซเรือน
 กระจกที่ปล่อยจากกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบในหน่วย
 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า..... 74
- รูปที่ 4.17 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนของกระบวนการผลิตถ่าน
 กัมมันต์ทั้งสามแบบในหน่วยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า..... 75



ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญย่อ

BEES	Building for Environmental and Economic Sustainability
BET	Brunauer-Emmett and Teller
CFC	Chlorofluorocarbon
CML	Centre of Environmental Science at Leiden University
DALYs	Disability-adjusted life years
EDIP	Environmental Design of Industrial Products
EF	Equivalency factor
EFM	Empty fruit bunch
EP	Environmental impact potential
EPD	Environmental Product Descriptions
ER	Normalization factor
ESP	Environmental Sample Processor
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Organization for Standardization
kg/hr	kilogram per hour
kJ/hr	kilojoule per hour
LCA	Life Cycle Assessment
LCI	Life Cycle Inventory
LCIA	Life Cycle Impact Assessment
MJ	Megajoules
NP	Normalized Environment Impact Potential
PDF	Potentially disappeared fraction
Pt	Point
Q	Quality of Substance
SETAC	Society of environment toxicology and chemical
T	Life Time of Product
TRACI	Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts

UNEP	United Nations Environment Programme
WF	Weighting Factor
WHO	World Health Organization
WP	Weighted Environmental impact Potential



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการเติบโตของตลาดถ่านกัมมันต์แปรตามการใช้งานในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องซึ่งมีอยู่มากมาย ได้แก่ กลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องกรองอากาศ อุตสาหกรรมน้ำดื่มและน้ำประปา อุตสาหกรรมชุบโลหะ อุตสาหกรรมอาหาร นอกจากนี้ ยังมีการใช้ถ่านกัมมันต์ในครัวเรือนโดยเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่น เช่น กลิ่นอับในตู้เย็น ตู้เสื้อผ้า ตู้รองเท้า ฯลฯ จะเห็นได้ว่าตลาดของถ่านกัมมันต์มีอยู่อย่างกว้างขวาง และมีแนวโน้มในการใช้งานอย่างสม่ำเสมอในประเทศและยังสามารถส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ อย่างไรก็ตาม ยังต้องมีการนำเข้าถ่านกัมมันต์เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องการคุณภาพของถ่านกัมมันต์ระดับสูง เช่น ในอุปกรณ์ฟอกอากาศบางชนิดจึงทำให้ยังมีมูลค่าการนำเข้าสูงกว่ามูลค่าการส่งออกไปในปัจจุบัน [1]

เนื่องจากปริมาณความต้องการถ่านกัมมันต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี โดยในปี ค.ศ. 2005 เท่ากับ 970,000 ตัน โดยแบ่งไปตามบริเวณต่าง ๆ ดังนี้ ในเอเชีย/แปซิฟิก 52 เปอร์เซ็นต์ อเมริกาเหนือ 26 เปอร์เซ็นต์ ยุโรปตะวันตก 13 เปอร์เซ็นต์ และอื่น ๆ อีก 9 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณความต้องการถ่านกัมมันต์จะเพิ่มขึ้น 5 เปอร์เซ็นต์ต่อปีจนถึงปี 2009 และในปี 2010 จะเพิ่มเป็น 1.2 ล้านตัน (Freedonia Group, 2006) ดังนั้น ปริมาณการผลิตถ่านกัมมันต์ย่อมเพิ่มขึ้นตามปริมาณความต้องการด้วยเช่นกัน [2]

จากการที่ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ทำให้มีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจำนวนมาก เช่น กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม น้ำมัน ช้างข้าวโพด ชานอ้อย มันสำปะหลัง เป็นต้น ทำให้หน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชนจึงพยายามคิดค้นและพัฒนาโดยการนำวัสดุเหลือใช้เหล่านี้มาสร้างมูลค่าเพิ่มและเป็นการใช้ทรัพยากรภายในประเทศให้คุ้มค่าที่สุดโดยการนำมาผลิตเป็นสินค้าประเภทต่าง ๆ ดังกรณีของถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ซึ่งทำให้เกิดการสร้างงานและสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรมากขึ้น รวมทั้งเมื่อมีการพัฒนาคุณภาพของถ่านกัมมันต์ให้สูงขึ้นจะสามารถผลิตเพื่อการส่งออกและทดแทนการนำเข้าได้อีกด้วย [1]

งานวิจัยนี้จึงศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นทางกายภาพ จากกระบวนการผลิตที่ใช้วัตถุดิบที่ต่างกัน 3 ชนิด คือ กะลามะพร้าว กะลาปาล์มและช้างข้าวโพด โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปซิมาโปร (SimaPro) และการวัดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้น ในการ

วิเคราะห์ผลกระทบ และเนื่องจากการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นต้องการข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกของระบบที่จะทำการศึกษา ซึ่งข้อมูล (พลังงานที่ใช้และสารที่ปล่อยออก) ที่นำมาประเมินนั้นไม่สามารถตรวจวัดโดยตรงได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการเลียนแบบกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้โปรแกรมเลียนแบบกระบวนการผลิตคือ ไฮซิส (HYSYS) โดยข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตนั้นได้มาจากสิทธิบัตรและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาการจำลองการผลิตและประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการศึกษาทำบนพื้นฐานร่วมกันของการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตโดยใช้โปรแกรมไฮซิส (HYSYS) การประเมินวัฏจักรชีวิตใช้โปรแกรมสำเร็จรูปซิมาโปร (SimaPro) และการวัดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ในงานวิจัยนี้ได้ประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตถ่านกัมมันต์ที่ใช้สารตั้งต้นแตกต่างกัน คือ กะลามะพร้าว กะลาปาล์มและซังข้าวโพด
- 2) ในการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นจะมีขอบเขตตั้งแต่ผลกระทบจากการใช้วัตถุดิบและผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการผลิต
- 3) พิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตถ่านกัมมันต์จากการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิต
- 4) การออกแบบและจำลองกระบวนการผลิต ได้เก็บรวบรวมมาจากบทความเอกสารทางวิชาการระดับนานาชาติ และวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์ในประเทศไทย

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

- 1) ทราบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์
- 2) ทราบแนวทางในการป้องกันผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในการผลิตถ่านกัมมันต์

1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

- 1) ศึกษาและค้นหาข้อมูลและทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์
- 2) พัฒนาแบบจำลองของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้โปรแกรมไฮซิส (HYSYS)
- 3) ประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปซิมาโปร (SimaPro) และการวัดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้น
- 4) วิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์
- 5) สรุปผลการวิจัย

1.6 เนื้อหาแต่ละบท

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาสำหรับงานวิจัย วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัยที่ได้ศึกษา วิธีการดำเนินงานวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยอธิบายถึงหลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) ความหมายของคาร์บอนฟุตพริ้นและทฤษฎีของถ่านกัมมันต์ โดยกล่าวถึง ความหมายของถ่านกัมมันต์ คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม นอกจากนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยต่างๆ จากวารสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

บทที่ 3 อธิบายถึงงานวิธีการดำเนินงานวิจัย โดยกล่าวถึงตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ขั้นตอนการวิจัย วิธีที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต อธิบายกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ และการทำบัญชีรายการ

บทที่ 4 เป็นส่วนของผลการดำเนินงานวิจัย ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตโดยใช้โปรแกรมไฮซิส (HYSYS) ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตของแต่ละแบบการผลิต ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปซิมาโปร (SimaPro) และการวัดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้น ผลที่ได้จะแสดงเป็นกราฟผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ของแต่ละแบบในการผลิต และผลการเปรียบเทียบผลกระทบด้านต่างๆ ที่เกิดจากการผลิตถ่านกัมมันต์ที่ใช้วัตถุดิบที่ต่างกัน

บทที่ 5 จะกล่าวสรุปถึงวิธีที่ใช้ในการผลิตแบบใดที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และรวมถึงข้อเสนอแนะของการทำวิจัยนี้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment : LCA) ขั้นตอนการดำเนินงานของการประเมินวัฏจักรชีวิต ประโยชน์จากการนำการประเมินวัฏจักรชีวิตไปประยุกต์ใช้ รวมถึงโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต อธิบายถึงการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปซิมาโปร (SimaPro) สำหรับใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตและทฤษฎีของโปรแกรม ไฮซิส (HYSYS) นอกจากนี้ยังกล่าวถึงรายละเอียดและสมบัติต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับถ่านกัมมันต์และการผลิตถ่านกัมมันต์ การนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ส่วนทำของบทกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตถ่านกัมมันต์และประเมินวัฏจักรชีวิต

2.1 หลักการและทฤษฎีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA)

2.1.1 ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในเชิงปริมาณที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากขั้นตอนต่าง ๆ ที่เกี่ยวเนื่องกับผลิตภัณฑ์ทั้งวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่การออกแบบ การใช้พลังงานและวัตถุดิบ การขนส่งและการแจกจ่าย กระบวนการผลิต การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่หรือแปรรูป รวมทั้งการจัดการกับซากผลิตภัณฑ์หลังจากการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle-to-grave) หรืออาจประเมินผลกระทบแบบ Cradle-to-gate ซึ่งเป็นการประเมินผลกระทบโดยครอบคลุมในขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบหรือพลังงานจนถึงกระบวนการผลิต[3-5] โดยพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ครอบคลุมไปถึงผลกระทบต่อระบบนิเวศ สุขภาพอนามัยของมนุษย์ การใช้ทรัพยากรและปัญหาสิ่งแวดล้อมโลกเป็นหลัก โดยอาศัยข้อมูลการใช้ทรัพยากรทั้งวัตถุดิบและปริมาณพลังงานรวมถึงการปล่อยของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ทั้งนี้เพื่อนำผลไปใช้ประกอบการตัดสินใจเพื่อกำหนดนโยบายการออกแบบผลิตภัณฑ์ การปรับปรุงกระบวนการผลิตหรือเพิ่มทางเลือกกระบวนการผลิตเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและให้มีการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ มีคำนิยามเกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิตดังนี้

- สมาคมพิษวิทยาด้านสิ่งแวดล้อมและสารเคมี (Society of environment toxicology and chemical : SETAC) ได้ให้นิยามของการประเมินวัฏจักรชีวิตว่าเป็นกระบวนการที่ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาครอบคลุมถึงกระบวนการผลิตและกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวเนื่องกันในรูปของวัตถุดิบและพลังงาน ซึ่งการประเมินนี้จะทำตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์อย่างละเอียด เช่น กระบวนการผลิต การบรรจุ การคัดแยก การบำรุงรักษาและการแปรรูปใช้ใหม่ รวมถึงกิจกรรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด โดยยึดหลักของระบบนิเวศน์ สุขอนามัยและการนำทรัพยากรมาใช้เป็นหลัก
- ส่วนองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization : ISO) ได้นิยามความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ว่าเป็นการเก็บรวบรวมและการประเมินค่าของสารขาเข้าและสารขาออก รวมถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมหนึ่งที่ถูกบรรจุอยู่ในองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization : ISO) 14000 ว่าด้วยเรื่องเกี่ยวกับมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental Management Standard) มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตมีทั้งหมด 7 ฉบับ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คำจำกัดความย่อของการประเมินวัฏจักรชีวิตในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14000 [3]

มาตรฐาน	ความสำคัญ
ISO 14040 Environmental management	หลักการและข้อกำหนด สำหรับการศึกษากการประเมินวัฏจักรชีวิตโดยเฉพาะการแนะนำในเรื่อง
- Life cycle assessment	การพิจารณาถึงความสำคัญในการศึกษากการ
- Principles and framework	ประเมินวัฏจักรชีวิต
ISO 14041	
Environmental management	การทำ Life cycle inventory ให้คำจำกัดความของ
- Life cycle assessment	เป้าหมาย กำหนดขอบเขต ระบบผลิตภัณฑ์ การ
- Goal and scope definition and life cycle inventory analysis	เก็บข้อมูลและการส่งผลของรายงาน

ตารางที่ 2.1 คำจำกัดความย่อของ LCA ในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14000 (ต่อ)

มาตรฐาน	ความสำคัญ
ISO 14042 Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment	โครงสร้างของผลของการเก็บข้อมูลเพื่อความเข้าใจที่ดีขึ้นเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมที่สัมพันธ์กับระบบผลิตภัณฑ์ที่กำลังศึกษาอยู่
ISO 14043 Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle interpretation	การแปลผลจากการเก็บข้อมูล LCA และการศึกษา LCA
ISO/TR 14047 Environmental management - Life cycle assessment - Illustrative examples on how to apply ISO 14042 - Life cycle impact assessment	รายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14042 สำหรับวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
ISO/TR 14048 Environmental management - Life cycle assessment - LCA data documentation format	รายงานวิชาการแสดงตัวอย่างรูปแบบเอกสารของข้อมูลด้าน LCA
ISO 14049 Environmental management - Life cycle assessment - Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis	รายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14041 สำหรับจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

2.1.2 ประวัติความเป็นมาของการประเมินวัฏจักรชีวิต

การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นผลสืบเนื่องมาจากวิกฤตการณ์พลังงานในช่วงปี ค.ศ. 1970 และเนื่องจากนโยบายการประหยัดพลังงานของรัฐบาลประเทศต่าง ๆ ส่งผลกระทบหลักต่อการปลูกจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อม การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตจึงถูกพัฒนาขนานไปกับแนวคิดที่ต้องการวิเคราะห์ความต้องการใช้พลังงานสำหรับแต่ละภาคอุตสาหกรรมอย่างละเอียด ความสนใจเรื่องการประเมินวัฏจักรชีวิตเริ่มมีมากขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 เพราะมีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญสองเรื่องคือ ภาครัฐของประเทศต่างๆ เริ่มนำผลการศึกษากการประเมินวัฏจักรชีวิตไปใช้มากขึ้น และอีกเรื่องคือมีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณผลกระทบของผลิตภัณฑ์สำหรับเปรียบเทียบความรุนแรงของปัญหาที่ต่างประเภทกัน เช่น การทำให้โลกร้อนขึ้นและการลดลงของทรัพยากร

ปัจจุบันความรู้เกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิตได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็วเป็นที่รู้จักและได้รับการยอมรับมากขึ้น โดยถูกนำมาใช้ในการกำหนดกลยุทธ์และการกำหนดนโยบายด้านสิ่งแวดล้อม เช่น โครงการด้านสิ่งแวดล้อมของสหประชาชาติ (United Nations Environment Programme : UNEP) ได้ส่งเสริมการจัดทำการประเมินวัฏจักรชีวิตภายใต้โครงการ Life Cycle Initiative นอกจากนี้ ยังมีบริษัทผู้ประกอบการในยุโรปกลุ่มหนึ่งได้ร่วมกันจัดตั้งองค์กรเอกชนในนามของ Society for the Promotion of Life Cycle Development (SPOLD) เพื่อส่งเสริมการนำแนวคิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยคำนึงถึงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ [3]

2.1.3 วัตถุประสงค์ของการประเมินวัฏจักรชีวิต

เป็นการพิจารณาข้อมูลการใช้พลังงาน การใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมหรือพิจารณาจากข้อมูลของสารขาเข้าและสารขาออกของผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ ผลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการเลือกตัดสินใจกระบวนการผลิตว่าทางเลือกไหนมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดหรือเพื่อบอกว่าในกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์นั้น ขั้นตอนการผลิตแต่ละขั้นตอนมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร ดังนั้นการประเมินวัฏจักรชีวิตจึงเป็นเพียงเครื่องมือที่ใช้ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจทางด้านสิ่งแวดล้อม ไม่ได้แทนที่เครื่องมือวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมชนิดอื่น ๆ ซึ่งถูกกำหนดขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะอย่าง ดังตารางที่ 2.2 [6]

ตารางที่ 2.2 เครื่องมือสำหรับการจัดการและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

เครื่องมือ	LCA (Life Cycle Assessment)	RA (Risk Assessment)	EIA (Environmental Impact Assessment)	EPE (Environmental Performance Evaluation)
วัตถุประสงค์รวม	เพื่อทำความเข้าใจในโครงสร้างทางสิ่งแวดล้อมของระบบและระบุลำดับในการปรับปรุงได้	เพื่อประเมินผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อมในสถานการณ์ที่เป็นอันตราย	เพื่อประเมินผลกระทบด้านบวกและด้านลบต่อสิ่งแวดล้อมของโครงการในอนาคต	เพื่อจัดหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องและพิสูจน์ได้เกี่ยวกับสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อมขององค์กร
ข้อดี	สะดวกในการพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถพิจารณาได้ทั้งระดับโลกและระดับภูมิภาค	ประเมินผลกระทบระดับพื้นที่และภูมิภาคต่อเป้าหมายเฉพาะ	ประเมินผลกระทบทั้งด้านบวกและด้านลบและพิจารณาผลกระทบของโครงการในระดับพื้นที่	มีการวัดสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อมที่สัมพันธ์โดยตรงกับนโยบายและเป้าหมาย
ข้อเสีย	ไม่ได้พิจารณาถึงเรื่องเวลา	- ไม่ได้พิจารณาตลอดวงจรชีวิต - ไม่ได้พิจารณาถึงปริมาณการใช้ทรัพยากร	วิเคราะห์ผลกระทบระดับโลกภูมิภาคและตลอดวงจรชีวิตได้ยาก	ให้ความสัมพันธ์ที่ไม่สมบูรณ์ในการวัดสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อม
ผู้ใช้, อุตสาหกรรม	- มุ่งเน้นในการปรับปรุง - กลยุทธ์ในการวางแผนระยะยาว - ติดต่อสื่อสาร	เพื่อตรวจสอบการยอมรับของความเสี่ยง	- เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการทางกฎหมาย - ชี้วัดความต้องการในการเปลี่ยนแปลง	- วัดสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อมและการปรับปรุง - ชี้วัดกลยุทธ์โอกาสทางธุรกิจ

ตารางที่ 2.2 เครื่องมือสำหรับการจัดการและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม (ต่อ)

เครื่องมือ	LCA (Life Cycle Assessment)	RA (Risk Assessment)	EIA (Environmental Impact Assessment)	EPE (Environmental Performance Evaluation)
หน่วยงานรัฐ	ใช้สนับสนุนการคิดแบบครบวงจร	เพื่ออธิบายสถานการณ์ที่ยอมรับได้ในการจัดสรรลำดับทรัพยากรให้เป็นไปตามข้อกำหนดกฎหมาย	เป็นเหมือนข้อมูลเข้าที่ใช้ช่วยในการตัดสินใจต่อการยอมรับแผนโครงการ	เพื่อติดตามความก้าวหน้า
หน่วยงานเอกชน	ใช้สนับสนุนการคิดแบบครบวงจร แต่ยังมีข้อสงสัยในการประยุกต์ใช้	เพื่อคัดค้านการยอมรับสถานการณ์ที่เป็นอันตราย	เพื่อคัดค้านการยอมรับต่อแผนโครงการ	ไม่ได้นำไปใช้
เป้าหมายของการวิเคราะห์	ผลิตภัณฑ์หรือการบริการ	สถานการณ์ความเป็นพิษ	แผนสร้างโครงการ โดยทั่วไปเป็นโครงการก่อสร้าง	กิจกรรมต่าง ๆ ขององค์กร
การจำกัดพื้นที่	ไม่จำกัด	จำกัดเขตหรือพื้นที่	จำกัดเขตหรือพื้นที่	จัดกิจกรรมในองค์กร
ด้านการพิจารณาผลกระทบ	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรวมจากการใช้ทรัพยากรและของเสียที่เกิดขึ้น	ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และเป้าหมายทางสิ่งแวดล้อม	ผลกระทบทั้งหมดของโครงการต่อสิ่งแวดล้อมในพื้นที่	ผลกระทบที่สัมพันธ์กับกิจกรรมขององค์กร
การแปลผล	การประเมินผลกระทบ	เทียบกับมาตรฐานที่ยอมรับได้	ต้นทุนและกำไรทางสิ่งแวดล้อม	ระบุการชี้วัดที่ตรงกับปัญหา
การเปรียบเทียบ	หน่วยหน้าที่	แบบที่ต้องการเปรียบเทียบ	โครงการ	หน่วยการทำงาน

2.1.4 ขั้นตอนโดยทั่วไปของการประเมินวัฏจักรชีวิต

1. ระบุปริมาณของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทุกขั้นตอนที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา
2. หาค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ได้จากการระบุปริมาณที่ได้จากขั้นตอนแรก
3. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการหาค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อที่จะประเมินหาโอกาสที่จะปรับปรุงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการประเมินวัฏจักรชีวิต

ข้อมูลที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิตสามารถที่จะนำไปปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้กระบวนการผลิตที่มีคุณภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการตัดสินใจกระบวนการผลิตที่ต่างกัน การประเมินวัฏจักรชีวิตสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกิจกรรมหรืองานวิจัยได้อย่างหลากหลาย โดยกลุ่มของผู้นำไปใช้งานอาจจำแนกได้เป็น 4 กลุ่มหลัก ได้แก่ ภาคอุตสาหกรรม/บริษัทเอกชน ภาครัฐ องค์กรเอกชน (NGOs) และผู้บริโภค

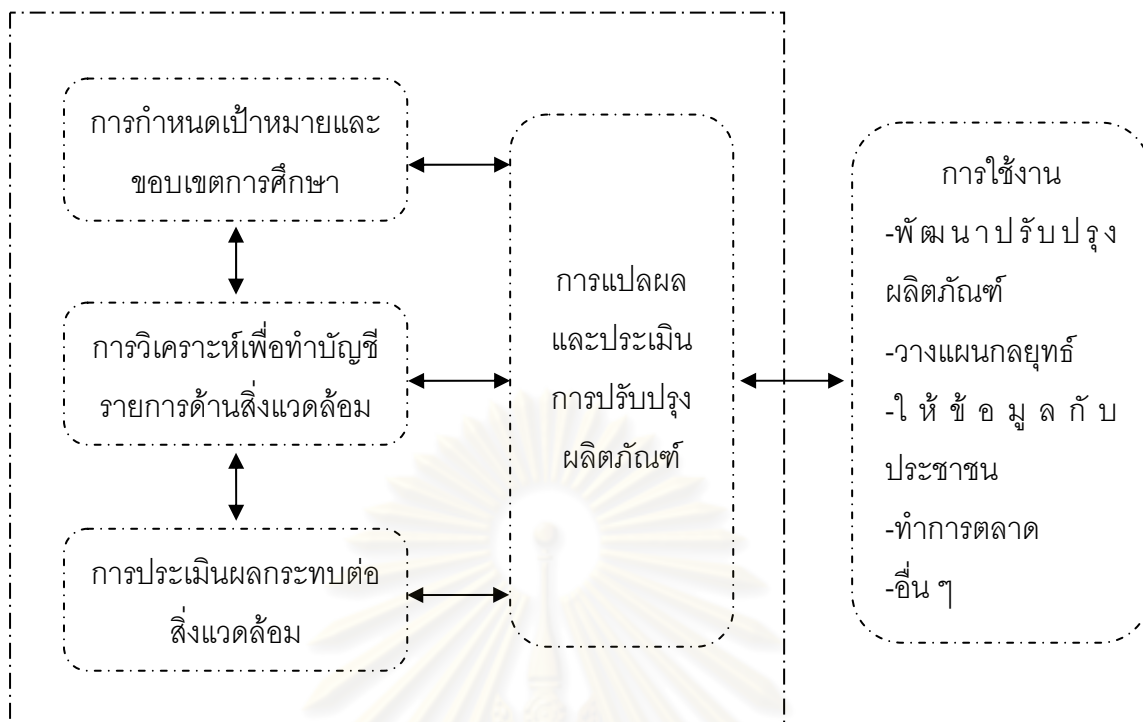
การประเมินวัฏจักรชีวิตถูกใช้เป็นเครื่องมือในการตัดสินใจปรับปรุงกระบวนการผลิตไปสู่กระบวนการที่สร้างภาระต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง

การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือคำนวณตัวบ่งชี้ที่แสดงถึงความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หรือบริการ

2.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

โครงการด้านสิ่งแวดล้อมของสหประชาชาติ (UNEP) ได้มีการแบ่งขั้นตอนการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็น 4 ขั้นตอนหลัก คือดังรูปที่ 2.1

1. กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของผลิตภัณฑ์การศึกษา (Goal and Scope Definition)
2. การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Inventory Analysis : LCI)
3. การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment : LCIA)
4. การแปลผล (Interpretation)



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต

2.2.1 กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของผลิตภัณฑ์การศึกษา (Goal and Scope Definition)

การประเมินวัฏจักรชีวิตต้องทราบว่าต้องการศึกษาอะไรและจะศึกษาอย่างไรโดยผล การประเมินวัฏจักรชีวิตมีประโยชน์มากน้อยเพียงใดนั้นจะขึ้นกับการกำหนดขอบเขตและเป้าหมาย การกำหนดขอบเขตเป้าหมาย เป็นขั้นตอนแรกของการประเมินวัฏจักรชีวิตมีประเด็นหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

- 1) จุดมุ่งหมาย (goal)
- 2) ขอบข่าย (scope)
- 3) ฟังก์ชัน (functional unit)
- 4) คุณภาพข้อมูล (data quality)

1) จุดมุ่งหมาย (Goal)

จุดมุ่งหมายจะต้องระบุผลของการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งกล่าวได้ว่าเป็นหัวใจของการศึกษาและการสรุปผลรายงานเพราะจุดมุ่งหมายจะทำให้สามารถแยกแยะความสำคัญของส่วนต่าง ๆ ในเนื้อหาได้

2) ขอบข่าย (scope)

ขอบข่ายจะช่วยให้รับประกันได้ว่าจะสามารถไปสู่จุดมุ่งหมายได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์

3) ฟังก์ชัน (functional unit)

ฟังก์ชันเป็นพื้นฐานของการประเมินวัฏจักรชีวิตเพราะฟังก์ชันเป็นตัวเปรียบเทียบหรือตัววัดระหว่างผลิตภัณฑ์ หรือ หลายผลิตภัณฑ์ที่รวมเข้าเป็นผลิตภัณฑ์เดียว มีหลายคำจำกัดความดังนี้

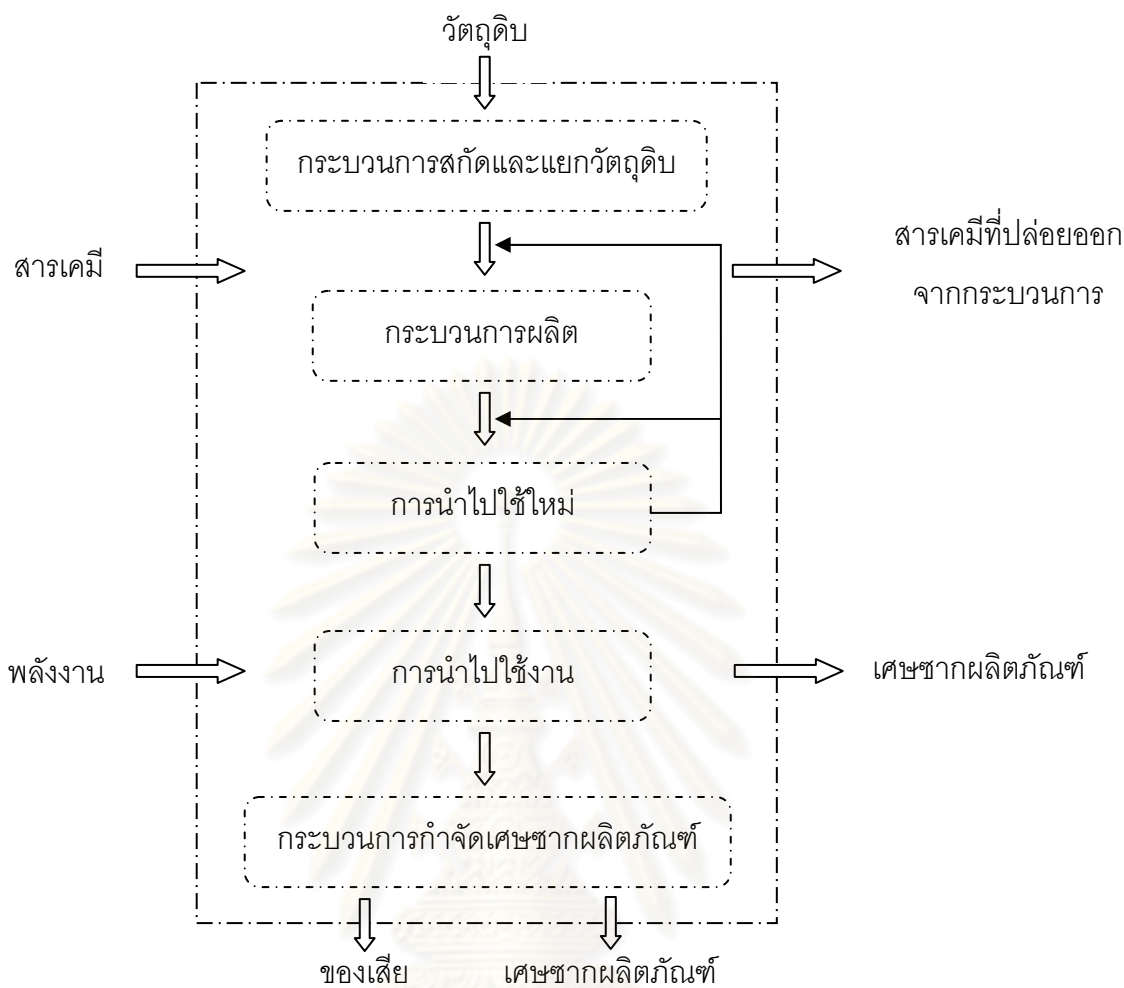
- ฟังก์ชันเป็นมาตรฐานของปริมาณสารขาเข้าและสารขาออก ที่เป็นกลาง ฟังก์ชันของระบบจะให้ความหมายและการวัดที่กระจ่าง ซึ่งผลของการวัดนี้ก็จะใช้เป็นคำตอบต่อไปได้
- การเปรียบเทียบระหว่างระบบจะกระทำได้ด้วยฟังก์ชันที่พื้นฐานเหมือนกัน

4) คุณภาพข้อมูล (data quality)

คุณภาพของข้อมูลที่นำมาใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตจะนำมาซึ่งคุณภาพของข้อสรุปที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิต คุณภาพของข้อมูลสามารถที่จะให้รายละเอียดได้ต่าง ๆ ซึ่งสำคัญที่ว่าข้อมูลนั้นจะให้รายละเอียดและสามารถประเมินได้อย่างมีหลักเกณฑ์

2.2.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Inventory Analysis: LCIA)

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมคือขั้นที่รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิต เพื่อที่จะนำข้อมูลเหล่านี้ไปคำนวณหาปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของระบบที่ได้ศึกษา ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.2 เพื่อที่จะนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้คำนวณค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นต่อไป โดยข้อมูลที่ได้จากขั้นนี้จะต้องประกอบด้วยปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของระบบที่ศึกษา



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างผังแสดงสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการ

- ข้อจำกัดของการแปลผลการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

ผลที่ได้จากการทำการวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อม สามารถที่จะนำไปแปลผลได้ แต่ต้องแปลด้วยความระมัดระวังเพราะว่าผลที่ได้จากการทำการวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมไม่ใช่ข้อมูลด้านปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมแต่เป็นเพียงปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกเท่านั้น ซึ่งข้อมูลนี้ยังไม่สามารถที่จะนำไปเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์อื่นได้ นอกจากนี้ ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมยังขึ้นกับความแน่นอนและความหลากหลายของข้อมูล ดังนั้นในการแปลผลควรรวมการประเมินคุณภาพด้วย

2.2.3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)

โดยผลที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 คือการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (LCI) ที่อยู่ในเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา โดยขั้นนี้จะนำข้อมูลปริมาณสารเข้าและสารออกของระบบที่ศึกษามาแปลงค่าเป็นหน่วยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยขั้นนี้จะทำให้สามารถทราบว่าการที่มีการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสียนั้นมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร โดยขั้นตอนการแปลงค่าปริมาณสารเข้าและสารออกให้เป็นค่าผลกระทบเรียกว่าการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA) เพื่อนำไปแปลผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมต่อไป

2.2.3.1 ขั้นตอนการทำการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

ตามหลักการที่กำหนดในมาตรฐาน 14042 การทำการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นตอนที่ต้องดำเนินการ ได้แก่

- 1) การคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ (Impact categories) ตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบ (Category indicators) และแบบจำลองการกำหนดบทบาท (Characterization models)
- 2) การจำแนกข้อมูลการวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมเข้าอยู่ในกลุ่มผลกระทบ (Classification)
- 3) การกำหนดบทบาท (Characterization)

2. ขั้นตอนที่เป็นทางเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติม ได้แก่

- 1) การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization)
- 2) การจัดกลุ่ม (Grouping)
- 3) การถ่วงน้ำหนัก (Weighting)
- 4) การวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล (Data quality analysis)

2.2.4 แปลผล (Interpretation)

วัตถุประสงค์ของการแปลผลการศึกษา คือ การวิเคราะห์ผลลัพธ์ สรุปผลอธิบายข้อจำกัด การจัดเตรียมข้อเสนอแนะที่มาจากผลลัพธ์ของการทำการประเมินวัฏจักรชีวิตหรือการวิเคราะห์ บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมและทำรายงานสรุปการแปลผลการศึกษาให้สามารถเข้าใจได้ง่าย สมบูรณ์ครบถ้วน และมีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

2.3 การประเมินวัฏจักรชีวิตร่วมกับการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตด้วย โปรแกรม HYSYS

ในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้นจะมีความถูกต้องหรือไม่ขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูลที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งการได้มาซึ่งข้อมูลที่มีคุณภาพนั้นเป็นเรื่องที่ไม่ง่ายนัก โดยเฉพาะข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต ซึ่งสิ่งนี้เป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งของการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งในงานวิจัยของ David [7] จึงได้นำเสนอข้อแก้ไขของข้อจำกัดนี้โดยได้ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตร่วมกับการสร้างแบบจำลองของกระบวนการผลิต ซึ่งให้ได้ข้อมูลเพื่อใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต

2.4 โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับประเมินวัฏจักรชีวิต

การประมวลผลการประเมินวัฏจักรชีวิตต้องใช้ข้อมูลและตัวเลขมาก จึงต้องใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเข้าช่วยในการทำงานเพราะสามารถจัดการกับข้อมูลได้รวดเร็ว สะดวกสบาย และมีคุณภาพมากขึ้น ทำให้มีองค์กรและบริษัทต่างๆ พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการประเมินวงจรชีวิตที่มีข้อมูลครบถ้วนสมบูรณ์ ซึ่งประกอบไปด้วยการวิเคราะห์บัญชีรายการ การประเมินค่าผลกระทบ และการแปลผลข้อมูล นอกจากนี้ยังสามารถใช้ได้กับกระบวนการผลิตที่มีจำนวนขั้นตอนมาก ๆ ได้ ประเด็นที่สำคัญในการเลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูปคือ

- สฐานข้อมูล
- การคำนวณบัญชีรายการ
- การประเมินผลกระทบ
- การแปลผลข้อมูล

2.4.1 โปรแกรมสำเร็จรูปซิมาโปร (SimaPro)

โปรแกรมสำเร็จรูปซิมาโปร (SimaPro) เป็นโปรแกรมที่ผลิตโดย Mr. Mark Goedkoop ของบริษัท Pré Consultants สร้างขึ้นในปี ค.ศ.1990 ภายใต้โครงการของรัฐบาลเนเธอร์แลนด์ Pré Consultants ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมอย่างต่อเนื่องโดยมีรัฐบาลเนเธอร์แลนด์สนับสนุน ซึ่งมีผู้ใช้กว่าร้อยรายใน 47 ประเทศทั่วโลก [8]

ภายในโปรแกรมสำเร็จรูปซิมาโปร (SimaPro) จะมีวิธีหลายวิธีที่ใช้คำนวณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเพื่อให้ได้ค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมออกมา

2.4.1.1 โครงสร้างของวิธีการคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่บรรจุในโปรแกรมสำเร็จรูปซิมาโปร (SimaPro)

โดยโครงสร้างพื้นฐานของวิธีที่ใช้คำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่อยู่ในโปรแกรมสำเร็จรูปซิมาโปร (SimaPro) ประกอบด้วย [9] :

1. การกำหนดบทบาท (Characterization)
2. การประเมินความเสียหาย (Damage assessment)
3. การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization)
4. การถ่วงน้ำหนัก (Weighting)

โดยสามขั้นหลังเป็นขั้นตอนทางเลือกของมาตรฐาน ISO ซึ่งหมายความว่าไม่จำเป็นต้องไปใช้ทุกวิธีคำนวณผลกระทบจะต้องมีสามขั้นหลังนี้

การกำหนดบทบาท (Characterization)

ปริมาณสารที่ได้จากขั้นที่ 2 ของการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นจะเอามาคูณกับ ค่ากำหนดบทบาท (Characterization factor) จะทำให้ได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างสารที่ทำการศึกษา เทียบเท่ากับสารที่เป็นตัวอ้างอิงกับผลกระทบประเภทนั้นๆ ตัวอย่างเช่น ค่ากำหนดบทบาท (Characterization factor) ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มีค่าผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เท่ากับ 1 และ มีเทน (CH₄) มีค่ากำหนดบทบาท (Characterization factor) เท่ากับ 21 จะหมายความว่า ในการปล่อย มีเทน 1 กิโลกรัม จะมีค่าผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เทียบเท่ากับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 21 กิโลกรัม โดย

ทุกๆ ค่าในกลุ่มผลกระทบประเภทนี้จะทำให้กำหนดบทบาท ในผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ดังสมการที่ (1)

$$EP_j = \sum(Q_i \times EF_{ij}) \quad \text{-----}(1)$$

เมื่อ EP_j (Environmental impact potential) คือค่าศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับผลกระทบประเภท j ใดๆ (kg substance equivalent)

Q_i (Quality of Substance) คือ ปริมาณมลภาวะสาร i ที่ปล่อยออกมา

EF_{ij} (Equivalency factor) คือ ค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ

การประเมินความเสียหาย (Damage assessment)

การประเมินความเสียหาย (Damage assessment) คือ ขั้นตอนใหม่ของการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยวิธีที่มีขั้นตอนการประเมินความเสียหาย (Damage assessment) ได้แก่ ดัชนีชี้วัดเชิงนิเวศน์ (Eco-indicator 99) ตัวอย่างเช่น วิธีคำนวณค่าผลกระทบของดัชนีชี้วัดเชิงนิเวศน์ (Eco-indicator 99) นั้นทุก ๆ ประเภทของผลกระทบจะถูกนำมาคำนวณในขั้นตอนการประเมินความเสียหาย (Damage assessment) เพื่อที่จะทำให้ทราบว่าผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ต่อระบบนิเวศน์ และต่อทรัพยากรเป็นอย่างไร

การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization)

หลายๆ วิธีในการคำนวณค่าผลกระทบ ผลที่ได้จากการคำนวณผลกระทบมักจะนำมาเทียบกับค่าผลกระทบอ้างอิงคือนำค่าผลกระทบอ้างอิงมาหารค่าผลกระทบที่เราทำการศึกษา ซึ่งการหาขนาดของผลกระทบ (Normalization) จะทำให้ได้ค่าผลกระทบแบบไร้หน่วย ค่าที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง มักจะเป็นค่าผลกระทบเฉลี่ยต่อคนในระยะเวลา 1 ปีของประเทศนั้นๆ โดยถ้าทราบว่าในระยะเวลา 1 ปี ในประเทศยุโรปมีปริมาณสารพิษที่ปล่อยออกมาเท่าไรจากนั้นนำมาคำนวณผลกระทบแล้วหารด้วยปริมาณประชากรก็จะได้ขนาดของผลกระทบแต่ละกลุ่ม (Normalization factor) เพื่อใช้เป็นตัวอ้างอิง โดยหลังจากหาขนาดของผลกระทบ (Normalization) แล้วจะทำให้ค่าผลกระทบทุกประเภทผลกระทบมีหน่วยของผลกระทบที่เหมือนกัน ซึ่งจะทำให้ง่ายในการเปรียบเทียบกันได้ โดยการหาขนาดของผลกระทบ (Normalization) สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้

ทั้งในขั้นการกำหนดบทบาท (Characterization) และการประเมินความเสียหาย (Damage assessment) แสดงดังสมการที่ (2)

$$NP_{j(\text{product})} = EP_j / (T \times ER_j) \quad \text{-----}(2)$$

เมื่อ $NP_{j(\text{product})}$ (Normalized Environmental Impact Potential) คือ ค่าปกติทางศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ของผลิตภัณฑ์ใดๆ
 T (Life Time of Product) คือ อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์
 ER_j (Normalization factor) คือ ค่าอ้างอิงปกติของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ที่เกิดจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปี (kg/substance equivalent/person/year)

การถ่วงน้ำหนัก (Weighting)

บางวิธีการคำนวณผลกระทบจะมีการให้น้ำหนักของแต่ละประเภทผลกระทบแต่ละประเภทไม่เท่ากัน หมายความว่าผลกระทบแต่ละผลกระทบจะต้องนำมาให้น้ำหนัก โดยนำค่าถ่วงน้ำหนัก (Weighting factor) มาคูณ แล้วนำค่าผลกระทบมารวมเป็นค่าคะแนนเดียว (Single score) มีหน่วยเป็น Pt (Person for target year : Pt) ซึ่งหมายถึง การแสดงจำนวนเท่าของค่ากลางซึ่งเกิดจากกระบวนการหาขนาดของผลกระทบที่ต้องการจะรวมค่าในกลุ่มผลกระทบต่างๆ ที่มีหน่วยต่างกัน โดยการหาด้วยค่ากลาง หากต้องการทราบว่ากลุ่มใด ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดหรือกลุ่มใดมีความสำคัญที่สุด การให้น้ำหนักสามารถนำมาประยุกต์ใช้ เมื่อมีการจัดกลุ่มและเทียบหน่วยหรือไม่มีการจัดกลุ่มและเทียบหน่วยก็ได้ ซึ่งแสดงดังสมการที่ (3)

$$WP_j = WF_j \times NP_j \quad \text{-----}(3)$$

เมื่อ WP_j (Weighted Environmental Impact Potential) คือ ค่าศักยภาพทางผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ หลังการถ่วงน้ำหนักความสำคัญแล้ว (person for target : Pt)
 WF_j (Weighting Factor) คือค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้

โดยค่าที่ใช้ในการประเมินความเสียหาย (Damage factor) ค่าที่ใช้หาขนาดของผลกระทบ (Normalization factor) และค่าถ่วงน้ำหนัก (Weighting Factor) แสดงดังตารางที่ ข1 - ข4 ในภาคผนวก ข

โปรแกรมสำเร็จรูปซิมาโปร (SimaPro) เป็นโปรแกรมที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม เพราะมีการวิเคราะห์ผลตามองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization : ISO) มีการเปรียบเทียบผลของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเปรียบเทียบ มีฐานข้อมูล มีการแสดงผลในรูปของตารางและรูปภาพ มีความยืดหยุ่นในการเพิ่มข้อมูลใหม่และสามารถปรับปรุงฐานข้อมูลได้ แต่มีโปรแกรมสำเร็จรูปหลายโปรแกรมมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับโปรแกรมสำเร็จรูปซิมาโปร (SimaPro) ดังนั้นการเลือกใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูปก็ขึ้นอยู่กับราคาลิขสิทธิ์ของโปรแกรมและการยอมรับของผู้ใช้โปรแกรม เมื่อพิจารณาการยอมรับของผู้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปโดยเปรียบเทียบจากการขายลิขสิทธิ์โปรแกรมพบว่า โปรแกรมสำเร็จรูปซิมาโปร (SimaPro) มีราคาเหมาะสมและได้รับการยอมรับจากผู้ใช้งาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้โปรแกรมสำเร็จรูปซิมาโปร (SimaPro) ในการประเมินวัฏจักรชีวิต

2.4.2 การเลือกดัชนีวัดผลกระทบ

ในโปรแกรมสำเร็จรูปซิมาโปร (SimaPro) มีดัชนีตัวชี้วัดหลายดัชนี ดังตาราง 2.3 ซึ่งแต่ละวิธีนั้นจะพิจารณากลุ่มผลกระทบที่ต่างกัน ดังนั้นการเลือกผลกระทบจะต้องเลือกที่ครอบคลุมงานวิจัยมากที่สุดโดยพิจารณาจาก

1. การคัดเลือกกลุ่มผลกระทบที่สนใจในการศึกษา
2. เลือกวิธีคำนวณผลกระทบที่ตรงกับผลกระทบที่จะศึกษา
3. ตรวจสอบว่าสารทุกตัวที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมถูกอธิบายเชิงข้อมูลไว้ในวิธีที่เลือกหรือไม่

งานวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้มุ่งเน้นจะศึกษาผลกระทบเพียงด้านใดด้านหนึ่งเท่านั้นเพราะว่าก๊าซพิษที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ นั้นไม่ได้ส่งผลกระทบเพียงด้านเดียว จึงได้เลือกผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งสามด้านคือ ต่อสุขภาพมนุษย์ ต่อระบบนิเวศน์ และต่อการลดลงของทรัพยากร ซึ่งดัชนีวัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ดัชนีชี้วัดเชิงนิเวศน์ (Eco-indicator 99)

ตารางที่ 2.3 กลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ศึกษาแต่ละดัชนีชี้วัด

ชนิดของดัชนี	ผลกระทบที่ศึกษา
Centre of Environmental Science at Leiden University(CML)	ด้านสุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศน์
Eco-indicator-99	ด้านสุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศน์ และการใช้ทรัพยากร
Ecological Scarcity 2006	ระบบนิเวศน์และการใช้ทรัพยากร
Environmental Design of Industrial Products (EDIP 2003)	ด้านสุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศน์ และการใช้ทรัพยากร
Environmental Product Declaration (EPD 2007)	ระบบนิเวศน์และการใช้ทรัพยากร
Environmental Sample Processor (ESP 200)	ด้านสุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศน์ และการใช้ทรัพยากร
IMPACT 2002+	ด้านสุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศน์ และการใช้ทรัพยากร
Building for Environmental and Economic Sustainability(BEES)	ด้านสุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศน์ และการใช้ทรัพยากร
Tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental impacts (TRACI 2)	ด้านสุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศน์ และการใช้ทรัพยากร
Cumulative Energy Demand	การใช้ทรัพยากรพลังงาน
Ecological footprint	ระบบนิเวศน์
Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2007)	ภาวะโลกร้อน

2.4.3 ประเมินผลกระทบโดยดัชนีชี้วัดเชิงนิเวศน์ (Eco-indicator 99)

2.4.3.1 วิธีการประเมินค่าผลกระทบโดยดัชนีชี้วัดเชิงนิเวศน์ (Eco-indicator 99)

ในการประเมินค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันมีหลายดัชนี แต่ดัชนีชี้วัดเชิงนิเวศน์ (Eco-indicator) เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะมีระบบการให้น้ำหนักที่สนับสนุนข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อมของวัตถุประสงค์และผลิตภัณฑ์ ซึ่งขั้นตอนการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของดัชนีชี้วัดเชิงนิเวศน์ (Eco-indicator 99) มีดังนี้ [10]

- วัตถุประสงค์ พลังงานและของเสียจะถูกแจกแจงเป็นประเภทของผลกระทบทั้ง 11 ประเภท
- ผลกระทบทั้ง 11 ประเภทจะถูกจัดกลุ่มออกเป็น 3 กลุ่ม ตามลักษณะของกลุ่มเป้าหมาย
- การถ่วงน้ำหนักหรือความสำคัญและรวมคะแนนเป็นคะแนนเดียว

กลุ่มเป้าหมายและประเภทของผลกระทบมีดังนี้

สุขภาพมนุษย์(Human Health) ประกอบด้วย

1. สารก่อมะเร็ง (Carcinogenic)
2. ผลกระทบด้านการหายใจจากสารอินทรีย์ (Respiration of organic substance)
3. ผลกระทบด้านการหายใจจากสารอนินทรีย์ (Respiration of inorganic substance)
4. สารแผ่รังสี (Radiation)
5. ภาวะโลกร้อน (Climate change)
6. การลดลงของโอโซน (Ozone depletion)

ระบบนิเวศน์(Ecosystem) ประกอบด้วย

7. ภาวะความเป็นกรด(Acidification)/ภาวะยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication)
8. ความเป็นพิษ (Ecotoxicity)
9. การใช้พื้นที่ (Land use)

การลดลงของทรัพยากร (Resource depletion) ประกอบด้วย

10. การใช้สินแร่ (Mineral)

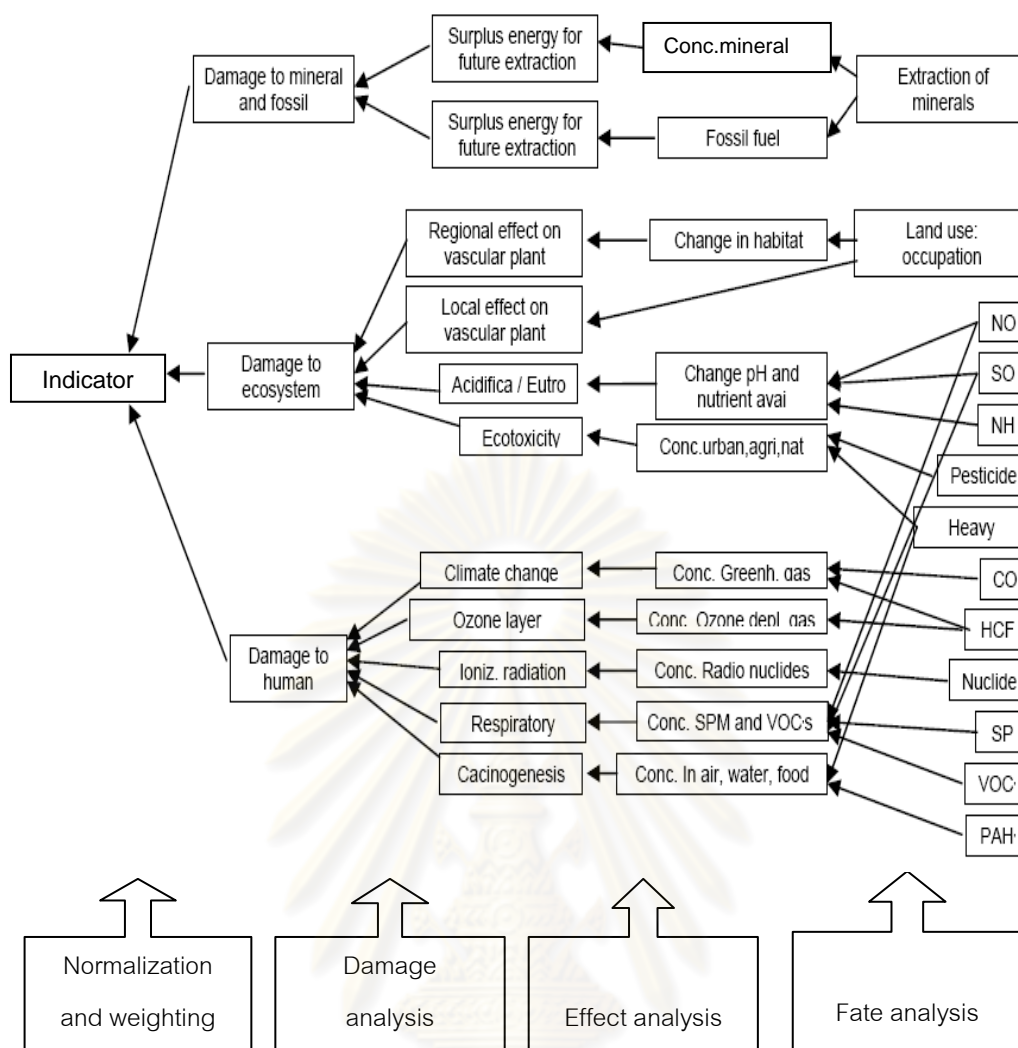
11. การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil fuel)

ตารางที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มเป้าหมายที่ถูกทำลาย ประเภทของผลกระทบและสารที่เป็นปัจจัย
เป็นปัจจัยของผลกระทบ

กลุ่มเป้าหมายของ การทำลาย (หน่วย)	ประเภทของผลกระทบ	สารที่เป็นปัจจัย ของผลกระทบ
ผลกระทบต่อสุขภาพ มนุษย์ (Human Health) หน่วยคือ Disability Adjusted Life Years (DALYs)	สารก่อมะเร็ง ผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร สารแผล่งสี ภาวะโลกร การลดลงของชั้นโอโซน	arsenic, cadmium, nickel methane, benzene CO, SO _x , NH ₃ Nuclear energy production CO ₂ , methane, CFCs CFCs, HFCs
ผลกระทบต่อลดลง ของระบบนิเวศน์ (Ecosystem Quality) หน่วยคือ Potentially Disappeared Fraction : (PDF)	ภาวะความเป็นกรด/ภาวะยูโทรฟิเคชัน ความเป็นพิษ การใช้พื้นที่	NO _x , SO _x , NH ₃ Heavy metal, benzene Grassland, wood
ผลกระทบต่อลดลง ของทรัพยากรธรรมชาติ (Resource Depletion) หน่วยคือ MJ surplus Energy	การใช้สินแร่ การใช้เชื้อเพลิง	copper, nickel, zinc crude oil, coal

ตารางที่ 2.5 อธิบายลักษณะผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของแต่ละประเภทของผลกระทบทั้ง 11 ผลกระทบ

ประเภทของกลุ่มของผลกระทบ	ลักษณะของผลกระทบ
ภาวะความเป็นกรด (Acidification)	ป่าและทะเลสาบ ถูกทำลายโดยฝนกรด เนื่องจากการปล่อยสารที่มีความเป็นกรดสู่บรรยากาศ
ภาวะยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication)	ภาวะที่น้ำขาดออกซิเจนเนื่องจากพีชน้ำเจริญเติบโตมากเกินไป เนื่องจากแหล่งน้ำ และดินมีปริมาณฟอสฟอรัสและไนโตรเจนมากเกินไป
การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change)	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของโลกหรืออุณหภูมิของโลกสูงขึ้น เนื่องจากการปล่อยก๊าซพวงคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน เป็นต้น สู่บรรยากาศ
การลดลงของทรัพยากร (Resource depletion)	การลดลงของทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดเนื่องจากการสกัดหรือการใช้แร่ธาตุหรือพวกเชื้อเพลิง
ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicity)	สารพิษที่มีผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ เนื่องจากการปล่อยเบนซีน ตะกั่ว เป็นต้น สู่ดิน น้ำและอากาศ
การใช้พื้นที่ (Land use)	การลดลงของพื้นที่ รวมถึงพื้นที่ป่า ด้วยสาเหตุเนื่องจากการใช้พื้นที่
การลดลงของโอโซน (Ozone depletion)	การลดลงของโอโซนโดยสาเหตุเนื่องจากการปล่อยสาร CFC เป็นต้น
สารก่อมะเร็ง (Carcinogenic)	ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์เนื่องจากการปล่อยสารที่ก่อมะเร็ง เช่น อะคริโลไนไตรล์ คลอโรฟอร์ม เป็นต้น
ผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร (Respiration of organic substance)	ผลกระทบต่อมนุษย์เนื่องจากการปล่อยสารที่ส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ เนื่องจากการปล่อยสารอินทรีย์ ได้แก่ บิวเทน อีเทน เดกเทน เป็นต้น
ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiration of inorganic substance)	ผลกระทบต่อมนุษย์เนื่องจากการปล่อยสารที่ส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจเนื่องจากการปล่อยอนินทรีย์สารสู่บรรยากาศ ได้แก่ แอมโมเนียมี ซัลเฟต เป็นต้น
สารแผ่รังสี (Radiation)	ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์เนื่องจากการแผ่รังสี เช่น โคบอลต์ ยูเรเนียม เป็นต้น



รูปที่ 2.3 แสดงแนวคิดในการจัดการการประเมินวัฏจักรชีวิตโดยใช้ดัชนีชี้วัดเชิงนิเวศน์ [10]

2.4.3.2 การเปลี่ยนค่าที่ได้จากขั้นการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมให้กลายเป็นค่าของผลกระทบของแต่ละกลุ่มผลกระทบโดยดัชนีชี้วัดเชิงนิเวศน์ (Eco-indicator 99)

ขั้นตอนการเปลี่ยนจากค่าที่ได้จากขั้นการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมให้กลายเป็นค่าศักยภาพผลกระทบของแต่ละกลุ่มผลกระทบของกลุ่มผลกระทบหลักสามกลุ่มผลกระทบ คือ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ต่อการลดลงของระบบนิเวศน์ และต่อการลดลงของทรัพยากร (ดังรูปที่ 2.3)

- **ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์** จะแสดงในหน่วยของ DALYs ซึ่งเป็นดัชนีที่กำหนดโดย WHO และ World Bank

1. Fate Analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของสารที่ปล่อยออกจากระบบผลิตภัณฑ์ต่อระยะเวลาและพื้นที่กับความเข้มข้น
2. Effect Analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารกับประเภทของผลกระทบต่อน้ำหนักของสารที่ปล่อยออกจากระบบของผลิตภัณฑ์
3. Damage Analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของขนาดของผลกระทบต่อน้ำหนักของสารที่ปล่อยออกจากระบบกับจำนวนปีที่เจ็บป่วย (DALY/kg)

- **ผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยา** แสดงในหน่วยสัดส่วนการสูญหายของความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตต่อพื้นที่เนื่องจากผลกระทบหรือภาระทางสิ่งแวดล้อม แสดงในหน่วยของ PDF*m² year (PDF: Potentially Disappeared Fraction)

1. Fate Analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของสารที่ปล่อยออกจากระบบผลิตภัณฑ์ต่อระยะเวลาและพื้นที่กับความเข้มข้น
2. Effect Analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารกับหน่วยความเสียหาย
3. Damage Analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของความเสียหายกับการสูญหาย (PDF*m² year)

- **ผลของการลดลงของทรัพยากร** แสดงเป็นหน่วยปริมาณของพลังงานที่ใช้ในการสกัดแร่หรือเชื้อเพลิง (MJ surplus energy)

1. Resource Analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของการสกัดทรัพยากรอันนำไปสู่การลดลงของทรัพยากร
2. Damage Analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของการลดลงของทรัพยากรกับความพยายามที่เพิ่มขึ้นในการสกัดทรัพยากรในอนาคต

ผลจากการทำ Fate Analysis, Effect Analysis และ Damage Analysis เหมือนกับผลจากการจำแนกประเภทและการกำหนดบทบาท คือการแจกแจงสารเข้าสู่ประเภทของผลกระทบและทำการคำนวณค่าของผลกระทบแต่ละประเภท จากนั้นจะทำการหาขนาดของผลกระทบแต่ละกลุ่มเป้าหมายโดยใช้ค่าการจัดกลุ่มและเทียบหน่วย โดยการให้ความสำคัญของแต่ละกลุ่มเป้าหมายจะใช้ค่าถ่วงน้ำหนักของบริษัท Pre' Consultant

2.5 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon footprint) [11]

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon footprint) คือ การวัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases, GHGs) จากกระบวนการผลิตสินค้าตลอดวัฏจักรชีวิต (Product Life Cycle) โดยเริ่มตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบ นำไปแปรรูป ผลิต จัดจำหน่าย การใช้งานและการจัดการหลังจากผลิตภัณฑ์นั้น ๆ หมดสภาพการใช้งานแล้ว โดยแสดงข้อมูลไว้บนฉลากคาร์บอน (Carbon Labeling) ติดฉลากบนสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อเป็นข้อมูลให้ผู้บริโภคได้ทราบว่า ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมาปริมาณเท่าใด คาร์บอนฟุตพริ้นท์นี้ถูกแนะนำขึ้นครั้งแรกในประเทศอังกฤษ ในช่วงเดือนมีนาคม 2550 ภายใต้การกำกับดูแลของ Carbon Trust

2.5.1 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ได้จากการวัดหรือการคำนวณหาปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นทั้งหมดในหน่วยกิโลกรัมหรือตัน ของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kgCO₂equivalent หรือ tonCO₂equivalent) การวัดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จะพิจารณาจากกิจกรรม 2 ส่วนหลักคือ

1. การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางตรง (Primary Footprint) เป็นการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตสินค้านั้น ๆ โดยตรง เช่น การใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลในกระบวนการผลิตและการขนส่งทั้งโดยรถบรรทุก ทางเรือ และทางอากาศ

2. การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อม (Secondary Footprint) เป็นการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้สินค้าตลอดจนการจัดการซากสินค้าหลังการใช้งาน ซึ่งสามารถคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เป็นไปตามสูตรการคำนวณดังนี้[12]

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์} &= \text{ปริมาณ (น้ำหนัก หรือ ปริมาตร หรือ กิโลวัตต์ชั่วโมง} \\ &\text{หรือ กิโลเมตร)} \times \text{ค่าศักยภาพการก่อให้เกิดการ} \\ &\text{เปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ} \\ &= \text{kgCO}_2\text{e} \end{aligned}$$

โดยค่าศักยภาพการก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศและค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (emission factor) ที่ใช้ในการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์แสดงดังตารางที่

2.6 และ 2.7

ตารางที่ 2.6 ค่าศักยภาพการก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ [11]

ก๊าซเรือนกระจก	ค่าศักยภาพการก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในเวลา 100 ปี (IPCC, 2007)
Carbon Dioxide(CO ₂)	1
Methane(CH ₄)	25
Nitrous Oxide(N ₂ O)	298
Hydrofluorocarbons(HFCs)	124 - 14,800
Perfluorocarbons (PFCs)	7,390 – 12,200
Sulphur Hexafluoride(SF ₆)	22,800

ตารางที่ 2.7 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (emission factor) ที่ใช้ในการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ [13]

รายละเอียด	ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยสู่บรรยากาศ
Use of Electricity	0.5613 kgCO ₂ e/kWhr
Heating oil	2.6 kgCO ₂ e/ litres
LPG	1.5 kgCO ₂ e/ litres
Burning of wood	0.132 kgCO ₂ e/kg
Water vapor	0.23 kgCO ₂ e/kg
Travelling by car	0.2 kgCO ₂ e/km
Using Motorbike- up to 125 cc	0.084 kgCO ₂ e/km
Using Motorbike- 125 to 500 cc	0.108 kgCO ₂ e/km
Travelling by bus by 1 person	1.075 kgCO ₂ e/km
Travelling by train by 1 person	0.060 kgCO ₂ e/km

2.5.2 ประโยชน์ของคาร์บอนฟุตพริ้น

คาร์บอนฟุตพริ้นเป็นข้อมูลที่น่ามาใช้ในการสื่อสารข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมระหว่างองค์กรทางธุรกิจ หรือเป็นการสื่อสารไปยังผู้บริโภค โดยมีการแสดงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นลงบนฉลากของผลิตภัณฑ์ของตน ข้อมูลนี้จึงถือว่าจำเป็นอย่างยิ่งต่อการขายสินค้าแก่กลุ่มผู้ซื้อที่มีจิตสำนึกสูงต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นทางเลือกให้ผู้บริโภคตรวจสอบข้อมูลว่าผู้ผลิตได้ใส่ใจในภาคการผลิตต่อการรักษาสิ่งแวดล้อมหรือปัญหาโลกร้อนมากน้อยเพียงใด ซึ่งเป็นส่วนช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และยังช่วยลดทุนการผลิตด้านพลังงาน นอกจากนี้หากภาคธุรกิจที่มีการแสดงข้อมูลของคาร์บอนฟุตพริ้นก็จะส่งผลดีต่อภาพลักษณ์ขององค์กร ช่วยสร้างความโดดเด่นให้แก่แบรนด์สินค้าได้เป็นอย่างดี ตลอดจนทำให้ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายมากขึ้น

2.6 โปรแกรมไฮซิส (HYSYS)

โปรแกรมไฮซิส (HYSYS) เป็นซอฟต์แวร์ที่มีประสิทธิภาพที่สร้างขึ้นโดย Hyprotech เพื่อจำลองกระบวนการผลิต โดยข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในโปรแกรม ประกอบด้วย องค์ประกอบทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตไม่ว่าจะเป็น สารตั้งต้น ผลิตภัณฑ์หลัก ผลิตภัณฑ์พลอยได้และสารที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิต คุณสมบัติที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาหรือใช้ในกระบวนการผลิต ความดัน อัตราการไหลของสาร โดยในการสร้างแบบจำลองนั้น ต้องเลือกอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับการผลิต ซึ่งโปรแกรมไฮซิส (HYSYS) สามารถดำเนินการภายใต้สภาวะคงตัวและสภาวะที่ขึ้นกับเวลา นอกจากนี้ยังเป็นเครื่องมือสำหรับการประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและสมดุลของเหลว – ไอ น้ำ ความร้อนและการดูลมวลสาร และจำลองรูปแบบต่างๆของอุปกรณ์ทางวิศวกรรมเคมี [14]

2.7 ข้อมูลทั่วไปของถ่านกัมมันต์

2.7.1 ข้อมูลทั่วไปของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ คือ ถ่านที่ได้จากการนำไปผ่านกระบวนการกระตุ้นเพื่อให้ได้ถ่านซึ่งมีรูพรุนเป็นจำนวนมากส่งผลให้มีพื้นที่ผิวภายในเพิ่มมากขึ้น ถ่านนำผงถ่านกัมมันต์มาตัดตามขวาง จะพบว่ามีการสร้างคล้ายรังผึ้ง ถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยคาร์บอนประมาณ 87 ถึง 97 เปอร์เซ็นต์ แต่ก็มีธาตุอื่น ๆ เป็นองค์ประกอบด้วย เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน กำมะถัน (ซัลเฟอร์) และไนโตรเจน ซึ่งอาจรวมถึงสารต่างๆ ที่มาจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตหรือสร้างขึ้นในระหว่างการผลิตด้วย [15]

ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้ทั้งจากก๊าซและของเหลว ซึ่งถ่านกัมมันต์ใช้อย่างกว้างขวางในการดูดซับมลพิษจากก๊าซและของเหลว การนำตัวทำละลายกลับไปใช้ใหม่และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวรองรับสารเร่งปฏิกิริยา ในอุตสาหกรรมนิวเคลียร์นั้น ถ่านกัมมันต์ถูกนำไปใช้สำหรับดูดซับไอไอโอดีนและก๊าซเฉื่อยจากก๊าซที่ปล่อยออกมา สิ่งที่น่าสนใจคือถ่านกัมมันต์นั้น มีราคาถูก สามารถใช้เป็นสารตั้งต้นได้ และปริมาณความต้องการถ่านกัมมันต์ [2] ในปี 2005 เท่ากับ 970,000 ตัน โดยแบ่งไปตามบริเวณต่าง ๆ ดังนี้ ในเอเชีย/แปซิฟิก 52 เปอร์เซ็นต์ อเมริกาเหนือ 26 เปอร์เซ็นต์ ยุโรปตะวันตก 13 เปอร์เซ็นต์ และ อื่น ๆ อีก 9 เปอร์เซ็นต์ จากแนวโน้มคาดว่าปริมาณความต้องการถ่านกัมมันต์จะเพิ่มขึ้น 5 เปอร์เซ็นต์ต่อปีจนถึงปี 2009 และในปี 2010 จะเพิ่มเป็น 1.2 ล้านตัน (Freedonia Group, 2006).

ถ่านกัมมันต์ แบ่งตามลักษณะรูปร่างได้ 2 ชนิด คือ ชนิดผงละเอียด ซึ่งสามารถกระจายตัวในน้ำได้ดี แต่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และ ชนิดเม็ดหรือเกล็ด ซึ่งจะสามารถนำกลับมาใช้ในครั้งต่อไปได้ โดยถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด สามารถนำมาใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกันไปในหลายอุตสาหกรรม ซึ่งจำแนกได้ดังนี้

- ชนิดที่เป็นผงละเอียด นำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับสารละลายหรือของเหลว ได้แก่
 - อุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล ใช้ในการฟอกสีและทำให้น้ำตาลบริสุทธิ์ขึ้น
 - อุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันพืชสำหรับการบริโภค ใช้ในการฟอกสีและทำให้รสดีขึ้น
 - อุตสาหกรรมอาหาร ใช้ในการฟอกสีและดูดกลิ่น
 - อุตสาหกรรมเครื่องดื่มและแอลกอฮอล์ เช่น วิสกี้ ไวน์ น้ำอัดลม ใช้ในการดูดกลิ่นและทำให้รสชาติดีขึ้น
 - อุตสาหกรรมทำน้ำให้บริสุทธิ์ เช่น น้ำดื่ม น้ำประปา
- ชนิดที่เป็นเม็ดหรือเกล็ด ใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการทำก๊าซให้บริสุทธิ์ หรือการทำให้ตัวทำละลายที่ใช้แล้วบริสุทธิ์ขึ้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ได้แก่
 - อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศ ใช้ในการดูดก๊าซต่างๆ ที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย
 - อุตสาหกรรมการทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ ทั้งแบบที่ใช้กันโดยทั่วไปและในด้านการทหารเพื่อการดูดซับก๊าซพิษและไอของสาร

- อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้อง และจะคายออกที่ความดันไอระเหยต่ำ ๆ เช่น อุตสาหกรรมยาง อุตสาหกรรมใยสังเคราะห์ อุตสาหกรรมการพิมพ์ เป็นต้น
- อุตสาหกรรมการผลิตบุหรือบางยี่ห้อ เพื่อกรองก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และน้ำมันดิน โดยนำถ่านกัมมันต์มาใช้ที่กั้นกรอง

จากที่กล่าวในข้างต้นว่าถ่านกัมมันต์สามารถนำไปใช้ได้ ในหลายอุตสาหกรรมทั้งนี้ ตัวอย่างของกลุ่มสินค้าที่มีการใช้ถ่านกัมมันต์เป็นองค์ประกอบหนึ่งของกระบวนการผลิต ซึ่งมีแนวโน้มว่าจะมีอัตราการขยายตัวสูงขึ้น ส่งผลให้มีความต้องการถ่านกัมมันต์ขยายตัวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เช่น

- กลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องกรองอากาศหรือหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ เนื่องจากสภาวะแวดล้อมของประเทศไทยโดยเฉพาะในเขตชุมชนเมือง ประสบกับปัญหามลภาวะเป็นพิษทำให้มีความต้องการเครื่องกรองอากาศและหน้ากากป้องกันก๊าซพิษกันมากขึ้น จึงส่งผลต่อเนื่องทำให้มีปริมาณความต้องการถ่านกัมมันต์สูงขึ้นเช่นกัน โดยใช้เป็นตัวดูดซับก๊าซพิษออกไปจากบรรยากาศ
- กลุ่มอุตสาหกรรมน้ำดื่มและน้ำประปา เป็นกลุ่มตลาดที่มีขนาดใหญ่และมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากเป็นสินค้าที่จำเป็นสำหรับการดำเนินชีวิตประจำวันของผู้คน ขณะเดียวกันน้ำบริสุทธิ์ตามแหล่งน้ำธรรมชาติก็หายากขึ้น ทั้งนี้ถ่านกัมมันต์เป็นปัจจัยสำคัญในการช่วยให้น้ำมีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยการดูดซับสิ่งเจือปนต่างๆ ออกไป
- กลุ่มโรงงานชุบโลหะ ซึ่งจะมีการระบายน้ำที่ปนเปื้อนไปด้วยโลหะหนักประเภทต่างๆ เช่น โครเมียม นิกเกิล ทองแดง เป็นต้น ออกมาสู่แหล่งน้ำต่างๆ แต่เนื่องด้วยข้อบังคับกฎหมายว่าด้วยเรื่องสิ่งแวดล้อม ทำให้โรงงานชุบโลหะต้องทำการบำบัดน้ำเสียเหล่านั้นก่อนการระบายสู่แหล่งน้ำ เป็นเหตุให้มีความต้องการถ่านกัมมันต์ในกระบวนการบำบัดดังกล่าวในการเป็นตัวดูดซับโลหะหนักที่เจือปนอยู่ในน้ำออกมา
- กลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร ส่วนใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป มักมีกลิ่นของวัตถุดิบอาหารที่เหม็นคาว โดยบางครั้งยังเป็นกลิ่นโชยออกไปนอกพื้นที่โรงงาน ส่งผลให้ชาวบ้านใกล้เคียงได้รับความเดือดร้อน ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมอาหารส่วนใหญ่จะมีการใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับกลิ่นต่างๆ ให้

จางลงไป ซึ่งปัจจุบันในกลุ่มอุตสาหกรรมอาหารมีอัตราขยายตัวค่อนข้างสูง อีกทั้งยังเป็นกลุ่มที่ทำรายได้และนำเงินตราต่างประเทศเข้ามาเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้รัฐบาลให้การสนับสนุนเป็นอย่างมากโดยเมื่ออุตสาหกรรมอาหารขยายตัวเพิ่มขึ้น ปริมาณความต้องการถ่านกัมมันต์ก็ย่อมขยายเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

นอกจากการนำถ่านกัมมันต์มาใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ แล้ว ด้วยคุณสมบัติในด้านการดูดกลิ่นได้ดี ทำให้ในปัจจุบันได้มีการนำมาใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับใช้ภายในครัวเรือนได้อีกทางหนึ่งด้วย โดยเป็นผลิตภัณฑ์ใช้ดูดซับกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับภายในตู้เย็นตู้เสื้อผ้า หรือใช้เป็นตัวดูดกลิ่นในรองเท้า โดยมีการบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่สวยงามและขนาดกะทัดรัด สามารถพกพาไปไหนได้ [1]

2.7.2 วัตถุประสงค์สำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์

คุณสมบัติหลักของการผลิตถ่านกัมมันต์นั้นขึ้นอยู่กับชนิดและคุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตนั้นควรเป็นวัตถุดิบที่มีปริมาณคาร์บอนสูงและมีสารอื่นในปริมาณต่ำ ส่วนใหญ่มักเป็นพวกเซลลูโลสที่มาจากพืชและต้นไม้ เช่น ไม้ยางพารา ไม้ไผ่ เศษไม้เหลือทิ้งและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เป็นต้น ส่วนวัตถุดิบที่มาจากสัตว์นั้นมีไม่มาก เช่น กระดูก หรือ เขาสัตว์ เป็นต้น ในแถบยุโรปวัตถุดิบที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ ไม้ ถ่าน ฟีด ถ่านหินสีน้ำตาล ถ่านหินชนิดแข็ง เป็นต้น [14]

โดยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในประเทศไทย ส่วนใหญ่มาจากวัสดุชีวมวลประเภทต่างๆ ซึ่งมาจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและโรงงานแปรรูปอาหาร เช่น กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม น้ำมัน ช้างข้าวโพด แกลบ ชี้อ้อย เป็นต้น โดยแหล่งวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์มีดังนี้

ชานอ้อย	ช้างข้าวโพดและข้าวโพด	เศษหนัง	ตะกอนหัวน้ำตาล
เปลือกเมล็ดฝ้าย	ลิกนิน	กระดูก	ถ่านโค้กปิโตรเลียม
กากน้ำตาล	ธัญพืช	เปลือกถั่ว	เปลือกข้าว(แกลบ)
ถ่าน	หินน้ำมัน	ไม้	กะลามะพร้าว
กะลาปาล์มน้ำมัน	เมล็ดกาแฟ	ฟีด	สาหร่าย
แกรไฟต์	เขาสัตว์	ไม้ไผ่	

2.8 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกทำการผลิตถ่านกัมมันต์วิธีกระตุ้นทางกายภาพ โดยกระตุ้นด้วยไอน้ำ ทำการศึกษาวัตถุดิบที่แตกต่างกันสามชนิด ซึ่งเป็นทางเลือกการผลิตที่ในอุตสาหกรรมใช้กันทั่วไป นั่นคือผลิตจากสารตั้งต้นที่เป็นกะลามะพร้าว กะลาปาล์ม และซังข้าวโพด

2.8.1 การเผาถ่านหรือคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) [15]

กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปมีขั้นตอนพื้นฐานอยู่ 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. การไล่ความชื้น เป็นการให้ความร้อนแก่ชีวมวลที่อุณหภูมิบรรยากาศจนถึง 180 องศา ช่วงนี้ชีวมวลจะคายน้ำที่ดูดซับอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ (Free water) และน้ำที่อยู่ในผนังเซลล์ (Bound water) คาร์บอนที่ออกมาจะมีสีขาวปนน้ำเงินอ่อนซึ่งจะมีแต่ไอน้ำ ไม่มีกลิ่นฉุน ไม่สแปดตาและจุ่มก

2. การไล่สารระเหิด เป็นการให้ความร้อนแก่ชีวมวลที่อุณหภูมิประมาณ 180 - 270 องศาเซลเซียส ช่วงนี้เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses) จะสลายตัวออกมาจนหมดที่อุณหภูมิประมาณ 270 องศาเซลเซียส เตาเผาถ่านที่ดีจะรักษาอุณหภูมิระดับนี้ไว้นานและใกล้เคียงกันทั่วทุกจุดของเตา คาร์บอนที่ออกมาในช่วงนี้จะเริ่มมีสีจาง ๆ เจือปนอยู่ด้วย และจะมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) กรดน้ำส้ม (Acetic acid) และเมทานอล (Methanol) เจือปนออกมากับคาร์บอนด้วย แต่มีปริมาณต่ำมาก นำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้

3. การเปลี่ยนชีวมวลเป็นถ่าน อุณหภูมิจะอยู่ประมาณ 270 – 400 องศาเซลเซียส ช่วงนี้ชีวมวลสลายตัวด้วยตัวเองจากปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic reaction) อันเกิดจากความร้อนที่สะสมไว้ เซลลูโลสจะเริ่มสลายตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิประมาณ 275 องศาเซลเซียส คาร์บอนที่ออกมาจะมีสีขาวปนเหลือง มีกลิ่นฉุนจัด สามารถติดไฟได้ การดักเก็บน้ำส้มควันไม้ที่มีคุณภาพจะทำได้ในช่วงนี้ ลิกนิน (Lignin) จะเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 310 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส หลังจากกระบวนการนี้ชีวมวลจะกลายเป็นถ่านทั้งหมดแล้ว

4. การทำให้ถ่านบริสุทธิ์ แม้ว่าชีวมวลจะกลายเป็นถ่านแล้วที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส แต่ยังคงมีน้ำมันดินในปริมาณที่สูง เมื่อนำไปใช้ปิ้งย่าง น้ำมันดินที่เผาไหม้ในเตาถ่านจะเกิดเป็นสารประกอบ เบนโซไพเรน (Benzopyrene) และไดเบนซานทราเซน (Dibenzanthracene)

ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง จึงยังเป็นถ่านที่มีคุณภาพต่ำ ควรอบถ่านต่อไปที่อุณหภูมิในช่วง 500 – 600 องศาเซลเซียส ต่อไปอีกระยะหนึ่งเพื่อไล่น้ำมันดินให้หมดไป

2.8.2 การผลิตถ่านกัมมันต์ [1]

การกระตุ้นถ่านให้กลายเป็นถ่านกัมมันต์นั้น แบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ การกระตุ้นทางเคมี (Chemical activation) และการกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation)

1) วิธีกระตุ้นด้วยทางเคมี (Chemical activation)

โดยทั่วไปสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นจะเป็นพวกสารเคมีที่ดูดน้ำ (dehydrating agent) เช่น ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) และกรดบางชนิด เช่น กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) และ กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เป็นต้น ซึ่งสามารถแทรกซึมได้ทั่วถึง ทำให้ส่วนที่ไม่บริสุทธิ์ละลายหมดไปได้เร็วขึ้น จากนั้นนำไปเผาในถังที่มีออกซิเจนหรือที่อับอากาศ โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 600-700 องศาเซลเซียส นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ล้างเพื่อเอาสารเคมีออกให้หมด และนำมาผึ่งแดดให้แห้ง ซึ่งเป็นวิธีที่มีต้นทุนในการผลิตสูง และอาจมีสารเคมีตกค้าง และการกระตุ้นด้วยสารเคมีนั้น ตัวกระตุ้นจะแทรกเข้าไปในเนื้อถ่านโดยจะทำให้เกิดรูพรุนขนาดใหญ่ด้วย

2) การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation)

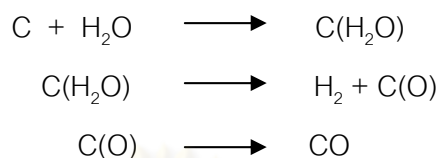
การนำถ่านมากระตุ้นด้วยสารที่เหมาะสมส่วนใหญ่เป็นก๊าซและไอน้ำ เช่น ไอน้ำ (steam) ก๊าซออกซิเจน (O_2) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นต้น วิธีการกระตุ้นทางกายภาพด้วยไอน้ำ ต้องใช้ ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (Superheated steam) ผ่านเข้าไปในถ่านซึ่งเผาในอุณหภูมิสูง ในที่อับอากาศหรือมีอากาศเข้าป็น้อยที่สุด โดยใช้เวลาและความดันที่เหมาะสม ไอน้ำร้อนยิ่งยวด จะทำให้สารอินทรีย์ต่าง ๆ สลายไป ทำให้โครงสร้างภายในมีลักษณะเป็นรูพรุน ซึ่งขนาดของรูพรุนที่ได้จะมีขนาดเล็กกว่าการกระตุ้นทางเคมี ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้น ด้วยวิธีนี้มีข้อดีที่สามารถนำมาใช้งานได้เลยทันที โดยไม่ต้องล้างสารที่เหลือตกค้าง

- การกระตุ้นด้วยไอน้ำ (Activation with steam) [16]

ปฏิกิริยาของคาร์บอนที่กระตุ้นด้วยไอน้ำ คือ ปฏิกิริยาคูดความร้อน (Endothermic reaction) โดยปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังนี้



โดยมีกลไกการเกิดปฏิกิริยา (mechanism) ดังนี้



H_2 และ CO ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะหลุดออกไปทำให้เกิดรูพรุน และ CO ส่วนหนึ่งจะทำปฏิกิริยากับผิวของคาร์บอน ทำให้เกิด CO_2 และ C ดังสมการ



การกระตุ้นด้วยไอน้ำจะใช้อุณหภูมิในช่วง 750 ถึง 950 องศาเซลเซียสโดยปราศจากก๊าซออกซิเจน เนื่องจากการใช้ออกซิเจนในช่วงอุณหภูมินี้จะทำให้เกิดปฏิกิริยาอย่างรุนแรงกับคาร์บอนและจะทำให้ผลผลิตที่ได้ลดลงจากการเผาไหม้ที่ผิวของคาร์บอน คาร์บอนถูกเร่งปฏิกิริยาโดยออกไซด์และคาร์บอนเตตของโลหะอัลคาไล เหล็ก ทองแดง และโลหะอื่น ๆ

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กฤษฎกร เจียมจำรัสศิลป์ และคณะ [17] ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของสี่ผงชนิด โพลีเอสเตอร์-อีพอกซี ซึ่งเป็นสี่ผงชนิดที่มีการใช้งานมากในประเทศไทย อีกทั้งยังเป็นเคมีภัณฑ์พื้นฐานที่ใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท โดยเฉพาะอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้เทคนิคของการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งจะทำให้ได้ทราบค่าเชิงปริมาณและแสดงให้เห็นถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของสี่ผง เช่น การเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก การลดลงของชั้นโอโซน และภาวะความเป็นกรด เป็นต้น ขอบเขตการศึกษาของวัฏจักรชีวิตของสี่ผงครอบคลุมตั้งแต่ขั้นตอนการผลิต การขนส่ง การใช้งาน และการกำจัด ผลจากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปซิมาโปร (SimaPro) ด้วยดัชนีชี้วัดเชิงนิเวศน์ (Eco-Indicator 95) พบว่า ตลอดวัฏจักรชีวิตของสี่ผงขั้นตอนการเคลือบสี่ผงกับชิ้นงานก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด (86.1 %) เนื่องจากกระบวนการนี้มีการใช้น้ำเป็น

จำนวนมากถึง 58.1 ลิตรต่อการเคลือบสี ผง 1 กิโลกรัม รองลงมาคือขั้นตอนการขนส่ง (6.4 %) และขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ(6.3 %) ตามลำดับ

ธีระชัย สุรวัฒนสกุล [15] ได้ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมันโดยไพโรไลซิส และการกระตุ้นด้วยไอน้ำในขั้นตอนเดียวในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ตัวแปรที่ใช้ศึกษา คือ อุณหภูมิ เวลา ขนาดของกะลาปาล์ม และอัตราการไหลของอากาศ จากผลการทดลองพบว่าภาวะที่เหมาะสมในการผลิต คือ ใช้กะลาปาล์มน้ำมันขนาด 1.18 -2.36 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อัตราการไหลของอากาศ 0.72 นอร์มอลลิตรต่อนาที โดยใช้ไอน้ำเป็นสารกระตุ้น ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีร้อยละผลิตภัณฑ์ 19.66 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.5160 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าเก็บ 6.03 เปอร์เซนต์ ค่าการดูดซับไอโอดีน 620.16 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 176.75 มิลลิกรัมต่อกรัม และพื้นที่ผิววูพรุน 559.48 ตารางเมตรต่อกรัม

เมื่อเพิ่มเวลาไพโรไลซิสในอากาศ 30 นาที ก่อนการกระตุ้นด้วยไอน้ำ พบว่าการพัฒนาวูพรุนจะเกิดได้มากกว่าไพโรไลซิสและการกระตุ้นด้วยไอน้ำในขั้นตอนเดียว จากผลการทดลองพบว่าภาวะที่มีพื้นที่ผิววูพรุนและความสามารถในการดูดซับที่สูงที่สุด คือ ใช้กะลาปาล์มน้ำมันขนาด 1.18-2.36 มิลลิเมตร หนัก 200 กรัม ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยเพิ่มเวลาไพโรไลซิสในอากาศ 30 นาที(0.72 นอร์มอลลิตรต่อนาที) ก่อนการกระตุ้นด้วยไอน้ำ ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีร้อยละการผลิต 12.18 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.5048 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าเก็บ 7.54 เปอร์เซนต์ ค่าการดูดซับไอโอดีน 766.99 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 189.20 มิลลิกรัมต่อกรัม และพื้นที่ผิววูพรุน 669.75 ตารางเมตรต่อกรัม

วรสิทธิ์ หินทอง [18] ทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตชุดวาล์วน้ำ โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยจะทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ ขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนและประกอบชุดวาล์วน้ำ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปซิมาโปร (Simapro) และดัชนีชี้วัดเชิงนิเวศน์ (Eco-indicator 99) ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษาพบว่า ชุดวาล์วน้ำ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) เท่ากับ 1.168E-01 Pt โดยชิ้นส่วนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ได้แก่ชิ้นส่วน Coil โดยส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 5.608E-02 Pt (13.21%) รองลงมา คือ ชิ้นส่วน Valve body โดยส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 1.543E-02 Pt (13.21%) และชิ้นส่วน Over mold โดยส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 7.086E-03 (6.00%) สำหรับขั้นตอนการผลิต ชิ้นส่วน Coil ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดได้แก่ ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ Copper โดย

ส่งผลกระทบเท่ากับ $5.115E-02$ Pt (91.21%) รองลงมาได้แก่ ขั้นตอนการ winding โดยส่งผลกระทบเท่ากับ $3.000E-03$ Pt (5.88%) จากผลการวิจัยนี้ ทำให้เข้าใจถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นส่วนของชุดวาล์วน้ำ ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต

ศรายุทธ เอื้อเฟื้อกลาง และคณะ [19] ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการบรรจุก๊าซอาร์กอนอุตสาหกรรมซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ที่สำคัญอย่างหนึ่งของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ โดยใช้งานหรืองานตัดต่าง ๆ โดยใช้เทคนิคของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ซึ่งจะทำให้ทราบค่าเชิงปริมาณและแสดงให้เห็นถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่าง ๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของกระบวนการบรรจุก๊าซอาร์กอน เช่น ด้านการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก สภาพความเป็นกรดและสภาวะน้ำเปลี่ยนสี เป็นต้น ขอบเขตการศึกษาวัฏจักรชีวิตของกระบวนการบรรจุก๊าซอาร์กอน อุตสาหกรรมขนาด 7 ลบ.ม. ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมการบรรจุก๊าซอาร์กอน การบรรจุก๊าซอาร์กอน การขนส่งท่อก๊าซอาร์กอน และขั้นตอนการทดสอบคุณภาพท่อก๊าซอาร์กอน ซึ่งผลการประเมินพบว่าขั้นตอนกระบวนการขนส่งท่อก๊าซอาร์กอนอุตสาหกรรมก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเมื่อเทียบกับขั้นตอนอื่น ๆ

สุพรรณณี จันทร์ภิรมณ์ [2] ศึกษาหัวข้อต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับถ่านกัมมันต์ ได้แก่ การวิเคราะห์สมบัติ และ กระบวนการดูดซับ โดยใช้เม็ดลำไย ซึ่งคาดว่าจะเป็นวัตถุชนิดใหม่ที่มีศักยภาพ สำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดี ขอบเขตของงานวิจัยนี้ได้ครอบคลุมถึงการวิเคราะห์ทางความร้อนของเม็ดลำไย การเตรียมและวิเคราะห์สมบัติความพรุนถ่านกัมมันต์ การศึกษาสมดุล และจลนพลศาสตร์การดูดซับ นอกจากนี้ ยังได้พัฒนาแบบจำลองการกระตุ้นเพื่ออธิบายและทำนายการพัฒนารูพรุนของถ่านกัมมันต์ในกระบวนการผลิตแก๊สซิฟิเคชัน

การสลายทางความร้อนของเม็ดลำไย ในกระบวนการไพโรไลซิสแบบอุณหภูมิต่ำไม่คงที่ เกิดขึ้นส่วนใหญ่ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 210 ถึง 330 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองสองปฏิกิริยาคู่ขนาน จากการเตรียมถ่านกัมมันต์โดยวิธีกระตุ้นทางกายภาพแบบสองขั้นตอน คือ การคาร์บอนไนเซชัน และการกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าเมื่อคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำหนักที่หายไปในช่วงขั้นตอนการกระตุ้น มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงร้อยละ 70 ค่าพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุนรวม และปริมาตรรูพรุนขนาดเล็ก มีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่ที่ร้อยละน้ำหนักที่หายไปสูงมากกว่านี้ สมบัติดังกล่าวมีค่าลดลง งานวิจัยนี้ได้เสนอแบบจำลอง เพื่ออธิบายกระบวนการเกิดรูพรุนในขั้นตอนการกระตุ้น และใช้ทดสอบกับผลการทดลอง ซึ่งสามารถอธิบายการพัฒนาของพื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุน ที่มีความสัมพันธ์กับร้อยละน้ำหนักที่หายไปในช่วงขั้นตอนการกระตุ้นได้ การศึกษาผลของ

อุณหภูมิในขั้นตอนคาร์บอนในเซชัน พบว่า ตัวแปรนี้มีผลต่อสมบัติความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาของถ่านในขั้นตอนการกระตุ้น ซึ่งส่งผลต่อเนื่องถึงสมบัติของถ่านกัมมันต์ จากการทดลองเตรียมถ่านกัมมันต์โดยวิธีการกระตุ้นแบบขั้นตอนเดียว ด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติความพรุนใกล้เคียงกับการเตรียมโดยใช้วิธีธรรมดาแบบสองขั้นตอน ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก จะเกิดรูพรุนขนาดเล็กเป็นส่วนใหญ่

การศึกษาสมดุลการดูดซับไอน้ำ พบว่าสมบัติถ่านกัมมันต์ที่สำคัญต่อกระบวนการนี้ คือ สมบัติการกระจายขนาดรูพรุน และหมู่ฟังก์ชันกรดบนพื้นผิว แบบจำลองการดูดซับไอน้ำแบบกลุ่มโมเลกุล (cluster) ที่เสนอโดย Do และ Do ได้ถูกนำมาใช้ เพื่ออธิบายพฤติกรรมของการดูดซับไอน้ำ ในงานวิจัยนี้ได้เสนอให้มีการปรับขนาดของกลุ่มโมเลกุลในแบบจำลอง เพื่อสามารถอธิบายการดูดซับไอน้ำในรูพรุนขนาดใหญ่ ผลไอโซเทิร์มการดูดซับเอทานอล แสดงลักษณะแตกต่างจากการดูดซับไอน้ำ และสามารถอธิบายได้ด้วยสมการแลงเมียร์แบบคู่

การศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับเบนซีน โดยใช้เทคนิคการไหลแบบคงที่ (constant molar flow rate) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายบนพื้นผิวมีค่าอยู่ในช่วง 1×10^{-10} ตารางเมตรต่อวินาที ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายบนพื้นผิว มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิเป็นไปตามสมการอาร์เรเนียส โดยมีค่าพลังงานกระตุ้นเท่ากับหนึ่งในสามของค่าความร้อนการดูดซับ ที่ภาวะการดูดซับเป็นศูนย์

อรัญ หันพงศ์กิตติภู และคณะ [20] ศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอุตสาหกรรม การสกัด น้ำมันปาล์ม ประกอบด้วย ก๊าซไนตรัสออกไซด์ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดจากการจัดการสวนปาล์ม การขนส่งปาล์มทะเลลายสด (FFB) และการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (CPO) เกษตรกร 1 ครอบครัว มีพื้นที่ปลูกปาล์ม 25 ไร่ จะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ปุ๋ย 9.394 ตัน CO_2e /ปี และจากการขนส่งปาล์มทะเลลายสด 0.154 ตัน CO_2e /ปี ในการสกัดน้ำมันปาล์มของโรงงานสอง โรงงาน พบว่า โรงงานที่ 1 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 33,109 ตัน CO_2e /ปี คิดเป็น 0.276 ตัน CO_2e /ตัน FFB (1.533 ตัน CO_2e /ตัน CPO) โรงงานที่ 2 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 28,134 ตัน CO_2e /ปี คิดเป็น 0.174 ตัน CO_2e /ตัน FFB (1.085 ตัน CO_2e /ตัน CPO) โดยแหล่งหลักที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่า 95% มาจากน้ำเสีย เมื่อพิจารณาในภาพรวมตั้งแต่ปลูกปาล์มจนสกัดเป็น น้ำมัน ปาล์มดิบ พบว่า มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 2.000 - 2.289 ตัน CO_2e /ตัน CPO การปล่อยก๊าซเรือนกระจกอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มจะลดลงหากมีการจัดการสวนปาล์มที่ดีให้ได้ผลผลิตสูง และลดการใช้ปุ๋ยเคมีในการสกัดน้ำมันปาล์มนอกจากจะต้องมีการผลิตที่มีประสิทธิภาพแล้ว จะต้อง มีน้ำเสียออกมาในปริมาณต่ำ หากมีการบำบัดน้ำเสียแบบ

ปิดและนำก๊าซมีเทนที่ได้ไปผลิตกระแส ไฟฟ้าก็จะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้มากกว่า 50%

A. Aworna และคณะ [21] ศึกษาการผลกระทบของปริมาณสารระเหยในถ่านที่ผลิตจาก ชังข้าวโพดและถ่านกัมมันต์จากชังข้าวโพดที่กระตุ้นโดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อปรับปรุง คุณสมบัติของรูพรุน การศึกษาโครงสร้างของรูพรุนใช้การทดสอบพื้นผิวของบลูเนอร์ เอลเมท และ เทลเลอร์ (Brunauer-Emmett and Teller : BET) ปริมาตรของรูพรุน (pore volume) รวมปริมาตรรูพรุนขนาดกลาง (mesopore volume) ปริมาตรรูพรุนขนาดเล็ก (micropore volume) และ เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของรูพรุน ในการศึกษาพบว่า ปริมาณของสารระเหยในถ่านจากชังข้าวโพด อยู่ในช่วง 17 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์และผลจากการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าพื้นที่ผิว (BET surface area) อยู่ในช่วง 919 ถึง 986 ตารางเมตรต่อกรัม ดังนั้น อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการกระตุ้นถ่านจะเริ่มที่ 450 ถึง 550 องศาเซลเซียส และเพิ่มไปจนถึง 800 องศาเซลเซียส โดยถ่านกัมมันต์จากชังข้าวโพดที่อุณหภูมิ 450 ถึง 550 องศาเซลเซียสนั้น มีปริมาณของ สารระเหยประมาณ 17 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ (Langmuir Adsorption Isotherm) และวิธีของดูบินินและราดซ์เควิช (Dubinin-Radushkevich : D-R) ใช้ ศึกษาสมดุลไอโซเทอม ค่าคงที่ไอโซเทอม (isotherm constant) และความจุการดูดซับ (adsorption capacity) ของโมโนเอทิลีนไกลคอล (monoethylene glycon) ของถ่านกัมมันต์จาก ชังข้าวโพดและถ่านกัมมันต์เกรดการค้า โดยค่าของไอโซเทอมแบบแลงมัวร์ (Q_{max}) ของถ่านกัมมันต์จากชังข้าวโพดและถ่านกัมมันต์เกรดการค้ามีค่าเท่ากับ 4.509 และ 5.910 โมลของโมโนเอ ทิลีนไกลคอลต่อกิโลกรัมของตัวดูดซับตามลำดับ ซึ่งไอโซเทอมแบบ D-R จะอธิบายความจุการดูดซับและพลังงานอิสระ (E) ของการดูดซับ โดยค่าพลังงานอิสระ (E) ของการดูดซับจะเป็นตัวยืนยัน การดูดซับโมโนเอทิลีนไกลคอลของถ่านกัมมันต์จากชังข้าวโพดและถ่านกัมมันต์เกรดการค้าซึ่งเป็นการดูดซับทางกายภาพ

A. Laurent และคณะ [22] ศึกษาผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจากการ ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือคาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยมักใช้เป็นเครื่องชี้วัดสภาพสิ่งแวดล้อม ในการผลิตทางอุตสาหกรรม ซึ่งความสามารถของคาร์บอนฟุตพริ้นท์อยู่บนพื้นฐานการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของสารในอุตสาหกรรมต่างๆ ดังนี้ อุตสาหกรรมการผลิตภัณฑ์โลหะ อุตสาหกรรมการผลิตภัณฑ์เคมี อุตสาหกรรมการผลิตภัณฑ์ พลาสติก และอุตสาหกรรมการผลิตภัณฑ์กระดาษ โดยศึกษาผลกระทบต่อมนุษย์กับปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์ที่ออกมาจากอุตสาหกรรมเหล่านี้ ทั้งนี้ผลกระทบต่อมนุษย์และคาร์บอนฟุต พริ้นท์จะถูกคำนวณด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปซิม่าโปร (SimaPro) โดยใช้บัญชีข้อมูลจากกระบวนการ

ผลิตภัณฑ์ หลังจากนั้นเปรียบเทียบค่าที่ทำให้อยู่บนพื้นฐานเดียวกัน ตัวอย่าง เช่น อุตสาหกรรมการผลิตโลหะจะได้สารต่างๆ ดังนี้ อะลูมิเนียม ทองแดง และ คาร์บอนมอนนอกไซด์ โดยสารทั้งหมดนำมาเปรียบเทียบความเป็นพิษต่อมนุษย์และ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ ซึ่งสรุปผลของงานวิจัยนี้แสดงถึงค่าผลกระทบต่อมนุษย์ และการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ไม่ได้เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการชี้วัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งหมด ดังนั้นจึงพิจารณาเป็นกรณีไป

A. Zabaniotou และ O. Ioannidou [23] ผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยทำการศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการกระบวนการผลิตในขั้นไพโรไลซิส (Pyrolysis) และศึกษาอิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในการผลิต การกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี ต่อคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ ภายใต้หลาย ๆ สภาวะที่ใช้ในการกระตุ้นถ่านพบว่าได้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นผิวอยู่ในช่วง 250 ถึง 2410 ตารางเมตรต่อกรัม และปริมาตรรูพรุนอยู่ในช่วง 0.022 ถึง 91.4 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม การเปรียบเทียบคุณลักษณะและประโยชน์ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและถ่านกัมมันต์ในเชิงการค้าทั่ว ๆ ไป งานวิจัยนี้ดำเนินการโดยสร้างแบบจำลองของปฏิกิริยาจลนพลศาสตร์ โดยใช้ไพโรไลซิสในการผลิตถ่านและกระตุ้นถ่านจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

D.F. Aloka และคณะ [24] ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกข้าวและซังข้าวโพดโดยการกระตุ้นด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้ไอน้ำและทางเคมี ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้นำไปหาคุณลักษณะโดยการหาพื้นที่ผิว (Surface area) ปริมาตรรูพรุน (Pore volume) ปริมาณขี้เถ้า (Ash content) ความหนาแน่นรวม (Bulk density) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) ปริมาณคาร์บอนที่ได้ (Carbon yield) และความพรุน (Porosity) ผลการศึกษาพบว่า การกระตุ้นด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้ไอน้ำกับการกระตุ้นทางเคมี ให้ผลที่ดีกับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดให้ผลดีที่สุดโดยดูจากพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุนและค่าความจุการดูดซับ นอกจากนี้ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดโดยการกระตุ้นปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้ไอน้ำได้พิสูจน์ว่าเป็นตัวดูดซับที่ดีเมื่อนำไปทดสอบกับสารฟอสเฟตที่ปนเปื้อนในน้ำ

Eric Johnson [25] ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนของการใช้ถ่านและก๊าซหุงต้มในการย่างโดยใช้คาร์บอนฟุตพริ้นท์เป็นพื้นฐานในการคำนวณ โดยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของถ่านที่ใช้ในการย่างเท่ากับ 998 กิโลกรัมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และก๊าซหุงต้มมีค่าเท่ากับ 349 กิโลกรัมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งการใช้ถ่านให้ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เกือบสามเท่าของการใช้ก๊าซหุงต้ม ดังนั้นปัจจัยหลัก คือเชื้อเพลิง โดยก๊าซหุงต้มมีประสิทธิภาพใน

การผลิตและในการทำอาหารมากกว่าการใช้ถ่าน และปัจจัยรอง คือการใช้ของที่ติดไฟได้ ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ก๊าซหุงต้มและไม่จำเป็นต้องใช้ถ่าน

M. A. RAHMAN และคณะ [26] ศึกษาการผลิตถ่านจากกะลามะพร้าวและการกระตุ้นถ่านที่ อุณหภูมิ 300 350 และ 400 องศาเซลเซียส ให้การไหลของอากาศหรือก๊าซไนโตรเจนคงที่ โดยทำการศึกษาคัดชั้นกรดออกซาลิก (oxalic acid) และกรดมาเลอิก (maleic acid) จากสารละลาย ซึ่งการดูดซับกรดออกซาลิกเป็นแบบแลงเมียร์ไอโซเทอร์ม (Langmuir adsorption isotherm) และแบบ BET หรือ บลูเนอว์ เอลเม็ท และเทลเลอร์ (Brunauer-Emmett and Teller) ผลการศึกษาที่แตกต่างกันอธิบายได้โดย ถ่านกัมมันต์เหมือนกับแกรไฟต์ที่มีทั้ง 2 ชั้น ด้านเบส (basal site) และส่วนหัวของกลุ่มคาร์บอนซิลิกในกรดออกซาลิกและกรดมาเลอิก ซึ่งจะดูดซับสารเคมีในส่วนหัวของถ่านกัมมันต์ นอกจากนี้สายโซ่ไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวของกรดมาเลอิกเปิดสายโซ่แล้วกลายเป็นพันธะที่อ่อนลงด้วยด้านเบส (basal site) ของถ่านกัมมันต์ ซึ่งจะดูจากการดูดซับปริมาณของกรดออกซาลิกและกรดมาเลอิกที่เพิ่มขึ้นด้วยอุณหภูมิในการกระตุ้นที่สูงขึ้น

Md. Z. Alam และคณะ [27] ศึกษาการนำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากทะลายปาล์มเปล่า (EFB) หาความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อกำจัดโลหะหนัก ผ่านกระบวนการดูดซับ การผลิตถ่านกัมมันต์จะกระตุ้นโดยการใช้อุณหภูมิที่ 500 750 และ 1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 30 และ 45 นาที การวิเคราะห์เชิงสถิติและการทดสอบการดูดซับแบบกะ (Batch adsorption test) เพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดในการผลิตถ่านกัมมันต์ พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต 1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ให้ค่าความจุการดูดซับสูงสุด (1.63 มิลลิกรัมต่อกรัม) เพื่อกำจัดสังกะสีในสารละลาย (98 เปอร์เซ็นต์) การหาคุณลักษณะของการผลิตถ่านกัมมันต์เป็นการประเมินเพื่อให้การผลิตถ่านกัมมันต์มีคุณภาพสูงขึ้น

S. Yorgun และคณะ [28] ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงจากไม้พาลิเนอเรียโดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยซิงค์คลอไรด์ โดยศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้เผาถ่านและอัตราส่วนการฝังตัวบนรูพรุนของถ่านกัมมันต์ อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นถ่านและอัตราส่วนการฝังตัวอยู่ในช่วง 400 ถึง 700 องศาเซลเซียส และ 0.5 ถึง 4.0 ตามลำดับ ภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่กำหนด พบว่าการเผาถ่านที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนการฝังตัวเท่ากับ 4.0 จะให้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูง และพบว่าซิงค์คลอไรด์เป็นสารที่ดูดความชื้นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 500 องศาเซลเซียส แล้วนำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปตรวจสอบคุณลักษณะโดย nitrogen adsorption-desorption isotherm ที่อุณหภูมิ 77 เคลวิน จากผลการทดลองพบว่า พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนขนาดเล็กของถ่านกัมมันต์ซึ่งสามารถหาได้โดย บลูเนอว์ เอลเม็ท และเทลเลอร์ (Brunauer-Emmett and Teller : BET)

และ t-plot ซึ่งผลที่ได้คือ พื้นที่ผิวเท่ากับ 2736 ตารางเมตรต่อกรัม และ ปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 0.69 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม โครงสร้างขนาดเล็กของถ่านและถ่านกัมมันต์สามารถตรวจสอบได้โดย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

W. Kiatkittipong และคณะ [29] นำเสนอแบบจำลองอย่างง่ายบนโปรแกรมสำหรับ ประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) เพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ที่ทางเลือกต่าง ๆ ในการจัดการ กับขยะชานอ้อย ในด้านสิ่งแวดล้อมนั้นสนใจค่าศักยภาพการก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพ อากาศ(Global warming potential) ค่าศักยภาพความเป็นกรด(Acidification potential) ค่า ศักยภาพยูโทรฟิเคชัน(Eutrophication potential) และ ศักยภาพการเกิดโฟโตเคมีคอลออกซิแดนต์ (Photochemical oxidant creation) โดยการประเมินโครงการจัดการขยะชานอ้อย 4 โครงการ ดังนี้ การกำจัดโดยการฝังกลบทำให้ได้ก๊าซชีวภาพหลุมขยะที่เป็นประโยชน์ การย่อยสลายโดยไม่ ใช้ออกซิเจนโดยการผลิตก๊าซชีวภาพ การเผาเพื่อผลิตไฟฟ้าและการนำไปผลิตเป็นเยื่อกระดาษ ในการฝังกลบนั้น ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมีนัยสำคัญนั้นขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการเก็บ ก๊าซชีวภาพ ในขณะที่การเผาชานอ้อยเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าซึ่งแสดงประสิทธิภาพด้าน สิ่งแวดล้อม(enviromental performance) ดีกว่าก๊าซชีวภาพทั่วไปที่เกิดจากการฝังกลบ การย่อย สลายโดยไม่ใช้ออกซิเจนของชานอ้อยในการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพมีมากกว่า 2 ทางเลือกในการผลิตพลังงานในด้านสิ่งแวดล้อมทั้งหมด แม้ว่าการใช้ชานอ้อยในโรงงานเยื่อ กระดาษจะสร้างภาระด้านสิ่งแวดล้อมค่อนข้างสูง ผลจากการประเมินวัฏจักรชีวิต พบว่า ขั้นตอน อื่น ๆ ของวัฏจักรชีวิตให้ผลกระทบเล็กน้อย และทางเลือกนี้อาจเป็นทางเลือกที่มีผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

W.M. A. W. Daud และ W.S.W. Ali [30] ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบการพัฒนาคุณภาพ จากการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าวภายใต้สภาวะการผลิตเดียวกัน กระบวนการเผาถ่านและการกระตุ้นถ่านจะใช้อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ในถึงปฏิกิริยาแบบฟลู อิดไดซ์เบด โดยจะศึกษาช่วงของการเผาไหม้ ในทุก ๆ ช่วงของการเผาไหม้ ปริมาตรของรูพรุน ขนาดเล็กและรูพรุนขนาดกลางของถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มจะมีค่าสูงกว่าถ่านกัมมันต์จาก กะลามะพร้าวเสมอ ที่ปริมาตรของรูพรุนขนาดใหญ่สำหรับถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มนั้นจะ เพิ่มขึ้นจนถึงเปอร์เซ็นต์การเผาไหม้ที่ 30 เปอร์เซ็นต์ แล้วหลังจากนั้นก็ลดลง สำหรับถ่านกัม มันต์จากกะลามะพร้าวปริมาตรของรูพรุนขนาดใหญ่จะลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์การเผาไหม้ลดลง

W.R. Johns และคณะ [31] ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อตรวจสอบผลกระทบที่ เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์ปัญหาของการผลิตที่มีหลายสาขารวมถึงกระบวนการผลิตที่มีหลาย

ผลิตภัณฑ์และการนำกลับมาใช้ใหม่ (reuse) หรือการรีไซเคิล (recycle) ในอุตสาหกรรมทั่วไป การจะมีความแตกต่างระหว่างการรีไซเคิล (recycle) และการนำกลับมาใช้ใหม่ (reuse) โดยการรีไซเคิล (recycle) จะหมายถึงการนำมาใช้ในกระบวนการเดียวกัน ส่วนการนำกลับมาใช้ใหม่ (reuse) คือการใช้ของเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตแห่งหนึ่งมาใช้อีกกระบวนการหนึ่งที่แตกต่างกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้สนใจทำการศึกษาว่าในการพัฒนากระบวนการผลิตระหว่างการนำกลับมาใช้ใหม่ (reuse) และการรีไซเคิล (recycle) นั้นทางเลือกไหนที่จะให้ผลดีต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือในการศึกษา



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

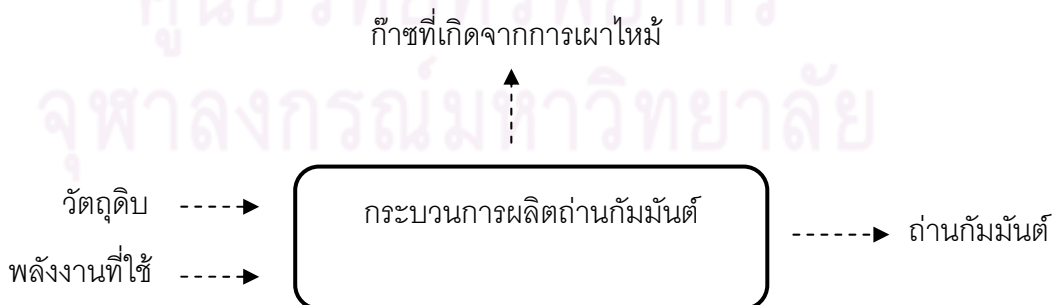
การดำเนินงานวิจัยสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ และศึกษาผลกระทบของการผลิตถ่านกัมมันต์ จากกระบวนการผลิตที่มีการใช้สารตั้งต้นที่ต่างกัน โดยมีขั้นตอนการทำงานวิจัยดังนี้

3.1.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของงานวิจัย (Goal and scope definition)

3.1.1.1 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย (Objective and purpose)

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ ศึกษาการออกแบบจำลองกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ เพื่อนำไปประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตที่มีภาวะการผลิตที่แตกต่างกันและวัตถุประสงค์แตกต่างกัน

โดยขอบเขตที่ใช้ศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ในงานวิจัยนี้คือ ศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการผลิตถ่านและขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ แต่การศึกษาจะไม่รวมถึงการศึกษาที่เกิดจากขั้นตอนของการขนส่งวัตถุดิบ การนำไปใช้ การนำกลับมาใช้ใหม่ และการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้น โดยขอบเขตที่ศึกษาในงานวิจัยนี้แสดงดังรูป



รูปที่ 3.1 ขอบเขตของงานวิจัยที่ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

3.1.1.2 หน่วยหน้าที่ (Functional unit)

หน่วยหน้าที่ (Functional unit) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตถ่านกัมมันต์ที่ต่างกัน ซึ่งหน่วยหน้าที่ที่ใช้ คือ 1 กิโลกรัมของปริมาณการผลิตถ่านกัมมันต์ เพื่อให้ข้อมูลปริมาณสารที่เข้าและออกจากระบบอยู่บนพื้นฐานเดียวกัน

3.1.2 การทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI)

ในการประเมินวัฏจักรชีวิตสำหรับผลิตภัณฑ์ต่างๆ จะต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับมวลสาร พลังงานและของเสียที่ปลดปล่อยออกจากกระบวนการต่างๆ ตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ งานวิจัยนี้ได้ใช้การสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามกระบวนการ โดยใช้โปรแกรมไฮซิส (HYSYS) ซึ่งมีขอบเขตของระบบเฉพาะขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ ซึ่งผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตทั้งสามแบบกระบวนการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 3.1- 3.3 โดยกำหนด

แบบที่ 1 คือ การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

แบบที่ 2 คือ การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม

แบบที่ 3 คือ การผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด

ตารางที่ 3.1 ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ และพลังงานที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ

วัตถุดิบ / ปริมาณ (kg/hr)	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
กะลามะพร้าว	16.6600	-	-
กะลาปาล์ม	-	12.2347	-
ซังข้าวโพด	-	-	13.9205
ก๊าซออกซิเจน	0.2133	0.0816	0.1818
ไอน้ำ	6.0000	6.0000	6.0000
พลังงานความร้อนที่ใช้ (kJ/hr)	85,240	82,003	83,240

ตารางที่ 3.2 ปริมาณผลิตภัณฑ์หลักของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ

ผลิตภัณฑ์หลัก (kg/hr)			
สาร	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
ถ่านกัมมันต์	1.0000	1.0000	1.0000

ตารางที่ 3.3 ปริมาณสารและพลังงานที่ปล่อยออกของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ

สาร	ปริมาณวัตถุดิบ (kg/hr)	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์		9.9734	8.1565
ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์		4.0133	2.8571	3.6591
ก๊าซมีเทน		3.4133	2.2313	2.2424
ก๊าซไฮโดรเจน		0.7600	0.6112	0.6136
ก๊าซไนตริกออกไซด์		0.5000	0.4592	0.1705
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์		0.2133	-	-
ไอน้ำ		0.1520	0.1520	0.1520

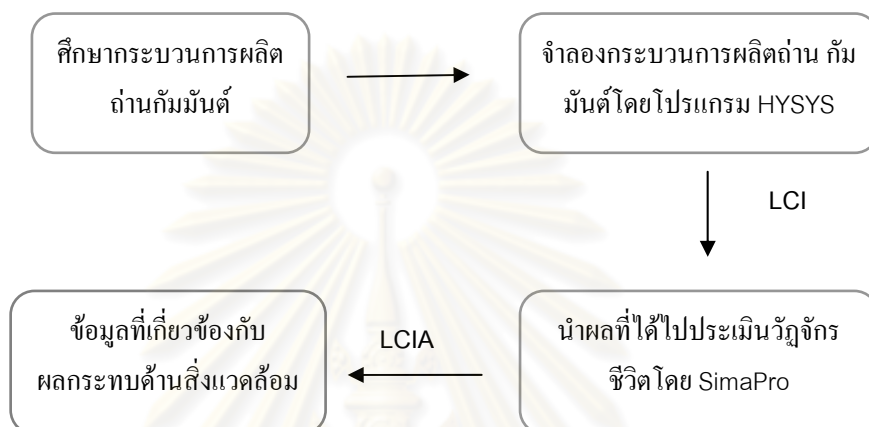
3.1.3 การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)

ขั้นตอนนี้จะเปลี่ยนหน่วยของปริมาณที่ได้จากการทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในหน่วยของผลกระทบ ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ของงานวิจัยนี้ ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปซิมาโปร (SimaPro) และใช้ดัชนีชี้วัดเชิงนิเวศน์ (Eco-indicator 99) คำนวณผลกระทบ

โดยวิธีที่ใช้คำนวณผลกระทบดัชนีชี้วัดเชิงนิเวศน์ (Eco-indicator 99) นั้น มีขั้นตอน คือ การกำหนดบทบาท (characterization) เพื่อเปลี่ยนปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกที่เป็นหน่วยกิโลกรัม ให้เป็นหน่วยของผลกระทบที่เกิดขึ้นในด้านต่างๆ ทั้ง 11 ผลกระทบและการถ่วงน้ำหนักผลกระทบ (weighting) ในรูปของคะแนนเดียว (single score)

3.1.4 การแปลผล (Life Cycle Interpretation)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการประเมินวัฏจักรชีวิต คือ นำผลที่ได้จากการประเมินผลกระทบ คือขั้นการประเมินผลกระทบมาแปลผล เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์



รูปที่ 3.2 ภาพรวมขั้นตอนการทำงานวิจัยในขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิต

3.2 ข้อสมมุติฐานและข้อจำกัด (Limitation and assumption)

ในการออกแบบและจำลองกระบวนการผลิตที่ใช้ในการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับงานวิจัยนี้ได้เก็บรวบรวมมาจากบทความเอกสารทางวิชาการระดับนานาชาติ สิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องและวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์ในประเทศไทย และทำการจำลองกระบวนการผลิตด้วยโปรแกรมไฮซิส (HYSYS) และใช้ฐานข้อมูลผลิตภัณฑ์จากโปรแกรมสำเร็จรูปซิมโปร (SimaPro)

3.3 โปรแกรมสำหรับการทำวิจัย

3.3.1 โปรแกรม Microsoft Office XP สำหรับการจัดทำรายงาน

3.3.2 โปรแกรมไฮซิส (HYSYS) สำหรับการจำลองกระบวนการผลิต

3.3.3 โปรแกรมสำเร็จรูปซิมโปร (SimaPro) สำหรับการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3.4 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้น

แสดงผลการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว (แบบที่ 1) กะลาปาล์ม (แบบที่ 2) และซังข้าวโพด (แบบที่ 3) โดยมีตัวอย่างการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นดังนี้

- กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว (แบบที่1)

$$\text{ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์} = 9.9734 \text{ kg} \times 1 \text{ kgCO}_2\text{e/kg} = 9.9734 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

$$\text{ก๊าซมีเทน} = 3.4133 \text{ kg} \times 25 \text{ kgCO}_2\text{e/kg} = 85.3325 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

$$\text{ไอน้ำ} = 0.1512 \text{ kg} \times 0.23 \text{ kgCO}_2\text{e/kg} = 0.0350 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

$$\text{การใช้ไฟฟ้า} = 39.247 \text{ kWh} \times 0.5610 \text{ kgCO}_2\text{e/kWh} = 22.0176 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

$$\text{การเผาไหม้ไม้} = 16.66 \text{ kg} \times 0.132 \text{ kgCO}_2\text{e/kg} = 2.1991 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

ซึ่งปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มและซังข้าวโพดก็คำนวณเช่นเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงผลการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ

สาร/พลังงาน	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้น(kgCO ₂ e)		
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
การเผาไม้	2.1991	1.6150	1.8375
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	9.9734	8.1565	9.4167
ก๊าซมีเทน	85.3325	55.7825	56.0600
ไอน้ำ	0.0350	0.0350	0.0350
ไฟฟ้า	22.0176	21.5127	21.7051

3.5 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการศึกษา

3.5.1 การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยชนิดของวัตถุดิบที่ใช้และลำดับขั้นตอนการผลิตมีดังนี้

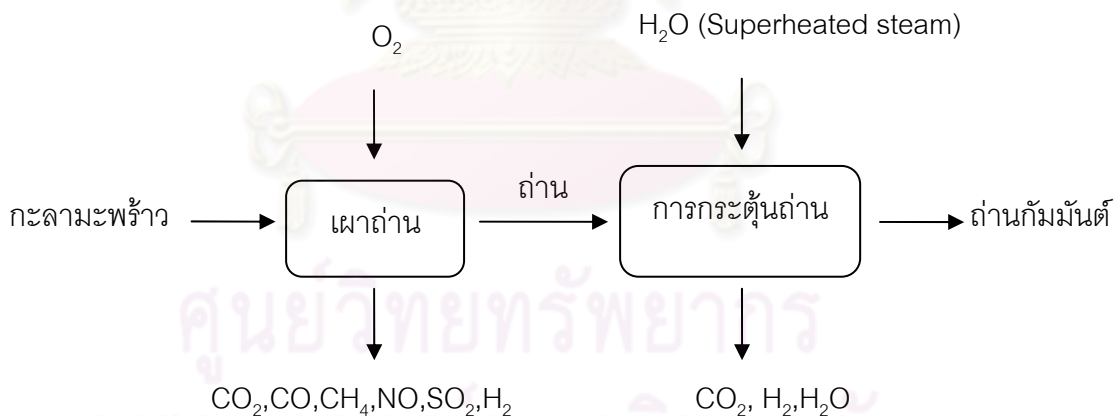
- ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลียนแบบกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้โปรแกรมไฮซิส (HYSYS) ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการจำลองกระบวนการผลิตนั้นได้มาจากสถิติบัตรและวารสารที่เกี่ยวข้อง จากข้อมูลเหล่านี้ทำให้แบ่งการผลิตถ่านกัมมันต์ได้เป็น 2 ส่วนหลักโดยได้แสดงภาพรวมดังรูปที่

3.3

3.5.1.1 การเผาถ่านหรือคาร์บอนในเซชัน

3.5.1.2 การกระตุ้นถ่านหรือการผลิตถ่านกัมมันต์



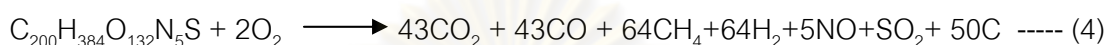
รูปที่ 3.3 แผนผังของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว แผนผังแสดงดังรูปที่ 3.3 โดยเริ่มจากนำกะลามะพร้าวเข้าสู่เตาเผา ซึ่งเรียกขั้นตอนนี้ว่า การเผาถ่านหรือคาร์บอนในเซชัน โดยให้อากาศเข้าไปเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ โดยหน่วยนี้มีสารที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซมีเทน ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซไนตริกออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นถ่าน แล้วส่งถ่านที่ได้ไปยังหน่วยกระตุ้นถ่านหรือการ

ผลิตถ่านกัมมันต์ โดยในหน่วยนี้จะทำการกระตุ้นโดยใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด ผลที่ได้จากหน่วยนี้ คือ ถ่านกัมมันต์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลัก ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ โดยมีการจำลองกระบวนการผลิตแบบที่ 1 แสดงดังรูปที่ 3.4

3.5.1.1 การเผาถ่านหรือคาร์บอนในเซชัน

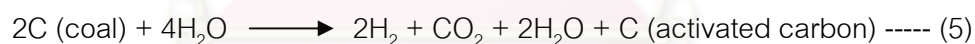
กะลามะพร้าวจะเข้าสู่เตาเผาเพื่อผลิตถ่าน โดยปฏิกิริยาเกิดดังสมการที่ 4



โดยอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ เวลาในการทำปฏิกิริยา คือ 2 ชั่วโมง

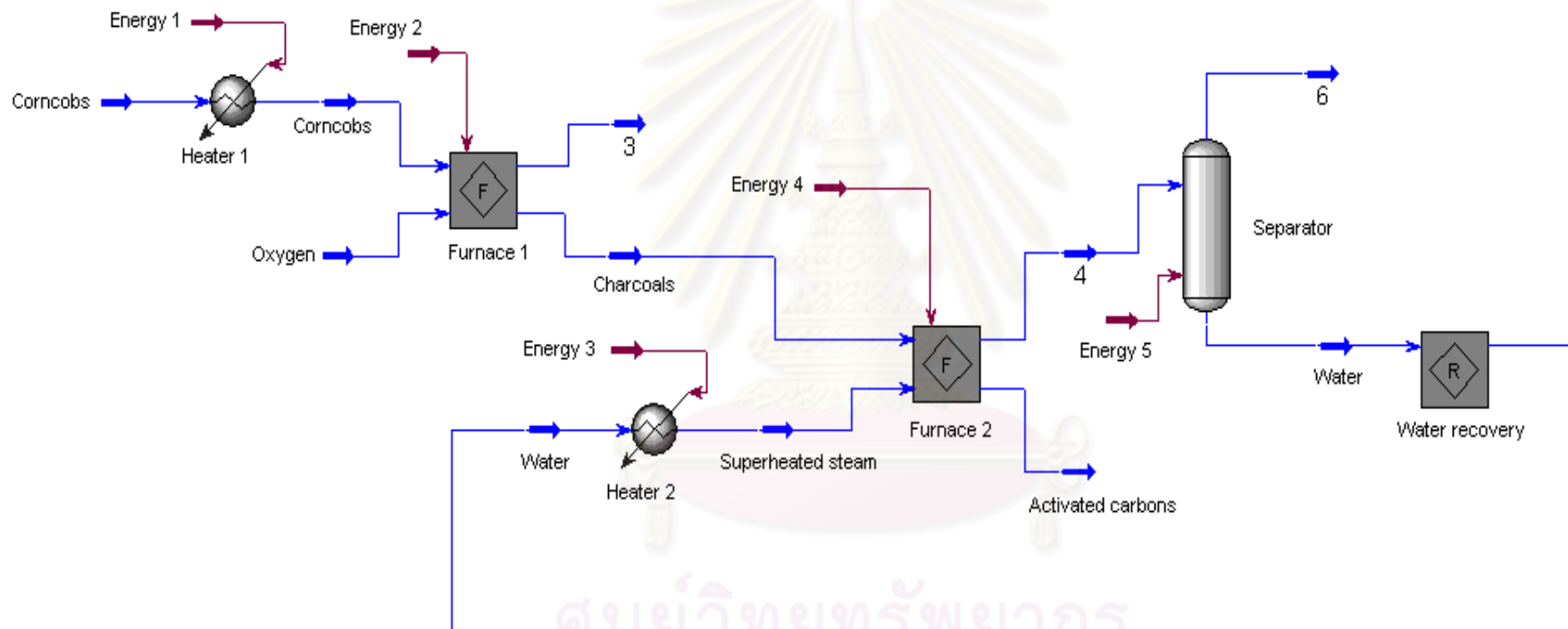
3.5.1.2 การกระตุ้นถ่านหรือการผลิตถ่านกัมมันต์

ในส่วนนี้จะนำถ่านที่ได้จากขั้นตอนแรก มากระตุ้นโดยไอน้ำร้อนยิ่งยวด โดยปฏิกิริยาเกิดดังสมการที่ 5



โดยอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 700 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ เวลาในการทำปฏิกิริยา คือ 2 ชั่วโมง

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.4 แผนผังจำลองโดยโปรแกรม HYSYS ของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

จากรูปที่ 3.4 แสดงแผนผังจำลองกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยกะลามะพร้าว ในเตาเผาที่ 1 เป็นส่วนของกระบวนการคาร์บอนไนเซชันหรือการเผาถ่าน ให้กะลามะพร้าวและก๊าซออกซิเจนเข้าเตาเผาที่ 1 ซึ่งกะลามะพร้าวจะถูกให้ความร้อนก่อนเพื่อเอาความชื้นออก ซึ่งในเตาเผาที่ 1 เกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส โดยกำหนดสายออกเป็นสายที่ 3 คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซมีเทน ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และ ก๊าซไนตริกออกไซด์ และอีกสายคือถ่าน จากนั้นนำถ่านที่ได้ไปกระตุ้นในเตาเผาที่ 2 โดยใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวดเป็นตัวกระตุ้นถ่านให้กลายเป็นถ่านกัมมันต์ ซึ่งน้ำจะถูกให้ความร้อนเพื่อให้กลายเป็นไอน้ำยิ่งยวดก่อนเข้าเตาเผาที่ 2 และทำปฏิกิริยากับถ่านที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส โดยกำหนดสายออกเป็นสายที่ 4 คือ ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ ส่วนอีกสายคือถ่านกัมมันต์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ จากนั้นนำสายที่ 4 ต่อกับเครื่องแยกเพื่อทำให้ไอน้ำควบแน่นเป็นน้ำ และแยกน้ำออกจากก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งให้สายออกเป็นสายที่ 6 คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนและไอน้ำที่เหลืออยู่เล็กน้อย ส่วนอีกสายก็คือน้ำ ซึ่งน้ำที่ได้จะนำกลับไปใช้ในกระบวนการใหม่อีกครั้ง

3.5.2 การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม

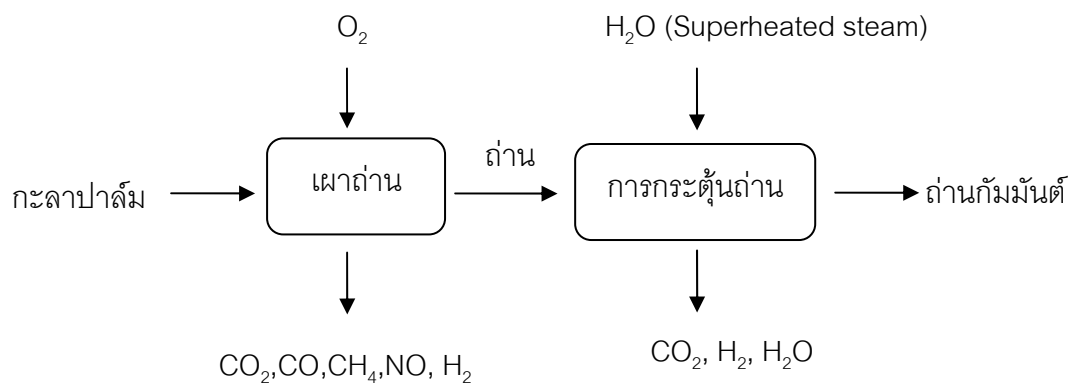
การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มโดยชนิดของวัตถุดิบที่ใช้และลำดับขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์มีดังนี้

- ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม

การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม มีลักษณะกระบวนการผลิตเหมือนกับการผลิตจากสารตั้งต้นที่เป็นกะลามะพร้าวแต่แตกต่างกันที่สภาวะที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นภาพรวมการผลิตแสดงดังรูปที่ 3.5 โดยได้มีการจำลองกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ แสดงดังรูปที่ 3.6

3.5.2.1 การเผาถ่านหรือคาร์บอนไนเซชัน

3.5.2.2 การกระตุ้นถ่านหรือการผลิตถ่านกัมมันต์



รูปที่ 3.5 แผนผังของการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม

3.5.2.1 การเผาถ่านหรือคาร์บอนไนเซชัน

กะลาปาล์มจะเข้าสู่เตาเผาเพื่อผลิตถ่าน โดยปฏิกิริยาเกิดดังสมการที่ 6

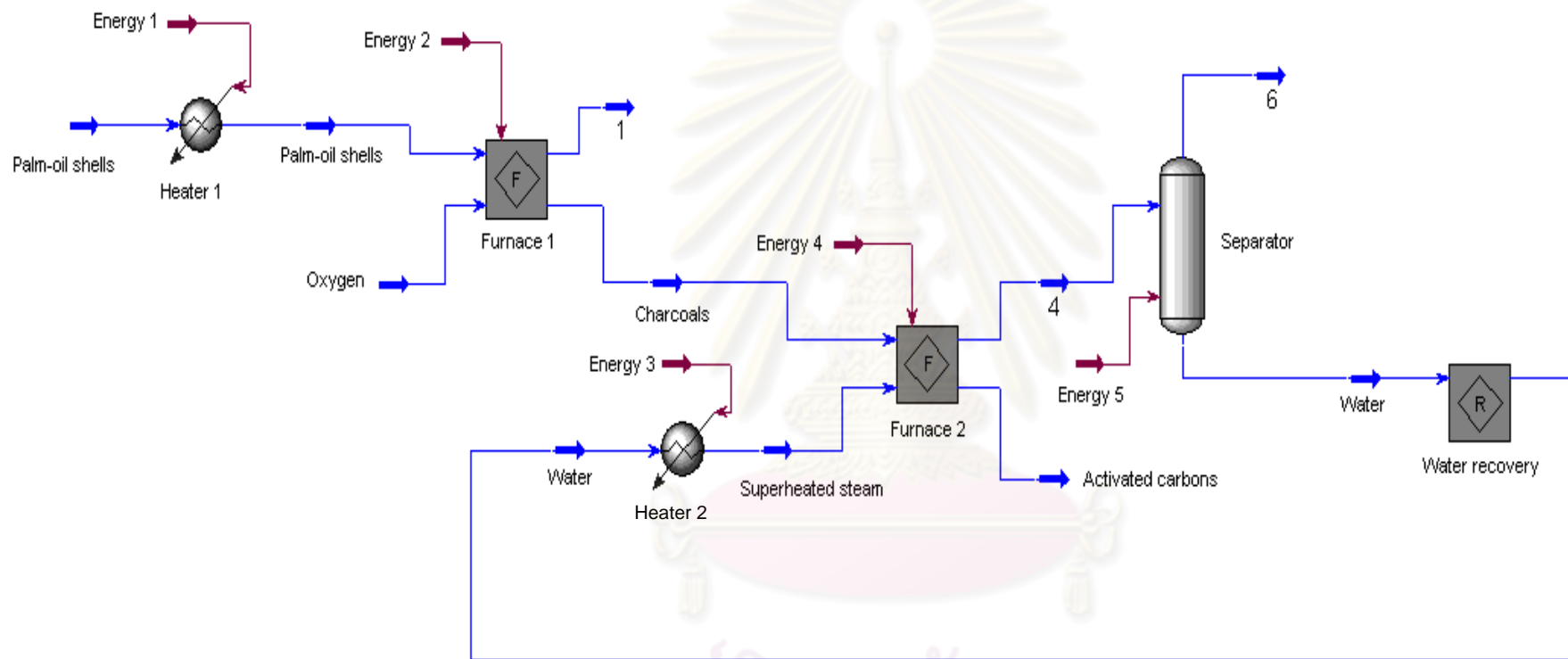


โดยอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ เวลาในการทำปฏิกิริยา คือ 2 ชั่วโมง

3.5.2.2 การกระตุ้นถ่านหรือการผลิตถ่านกัมมันต์

ในส่วนนี้จะนำถ่านที่ได้จากขั้นตอนแรกมากระตุ้นโดยไอน้ำร้อนยิ่งยวด โดยปฏิกิริยาเกิดดังสมการที่ 5 โดยอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 700 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ เวลาในการทำปฏิกิริยา คือ 2 ชั่วโมง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6 แผนผังจำลองโดยโปรแกรม HYSYS ของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 3.6 แสดงแผนผังจำลองกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยกะลาปาล์ม ในเตาเผาที่ 1 เป็นส่วนของกระบวนการคาร์บอนเซชันหรือการเผาถ่าน ให้กะลาปาล์มและก๊าซออกซิเจนเข้าเตาเผาที่ 1 ซึ่งกะลาปาล์มจะถูกให้ความร้อนก่อนเพื่อเอาความชื้นออก ซึ่งในเตาเผาที่ 1 เกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส โดยกำหนดสายออกเป็นสายที่ 1 คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซมีเทน ก๊าซไฮโดรเจน และ ก๊าซไนตริกออกไซด์ และอีกสายคือถ่าน จากนั้นนำถ่านที่ได้ไปกระตุ้นในเตาเผาที่ 2 โดยใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวดเป็นตัวกระตุ้นถ่านให้กลายเป็นถ่านกัมมันต์ ซึ่งไอน้ำจะถูกให้ความร้อนเพื่อให้กลายเป็นไอน้ำยิ่งยวดก่อนเข้าเตาเผาที่ 2 และทำปฏิกิริยากับถ่านที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส โดยกำหนดสายออกเป็นสายที่ 4 คือ ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ ส่วนอีกสายคือถ่านกัมมันต์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ จากนั้นนำสายที่ 4 ต่อกับเครื่องแยกเพื่อแยกน้ำออกจากก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และทำให้ไอน้ำควบแน่นเป็นน้ำ ซึ่งให้สายออกเป็นสายที่ 6 คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนและไอน้ำอีกเล็กน้อย ส่วนอีกสายก็คือ น้ำ ซึ่งน้ำที่ได้จะนำกลับไปใช้ในกระบวนการใหม่อีกครั้ง

3.5.3 การผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด

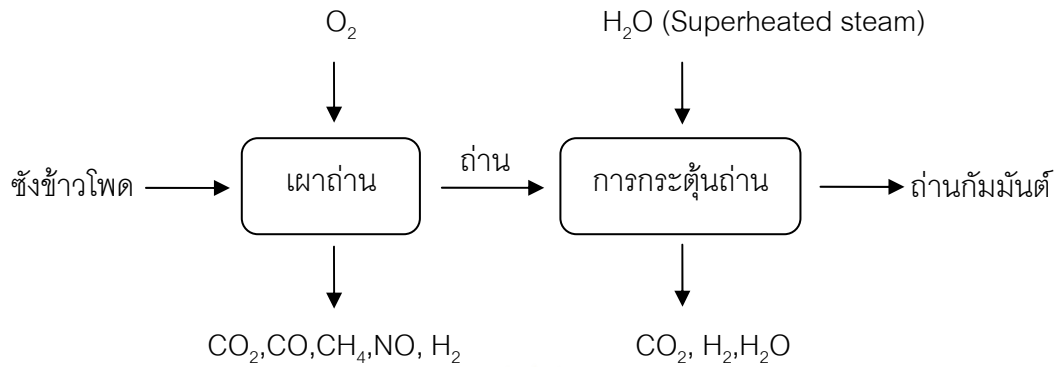
การผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดโดยชนิดของวัตถุดิบที่ใช้และลำดับขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์มีดังนี้

- ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด

การผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด มีลักษณะกระบวนการผลิตเหมือนกับการผลิตจากสารตั้งต้นที่เป็นกะลามะพร้าวและกะลาปาล์มแต่แตกต่างกันที่สภาวะที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาดังนั้นภาพรวมการผลิตแสดงดังรูปที่ 3.7 โดยได้มีการจำลองกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ แสดงดังรูปที่ 3.8

3.5.3.1 การเผาถ่านหรือคาร์บอนเซชัน

3.5.3.2 การกระตุ้นถ่านหรือการผลิตถ่านกัมมันต์



รูปที่ 3.7 แผนผังของการผลิตถ่านกัมมันต์จากซึ่งข้าวโพด

3.5.3.1 การเผาถ่านหรือคาร์บอนในเซชัน

ซึ่งข้าวโพดจะเข้าสู่เตาเผาเพื่อผลิตถ่าน โดยปฏิกิริยาเกิดดังสมการที่ 7

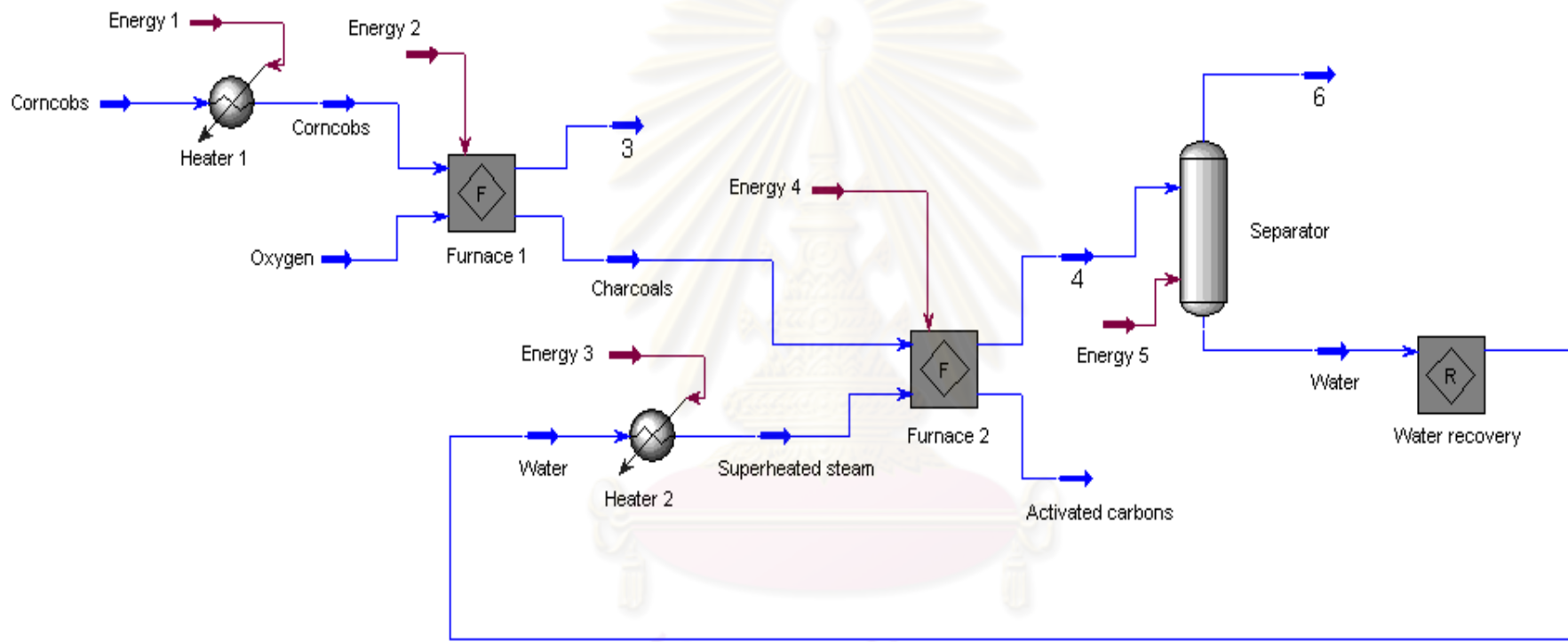


โดยอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ เวลาในการทำปฏิกิริยา คือ 2 ชั่วโมง

3.5.3.2 การกระตุ้นถ่านหรือการผลิตถ่านกัมมันต์

ในส่วนนี้จะนำถ่านที่ได้จากขั้นตอนแรกมากระตุ้นโดยไอน้ำร้อนยิ่งยวด โดยปฏิกิริยาเกิดดังสมการที่ 5 โดยอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 700 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ เวลาในการทำปฏิกิริยา คือ 2 ชั่วโมง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.8 แผนผังจำลองโดยโปรแกรม HYSYS ของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด

จากรูปที่ 3.8 แสดงแผนผังจำลองกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยซังข้าวโพด ในเตาเผาที่ 1 เป็นส่วนของกระบวนการคาร์บอนไนเซชันหรือการเผาถ่าน ให้ซังข้าวโพดและก๊าซออกซิเจนไหลเข้าเตาเผาที่ 1 ซึ่งซังข้าวโพดจะถูกให้ความร้อนก่อนเพื่อเอาความชื้นออก ซึ่งในเตาเผาที่ 1 เกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส โดยกำหนดสายออกเป็นสายที่ 3 คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซมีเทน ก๊าซไฮโดรเจน และ ก๊าซไนตริกออกไซด์ และอีกสายคือถ่าน จากนั้นนำถ่านที่ได้ไปกระตุ้นในเตาเผาที่ 2 โดยใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวดเป็นตัวกระตุ้นถ่านให้กลายเป็นถ่านกัมมันต์ ซึ่งไอน้ำจะถูกให้ความร้อนเพื่อให้กลายเป็นไอน้ำยิ่งยวดก่อนเข้าเตาเผาที่ 2 และทำปฏิกิริยากับถ่านที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส โดยกำหนดสายออกเป็นสายที่ 4 คือ ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ ส่วนอีกสายคือถ่านกัมมันต์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ จากนั้นนำสายที่ 4 ต่อกับเครื่องแยกเพื่อแยกน้ำออกจากก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และทำให้ไอน้ำควบแน่นเป็นน้ำ ซึ่งให้สายออกเป็นสายที่ 6 คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนและไอน้ำที่เหลืออีกเล็กน้อย และอีกสายก็คือ น้ำ ซึ่งน้ำที่ได้จะนำกลับไปใช้ในกระบวนการใหม่อีกครั้ง

ซึ่งภาวะของแต่ละสายของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ ค่าพลังงานแต่ละสายที่ใช้ และขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ แสดงดังตารางที่ ก1 - ก7 ในภาคผนวก ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

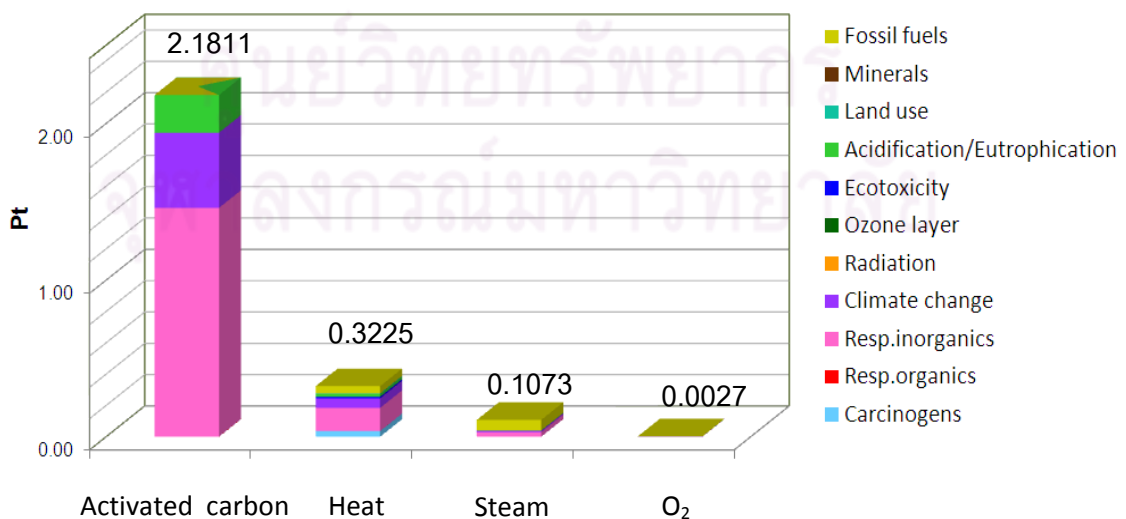
ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้สารตั้งต้นแตกต่างกัน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปซิมาโปร (SimaPro) ด้วยดัชนีชี้วัดเชิงนิเวศน์ (Eco-indicator 99) ผลที่ได้จะแสดงผลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตและผลกระทบที่เกิดจากการปล่อยสารออกจากกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยใช้วัตถุดิบต่างกันคือกะลามะพร้าว กะลาปาล์มและซังข้าวโพด โดยจะทำการแปลผลในรูปของกราฟประเมินความเสียหาย (Damage assessment) และกราฟคะแนนเดียว (Single score) เพื่ออธิบายถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นทั้ง 11 ประเภท

4.1.1 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

ในการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้กะลามะพร้าว ในการผลิตมีสารตั้งต้น คือ ก๊าซออกซิเจนและไอน้ำ พลังงานที่ใช้ในการผลิตคือพลังงานความร้อนที่ใช้ในเตาเผา โดยผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้แสดงดังรูปที่ 4.1 ซึ่งค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้ง 11 ประเภทของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว แสดงดังตารางที่ ค1 ในภาคผนวก ค

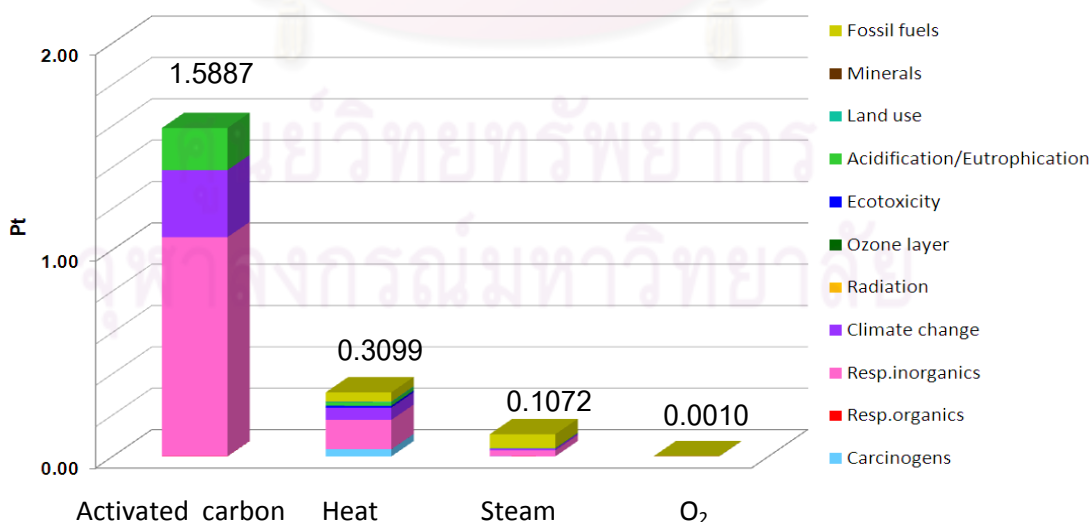


รูปที่ 4.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

จากรูปที่ 4.1 หน่วยของผลกระทบคือ Point : Pt โดยในขั้นตอนการผลิตของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ผลกระทบจากสารตั้งต้นนั้น ประกอบด้วย ก๊าซออกซิเจน และไอน้ำ โดยสารตั้งต้นที่มีผลกระทบมากที่สุดคือ ไอน้ำ มีค่าผลกระทบเท่ากับ 0.1073 Pt และผลกระทบรองลงมาคือ ก๊าซออกซิเจนมีค่าผลกระทบเท่ากับ 0.0027 Pt พลังงานที่ใช้ในกระบวนการส่งผลกระทบ 0.3225 Pt และพบว่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดของกระบวนการผลิตจากกะลามะพร้าว คือ ผลกระทบด้านการหายใจจากสารอินทรีย์มีค่าผลกระทบเท่ากับ 1.6380 Pt รองลงมา คือ ผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีค่าเท่ากับ 0.5504 Pt และในขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์นั้น มีผลกระทบด้านการหายใจจากสารอินทรีย์เท่ากับ 1.4600 Pt ผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเท่ากับ 0.4800 Pt และผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรด/ภาวะยูโทรฟิเคชันเท่ากับ 0.2400 Pt โดยผลกระทบทั้งหมดที่เกิดจากกระบวนการผลิตจากกะลามะพร้าว มีค่าเท่ากับ 2.6137 Pt

4.1.2 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม

ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มนั้น ชนิดของสารตั้งต้นและพลังงานที่ใช้ในการผลิตจะเหมือนกับกระบวนการผลิตจากกะลามะพร้าว แต่ปริมาณการใช้จะแตกต่างกัน โดยผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้แสดงดังรูปที่ 4.2 โดยค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้ง 11 ประเภทของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม แสดงดังตารางที่ ค2 ในภาคผนวก ค



รูปที่ 4.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม

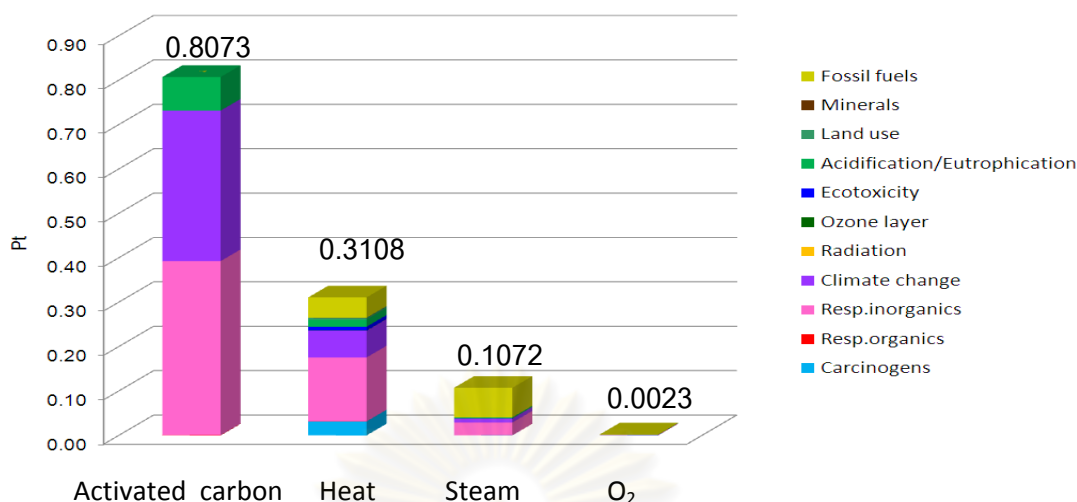
การผลิตถ่านกัมมันต์ของกระบวนการผลิตจากกะลาปาล์ม พบว่าผลกระทบทั้งหมดที่เกิดจากกระบวนการผลิต มีค่าเท่ากับ 2.0068 Pt และผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดของกระบวนการผลิต คือ ผลกระทบด้านการหายใจจากสารอินทรีย์ มีค่าผลกระทบ เท่ากับ 1.2312 Pt รองลงมา คือ ผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ มีค่าเท่ากับ 0.3919 Pt ซึ่งเป็นผลเช่นเดียวกับกระบวนการผลิตจากกะลามะพร้าว โดยในการผลิตถ่านกัมมันต์นั้น พบว่ามีผลกระทบหลักมาจากการผลิตถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีค่าผลกระทบสูงสุดเท่ากับ 1.5887 Pt และผลกระทบรองลงมาคือ การใช้พลังงานและการใช้น้ำ ซึ่งมีผลกระทบเท่ากับ 0.3009 Pt และ 0.1072 Pt ตามลำดับ และในการผลิตถ่านกัมมันต์นั้น มีผลกระทบด้านการหายใจจากสารอินทรีย์เท่ากับ 1.0600 Pt ผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเท่ากับ 0.3240 Pt และผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรดหรือภาวะยูโทรฟิเคชันเท่ากับ 0.2040 Pt

จะเห็นว่ากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม เนื่องจาก เมื่อให้ผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์เท่ากับ 1 กิโลกรัม กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวจะใช้วัตถุดิบ สารตั้งต้น และพลังงานมากกว่า รวมถึงให้ปริมาณก๊าซพิษมากกว่ากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม

4.1.3 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด

การผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดนั้น ชนิดของสารตั้งต้นและพลังงานที่ใช้ในการผลิต จะเหมือนกับกระบวนการผลิตจากกะลามะพร้าว แต่ปริมาณการใช้จะแตกต่างกัน โดยผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้แสดงดังรูปที่ 4.3 ซึ่งค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้ง 11 ประเภทของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด แสดงดังตารางที่ ค3 ในภาคผนวก ค

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด

จากรูปที่ 4.3 พบว่า ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มากที่สุดของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด คือ ผลกระทบด้านการหายใจจากสารอินทรีย์ มีค่าผลกระทบ เท่ากับ 0.5657 Pt รองลงมา คือ ผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ มีค่าเท่ากับ 0.4080 Pt ซึ่งเป็นผลเช่นเดียวกับกระบวนการผลิตจากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์ม โดยผลกระทบทั้งหมดที่เกิดจากกระบวนการผลิตมีค่าเท่ากับ 1.2276 Pt และในขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ พบว่า ผลกระทบหลักมาจากการผลิตถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีค่าผลกระทบเท่ากับ 0.8073 Pt และผลกระทบรองลงมาคือ การใช้พลังงานและการใช้ไอน้ำ ซึ่งมีผลกระทบเท่ากับ 0.3108 Pt และ 0.1072 Pt ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลเช่นเดียวกับกระบวนการผลิตจากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์ม และในการผลิตถ่านกัมมันต์นั้น มีผลกระทบด้านการหายใจจากสารอินทรีย์เท่ากับ 0.3920 Pt ผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเท่ากับ 0.3390 Pt และผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรดหรือภาวะยูโทรฟิเคชันเท่ากับ 0.0756 Pt และจะเห็นว่าการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

สาเหตุที่ทำให้การผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดมีผลกระทบน้อยกว่าการผลิตจากกะลามะพร้าว เนื่องจาก การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวใช้ปริมาณวัตถุดิบ สารตั้งต้น และพลังงานมากกว่า รวมถึงให้ก๊าซพิษมากกว่ากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด และถึงแม้ว่ากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มจะใช้ปริมาณวัตถุดิบและพลังงานน้อยกว่ากระบวนการผลิตจากซังข้าวโพด แต่กระบวนการผลิตจากกะลาปาล์มกลับให้ปริมาณของก๊าซไนตริกออกไซด์มากกว่าถึง 3 เท่า จึงส่งผลให้กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด

4.2 ผลการประเมินเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตถ่านกัมมันต์

จากการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของแต่ละแบบของการผลิตในหัวข้อ 4.1 ทำให้ทราบว่าในแต่ละแบบของกระบวนการผลิตนั้น มีผลกระทบหลักมาจากวัตถุดิบตัวใดและผลกระทบมาจากขั้นตอนใดของการผลิตถ่านกัมมันต์ แต่ในหัวข้อนี้จะเสนอผลของการเปรียบเทียบในแต่ละแบบของกระบวนการผลิตเพื่อที่จะสามารถตัดสินใจได้ว่าทางเลือกใดที่จะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยการประเมินผลเพื่อเปรียบเทียบนั้นในงานวิจัยนี้ได้แบ่งขอบเขตของผลกระทบที่ศึกษาเป็นสามขอบเขตของการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตถ่านกัมมันต์ดังนี้

- 4.2.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์
- 4.2.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์
- 4.2.3 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตั้งแต่การผลิตถ่านจนถึงขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (รวมผลกระทบจากขอบเขต 1 และ 2) หรือเรียกว่า cradle-to-gate

กราฟที่นำมาเสนอเพื่อเปรียบเทียบค่าผลกระทบของทั้งสามแบบการผลิตนั้น จะเป็นกราฟที่อธิบายแต่ละกลุ่มผลกระทบหลัก ประกอบด้วยผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human health) อธิบายในหน่วย DALY ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ (Ecosystem quality) ซึ่งอธิบายในหน่วย $\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$ และผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ (Resource) อธิบายในหน่วยผลกระทบเป็น MJ surplus ซึ่งเป็นหน่วยของผลกระทบของสามกลุ่มผลกระทบดังนี้

ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human health) อธิบายในหน่วย DALY ย่อมาจาก Disability Adjusted Life Years หมายถึงจำนวนปีที่ต้องเจ็บป่วยและตายก่อนวัยอันควร โดยมีสาเหตุมาจากประเภทผลกระทบดังนี้ สารก่อมะเร็ง (Carcinogenic) ผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร (Respiration of organic substance) ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiration of inorganic substance) สารแผ่รังสี (Radiation) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) การลดลงของโอโซน (Ozone depletion)

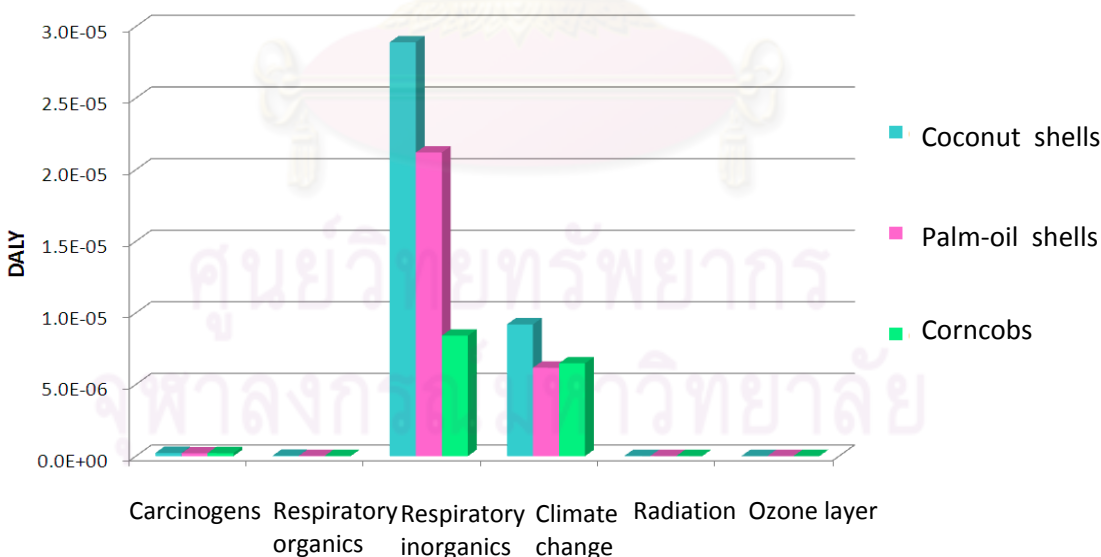
ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ (Ecosystem quality) อธิบายในหน่วย $\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$ ย่อมาจาก Potentially Disappeared Fraction ซึ่งหมายถึงสัดส่วนของสิ่งมีชีวิตที่หายไปบนพื้นที่ 1 ตารางเมตรในระยะเวลา 1 ปี โดยมีสาเหตุมาจากประเภทผลกระทบต่างๆ ดังนี้คือ ภาวะความเป็นกรด/

ภาวะยูโทรฟิเคชัน (Acidification/Eutrophication) ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicity) และการใช้พื้นที่ (Land use)

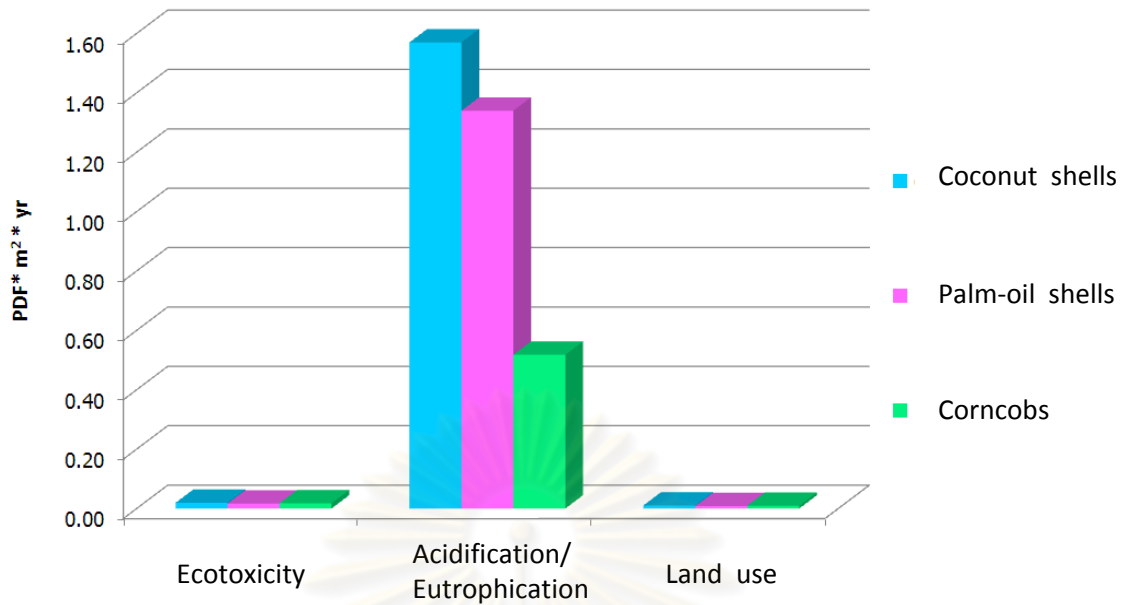
ผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ (Resource) อธิบายในหน่วย MJ surplus ซึ่งเป็นหน่วยของพลังงานที่ใช้ในการสกัดแร่ในอนาคต โดยมีสาเหตุมาจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (fossil fuels) และการใช้สินแร่ (Mineral)

4.2.1 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ

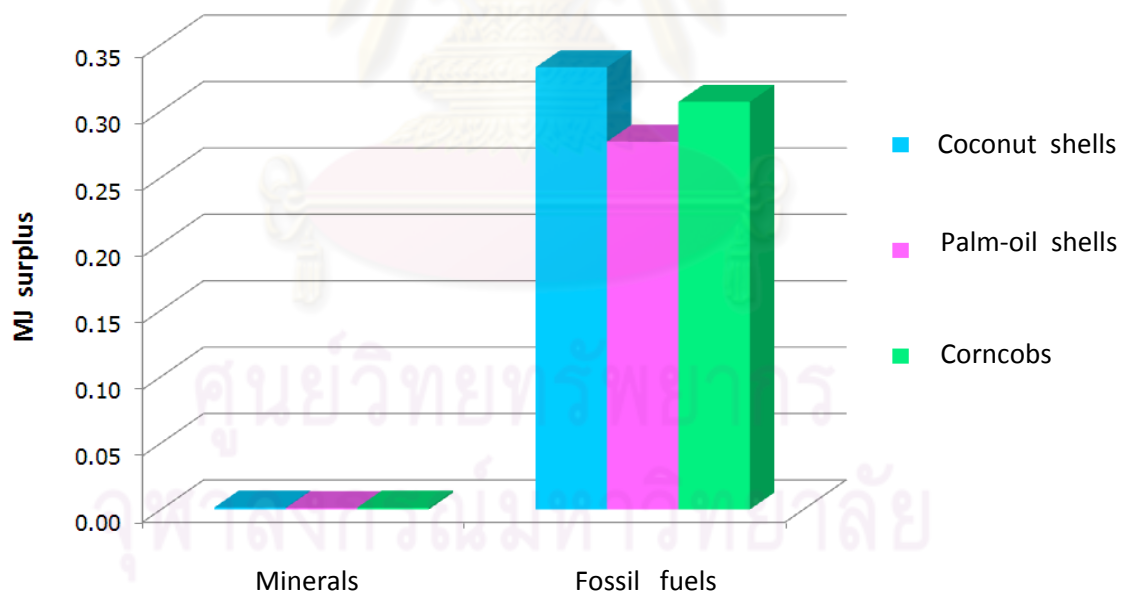
ผลการเปรียบเทียบของขอบเขตของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มาจากขั้นตอนการผลิตถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ของทั้งสามกลุ่มผลกระทบหลัก คือ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human health) ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ (Ecosystem quality) และผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ (Resource) ได้แสดงดังรูปที่ 4.4 - 4.6 และการเปรียบเทียบผลกระทบคะแนนเดียว แสดงดังรูปที่ 4.7 ซึ่งค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งสามกลุ่มผลกระทบ และแบบคะแนนเดียว (Single score) ในขั้นตอนการผลิตถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ แสดงดังตารางที่ ค4 - ค7 ในภาคผนวก ค



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ: กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ: กลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ: กลุ่มผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ

จากรูปที่ 4.4 - 4.6 จะเห็นว่าผลกระทบที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตถ่านไม่ว่าจะใช้กระบวนการผลิตแบบใดในการผลิตจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลักเหมือนกันในทั้งสามกลุ่มผลกระทบ

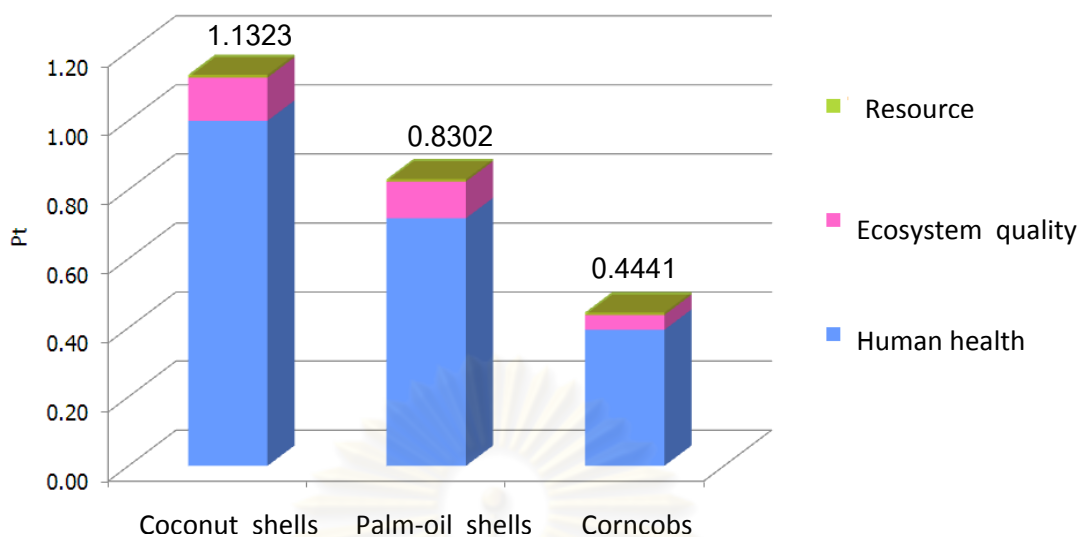
จากรูปที่ 4.4 พบว่าผลกระทบที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบนี้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ มีผลกระทบทั้งหมดคือ สารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง ผลกระทบด้านการหายใจจากสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สารแผล่งสีและการลดลงของชั้นโอโซน

จากรูปที่ 4.5 พบว่าผลกระทบที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตถ่านที่มีผลต่อระบบนิเวศนั้นมีผลกระทบทั้งหมด คือ ด้านภาวะความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ ด้านภาวะความเป็นกรด/และการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันและด้านการใช้พื้นที่

จากรูปที่ 4.6 พบว่าผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ มีผลกระทบหลักมาจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล

เมื่อเปรียบเทียบทั้งสามแบบการผลิต พบว่ากระบวนการผลิตถ่านจากกะลามะพร้าว เป็นกระบวนการผลิตที่มีค่าผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตมากกว่าแบบอื่นทุกประเภท เนื่องจากเป็นกระบวนการผลิตถ่านจากกะลามะพร้าวใช้ปริมาณวัตถุดิบและพลังงานในการผลิต รวมถึงให้ปริมาณก๊าซพิษมากกว่ากระบวนการผลิตถ่านจากกะลาปาล์มและซังข้าวโพด ดังนั้นจึงทำให้กระบวนการผลิตถ่านจากกะลามะพร้าว มีผลกระทบมากที่สุด ส่วนกระบวนการผลิตที่มีค่าผลกระทบจากวัตถุดิบน้อยที่สุดคือกระบวนการผลิตถ่านจากซังข้าวโพด ยกเว้นผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติจะเห็นว่าการผลิตถ่านจากซังข้าวโพดใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นอันดับ 2 รองจากการผลิตถ่านจากกะลามะพร้าว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

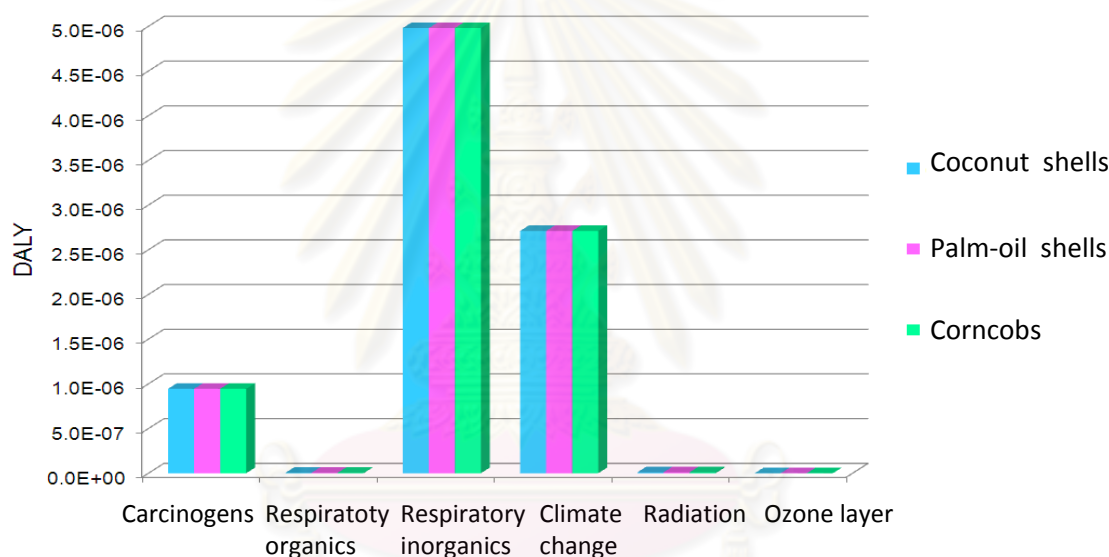


รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ : ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหน่วย Pt (กราฟคะแนนเดียว)

จากกราฟที่ 4.7 พบว่าผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตถ่านทั้งสามแบบ ขั้นตอนการผลิตถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.1323 Pt รองลงมาคือขั้นตอนการผลิตถ่านจากกะลาปาล์มเท่ากับ 0.8302 Pt และขั้นตอนการผลิตถ่านของกระบวนการผลิตจากซังข้าวโพดส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดเท่ากับ 0.4441 Pt โดยทั้งสามแบบการผลิตมีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human health) มากที่สุด รองลงมาคือ ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ (Ecosystem Quality) และสุดท้ายคือ ผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ (Resources) สาเหตุที่ทั้งสามแบบการผลิต มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อสุขภาพมนุษย์มากที่สุด เนื่องจากในขั้นตอนการผลิตถ่านมีก๊าซพิษปล่อยออกมาสู่บรรยากาศในปริมาณมาก จึงส่งผลกระทบต่อทางเดินหายใจจากสารอินทรีย์ และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมากกว่าผลกระทบด้านอื่น จึงทำให้มีผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์มากกว่าผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ และผลต่อทรัพยากรธรรมชาติ

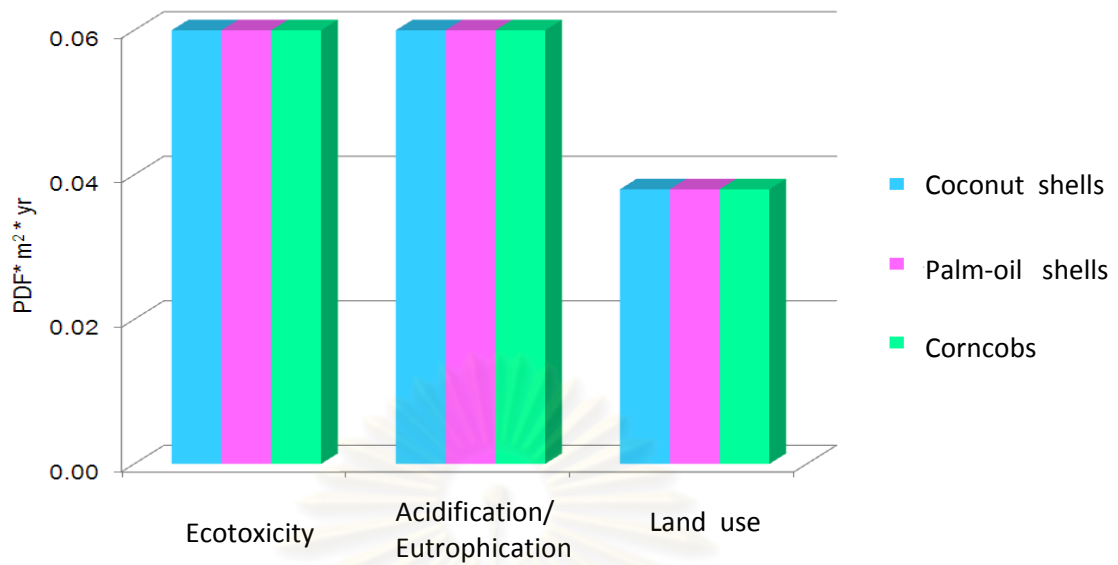
4.2.2 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ

ผลการเปรียบเทียบในขอบเขตผลกระทบที่มาจากขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ในสามกลุ่มผลกระทบหลัก คือ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ และผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ แสดงดังรูปที่ 4.8 - 4.10 และการเปรียบเทียบผลกระทบคะแนนเดียว แสดงดังรูปที่ 4.11 ซึ่งค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งสามกลุ่มผลกระทบ และแบบคะแนนเดียว (Single score) ในขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ แสดงดังตารางที่ ค8 - ค11 ในภาคผนวก ค



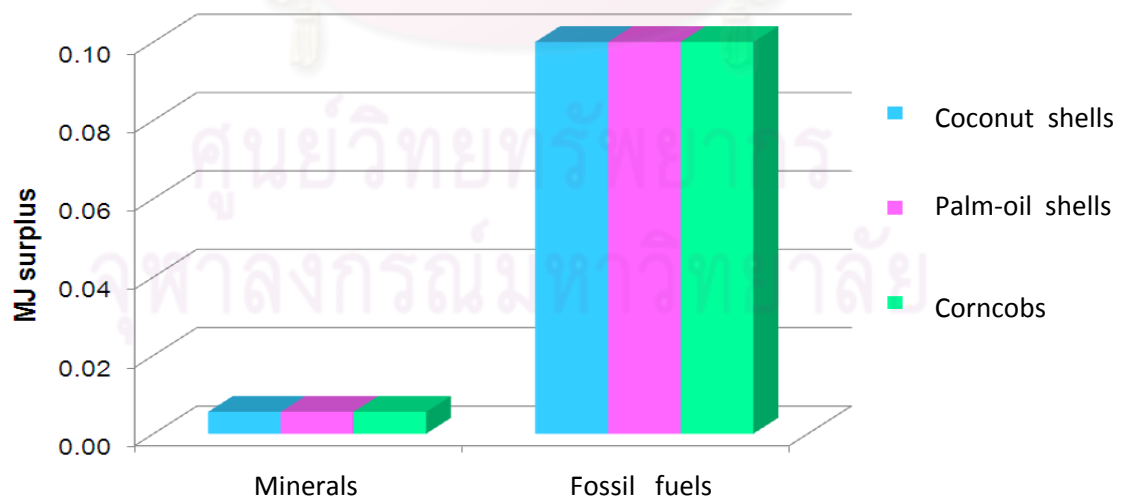
รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ : กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์

จากรูปที่ 4.8 พบว่า ผลกระทบที่เกิดจากขั้นตอนการกระตุ้นถ่านเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลักเหมือนกันทั้งสามกลุ่มผลกระทบ คือ ผลกระทบด้านการเกิดสารก่อมะเร็ง ผลกระทบด้านการหายใจจากสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ผลกระทบด้านการกีดสารแฉะรังสีและการลดลงของชั้นโอโซน โดยผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ที่มากที่สุดคือ ผลกระทบด้านทางเดินหายใจเนื่องจากสารอนินทรีย์ รองลงมาคือผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และผลกระทบด้านการเกิดสารก่อมะเร็งตามลำดับ และจะเห็นว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมีค่าเท่ากันทั้งสามกระบวนการผลิต



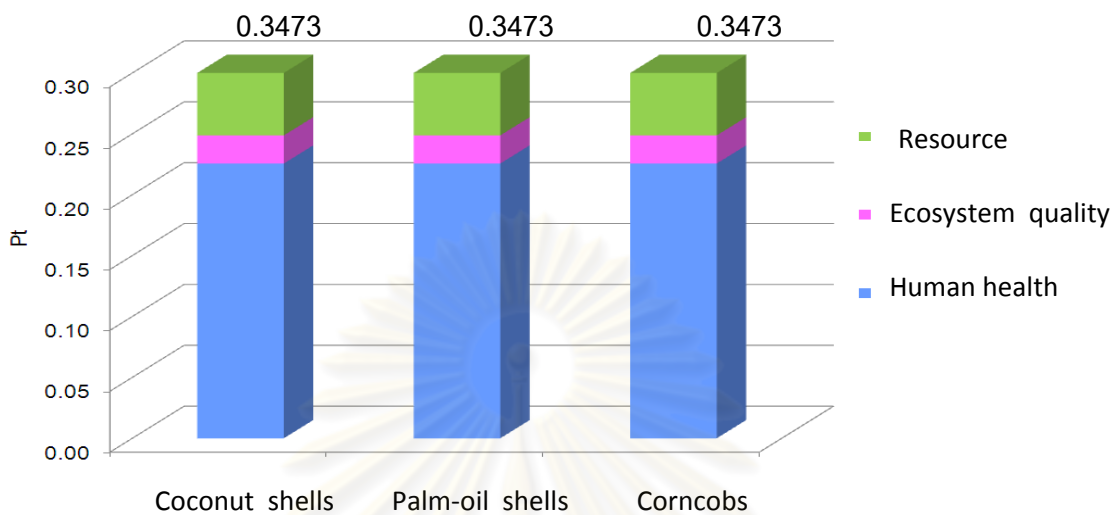
รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ: กลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์

จากรูปที่ 4.9 พบว่า ในขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบนี้ส่งผลผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ในทุกด้าน คือ ผลกระทบด้านภาวะความเป็นพิษ ผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรด/การเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน และด้านการใช้พื้นที่ โดยจะส่งผลกระทบต่อด้านภาวะความเป็นกรด/การเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันมากที่สุด รองลงมาคือ ด้านภาวะความเป็นพิษ และด้านการใช้พื้นที่ ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ : กลุ่มผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ

จากรูปที่ 4.10 พบว่าผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ มีผลกระทบหลักมาจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบให้ค่าผลกระทบใกล้เคียงกัน



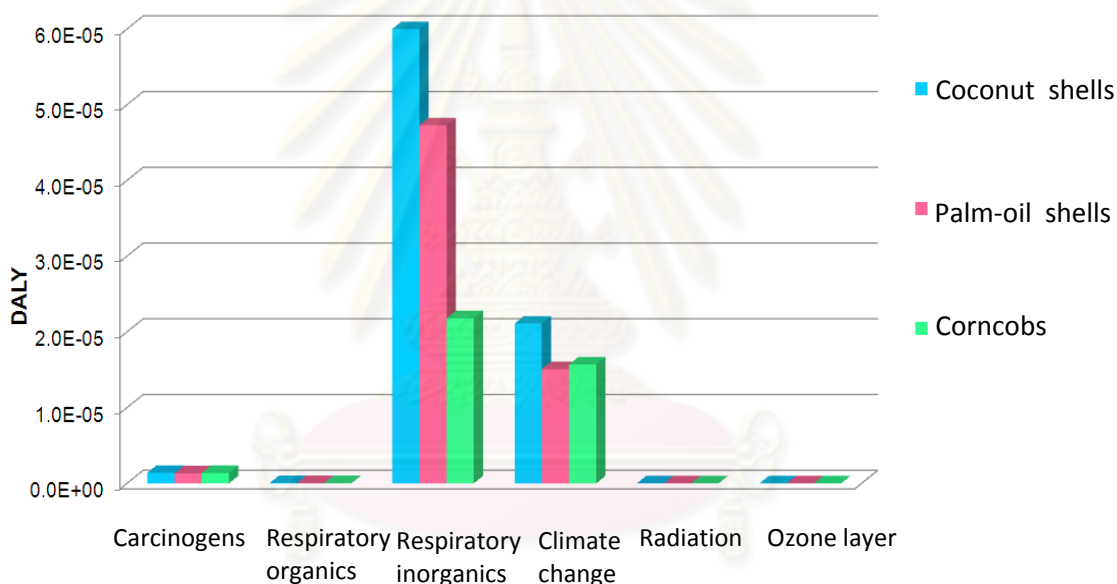
รูปที่ 4.11 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ : กลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหน่วย Pt (กราฟคะแนนเดียว)

จากรูปที่ 4.11 เป็นกราฟผลกระทบคะแนนเดียวของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ พบว่า ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว กะลาปาล์ม และขังข้าวโพด มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากันคือ 0.3473 Pt

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

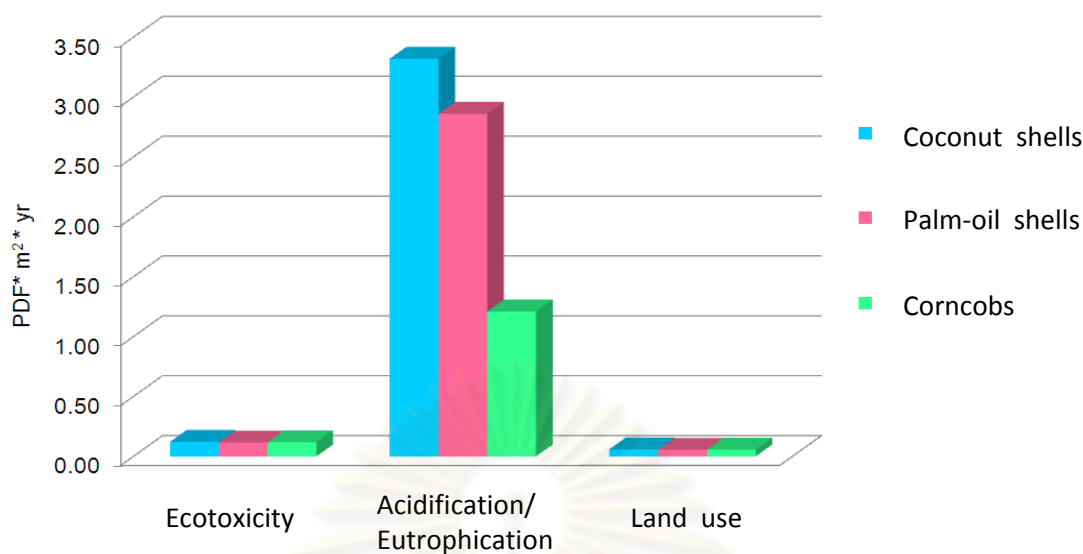
4.2.3. เปรียบเทียบผลกระทบตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตถ่านจนถึงขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (Cradle-to-gate) ทั้งสามแบบ

ผลการเปรียบเทียบในขอบเขตการประเมินผลกระทบตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตถ่านจนถึงขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (Cradle-to-gate) ทั้งสามแบบ ในสามกลุ่มผลกระทบหลัก คือ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ และผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ แสดงดังรูปที่ 4.12 - 4.14 และการเปรียบเทียบผลกระทบคะแนนเดียว แสดงดังรูปที่ 4.15 ซึ่งค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งสามกลุ่มผลกระทบ และแบบคะแนนเดียว (Single score) ของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (Cradle-to-gate) ทั้งสามแบบ แสดงดังตารางที่ ค12 - ค15 ในภาคผนวก ค



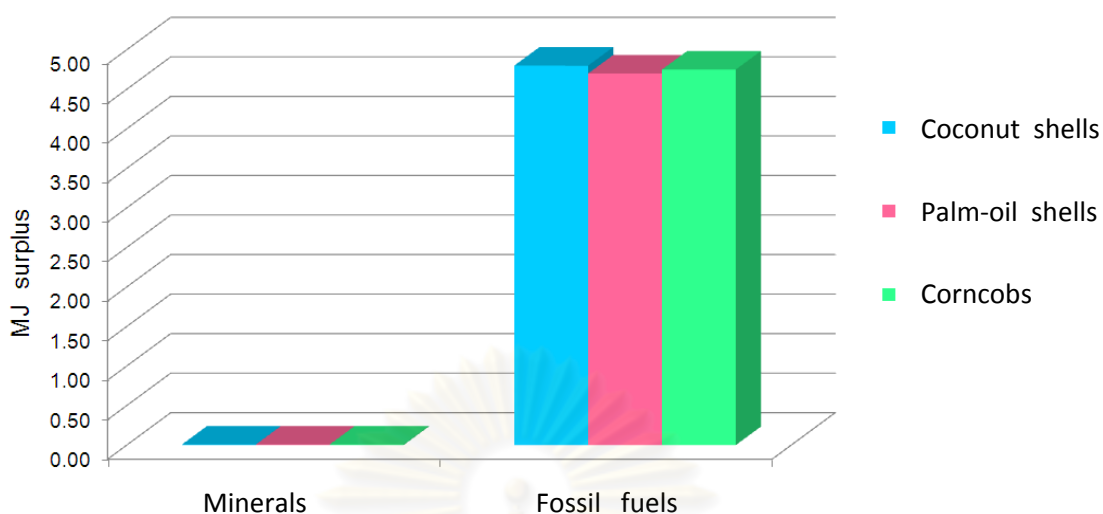
รูปที่ 4.12 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตถ่านจนถึงขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (Cradle-to-gate) ทั้งสามแบบ : กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์

ในกลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ แสดงดังรูปที่ 4.12 พบว่า ทั้งสามกระบวนการผลิตมีค่าผลกระทบหลักเหมือนกัน จากรูปจะเห็นว่า การผลิตในขอบเขต Cradle-to-gate สาเหตุหลักที่มีผลกระทบต่อมนุษย์ คือ ผลกระทบด้านการหายใจจากสารอินทรีย์ และด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งพบว่ากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว มีผลกระทบมากที่สุดในทุกประเภทผลกระทบ



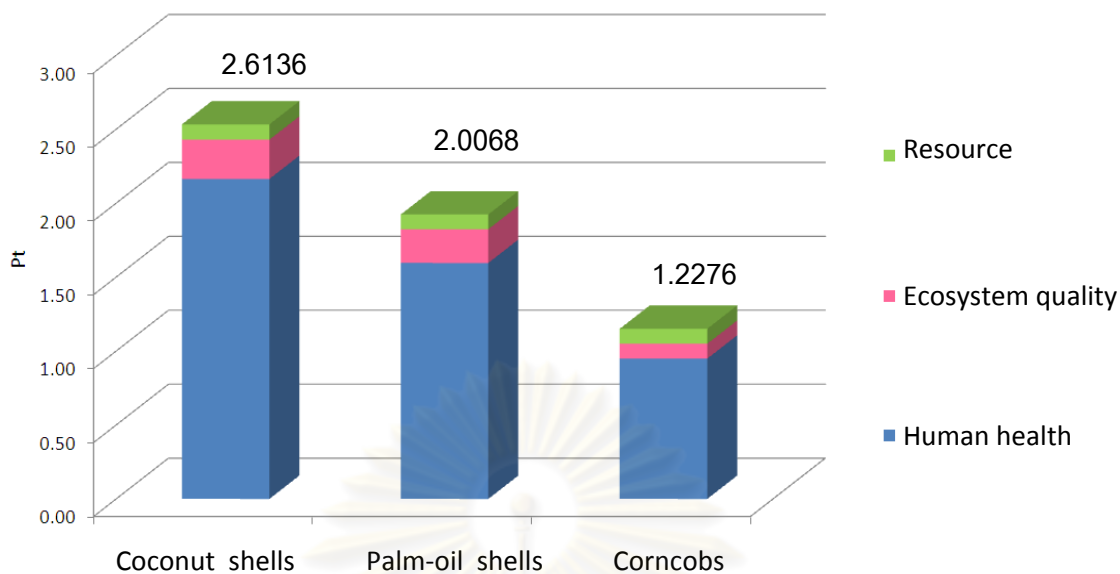
รูปที่ 4.13 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตถ่านจนถึงขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (Cradle-to-gate) ทั้งสามแบบ : กลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์

ในกลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ของค่าผลกระทบตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตถ่านจนถึงขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (Cradle-to-gate) ทั้งสามแบบ แสดงดังรูปที่ 4.13 พบว่า ผลกระทบในขั้น Cradle-to-gate นั้น แสดงผลกระทบทั้งหมดคือ ผลกระทบด้านความเป็นพิษ ด้านภาวะความเป็นกรด/ยูโทรฟิเคชัน และด้านการใช้พื้นที่ โดยมีผลกระทบหลักคือ ด้านภาวะความเป็นกรด/ยูโทรฟิเคชัน โดยกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว มีผลกระทบในกลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์มากกว่ากระบวนการผลิตแบบอื่นในทุกประเภท ผลกระทบย่อย ส่วนกระบวนการผลิตจากซังข้าวโพด เป็นกระบวนการผลิตที่มีค่าผลกระทบน้อยที่สุดทุกประเภทผลกระทบ



รูปที่ 4.14 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตจนถึงขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (Cradle-to-gate) ทั้งสามแบบ : กลุ่มผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ

ในกลุ่มผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติของค่าผลกระทบตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตจนถึงขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (Cradle-to-gate) ทั้งสามแบบ แสดงดังรูปที่ 4.14 พบว่า ค่าผลกระทบหลักที่มากที่สุด คือ ผลกระทบด้านการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว มีผลกระทบในขอบเขตนี้มากที่สุด ส่วนกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม มีผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติน้อยที่สุด



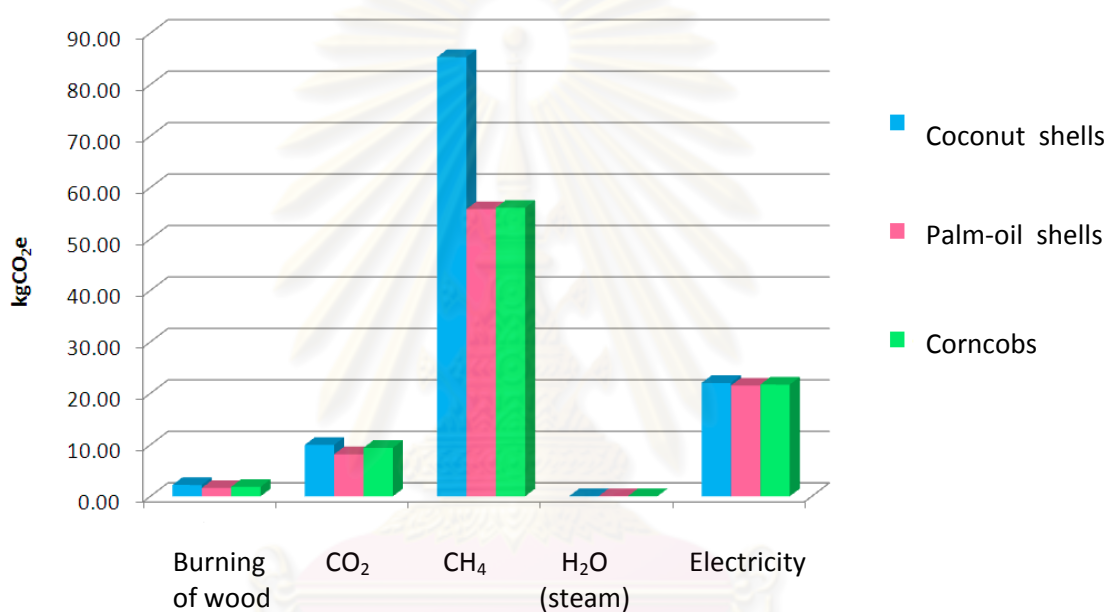
รูปที่ 4.15 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตถ่านจนถึงขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (Cradle-to-gate) ทั้งสามแบบ : กลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหน่วย Pt (กราฟคะแนนเดียว)

เมื่อดูผลกราฟที่รวมเป็นคะแนนเดียวของผลกระทบจากการผลิตถ่านจนถึงขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (Cradle-to-gate) ทั้งสามแบบ จะทำให้ทราบได้ว่าทางเลือกใดที่มีผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด นั่นคือกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากขังข้าวโพด รองลงมาก็คือ กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม และกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวมีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยมีค่าผลกระทบเรียงลำดับดังนี้ 1.2276 Pt 2.0068 Pt และ 2.6136 Pt ตามลำดับ โดยการผลิตถ่านกัมมันต์พบว่า มีผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์มากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

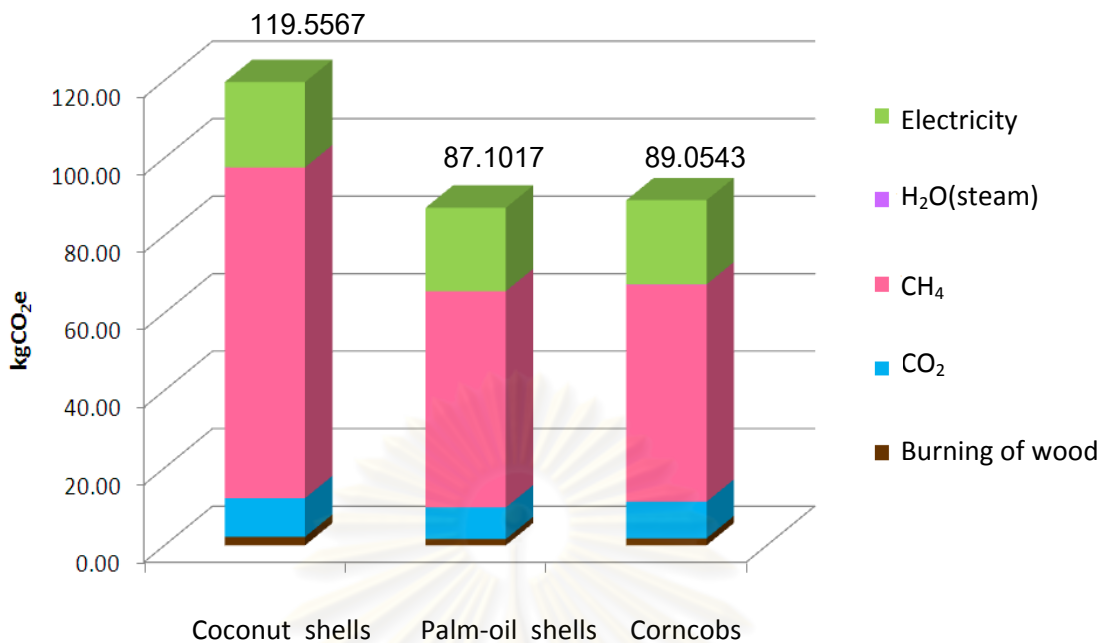
4.3 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบโดยวิธีวัดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้น

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้สารตั้งต้นแตกต่างกัน โดยวิธีวัดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้น ผลที่ได้จะแสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของพลังงานที่ใช้และก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกจากกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยใช้วัสดุดิบต่างกันคือกะลามะพร้าว กะลาปาล์มและซังข้าวโพด โดยการแปลผลจะให้อยู่ในหน่วยของคาร์บอนเทียบเท่า แสดงดังกราฟ 4.16 - 4.17



รูปที่ 4.16 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนของพลังงานที่ใช้และก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกจากกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบในหน่วย

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า



รูปที่ 4.17 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบในหน่วยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

จากรูปที่ 4.16 และ 4.17 พบว่า ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบนี้ ก๊าซมีเทนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนมากที่สุด โดยกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนมากที่สุดเท่ากับ 119.5567 kgCO₂e รองลงมาคือกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากชังข้าวโพดเท่ากับ 89.0543 kgCO₂e และกระบวนการผลิตที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด คือ กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มเท่ากับ 87.1017 kgCO₂e ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในกลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ เนื่องจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนเป็นเซตย่อย (Subset) ของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ดังนั้นผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบที่ต่างกัันทั้งสามกระบวนการ แสดงดังตารางที่ 4.1 – 4.5

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมกลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human health) ของการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ

ผลกระทบ	กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์(DALY)		
	กะลามะพร้าว	กะลาปาล์ม	ซังข้าวโพด
1. สารก่อมะเร็ง (Carcinogenic)	1.39E-06	1.33E-06	1.36E-06
2. ผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร (Respiration of organic substance)	4.85E-08	3.32E-08	3.34E-08
3. ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiration of inorganic substance)	6.28E-05	4.73E-05	2.18E-05
4. สารแผ่รังสี (Radiation)	2.11E-05	1.51E-05	1.57E-05
5. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change)	1.65E-08	1.47E-08	1.58E-08
6. การลดลงของโอโซน (Ozone layer)	6.52E-10	6.12E-10	6.34E-10
รวม	8.54E-05	6.38E-05	3.89E-05

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมกลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ (Ecosystem quality) ของการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ

ผลกระทบ	กลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์(PDF*m ² yr)		
	กะลามะพร้าว	กะลาปาล์ม	ซังข้าวโพด
1. ภาวะความเป็นกรด(Acidification) /ภาวะยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication)	0.1210	0.1160	0.1180
2. ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicity)	3.3200	2.8600	1.2100
3. การใช้พื้นที่ (Land use)	0.0584	0.0547	0.0567
รวม	3.4994	3.0307	1.3847

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมกลุ่มผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ (Resource) ของการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ

ผลกระทบ	กลุ่มผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ (MJ surplus)		
	กะลามะพร้าว	กะลาปาล์ม	ซังข้าวโพด
1. การใช้สินแร่ (Mineral)	0.0088	0.0081	0.0085
2. การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (fossil fuels)	4.8000	4.7000	4.7500
รวม	4.8088	4.7081	4.7585

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรวมแบบคะแนนเดียวของการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ

ผลกระทบ	คะแนนเดียว(Pt)		
	กะลามะพร้าว	กะลาปาล์ม	ซังข้าวโพด
1. กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human health)	2.2262	1.6591	1.0066
2. กลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ (Ecosystem quality)	0.2729	0.2356	0.1077
3. กลุ่มผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ (Resource)	0.1145	0.1121	0.1133
รวม	2.6136	2.0068	1.2276

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อน (Carbon footprint) ของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ

สาร/พลังงาน	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์(kgCO ₂ e)		
	กะลามะพร้าว	กะลาปาล์ม	ซังข้าวโพด
1. การเผาไม้	2.1991	1.6150	1.8375
2. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	9.9734	8.1565	9.4167
3. ก๊าซมีเทน	85.3325	55.7825	56.0600
4. ไอน้ำ	0.0350	0.0350	0.0350
5.การใช้ไฟฟ้า	22.0176	21.5127	21.7051
รวม	119.5576	87.1017	89.0543

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA) เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากสามารถบ่งชี้และระบุปริมาณของภาระทางสิ่งแวดล้อม (environmental loads) ในทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องหรือที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ โดยการประเมินวัฏจักรชีวิตจะทำให้ได้ข้อมูลต่าง ๆ ของกระบวนการผลิต ตั้งแต่ข้อมูลการใช้ทรัพยากร พลังงานและข้อมูลของเสียในกระบวนการผลิต เป็นต้น ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบถึงแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ เนื่องจากถ่านกัมมันต์เป็นสารที่มีประโยชน์ทางอุตสาหกรรมหลายด้าน จึงทำให้ความต้องการถ่านกัมมันต์มีปริมาณที่สูงขึ้น

งานวิจัยนี้เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีการใช้วัตถุดิบการผลิตที่แตกต่างกัน คือ กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม และซังข้าวโพด เพื่อศึกษาว่ากระบวนการผลิตแบบใดที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยให้ผลิตภัณฑ์หลักเท่ากับ 1 กิโลกรัม โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปซิมาโปร (SimaPro) ในการวิเคราะห์ผลกระทบ เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่ทำการวิเคราะห์ผลตามมาตรฐาน ISO และการวัดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นในการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนด้วย

สามารถสรุปผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปซิมาโปร (SimaPro) โดยใช้ดัชนีชี้วัดเชิงระบบนิเวศน์ (Eco-indicator 99) เป็นดัชนีวัดผลกระทบและการวัดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้น ซึ่งสรุปผลได้ดังนี้

1) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

ผลจากกราฟคะแนนเดียว (Single score) พบว่า ในขั้นตอนการผลิตถ่านจากกะลามะพร้าวให้ผลกระทบเท่ากับ 1.1323 Pt ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด รองลงมาคือการผลิตถ่านจากกะลาปาล์มให้ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 0.8302 Pt และการผลิตถ่านที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด คือ การผลิตถ่านจากซังข้าวโพด มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 0.4441 Pt

2) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

ผลกระทบในขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ พบว่ามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทุกด้าน คือ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ และผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ โดยขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว กะลาปาล์มและซังข้าวโพดมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้ง 3 ด้านเท่ากัน ซึ่งค่าผลกระทบรวมจากกราฟคะแนนเดียวเท่ากับ 0.3473 Pt

3) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตถ่านจนถึงขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (Cradle-to-gate)

3.1) จากการพิจารณาแต่ละประเภทผลกระทบ พบว่าการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงที่สุด ในทั้งสามกลุ่มผลกระทบ คือ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ต่อระบบนิเวศน์และต่อทรัพยากรธรรมชาติ รองลงมาคือกระบวนการผลิตจากกะลาปาล์มและค่าผลกระทบต่ำที่สุดคือกระบวนการผลิตจากซังข้าวโพด

3.2) จากการรวมผลกระทบเป็นคะแนนเดียวคือหน่วย Point : Pt เพื่อเปรียบเทียบว่าเมื่อรวมทุกกลุ่มผลกระทบแล้ว (ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ต่อระบบนิเวศน์ และต่อทรัพยากรธรรมชาติ) กระบวนการผลิตแบบใดที่มีค่าผลกระทบน้อยที่สุด พบว่ากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวให้ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

เท่ากับ 2.6136 Pt รองลงมาคือ กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม ซึ่งมีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 2.0068 Pt และกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ที่ให้ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดคือ กระบวนการผลิตจากขี้ข้าวโพด โดยมีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 1.2276 Pt

3.3) เมื่อจัดกลุ่มผลกระทบ 11 ประเภท ออกเป็น 3 กลุ่มผลกระทบ พบว่ากลุ่มผลกระทบที่มีปริมาณสูงที่สุดคือผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ รองลงมาคือผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ และน้อยที่สุดคือ ผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ โดยผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์มีค่าเท่ากับ 4.8919 Pt ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์มีค่าเท่ากับ 0.6162 Pt และผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ 0.3340 Pt

4) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบโดยวิธีวัดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้น

จากการวัดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ พบว่า ก๊าซมีเทนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนมากที่สุดเมื่อเทียบในหน่วยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จาก กะลามะพร้าวส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนมากที่สุดเท่ากับ 119.5567 kgCO₂e รองลงมาคือกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากขี้ข้าวโพดเท่ากับ 89.0543 kgCO₂e และกระบวนการผลิตที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด คือ กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มเท่ากับ 87.1017 kgCO₂e

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบเป็นข้อมูลที่ได้รวบรวมจากบทความเอกสารทางวิชาการระดับนานาชาติจึงอาจขาดสมบูรณ์และความถูกต้องเมื่อเปรียบเทียบกับ การเก็บรวบรวมข้อมูลจากโรงงานจริง
2. เพื่อให้การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นควรมีการขยายขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยทำการพิจารณาเพิ่มในด้านการขนส่ง การใช้งานของผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่และการจัดการกับเศษซากหรือเรียกว่าการพิจารณาแบบ Cradle-to-Grave ของทั้งกระบวนการผลิต
3. ในกระบวนการผลิตควรพิจารณาในด้านของเศรษฐศาสตร์ร่วมด้วยเนื่องจาก การเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจำเป็นต้องมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ จึงควรนำมาพิจารณาประกอบการตัดสินใจ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ที่จะลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

รายการอ้างอิง

- [1] โครงการศึกษาและจัดทำแบบอย่างการลงทุนเพื่อเผยแพร่เครือข่ายอินเทอร์เน็ต.
ถ่านกัมมันต์. กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม.(ม.ป.ป.)
- [2] นางสาวสุพรรณณี จันทร์ภิรมณ์. ถ่านกัมมันต์จากเม็ดลำไย : แบบจำลองการกระตุ้นและการดูดซับไอน้ำและเบนซีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรีบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2549.
- [3] ฝ่ายธุรกิจและสิ่งแวดล้อม. คู่มือการจัดทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์.
 สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย นนทบุรี, 2547.
- [4] Rebizer, G., et al. Life cycle assessment part 1 : Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. Environment international, 30 (2004) : 701-720.
- [5] Pennington, D.W., et al. Life cycle assessment part 2 : Current impact assessment practice. Environment international, 30 (2004) : 721-739.
- [6] สิทธิกร ผลพอต. การประเมินวัฏจักรชีวิตด้านสิ่งแวดล้อมของการสังเคราะห์ไททานเนียมไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- [7] Bojarski, A.D., et al. Life Cycle Assessment Coupled with Process Simulation under Uncertainty for Reduced Environmental Impact : Application to Phosphoric Acid Production. Ind. Eng. Chem. Res., 47 (2008) : 8286-8300.
- [8] PRé Consultants. SimaPro. [Online]. 2010.
 Available from: <http://www.pre.nl/simapro> [2010, November 1]
- [9] Frischknecht, R., et al. Implementation of life cycle impact assessment methods 3.
 Centre for Life Cycle Inventories : Dubendorf, 2007.
- [10] Goedkoop, M., and Spriensma, R. The Eco-indicator 99 A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment 2. Pré Consultants. 2000.
- [11] วิชา สแสงไฟโรจน์. ลดภาวะโลกร้อน กับ คาร์บอนฟุตพริ้น (Carbon Footprint).
 สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ, มิถุนายน 2553.

- [12] รัตนาวรรณ มั่งคั่ง. คาร์บอนฟุตพริ้นท์และฉลากคาร์บอน : โอกาสหรืออุปสรรคสำหรับอุตสาหกรรมไทย. งานสัมมนากรมการค้าต่างประเทศ, 30 กรกฎาคม 2552.
- [13] Humana People to People India. Carbon footprint. [Online]. (n.d.)
Available from: <http://www.humana-india.org/Articel.asp?NewsID=72>
[2010, December 7]
- [14] William, R.W. HYSYS and UniSim. [Online]. 2009. Available from : <http://people.clarkson.edu/~wwilcox/Design/refhysys.htm> [2010, September 3]
- [15] Terachai Suravattanasakul. Production of Activated Carbon from Palm-oil Shell by Pyrolysis and Steam Activation in a Fixed Bed Reactor. ScienceAsia, 25 (1999): 211-222.
- [16] หนังสือพิมพ์ฐานเศรษฐกิจ. การเผาถ่านหรือคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization). [Online]. 2552. แหล่งที่มา: <http://www.thannews.th.com/detialNews.php?id=T0723962&issue=2396> [2553, กรกฎาคม 9]
- [17] กฤษกร เจียมจำรัสศิลป์. การประเมินวัฏจักรชีวิตของสีผง. การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 15, 2548.
- [18] วรสิทธิ์ หินทอง. การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตชุดวาล์วน้ำโดยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต. สารนิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2553.
- [19] ศราวุธ เขื่อเพ็กลาง. การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการบรรจุก๊าซอาร์กอนอุตสาหกรรม. การประชุมวิชาการเรื่อง สภาวะโลกร้อน : ความหลากหลายทางชีวภาพที่ยั่งยืน. 145-153: 5 - 6 พฤศจิกายน 2552.
- [20] อรัญ หันพงศกิตติกุล., มุขัมหมัด เจ๊ะอามู., และฉวีวรรณ มลิวัลย์. การประเมินขั้นตอนของการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากสวนปาล์มและการสกัดน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย. วารสารหาดใหญ่วิชาการ 7 (2). ก.ค. – ธ.ค. 2552. 97-106.
- [21] Aworna, A., Thiravetyanb, P., and Nakbanpotec, W. Preparation of CO₂ activated carbon from corncob for monoethylene glycol adsorption. Colloids and Surfaces A : Physicochem. Eng. Aspects, 333 (2009): 19-25.
- [22] Laurent, A., Olsen, S.I., and Hauschild, M.Z. Carbon footprint as environmental performance indicator for the manufacturing industry. Department of Management Engineering, Technical University of Denmark, (2010), 37-40.

- [23] Zabaniotou, A., and Ioannidou, O. Agricultural residues as precursors for activated carbon production. Chemical Engineering Department, Aristotle University of Thessaloniki, 24 March 2006.
- [24] Aloko, D.F., et al. Preparation and characterization of activated carbon from agricultural waste(rice-husk and corn-cob). Journal of Engineering and Applied Sciences, 2 (2007): 440-444.
- [25] Johnson, E. Charcoal versus LPG grilling: A carbon-footprint comparison. Environmental Impact Assessment Review, 29 (2009): 370-378.
- [26] RAHMAN, M.A., et al. Preparation and characterization of activated charcoal as an adsorbent. J.Surface Sci. Technol, 22 (2006): 133-140.
- [27] Alam, Md.Z., et al. Producton of activated carbon from oil palm empty fruit bunches for removal of zinc. Twelfth International Water Technology Conference, IWTC12 (2008): 373-383.
- [28] Yorgun, S., et al. Preparation of high-surface area activated carbon from Paulownia wood by $ZnCl_2$ activation. Microporous and Mesoporous Materials, 122 (2009): 189-194.
- [29] Kiatkittipong, W., Wongsuchoto, P., and Pavasant, P. Life cycle assessment of bagasse waste management options. Waste Management, 29 (2009): 1628-1633.
- [30] Daud, W.M.A.W., and Ali, W.S.W. Comparison on pore development of activated carbon produced from palm shell and coconut shell. Bioresource Technology, 93 (2004): 63 – 69.
- [31] Johns, W.R., Kokossis, A., and Thompson, F. A flowsheeting approach to integrated life Cycle analysis. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 4 (2008) : 557-564.



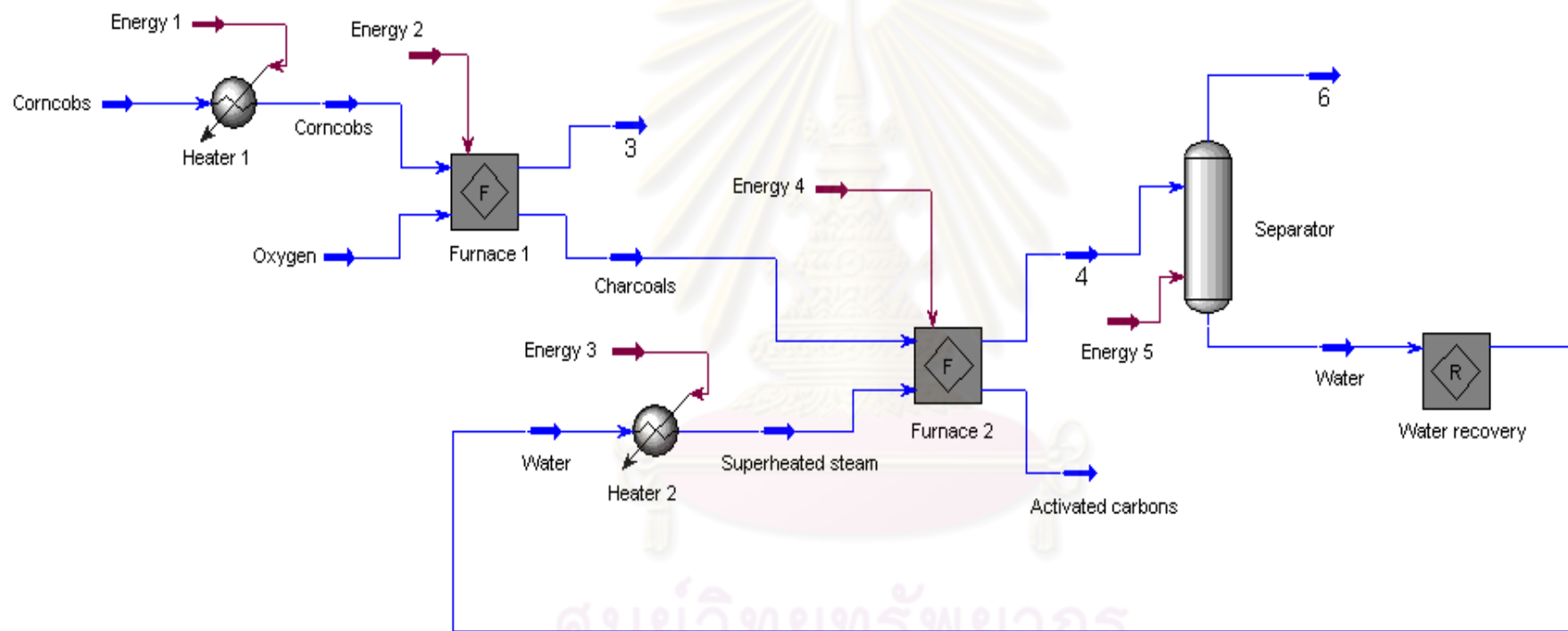
ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก แผนผังแบบจำลองกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ



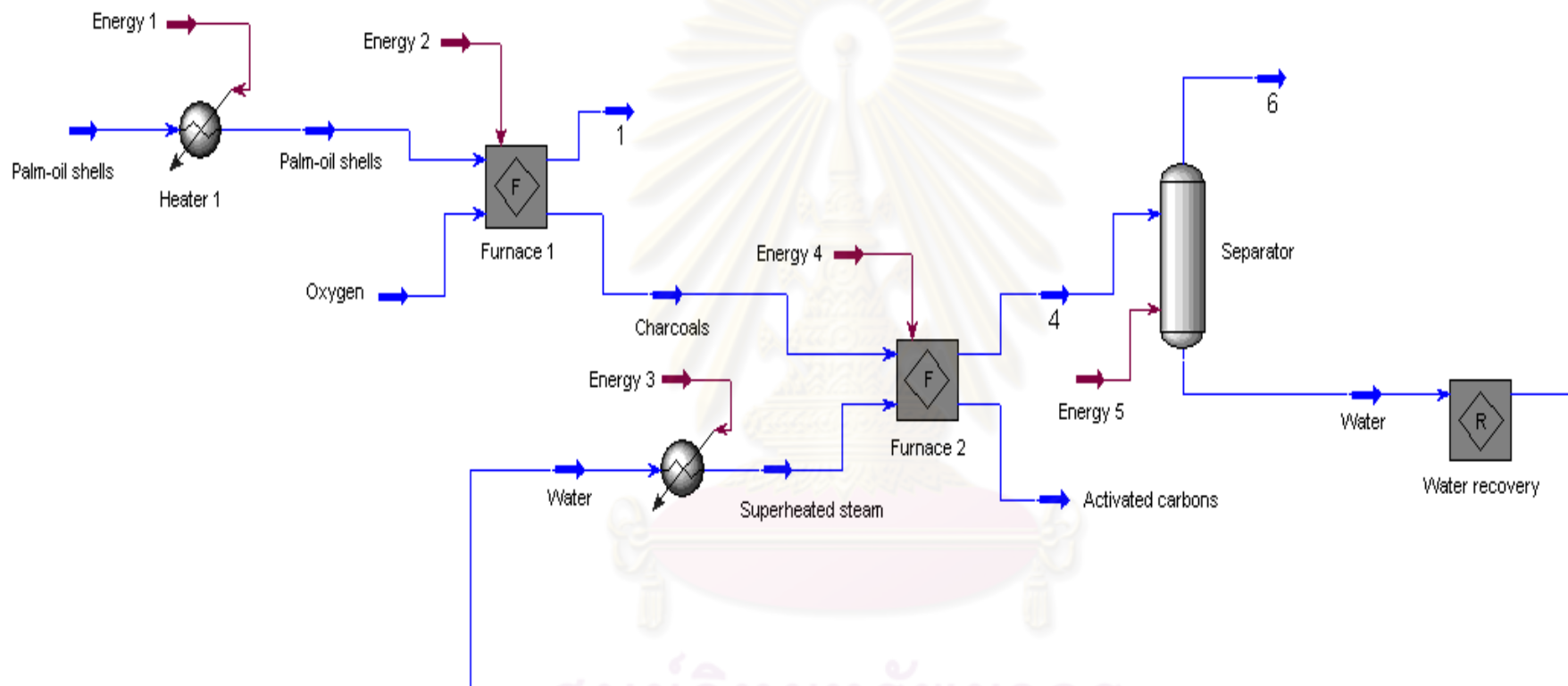
รูปที่ ก1 แผนผังจำลองโดยโปรแกรมไฮซิส (HYSYS) ของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

ตารางที่ ก1 ภาวะของแต่ละสายของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

สาย	อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (kPa)	อัตราการไหลโดยมวล (kg/hr)
Coconut shells	25.00	101.33	16.6600
Coconut shells	200.00	101.33	16.6600
Oxygen	25.00	101.33	0.2133
3	400.00	101.33	14.8910
Charcoals	400.00	101.33	2.0000
Water	25.00	101.33	6.0000
Superheated steam	400.00	101.33	6.0000
4	700.00	101.33	7.0000
Activated carbons	700.00	101.33	1.0000
6	25.82	101.33	4.1520
Water	25.82	101.33	2.8480

ตารางที่ ก2 ค่าพลังงานแต่ละสายที่ใช้ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

พลังงาน (kJ/hr)	กรณีที่ 1
Energy 1	12,190
Energy 2	15,000
Energy 3	19,050
Energy 4	22,000
Energy 5	17,000



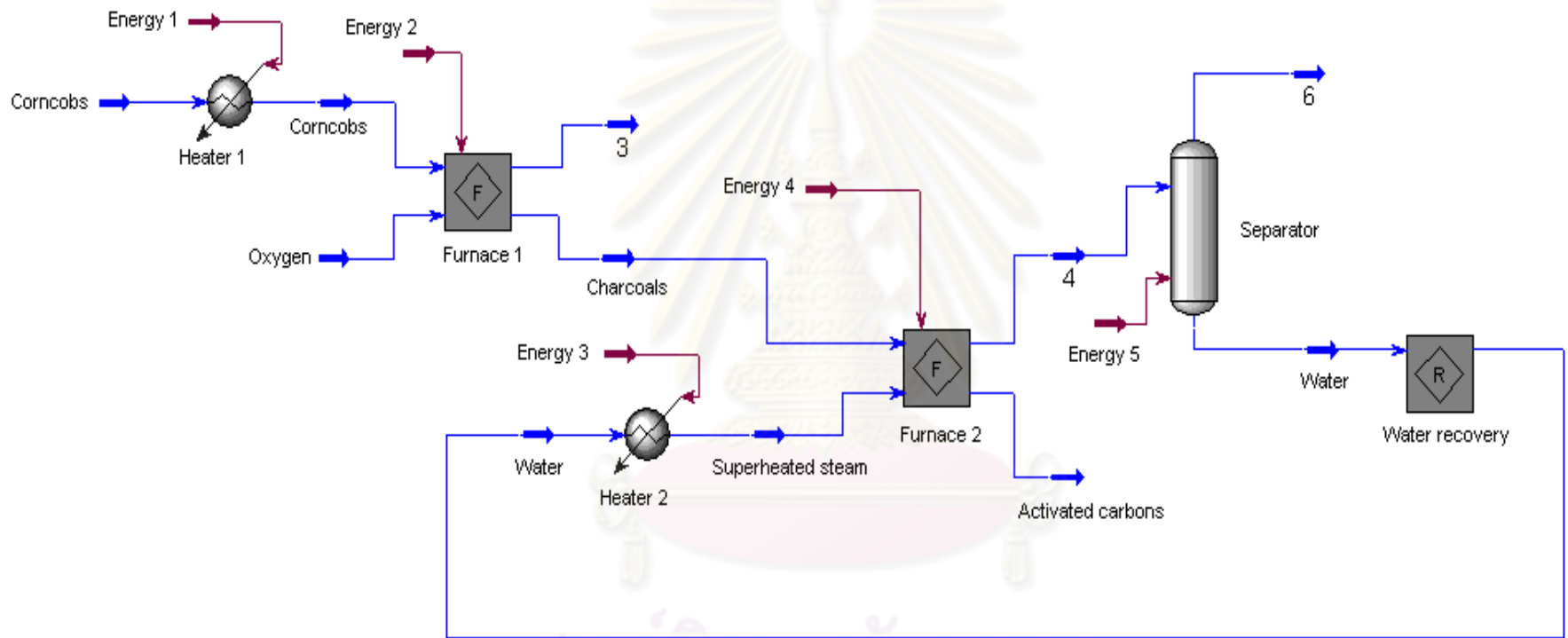
รูปที่ ก2 แผนผังจำลองโดยโปรแกรมไฮซิส (HYSYS) ของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม

ตารางที่ ก3 ภาวะของแต่ละสายของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม

สาย	อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (kPa)	อัตราการไหลโดยมวล (kg/hr)
Palm-oil shells	25.00	101.33	12.2347
Palm-oil shells	200.00	101.33	12.2347
Oxygen	25.00	101.33	0.0816
1	400.00	101.33	10.3163
Charcoals	400.00	101.33	2.0000
water	25.00	101.33	6.0000
Superheated steam	400.00	101.33	6.0000
4	700.00	101.33	7.0000
Activated carbons	700.00	101.33	1.0000
6	50.65	101.33	4.1520
Water	50.62	101.33	2.8480

ตารางที่ ก4 ค่าพลังงานแต่ละสายที่ใช้กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม

พลังงาน (kJ/hr)	กรณีที่ 1
Energy 1	8,953
Energy 2	15,000
Energy 3	19,050
Energy 4	22,000
Energy 5	17,000



รูปที่ ก3 แผนผังจำลองโดยโปรแกรมไฮซิส (HYSYS) ของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด

ตารางที่ ก5 ภาวะของแต่ละสายของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด

สาย	อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (kPa)	อัตราการไหลโดยมวล (kg/hr)
Corncobs	25.00	101.33	13.9205
Corncobs	200.00	101.33	13.9205
Oxygen	25.00	101.33	0.1818
3	400.00	101.33	12.1023
Charcoals	400.00	101.33	2.0000
water	25.00	101.33	6.0000
Superheated steam	400.00	101.33	6.0000
4	700.00	101.33	7.0000
Activated carbons	700.00	101.33	1.0000
6	50.62	101.33	4.1520
Water	50.62	101.33	2.8480

ตารางที่ ก6 ค่าพลังงานแต่ละสายที่ใช้กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด

พลังงาน (kJ/hr)	กรณีที่ 1
Energy 1	10,190
Energy 2	15,000
Energy 3	19,050
Energy 4	22,000
Energy 5	17,000

ตารางที่ ก7 ขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ

อุปกรณ์	ปริมาตร(m ³)	เส้นผ่านศูนย์กลาง(m)	ความสูง(m)
เครื่องทำความร้อน 1	0.1000	-	-
เครื่องทำความร้อน 2	0.1000	-	-
เตาเผา 1	0.2000	0.5700	0.8900
เตาเผา 2	0.2000	0.5700	0.8900
เครื่องแยก	0.1223	0.3048	1.6760



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข ค่า Damage factor ของวิธี Eco-indicator 99

ตาราง ข 1 Damage category Human Health

ตาราง ข 1.1 Damages to human health caused by carcinogen

Com-part- ment	Substances	Damage factor	unit
Air	1,2-dibromoethane	2.60E-04	DALY/kg
Air	1,2-dichloroethane	2.98E-05	DALY/kg
Air	1,3-butadiene	1.58E-05	DALY/kg
Air	1,4-dioxane	1.39E-07	DALY/kg
Air	2,4,6-trichlorophenol	2.05E-06	DALY/kg
Air	acetaldehyde	2.16E-07	DALY/kg
Air	acrylonitrile	1.69E-05	DALY/kg
Air	alpha-hexachlorocyclohexan	3.00E-04	DALY/kg
Air	Arsenic	2.46E-02	DALY/kg
Air	Bis(chloromethyl)ether	7.48E-03	DALY/kg
Air	benzene	2.50E-06	DALY/kg
Air	benzo(a)anthracene	5.86E-02	DALY/kg
Air	benzo(a)pyrene	3.98E-03	DALY/kg
Air	benzotrichloride	6.60E-03	DALY/kg
Air	benzylchloride	1.04E-05	DALY/kg
Air	beta-chlorocyclohexan	9.99E-05	DALY/kg
Air	bromodichloromethane	8.76E-06	DALY/kg
Air	Cadmium	1.35E-01	DALY/kg
Air	Chromium (VI)	1.75	DALY/kg
Air	di(2-ethylhexyl)phthalate	3.38E-05	DALY/kg
Air	dibenz(a)anthracene	3.10E+01	DALY/kg
Air	dichloromethane	4.36E-07	DALY/kg
Air	Dichlorvos	3.15E-05	DALY/kg
Air	2,3,7,8-TCDD Dioxin	1.79E+02	DALY/kg
Air	epichlorohydrin	3.02E-07	DALY/kg

Air	ethylene oxide	1.83E-04	DALY/kg
Air	formaldehyde	9.91E-07	DALY/kg
Air	gamma-HCH (Lindane)	3.49E-04	DALY/kg
Air	Hexachlorobenzene	8.25E-02	DALY/kg
Air	metals	5.20E-03	DALY/kg
Air	Nickel	2.35E-02	DALY/kg
Air	Nickel-refinery-dust	4.74E-02	DALY/kg
Air	Nickel-subsulfide	9.48E-02	DALY/kg
Air	PAH's	1.70E-04	DALY/kg
Air	particles diesel soot	9.78E-06	DALY/kg
Air	Polychlorobiphenyls	1.97E-03	DALY/kg
Air	pentachlorophenol	7.21E-03	DALY/kg
Air	propyleneoxide	1.17E-05	DALY/kg
Air	styrene	2.44E-08	DALY/kg
Air	perchloroethylene	4.82E-07	DALY/kg
Air	carbontetrachloride	8.38E-04	DALY/kg
Air	chloroform	2.63E-05	DALY/kg
Air	vinyl chloride	2.09E-07	DALY/kg
Water	1,2-dibromoethane	1.24E-03	DALY/kg
Water	1,2-dichloroethane	2.98E-05	DALY/kg
Water	1,3-butadiene	3.37E-04	DALY/kg
Water	1,4-dioxane	9.21E-07	DALY/kg
Water	2,4,6-trichlorophenol	1.05E-05	DALY/kg
Water	acetaldehyde	9.23E-07	DALY/kg
Water	acrylonitrile	4.16E-05	DALY/kg
Water	alpha-hexachlorocyclohexan	6.85E-03	DALY/kg
Water	Arsenic	6.57E-02	DALY/kg
Water	Bis(chloromethyl)ether	1.54E-02	DALY/kg
Water	benzene	4.12E-06	DALY/kg

Water	benzo(a)anthracene	6.58E-01	DALY/kg
Water	benzo(a)pyrene	2.99	DALY/kg
Water	benzotrichloride	9.46E-03	DALY/kg
Water	benzylchloride	1.98E-05	DALY/kg
Water	beta-chlorocyclohexan	5.75E-03	DALY/kg
Water	bromodichloromethane	9.36E-06	DALY/kg
Water	Cadmium	7.12E-02	DALY/kg
Water	Chromium (VI)	3.43E-01	DALY/kg
Water	di(2-ethylhexyl)phthalate	6.64E-04	DALY/kg
Water	dibenz(a)anthracene	4.07E+01	DALY/kg
Water	dichloromethane	4.97E-07	DALY/kg
Water	Dichlorvos	1.17E-05	DALY/kg
Water	dioxins (TEQ)	2.02E+03	DALY/kg
Water	epichlorhydrin	9.90E-07	DALY/kg
Water	ethylene oxide	1.39E-04	DALY/kg
Water	formaldehyde	4.97E-06	DALY/kg
Water	gamma-HCH (Lindane)	4.16E-03	DALY/kg
Water	hexachlorobenzene	1.25E-01	DALY/kg
Water	Nickel	3.11E-02	DALY/kg
Water	Nickel--subsulfide	5.02E-03	DALY/kg
Water	Nickel-refinery-dust	1.00E-02	DALY/kg
Water	PAH's	2.60E-03	DALY/kg
Water	Polychlorobiphenyls	3.91E-02	DALY/kg
Water	pentachlorophenol	2.29E-02	DALY/kg
Water	propylene oxide	1.74E-05	DALY/kg
Water	styrene	1.22E-06	DALY/kg
Water	perchloroethylene	4.72E-07	DALY/kg
Water	carbontetrachloride	8.29E-04	DALY/kg
Water	chloroform	2.60E-05	DALY/kg

Water	vinyl chloride	2.84E-07	DALY/kg
Soil	1,2-dibromoethane (ind.)	3.81E-03	DALY/kg
Soil	1,2-dichloroethane (ind.)	4.58E-04	DALY/kg
Soil	1,3-butadiene (ind.)	1.20E-05	DALY/kg
Soil	1,4-dioxane (ind.)	3.10E-07	DALY/kg
Soil	2,4,6-trichlorophenol (ind.)	2.76E-06	DALY/kg
Soil	acetaldehyde (ind.)	4.77E-07	DALY/kg
Soil	acrylonitrile (ind.)	7.01E-05	DALY/kg
Soil	alpha-hexachlorocyclohexan (agr.)	2.32E-02	DALY/kg
Soil	Arsenic (ind.)	1.32E-02	DALY/kg
Soil	Bis(chloromethyl)ether (ind.)	1.68E-02	DALY/kg
Soil	benzene (ind.)	1.33E-05	DALY/kg
Soil	benzo(a)anthracene (ind.)	1.60E-01	DALY/kg
Soil	benzo(a)pyrene (ind.)	2.06E-03	DALY/kg
Soil	benzotrichloride (ind.)	1.32E-01	DALY/kg
Soil	benzylchloride (ind.)	4.16E-05	DALY/kg
Soil	beta-chlorocyclohexan (agr.)	7.36E-03	DALY/kg
Soil	Bromo dichloromethane (ind.)	7.82E-05	DALY/kg
Soil	Cadmium (ind.)	3.98E-03	DALY/kg
Soil	Chromium (ind.)	2.71E-01	DALY/kg
Soil	di(2-ethylhexyl)phthalate(ind)	3.18E-07	DALY/kg
Soil	dibenz(a)anthracene (ind.)	2.44E+01	DALY/kg
Soil	dichloromethane (ind.)	5.99E-06	DALY/kg
Soil	Dichlorvos (agr.)	2.25E-05	DALY/kg
Soil	2,3,7,8-TCDD Dioxin (ind.)	7.06	DALY/kg
Soil	Epichloorhydrin (ind.)	1.30E-06	DALY/kg
Soil	Ethyleenoxide (ind.)	2.38E-03	DALY/kg
Soil	formaldehyde (ind.)	1.83E-06	DALY/kg
Soil	gamma-HCH (Lindane) (agr.)	8.64E-03	DALY/kg

Soil	Hexa chlorobenzene (ind.)	1.47E-01	DALY/kg
Soil	Nickel (ind.)	3.94E-03	DALY/kg
Soil	Nickel-refinery-dust (ind.)	6.37E-03	DALY/kg
Soil	Nickel-subsulfide (ind.)	1.27E-02	DALY/kg
Soil	PCBs (ind.)	2.04E-02	DALY/kg
Soil	Penta chloorfenol (ind.)	1.26E-05	DALY/kg
Soil	Propylene oxide (ind.)	1.40E-04	DALY/kg
Soil	styrene (ind.)	2.09E-08	DALY/kg
Soil	perchloroethylene (ind.)	6.00E-06	DALY/kg
Soil	carbon tetrachloride (ind.)	3.99E-02	DALY/kg
Soil	chloroform (ind.)	4.12E-06	DALY/kg
Soil	vinyl chloride (ind.)	7.67E-07	DALY/kg

ตาราง ข1.2 Respiratory effects on humans caused by organic substances

Com-part-ment	Substances	Damage factor	unit
Air	1,1,1-trichloroethane	1.96E-08	DALY/kg
Air	1,2,3-trimethyl benzene	2.72E-06	DALY/kg
Air	1,2,4-trimethyl benzene	2.72E-06	DALY/kg
Air	1,3,5-trimethyl benzene	2.98E-06	DALY/kg
Air	1,3-butadiene	1.87E-06	DALY/kg
Air	1-butene	2.30E-06	DALY/kg
Air	1-butoxy propanol	9.36E-07	DALY/kg
Air	1-hexene	1.87E-06	DALY/kg
Air	1-methoxy 2-propanol	7.91E-07	DALY/kg
Air	1-pentene	2.13E-06	DALY/kg
Air	2,2-dimethyl butane	5.19E-07	DALY/kg
Air	2,3-dimethyl butane	1.19E-06	DALY/kg
Air	2-butoxy ethanol	9.36E-07	DALY/kg

Air	2-ethoxy ethanol	8.34E-07	DALY/kg
Air	2-hexanone	1.19E-06	DALY/kg
Air	2-methoxy ethanol	6.47E-07	DALY/kg
Air	2-methyl 1-butanol	8.51E-07	DALY/kg
Air	2-methyl 1-butene	1.70E-06	DALY/kg
Air	2-methyl 2-butanol	3.06E-07	DALY/kg
Air	2-methyl 2-butene	1.79E-06	DALY/kg
Air	2-methyl hexane	8.51E-07	DALY/kg
Air	2-methyl pentane	9.36E-07	DALY/kg
Air	2-pentanone	1.19E-06	DALY/kg
Air	3,5-diethyl toluene	2.81E-06	DALY/kg
Air	3,5-dimethyl ethyl benzene	2.81E-06	DALY/kg
Air	3-hexanone	1.28E-06	DALY/kg
Air	3-methyl 1-butanol	8.51E-07	DALY/kg
Air	3-methyl 1-butene	1.45E-06	DALY/kg
Air	3-methyl 2-butanol	7.91E-07	DALY/kg
Air	3-methyl hexane	7.83E-07	DALY/kg
Air	3-methyl pentane	1.02E-06	DALY/kg
Air	3-pentanol	9.36E-07	DALY/kg
Air	3-pentanone	8.51E-07	DALY/kg
Air	acetaldehyde	1.36E-06	DALY/kg
Air	acetic acid	2.13E-07	DALY/kg
Air	acetone	2.04E-07	DALY/kg
Air	propionaldehyde	1.70E-06	DALY/kg
Air	alcohols	7.60E-07	DALY/kg
Air	aldehydes	1.40E-06	DALY/kg
Air	alkanes	7.50E-07	DALY/kg
Air	alkenes	2.10E-06	DALY/kg
Air	benzene	4.68E-07	DALY/kg

Air	butane	7.57E-07	DALY/kg
Air	butanol	1.36E-06	DALY/kg
Air	butene	2.47E-06	DALY/kg
Air	cis 1,2-dichloroethene	9.36E-07	DALY/kg
Air	cis 2-butene	2.47E-06	DALY/kg
Air	cis 2-hexene	2.30E-06	DALY/kg
Air	cis 2-pentene	2.38E-06	DALY/kg
Air	C _x H _y aromatic	2.10E-06	DALY/kg
Air	C _x H _y chloro	3.50E-07	DALY/kg
Air	C _x H _y halogenated	3.50E-07	DALY/kg
Air	cyclohexane	6.21E-07	DALY/kg
Air	cyclohexanol	9.36E-07	DALY/kg
Air	cyclohexanone	6.47E-07	DALY/kg
Air	decane	8.26E-07	DALY/kg
Air	di-i-propyl ether	1.02E-06	DALY/kg
Air	diacetone alcohol	5.62E-07	DALY/kg
Air	dichloromethane	1.45E-07	DALY/kg
Air	diethyl ether	1.02E-06	DALY/kg
Air	dimethyl ether	3.74E-07	DALY/kg
Air	dodecane	7.66E-07	DALY/kg
Air	esters	3.70E-07	DALY/kg
Air	ethane	2.64E-07	DALY/kg
Air	ethane diol	8.26E-07	DALY/kg
Air	ethanol	8.34E-07	DALY/kg
Air	ethene	2.13E-06	DALY/kg
Air	ethers	7.40E-07	DALY/kg
Air	ethyl t-butyl ether	4.60E-07	DALY/kg
Air	ethylacetate	4.60E-07	DALY/kg
Air	ethylacetate	4.60E-07	DALY/kg

Air	ethylbenzene	1.53E-06	DALY/kg
Air	acetylene	1.87E-07	DALY/kg
Air	formaldehyde	1.11E-06	DALY/kg
Air	formic acid	6.89E-08	DALY/kg
Air	heptane	1.11E-06	DALY/kg
Air	hexane	1.02E-06	DALY/kg
Air	i-butane	6.64E-07	DALY/kg
Air	i-butanol	8.09E-07	DALY/kg
Air	i-butyraldehyde	1.11E-06	DALY/kg
Air	i-pentane	8.51E-07	DALY/kg
Air	i-propanol	2.98E-07	DALY/kg
Air	i-propyl acetate	4.60E-07	DALY/kg
Air	i-propyl benzene	1.11E-06	DALY/kg
Air	isoprene	2.38E-06	DALY/kg
Air	ketones	8.70E-07	DALY/kg
Air	m-ethyl toluene	2.21E-06	DALY/kg
Air	m-xylene	2.38E-06	DALY/kg
Air	methane	1.28E-08	DALY/kg
Air	methanol	2.81E-07	DALY/kg
Air	methyl acetate	1.02E-07	DALY/kg
Air	methyl chloride	1.11E-08	DALY/kg
Air	methyl ethyl ketone	8.09E-07	DALY/kg
Air	methyl formate	7.15E-08	DALY/kg
Air	methyl i-butyl ketone	1.02E-06	DALY/kg
Air	methyl i-propyl ketone	7.83E-07	DALY/kg
Air	methyl propene	1.36E-06	DALY/kg
Air	methyl t-butyl ether	3.32E-07	DALY/kg
Air	methyl t-butyl ketone	6.98E-07	DALY/kg
Air	n-butanol	1.36E-06	DALY/kg

Air	n-butyl acetate	5.19E-07	DALY/kg
Air	n-butyraldehyde	1.70E-06	DALY/kg
Air	n-propanol	1.19E-06	DALY/kg
Air	n-propyl acetate	6.21E-07	DALY/kg
Air	n-propyl benzene	1.36E-06	DALY/kg
Air	neopentane	3.74E-07	DALY/kg
Air	NM VOC	1.28E-06	DALY/kg
Air	nonane	8.51E-07	DALY/kg
Air	o-ethyl toluene	1.96E-06	DALY/kg
Air	o-xylene	2.30E-06	DALY/kg
Air	octane	9.36E-07	DALY/kg
Air	p-ethyl toluene	1.96E-06	DALY/kg
Air	p-xylene	2.21E-06	DALY/kg
Air	pentanal	1.62E-06	DALY/kg
Air	pentane	8.51E-07	DALY/kg
Air	propane	3.83E-07	DALY/kg
Air	propane diol	1.02E-06	DALY/kg
Air	propene	2.38E-06	DALY/kg
Air	propanoic acide	3.23E-07	DALY/kg
Air	s-butanol	8.51E-07	DALY/kg
Air	s-butyl acetate	5.79E-07	DALY/kg
Air	t-butanol	2.64E-07	DALY/kg
Air	t-butyl acetate	1.36E-07	DALY/kg
Air	perchloroethylene	6.21E-08	DALY/kg
Air	toluene	1.36E-06	DALY/kg
Air	trans 1,2-dichloroethene	8.43E-07	DALY/kg
Air	trans 2-butene	2.47E-06	DALY/kg
Air	trans 2-hexene	2.30E-06	DALY/kg
Air	trans 2-pentene	2.38E-06	DALY/kg

Air	trichloroethylene	6.98E-07	DALY/kg
Air	chloroform	4.94E-08	DALY/kg
Air	undecane	8.26E-07	DALY/kg
Air	VOC	6.46E-07	DALY/kg
Air	xylene	2.21E-06	DALY/kg

ตาราง ๑1.3 Respiratory effects on humans caused by inorganic substances

Com-part-ment	Substances	Damage factor	unit
Air	ammonia	8.50E-05	DALY/kg
Air	dust (PM10)	3.75E-04	DALY/kg
Air	dust (PM2.5)	7.00E-04	DALY/kg
Air	TSP	1.10E-04	DALY/kg
Air	NO	1.37E-04	DALY/kg
Air	NO ₂	8.87E-05	DALY/kg
Air	NOx	8.87E-05	DALY/kg
Air	NOx (as NO ₂)	8.87E-05	DALY/kg
Air	SO ₂	5.46E-05	DALY/kg
Air	SO ₃	4.37E-05	DALY/kg
Air	SOx	5.46E-05	DALY/kg
Air	SOx (as SO ₂)	5.46E-05	DALY/kg

ตาราง ๑1.4 Damages to human health caused by climate change

Com-part-ment	Substances	Damage factor	unit
Air	methyl chloroform	-4.30E-05	DALY/kg
Air	perfluorethane	2.00E-03	DALY/kg
Air	trifluoroiodomethane	2.10E-07	DALY/kg
Air	perfluormethane	1.40E-03	DALY/kg
Air	CFC-11	2.20E-04	DALY/kg
Air	CFC-113	6.30E-04	DALY/kg

Air	CFC-12	1.40E-03	DALY/kg
Air	carbon dioxide	2.10E-07	DALY/kg
Air	methylene chloride	1.90E-06	DALY/kg
Air	HALON-1301	-7.10E-03	DALY/kg
Air	HCFC-123	6.60E-06	DALY/kg
Air	HCFC-124	8.50E-05	DALY/kg
Air	HCFC-141b	5.20E-05	DALY/kg
Air	HCFC-142b	3.40E-04	DALY/kg
Air	HCFC-22	2.80E-04	DALY/kg
Air	HFC-125	5.70E-04	DALY/kg
Air	HFC-134	2.10E-04	DALY/kg
Air	HFC-134a	2.70E-04	DALY/kg
Air	HFC-143	6.30E-05	DALY/kg
Air	HFC-143a	7.80E-04	DALY/kg
Air	HFC-152a	2.90E-05	DALY/kg
Air	HFC-227ea	5.90E-04	DALY/kg
Air	HFC-23	2.60E-03	DALY/kg
Air	HFC-236fa	1.40E-03	DALY/kg
Air	HFC-245ca	1.20E-04	DALY/kg
Air	HFC-32	1.40E-04	DALY/kg
Air	HFC-41	3.10E-05	DALY/kg
Air	HFC-4310mee	2.70E-04	DALY/kg
Air	methane	4.40E-06	DALY/kg
Air	nitrous oxide	6.90E-05	DALY/kg
Air	perfluorbutane	1.50E-03	DALY/kg
Air	perfluorocyclobutane	1.90E-03	DALY/kg
Air	perfluorhexane	1.60E-03	DALY/kg
Air	perfluorpentane	1.70E-03	DALY/kg
Air	perfluorpropane	1.50E-03	DALY/kg

Air	sulphur hexafluoride	5.30E-03	DALY/kg
Air	carbontetrachloride	-2.60E-04	DALY/kg
Air	chloroform	8.30E-07	DALY/kg

ตาราง ข 1.5 Human health effects caused by ionising radiation

Com-part-ment	Substances	Damage factor	unit
Air	C-14	2.10E-10	DALY/kg
Air	Co-58	4.30E-13	DALY/kg
Air	Co-60	1.60E-11	DALY/kg
Air	Cs-134	1.20E-11	DALY/kg
Air	Cs-137	1.30E-11	DALY/kg
Air	H-3	1.40E-14	DALY/kg
Air	I-129	9.40E-10	DALY/kg
Air	I-131	1.60E-13	DALY/kg
Air	I-133	9.40E-15	DALY/kg
Air	Kr-85	1.40E-16	DALY/kg
Air	Pb-210	1.50E-12	DALY/kg
Air	Po-210	1.50E-12	DALY/kg
Air	Pu alpha	8.30E-11	DALY/kg
Air	Pu-238	6.70E-11	DALY/kg
Air	Ra-226	9.10E-13	DALY/kg
Air	Rn-222	2.40E-14	DALY/kg
Air	Th-230	4.50E-11	DALY/kg
Air	U-234	9.70E-11	DALY/kg
Air	U-235	2.10E-11	DALY/kg
Air	U-238	8.20E-12	DALY/kg
Air	Xe-133	1.40E-16	DALY/kg
Water	Ag-110m	5.10E-13	DALY/kg
Water	Co-58	4.10E-14	DALY/kg

Water	Co-60	4.40E-11	DALY/kg
Water	Cs-134	1.40E-10	DALY/kg
Water	Cs-137	1.70E-10	DALY/kg
Water	H-3	4.50E-16	DALY/kg
Water	I-131	5.00E-13	DALY/kg
Water	Mn-54	3.10E-13	DALY/kg
Water	Ra-226	1.30E-13	DALY/kg
Water	Sb-124	8.20E-13	DALY/kg
Water	U-234	2.40E-12	DALY/kg
Water	U-235	2.30E-12	DALY/kg
Water	U-238	2.30E-12	DALY/kg

ตาราง ๑1.6 Human health effects caused by ozone layer depletion

Com-part-ment	Substances	Damage factor	unit
Air	1,1,1-trichloroethane	1.26E-04	DALY/kg
Air	CFC-11	1.05E-03	DALY/kg
Air	CFC-113	9.48E-04	DALY/kg
Air	CFC-114	8.95E-04	DALY/kg
Air	CFC-115	4.21E-04	DALY/kg
Air	CFC-12	8.63E-04	DALY/kg
Air	HALON-1201	1.47E-03	DALY/kg
Air	HALON-1202	1.32E-03	DALY/kg
Air	HALON-1211	5.37E-03	DALY/kg
Air	HALON-1301	1.26E-02	DALY/kg
Air	HALON-2311	1.47E-04	DALY/kg
Air	HALON-2401	2.63E-04	DALY/kg
Air	HALON-2402	7.37E-03	DALY/kg
Air	HCFC-123	1.47E-05	DALY/kg
Air	HCFC-124	3.16E-05	DALY/kg

Air	HCFC-141b	1.05E-04	DALY/kg
Air	HCFC-142b	5.26E-05	DALY/kg
Air	HCFC-22	4.21E-05	DALY/kg
Air	HCFC-225ca	2.11E-05	DALY/kg
Air	HCFC-225cb	2.11E-05	DALY/kg
Air	methyl bromide	6.74E-04	DALY/kg
Air	methyl chloride	2.11E-05	DALY/kg
Air	carbontetrachloride	1.26E-03	DALY/kg

ตาราง ข2 Damage category Ecosystem Quality

ตาราง ข2.1 Damage to Ecosystem Quality caused by ecotoxic emissions

Com-part-ment	Substances	Damage factor	unit
Air	1,2,3-trichlorobenzene	3.51E-02	PDF/kg
Air	1,2,4-trichlorobenzene	2.54E-02	PDF/kg
Air	1,3,5-trichlorobenzene	1.29E-01	PDF/kg
Air	2,4-D	1.46E+00	PDF/kg
Air	Arsenic	5.92E+02	PDF/kg
Air	Atrazine	2.09E+02	PDF/kg
Air	Azinphos-methyl	1.10E+04	PDF/kg
Air	Bentazon	7.33E+00	PDF/kg
Air	benzene	2.75E-03	PDF/kg
Air	benzo(a)pyrene	1.42E+02	PDF/kg
Air	Carbendazim	2.40E+03	PDF/kg
Air	Cadmium	9.65E+03	PDF/kg
Air	Chromium	4.13E+03	PDF/kg
Air	Copper	1.46E+03	PDF/kg
Air	di(2-ethylhexyl)phthalate	1.94E-03	PDF/kg
Air	dibutylphthalate	1.13E-01	PDF/kg
Air	Dichlorvos	1.61E+00	PDF/kg

Air	2,3,7,8-TCDD Dioxin	1.32E+05	PDF/kg
Air	Diquat-dibromide	2.39E+03	PDF/kg
Air	Diuron	4.43E+03	PDF/kg
Air	DNOC	8.19E+00	PDF/kg
Air	fentin acetate	6.77E+02	PDF/kg
Air	fluoranthene	4.37E-02	PDF/kg
Air	gamma-HCH (Lindane)	2.16E+00	PDF/kg
Air	Hexachlorobenzene	3.88E+01	PDF/kg
Air	Mercury	8.29E+02	PDF/kg
Air	Malathion	1.17E+02	PDF/kg
Air	Maneb	3.84E+01	PDF/kg
Air	Mecoprop	7.79E-02	PDF/kg
Air	Metabenzthiazuron	3.07E+02	PDF/kg
Air	metals	2.60E+02	PDF/kg
Air	Metamitron	3.78E+01	PDF/kg
Air	Metribuzin	4.92E+02	PDF/kg
Air	Mevinphos	2.13E+03	PDF/kg
Air	Monolinuron	1.06E+02	PDF/kg
Air	Nickel	7.10E+03	PDF/kg
Air	PAH's	7.80E-04	PDF/kg
Air	Parathion	6.05E+01	PDF/kg
Air	Lead	2.54E+03	PDF/kg
Air	Polychlorobiphenyls	8.07E+01	PDF/kg
Air	pentachlorophenol	1.33E+01	PDF/kg
Air	Simazine	1.44E+03	PDF/kg
Air	Thiram	2.26E+02	PDF/kg
Air	toluene	2.40E-04	PDF/kg
Air	Trifluralin	1.09E+00	PDF/kg
Air	Zinc	2.89E+03	PDF/kg

Water	1,2,3-trichlorobenzene	1.56E-01	PDF/kg
Water	1,2,4-trichlorobenzene	1.39E-01	PDF/kg
Water	1,3,5-trichlorobenzene	2.73E-01	PDF/kg
Water	2,4-D	7.56E-02	PDF/kg
Water	Arsenic	1.14E+01	PDF/kg
Water	Atrazine	5.06E+01	PDF/kg
Water	Azinphos-methyl	8.87E+02	PDF/kg
Water	Bentazon	5.81E-02	PDF/kg
Water	benzene	4.80E-02	PDF/kg
Water	benzo(a)pyrene	3.68E+01	PDF/kg
Water	Carbendazim	1.63E+02	PDF/kg
Water	Cadmium	4.80E+02	PDF/kg
Water	Chromium	6.87E+01	PDF/kg
Water	Copper	1.47E+02	PDF/kg
Water	di(2-ethylhexyl)phthalate	6.37E-01	PDF/kg
Water	dibutylphthalate	1.62E+00	PDF/kg
Water	Dichlorvos	1.81E-01	PDF/kg
Water	dioxins (TEQ)	1.87E+05	PDF/kg
Water	Diquat-dibromide	1.18E+02	PDF/kg
Water	Diuron	2.31E+02	PDF/kg
Water	DNOC	6.73E-01	PDF/kg
Water	fentin acetate	7.85E+02	PDF/kg
Water	fluoranthene	3.96E+00	PDF/kg
Water	gamma-HCH (Lindane)	1.04E+01	PDF/kg
Water	hexachlorobenzene	4.55E+01	PDF/kg
Water	Mercury	1.97E+02	PDF/kg
Water	Malathion	1.64E+02	PDF/kg
Water	Maneb	6.23E-01	PDF/kg
Water	Mecoprop	1.35E-02	PDF/kg

Water	Metabenzthiazuron	1.43E+01	PDF/kg
Water	Metamitron	3.77E-01	PDF/kg
Water	Metribuzin	3.18E+00	PDF/kg
Water	Mevinphos	6.73E+01	PDF/kg
Water	Monolinuron	1.04E+01	PDF/kg
Water	Nickel	1.43E+02	PDF/kg
Water	PAH's	2.10E-03	PDF/kg
Water	Parathion	2.48E+02	PDF/kg
Water	Lead	7.39E+00	PDF/kg
Water	Polychlorobiphenyls	2.58E+02	PDF/kg
Water	pentachlorophenol	2.51E+01	PDF/kg
Water	Simazine	6.03E+01	PDF/kg
Water	Thiram	8.74E+02	PDF/kg
Water	toluene	1.73E-01	PDF/kg
Water	Trifluralin	7.80E+01	PDF/kg
Water	Zinc	1.63E+01	PDF/kg
Soil	1,2,3-trichlorobenzene (ind.)	2.41E+00	PDF/kg
Soil	1,2,4-trichlorobenzene (ind.)	2.26E+00	PDF/kg
Soil	1,3,5-trichlorobenzene (ind.)	1.19E+00	PDF/kg
Soil	2,4-D (agr.)	1.27E-04	PDF/kg
Soil	Arsenic (ind.)	6.10E+02	PDF/kg
Soil	Atrazine (agr.)	1.49E-01	PDF/kg
Soil	Azinphos-methyl (agr.)	3.55E-01	PDF/kg
Soil	Bentazon (agr.)	1.66E-02	PDF/kg
Soil	benzene (ind.)	4.97E-01	PDF/kg
Soil	benzo(a)pyrene (ind.)	7.25E+03	PDF/kg
Soil	Carbendazim (agr.)	2.34E+00	PDF/kg
Soil	Cadmium (agr.)	3.01E+01	PDF/kg
Soil	Cadmium (ind.)	9.94E+03	PDF/kg

Soil	Chromium (ind.)	4.24E+03	PDF/kg
Soil	Copper (ind.)	1.50E+03	PDF/kg
Soil	di(2-ethylhexyl)phthalate(ind)	2.67E-02	PDF/kg
Soil	dibutylphthalate (ind.)	1.14E+00	PDF/kg
Soil	Dichlorvos (agr.)	7.52E-04	PDF/kg
Soil	2,3,7,8-TCDD Dioxin (ind.)	2.09E+05	PDF/kg
Soil	Diquat-dibromide (agr.)	6.84E-02	PDF/kg
Soil	Diuron (agr.)	4.07E-02	PDF/kg
Soil	DNOC (agr.)	6.17E-03	PDF/kg
Soil	fentin acetate (agr.)	3.84E-01	PDF/kg
Soil	fluoranthene (ind.)	8.00E+00	PDF/kg
Soil	gamma-HCH (Lindane) (agr.)	1.38E+00	PDF/kg
Soil	hexachlorobenzene (ind.)	9.96E+01	PDF/kg
Soil	Mercury (ind.)	1.68E+03	PDF/kg
Soil	Malathion (agr.)	2.79E-02	PDF/kg
Soil	Maneb (agr.)	2.61E-01	PDF/kg
Soil	Mecoprop (agr.)	2.79E-06	PDF/kg
Soil	Metabenzthiazuron (agr.)	3.15E-01	PDF/kg
Soil	Metamitron (agr.)	2.03E-04	PDF/kg
Soil	Metribuzin (agr.)	4.91E-02	PDF/kg
Soil	Mevinphos (agr.)	2.09E-01	PDF/kg
Soil	Monolinuron (agr.)	4.38E-01	PDF/kg
Soil	Nickel (ind.)	7.32E+03	PDF/kg
Soil	Parathion (agr.)	3.24E-02	PDF/kg
Soil	Lead (ind.)	1.29E+01	PDF/kg
Soil	PCBs (ind.)	8.35E+02	PDF/kg
Soil	pentachloorfenol (ind.)	2.51E+01	PDF/kg
Soil	Simazine (agr.)	3.87E-01	PDF/kg
Soil	Thiram (agr.)	9.96E-01	PDF/kg

Soil	toluene (ind.)	6.79E-02	PDF/kg
Soil	Trifluralin (agr.)	2.07E-02	PDF/kg
Soil	Zinc (ind.)	2.98E+03	PDF/kg

ตาราง ๒.2 Damage to Ecosystem Quality caused by the combined effect of acidification and eutrophication

Com-part-ment	Substances	Damage factor	unit
Air	ammonia	15.57	PDF/kg
Air	NO	8.789	PDF/kg
Air	NO ₂	5.713	PDF/kg
Air	NO _x	5.713	PDF/kg
Air	NO _x (as NO ₂)	5.713	PDF/kg
Air	SO ₂	1.041	PDF/kg
Air	SO ₃	0.8323	PDF/kg
Air	SO _x	1.041	PDF/kg
Air	SO _x (as SO ₂)	1.041	PDF/kg
water	NH ₄ ⁺	18.9	PDF/kg
water	sulfate	0.694	PDF/kg

ตาราง ๒.3 Damage to Ecosystem Quality caused by land occupation and land conversion

Land-occupation	Damage factor	unit
land use II-III	0.51	PDF/m ² a
land use II-IV	0.96	PDF/m ² a
land use III-IV	0.96	PDF/m ² a
land use IV-IV	1.15	PDF/m ² a
Occup. as Contin. urban land	1.15	PDF/m ² a
Occup. as Convent. arable land	1.15	PDF/m ² a

Occup. as Discont. urban land	0.96	PDF/m ² a
Occup. as Forest land	0.11	PDF/m ² a
Occup. as Green urban land	0.84	PDF/m ² a
Occup. as Industrial area	0.84	PDF/m ² a
Occup. as Intens. meadow land	1.13	PDF/m ² a
Occup. as Organic arable land	1.09	PDF/m ² a
Occup. as organic meadow land	1.02	PDF/m ² a
Occup. as rail/ road area	0.84	PDF/m ² a
Occup. as Integrated arable land	1.15	PDF/m ² a
Occup. as less intens.meadow land	1.02	PDF/m ² a

Land conversion	Damage factor	unit
Conv. to Continuous urban land	34.53	PDF/m ² a
Conv. to Convent. arable land	34.38	PDF/m ² a
Conv. to Discontinuous urban	28.73	PDF/m ² a
Conv. to Green urban	25.16	PDF/m ² a
Conv. to Industrial area	25.16	PDF/m ² a
Conv. to Integr. arable land	34.38	PDF/m ² a
Conv. to Intensive meadow	34.02	PDF/m ² a
Conv. to Less intensive meadow	30.62	PDF/m ² a
Conv. to Organic arable land	32.73	PDF/m ² a
Conv. to Organic meadow	30.62	PDF/m ² a
Conv. to rail/ road area	25.16	PDF/m ² a

ตาราง ๑3 Damage category Resources

ตาราง ๑3.1 Damage to Resources caused by extraction of minerals (H,A) The unit of damage is MJ surplus energy per kg extracted material.

Minerals	Damage factor	unit
aluminium (in ore)	2.38	MJ surplus/kg
bauxite	0.5	MJ surplus/kg
chromium (in ore)	0.9165	MJ surplus/kg
chromium (ore)	0.275	MJ surplus/kg
copper (in ore)	36.7	MJ surplus/kg
copper (ore)	0.415	MJ surplus/kg
iron (in ore)	0.051	MJ surplus/kg
iron (ore)	0.029	MJ surplus/kg
lead (in ore)	7.35	MJ surplus/kg
lead (ore)	0.368	MJ surplus/kg
manganese (in ore)	0.313	MJ surplus/kg
manganese (ore)	0.141	MJ surplus/kg
mercury (in ore)	165.5	MJ surplus/kg
molybdene (in ore)	41	MJ surplus/kg
molybdenum (ore)	0.041	MJ surplus/kg
nickel (in ore)	16.32	MJ surplus/kg
nickel (ore)	0.245	MJ surplus/kg
tin (in ore)	600	MJ surplus/kg
tin (ore)	0.06	MJ surplus/kg
tungsten (ore)	0.323	MJ surplus/kg
zinc (in ore)	1.885	MJ surplus/kg
zinc (ore)	0.075	MJ surplus/kg

ตาราง ๓3.2 Damage to Resources caused by extraction of fossil fuels

Fossil fuels	Damage factor	Unit
coal	0.252	MJ surplus/kg
coal ETH	0.155	MJ surplus/kg
crude gas	4.2	MJ surplus/kg
crude oil	5.9	MJ surplus/kg
crude oil (feedstock)	5.9	MJ surplus/kg
crude oil (resource)	1.44E-01	MJ surplus/MJ
crude oil ETH	6.13	MJ surplus/kg
crude oil IDEMAT	6.15	MJ surplus/kg
energy from coal	8.59E-03	MJ surplus/MJ
energy from natural gas	1.50E-01	MJ surplus/MJ
energy from oil	0.144	MJ surplus/MJ
hard coal (resource)	8.59E-03	MJ surplus/MJ
natural gas	4.55	MJ surplus/kg
natural gas (feedstock)	5.25	MJ surplus/m3
natural gas (resource)	1.50E-01	MJ surplus/MJ
natural gas (vol)	5.49	MJ surplus/m3
natural gas ETH	5.25	MJ surplus/m3
oil	6.05	MJ surplus/kg

ตาราง ๓4 Normalization factor และ weighting factor

Damage Category	Normalization	Weighting
Human Health	0.02 DALY s/pres/yr	400
Ecosystem quality	5130 PDF x m2 x yr	400
Resources	8410 MJ /pres/yr	200



ภาคผนวก ค

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค1 ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้ง 11 ประเภท ของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

สาร ผลกระทบ	ถ่านกัมมันต์ (Pt)	พลังงานที่ใช้ (Pt)	ไอน้ำ (Pt)	ก๊าซออกซิเจน	รวม (Pt)
Carcinogens	0.0000	0.0360	0.0001	0.0001	0.0362
Resp.organics	0.0011	0.0001	0.0000	0.0000	0.0013
Resp.inorganics	1.4600	0.1480	0.0290	0.0009	1.6379
Climate change	0.4800	0.0611	0.0090	0.0004	0.5504
Radiation	0.0000	0.0004	0.0000	0.0001	0.0004
Ozone layer	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ecotoxicity	0.0000	0.0093	0.0001	0.0001	0.0095
Acidification/ Eutrophication	0.2400	0.0162	0.0026	0.0001	0.2589
Land use	0.0000	0.0044	0.0000	0.0002	0.0046
Minerals	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002
Fossil fuels	0.0000	0.0469	0.0665	0.0009	0.1143
รวม (Pt)	2.1811	0.3225	0.1073	0.0027	2.6136

ตารางที่ ค2 ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้ง 11 ประเภท ของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม

สาร ผลกระทบ	ถ่านกัมมันต์ (Pt)	พลังงานที่ใช้ (Pt)	ไอน้ำ (Pt)	ก๊าซออกซิเจน	รวม (Pt)
Carcinogens	0.0000	0.0346	0.0001	0.0000	0.0347
Resp.organics	0.0007	0.0001	0.0000	0.0000	0.0009
Resp.inorganics	1.0600	0.1420	0.0289	0.0003	1.2312
Climate change	0.3240	0.0588	0.0090	0.0001	0.3919
Radiation	0.0000	0.0004	0.0000	0.0000	0.0004
Ozone layer	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ecotoxicity	0.0000	0.0090	0.0001	0.0000	0.0091
Acidification/ Eutrophication	0.2040	0.0156	0.0026	0.0000	0.2222
Land use	0.0000	0.0042	0.0000	0.0001	0.0043
Minerals	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002
Fossil fuels	0.0000	0.0451	0.0665	0.0003	0.1119
รวม (Pt)	1.5887	0.3099	0.1072	0.0010	2.0068

ตารางที่ ค3 ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้ง 11 ประเภท ของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากขี้ข้าวโพด

สาร ผลกระทบ	ถ่านกัมมันต์ (Pt)	พลังงานที่ใช้ (Pt)	ไอน้ำ (Pt)	ก๊าซออกซิเจน	รวม (Pt)
Carcinogens	0.0000	0.0315	0.0001	0.0001	0.0317
Resp.organics	0.0007	0.0001	0.0000	0.0000	0.0009
Resp.inorganics	0.3920	0.1440	0.0289	0.0008	0.5657
Climate change	0.3390	0.0597	0.0090	0.0003	0.4080
Radiation	0.0000	0.0004	0.0000	0.0000	0.0004
Ozone layer	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ecotoxicity	0.0000	0.0091	0.0001	0.0000	0.0092
Acidification/ Eutrophication	0.0756	0.0158	0.0026	0.0001	0.0941
Land use	0.0000	0.0043	0.0000	0.0002	0.0044
Minerals	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002
Fossil fuels	0.0000	0.0458	0.0665	0.0008	0.1131
รวม (Pt)	0.8073	0.3108	0.1072	0.0022	1.2276

ตารางที่ ค4 ค่าผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์จากขั้นตอนการผลิตถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ

ผลกระทบ สาร	Carcinogens (DALY)	Resp. organics (DALY)	Resp. inorganics (DALY)	Climate change (DALY)	Radiation (DALY)	Ozone layer (DALY)
coconut shells	2.22E-07	2.24E-08	2.89E-05	9.20E-06	3.32E-09	1.13E-10
palm-oil shells	1.94E-07	1.47E-08	2.12E-05	6.17E-06	2.42E-09	9.31E-11
corncoobs	2.06E-07	1.48E-08	8.41E-06	6.48E-06	3.00E-09	1.04E-10

ตารางที่ ค5 ค่าผลกระทบต่อระบบนิเวศน์จากขั้นตอนการผลิตถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ

ผลกระทบ สาร	Ecotoxicity (PDF*m ² yr)	Acidification/Eutrophication (PDF*m ² yr)	Land use (PDF*m ² yr)
coconut shells	0.0194	1.5700	0.0102
palm-oil shells	0.0168	1.3400	0.0079
corncoobs	0.0179	0.5180	0.0093

ตารางที่ ค6 ค่าผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติจากขั้นตอนการผลิตถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ

ผลกระทบบ สาร	Minerals (MJ surplus)	Fossil fuels (MJ surplus)
coconut shells	0.0016	0.3330
palm-oil shells	0.0012	0.2770
corncoobs	0.0015	0.3070

ตารางที่ ค7 ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบกราฟคะแนนเดียว(single score) จากขั้นตอนการผลิตถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ

ผลกระทบบ สาร	coconut shells (Pt)	palm-oil shells (Pt)	corncoobs (Pt)
Human health	0.9994	0.7171	0.3942
Ecosystem quality	0.1249	0.1063	0.0426
Resource	0.0080	0.0068	0.0073

ตารางที่ ค8 ค่าผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์จากขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ

ผลกระทบ สาร	Carcinogens (DALY)	Resp. organics (DALY)	Resp. inorganics (DALY)	Climate change (DALY)	Radiation (DALY)	Ozone layer (DALY)
coconut shells	9.44E-07	3.70E-09	4.98E-06	2.71E-06	9.84E-09	4.26E-10
palm-oil shells	9.44E-07	3.70E-09	4.98E-06	2.71E-06	9.84E-09	4.26E-10
corncoobs	9.44E-07	3.70E-09	4.98E-06	2.71E-06	9.84E-09	4.26E-10

ตารางที่ ค9 ค่าผลกระทบต่อระบบนิเวศน์จากขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ

ผลกระทบ สาร	Ecotoxicity (PDF*m ² yr)	Acidification/Eutrophication (PDF*m ² yr)	Land use (PDF*m ² yr)
coconut shells	0.0825	0.1750	0.0380
palm-oil shells	0.0825	0.1750	0.0380
corncoobs	0.0825	0.1750	0.0380

ตารางที่ ค10 ค่าผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติจากขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ

ผลกระทบบ สาร	Minerals (MJ surplus)	Fossil fuels (MJ surplus)
coconut shells	0.0056	4.1400
palm-oil shells	0.0056	4.1400
corncoobs	0.0056	4.1400

ตารางที่ ค11 ค่าผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์แบบกราฟคะแนนเดียว(single score) จากขั้นตอนการกระตุ้นถ่านของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งสามแบบ

ผลกระทบบ สาร	coconut shells (Pt)	palm-oil shells (Pt)	corncoobs (Pt)
Human health	0.2256	0.2256	0.2256
Ecosystem quality	0.0231	0.0231	0.0231
Resource	0.0985	0.0985	0.0985

ตารางที่ ค12 ตารางแสดงค่าที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ของขั้นตอนการผลิตถ่านจนถึงขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ (cradle-to-gate)

สาร \ ผลกระทบ	Carcinogens (DALY)	Resp. organics (DALY)	Resp. inorganics (DALY)	Climate change (DALY)	Radiation (DALY)	Ozone layer (DALY)
coconut shells	1.39E-06	4.85E-08	6.28E-05	2.11E-05	1.65E-08	6.52E-10
palm-oil shells	1.33E-06	3.32E-08	4.73E-05	1.51E-05	1.47E-08	6.12E-10
corncoobs	1.36E-06	3.34E-08	2.18E-05	1.57E-05	1.58E-08	6.34E-10

ตารางที่ ค13 ตารางแสดงค่าที่ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์จากขั้นตอนการผลิตถ่านจนถึงขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์(cradle-to-gate)

สาร \ ผลกระทบ	Ecotoxicity (PDF*m ² yr)	Acidification/Eutrophication (PDF*m ² yr)	Land use (PDF*m ² yr)
coconut shells	0.1210	3.3200	0.0584
palm-oil shells	0.1160	2.8600	0.0547
corncoobs	0.1180	1.2100	0.0567

ตารางที่ ค14 ตารางแสดงค่าที่ผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติจากขั้นตอนการผลิตถ่านจนถึงขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์(cradle-to-gate)

ผลกระทบบ สาร	Minerals (MJ surplus)	Fossil fuels (MJ surplus)
coconut shells	0.0088	4.8000
palm-oil shells	0.0081	4.7000
corncoobs	0.0085	4.7500

ตารางที่ ค15 ตารางแสดงค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบกราฟคะแนนเดียว(single score) จากขั้นตอนการผลิตถ่านจนถึงขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ (cradle-to-gate)

ผลกระทบบ สาร	coconut shells (Pt)	palm-oil shells (Pt)	corncoobs (Pt)
Human health	2.2262	1.6591	1.0066
Ecosystem quality	0.2729	0.2356	0.1077
Resource	0.1145	0.1121	0.1133

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวไอศิกา น้อยจันทร์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นในปีการศึกษา 2549 และในปีการศึกษา 2550 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและสำเร็จการศึกษาในปี 2554



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย