การพัฒนากระบวนการผลิตสไตรีนโดยเครื่องมือการประเมินวัฏจักรชีวิตภายใต้ความไม่แน่นอน

นางสาวชลธิดา สิลสมบัติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF STYRENE PRODUCTION PROCESS BY LIFE CYCLE ASSESSMENT TOOL UNDER UNCERTAINTY

Miss Chontida Silasombut

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 2009

Copyright of Chulalongkorn University

520079

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนากระบวนการผลิตสไตรีนโดยเครื่องมือการประเมินวัฏจักรชีวิตภายใต้ความไม่แน่นอน
โดย	นางสาวชลธิดา สิลสมบัติ
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรเจิด จงสมจิตร)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพล เกียรติกิตติพงษ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชลธิดา สิลสมบัติ : การพัฒนากระบวนการผลิตสไตรีนโดยเครื่องมือการประเมินวัฏจักรชีวิตภายใต้ความไม่แน่นอน. (DEVELOPMENT OF STYRENE PRODUCTION PROCESS BY LIFE CYCLE ASSESSMENT TOOL UNDER UNCERTAINTY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : อ.ดร. สุรเทพ เขียวหอม, 129 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ทำศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตสไตรีนด้วยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำและกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งจะพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนกลายเป็นผลิตภัณฑ์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 6.0 ด้วยวิธี Eco-Indicator 99 ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษาพบว่า กระบวนการดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับการใช้ไอน้ำจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงกว่ากระบวนการดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ ในขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ การปลดปล่อยของเสีย และขั้นตอนการผลิตสไตรีน ประมาณ 1.44 เท่า 5.34 เท่า และ 1.44 เท่า ตามลำดับ เมื่อจำแนกประเภทผลกระทบออกเป็น 3 กลุ่มผลกระทบได้แก่ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ และผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากร พบว่าทั้งสองกระบวนการส่งผลกระทบสูงสุดคือ ผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากร และน้อยที่สุดคือ ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ เมื่อมีการพิจารณาภายใต้ความไม่แน่นอนที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลกระทบของกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ยังมีแนวโน้มเช่นเดิม จากนั้นจึงทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตทั้งสองกระบวนการด้วยหลักการออกแบบโครงข่ายแลกเครื่องเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger Network: HEN) พบว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับการใช้ไอน้ำลดลงประมาณ 0.7 เท่า และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ลดลงประมาณ 0.88 เท่า

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่อนิสิต ชลธิดา สิลสมบัติ
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
ปีการศึกษา 2552	ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม สุรเทพ เขียวหอม

4970272821 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : LIFE CYCLE ASSESSMENT / STYRENE PROCESS / Eco-indicator 99

CHONTIDA SILLASOMBUT : DEVELOPMENT OF STYRENE PRODUCTION PROCESS BY LIFE CYCLE ASSESSMENT TOOL UNDER UNCERTAINTY. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CHAIRIT SATAYAPRASERT, Dr.Ing., THESIS CO-ADVISOR : SOORATHEP KHEAWHOM, Ph.D., 129 pp.

In this work, life cycle assessment (LCA) is used to assess the environmental impacts of styrene production processes using Ethyl-benzene dehydrogenation with steam route and Ethyl-benzene dehydrogenation with Carbon dioxide route. The assessment is performed in a cradle to gate approach by using SimaPro 6.0 with Eco-indicator 99. The results showed that Ethyl-benzene dehydrogenation with steam route has 1.44, 5.34 and 1.44 times higher environmental impacts than Ethyl-benzene dehydrogenation with Carbon dioxide route in the production of raw material, waste discharging and styrene production phases, respectively. All impacts are classified into three categories including resource depletion, human health and ecosystem. In both cases, it was found that the impact on resource depletion is the highest. Where, the lowest impact is on ecosystem. Under uncertainty consideration, Ethyl-benzene dehydrogenation with Carbon dioxide route leads to the same trend with 95% confidence interval. We improve both processes by using heat exchanger network. It was found that the environmental impacts of Ethyl-benzene dehydrogenation with steam route decrease about 0.7 times. In comparison, 0.88 times decrease is obtained in case of Ethyl-benzene dehydrogenation with Carbon dioxide route.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Chemical Engineering	Student's Signature Chontida Sillasombut
Field of Study : Chemical Engineering	Advisor's Signature
Academic Year : 2009	Co-Advisor's Signature Soorathep Kheawhom

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และอาจารย์ ดร. สุรเทพ เขียวหอม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้มอบความกรุณาให้คำปรึกษาแนะแนวทางในการทำงานวิจัยและข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนช่วยแก้ไขข้อผิดพลาดและปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้อย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการคุมสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี (ประธานกรรมการ) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรเจิด จงสมจิตร (กรรมการ) และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพล เกียรติกิตติพงษ์(กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย) ที่กรุณาให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในการทำงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ท้ายสุดนี้ขอขอบคุณครอบครัวและเพื่อนทุกท่านที่ช่วยเป็นกำลังใจและช่วยให้คำแนะนำในระหว่างการศึกษาจนสำเร็จได้ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย..... 3

1.6 เนื้อหาในแต่ละบท..... 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

2.1 หลักการและทฤษฎีการประเมินวัฏจักรชีวิต..... 5

2.2 โปรแกรมสำเร็จรูป..... 20

2.3 สไตรีน..... 29

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 45

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... 51

3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัยและการวิเคราะห์..... 51

3.2 วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย..... 53

บทที่ 4 การประเมินวัฏจักรชีวิต..... 54

4.1 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตสไตรีน..... 54

4.2 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตสไตรีน
ภายใต้ความไม่แน่นอน..... 79

หน้า

4.3 การปรับปรุงกระบวนการผลิตสไตรีน..... 83

บทที่5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 91

5.1 บทสรุป..... 91

5.2 ข้อเสนอแนะ..... 93

รายการอ้างอิง..... 95

ภาคผนวก..... 98

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 129

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คำจำกัดความย่อของ LCA ในระบบมาตรฐาน ISO 14000.....	7
2.2	เครื่องมือสำหรับจัดการและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม.....	8
2.3	ตัวอย่างโปรแกรมสำเร็จรูปที่นิยมใช้สำหรับการศึกษา LCA.....	20
2.4	การเปรียบเทียบโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิต.....	21
2.5	การเปรียบเทียบวิธีการประเมินค่าผลกระทบแต่ละดัชนีชี้วัด.....	23
2.6	ความสัมพันธ์ของกลุ่มเป้าหมายที่ถูกทำลาย ประเภทของผลกระทบ และสสารที่เป็นปัจจัยของผลกระทบ.....	26
2.7	ค่า Normalization และค่า Weighting สำหรับกลุ่มเป้าหมาย หรือลักษณะการทำลาย.....	28
2.8	สมบัติทางฟิสิกส์และข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับสไตรีน.....	29
2.9	การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแต่ละกระบวนการผลิตสไตรีน.....	37
4.1	ปริมาณสารขาเข้าและขาออกของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ.....	55
4.2	ปริมาณสารขาเข้าและขาออกของขั้นตอนการปลดปล่อยของเสีย.....	56
4.3	ปริมาณสารขาเข้าและขาออกของขั้นตอนการผลิตสไตรีน (Cradle-to-gate)....	57
4.4	ปริมาณสารขาเข้าและขาออกของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ.....	58
4.5	ปริมาณสารขาเข้าและขาออกของขั้นตอนการปลดปล่อยของเสีย.....	58
4.6	ปริมาณสารขาเข้าและขาออกของขั้นตอนการผลิตสไตรีน	59
4.7	ปริมาณสารขาเข้าและขาออกของกระบวนการผลิตสไตรีนด้วยวิธีดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ความไม่แน่นอน.....	80
4.8	แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิตสไตรีนด้วยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำ.....	83
4.9	แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิตสไตรีนด้วยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์.....	83

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	กรอบการดำเนินงาน LCA ของอนุกรมมาตราฐาน ISO 14000.....	11
2.2	แนวคิดในการจัดทำ LCA โดยใช้ Eco-indicator 99.....	24
2.3	การนำไปใช้ประโยชน์ของสไตรีน.....	30
2.4	การประยุกต์ใช้ของสไตรีน.....	31
2.5	สัดส่วนการใช้ประโยชน์ของสไตรีนทั่วโลกในปีค.ศ. 2008.....	31
2.6	สัดส่วนของปริมาณความต้องการสารกลุ่มปิโตรเคมีในปีค.ศ. 2008.....	32
2.7	กระบวนการผลิตสไตรีนจากเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำ.....	33
2.8	กระบวนการผลิตสไตรีนจากโพรไพลีน.....	35
2.9	แบบจำลองกระบวนการผลิตสไตรีนของสารตั้งต้นเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำ.....	39
2.10	แบบจำลองกระบวนการผลิตสไตรีนของสารตั้งต้นเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์	42
3.1	ขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตสไรีน.....	51
4.1	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบแต่ละชนิด (Damage Assessment).....	60
4.2	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบแต่ละชนิด (Single score).....	61
4.3	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการปลดปล่อยของเสียในขั้นตอนการผลิตสไตรีน (Damage Assessment).....	62
4.4	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการปลดปล่อยของเสียในขั้นตอนการผลิตสไตรีน (Single score: steam route).....	63
4.5	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน (Damage Assessment).....	64
4.6	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน (Single score).....	65

ภาพที่		หน้า
4.7	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบแต่ละชนิด (Damage Assessment).....	66
4.8	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบแต่ละชนิด (Single score).....	67
4.9	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการปลดปล่อยของเสียในขั้นตอนการผลิตสไตรีน(Damage Assessment).....	68
4.10	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการปลดปล่อยของเสียในขั้นตอนการผลิตสไตรีน (Single score).....	69
4.11	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน (Damage Assessment).....	70
4.12	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน (Single score).....	71
4.13	การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบแต่ละชนิด (Damage Assessment: steam route with CO_2 route).....	72
4.14	การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบแต่ละชนิด (Single score: steam route with CO_2 route).....	73
4.15	การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการปลดปล่อยของเสีย (Damage Assessment: steam route with CO_2 route).....	74
4.16	การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการปลดปล่อยของเสีย (Single score: steam route with CO_2 route).....	75
4.17	การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน (Damage Assessment: steam route with CO_2 route).....	76
4.18	การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน (Single score: steam route with CO_2 route).....	77
4.19	การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของ 3 กลุ่มผลกระทบ (Weighting: steam route with CO_2 route).....	78
4.20	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตสไตรีนภายใต้ความไม่แน่นอน.....	81

ภาพที่		หน้า
4.21	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 3 กลุ่มของกระบวนการผลิตสไตรีน ภายใต้ความไม่แน่นอน	82
4.22	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน (Damage Assessment: steam route with steam route HEN)	84
4.23	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน (Single score: steam route with steam route HEN)	85
4.24	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน (Damage Assessment:CO_2 route with CO_2 route HEN)	86
4.25	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน (Single score: CO_2 route with CO_2 route HEN)	87
4.26	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน (Damage Assessment: steam route HEN with CO_2 route HEN)	88
4.27	แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน (Single score: steam route HEN with CO_2 route HEN)	89

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สไตรีนเป็นมอนอเมอร์ชนิดหนึ่งที่นำมาใช้ในการผลิตพอลิสไตรีน ซึ่งพอลิสไตรีนสามารถนำมาใช้ในการผลิตของเล่น แก้วพลาสติก พลาสติกที่เป็นวัสดุสำหรับคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์อิเล็คโทรนิค บรรจุภัณฑ์ที่ทำมาจากโฟม และสไตรีนยังสามารถนำมาผลิตเป็นพอลิเอสเทอร์เรซิน ซึ่งใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรงให้กับพลาสติก นอกจากนี้สไตรีนยังเป็นตัวกลางที่ใช้ในการสังเคราะห์ร่วมกับมอนอเมอร์อื่นๆ โดยกระบวนการโคพอลิเมอร์ไรเซชัน (Co-Polymerization) ได้สารประกอบที่เรียกว่า โคพอลิเมอร์ (Copolymer) เช่น สไตรีนบิวทะไดอีน (Styrene Butadiene Rubber: SBR) ที่นำมาใช้ในการผลิตยางรถยนต์และสายยาง สไตรีนอะคิลโลไนไตร์ (Styrene-Acrylonitrile, SAN) และอะคิลโลไนไตร์บิวทะไดอีนสไตรีน (Acrylonitrile Butadiene Styrene, ABS) ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ กระเป๋า ท่อ กล่องบรรจุภัณฑ์และชิ้นส่วนของอุปกรณ์ต่างๆ จากการประยุกต์ใช้สไตรีนที่หลากหลายนี้ทำให้คาดการณ์ว่าความต้องการสไตรีนในช่วงปีค.ศ. 2004-2009 จะมีการเจริญเติบโตมากขึ้นเป็นอัตราส่วนร้อยละ 4 ต่อปี[1] จึงแสดงให้เห็นว่ามีความต้องการในการผลิตสไตรีนอย่างมากในอนาคต

สำหรับกระบวนการผลิตสไตรีนนั้นมีด้วยกันหลายวิธี โดยในปี ค.ศ. 1930 เริ่มต้นกระบวนการผลิตสไตรีนจากปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันของสารตั้งต้นเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำ ซึ่งกระบวนการนี้นำไปใช้ในการผลิตสไตรีนถึงร้อยละ 95 ของปริมาณการผลิตสไตรีนทั่วโลก [2] แต่จากกระบวนการผลิตสไตรีนจากสารตั้งต้นเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำนั้นมีข้อจำกัดในด้านปริมาณการใช้ไอน้ำความร้อนที่สูงมากเกินไปและอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาค่อนข้างสูงมาก ส่งผลทำให้มีการวิจัยและพัฒนากระบวนการผลิตสไตรีนใหม่เพื่อเป็นทางเลือกในการผลิตสไตรีน โดยการใช้สารตั้งต้นเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์แทนการใช้ไอน้ำ ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์นี้อาจเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีอื่นๆ กระบวนการนี้ถูกคาดการณ์ว่าจะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [21,22] นอกจากนี้ยังสามารถลดพลังงานและเพิ่มปริมาณการผลิตสไตรีน โดยกระบวนการที่ทำการวิจัยพัฒนาขึ้นมาใหม่นี้เป็นกระบวนการที่ยังอยู่ในระดับโรงงานต้นแบบ ซึ่งถูกออกแบบโดยคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมเป็นหลัก ดังนั้นการประเมินวัฏจักรชีวิต จึงถูกนำมาใช้เพื่อเป็นเครื่องมือที่จะช่วยในการประเมินและ

เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตสไตรีนด้วยวิธีต่างๆ เพื่อพิจารณาว่ากระบวนการผลิตใดเหมาะสมและกระบวนการผลิตใดควรหลีกเลี่ยง ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลและสภาวะการดำเนินการของกระบวนการผลิต โดยงานวิจัยนี้ได้นำหลักการในการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) มาใช้เพื่อพิจารณาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์ของแต่ละกระบวนการผลิต ตั้งแต่การนำสารตั้งต้นมาใช้ กระบวนการผลิต และของเสียที่ถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม โดยประมวลผลด้วยโปรแกรม SimaPro® 6.0

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตสไตรีน โดยการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิต เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการประเมินผลกระทบ โดยการใช้เครื่องมือการประเมินวัฏจักรชีวิต
2. เพื่อวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตสไตรีน เมื่อพิจารณาถึงความไม่แน่นอนของข้อมูลและสภาวะการดำเนินของกระบวนการผลิต
3. พัฒนาปรับปรุงกระบวนการผลิตสไตรีน โดยการทำโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อลดพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนากระบวนการผลิตสไตรีนด้วยวิธีดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำและวิธีดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์
2. ใช้การจำลองกระบวนการผลิต เพื่อศึกษาข้อมูลมวลสารขาเข้า-สารขาออกและพลังของกระบวนการผลิตโดยใช้โปรแกรม Hysys ในการจำลองกระบวนการผลิต
3. ทำการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตสไตรีนโดยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro® 6.0 ด้วยวิธี Eco-indicator 99 โดยพิจารณาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้สารตั้งต้นและสารเคมีที่ถูกปล่อยออกมาในระหว่างกระบวนการผลิต

4. ประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตสไตรีน โดยทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลและสภาวะการดำเนินการของกระบวนการผลิต
5. พิจารณาในด้านการใช้พลังงาน โดยการเสนอวิธีการทำโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger Network) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตสไตรีน

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1. ทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตสไตรีน
2. แนวทางในการพิจารณาวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตสไตรีน เพื่อทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด
3. ทราบถึงความผันแปรของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตสไตรีน เมื่อพิจารณาถึงความไม่แน่นอนของข้อมูลและสภาวะการดำเนินการของกระบวนการผลิต
4. ทราบถึงแนวทางในการลดพลังงานในกระบวนการผลิตสไตรีน เพื่อให้กระบวนการผลิตเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีต่าง ๆ เกี่ยวกับกระบวนการผลิตสไตรีน
2. ใช้โปรแกรม Hysys.Plant Version 3.2 เพื่อทำการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตสไตรีน
3. ใช้โปรแกรม SimaPro® 6.0 ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตสไตรีนที่แตกต่างกัน
4. ประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตผลิตสไตรีนที่แตกต่างกันและเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตสไตรีนทั้งสองกระบวนการ นำกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดมาพิจารณาภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลและสภาวะการดำเนินการของกระบวนการผลิต
5. พัฒนาปรับปรุงกระบวนการผลิตสไตรีนโดยการทำโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger Network)
6. วิเคราะห์และสรุปผลงานวิจัย

7. เขียนรายงานผลการวิเคราะห์

1.6 เนื้อหาในแต่ละบท

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาสำหรับงานวิจัยนี้ และกล่าวถึงวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัยที่ได้ศึกษา วิธีการดำเนินงานวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องโดยอธิบายถึงหลักการและความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) ขั้นตอน และกรอบการดำเนินงานของ LCA รวมถึงโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตและอธิบายถึงการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro®6.0 สำหรับใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต นอกจากนี้ยังกล่าวถึงรายละเอียดและสมบัติต่างๆ ของสไตรีน และการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ ในส่วนท้ายของบทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากวารสารทางวิชาการที่เกี่ยวกับกระบวนการต่างๆ ในการผลิตสไตรีนและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต

บทที่ 3 อธิบายถึงวิธีการดำเนินงานวิจัย โดยกล่าวถึงขั้นตอนการวิจัย วิธีการที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต และวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 4 เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตสไตรีนด้วยวิธีต่างๆ ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ซึ่งจะทำการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยพิจารณาตั้งแต่วัตถุดิบไปจนถึงกระบวนการผลิตสไตรีน และประเมินวัฏจักรชีวิตโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro®6.0 ผลจากการประเมินที่ได้จะแสดงผลเป็นกราฟเปรียบเทียบผลกระทบด้านต่างๆ ที่เกิดจากการกระบวนการผลิตสไตรีน รวมถึงวิเคราะห์ผลที่เกิดจากการสังเคราะห์กระบวนการผลิตสไตรีน โดยทำการประเมินรวมถึงประมาณข้อมูลให้อยู่บนค่าอ้างอิงเดียวกัน

บทที่ 5 จะกล่าวสรุปถึงแต่ละกระบวนการที่ใช้ในการผลิตสไตรีนว่ากระบวนการใดมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดรวมถึงข้อเสนอแนะของการทำงานวิจัยนี้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment)

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA) กรอบการดำเนินงาน ประโยชน์ ขั้นตอนการดำเนินงาน และข้อจำกัดของการประเมินวัฏจักรชีวิต รวมถึงโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตและอธิบายถึงการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro®6.0 สำหรับใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต นอกจากนี้ยังกล่าวถึงรายละเอียดและสมบัติต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสไตรีนและการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ พร้อมทั้งได้อธิบายถึงกระบวนการผลิตสไตรีนด้วยวิธีการต่างๆ รวมทั้งอธิบายถึงกระบวนการผลิตสไตรีนที่ได้เลือกศึกษาผ่านแบบจำลองโปรแกรม HYSYS และในส่วนท้ายของบทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากวารสารทางวิชาการที่เกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิตและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตสไตรีน

2.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

2.1.1 ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) คือกระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่ หรือการแปรรูปและการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Cradle-to - Grave) โดยการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) นั้นเป็นเพียงเครื่องมือที่ใช้เพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจทางด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดย LCA จะเน้นในด้านของปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ไป รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

2.1.2 หลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิตมีเทคนิคที่แตกต่างจากเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมชนิดอื่นๆ คือ การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นกระบวนการประเมินค่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (Product) หรือหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Function) ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น โดยเน้นผลเชิงปริมาณที่ชัดเจน

LCA ถูกนำมาใช้ในการกำหนดกลยุทธ์และกำหนดนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมและเป็นส่วนหนึ่งของหลักการทำงานที่ถูกบรรจุอยู่ใน International Standard for Organization (ISO) 14000 ว่าด้วยเรื่องเกี่ยวกับมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental Management Standard) เพื่อกำหนดรูปแบบวิธีการและขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ อนุกรมของ ISO 14000 ที่เกี่ยวข้องกับ LCA ดังแสดงในตารางที่ 2.1

- International Standard ISO 14040 (1997) on principles and framework.
- International Standard ISO 14041 (1998) on goal and scope definition and inventory analysis.
- International Standard ISO 14042 (2000) on life cycle impact assessment.
- International Standard ISO 14043 (2000) on life cycle interpretation.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 แสดงคำจำกัดความย่อของ LCA ในระบบมาตรฐาน ISO 14000

มาตรฐาน	หลักการ
ISO 14040 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework	การแนะนำสู่โครงร่าง หลักการและข้อกำหนดสำหรับการศึกษา LCA โดยเฉพาะการแนะนำในเรื่องการพิจารณาถึงความสำคัญในการศึกษา LCA
ISO 14041 Environmental management - Life cycle assessment - Goal and scope definition and life-cycle inventory analysis	คำแนะนำในการทำ Life cycle Inventory ให้คำจัดกัดความของเป้าหมาย กำหนดขอบเขตระบบผลิตภัณฑ์ การเก็บข้อมูลและการส่งผลของรายงาน
ISO 14042 Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment	คำแนะนำเรื่องโครงสร้างของผลของการเก็บข้อมูลเพื่อความเข้าใจที่ดีขึ้นเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมที่สัมพันธ์กับระบบผลิตภัณฑ์ที่กำลังศึกษาอยู่
ISO 14043 Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle interpretation	คำแนะนำถึงการแปลผลจากการเก็บข้อมูล LCA และการศึกษา LCA
ISO TR 14049 (technical report, not a standard)	แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างการขอทำ ISO 14041

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 แสดงเครื่องมือสำหรับจัดการและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

เครื่องมือ	LCA (Life Cycle Assessment)	RA (Risk Assessment)	EIA (environmental Impact Assessment)	EPE (Environmental Performance Evaluation)
วัตถุประสงค์รวม	- เพื่อทำความเข้าใจในโครงสร้างทางสิ่งแวดล้อมของระบบ - เพื่อระบุลำดับในการปรับปรุง	เพื่อประเมินผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ที่เป็นอันตราย	เพื่อประเมินผลกระทบด้านบวกและด้านลบ ต่อสิ่งแวดล้อมของโครงการในอนาคต	เพื่อจัดหาข้อมูลที่เชื่อถือและพิสูจน์ได้เกี่ยวกับสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อมขององค์กร
ข้อดี	- พิจารณาผลกระทบทั้งระดับโลกและระดับภูมิภาค - สะดวกในการพิจารณาผลกระทบสู่สังคม	ประเมินผลกระทบระดับพื้นที่และภูมิภาคต่อเป้าหมายเฉพาะ	- ประเมินผลกระทบทั้งด้านบวกและด้านลบ - พิจารณาผลกระทบของโครงการในระดับพื้นที่	มีการวัดสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อมที่สัมพันธ์โดยตรงกับนโยบายและเป้าหมาย
ข้อเสีย	ไม่ได้พิจารณาถึงเรื่องเวลา	- ไม่ได้พิจารณาตลอดวงจรชีวิต - ไม่ได้พิจารณาถึงปริมาณการใช้ทรัพยากร	ยากต่อการวิเคราะห์ผลกระทบระดับโลก ภูมิภาคและตลอดวงจรชีวิต	ให้ความสัมพันธ์ที่ไม่สมบูรณ์ในการวัดสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อม
ผู้ใช้, อุตสาหกรรม	- มุ่งเน้นในการปรับปรุง - กลยุทธ์ในการวางแผนระยะยาว	เพื่อตรวจสอบการยอมรับของความเสี่ยง	- เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการทางกฎหมาย - ชี้วัดความต้องการในการเปลี่ยน	- เพื่อวัดสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อมและการปรับปรุง - เพื่อชี้วัดกลยุทธ์โอกาสทาง

	- ติดต่อสื่อสาร			ธุรกิจ
หน่วยงานรัฐ	ใช้สนับสนุนการคิดแบบครบวงจร	เพื่ออธิบายสถานการณ์ที่ยอมรับได้ในการจัดสรรลำดับทรัพยากรให้เป็นไปตามข้อกำหนดกฎหมาย	เป็นเหมือนข้อมูลเข้าเพื่อช่วยในการตัดสินใจในการยอมรับแผนโครงการ	เพื่อติดตามความก้าวหน้า
หน่วยงานเอกชน	ใช้สนับสนุนการคิดแบบครบวงจร แต่ยังมีข้อสงสัยในการประยุกต์ใช้	เพื่อคัดค้านการยอมรับสถานการณ์ที่เป็นอันตราย	เพื่อคัดค้านการยอมรับต่อแผนโครงการ	ไม่ได้นำไปใช้
เป้าหมายของการวิเคราะห์	ผลิตภัณฑ์หรือการบริการ	สถานการณ์ความเป็นพิษ	แผนสร้างโครงการ โดยทั่วไปเป็นโครงการก่อสร้าง	กิจกรรมต่างๆขององค์กร
การจำกัดพื้นที่	ไม่จำกัด	จำกัดเขตหรือพื้นที่	จำกัดเขตหรือพื้นที่	จำกัดกิจกรรมในองค์กร
พิจารณาผลกระทบทางด้านใด	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรวมจากการใช้ทรัพยากรและของเสียที่เกิดขึ้น	ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และเป้าหมายทางสิ่งแวดล้อม	ผลกระทบทั้งหมดของโครงการต่อสิ่งแวดล้อมในพื้นที่	ผลกระทบที่สัมพันธ์กับกิจกรรมขององค์กร
การแปลผล	การประเมินผลกระทบ	เปรียบเทียบกับมาตรฐานที่ยอมรับได้	ต้นทุนและกำไรทางสิ่งแวดล้อม	ระบุการชี้วัดที่ตรงกับปัญหาของสมรรถนะ
การเปรียบเทียบ	หน่วยหน้าที่	สถานการณ์ที่ต้องการ การเปรียบเทียบ	โครงการ	หน่วยการทำงาน

ที่มา : SETAC – Europe Working Group, 2003

2.1.3 วัตถุประสงค์ของการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงอายุของผลิตภัณฑ์จากข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสียหรือจากข้อมูลของสารขาเข้าของสารตั้งต้นหรือสารขาออกของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

2.1.4 ประโยชน์ของการประเมินวัฏจักรชีวิต

ประโยชน์ที่ได้จากการศึกษา LCA นั้นสามารถนำไปพัฒนาหรือปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้กระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่ยังคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ดีเช่นเดิม อีกทั้งยังใช้ในการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดว่าผลิตภัณฑ์ชนิดใดเหมาะแก่การนำไปใช้งานและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด เพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์นั้นๆ นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มทางเลือกในการผลิตที่จะสามารถลดผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตและนำไปสู่การใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ

2.1.5 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต

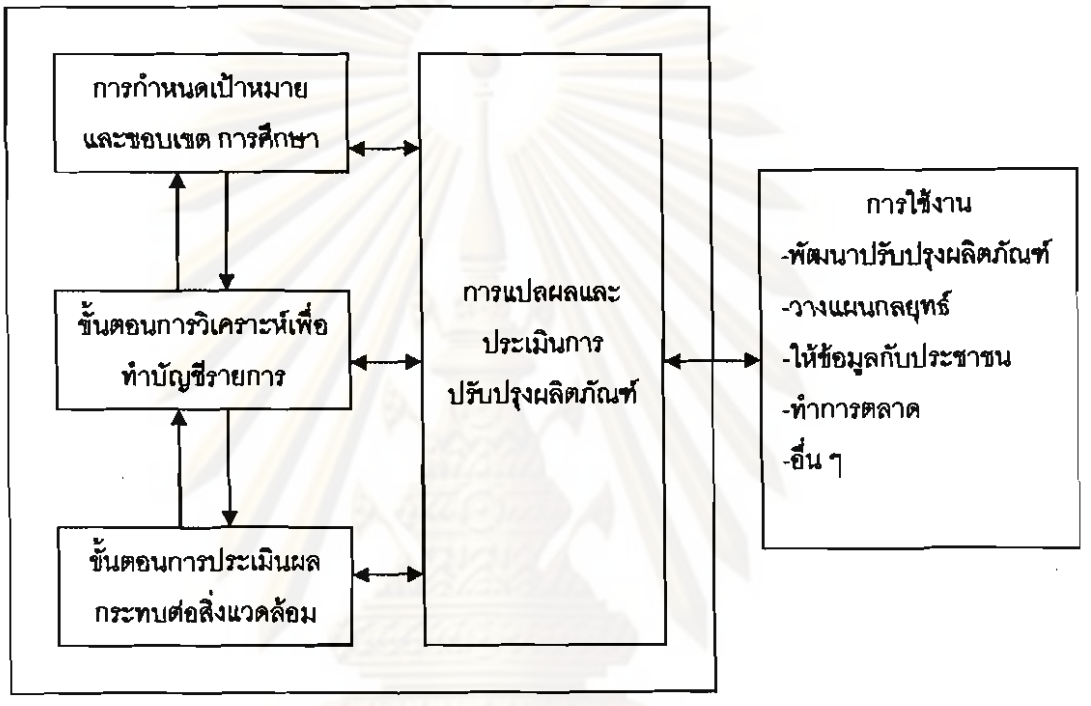
การประเมินวัฏจักรประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope Definition)
2. การจัดทำบัญชีรายการ (Inventory Analysis)
3. การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment)
4. การแปลผลและการตีความ (Interpretation)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.5.1 กรอบการดำเนินงานของ LCA

โครงการด้านสิ่งแวดล้อมจากอนุกรมมาตราฐาน ISO 14040



ภาพที่ 2.1 กรอบการดำเนินงาน LCA ของอนุกรมมาตราฐาน ISO 14040
(ที่มา: International Standard ISO 14040: 1997(E))

2.1.5.2 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope Definition)

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการทำ LCA เพื่อให้เกิดความชัดเจนในวัตถุประสงค์ของการศึกษาและกำหนดระบบที่จะศึกษาให้ตรงตามความต้องการ ขั้นตอนนี้จะประกอบไปด้วยประเด็นที่สำคัญดังนี้

- **การกำหนดเป้าหมายของการศึกษา** (Goal)

การกำหนดเป้าหมายของการศึกษาเป็นขั้นตอนแรกของการศึกษา LCA ควรมีการกำหนดเป้าหมายให้ชัดเจน ไม่คลุมเคลือ และควรมีการกำหนดเหตุผลในการศึกษาและการนำผล

การศึกษาไปใช้ นอกจากนี้ควรประเมินว่าวิธีการวิเคราะห์วิธีใดสามารถใช้ในการศึกษาได้บ้าง เนื่องจากถ้านำวิธีการวิเคราะห์ที่ไม่เหมาะสมไปใช้จะนำไปสู่การสรุปที่ไม่ถูกต้อง

- **การกำหนดขอบเขตของการศึกษา** (Scope)

ขอบเขตของการศึกษาเป็นตัวกำหนด ระบบ ขอบเขต ความต้องการของข้อมูล สมมติฐาน และข้อจำกัดของข้อมูล เพื่อบ่งชี้ กำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินและกำหนดการรวบรวมสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อเป้าหมายของการศึกษา การกำหนดขอบเขตของการศึกษาควรจะมีการอธิบายหรือกำหนดอย่างเพียงพอ เพื่อให้แน่ใจว่ารายละเอียดในการศึกษามีความเกี่ยวข้องและเพียงพอต่อเป้าหมายที่กำหนดไว้

วัตถุประสงค์ของการกำหนดขอบเขตคือ การบ่งชี้และกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินและกำหนดการรวบรวมสิ่งที่ประโยชน์ต่อเป้าหมายของ LCA ซึ่งจะประกอบไปด้วย

- การกำหนดสิ่งที่จะศึกษารวมทั้งกำหนดหน่วยหน้าที่
- กำหนดตัวแปร (Parameter) ที่เหมาะสมในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- การบ่งชี้กระบวนการผลิตที่สำคัญทางสิ่งแวดล้อมในระบบผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับเป้าหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต
- การกำหนดขอบเขตของระยะเวลาในการดำเนินงาน รวมทั้งกำหนดเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในระบบผลิตภัณฑ์
- การปันส่วนของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (allocation) ที่เกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์

- **การกำหนดหน้าที่** (Functional Unit)

หน่วยหน้าที่จะถูกกำหนดขึ้น เพื่อใช้เป็นพื้นฐานสำหรับกำหนดการเก็บข้อมูลของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบ หน่วยหน้าที่ของระบบควรมีการระบุอย่างชัดเจน สามารถวัดค่าได้ และตั้งให้อยู่บนพื้นฐานของหน้าที่เดียวกัน ซึ่งการกำหนดหน่วยหน้าที่จะสามารถนำไปใช้เปรียบเทียบผลของ LCA ระหว่างระบบที่แตกต่างกัน ระหว่างผลิตภัณฑ์หรือหลายผลิตภัณฑ์ที่

รวมเป็นผลิตภัณฑ์เดียว เพื่อให้ข้อมูลปริมาณสารที่เข้าและออกจากระบบตั้งอยู่บนพื้นฐานเดียวกัน ซึ่งหน่วยการทำงานมีได้หลายรูปแบบ

- **ขอบเขตของระบบ** (System Boundary)

ขอบเขตของระบบในที่นี้จะแสดงถึงขอบเขตระหว่างระบบผลิตภัณฑ์ (Product system) กับสิ่งแวดล้อมหรือกับผลิตภัณฑ์อื่นๆ โดยที่ระบบผลิตภัณฑ์คือ ระบบที่ถูกจำลองขึ้นจากกระบวนการย่อย โดยนำระบบกระบวนการย่อย (unit process) หลายกระบวนการมาเชื่อมต่อกันโดยอาศัยการไหลของผลิตภัณฑ์ของแต่ละกระบวนการย่อยเป็นตัวเชื่อมโยง ดังนั้นในระบบผลิตภัณฑ์จึงประกอบด้วย กระบวนการย่อย ผังการไหลของทรัพยากร วัตถุดิบหรือพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ระบบและผังการไหลของผลิตภัณฑ์หรือของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการต่างๆ ออกสู่สิ่งแวดล้อม

- **คุณภาพของข้อมูล** (Data Quality)

เนื่องจากการศึกษา LCA ต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากจึงจำเป็นต้องมีการระบุรายละเอียดและระดับคุณภาพของข้อมูลเพราะคุณภาพของข้อมูลที่ใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการย่อมมีผลต่อคุณภาพของบทสรุปของการประเมินวงจรชีวิตของสิ่งที่สนใจ การระบุคุณภาพของข้อมูลควรครอบคลุมถึงตัวแปรที่สำคัญ เช่น

- ช่วงเวลาของข้อมูลเพื่อให้ทราบถึงข้อมูลดังกล่าวว่าอยู่ในช่วงเวลาใดและใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลเท่าใด
- ลักษณะที่มาของข้อมูลว่าเป็นข้อมูลจากกระบวนการใด เป็นข้อมูลการผลิตจริงหรือเป็นข้อมูลสถิติ ข้อมูลเป็นตัวแทนของโรงงานเดียวหรือเป็นตัวแทนของภาพรวมอุตสาหกรรม
- ด้านเทคโนโลยีเกี่ยวกับข้อมูลว่าข้อมูลที่นำมาศึกษาเป็นข้อมูลจากสภาวะการผลิตปกติ ผิดปกติหรือจากช่วงที่กำลังการผลิตสูงสุด เนื่องจากสิ่งเหล่านี้มีผลต่อการวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมด้วยเช่นกัน

หากข้อมูลจำเป็นต้องใช้สมมติฐานในการวิเคราะห์จะต้องมีการอธิบายสมมติฐานต่างๆ ทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษา เพื่อให้ผู้อ่านผลการศึกษาได้ทราบถึงที่มาของข้อมูลและผลการวิเคราะห์อย่างแท้จริง

2.1.5.3 **การวิเคราะห์บัญชีรายการ** (Life Cycle Inventory Analysis: LCI)

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมเป็นการเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่างๆ ที่ได้มีการกำหนดไว้แล้วในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษารวมทั้งสร้างแบบจำลองของระบบผลิตภัณฑ์ (Product system) การคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบของผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาถึงทรัพยากรและพลังงานที่ใช้ในการหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมควรพิจารณาประเด็นต่างๆ ที่สำคัญ ได้แก่ การเก็บรวบรวมข้อมูล การคำนวณ ความถูกต้องของข้อมูล ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลกับระบบย่อย การกำหนดขอบเขตของระบบให้เหมาะสมขึ้น และการปันส่วน ขั้นตอนต่างๆ ในการวิเคราะห์บัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น มีดังนี้

- **การคัดเลือกข้อมูล** (Data Selection)

การวิเคราะห์บัญชีรายการจะรวมถึงการคัดเลือกข้อมูลและการจัดการข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ เช่น การใช้วัตถุดิบ ของเสีย มลพิษที่เกิดขึ้น เป็นต้น ซึ่งเกิดขึ้นจากตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้นๆ

- **การกลั่นกรองขอบเขตของระบบ** (Refining System Boundaries)

หลังจากการเก็บข้อมูลชุดแรกจะต้องมีการกลั่นกรองขอบเขตของระบบ เช่น การตัดสินใจในการเลือกหรือตัดกระบวนการใดออกไป การตัดสินใจตัดวัตถุดิบบางส่วนออกไปด้วย การเพิ่มหน่วยการผลิตที่มีส่วนสำคัญในการวิเคราะห์ผล

- **วิธีการคำนวณ** (Calculation Procedures)

การคำนวณผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งในปัจจุบันมีโปรแกรมสำเร็จรูปหลายโปรแกรมที่สามารถนำมาคำนวณได้ การเลือกโปรแกรมที่นำมาคำนวณผลขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของข้อมูล สิ่งที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการคำนวณได้แก่ ความถูกต้องของข้อมูล การเชื่อมข้อมูลเข้ากับกระบวนการย่อย การเชื่อมข้อมูลเข้ากับหน่วยการทำงาน การปรับขอบเขตของระบบให้เหมาะสมขึ้น

- **ความถูกต้องของข้อมูล** (Validation of Data)

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลต้องดำเนินการในระหว่างการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลหรือคัดเลือกข้อมูล เช่น ดูสัมพันธ์ของข้อมูลโดยการทำมวลสาร ดุลพลังงานหรือวิเคราะห์เปรียบเทียบการปล่อยมลพิษ เป็นต้น เพื่อปรับปรุงคุณภาพของข้อมูล การตรวจสอบข้อมูลอย่างมีหลักเกณฑ์จะแสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงข้อมูลหรือข้อมูลนั้นมีความใกล้เคียงกับกระบวนการอื่นๆ

- **การจัดสรรข้อมูลหรือการปันส่วน** (Allocation)

ในขั้นตอนของการทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมนั้นได้ตั้งอยู่บนพื้นฐานของสมดุลมวลสารระหว่างสารขาเข้าและสารขาออก ดังนั้นการปันส่วนจึงควรประมาณให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงและตั้งอยู่บนพื้นฐานของความสัมพันธ์และลักษณะของสารขาเข้าและสารขาออก การจัดสรรข้อมูลหรือการปันส่วนนี้สามารถนำใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ร่วม พลังงานที่ใช้ภายในระบบ การบริการและการแปรใช้ใหม่

2.1.5.4 **การประเมินผลกระทบ** (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)

การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เป็นการแปลงค่าข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมจากข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกหรือจากข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการปลดปล่อยของเสีย โดยในการประเมินผลกระทบนี้จะทำการจำแนก จัดกลุ่มและเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้น ซึ่งทำให้สามารถเข้าใจได้ง่าย มีความสมบูรณ์

ถูกต้อง และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ เป้าหมายของการศึกษา เพื่อที่จะนำไปแปลผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อมนุษย์ สิ่งแวดล้อมและทรัพยากรต่อไป

การศึกษาประเด็นหลักๆ ที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการแปลผล จะเกี่ยวข้องกับประเด็นดังต่อไปนี้

- การระบุประเด็นสำคัญเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม
- การประเมินผลที่สมบูรณ์ ละเอียด และเที่ยงตรง
- การตรวจสอบบทสรุปว่าตรงกับวัตถุประสงค์ ขอบเขตการศึกษา ข้อจำกัดและสมมติฐานอื่นๆ หรือไม่

การประเมินผลกระทบเป็นขั้นตอนที่สามของการประเมินวงจรชีวิตเพื่อจัดจำแนกและประเมินผลทางด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งประกอบด้วยประเด็นที่สำคัญดังนี้

- **การคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ** (impact categories)

โดยการนำเอาข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการมาใช้ในการวิเคราะห์และจำแนกผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสารขาเข้าและสารขาออกอย่างเป็นหมวดหมู่ สิ่งสำคัญในการดำเนินการของขั้นตอนนี้คือ การจำแนกว่าระบบผลิตภัณฑ์นั้นมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านใด ซึ่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่นิยมนำมาใช้ในการจำแนกเพื่อประเมินผลกระทบ ได้แก่

- การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ
- ภาวะโลกร้อน
- การลดลงโอโซนในชั้นบรรยากาศ
- การสิ้นเปลืองทรัพยากร
- การสิ้นเปลืองพลังงาน
- การก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ
- การก่อให้เกิดสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ
- ภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- **การคัดเลือกตัวชี้วัด** (Category indicators)

เนื่องจากแต่ละกลุ่มผลกระทบจะมีตัวชี้วัดผลกระทบได้หลายตัว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการพิจารณาผลกระทบและตัวชี้วัดผลกระทบปลายทาง โดยพิจารณาให้ความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตและสอดคล้องกับประเภทของผลกระทบที่ได้คัดเลือกไว้

- **การจำแนกประเภท** (Classification)

ในขั้นนี้จะเป็นการจำแนกประเภท โดยจะทำการจัดกลุ่มข้อมูลขาเข้าและขาออกว่ามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประเภทใด เช่น มีเทนอยู่ในกลุ่มที่ส่งผลกระทบประเภททำให้โลกร้อนขึ้น (Climate change) สารเคมีบางชนิดสามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้หลายด้านเช่น SO_2 เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบทั้งทางด้านสุขภาพมนุษย์และด้านความเป็นกรด เป็นต้น

โดยประเภทของผลกระทบและชนิดของสสารอันเป็นผลให้เกิดผลกระทบประเภทต่างๆ แสดงในภาคผนวก ข

- **การกำหนดบทบาท** (Characterization)

การกำหนดบทบาทเป็นการแสดงประเภทของผลกระทบให้อยู่ในรูปของตัวบ่งชี้ (Indicator) โดยใช้ค่าแฟกเตอร์ (Characterization Factor) ในการคูณเพื่อเปลี่ยนจากปริมาณน้ำหนักเป็นค่าบ่งชี้ของผลกระทบและทำการรวมค่าทั้งหมดของผลกระทบ ดังสมการ

$$EP_j = \sum(Q_i \times EF_{ij})$$

เมื่อ EP_j (Environmental impact potential) คือ ค่าศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับผลกระทบประเภท j ใด ๆ (kg substance equivalent)

Q_i (Quality of Substance) คือ ปริมาณมลภาวะสาร j ที่ปล่อยออกมา

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

- **การหาขนาดของผลกระทบ** (Normalization)

การหาขนาดของผลกระทบเป็นการแสดงขนาดของผลกระทบของผลิตภัณฑ์หรือบริการโดยเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์หรือบริการอื่นที่ต้องการอ้างอิง แสดงดังสมการ

$$NP_{j(product)} = EP_j/(T \times ER_j)$$

เมื่อ $NP_{j(product)}$ (Normalized Environmental Impact Potential) คือ ค่าปกติทางศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ของผลิตภัณฑ์ใดๆ

T (Life Time of Product) คือ อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์

ER_j (Normalization Reference) คือ ค่าอ้างอิงปกติของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ที่เกิดจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปี (kg substance equivalent/person/year)

- **การจัดกลุ่ม** (Grouping)

ผลที่ได้จากการทำการเทียบหน่วยจะถูกนำมาจัดเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ และผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากร เพื่อให้ทราบว่าผลที่เกิดขึ้นส่งผลกระทบต่อกลุ่มผลกระทบใดมากที่สุด เนื่องจากผลกระทบทั้ง 3 ด้าน จัดเป็นผลกระทบปลายทางที่เห็นชัดและคนทั่วไปสามารถเข้าใจได้ง่ายที่สุด แต่อย่างไรก็ตามค่าผลกระทบที่นำมาคำนวณนี้ไม่ได้เกิดจากการวัดผลโดยตรง แต่เกิดจากหลักการทางวิทยาศาสตร์ ดังนั้นความเที่ยงตรงของข้อมูลจึงมีน้อยกว่าข้อมูลการวิเคราะห์บัญชีรายการ

- **การให้ค่าน้ำหนัก** (Weighting)

การให้ค่าน้ำหนักเป็นขั้นตอนในการให้ความสำคัญของลักษณะของผลกระทบทั้ง 3 ประ เภท คือ สุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศน์ การใช้ทรัพยากรและรวมค่าของดัชนีตัววัดทั้ง 3 ประเภทให้เป็นคะแนนเดียว

$$WP_j = WF_j \times NP_j$$

เมื่อ WP_j (Weighted Environmental Impact Potential) คือ ค่าศักยภาพทางผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ หลังการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญแล้ว (person for target: Pt)

WF_j (Weighting Factor) คือ ค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้

2.1.5.5 **การแปลผล** (Interpretation)

การแปลผลเป็นขั้นตอนในการนำผลจากการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมและการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาเชื่อมโยงกันเพื่อนำไปวิเคราะห์ผล สรุปผล และข้อเสนอแนะตามเป้าหมาย วัตถุประสงค์ และขอบเขตของการศึกษา ซึ่งการแปลผลอาจเป็นการทำซ้ำไปซ้ำมา เพื่อพิจารณาทบทวนจากข้อมูลและอาจต้องเปลี่ยนแปลงขอบเขตการศึกษา เพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นจริงและคุณภาพของข้อมูลที่รวบรวมมาได้ตามเป้าหมายที่กำหนด

หลังจากทำการประเมินวงจรชีวิตทำให้ทราบว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใดเป็นอันตรายที่สุดและเกิดจากกระบวนการใด เพื่อจะวิเคราะห์หาวิธีที่เหมาะสมในการแก้ไขและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้นหรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านต่างๆ คือ ปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์ เทคโนโลยีและความต้องการของผู้บริโภค

2.2 โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตต้องใช้ข้อมูลและตัวเลขมากมาย ดังนั้นจึงมีการนำโปรแกรมสำเร็จรูปเข้าช่วยในการวิเคราะห์ผล เพราะสามารถจัดการกับข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว สะดวกสบายและมีคุณภาพมากขึ้น ซึ่งเดิมนิยมใช้โปรแกรม Microsoft Excel หรือ Spreadsheets ในการคำนวณ แต่ปัจจุบันเริ่มหันมาใช้โปรแกรมสำเร็จรูปมากขึ้น เนื่องจากสามารถใช้งานได้ง่าย รวมถึงประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย นอกจากนี้ยังสามารถใช้ได้กับกระบวนการผลิตที่มีจำนวนขั้นตอนมากๆ และเชื่อมโยงกับฐานข้อมูล LCA ที่ทำไว้ทั่วโลก ตัวอย่างโปรแกรมสำเร็จรูปที่นิยมใช้สำหรับการศึกษา LCA แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงตัวอย่างโปรแกรมสำเร็จรูปที่นิยมใช้สำหรับการศึกษา LCA

โปรแกรมสำเร็จรูป	ผู้ผลิตโปรแกรม	ประเทศ
SimaPro 5.1	Pre' Consultants	เนเธอร์แลนด์
GaBi 3.2	IKP Stuttgart	เยอรมันนี
TEAM 3.0	ECObilan	ฝรั่งเศส
LCAiT	Chalmers	สวีเดน
KCL-Eco	KCL	ฟินแลนด์
Umberto 4.1	lfu/ifeu	เยอรมันนี
EcoPro	EMPA, sinnum	สวิตเซอร์แลนด์
Boustead	Boustead	อังกฤษ
NIRE-LCA	NIRE/ AIST	ญี่ปุ่น*
JEMAI-LCA	JEMAI	ญี่ปุ่น*

* มีเฉพาะภาษาญี่ปุ่นเท่านั้น

2.2.1 โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro

โปรแกรม SimaPro เป็นโปรแกรมผลิตขึ้น โดย Mr. Mark Goedkoop ของบริษัท Pré Consultants สร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1990 ภายใต้โครงการของรัฐบาลเนเธอร์แลนด์ Pre Consultants ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมอย่างต่อเนื่องโดยมีรัฐบาลเนเธอร์แลนด์สนับสนุน โดยทำการพัฒนา Eco-indicator 95 และ 99 โดยทั้ง 2 โปรแกรมมีประโยชน์อย่างมากในการจัดการผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันโปรแกรม SimaPro 6.0 เป็นโปรแกรมที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมเพราะมีการวิเคราะห์ผลตามระบบ ISO มีการเปรียบเทียบผลของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเปรียบเทียบ มีฐานข้อมูล มีการแสดงผลในรูปของตาราง และรูปภาพ มีความยืดหยุ่นในการเพิ่มข้อมูลใหม่ และสามารถปรับปรุงฐานข้อมูลได้ แต่พบว่ามีโปรแกรมสำเร็จรูปหลายโปรแกรมมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับโปรแกรม SimaPro ดังนั้นการเลือกใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูปจึงขึ้นอยู่กับราคาลิขสิทธิ์ของโปรแกรมและการยอมรับของผู้ใช้โปรแกรม เมื่อพิจารณาการยอมรับของผู้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปโดยเปรียบเทียบจากการขายลิขสิทธิ์โปรแกรม พบว่าโปรแกรม SimaPro มีราคาเหมาะสม และได้รับการยอมรับจากผู้ใช้มากที่สุด ดังตารางที่2.4 **[4]**

ตารางที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิต

หัวข้อ	EDIP PC-tool	EPS4.0 Design System	Gabi 3	SimaPro4.0	TEAM	Umberto3.5
ประเทศ	Denmark	Sweden	Germany	Netherlands	France	Germany
จำนวนลิขสิทธิ์ที่ขายได้	100	>200	250	>600	>200	>350
เวลาที่ใช้ในการศึกษา	< 1 สัปดาห์	< 1 สัปดาห์	< 1 เดือน	< 1 วัน	< 1 วัน	< 1 สัปดาห์
วิธีในการประเมินผลกระทบ	EDIP, Environmental method	EPS	Eco Indicator + Create your own method	EI95, EI99, EP97, CML, EDIP, EPS	CML, EPA, IPCC, CVCH	Eco Indicator, Swiss eco point
เป็นไปตามมาตรฐาน ISO 14040	+	+	+	+	+	+
แสดงผลในตาราง	+	+	+	+	+	+
แสดงผลในรูปกราฟ	+	+	+	+	+	+
การปรับปรุงข้อมูล	ช่วงเวลาอื่น	ทุกปี	ช่วงเวลาอื่น	ทุก2ปี	ทุกปี	ช่วงเวลาอื่น
แสดงผลในแต่ละประเภทของผลกระทบ	+	+	+	+	+	+
สามารถผลเพื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ได้	+	+	+	+	+	+

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สามารถดึงผลการประเมินออกจากโปรแกรมได้	+	+	+	+	+	+
ตรงตามเป้าหมาย สำหรับวิศวกรออกแบบ	+	+	+	+	+	+
ตรงตามเป้าหมาย สำหรับวิศวกรสิ่งแวดล้อม	+	+	+	+	+	+
ตรงตามเป้าหมาย สำหรับผู้เชี่ยวชาญ LCA	-	+	+	+	+	+
มีฐานข้อมูล	+	+	+	+	+	+
สามารถเพิ่มข้อมูลเข้าไปใหม่ได้	+	+	+	+	+	+

+ หมายถึง มีคุณสมบัตินั้นในโปรแกรม

- หมายถึง ไม่มีคุณสมบัตินั้นในโปรแกรม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.2 ขั้นตอนการเลือกวิธีในการประเมินค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนการเลือกวิธีในการประเมินค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อให้การวิเคราะห์ผลและสรุปผลมีความถูกต้องตรงตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา ซึ่งการเลือกวิธีในการประเมินค่าผลกระทบนั้นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ประกอบการพิจารณา ซึ่งปัจจัยแรกคือ ประเภทของผลกระทบ (Impact Category) ให้มีความสอดคล้องกับขอบเขตและเป้าหมายของการศึกษา และปัจจัยที่สองคือ ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ทรัพยากร การปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมกับค่าปัจจัยในการกำหนดบทบาท (Characterization Factor) เนื่องจากสารเคมีและกิจกรรมต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้นมีอยู่มากมาย ถ้าการเลือกวิธีในการประเมินค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ไม่มีความเหมาะสมจะส่งผลให้สารเคมีและกิจกรรมต่างๆ นั้นจะไม่ถูกเปลี่ยนแปลงค่าข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในรูปผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงทำให้มีการวิเคราะห์ผลและสรุปผลที่ผิดพลาด

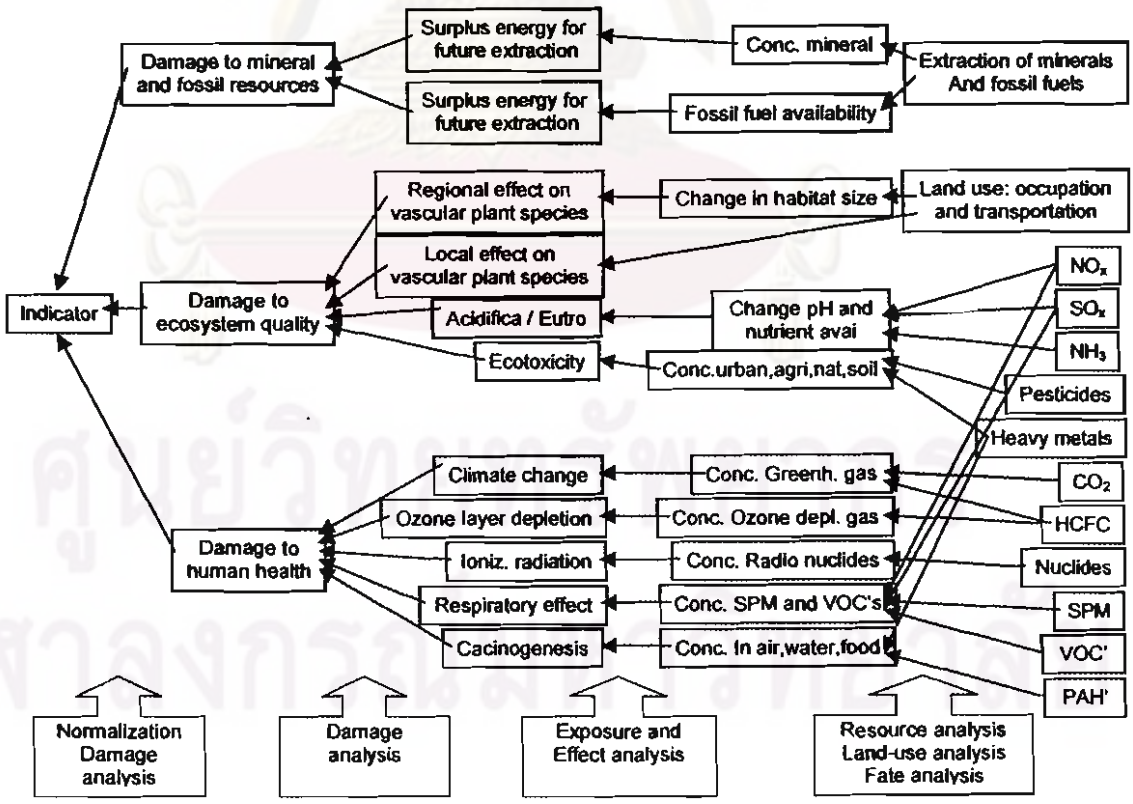
ตารางที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบวิธีการประเมินค่าผลกระทบแต่ละดัชนีชี้วัด

ดัชนีชี้วัด	ประเภทผลกระทบ	ครอบคลุมงานวิจัย
EPS 2000	สุขภาพมนุษย์, ระบบนิเวศน์, ทรัพยากร	ไม่ครอบคลุม
EDIP	สุขภาพมนุษย์, ระบบนิเวศน์, ทรัพยากร	ไม่ครอบคลุม
Eco-95	สุขภาพมนุษย์, ระบบนิเวศน์, ทรัพยากร	ไม่ครอบคลุม
Eco-99	สุขภาพมนุษย์, ระบบนิเวศน์, ทรัพยากร	ครอบคลุม
CML	สุขภาพมนุษย์, ระบบนิเวศน์	ไม่ครอบคลุม
Ecopoint 97	ทรัพยากร	ไม่ครอบคลุม
IPCC	ภาวะโลกร้อน	ไม่ครอบคลุม
Cumulative Energy Demand	พลังงาน	ไม่ครอบคลุม

จากปัจจัยการเลือกวิธีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและตารางที่2.5 แสดงให้เห็นว่าวิธีการประเมินผลกระทบด้วยวิธี Eco-indicator 99 มีความเหมาะสมกับงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ เป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา รวมทั้งมีความครอบคลุมระหว่างการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมกับค่าปัจจัยในการกำหนด

บทบาท (Characterization Factor) ที่สามารถแปลงค่าข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในรูปผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการเลือกวิธี Eco-indicator 99 ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยวิธี Eco-indicator 99 จะแบ่งกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Impact Categories) ออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ คือ สุขภาพมนุษย์ (Human Health) คุณภาพระบบนิเวศน์ (Ecosystem Quality) และทรัพยากร (Resource) ดังภาพที่ 2.2

ตัวอย่างแนวคิดในการจัดทำ LCA โดยใช้ Eco-indicator 99



ภาพที่2.2 แนวคิดในการจัดทำ LCA โดยใช้ Eco-indicator 99

2.2.3 วิธีประเมินค่าผลกระทบโดย Eco-indicator Method

วิธีในการประเมินค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันมีหลายวิธี เช่น Ecoscarcity Method, Environmental Theme Method, Environmental Design of Industrial Products (EDPI), Ecoindicator Method เป็นต้น แต่วิธี Ecoindicator เป็นวิธีที่ใช้อย่างแพร่หลายเพราะมีระบบการให้น้ำหนักที่สนับสนุนข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ ซึ่งขั้นตอนการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของ Ecoindicator Method มีดังนี้

- วัตถุดิบ พลังงาน และของเสียจะถูกแจกแจงเป็นประเภทของผลกระทบทั้ง 11 ประเภท
- ผลกระทบทั้ง 11 ประเภทจะถูกจัดกลุ่มออกเป็น 3 กลุ่ม ตามลักษณะของกลุ่มเป้าหมาย
- การให้น้ำหนักหรือความสำคัญและรวมคะแนนเป็นคะแนนเดียว

กลุ่มเป้าหมายและประเภทของผลกระทบมีดังนี้

- **สุขภาพมนุษย์** (Human Health) **ประกอบด้วย**
  - สารก่อมะเร็ง (Carcinogenic)
  - ผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร (Respiration of organic substance)
  - ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiration of inorganic substance)
  - สารแผ่รังสี (Radiation)
  - ภาวะโลกร้อน (Climate change)
  - การลดลงของโอโซน (Ozone depletion)
- **ระบบนิเวศน์** (Ecosystem) **ประกอบด้วย**
  - ภาวะความเป็นกรด (Acidification) / ภาวะอูโทรฟิเคชัน (Eutrophication)
  - ความเป็นพิษ (Ecotoxicity)
  - การใช้พื้นที่ (Land use)

- **การลดลงของทรัพยากร** (Resource depletion) **ประกอบด้วย**

  - การใช้สินแร่ (Mineral)
  - การใช้เชื้อเพลิง (Fossil Fuel)

ตารางที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มเป้าหมายที่ถูกทำลาย ประเภทของผลกระทบและสสารที่เป็นปัจจัยของผลกระทบ

กลุ่มเป้าหมายของการทำลาย (หน่วย)	ประเภทของผลกระทบ	สสารที่เป็นปัจจัยของผลกระทบ
Human Health (Disability Adjusted Life Years :DALYs)	สารก่อมะเร็ง ผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร สารแผ่รังสี ภาวะโลกร้อน การลดลงของชั้นโอโซน	arsenic, cadmium, nickel methane, benzene CO, SO_x, NH_3 Nuclear energy production CO2, methane, CFCs CFCs, HFCs
Ecosystem Quality (Potentially Disappeared Fraction : PDF)	ภาวะความเป็นกรด ภาวะอูโทรฟิเคชัน ความเป็นพิษ การใช้พื้นที่	NO_x, SO_x, NH_3 Heavy metal, benzene Grassland, wood
Resource Depletion (MJ surplus Energy)	การใช้สินแร่ การใช้เชื้อเพลิง	cupper, nickel, zinc crude oil, coal

ที่มา : Phylipsen (2000)

- **ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์**

ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์จะแสดงในหน่วยของ DALYs ซึ่งเป็นดัชนีที่กำหนดโดย WHO และ World Bank

1. Fate Analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของสารที่ปล่อยออกจากระบบผลิตภัณฑ์ต่อระยะเวลาและพื้นที่กับความเข้มข้น

2. Effect Analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารกับประเภทของผลกระทบต่อน้ำหนักของสารที่ปล่อยออกจากระบบของผลิตภัณฑ์
3. Damage Analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของขนาดของผลกระทบต่อน้ำหนักของสารกับจำนวนปีที่เจ็บป่วยซึ่งไม่สามารถทำอะไรได้ (DALY/kg)

- **ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์วิทยา**

ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์วิทยาแสดงในหน่วยสัดส่วนการสูญหายของความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตต่อพื้นที่เนื่องจากผลกระทบหรือภาระทางสิ่งแวดล้อม แสดงในหน่วยของ PDF/m^2/year (PDF: Potentially Disappeared Fraction)

1. Fate Analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของสารที่ปล่อยออกจากระบบผลิตภัณฑ์ต่อระยะเวลาและพื้นที่กับความเข้มข้น
2. Effect Analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารกับหน่วยความเสี่ยง
3. Damage Analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของความเสี่ยงกับการสูญหาย (PDF/m^2/year)

- **ผลของการลดลงของทรัพยากร**

ผลของการลดลงของทรัพยากรแสดงเป็นหน่วยปริมาณของพลังงานที่ใช้ในการสกัดแร่หรือเชื้อเพลิง (MJ surplus energy)

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

ผลจากการทำ Fate Analysis, Effect Analysis และ Damage Analysis เหมือนกับผลจากการทำ Classification และ Characterization คือ การแจกแจงสารเข้าสู่ประเภทของผลกระทบและทำการคำนวณหาค่าของผลกระทบแต่ละประเภท จากนั้นจะทำการหาขนาดของ

ผลกระทบแต่ละกลุ่มเป้าหมายโดยใช้ค่า Normalization โดยการให้ความสำคัญของแต่ละกลุ่มเป้าหมายจะใช้ค่า Weighting ของบริษัท Pre' Consultant

หลังจากการจัดกลุ่มผลกระทบทั้ง 3 ประเภท จะทำการเปรียบเทียบกับปีฐาน โดยใช้ค่า Normalization และให้ค่าความสำคัญหรือน้ำหนักโดยใช้ค่า Weighting และรวมเป็นคะแนนเดียว (Single Score) ค่า Normalization และค่า Weighting สำหรับคำนวณผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมตามวิธี Eco-Indicator Method แสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 แสดงค่า Normalization และค่า Weighting สำหรับกลุ่มเป้าหมายหรือลักษณะการทำลาย

Damage categories	Pré Consultants Normalization factor	Pré Consultants Weighting factor
Human Health	1.54×10^{-2}	400
Ecosystem Quality	5.13×10^{3}	400
Resource Depletion	8.40×10^{3}	200

ที่มา : Phylipsen (2001)

2.2.4 ข้อจำกัดของ LCA

การศึกษา LCA มีความซับซ้อนมากกว่าเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เนื่องจากต้องทำการวิเคราะห์ และประเมินตั้งแต่แหล่งกำเนิดทรัพยากรที่นำมาใช้จนถึงการทำลายซากผลิตภัณฑ์ เป็นเหตุให้การศึกษา LCA ต้องการข้อมูลในการวิเคราะห์ที่ละเอียดและปริมาณมากเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำและถูกต้อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

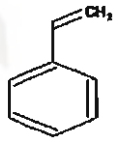
2.3 สไตรีน

สไตรีนเป็นมอนอเมอร์ชนิดหนึ่ง มีสูตรทางเคมี $C_6H_5CH=CH_2$ สไตรีนเป็นสารที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเริ่มตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 ในอุตสาหกรรมพลาสติกและการผลิตยางสังเคราะห์โดยกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันของสไตรีนได้พอลิสไตรีนเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งพอลิสไตรีนเป็นพลาสติกชนิดที่มีประโยชน์มากในอุตสาหกรรมปัจจุบัน และเป็นพลาสติกชนิดที่เบาที่สุดในพลาสติกชนิดแข็ง

ชื่อเคมีทั่วไป : Styrene; Vinyl benzene

ชื่อพ้องอื่นๆ : Phenylethylene; Styrol ; Cinnamene; Ethenylbenzene; Annamene; Styrolene; Cinnamene; Cinnamol; Cinnamenol; Diarex hf 77; Phenethylene; Phenylethene; Styron; Styropol; Styropor; Vinylbenzol;

สูตรโมเลกุล : C_8H_8 สูตรโครงสร้าง :



2.3.1 สมบัติทางกายภาพ

ตารางที่ 2.8 แสดงสมบัติทางฟิสิกส์และข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับสไตรีน

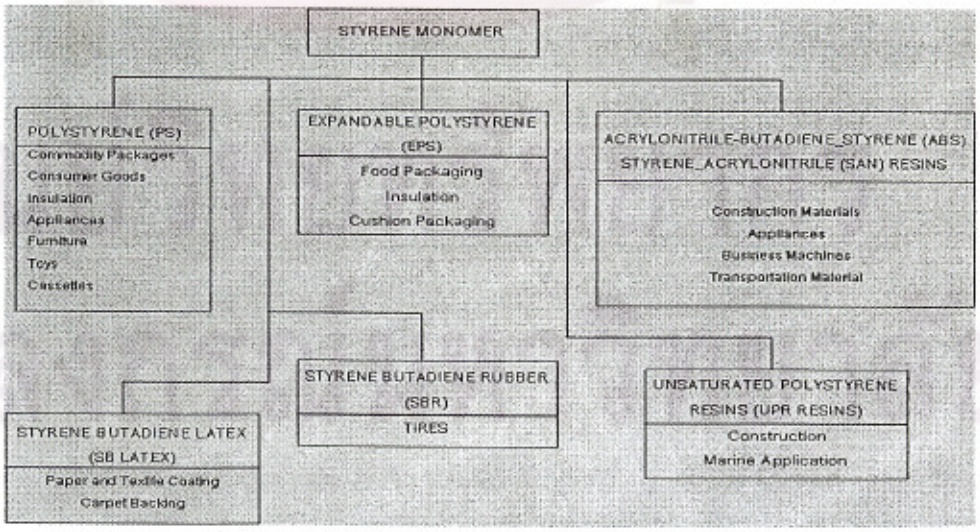
CAS number	100-42-5
สูตรโมเลกุล	$C_6H_5CH=CH_2$
น้ำหนักโลเมเลกุล	104.6
ความถ่วงจำเพาะ	0.905
จุดเดือด	145.2
จุดหลอมเหลว	-30.6°C
จุดวาบไฟ	31°C
ความดันไอ(25)°C	0.8666k Pa
ค่าการละลาย	ละลายในน้ำได้เล็กน้อยประมาณ 300 mg/Lละลายได้ในไดเอทิลอีเทอร์ เอทานอล อะซิโตน ละลายได้ดีในเบนซีน และปิโตรเลียมอีเทอร์

2.3.2 สมบัติทางเคมี

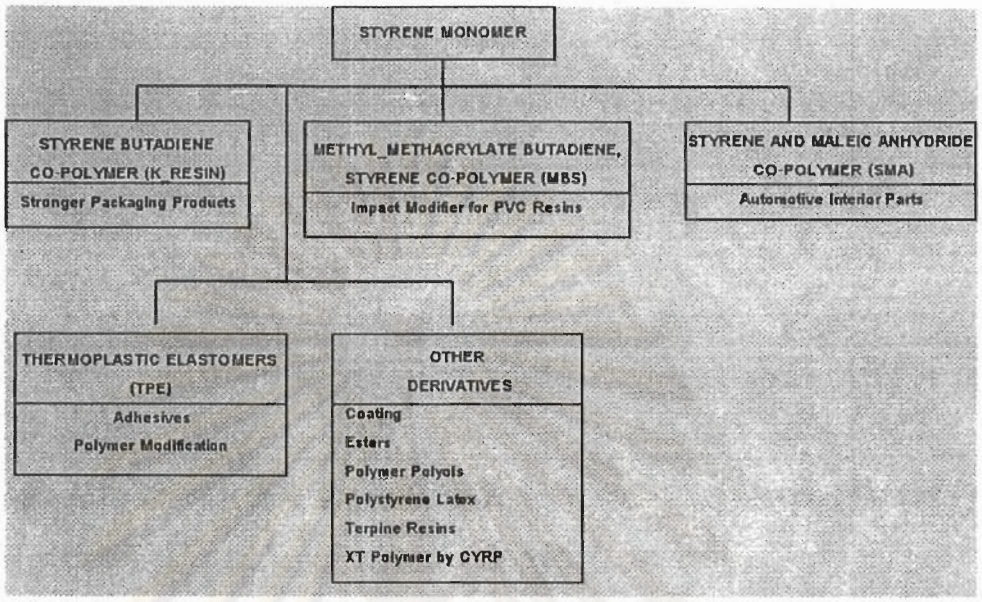
สไตรีนมีสถานะเป็นของเหลว เป็นสารที่ระเหยและติดไฟได้ง่าย ซึ่งเป็นสารที่มีปฏิกิริยาตอบสนองและสามารถเกิดกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันได้ง่ายที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นจึงต้องเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งปฏิกิริยานี้ (Self polymerization) จะเกิดขึ้นเมื่อมีความร้อนหรือแสงสว่างและเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน จึงอาจเกิดการระเบิดได้ จึงจำเป็นต้องใส่สารยับยั้งปฏิกิริยา (inhibitor) คือ p-tertiary catechol (TBC) ลงไปประมาณ 10-15 ppm [5]

2.3.3 การนำไปใช้ประโยชน์

สไตรีนเป็นมอนอเมอร์ชนิดหนึ่งที่นำมาใช้ในการผลิตพอลิสไตรีนซึ่งสามารถนำมาใช้ในการผลิตของเล่น แก้วพลาสติก พลาสติกที่เป็นวัสดุสำหรับคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์อิเล็คโทรนิค บรรจุภัณฑ์ที่ทำมาจากโฟมและสไตรีนยังสามารถนำมาผลิตเป็นพอลิเอสเทอร์เรซิน ซึ่งใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรงให้กับพลาสติก นอกจากนี้สไตรีนยังเป็นตัวกลางที่ใช้ในการสังเคราะห์ร่วมกับมอนอเมอร์อื่นๆ โดยกระบวนการโคพอลิเมอร์ไรเซชัน (Co-Polymerization) ได้สารประกอบที่เรียกว่า โคพอลิเมอร์ (Copolymer) เช่น สไตรีนบิวทะไดอีน (Styrene Butadiene Rubber: SBR) ที่นำมาใช้ในการผลิตยางรถยนต์และสายยาง สไตรีนอะคิลโลไนไตร์ (Styrene-Acrylonitrile, SAN) และอะคิลโลไนไตร์บิวทะไดอีนสไตรีน (Acrylonitrile Butadiene Styrene, ABS) ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ กระเป๋า ท่อ และกล่องบรรจุชิ้นของอุปกรณ์ต่างๆ ดังภาพที่ 2.3 และ 2.4



ภาพที่2.3 การนำไปใช้ประโยชน์ของสไตรีน



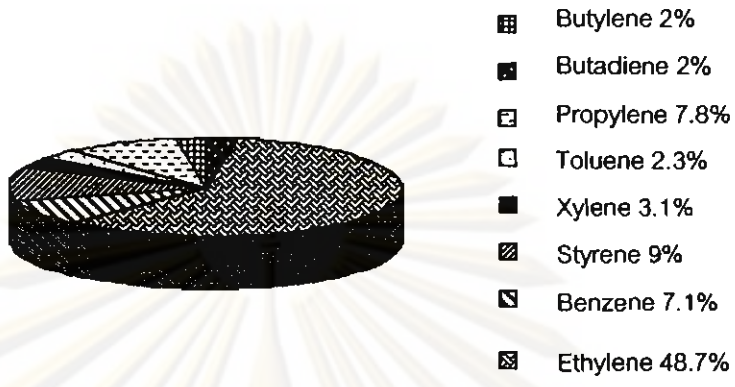
ภาพที่2.4 การประยุกต์ใช้ของสไตรีน

2.3.4 สัดส่วนการใช้ประโยชน์ของสไตรีนทั่วโลก

ภาพที่2.5 สัดส่วนการใช้ประโยชน์ของสไตรีนทั่วโลกในปี ค.ศ. 2008 [6]

ภาพที่2.5 พบว่าปี ค.ศ. 2008 มีความต้องการสไตรีนในการผลิตพอลิสไตรีนมากเป็นอันดับหนึ่ง รองลงมาคือการผลิตสไตรีนอะคิลโลไนไตร์ (Styrene-Acrylonitrile, SAN) และการผลิตอะคิลโลไนไตร์บิวทะไดอีนสไตรีน (Acrylonitrile Butadiene Styrene, ABS) และมีความต้องการใช้สไตรีนในการผลิตสไตรีนิกค์ โคโพลีเมอร์ (Styrenic Copolymer) น้อยที่สุด

2.3.5 ปริมาณความต้องการในการผลิตสไตรีน [6]



ภาพที่2.6 สัดส่วนของปริมาณความต้องการสารกลุ่มปิโตรเคมีในปี ค.ศ. 2008 [7]

2.3.6 พิษวิทยา

เกิดการระคายเคืองทางเดินลมหายใจ ถ้าได้รับถึง 420 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรหรือถ้าได้รับมากกว่านี้จะทำให้เกิดการระคายเคืองเฉียบพลันต่อเยื่อบุตาและทางเดินหายใจส่วนบน ถ้ามีสไตรีนในอากาศมากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะทำให้เกิดการกดดันต่อระบบประสาทส่วนกลาง เกิดอาการอ่อนเพลีย ปวดศีรษะ ไม่สบาย เครียด คลื่นไส้ วิงเวียน นอกจากนี้ยังรบกวนการทำงานของประสาทตาและศูนย์สั่งการทางจิตและประสาท สไตรีนทำให้เกิดการทำลายโคโมโซมและพบว่ามีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งในเนื้อเยื่อที่เกี่ยวข้องกับระบบน้ำเหลืองและระบบเลือด

2.3.7 การเก็บรักษา (สไตรีน)

- เก็บในภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิด
- เก็บในบริเวณที่เย็นและแห้ง (อุณหภูมิต่ำกว่า +15 องศาเซลเซียส)
- เก็บในบริเวณที่มีการระบายอากาศเพียงพอ
- เก็บในบริเวณที่เก็บของเหลวไวไฟและเก็บในภาชนะที่ต้านทานแสง

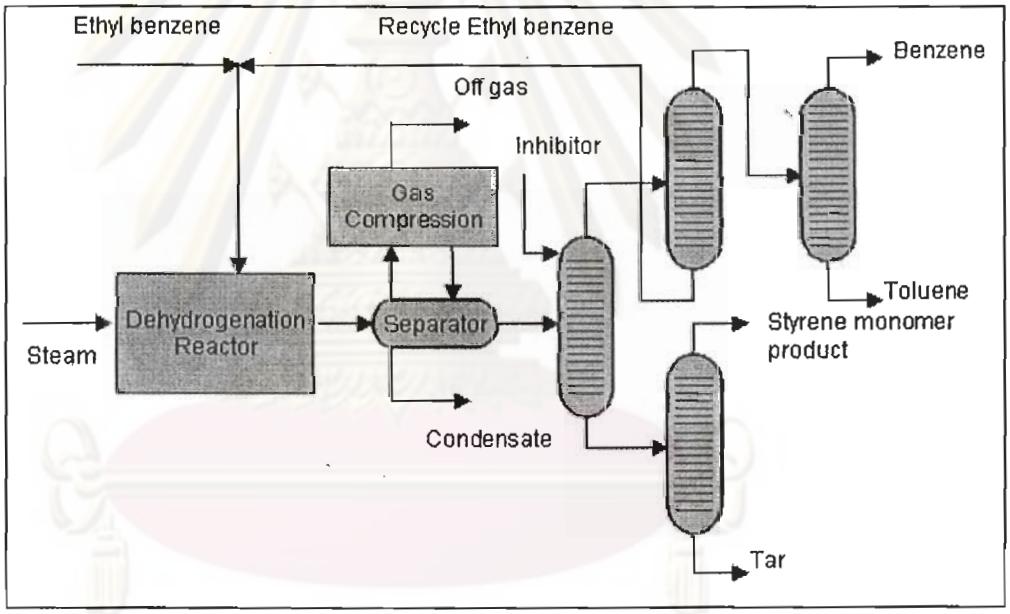
2.4 กระบวนการผลิตสไตรีน

กระบวนการผลิตสไตรีนที่มาจากสารตั้งต้นเอทิลเบนซีนมีด้วยกัน 2 กระบวนการคือ กระบวนการผลิตทางตรงและกระบวนการผลิตทางอ้อม

2.4.1 กระบวนการผลิตสไตรีนทางตรง

2.7.1.1 โดยผลิตสไตรีนจากปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีน

- กระบวนการดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำ



ภาพที่2.7 กระบวนการผลิตสไตรีนจากเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำ

ปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนไปเป็นสไตรีน

$$C_6H_5CH_2CH_3 \longleftrightarrow C_6H_5CH{=}CH_2 + H_2 \quad \text{.....(1)}$$

เอทิลเบนซีนจะถูกตัวเร่งปฏิกิริยาโดยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาการดึงไฮโดรเจนออกจากเอทิลเบนซีน ซึ่งมีไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนสำหรับปฏิกิริยา และปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนสูง ซึ่งค่าการเปลี่ยนแปลงถูกจำกัดด้วยภาวะสมดุล (Equilibrium) ดังนั้นถ้าต้องการผลิตสไตรีนได้

มากจำเป็นต้องใช้สภาวะในการดำเนินการที่อุณหภูมิสูงประมาณ 550-650 องศาเซลเซียส ความดันต่ำประมาณ 100-300 กิโลพาสคัล และมีไอน้ำร่วมด้วยในการดำเนินการ เพราะจะทำให้ภาวะสมดุลเลื่อนไปทางขวา ซึ่งมีผลทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของเอทิลเบนซีนสูงขึ้น

ประโยชน์ของไอน้ำที่ใช้ในปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีน

1. ช่วยลดความดันย่อยของเอทิลเบนซีน สไตรีนและไฮโดรเจน ซึ่งส่งผลให้เกิดการลดลงของความดันรวม
2. ไอน้ำจะมีส่วนช่วยในการให้ความร้อนแก่ปฏิกิริยาเนื่องจากเป็นแบบดูดความร้อน
3. ไอน้ำมีส่วนในการช่วยยับยั้งการสะสมของคาร์บอนที่มาเกาะบนตัวเร่งปฏิกิริยา

ข้อเสียคือ การทำน้ำให้เป็นไอน้ำโดยการให้ความร้อนสูงนั้นจะมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่สูงมากขึ้นเช่นกัน

ตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วยไอรอนออกไซด์เป็นตัวพื้นฐานและมีโพแทสเซียมเป็นตัวสนับสนุน (Promoter) เนื่องจากโพแทสเซียมมีส่วนช่วยในการเพิ่มกิจกรรมของตัวเร่งปฏิกิริยาและยังช่วยลดการสะสมคาร์บอนบนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา จึงทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีช่วงชีวิตยาวนานมากขึ้น นอกจากนี้ตัวเร่งปฏิกิริยายังประกอบด้วยโลหะออกไซด์ตัวอื่นๆ อาทิเช่น โครเมียมออกไซด์ ซีเรียมออกไซด์ โมลิบดีนัมออกไซด์ และวาเนเดียมออกไซด์ ฯลฯ

- ออกซิเดทีฟดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีน

กระบวนการออกซิเดชันมีวัตถุประสงค์ เพื่อผลิตสไตรีนและอะซิโตน โดยเอทิลเบนซีนจะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นอะซิโตฟีโนน ซึ่งมีแมงกาแนส คาร์บอเนตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิที่ใช้ในเกิดปฏิกิริยา 115-145 องศาเซลเซียส ความดัน 344.74 กิโลพาสคัล

$$C_6H_5CH_2CH_3 + O_2 \longrightarrow C_6H_5COCH_3 + H_2O \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของคีโตนไปเป็นแอลฟาฟีนิลเอทิลแอลกอฮอล์ โดยใช้ไฮโดรเจนและมีคอปเปอร์ โครเมียม ไอรอนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิที่ใช้ในปฏิกิริยา 150 องศาเซลเซียส ความดัน 1032.2 กิโลพาสคัล

$$C_6H_5COCH_3 \xrightarrow{H_2} C_6H_5CH(OH)CH_3 \quad \text{.....(2)}$$

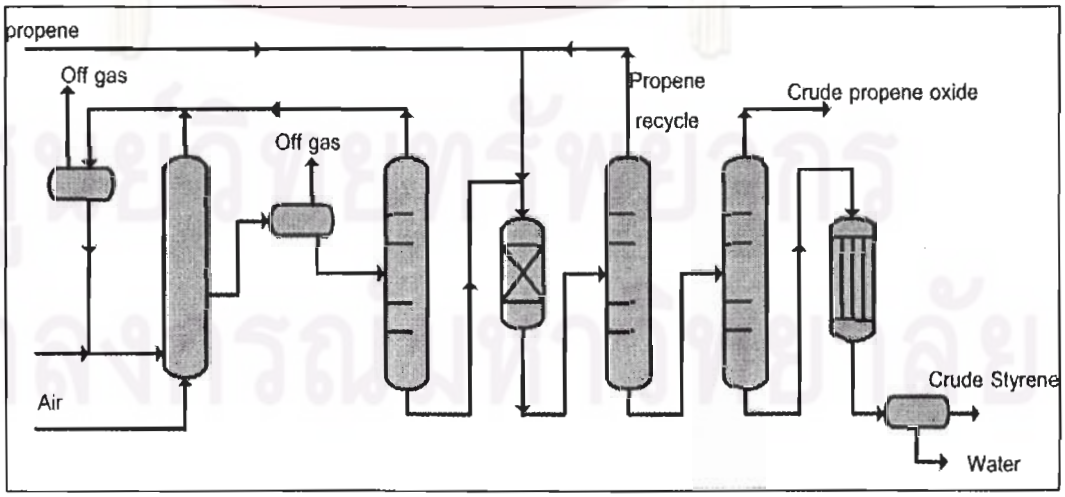
สุดท้ายจะเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันของแอลกอฮอล์ไปเป็นสไตรีน โดยมีไททาเนียเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิที่ใช้ในปฏิกิริยาเท่ากับ 250 องศาเซลเซียส ความดันเท่ากับ 101.32 กิโลพาสคัล

$$C_6H_5CH(OH)CH_3 \longrightarrow C_6H_5CH{=}CH_2 + H_2O \quad \text{.....(3)}$$

ข้อเสียของกระบวนการออกซิเดชันนี้คือ ในขั้นของปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดกระบวนการกัดกร่อนและยังผลิตสไตรีนได้ต่ำกว่ากระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนซึ่งเป็นที่นิยมถึงร้อยละ 10

2.4.2 กระบวนการผลิตสไตรีนทางอ้อม

- โพรไพรลีน ออกไซด์ และสไตรีน โค-โปรดักชัน



ภาพที่2.8 กระบวนการผลิตสไตรีนจากโพรไพลีน

กระบวนการผลิตสไตรีนโดยวิธีนี้เริ่มจากกระบวนการผลิตโพรไพรลีนออกไซด์ ซึ่งสไตรีนที่ได้เป็นเพียงผลิตภัณฑ์ร่วมในกระบวนการ

(1) ปฏิกิริยาเกิดในสถานะของเหลว โดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทิลเบนซีนไปเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ร่วมกับอะซิโตฟีโนนและฟีนิล-1 เอทานอลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียง โดยปฏิกิริยานี้จะเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนสูง อุณหภูมิที่ใช้ในปฏิกิริยา 125-150 องศาเซลเซียส ความดัน 1500 กิโลพาสคัล

$$C_6H_5\text{-}CH_2\text{-}CH_3 + O_2 \longrightarrow C_6H_5\text{-}CHOOH\text{-}CH_3 \quad \text{......(1)}$$

(2) ปฏิกิริยาเกิดในสถานะของเหลว โดยการเกิดปฏิกิริยาอีพอกออกซิเดชันของโพรไพรีน ซึ่งมีตัวเร่งปฏิกิริยา 2 แบบ คือ เอกพันธ์และแบบวิวิธพันธ์ ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อนสูง อุณหภูมิที่ใช้ในปฏิกิริยา 100-130 องศาเซลเซียส ความดัน 3500 กิโลพาสคัล

$$C_6H_5\text{-}CHOOH\text{-}CH_3 + CH_3\text{-}CH{=}CH_2 \longrightarrow C_6H_5\text{-}CHOH\text{-}CH_3 + CH_3\text{-}\underset{\diagdown O \diagup}{CH\text{-}CH_2} \quad \text{......(2)}$$

(3) การเกิดปฏิกิยาไฮโดรจีเนชันของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เหลือ และอะซิโตฟีโนน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมไปเป็นฟีนิล-1 เอทานอล ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาคือ 120-150 องศาเซลเซียส ความดัน 1000 กิโลพาสคัล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแบบเอกพันธ์ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือ คอปเปอร์และโครเมียม หรือนิเกิล ออกไซด์

$$C_6H_5\text{-}CO\text{-}CH_3 + H_2 \longrightarrow C_6H_5\text{-}CHOH\text{-}CH_3 \quad \text{......(3)}$$

(4) ปฏิกิริยาดีไฮเดรชั่นของฟีนิล-1 เอทานอลไปเป็นสไตรีนดำเนินการในสถานะไอ ซึ่งปฏิกิริยานี้ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาคือ 250 องศาเซลเซียส ความดัน 200-300 กิโลพาสคัล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบกรด

$$C_6H_5\text{-}CHOH\text{-}CH_3 \longrightarrow C_6H_5\text{-}CH{=}CH_2 + H_2O \quad \text{......(4)}$$

กระบวนการผลิตสไตรีนด้วยวิธีการนี้เป็นเพียงผลิตภัณฑ์ร่วมของกระบวนการผลิตโพรไพรีนออกไซด์ ซึ่งมีเพียง 10-15% ทั่วโลกที่นำมาใช้เป็นกระบวนการผลิตสไตรีน

เนื่องจากกระบวนการผลิตสไตรีนโดยวิธีดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำเป็นวัตถุดิบนั้นเป็นกระบวนการที่นิยมในอุตสาหกรรมตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ซึ่งพบว่ากระบวนการผลิตสไตรีนดังกล่าวทำให้เกิดการการสูญเสียพลังงานจำนวนมากรวมทั้งยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีผู้สนใจที่จะศึกษากระบวนการผลิตสไตรีนด้วยวิธีอื่น เพื่อเป็นทางเลือกในการลดผลกระทบของการผลิตสไตรีน ดังนั้นจึงได้พิจารณากระบวนการผลิตสไตรีน 3 กระบวนการดังนี้

1. ดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำ
2. ออกซิเดทิฟดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับออกเจนซิเจน
3. ดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์

ตารางที่2.9 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแต่ละกระบวนการผลิตสไตรีน [8]

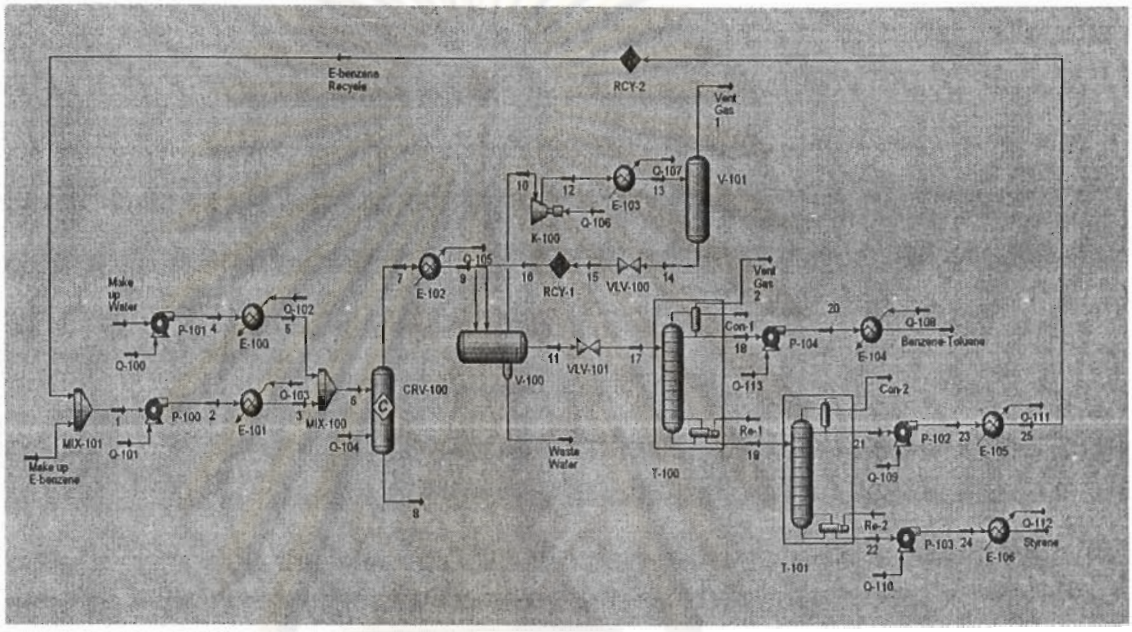
Characteristics	Steam	Oxygen	Carbon Dioxide
Function	Not oxidant Diluent	Strong oxidant Not Diluent	Soft oxidant Diluent
Heat capacity	High selectivity Catalyst stability Coke resistance Keeping oxidation state	High activity Exothermic Less deactivation	High selectivity Activity enhancement Equilibrium shift Cheap carrier gas
Disadvantage	Expensive diluent Highly endothermic High latent heat High operation cost	Low selectivity Dangerous Hot spot	Not commercialized Endothermic Catalyst deactivation

จากตารางที่2.9 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการออกซิเดทีฟดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับก๊าซออกซิเจนนั้นไม่ได้นำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีค่าการเลือกเกิดของสไตรีนต่ำและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นค่อนข้างอันตรายเนื่องจากการเกิด Hot spot จึงเลือกศึกษากระบวนการผลิตสไตรีน 2 กระบวนการ คือ กระบวนการดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับการใช้ไอน้ำและกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิต เนื่องจากกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับการใช้ไอน้ำเป็นกระบวนการที่นิยมในอุตสาหกรรมมายาวนาน แต่การใช้ไอน้ำความร้อนสูงค่อนข้างมีราคาแพงและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงนำมาทำการเปรียบเทียบกับกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับการใช้คาร์บอนไดออกไซด์แทนที่การใช้ไอน้ำซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์อาจเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมของกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมจึงมีราคาถูกและช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยกระบวนการนี้ยังอยู่ในระดับโรงงานต้นแบบ

2.4.3 กระบวนการผลิตสไตรีนโดยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำ

ในกระบวนการผลิตสไตรีนด้วยวิธีดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นในสถานะก๊าซ สารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการคือ เอทิลเบนซีนและไอน้ำ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาคือ 62%Fe_2O_3-36%K_2CO_3-2%Cr_2O_3[9] เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในอุตสาหกรรมปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์เป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน งานวิจัยนี้จึงทำการจำลองกระบวนการผลิตสไตรีนด้วยวิธีดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำผ่านโปรแกรม HYSYS โดยเริ่มต้นจากการป้อนสารตั้งต้นเอทิลเบนซีนและไอน้ำผ่านปั๊มเพื่อเพิ่มความดัน จากนั้นจึงทำการเพิ่มอุณหภูมิให้เหมาะสมกับสภาวะภายในเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งภายในเครื่องปฏิกรณ์จะเกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนไปเป็นสไตรีนและไฮโดรเจน นอกจากนี้ยังเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงได้โทลูอีนและเบนซีนเป็นผลิตภัณฑ์ร่วม รวมทั้งยังเกิดก๊าซมีเทน เอทิลีน คาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ และคาร์บอนมอนอกไซด์ เมื่อนำสารเหล่านี้ออกจากเครื่องปฏิกรณ์จะทำการลดอุณหภูมิ เพื่อให้เกิดการแยกวัฏภาคของสารคือ ก๊าซ ของเหลวและน้ำ โดยใช้เครื่องแยกสารทำหน้าที่ในการแยกสารที่มีวัฏภาคแตกต่างกันออกจากกัน โดยทำการแยกก๊าซมีเทน เอทิลีน คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์และน้ำออกจากสไตรีน เอทิลเบนซีน เบนซีน และโทลูอีน ซึ่งก๊าซที่แยกออกจากเครื่องแยกสารนั้นอาจมีปริมาณของสไตรีน เบนซีน โทลูอีน และน้ำปนอยู่ด้วย จึงต้องทำการควบแน่นโดยการเพิ่มความดัน เพื่อให้สารเหล่านี้ถูกควบแน่นกลับมาเป็นของเหลว สุดท้ายจึงทำการกลั่นแยกเบน

ซีนและโทลูอีนออกจากสไตรีนและเอทิลเบนซีน แล้วจึงทำการกลั่นแยกสไตรีน ออกจากสารตั้งต้นเอทิลเบนซีน เมื่อสไตรีนถูกแยกแล้วจึงส่งเข้าสู่ถังเก็บ ส่วนสารตั้งต้นเอทิลเบนซีนถูกปรับสภาวะแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตสไตรีน ดังภาพที่2.9



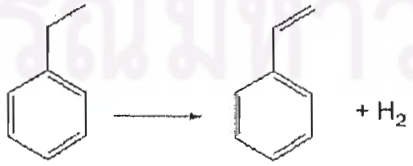
ภาพที่2.9 แบบจำลองกระบวนการผลิตสไตรีนของสารตั้งต้นเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำ

หน่วยการผลิตสไตรีนประกอบด้วย

1. **ระบบเครื่องปฏิกรณ์**

CRV-100: กระบวนการผลิตสไตรีนมอนอเมอร์ ใช้วัตถุดิบคือ เอทิลเบนซีน ซึ่งเอทิลเบนซีนนี้ได้มาจากการทำปฏิกิริยาอัลคิลเลชันของเบนซีนและเอทิลีน โดยเอทิลเบนซีนจะเกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชัน ได้ผลิตภัณฑ์ คือ สไตรีน และก๊าซไฮโดรเจน

ปฏิกิริยาหลัก :



..... (1)

เอทิลเบนซีน สไตรีน ไฮโดรเจน

และมีปฏิกิริยาข้างเคียงเกิดขึ้นทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ร่วมคือ เบนซีนและโทลูอีน ในกระบวนการผลิตจะใช้ไอน้ำความร้อนสูง ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 720 องศาเซลเซียส เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาประมาณ 650 องศาเซลเซียส ความดัน 2.4 บาร์ อัตราส่วนโมลของสายป้อนน้ำต่อเอทิลเบนซีนเท่ากับ 11.75 โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงของเอทิลเบนซีน (conversion) ร้อยละ 47.45 และค่าการเลือกเกิด (Selectivity) ของสไตรีนร้อยละ 84.66 ของผสมที่เกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์ เรียกว่า DEHYDROGENATION MIXTURE (DM) ซึ่งประกอบด้วย สไตรีน เอทิลเบนซีน เบนซีน โทลูอีน ก๊าซไฮโดรเจน เอทิลีน ไอน้ำ มีเทน และคาร์บอนมอนอกไซด์ [9]

2. ระบบการแยกวัฏภาค

V-101: หลังจากที่ DEHYDROGENATION MIXTURE ออกจากเครื่องปฏิกรณ์จะเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งจะทำหน้าที่ในการลดอุณหภูมิของ DEHYDROGENATION MIXTURE หลังจากนั้นระบบจะทำการแยกน้ำและก๊าซออกจาก DEHYDROGENATION MIXTURE โดยเครื่องแยกสาร 3 วัฏภาค (Three phase separator) คือ น้ำ ของเหลว และก๊าซ

3. ระบบการกลั่นแยก

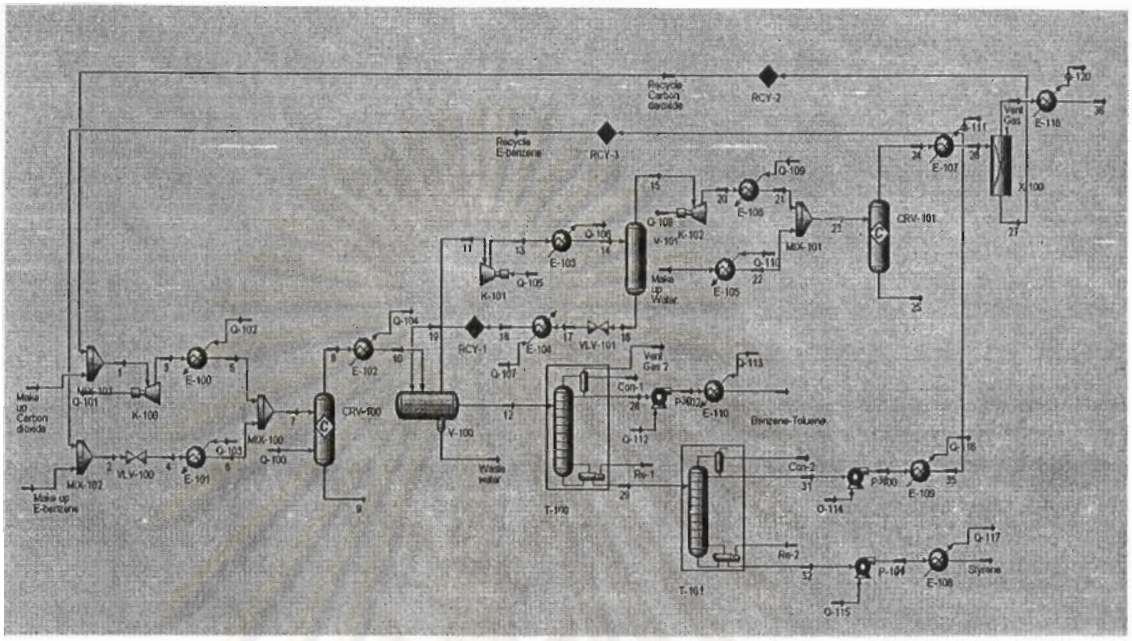
DEHYDROGENATION MIXTURE ที่ได้จากระบบการแยกวัฏภาค จะเป็นของผสมระหว่าง สไตรีน เอทิลเบนซีน เบนซีน และโทลูอีน โดย DEHYDROGENATION MIXTURE นี้จะถูกส่งไปกลั่นแยกสไตรีนมอนอร์

T-100: ทำหน้าที่ในการกลั่นแยกเอทิลเบนซีนและสไตรีนออกจากเบนซีนและโทลูอีน โดยหอนี้ใช้อุณหภูมิยอดหอประมาณ 58 องศาเซลเซียส ความดันประมาณ 225 มิลลิบาร์ และอุณหภูมิก้นหอประมาณ 112 องศาเซลเซียส ความดันประมาณ 425 มิลลิบาร์ [10] ของผสมระหว่างเบนซีนและโทลูอีนจะถูกส่งไปที่ BTX plant เพื่อทำการแยกเป็นเบนซีนและโทลูอีนต่อไป

T-102: ทำหน้าที่ในการแยกเอทิลเบนซีนออกจากสไตรีน โดยหอนี้ใช้อุณหภูมิยอดหอประมาณ 72.20 องศาเซลเซียส ความดันประมาณ 99.97 มิลลิบาร์ และอุณหภูมิก้นหอประมาณ 96.67 องศาเซลซียส ความดันประมาณ 205.5 มิลลิบาร์ [11] โดยสไตรีนที่แยกได้มีความบริสุทธิ์ถึง 99.8 เปอร์เซนต์ ซึ่งจะถูกส่งไปที่ถังเก็บสไตรีน ส่วนเอทิลเบนซีนจะถูกปรับสภาวะแล้วนำกลับไปใช้ใหม่

2.4.4 กระบวนการผลิตสไตรีนโดยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์

ในกระบวนการผลิตสไตรีนด้วยวิธีดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นในสถานะก๊าซ สารตั้งต้นที่นำใช้ในกระบวนการคือ เอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอน ไดออกไซด์ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาคือ V-Fe-Sb/ZrO_2-Al_2O_3 [12] ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์เป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน งานวิจัยนี้จึงทำการจำลองกระ บวนการผลิตสไตรีนด้วยวิธีดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านโปรแกรม HYSYS โดยเริ่มต้นจากการป้อนสารตั้งต้นเอทิลเบนซีนและคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านเครื่องลดความดัน จากนั้นจึงทำการเพิ่มอุณหภูมิให้เหมาะสมกับสภาวะภายในเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งภายในเครื่องปฏิกรณ์จะเกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนไปเป็นสไตรีนและไฮโดรเจน นอกจากนี้ยังเกิดเบนซีนและโทลูอีนเป็นผลิต ภัณฑ์ร่วม และเกิดก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน เอทิลีน มีเทน และไอน้ำ เมื่อนำสารเหล่านี้ออกจากเครื่องปฏิกรณ์จะทำการลดอุณหภูมิ เพื่อให้เกิดการแยกวัฏภาคของสารคือ ก๊าซ ของเหลว และน้ำ โดยใช้เครื่องแยกสารทำหน้าที่ในการแยกสารที่มีวัฏภาคแตกต่างกันออกจากกัน จากนั้นจึงทำการแยกก๊าซและน้ำออกจากสไตรีน เอทิลเบนซีน เบนซีน และโทลูอีน ในขั้นต่อมาจะทำกลั่นแยกเบนซีนและโทลูอีนออกจากสไตรีนและเอทิลเบนซีน แล้วจึงทำการแยกกลั่นสไตรีนออกจากเอทิลเบนซีน เมื่อสไตรีนถูกแยกแล้ว จึงส่งเข้าสู่ถังเก็บ ส่วนเอทิลเบนซีนจะถูกปรับสภาวะเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิต โดยในกระบวนการนี้จะทำการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์ข้างต้น เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตสไตรีน โดยคาร์บอนมอนอกไซด์นี้จะทำปฏิกิริยากับน้ำที่ถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการ ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า Water-gas shift reaction ดังแสดงในภาพที่ 2.10



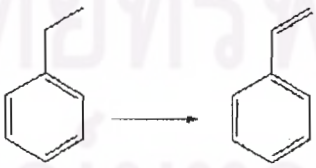
ภาพที่2.10 แบบจำลองกระบวนการผลิตสไตรีนของสารตั้งต้นเอทิลเบนซีน ร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์

หน่วยการผลิตสไตรีนประกอบด้วย

1.ระบบเครื่องปฏิกรณ์ 1

CRV-100: กระบวนการผลิตสไตรีนมอนอเมอร์ ใช้วัตถุดิบคือ เอทิลเบนซีนซึ่งเอทิลเบนซีนนี้ได้มาจากการทำปฏิกิริยาอัลคิลเลชันของเบนซีนและเอทิลีน โดยเอทิลเบนซีนจะเกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชัน ได้ผลิตภัณฑ์ คือ สไตรีน และก๊าซไฮโดรเจน

ปฏิกิริยาหลัก :



$+ H_2$ ..... (1)

เอทิลเบนซีน สไตรีน ไฮโดรเจน

ปฏิกิริยาข้างเคียง : $H_2 + CO_2 \longrightarrow CO + H_2O$ ..... (2)

และมีปฏิกิริยาข้างเคียงเกิดขึ้นทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เบนซีนและโทลูอีน โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในเครื่องปฏิกรณ์เป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาประมาณ 550 องศาเซลเซียส ความดัน 0.75 บรรยากาศ อัตราส่วนโมลของสายป้อนคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเอทิลเบนซีนเท่ากับ 5 โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงของเอทิลเบนซีน (conversion) ร้อยละ 74.1 และค่าการเลือกเกิด (Selectivity) ของสไตรีน ร้อยละ96.9 ของผสมที่เกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์ เรียกว่า DEHYDROGENATION MIXTURE (DM) ซึ่งประกอบด้วย สไตรีน เอทิลเบนซีน เบนซีน โทลูอีน ก๊าซ ไฮโดรเจน มีเทน เอทิลีน คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์และไอน้ำ [12]

2. **ระบบเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2**

CRV-101: กระบวนการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ โดยจะเกิดปฏิกิริยา Water-gas shift โดยมีการป้อนน้ำเข้าสู่กระบวนการ เพื่อทำปฏิกิริยาร่วมกับคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิริยาคายความร้อน โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลง (conversion) คาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 90 [12]

ปฏิกิริยาหลัก : $CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2$ ..... (1)

3. **ระบบการแยกวัฏภาค**

V-101: หลังจากที่ DEHYDROGENATION MIXTURE ออกจากเครื่องปฏิกรณ์จะถูกนำเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งจะทำหน้าที่ในการลดอุณหภูมิของ DEHYDROGENATION MIXTURE หลังจากนั้นระบบจะทำการแยกน้ำและก๊าซออกจาก DEHYDROGENATION MIXTURE โดยเครื่องแยกสาร 3 สถานะ (Three phase separator) คือ น้ำ ของเหลว และก๊าซ

4. **ระบบการกลั่นแยก**

DEHYDROGENATION MIXTURE ที่ได้จากระบบการแยกวัฏภาค จะเป็นของผสมระหว่าง สไตรีน เอทิลเบนซีน เบนซีนและโทลูอีน โดย DEHYDROGENATION MIXTURE นี้จะถูกส่งไปกลั่นแยกสไตรีนมอนอร์

T-100: ทำหน้าที่ในการกลั่นแยกเอทิลเบนซีนและสไตรีนออกจากเบนซีนและโทลูอีน โดยหอนี้ใช้อุณหภูมิยอดหอประมาณ 58 องศาเซลเซียส ความดันประมาณ 225 มิลลิบาร์ และอุณหภูมิก้นหอประมาณ 112 องศาเซลเซียส ความดันประมาณ 425 มิลลิบาร์ [10] ของผสมระหว่างเบนซีนและโทลูอีนจะถูกส่งไปที่ BTX plant เพื่อทำการแยกเป็นเบนซีนและโทลูอีนต่อไป

T-101: ทำหน้าที่ในการแยกเอทิลเบนซีนออกจากสไตรีน โดยหอนี้ใช้อุณหภูมิยอดหอประมาณ 72.20 องศาเซลเซียส ความดันประมาณ 99.97 มิลลิบาร์ และอุณหภูมิก้นหอประมาณ 96.67 องศาเซลเซียส ความดันประมาณ 205.5 มิลลิบาร์ [11] โดยสไตรีนที่แยกได้มีความบริสุทธิ์ถึง 99.8 เปอร์เซนต์ ซึ่งจะถูกส่งไปที่ถังเก็บสไตรีน ส่วนเอทิลเบนซีนจะถูกนำกลับไปใช้ใหม่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Barton และคณะ [14]

ได้ทำการศึกษาวิธีการต่างๆ สำหรับการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของระบบการจัดการของเสีย เพื่อที่จะพัฒนาและใช้เป็นวิธีการที่จะช่วยสนับสนุนในการจัดการของเสีย โดยการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือในการประเมินผลกระทบต่างๆ ที่ครอบคลุมตลอดช่วงอายุของผลิตภัณฑ์รวมถึงการเตรียมผลิตภัณฑ์และการบริการ ในงานวิจัยนี้จะมุ่งไปที่ขั้นตอนที่ถูกพัฒนา โดยการวิจัยเพื่อที่จะระบุถึงผลด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในระหว่างการรวบรวม การบำบัดและการจัดการกับของเสียที่ไม่เป็นพิษ

Reginald B.H. และคณะ [15]

Expanded polystyrene (EPS) และ corrugated paperboard (CPB) ถูกนำมาใช้ประโยชน์ต่างๆ ในอุตสาหกรรม โดยนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ วัสดุกันกระแทก ซึ่งวัสดุทั้งสองชนิดต่างส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยผลกระทบแรกคือ ก่อให้เกิดมลภาวะและการใช้ทรัพยากรโดยผลกระทบที่เกิดขึ้นนี้เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตของวัสดุทั้งสองและผลกระทบที่สองคือ การเพิ่มพื้นที่ในการฝังกลบมากขึ้นเพื่อกำจัดวัสดุทั้งสอง โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้ LCA เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นกระบวนการผลิตของ EPS และ CPB โดยพิจารณาทุกขั้นตอนของการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยเปรียบเทียบ EPS และ CPB แบบดั้งเดิมกับ EPS และ CPB ที่ถูกออกแบบขึ้นมาใหม่ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ประเมินค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของของเสียในประเทศสิงคโปร์ และใช้โปรแกรม SimaPro LCA Version 5.0 software's และ วิธี Eco-indicator 99 method ในการสำรวจ 5 ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมคือ ภาวะโลกร้อน ภาวะความเป็นกรด ภาวะอูโทรฟิเคชัน ความเป็นพิษ การใช้เชื้อเพลิง และการทำลายระบบการหายใจเนื่องมาจากอนินทรีย์สาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

K.G. Harding **และคณะ [16]**

ได้ทำการเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีอนินทรีย์สารกับตัวเร่งปฏิกิริยาชีววิทยา สำหรับการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยวิถีทางเกี่ยวกับอนินทรีย์สารจะใช้การเร่งปฏิกิริยาเคมีโดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบกับวิถีทางเกี่ยวกับชีววิทยาซึ่งใช้การเร่งปฏิกิริยาเคมีโดยการเติมเอมไซด์ ไลเปส โดยในอดีตการเร่งปฏิกิริยาเคมีโดยการเติมตัวเร่งเกี่ยวกับชีววิทยาจะไม่ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซล แต่จากผลการทดลองพบว่าการเร่งปฏิกิริยาเคมีโดยการเติมสารกระตุ้นเกี่ยวกับชีววิทยามีข้อดีมากกว่าวิถีทางเกี่ยวกับอนินทรีย์ โดยเฉพาะความง่ายต่อการทำให้บริสุทธิ์และการประหยัดพลังงาน การประเมินวัฏจักรชีวิตแสดงให้เห็นว่าวิถีทางในการผลิตโดยใช้เอมไซด์นั้นเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งพบว่าประเภทผลกระทบในด้านภาวะโลกร้อน ภาวะความเป็นพิษ และโฟโตเคมิคัล ออกซิเดชัน ลดลงถึงร้อยละ 5

Renou **และคณะ [17]**

ได้ศึกษาถึงการประเมินวัฏจักรชีวิตที่สามารถประยุกต์ใช้กับการบำบัดน้ำเสีย โดยทำการประเมินผ่านกรณีศึกษาที่เป็นโรงงานขนาดใหญ่ โดยใช้หลักการในการประเมินผลกระทบของวัฏจักรชีวิต ซึ่งมี 5 วิธีการ คือ CML 2000, ECO Indicator 99, EDIP 96,EPS และ Ecopoints 97 การประเมินผลกระทบระหว่างวิธีการต่างๆ นั้นได้ผลที่สอดคล้องกันคือ ผลกระทบทางด้านสภาวะเรือนกระจก การลดลงของทรัพยากร และสภาวะความเป็นกรด ภาวะยูโทรฟิเคชันจะถูกประมาณอย่างถูกต้องหากมองผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากแผนการ การบำบัดแต่ไม่ได้มองที่การกำหนดบทบาทของภาวะยูโทรฟิเคชัน การศึกษานี้เกี่ยวข้องกับความเป็นพิษของมนุษย์ที่มีความคลาดเคลื่อน ซึ่งพบมากระหว่างแต่ละวิธีการประเมินผลกระทบ

F.Cavani **และคณะ [18]**

ได้ทำเปรียบเทียบความแตกต่างของเทคโนโลยีในการสังเคราะห์สไตรีน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษานี้ปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนในอุตสาหกรรม ได้แก่ ดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนตามด้วยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮโดรเจน, คะตะไลติกส์ และStoichio-Metric ออกซิเดทีฟ ดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีน, และดีไฮโดรจีเนชันในเครื่องปฏิกรณ์แบบเยื่อ

เลือกผ่าน พร้อมกับอธิบายถึงข้อดีและข้อเสียของแต่ละเทคโนโลยี ซึ่งกระบวนการที่ได้ศึกษานี้จะมีตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วย

Ailing Sun และคณะ [19]

ได้ทำการวิเคราะห์แบบจำลองทางเทอร์โมไดนามิกส์ของปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนไปเป็นสไตรีนควบคู่กับปฏิกิริยา water gas shift ซึ่งปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนจะใช้ร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน โดยค่าการเปลี่ยนแปลงของเอทิลเบนซีนจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีปฏิกิริยาควบคู่กันของปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนและปฏิกิริยา water gas shift เพราะก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันจะถูกกำจัดไปพร้อมๆ กับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังกล่าว และได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของตัวเร่งปฏิกิริยาไอรอนและวาเนเดียมบนตัวรองรับคาร์บอนว่าน่าจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยานี้ โดยจะมีการเติม alkali, alkaline และ rare-earth element ส่งผลทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของเอทิลเบนซีนสูงขึ้นร้อยละ 50-60 และค่าการเลือกเกิดของสไตรีนร้อยละ 95-98 โดยในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 823 เคลวิน

Shuwei Chen และคณะ [20]

ในงานวิจัยนี้ได้การศึกษาปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีน เพื่อผลิตสไตรีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันปฏิกิริยาของเอทิลเบนซีนจะเกิดควบคู่กับปฏิกิริยา water-gas shift (RWGS) ซึ่งถูกสำรวจทั้งการวิเคราะห์ทฤษฎีและการทดลอง ซึ่งพบว่าปฏิกิริยาควบคู่นี้น่าจะเกิดขึ้นมากกว่าที่จะเกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนอย่างเดียว เมื่อวิเคราะห์เทอโมไดนามิกส์พบว่าสมดุลในการเปลี่ยนแปลงค่า (conversion) ของเอทิลเบนซีนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีปฏิกิริยา water-gas shift (RWGS) เนื่องจากสามารถกำจัดไฮโดรเจนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ออกจากปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนได้ เมื่อทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาพิสูจน์ว่าเหล็กและวาเนดียมได้สนับสนุนบนกิจกรรมของคาร์บอนหรือจะลูมิเนียมออกไซด์รวมกับตัวกระตุ้นอื่นๆ ซึ่งสามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาควบคู่นี้ ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กและวาเนเดียมจะแตกต่างกันในด้านกลไกของปฏิกิริยา อย่างไรก็ตามผลผลิตสไตรีนจะเกี่ยวข้องกับการค่าเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนไดออกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ โดยขั้นตอนที่สองมีบทบาทสำคัญในปฏิกิริยาควบคู่บน Fe/Al_2O_3 ขณะที่ขั้นตอนที่หนึ่งจะเกิดปฏิกิริยาบน V/Al_2O_3 การสะสมของโค้ก

และการลดลงของความสามารถของสารประกอบต่างๆ เป็นสาเหตุหลักจากการที่ตัวเร่งปฏิกิริยาเสื่อมสภาพ คาร์บอนไดออกไซด์สามารถช่วยให้การเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงได้ แต่คาร์บอน ไดออกไซด์ไม่สามารถยับยั้งการสะสมของโค๊กได้

Jong-San Chang **และคณะ** [21]

งานวิจัยนี้ได้สร้างความสัมพันธ์ไปยังขั้นตอนของกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาของอัลคิลอะโรมาติกส์ไฮโดรคาร์บอน โดยเฉพาะกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นสารออกซิไดส์ที่ไม่ค่อยรุนแรง โดยตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วยวาเนดียม และไอรอน โดยดำเนินการที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งทำให้สมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์สูงขึ้น จึงทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้นและพร้อมทั้งยังช่วยในการประหยัดพลังงาน

Sang-Eon Parka and Jong-San Chang [22]

ได้ทำการศึกษาการใช้ประโยชน์ของก๊าซคาร์บอนไดออกซ์ เนื่องจากคาร์บอนไดออกซ์เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาก๊าซเรือนกระจก โดยในงานวิจัยนี้ได้นำก๊าซคาร์บอนไดออกซ์ ไปใช้เป็นสารออกซิเดนท์ในปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนเพื่อผลิตสไตรีน ซึ่งการผลิตสไตรีนโดยทั่วไปนั้นจะเกิดจากปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำ จากงานวิจัยนี้พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกซ์สามารถทำให้ค่าการเลือกเกิด (Selectivity) ของสไตรีนมีค่าสูงและยังผลิตสไตรีนได้ในปริมาณที่มากขึ้น นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับการใช้ไอน้ำ เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกซ์เป็นก๊าซที่เป็นผลิตภัณฑ์ร่วมของกระบวนการผลิตสารกลุ่มปิโตรเคมี

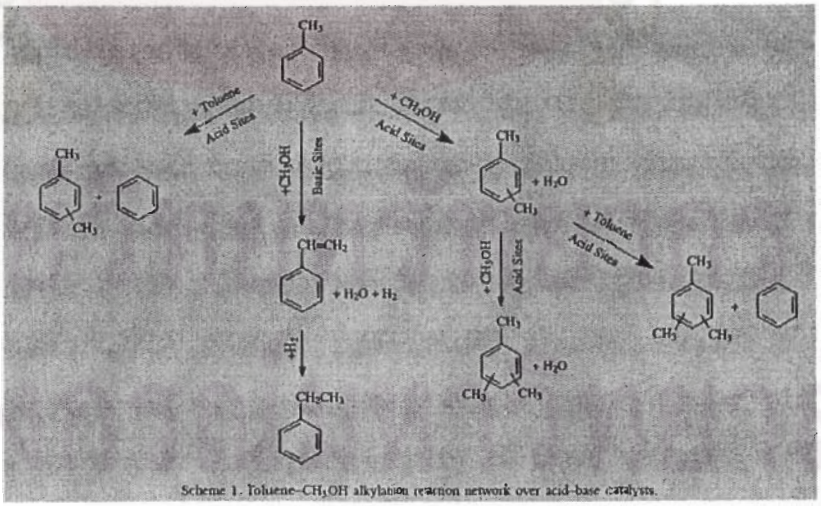
Li Huiyun **และคณะ** (2005) [23]

ในกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์กำลังได้รับความสนใจในปัจจุบันนี้ โดยคาร์บอนไดออกไซด์จะช่วยลดพลังงานและทำให้สมดุลเลื่อนไปยังการผลิตสไตรีนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมในอุตสาหกรรมในกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำคือ Fe-K เมื่อนำมาใช้ในกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วม

กับคาร์บอนไดออกไซด์จะส่งผลต่อกระบวนการผลิตสไตรีนในทางที่ไม่ค่อยมีประสิทธิภาพต่อกระบวนการผลิต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพสูงที่เหมาะสมกับกระบวนการดีไฮ โดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ โดยวิธีที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ วิธี Sol-Gel ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่ศึกษาคือ โลหะออกไซด์ เช่น โครเมียม วาเนเดียม ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์มี 3 แบบคือ Cr_2O_3-SiO_2, Cr_2O_3 / SiO_2 และ Cr_2O_3-SBA-15 จากงาน วิจัยนี้พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา Cr_2O_3-SiO_2 ให้ค่าการเปลี่ยนแลงของเอทิลเบนซีนสูงสุดและค่าการเลือกเกิดของสไตรีนสูงสุดเช่นกัน

J.M. Serra **และคณะ** (2003) [24]

ปฏิกิริยาอัลคิลเลชันของโทลูอีนกับเมทานอลเป็นเทคโนโลยีทางเลือกหนึ่งในการผลิตสไตรีนเพิ่งได้รับความสนใจในไม่กี่ปีที่ผ่าน ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสำรวจความเป็นไปได้ของ zeolites ขั้นพื้นฐานเพื่อการดำเนินปฏิกิริยาและงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาเมื่อมีการแปลี่ยนแปลงในด้านต่างๆ จากผลการศึกษาสามารถยืนยันได้ว่ามีความต้องการ basic และ acid site ของตัวเร่งปฏิกิริยา และแสดงถึงยอมรับซึ่งกันและกันระหว่างทั้งสองหน่วยการทำงานนี้ ซึ่งงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า zeolite ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยายังยากที่จะให้ผลผลิตสไตรีนต่อเอทิลเบนซีนตามที่ต้องการสำหรับการกระบวนการนี้ยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่อยู่บนพื้นฐานปฏิกิริยาอัลคิลเลชันเบนซีนกับเอทิลีนตามด้วยปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนเพื่อผลิตสไตรีน



Scheme 1. Toluene–CH_3OH alkylation reaction network over acid–base catalysts.

R.M. Mustafaeva and Z. Ch. Salaeva [25]

ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาอัลคิลเลชันของโทลูอีนร่วมกับเมทานอลเพื่อจะผลิตสไตรีนและเอทิลเบนซีน ซึ่งผู้วิจัยนี้ให้ความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากปฏิกิริยานี้มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดขึ้นในอุตสาหกรรมและยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมพร้อมทั้งสามารถลดพลังงานในกระบวนการผลิตมอนอเมอร์ ผลการวิจัยพบว่าเมื่อใช้ RbNaX เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาอัลคิลเลชันของโทลูอีนร่วมกับเมทานอลเพื่อผลิตสไตรีนและเอทิลเบนซีนนั้น ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของโทลูอีนประมาณร้อยละ 20 โดยโมล และค่าการเลือกเกิดของสไตรีนและเอทิลเบนซีนประมาณร้อยละ 20-23, 60-62 โดยโมล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

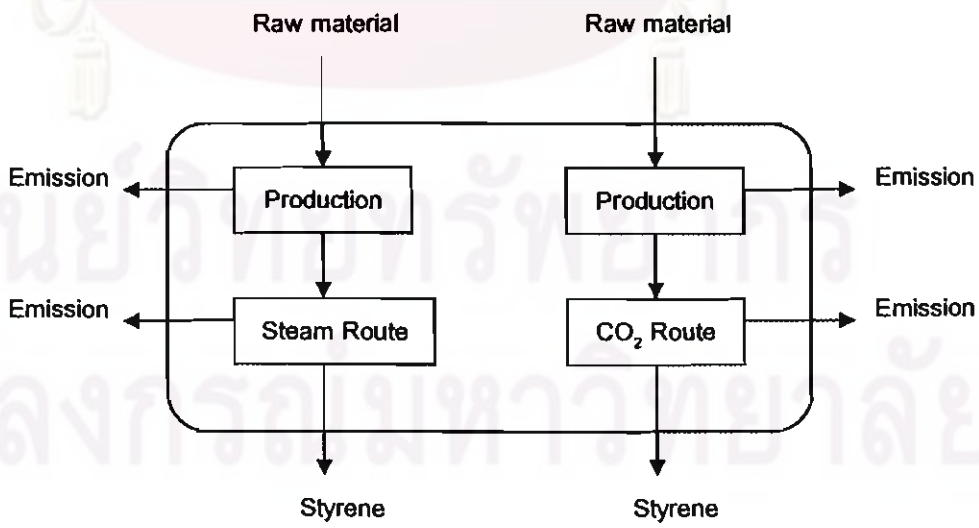
วิธีการดำเนินงานวิจัยสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตสไตรีนและศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตสไตรีน เพื่อเลือกกระบวนการผลิตสไตรีนอย่างเหมาะสม โดยมีเครื่องมือ อุปกรณ์ ที่ใช้ในจะศึกษาและวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัยและการวิเคราะห์

3.1.1 เป้าหมายและขอบเขตของงานวิจัย (Goal and Scope Definition)

3.1.1.1 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย (Objective and purpose)

เพื่อประเมินและเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตสไตรีนด้วยวิธีการต่างๆ ขอบเขตของการศึกษากระบวนการผลิตสไตรีนในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแบบ "Cradle-to-Gate" โดยมีขอบเขตของระบบครอบคลุมเฉพาะการผลิตวัตถุดิบและกระบวนการผลิตสไตรีน สำหรับขั้นตอนการขนส่ง การนำไปใช้งาน การใช้ซ้ำ การบำรุงรักษา การนำกลับมาใช้ใหม่ การกำจัดของเสีย จะไม่ถูกนำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้



ภาพที่ 3.1 แสดงขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตสไตรีน

3.1.1.2 **หน่วยหน้าที่** (functional unit)

หน่วยหน้าที่ (Functional unit) ที่ใช้ในการเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ สำหรับงานวิจัยนี้คือ ปริมาณการผลิตสไตรีน 1 กิโลกรัม

3.1.1.3 **ข้อสมมุติฐานและข้อจำกัด** (Limitation and Assumption)

ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมในงานวิจัยนี้ ได้เก็บรวบรวมมาจากบทความจากเอกสารทางวิชาการระดับนานาชาติ และวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์ในประเทศไทยและใช้ฐานข้อมูลผลิตภัณฑ์จากโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro®6.0

3.1.2 **การทำบัญชีรายการ** (Life Cycle Inventory: LCI)

ขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory: LCI) เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลด้านการใช้วัตถุดิบ พลังงาน รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกจากกระบวนการผลิตสไตรีนด้วยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับการใช้ไอน้ำและกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีขอบเขตการศึกษาดังที่ได้อธิบายในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาไว้แล้ว ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Hysys.Plant Version 3.2 เพื่อสร้างแบบจำลองกระบวนการเก็บข้อมูลสมดุลมวลสารและพลังงาน ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บรวมรวมข้อมูลจากงานวิจัยต่างๆ และใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro®6.0 โดยแผนผังกระบวนการแสดงในภาคผนวก ก

3.1.3 **การประเมินผลกระทบ** (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)

ในการประเมินผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับกระบวนการผลิตสไตรีนเป็นแบบ "Cradle to Gate" งานวิจัยนี้จึงทำการประเมินผลกระทบของกระบวนการผลิตสไตรีนโดยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro®6.0 และวิธี Eco-indicator 99 เป็นวิธีในแยกประเภทและหาค่าผลกระทบ

วิธีการประเมินผลกระทบในงานวิจัยนี้มีขั้นตอน คือ การทำ Characterization เพื่อทราบถึงปริมาณหรือค่าน้ำหนักผลกระทบที่เกิดขึ้นในด้านต่างๆ การเทียบหน่วย (normalization) และการทำให้น้ำหนักผลกระทบมีคะแนนเดี่ยว (Single score) ซึ่งค่าแฟกเตอร์ (factor) สำหรับนำมาคูณกับข้อมูลที่ได้เก็บรวมรวมข้อมูลเพื่อประเมินผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี Eco-Indicator 99 ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข

3.1.4 การแปลผล (Life Cycle Interpretation)

ในขั้นตอนการแปลผลเป็นการประเมินโอกาสที่เป็นไปได้ในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์นั้นๆ จากขั้นตอนของการประเมินผลกระทบทำให้สามารถชี้ชัดถึงกระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ซึ่งควรมีการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุง เพื่อลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

3.2 วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย

3.2.1 เครื่องคอมพิวเตอร์

3.2.1 โปรแกรม Window XP®

3.2.3 โปรแกรม Hysys.Plant Version 3.2

3.2.4 โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro® 6.0

3.2.5 โปรแกรม Microsoft Office XP®

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตสไตรีนโดยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำและกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งมีการพิจารณาภายใต้ความไม่แน่นอนของสารขาเข้า-ขาออกของกระบวนการผลิตสไตรีน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการกำหนดหน่วยการทำงานของกระบวนการผลิต โดยกำหนดให้มีปริมาณการผลิตสไตรีน 1 กิโลกรัม เพื่อให้ข้อมูลปริมาณสารที่เข้าและออกจากระบบตั้งอยู่บนพื้นฐานเดียวกันและสามารถเปรียบเทียบผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตแต่ละกระบวนการได้ ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3

ผลจากการประเมินที่ได้จะแสดงผลเป็นกราฟเปรียบเทียบผลกระทบด้านต่างๆ รวมถึงวิเคราะห์ผลที่เกิดจากกระบวนการผลิตสไตรีน โดยทำการประเมินข้อมูลและแสดงผลกระทบทั้ง 11 ประเภท ซึ่งประกอบด้วย 3 กลุ่มผลกระทบคือ

1. ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human Health) ประกอบด้วย สารก่อมะเร็ง (Carcinogenic), ผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร (Respiration of organic substance), ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiration of inorganic substance) สารแผ่รังสี (Radiation), ภาวะโลกร้อน (Climate change), การลดลงของโอโซน (Ozone depletion) ซึ่งแสดงในหน่วยของ DALYs

2. ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ (Ecosystem) ประกอบด้วย ภาวะความเป็นกรด (Acidification) / ภาวะอูโทรฟิเคชัน (Eutrophication), ความเป็นพิษ (Ecotoxicity), การใช้พื้นที่ (Land use) ซึ่งแสดงในหน่วยของ PDF/m^2/year (PDF: Potentially Disappeared Fraction)

3. ผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากร (Resource depletion) ประกอบด้วย การใช้สินแร่ (Mineral), การใช้เชื้อเพลิง (Fossil Fuel) ซึ่งแสดงในหน่วยของ (MJ surplus energy)

จากนั้นจะทำให้อยู่ในรูปหน่วยเดียวกันโดยการเทียบหน่วยและการให้ค่าน้ำหนัก เมื่อทำการเทียบหน่วยและค่าน้ำหนักแล้วจะได้ค่าต่างๆ ที่อยู่ในรูปค่าอ้างอิงเดียวกัน (Single score) ซึ่งจะแสดงเป็นกราฟคะแนนเชิงเดี่ยวที่มีหน่วยเป็น Pt เพื่อง่ายต่อความเข้าใจ

4.1 การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (life Cycle Inventory: LCI)

ในการประเมินวัฏจักรชีวิตสำหรับผลิตภัณฑ์ต่างๆ จะต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบของผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาถึงทรัพยากรและพลังงานที่ใช้ในการหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลแบบ "Cradle-to-gate" โดยมีขอบเขตในการพิจารณาเฉพาะขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ ขั้นตอนการปลดปล่อยของเสียและขั้นตอนการผลิตสไตรีน

4.1.1 บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (life Cycle Inventory: LCI): กระบวนการผลิตสไตรีนด้วยวิธีดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำ

ตารางที่4.1 ปริมาณสารขาเข้าและขาออกของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ

Inventory	Input
Material (kg)	
E-benzene	1.2274
Water	5.0574
Heat (kJ)	30,679.8166
Cooling water (kJ)	30,853.8623
Electricity (kJ)	1,510.1066

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่4.2 ปริมาณสารขาเข้าและขาออกของขั้นตอนการปลดปล่อยของเสีย

Inventory	Output
Emission (kg)	
Carbon dioxide	0.0667
Carbon monoxide	0.0141
Hydrogen	0.0296
Methane	0.0038
Ethylene	0.0057
Water	4.9937
Styrene	0.0002
Benzene	0.0009
Toluene	0.0003
E-benzene	0.0004
Product (kg)	
Styrene	1
By-product (kg)	
Benzene-Toluene	0.1694

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่4.3 ปริมาณสารขาเข้าและขาออกของขั้นตอนการผลิตสไตรีน (Cradle-to-gate)

Inventory	Input	Output
Material (kg)		
E-benzene	1.2274	-
Water	5.0574	-
Energy (kJ)	30,679.8166	-
Cooling water (kJ)	30,853.8623	
Electricity (kJ)	1,510.1066	
Emission (kg)		
Carbon dioxide	-	0.0667
Carbon monoxide	-	0.0141
Hydrogen	-	0.0296
Methane	-	0.0038
Ethylene	-	0.0057
Water	-	4.9937
Styrene	-	0.0002
Benzene	-	0.0009
Toluene	-	0.0003
E-benzene	-	0.0004
Product (kg)		
Styrene	-	1
By-product (kg)		
Benzene-Toluene	-	0.1694
Total	6.2848	6.2848

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2 **บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม** (life Cycle Inventory: LCI): **กระบวนการผลิตสไตรีนด้วยวิธีดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์**

ตารางที่4.4 ปริมาณสารขาเข้าและขาออกของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ

Inventory	Input
Material (kg)	
E-benzene	1.0849
Water	0.1687
Carbon dioxide	0.0088
Energy (kJ)	8,822.2984
Cooling water (kJ)	9,164.3512
Electricity (kJ)	2,497.3347

ตารางที่4.5 ปริมาณสารขาเข้าและขาออกของขั้นตอนการปลดปล่อยของเสีย

Inventory	Output
Emission (kg)	
Carbon dioxide	0.0069
Carbon monoxide	0.0176
Hydrogen	0.0213
Water	0.1588
Styrene	0.0001
Benzene	0.0004
Toluene	0.0002
E-benzene	0.0001
Product (kg)	
Styrene	1
By-product (kg)	
Benzene-Toluene	0.0570

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่4.6 ปริมาณสารขาเข้าและขาออกของขั้นตอนการผลิตสไตรีน (Cradle-to-gate)

Inventory	Input	Output
Material (kg)		
E-benzene	1.0849	-
Water	0.1687	-
Carbon dioxide	0.0088	
Energy (kJ)	8,822.2984	-
Cooling water (kJ)	9,164.3512	
Electricity (kJ)	2,497.3347	
Emission (kg)		
Carbon dioxide	-	0.0069
Carbon monoxide	-	0.0176
Hydrogen	-	0.0213
Water	-	0.1588
Styrene	-	0.0001
Benzene	-	0.0004
Toluene	-	0.0002
E-benzene	-	0.0001
Product (kg)		
Styrene	-	1
By-product (kg)		
Benzene-Toluene	-	0.057
Total	1.2624	1.2624

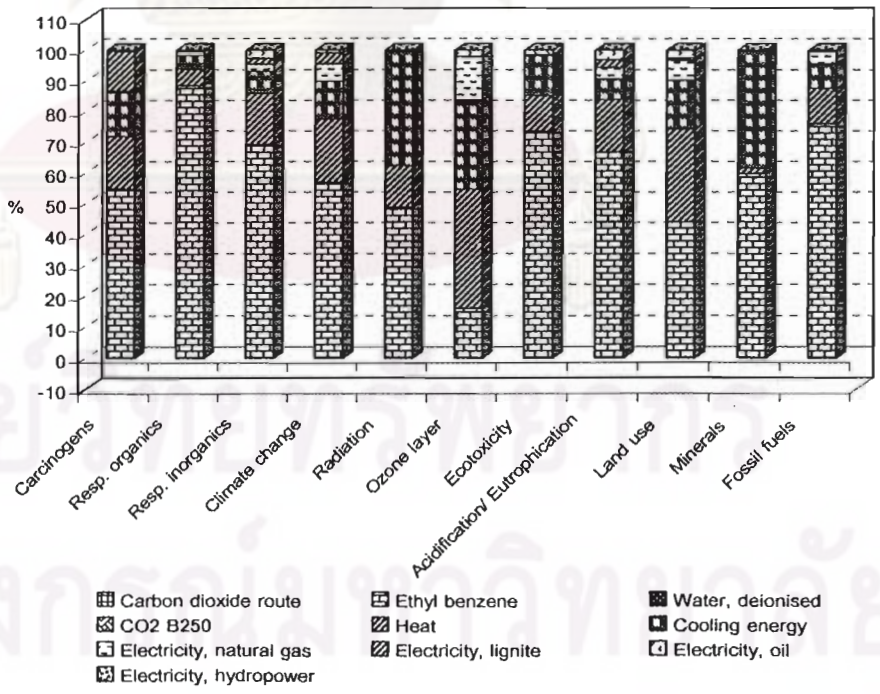
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Assessment: LCIA)

กระบวนการผลิตสไตรีนโดยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำและกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีการใช้สารตั้งต้นที่แตกต่างกัน งานวิจัยนี้จึงทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยโปรแกรม SimaPro 6.0 ด้วยวิธี Eco-indicator 99 ซึ่งจะแบ่งการประเมินผลกระทบเป็น 3 ช่วงคือ ขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ การปลดปล่อยสารพิษสู่สิ่งแวดล้อมในกระบวนการผลิตสไตรีน และสุดท้ายจะทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนในกระบวนการผลิตสไตรีน โดยจะทำการแปลผลในรูปแบบของกราฟผลกระทบขั้นปลาย (Damage Assessment) เพื่ออธิบายถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้ง 11 ประเภท และกราฟเชิงคะแนนเดี่ยว (Single score) ที่มีหน่วยเป็น Pt เพื่อง่ายต่อความเข้า ใจ

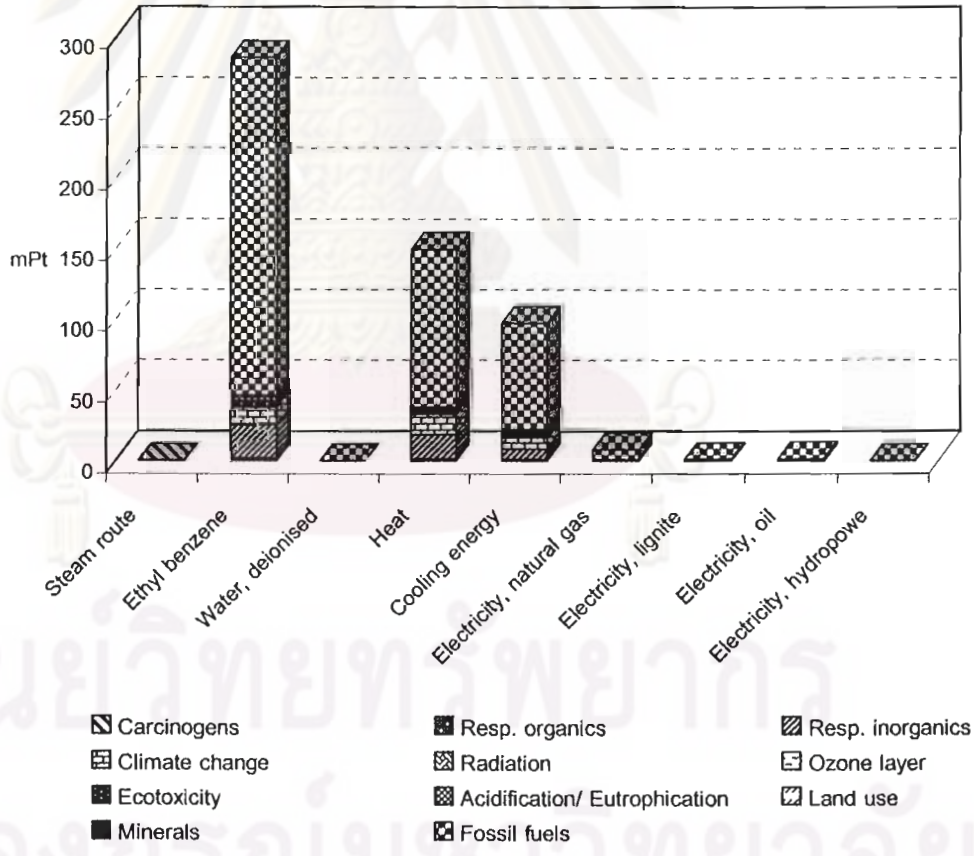
4.2.1 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตสไตรีนของกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำ

4.2.1.1 แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ



ภาพที่4.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบแต่ละชนิด (Damage Assessment)

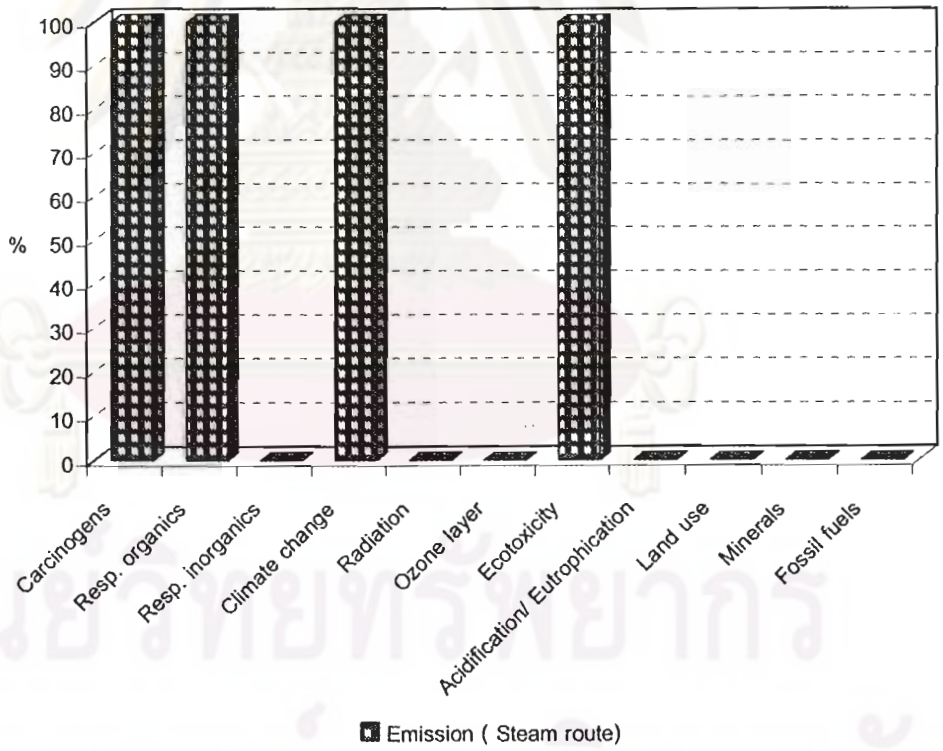
จากภาพที่4.1 แสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของสารตั้งต้นที่ใช้นำมาผลิตสไตรีน โดยกราฟผลกระทบขั้นปลาย (Damage Assessment) ของกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบน ซีนร่วมกับไอน้ำ พบว่าสารตั้งต้นที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้แก่ สารตั้งต้นเอทิลเบนซีน การใช้พลังงานในการให้ความร้อน (Heat) และการใช้พลังงานในการลดความร้อน (Cooling energy) รวมถึงการใช้ไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติและการใช้ไฟฟ้าจากถ่านหินลิกไนท์ โดยการใช้สารตั้งต้น เอทิลเบนซีนจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทุกๆ ด้านโดยเฉพาะผลกระทบด้านการทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากอินทรีย์สาร การใช้เชื้อเพลิง และการใช้พลังงานในการให้ความร้อน (Heat) ส่งผลกระทบอย่างมากในด้านการลดลงของโอโซน การใช้พื้นที่ในขณะที่การใช้พลังงานในการลดความร้อน (Cooling energy) ส่งผลกระทบมากที่สุดในด้านการใช้สินแร่ และการเป็นสารแผ่รังสี



ภาพที่4.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบแต่ละชนิด (Single score)

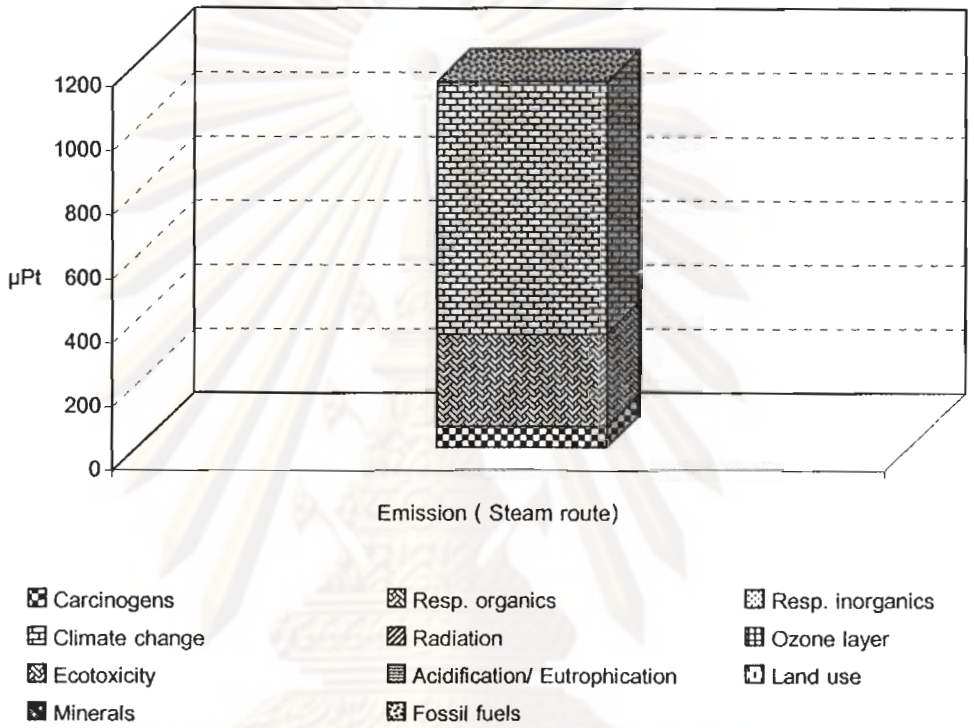
จากภาพที่4.2 แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบโดยกราฟเชิงคะแนนเดี่ยว (Single score) พบว่าสารตั้งต้นเอทิลเบนซีนมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุดประมาณ 285 mPt รองลงมาคือ ผลกระทบทางด้านการใช้พลังงานในการให้ความร้อน (Heat) ประมาณ 150 mPt และการใช้พลังงานในการลดความร้อน (Cooling energy) ประมาณ 97 mPt รวมถึงการใช้ไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติและการใช้ไฟฟ้าจากถ่านหินลิกไนท์ ซึ่งสารตั้งต้นเหล่านี้ส่งผลกระทบสูงสุดในด้านการใช้เชื้อเพลิง รองลงมาคือ การทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากอนินทรีย์สาร ภาวะโลกร้อน และส่งผลกระทบในปริมาณน้อยในด้านการทำลายระบบนิเวศน์ ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมเหล่านี้มีสาเหตุหลักมาจากขั้นตอนการผลิตสารตั้งต้นเอทิลเบนซีน

4.2.1.2 แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการปลดปล่อยสารพิษในขั้นตอนการผลิตสไตรีน



ภาพที่4.3 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการปลดปล่อยของเสียในขั้นตอนการผลิตสไตรีน (Damage Assessment)

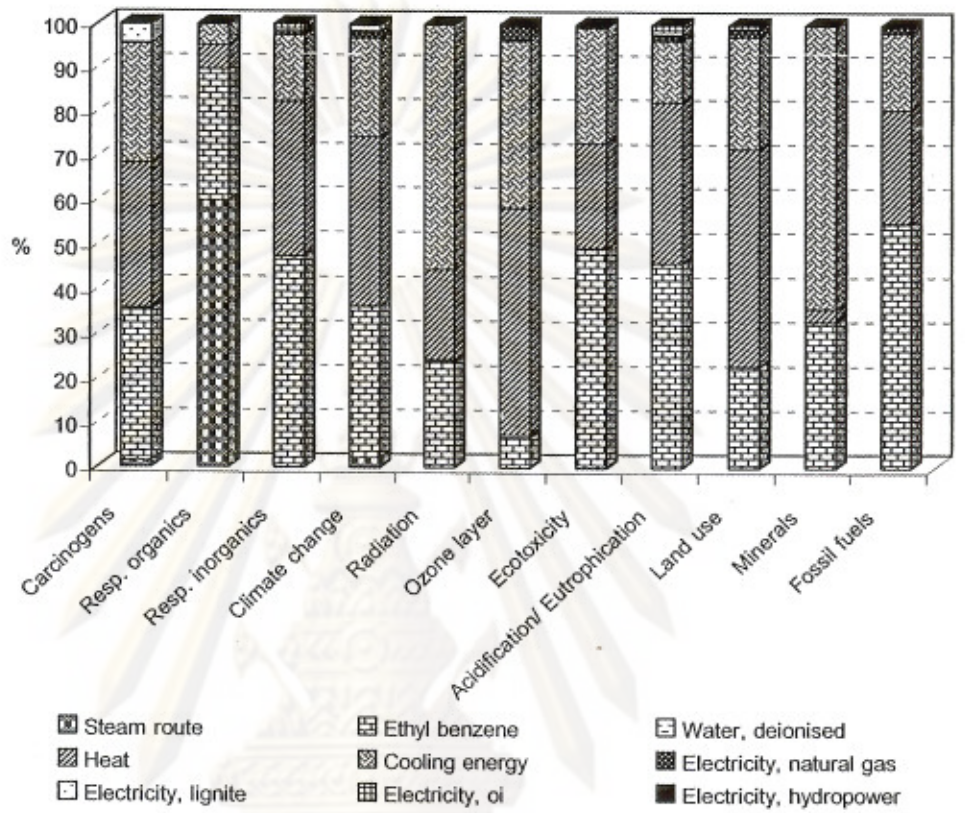
จากภาพที่4.3 แสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของการปลดปล่อยของเสียในขั้นตอนการผลิตสไตรีนโดยกราฟผลกระทบขั้นปลาย (Damage Assessment) ของกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำ พบว่าส่งผลกระทบสูงสุดในด้านการเป็นสารก่อมะเร็ง การทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากอินทรีย์สาร ภาวะโลกร้อน และการทำลายระบบนิเวศน์



ภาพที่4.4 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการปลดปล่อยของเสียในขั้นตอนการผลิตสไตรีน (Single score)

จากภาพที่4.4 แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการปลดปล่อยของเสียในขั้นตอนการผลิตสไตรีนโดยกราฟเชิงคะแนนเดี่ยว (Single score) พบว่าประเภทผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อนมากที่สุดประมาณ 786 μPt โดยมีสาเหตุหลักมาจากการปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์สู่สิ่งแวดล้อม ผลกระทบรองลงมาคือ การทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากอินทรีย์สารประมาณ 289 μPt โดยมีสาเหตุหลักมาจากการปลดปล่อยสาร เอทิลีน มีเทน เบนซีน เอทิลเบนซีน และโทลูอีนสู่สิ่งแวดล้อม และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านการเป็นสารก่อมะเร็งประมาณ 66 μPt โดยมีสาเหตุหลักมาจากการปลดปล่อยเบนซีน สไตรีน เอทิลีน และมีเทนสู่สิ่งแวดล้อม

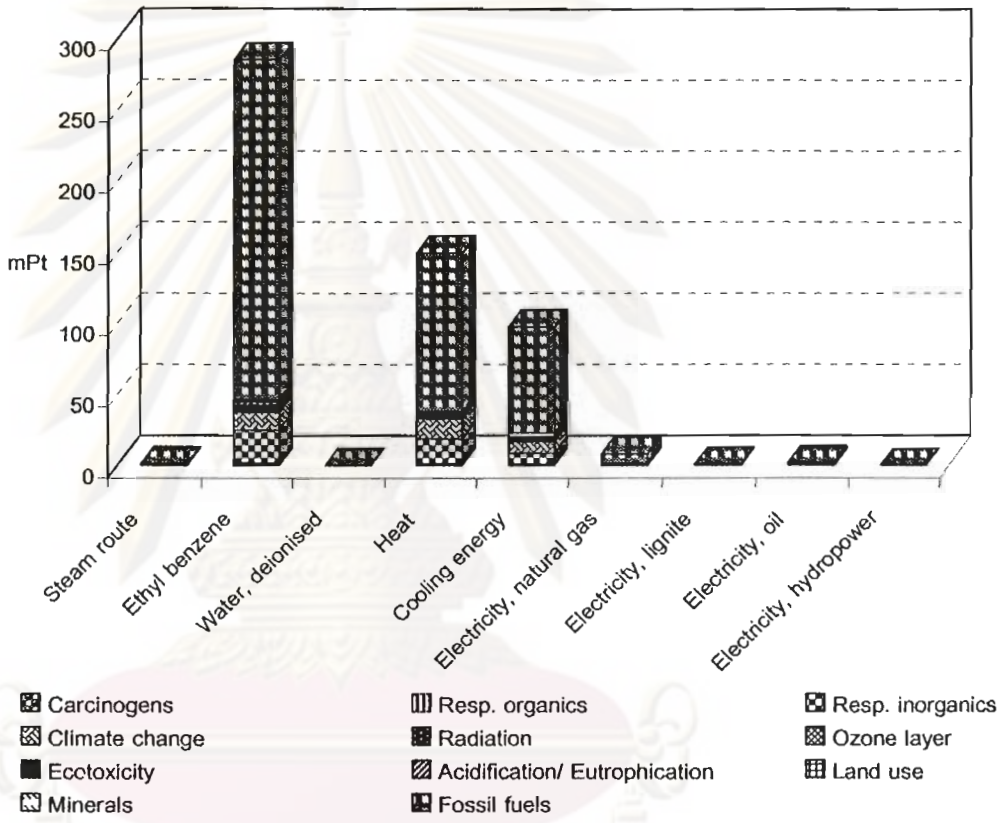
4.2.1.3 แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน



ภาพที่4.5 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน (Damage Assessment)

จากภาพที่4.5 แสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน โดยกราฟผลกระทบขั้นปลาย (Damage Assessment) ของกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำ พบว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่เกิดจากการใช้สารตั้งต้นเอทิลเบนซีน การใช้พลังงานในการให้ความร้อน (Heat) และการใช้พลังงานในการลดความร้อน (Cooling energy) รวมถึงการใช้ไฟฟ้า จากก๊าซธรรมชาติและการใช้ไฟฟ้าจากถ่านหินลิกไนท์ นอกจากนี้ยังเกิดจากการปลดปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไสตรีน โดยการใช้สารตั้งต้นเอทิลเบนซีนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทุกๆ ด้าน โดยเฉพาะด้านการใช้เชื้อเพลิง การทำลายระบบนิเวศน์ การทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากอนินทรีย์สาร รวมถึงเป็นสาเหตุของการเกิดฝนกรด/การเจริญเติบโตของพืชน้ำ และการใช้พลังงานในการให้ความร้อน (Heat) ส่งผลกระทบอย่าง

มากในด้านของการลดลงของโอโซน การใช้พื้นที่ ในขณะที่การใช้พลังงานในการลดความร้อน (Cooling energy) ส่งผลกระทบมากที่สุดในด้านการใช้สินแร่และการเป็นสารแผ่รังสี นอกจากนี้ยังพบว่ากระบวนการผลิตสไตรีนเองได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปลดปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านการทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากอินทรีย์สารมากที่สุด รองลงมาคือ ภาวะโลกร้อน และการเป็นสารก่อมะเร็ง

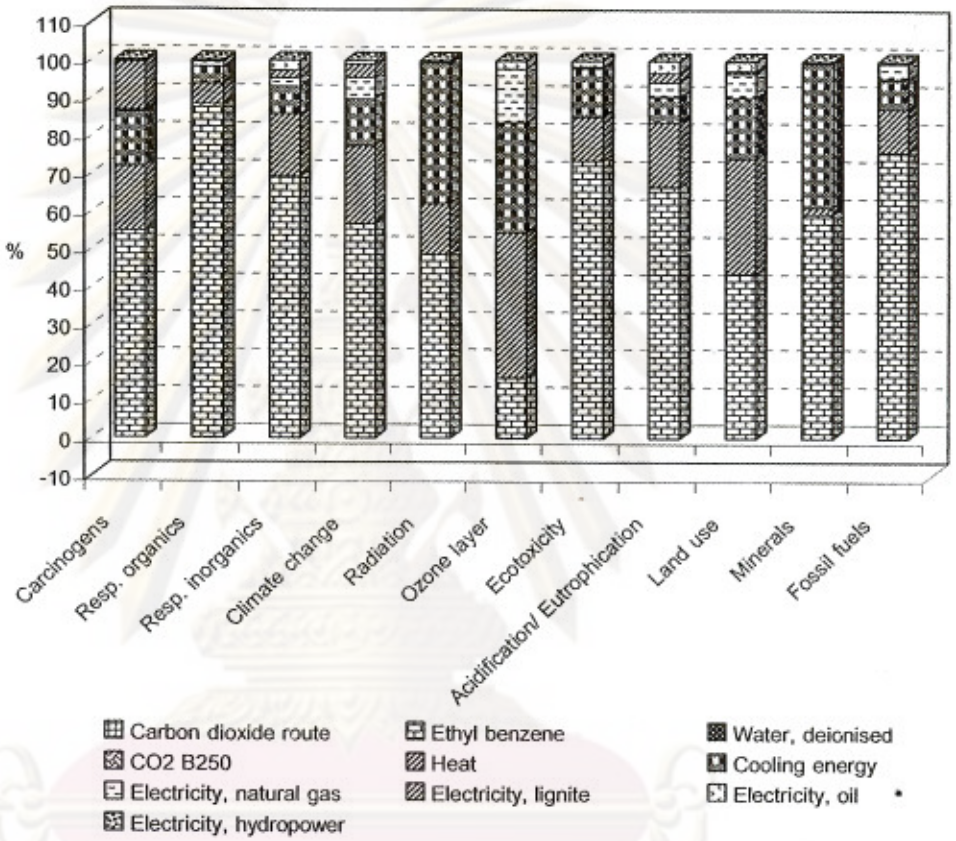


ภาพที่4.6 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน (Single score)

จากภาพที่4.6 แสดงถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตสไตรีนโดยกราฟเชิงคะแนนเดี่ยว (Single score) ของกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำ พบว่าสารตั้งต้นเอทิลเบนซีนมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุดประมาณ 285 mPt รองลงมาคือผลกระทบทางด้านการใช้พลังงานในการให้ความร้อน (Heat) 145 mPt และการใช้พลังงานในการลดความร้อน (Cooling energy) 97 mPt รวมถึงการใช้ไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติ ซึ่งสารตั้งต้นและการใช้พลังงานเหล่านี้ส่งผลกระทบสูงสุดในด้านการใช้เชื้อเพลิง รองลงมาคือ การทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากอนินทรีย์สาร ภาวะโลกร้อน รวมถึงส่งผลกระทบในด้านการทำลายระบบนิเวศน์ ซึ่งสาเหตุหลักเกิดจากขั้นตอนการผลิตสารตั้งต้นเอทิลเบนซีน

4.2.2 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตสไตรีนของกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์

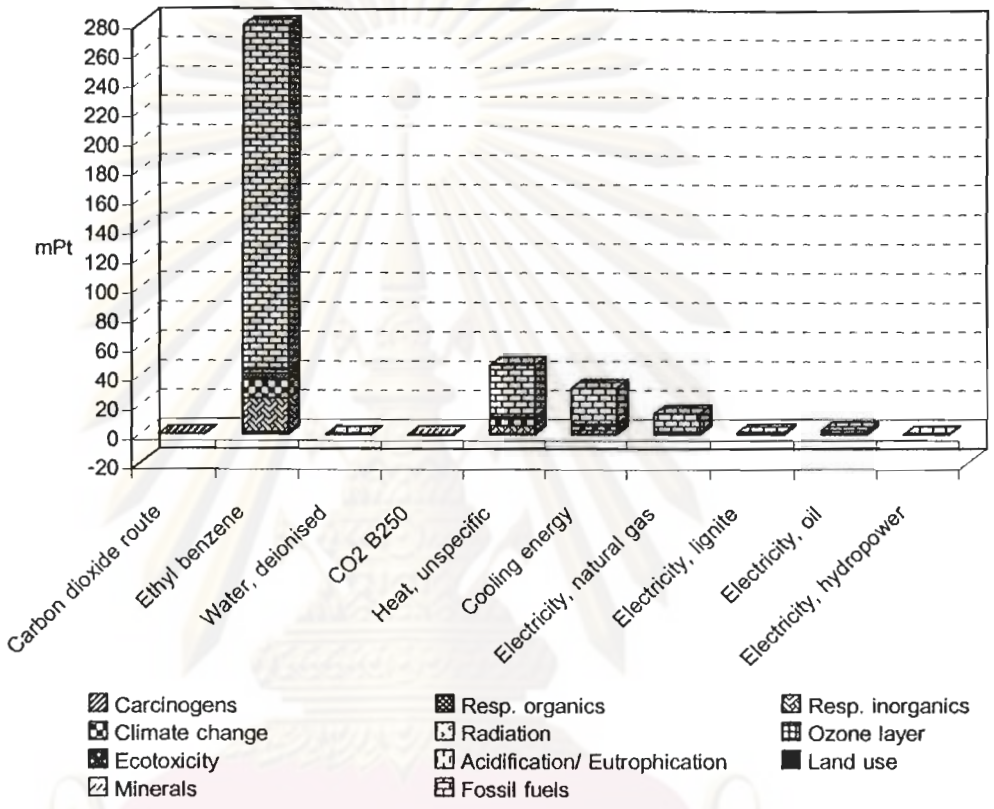
4.2.2.1 แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ



ภาพที่4.7 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบแต่ละชนิด (Damage Assessment)

จากภาพที่4.7 แสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของสารตั้งต้นที่ใช้นำมาผลิตสไตรีนโดยกราฟผลกระทบขั้นปลาย (Damage Assessment) ของกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าสารตั้งต้นที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้แก่ สารตั้งต้นเอทิลเบนซีน การใช้พลังงานในการให้ความร้อน (Heat) และการใช้พลังงานในการลดความร้อน (Cooling energy) รวมถึงการใช้ไฟฟ้าจากถ่านหินลิกไนท์และการใช้ไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติ โดยการใช้สารตั้งต้นเอทิลเบนซีนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทุกๆ ด้าน โดยเฉพาะการใช้เชื้อเพลิง การทำลายระบบนิเวศน์ การทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากอินทรีย์สาร เป็นต้น และการใช้

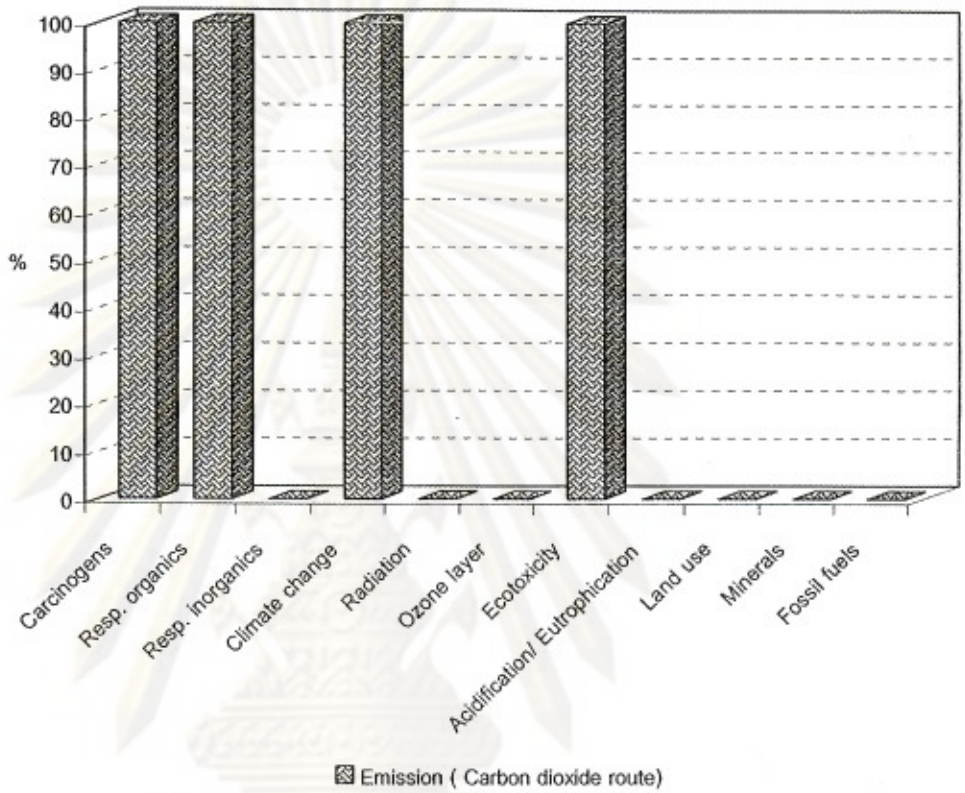
พลังงานในการให้ความร้อน (Heat) ส่งผลกระทบอย่างมากในด้านของการลดลงของโอโซน การใช้พื้นที่ ในขณะที่การใช้พลังงานในการลดความร้อน (Cooling energy) ส่งผลกระทบมากที่สุดในด้านการใช้สินแร่ และการเป็นสารแผ่รังสี



ภาพที่4.8 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบแต่ละชนิด (Single score)

จากภาพที่4.8 แสดงให้เห็นว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบโดยกราฟเชิงคะแนนเดี่ยว (Single score) ซึ่งพบว่า สารตั้งต้นเอทิลเบนซีนมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุดประมาณ 279 mPt รองลงมาคือ ผลกระทบทางด้านการใช้พลังงานในการให้ความร้อน (Heat) ประมาณ 48 mPt และการใช้พลังงานในการลดความร้อน (Cooling energy) ประมาณ 32 mPt รวมถึงการใช้ไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติประมาณ 14 mPt ซึ่งสารตั้งต้นเหล่านี้ส่งผลกระทบสูงสุดในด้านการใช้เชื้อเพลิง รองลงมาคือ การทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากอนินทรีย์สารภาวะโลกร้อน ซึ่งสาเหตุหลักเกิดจากขั้นตอนการผลิตสารตั้งต้นเอทิลเบนซีน

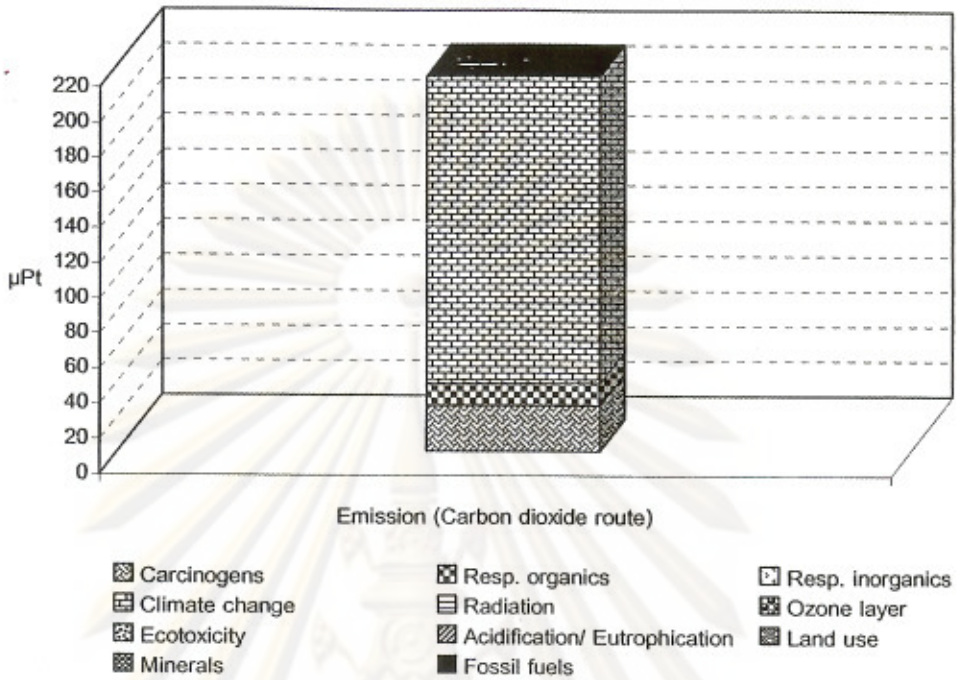
4.2.2.2 แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการปลดปล่อยสารเคมีในขั้นตอนการผลิตสไตรีน



ภาพที่4.9 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการปลดปล่อยของเสียในขั้นตอนการผลิตสไตรีน (Damage Assessment)

จากภาพที่4.9 แสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของการปลดปล่อยของเสียในขั้นตอนการผลิตสไตรีนโดยกราฟผลกระทบขั้นปลาย (Damage Assessment) ของกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าส่งผลกระทบสูงสุดในด้านการเป็นสารก่อมะเร็ง การทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากอินทรีย์สาร ภาวะโลกร้อน และการทำลายระบบนิเวศน์ เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

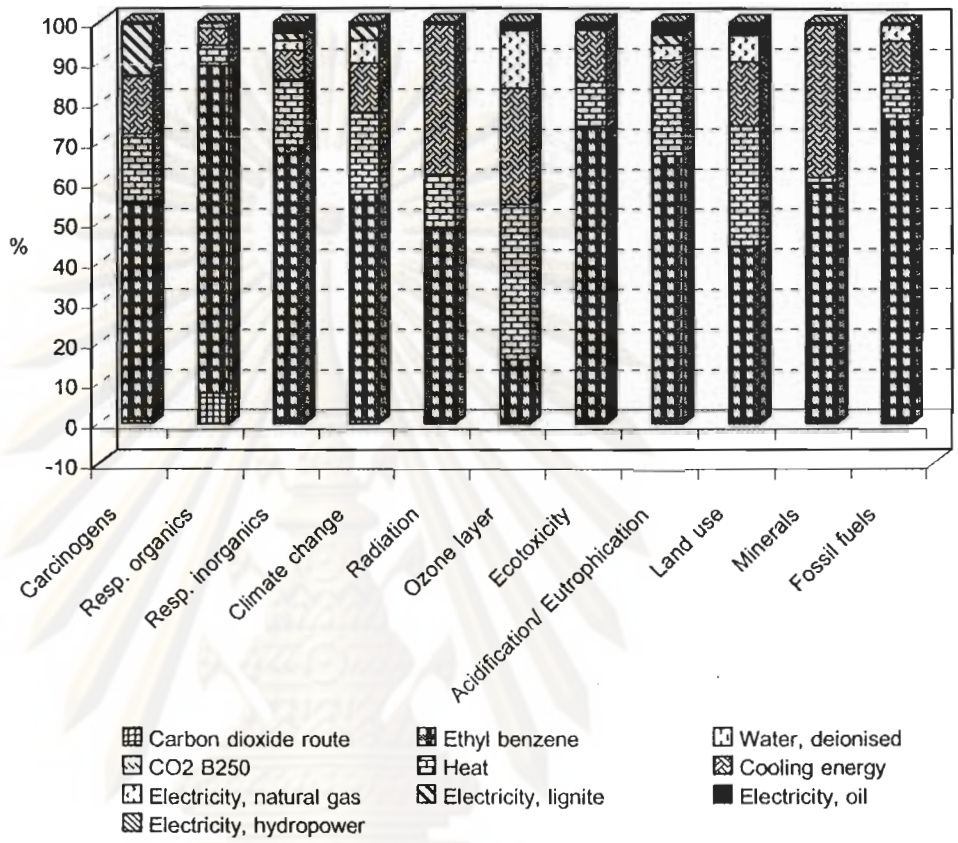


ภาพที่4.10 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการปลดปล่อยของเสียในขั้นตอนการผลิตสไตรีน (Single score)

จากภาพที่5 แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการปลดปล่อยของเสียในขั้นตอนการผลิตสไตรีนของกราฟเชิงคะแนนเดี่ยว (Single score) พบว่าประเภทผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อันเกิดจากกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อนมากที่สุดประมาณ 175 µPt โดยมีสาเหตุหลักมาจากการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์สู่สิ่งแวดล้อม ผลกระทบรองลงมาคือการเป็นสารก่อมะเร็งประมาณ 26 µPt โดยมีสาเหตุหลักมาจากการปลดปล่อยสารเบนซีน สไตรีนสู่สิ่งแวดล้อม และส่งผลกระทบน้อยสุดที่สุดในด้านการทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากสารอินทรีย์ประมาณ 13 µPt โดยมีสาเหตุหลักมาจากการปลดปล่อย เบนซีน เอทิลเบนซีนและโทลูอีนสู่สิ่งแวดล้อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2.3 แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน

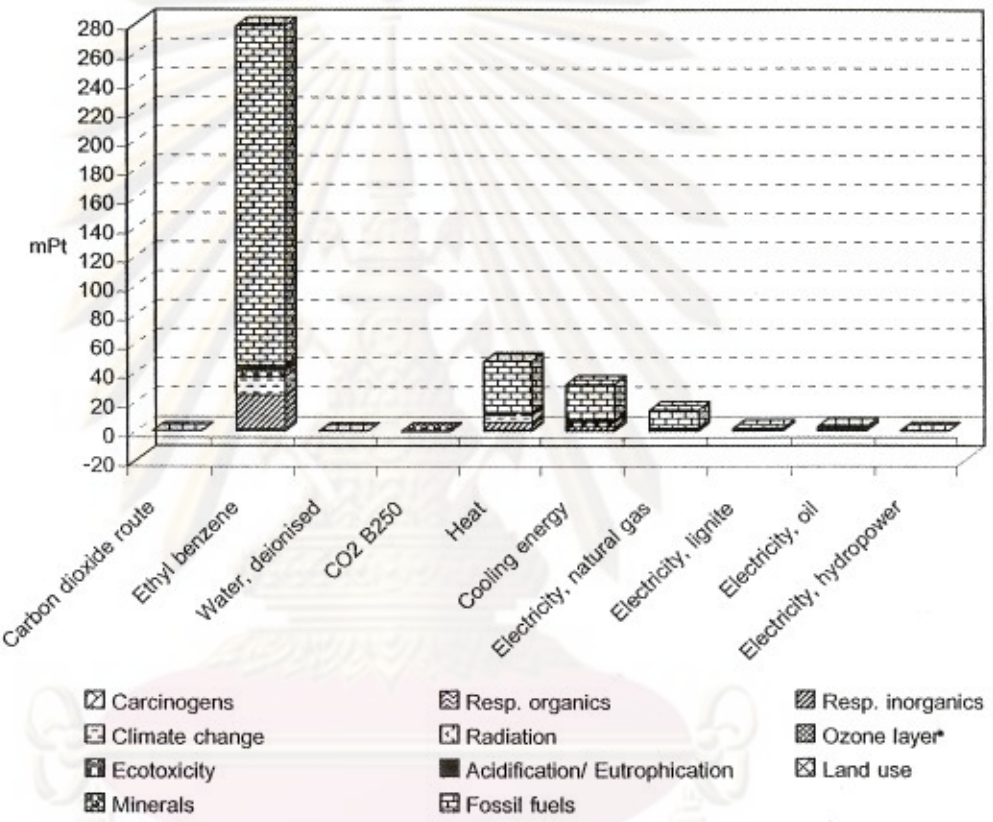


ภาพที่4.11 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน

(Damage Assessment)

จากภาพที่4.11 แสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน โดยกราฟผลกระทบขั้นปลาย (Damage Assessment) ของกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่เกิดจากการใช้สารตั้งต้นเอทิลเบนซีน การใช้พลังงานในการให้ความร้อน (Heat) และการใช้พลังงานในการลดความร้อน (Cooling energy) รวมถึงการใช้ไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติและการใช้ไฟฟ้าจากถ่านหินลิกไนท์ นอกจากนี้ยังเกิดจากการปลดปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตสไตรีน โดยการใช้สารตั้งต้นเอทิลเบนซีนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทุกๆ ด้าน โดยเฉพาะด้านการทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากการอินทรีย์สาร การใช้เชื้อเพลิง การทำลายระบบนิเวศน์ และการใช้พลังงานในการให้ความร้อน (Heat) ส่งผลกระทบอย่างมากในด้านของการลดลงของโอโซน การใช้

พื้นที่ ในขณะที่การใช้พลังงานในการลดความร้อนส่งผลกระทบมากที่สุดในด้านการใช้สินแร่และการเป็นสารแผ่รังสี โดยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปลดปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไสตรีนเองได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านการทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากอินทรีย์สารมากที่สุด รองลงมาคือ การเป็นสารก่อมะเร็ง และภาวะโลกร้อน



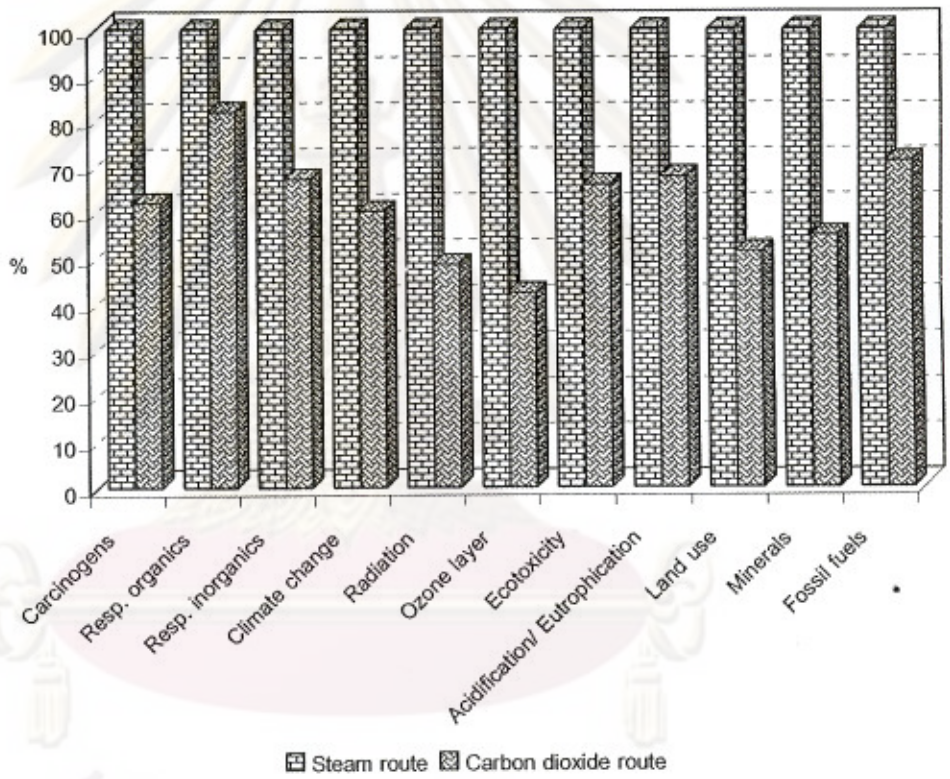
ภาพที่4.12 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน (Single score)

จากภาพที่4.12 แสดงถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน โดยกราฟเชิงคะแนนเดี่ยว (Single score) ของกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าสารตั้งต้นเอทิลเบนซีนมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุดประมาณ 279 mPt รองลงมาคือ ผลกระทบทางด้านการใช้พลังงานในการให้ความร้อน (Heat) ประมาณ 47 mPt และการใช้พลังงานในการลดความร้อน (Cooling energy) ประมาณ 31 mPt รวมถึงการใช้ไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติและการใช้ไฟฟ้าจากถ่านน้ำมัน ซึ่งสารตั้งต้นและการใช้พลังงานเหล่านี้ส่งผลกระทบสูงสุดในด้านการใช้เชื้อเพลิง รองลงมาคือ การทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากอนินทรีย์สาร ภาวะ

โลกร้อนรวมถึงส่งผลกระทบในด้านการทำลายระบบนิเวศน์ แต่การใช้สารตั้งต้นคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่กลับเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 0.35 mPt

4.3 การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตสไตรีนโดยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำกับกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิล เบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์

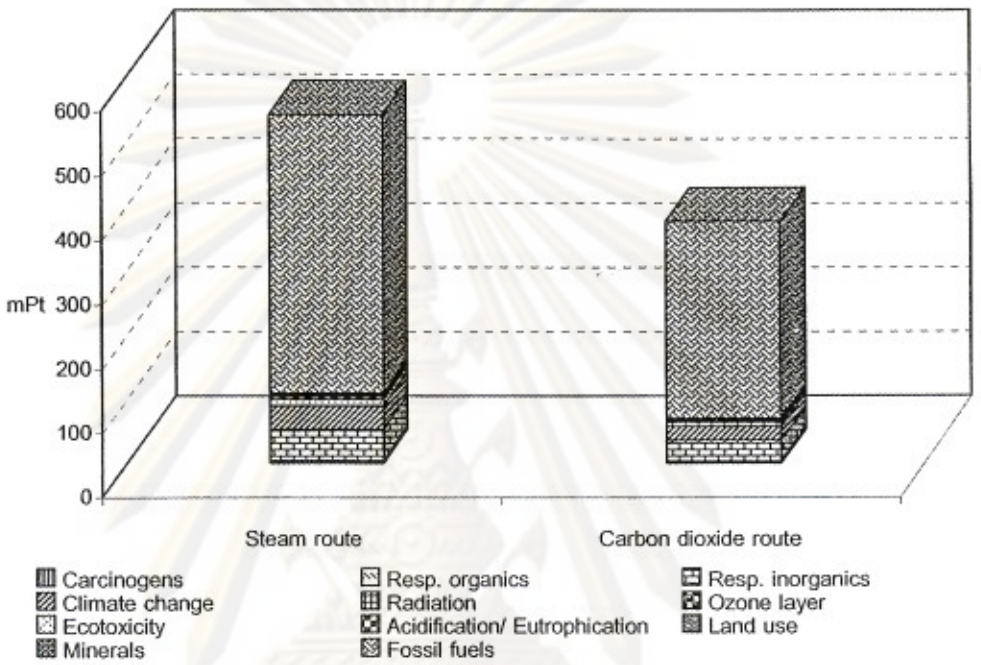
4.3.1 แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ



ภาพที่4.13 การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบแต่ละชนิด (Damage Assessment: steam route with CO_2 route)

จากภาพที่4.13 พบว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบของกราฟจากกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำและกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ของกราฟผลกระทบขั้นปลาย (Damage Assessment) พบว่าส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทุกๆ ด้าน โดยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำได้

ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ในทุกๆ ประเภทผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม

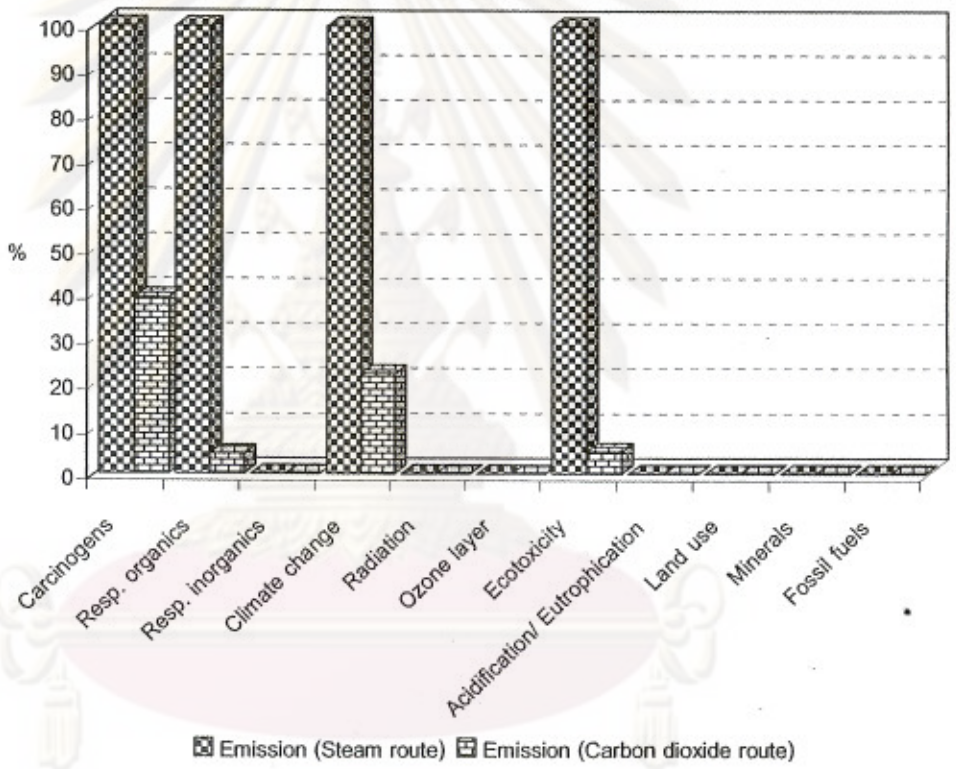


ภาพที่4.14 การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบแต่ละชนิด (Single score: steam route with CO_2 route)

จากภาพที่5.4 แสดงให้เห็นว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบแต่ละชนิดโดยกราฟเชิงคะแนนเดี่ยว (Single score) ของกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอน ไดออกไซด์ประมาณ 1.44 เท่า โดยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการวัตถุดิบของกระบวน การดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 543 mPt และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบของกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีน ร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 377 mPt และพบว่าขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบแต่ละชนิดของกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงที่สุดคือ การใช้เชื้อเพลิงประมาณ 433 mPt รองลงมาคือ ด้านทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากอนินทรีย์สารประมาณ 49 mPt และยังส่งผลกระทบในด้านภาวะโลกร้อน การทำลายระบบนิเวศน์ รวมถึงเป็นสาเหตุของการเกิดฝนกรด/การเจริญเติบโตของพืชน้ำ

ส่วนขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบแต่ละชนิดของกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนได ออกไซด์ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงที่สุดคือ การใช้เชื้อเพลิงประมาณ 307 mPt รองลงมาคือ ทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากอนินทรีย์สารประมาณ 33 mPt และยังส่งผลกระทบในด้านภาวะโลกร้อนประมาณ 22 mPt

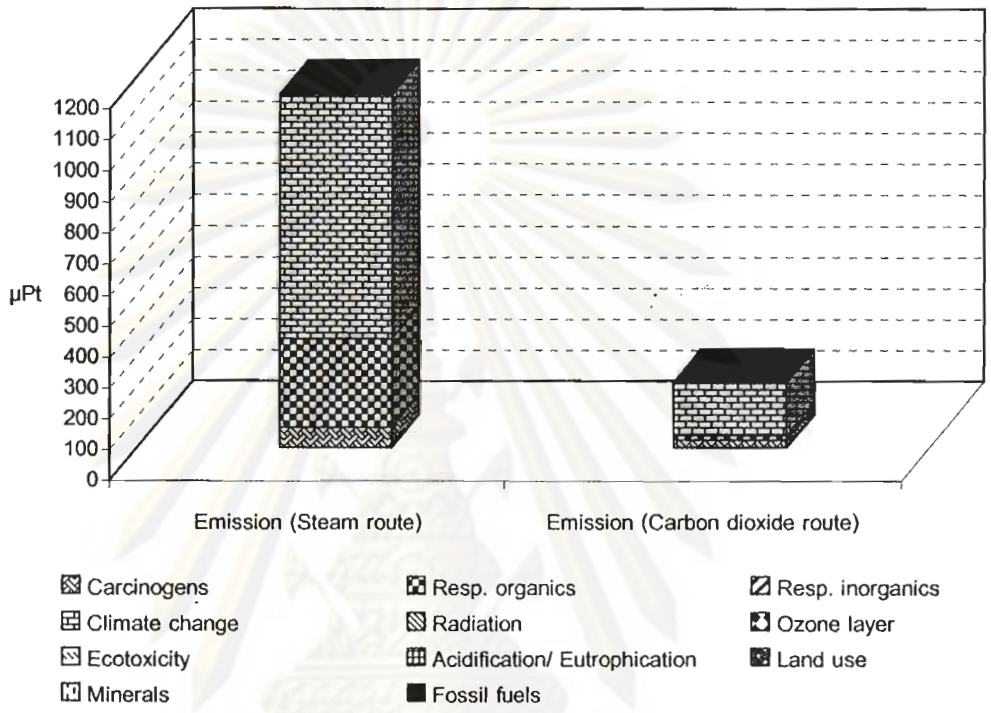
4.3.2 แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการปลดปล่อยสารเคมีในขั้นตอนการผลิตสไตรีน



ภาพที่4.15 การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการปลดปล่อยของเสีย (Damage Assessment: steam route with CO_2 route)

จากภาพที่4.15 แสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของการปลดปล่อยของเสียในขั้นตอนการผลิตสไตรีนโดยกราฟผลกระทบขั้นปลาย (Damage Assessment) ของกระบวนการดีไฮโดรจีเนชั่นเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการปลดปล่อยของเสียในขั้นตอนการผลิตสไตรีนโดยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งพบว่าการปลดปล่อยของเสียของกระบวนการผลิตทั้ง 2 กระบวนการได้ส่งผลกระทบต่อสิ่ง

แวดล้อมในด้านการเป็นสารก่อมะเร็ง การทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากอินทรีย์สาร ภาวะโลกร้อน และการทำลายระบบนิเวศน์

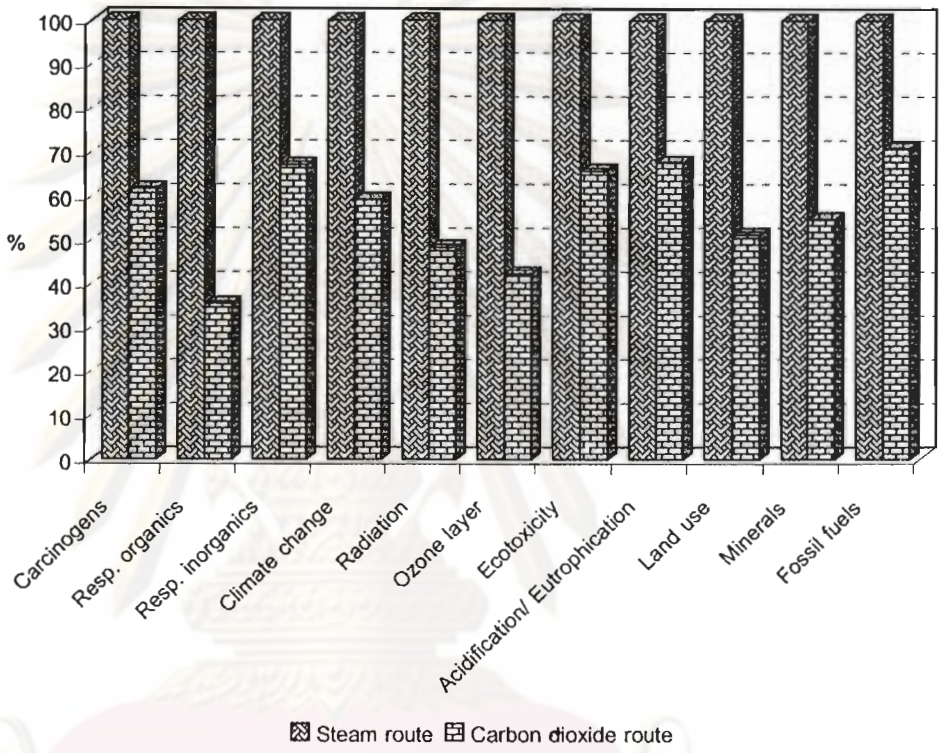


ภาพที่4.16 การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการปลดปล่อยของเสีย (Single score: steam route with CO_2 route)

จากภาพที่ 4.16 แสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของการปลดปล่อยของเสียโดยกราฟเชิงคะแนนเดี่ยว (Single score) ในขั้นตอนการผลิตสไตรีน พบว่ากระบวนการดีไฮโดรจีเนชั่นเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 5.34 เท่า โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของการปลดปล่อยของเสียในขั้นตอนการผลิตสไตรีนด้วยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุดในด้านภาวะโลกร้อนประมาณ 786 μPt รองลงมาคือ ด้านการทำลายระบบการหายใจเนื่องมาจากอินทรีย์สารประมาณ 289 μPt และยังส่งผลกระทบในด้านการเป็นสารก่อมะเร็งประมาณ 66 μPt นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบในด้านการทำลายระบบนิเวศน์ และผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของการปลดปล่อยของเสียในขั้นตอนการผลิตสไตรีนโดยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุดในด้านภาวะโลกร้อนประมาณ 175 μPt รองลงมาคือ การเป็นสารก่อ

มะเร็งประมาณ 26 μPt และยังส่งผลกระทบในด้านการทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากอินทรีย์สารประมาณ 13 μPt รวมทั้งส่งผลกระทบในด้านการทำลายระบบนิเวศน์

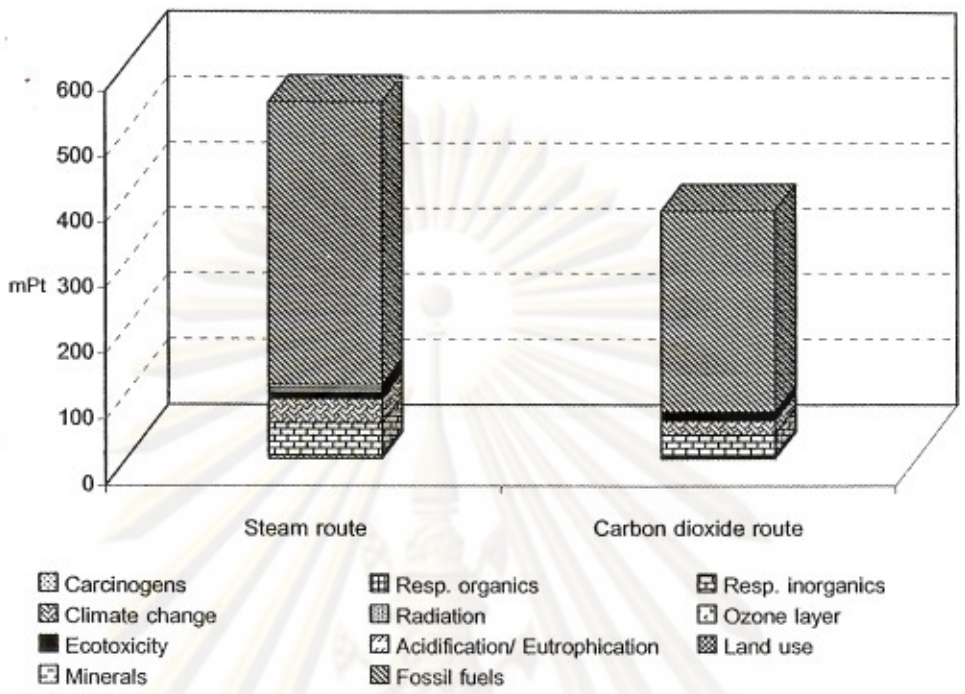
4.3.3 แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน



ภาพที่4.17 การปรียบทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน

(Damage Assessment: steam route with CO_2 route)

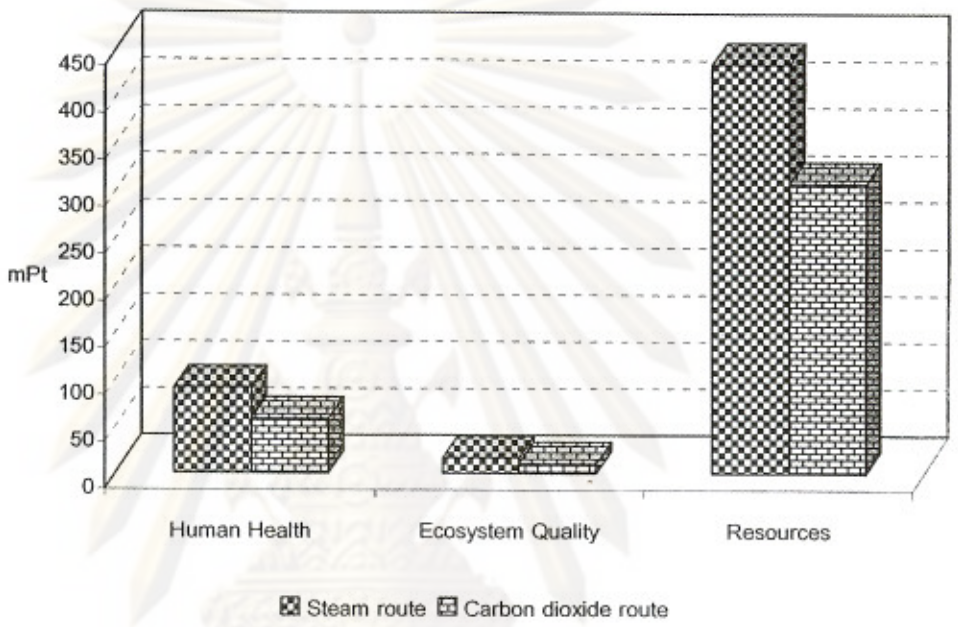
จากภาพที่4.17 พบว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีนของกราฟผลกระทบขั้นปลาย (Damage Assessment) จากกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำและกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทุกๆ ด้าน โดยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ในทุกๆ ประเภทผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม



ภาพที่4.18 การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน (Single score: steam route with CO_2 route)

จากภาพที่4.18 แสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีนของกราฟเชิงคะแนนเดี่ยว (Single score) โดยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าขั้นตอนการผลิตสไตรีนโดยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิล เบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 1.44 เท่า โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมขั้นตอนการผลิตสไตรีนโดยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุดในด้านการใช้เชื้อเพลิงประมาณ 433 mPt รองลงมาคือ ด้านการทำลายระบบการหายใจเนื่องมาจากอนินทรีย์สารประมาณ 49 mPt และยังส่งผลกระทบในด้านภาวะโลกร้อนประมาณ 37 mPt นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบในด้านการทำลายระบบนิเวศน์ รวมถึงเป็นสาเหตุของการเกิดฝนกรด/การเจริญเติบโตของพืชน้ำและการใช้สินแร่ และผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีนโดยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุดในด้านการใช้เชื้อเพลิงประมาณ 307 mPt รองลงมาคือ ด้านการทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากอนินทรีย์สารประมาณ 33 mPt และยังส่งผลกระทบในด้านภาวะโลกร้อนประมาณ 22 mPt นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบในด้านการทำลายระบบนิเวศน์รวมถึงเป็นสาเหตุของการเกิดฝนกรด/การเจริญเติบโตของพืชน้ำ

จากภาพที่4.17 และ 4.18 เมื่อทำการแบ่งผลกระทบออกเป็น 11 ประเภทผลกระทบของกระบวนการผลิตทั้ง 2 กระบวนการแล้ว จึงทำการจัดกลุ่มผลกระทบออกเป็น 3 กลุ่ม ตามลักษณะของกลุ่มเป้าหมายคือ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human Health) ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ (Ecosystem) ผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากร (Resource depletion) ดังภาพที่4.19



ภาพที่4.19 การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของ 3 กลุ่มผลกระทบ (Weighting: steam route with CO_2 route)

จากภาพที่4.19 แสดงให้เห็นว่าเมื่อจัดกลุ่มผลกระทบ 11 ประเภท ออกเป็น 3 กลุ่มของกระบวนการผลิตสไตรีนทั้ง 2 กระบวนการ พบว่ากลุ่มผลกระทบที่มีปริมาณสูงสุดคือ ผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากร (Resource depletion) รองลงมาคือ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human Health) และน้อยที่สุดคือ ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ (Ecosystem) โดยกระบวนการผลิตสไตรีนด้วยกระ บวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำส่งผลกระทบมากกว่ากระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ในทุกๆ กลุ่มผลกระทบ โดยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชัน เอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำส่งผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากร (Resource depletion) ประมาณ 436 mPt รองลงมาคือ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human Health) ประมาณ 91 mPt และน้อยที่สุดคือ ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ (Ecosystem) ประมาณ 16 mPt ในขณะที่กระบวน การผลิตสไตรีนด้วยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับ

คาร์บอนไดออกไซด์ส่งผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากร (Resource depletion) ประมาณ 309 mPt รองลงมาคือ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human Health) ประมาณ 58 mPt และน้อยที่สุดคือ ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ (Ecosystem) ประมาณ 11 mPt

4.4 การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตสไตรีนภายใต้ความไม่แน่นอน

ในงานวิจัยนี้การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตสไตรีนด้วยวิธีดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ โดยจะพิจารณาภายใต้ความไม่แน่นอนของสภาวะในเครื่องปฏิกรณ์ เนื่องจากอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์เป็นปัจจัยสำคัญในการทำปฏิกิริยาของสารเคมีภายในเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ การควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์นั้นสามารถทำได้ แต่บ่อยครั้งที่เกิดการแกว่งของอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งนี้ จึงส่งผลให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของเอทิลเบนซีนเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์อาจมีปริมาณลดลงหรือเพิ่มขึ้น โดยงานวิจัยนี้ได้มีการกำหนดหน่วยการทำงาน (Functional Unit) ของกระบวนการผลิตคือ ปริมาณการผลิตสไตรีน 1 กิโลกรัม

4.4.1. การทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI)

การทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI) ของปริมาณการผลิตสไตรีน 1 กิโลกัมภายใต้ความไม่แน่นอนของสภาวะในเครื่องปฏิกรณ์จะส่งผลต่อปริมาณวัตถุดิบ พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตและปริมาณของเสียที่ถูกปลดปล่อยจากกระบวนการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 ปริมาณสารขาเข้าและขาออกของกระบวนการผลิตสไตรีนด้วยวิธีดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ความไม่แน่นอน

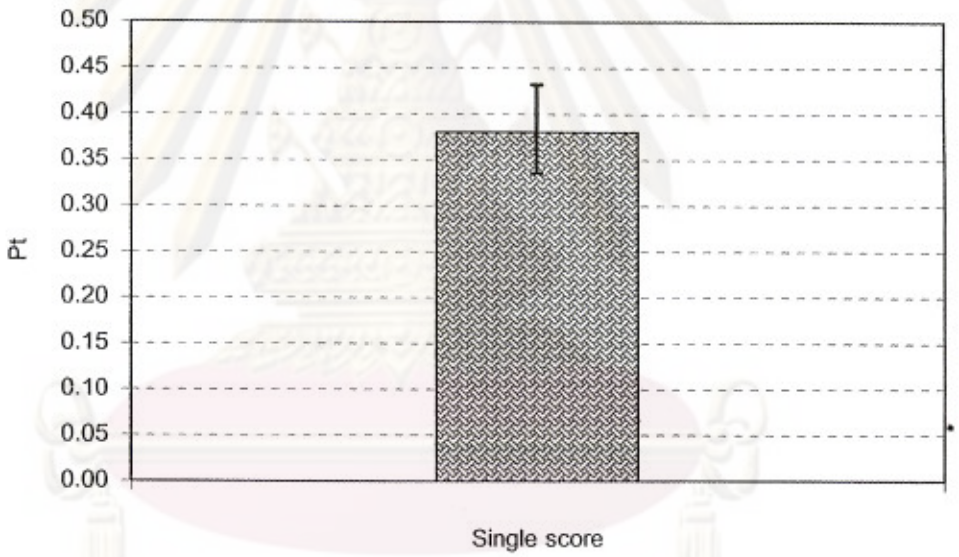
Inventory	Input	Output
Material (kg)		
E-benzene	1.0781-1.0848	-
Water	0.1650-0.1690	-
Carbon dioxide	0.0088-0.0112	
Energy (kJ)	7,876.1262-10,562.0224	-
Cooling water (kJ)	8,069.4206-10,873.3343	
Electricity (kJ)	2,186.4034-2,781.6648	
Emission (kg)		
Carbon dioxide	-	0.0048-0.0086
Carbon monoxide	-	0.0171-0.0176
Hydrogen	-	0.0217-0.0213
Water	-	0.1581-0.1592
Styrene	-	0.0000-0.0001
Benzene	-	0.0004-0.0005
Toluene	-	0.0002-0.0002
E-benzene	-	0.0001-0.0001
Product (kg)		
Styrene	-	1
By-product (kg)		
Benzene-Toluene	-	0.053

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.2 การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Assessment: LCIA)

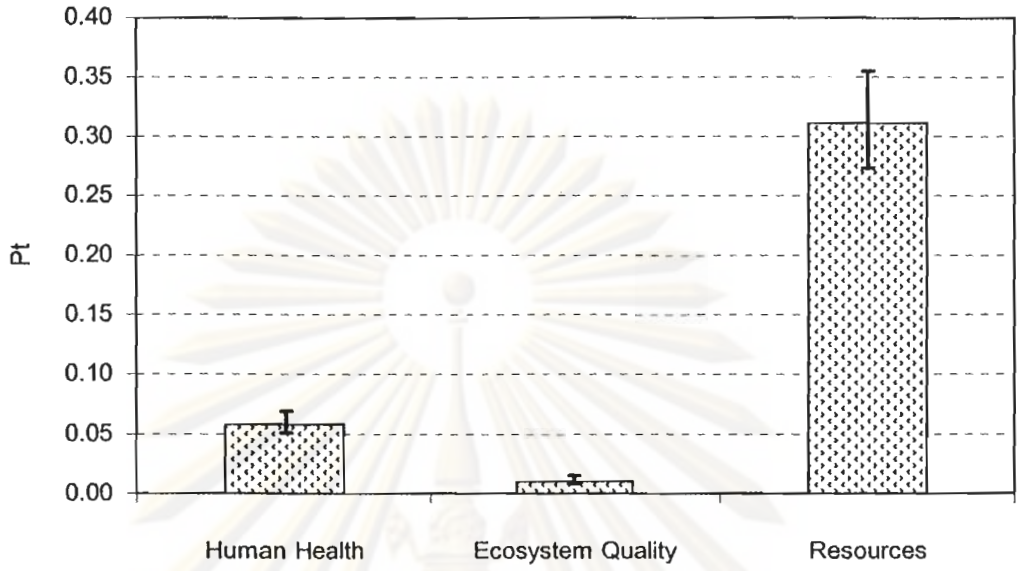
จากขั้นตอนการทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI) ที่แสดงในตารางที่4.7 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีลักษณะเป็นช่วงซึ่งประกอบด้วยค่าน้อยสุดและค่ามากสุด ดังนั้นในขั้นตอนการประเมินผลกระทบ (Life Cycle Assessment: LCIA) จะทำการวิเคราะห์ปัญหาด้วยวิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โล กล่าวคือ ทำการสุ่มตัวอย่างที่อยู่ในช่วงข้อมูลนั้นแล้วทำการประเมินกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี Eco-indicator 99 โดยในงานวิจัยนี้จะทำการสุ่มตัวอย่าง 10,000 ครั้งและทำการแปลผลที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.3.1.2 ผลกระทบของกระบวนการผลิตสไตรีนภายใต้ความไม่แน่นอน



ภาพที่4.20 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตสไตรีนภายใต้ความไม่แน่นอน

ภาพที่4.20 แสดงให้เห็นว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีนภายใต้ความไม่แน่นอนของสภาวะในเครื่องปฏิกรณ์ของกระบวนการผลิตสไตรีนด้วยวิธีดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์มีความผันแปรของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในช่วง 0.335 - 0.432 Pt ที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่4.21 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 3 กลุ่มของกระบวนการผลิตสไตรีนภายใต้ความไม่แน่นอน

ภาพที่4.21 แสดงให้เห็นว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีนภายใต้ความไม่แน่นอนจากกระบวนการผลิตสไตรีนด้วยวิธีดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์มีความผันแปรของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human Health) ในช่วง 0.051 - 0.0694 Pt ที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และมีความผันแปรของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ (Ecosystem Quality) ในช่วง 0.00834 - 0.0151 Pt ที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 รวมทั้งมีความผันแปรของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากร (Resource depletion) ในช่วง 0.273 - 0.335 Pt ที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเมื่อพิจารณาภายใต้ความไม่แน่นอนยังคงพบว่าวิธีดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านสุขภาพมนุษย์ (Human Health) มากที่สุด รองลงมาคือ ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ (Ecosystem Quality) และน้อยที่สุดคือ ผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากร (Resource depletion)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตสไตรีน

งานวิจัยนี้ได้นำหลักการการออกแบบโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger Network) มาช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตสไตรีนเพื่อลดการใช้พลังงานอันจะนำไปสู่การลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมดังตารางที่ 4.8 และ 4.9

4.5.1 การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (life Cycle Inventory: LCI)

ตารางที่4.8 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิตสไตรีนด้วยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำ

Utility	Base-Case (kJ/hr)	Heat Exchanger Network (kJ/hr)
Steam	30,679.8166	10,327.8803
Cooling water	30,853.8623	10,501.9256
Electricity	1,510.1066	1,510.1066

ตารางที่4.9 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิตสไตรีนด้วยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์

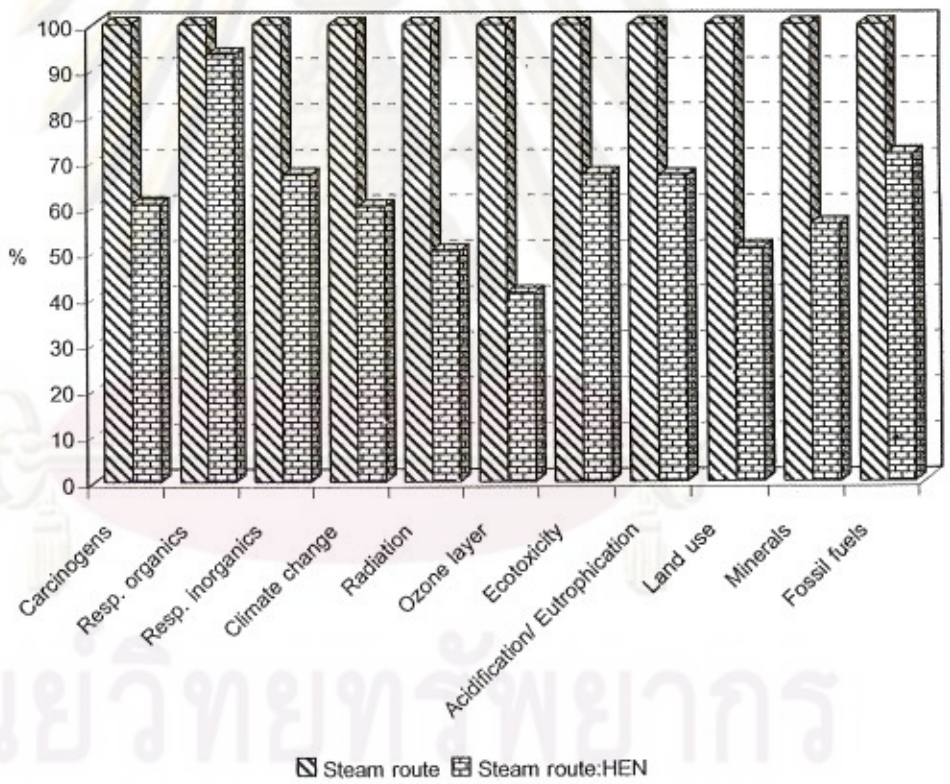
Utility	Base-Case (kJ/hr)	Heat Exchanger Network (kJ/hr)
Steam	8,822.2984	3,855.5292
Cooling water	9,164.3512	4,197.5870
Electricity	2,497.3347	2,497.3347

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5.2 **การประเมินผลกระทบ** (Life Cycle Assessment: LCIA)

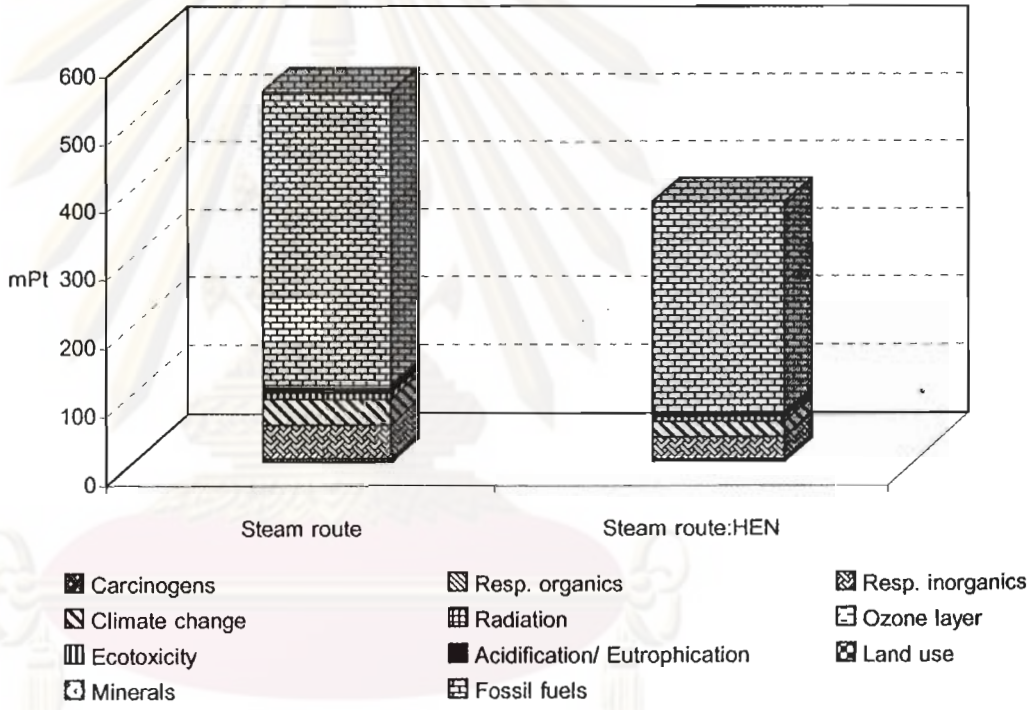
จากขั้นตอนการทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI) ที่แสดงในตารางที่4.8 และ 4.9 จึงทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตสไตรีน เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านการใช้พลังงานก่อนและหลังการทำโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger Network) ด้วยวิธี Eco-indicator 99

4.5.3 **การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตสไตรีนโดยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำก่อนและหลังการทำโครงข่ายแลกเปลี่ยนความร้อน** (Heat Exchanger Network)



ภาพที่4.22 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน
(Damage Assessment: steam route with steam route HEN)

จากภาพที่4.22 แสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีนในด้านการใช้พลังงาน ก่อนและหลังการทำโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยกราฟผลกระทบขั้นปลาย (Damage Assessment) ของกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำ พบว่าเมื่อทำการแลกแปลี่ยนความร้อนจะสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในทุกๆ ประเภทผล กระทบ โดยสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้สูงสุดในด้านการลดลงของโอโซน แต่ผลกระทบที่ลดลงในปริมาณที่น้อยที่สุดเมื่อทำการแลกเปลี่ยนความร้อนแล้วคือ ผลกระทบในด้านการทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากอินทรีย์สาร

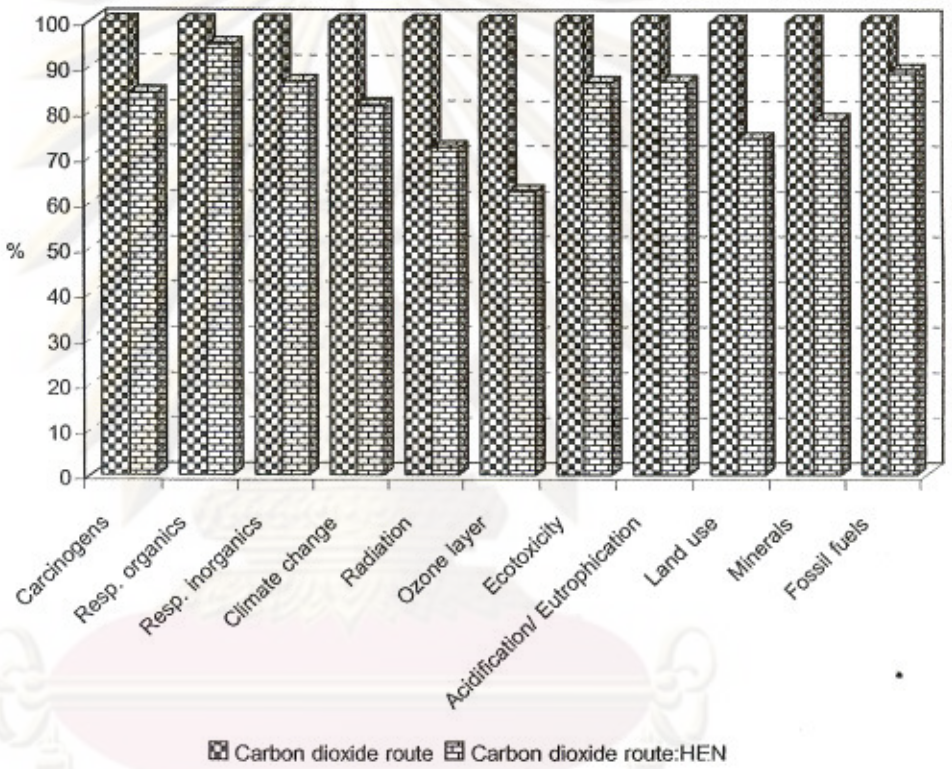


ภาพที่4.23 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน
(Single score: steam route with steam route HEN)

จากภาพที่4.23 แสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีนในด้านการใช้พลังงาน ก่อนและหลังการทำโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยกราฟเชิงคะแนนเดี่ยว (Single score) ของกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำ พบว่าเมื่อทำการแลกเปลี่ยนความร้อนจะสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในทุกๆ ประเภทผลกระทบประมาณ 0.7 เท่า หรือประมาณ 163 mPt โดยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุดในด้าน

การใช้เชื้อเพลิงประมาณ 123 mPt และรวมทั้งสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านการทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากอนินทรีย์สารประมาณ 16 mPt

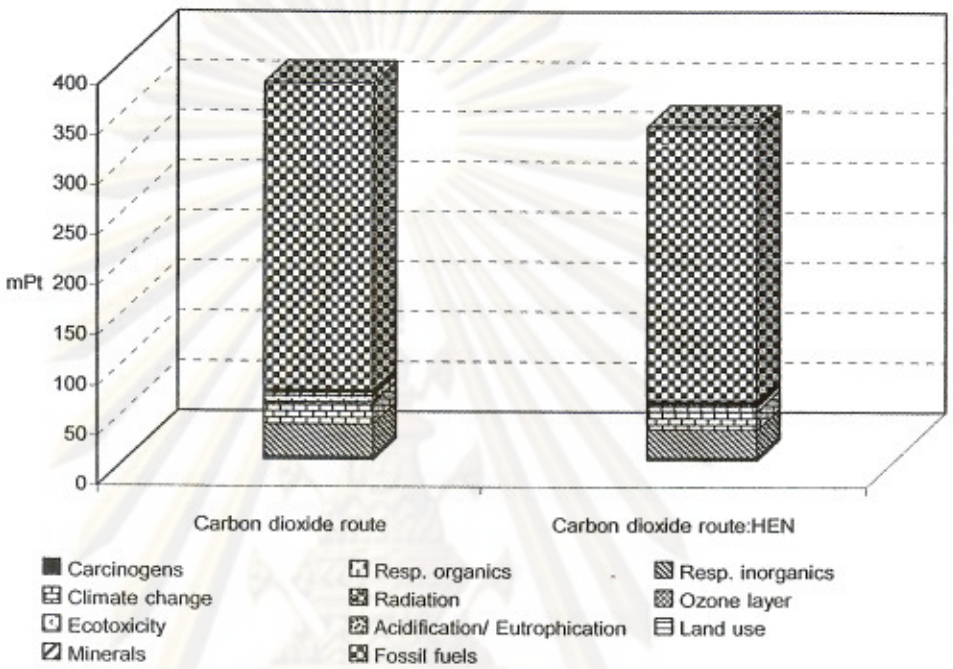
4.5.4 การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตสไตรีนโดยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนและหลังการทำโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger Network)



ภาพที่4.24 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน
(Damage Assessment: CO_2 route with CO_2 route HEN)

จากภาพที่4.24 แสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีนในด้านการใช้พลังงาน ก่อนและหลังการทำโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยกราฟผลกระทบขั้นปลาย (Damage Assessment) ของกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าเมื่อทำการแลกเปลี่ยนความร้อนจะสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในทุกๆ ประเภทผลกระทบได้ โดยสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้สูงสุดในด้านการ

ลดลงของโอโซน แต่ผลกระทบที่ลดลงในปริมาณน้อยที่สุดหลังทำการแลกเปลี่ยนความร้อนคือ ผลกระทบในด้านการทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากอินทรีย์สาร

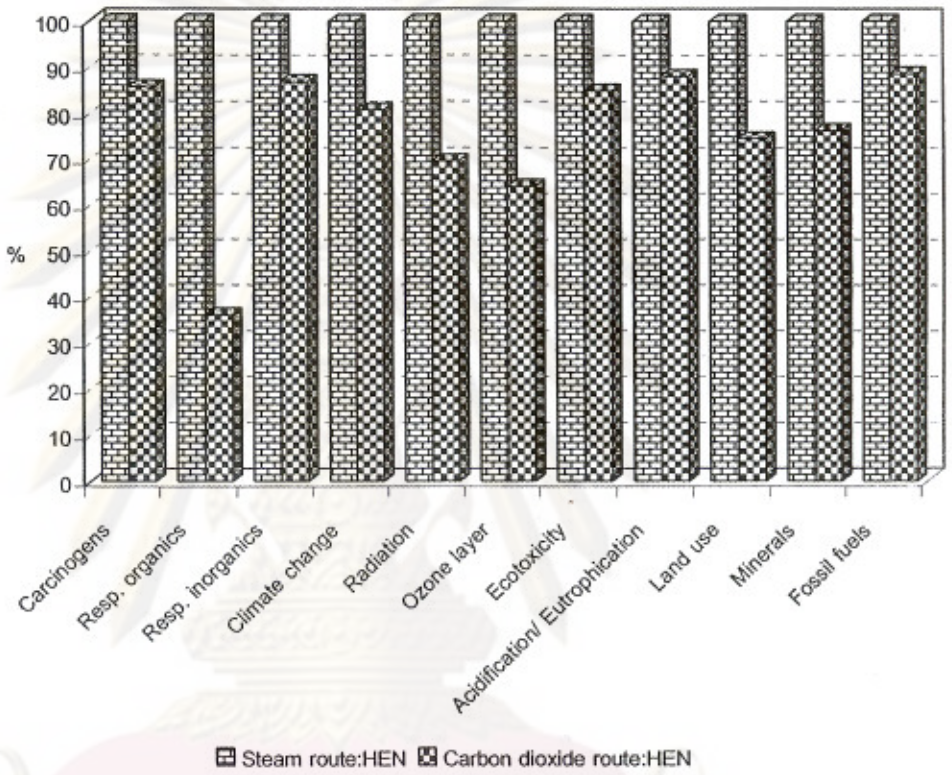


ภาพที่4.25 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน

(Single score: CO_2 route with CO_2 route HEN)

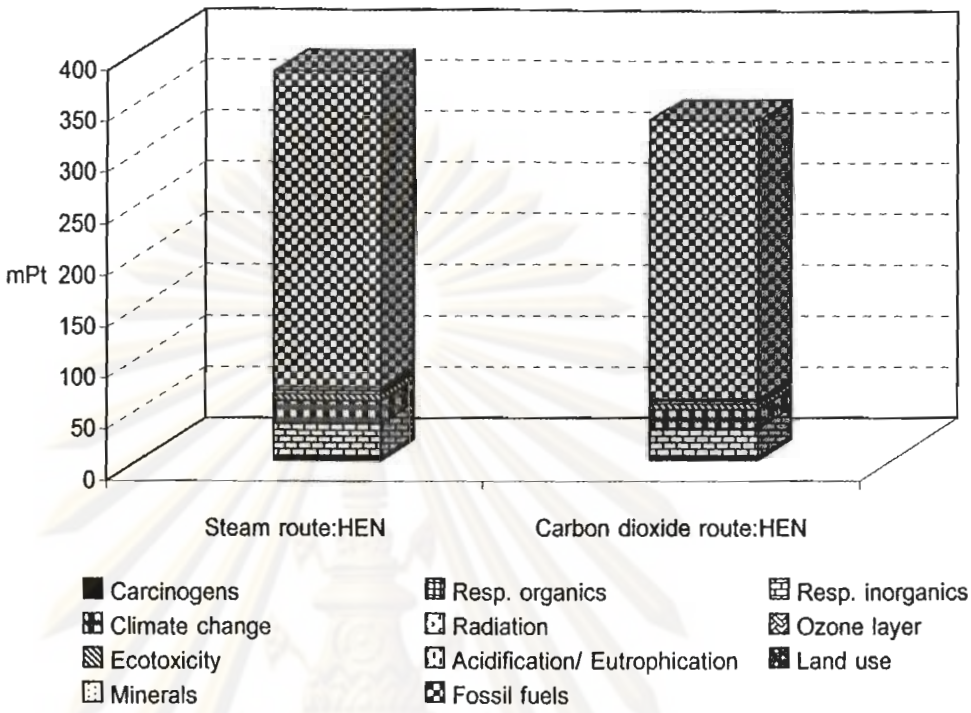
จากภาพที่4.25 แสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีนในด้านการ ใช้พลังงาน ก่อนและหลังการทำโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยกราฟเชิงคะแนนเดี่ยว (Single score) ของกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าเมื่อทำการแลกแปลี่ยนความร้อนจะสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในทุกๆ ประเภทผลกระทบประมาณ 0.88 เท่าหรือประมาณ 44 mPt โดยเฉพาะสามารลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุดในด้านการใช้เชื้อเพลิงประมาณ 33 mPt และยังสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านการทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากอนินทรีย์สารประมาณ 5 mPt

4.5.5 การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตสไตรีนโดยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำกับกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิล เบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์หลังการทำโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger Network)



ภาพที่4.26 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน
(Damage Assessment: steam route HEN with CO_2 route HEN)

จากภาพที่4.26 พบว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการการผลิตสไตรีนของกราฟผลกระทบขั้นปลาย (Damage Assessment) จากกระบวนการกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำ และกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์หลังการทำโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทุกๆ ด้านโดยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำยังคงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ในทุกๆ ประเภทผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมเช่นเดียวกับก่อนการทำโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



ภาพที่4.27 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีน

(Single score: steam route HEN with CO_2 route HEN)

จากภาพที่4.27 แสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีนหลังการทำโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของกราฟเชิงคะแนนเดี่ยว (Single score) โดยพบว่ากระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าขั้นตอนการผลิตสไตรีนโดยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ 1.14 เท่า หรือประมาณ 47 mPt โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมขั้นตอนการผลิตสไตรีน โดยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุดในด้านการใช้เชื้อเพลิงประมาณ 309 mPt รองลงมาคือ ด้านการทำลายระบบการหาย ใจเนื่องมาจากอนินทรีย์สารประมาณ 32 mPt และยังส่งผลกระทบในด้านภาวะโลกร้อนประมาณ 22 mPt นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบในด้านการทำลายระบบนิเวศน์ การเป็นสารก่อมะเร็ง รวมถึงเป็นสาเหตุของการเกิดฝนกรด/การเจริญเติบโตของพืชน้ำ และผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีนโดยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุดในด้านการใช้เชื้อเพลิงประมาณ 273 mPt รองลงมาคือ ด้านการทำลายระบบหายใจเนื่องมาจากอนินทรีย์สารประมาณ 28 mPt และยังส่งผลกระทบในด้านภาวะ

โลกร้อนประมาณ 18 mPt นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบในด้านการทำลายระบบนิเวศน์ รวมถึงเป็นสาเหตุของการเกิดฝนกรด/การเจริญเติบโตของพืชน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA) เป็นเครื่องมือที่มีความเหมาะสมสำหรับการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ เนื่องจากสามารถบ่งชี้และระบุปริมาณของภาระทางสิ่งแวดล้อม (Environmental loads) ในทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องหรือที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้นๆ นอกจากนี้ยังสามารถประเมินและหาค่าของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นพร้อมทั้งสามารถประเมินหาโอกาสในการปรับปรุงทางสิ่งแวดล้อมเพื่อเป็นองค์ประกอบในการตัดสินใจ อันเป็นเป้าหมายของอุตสาหกรรมในการลดการใช้ทรัพยากรต่างๆ รวมถึงของเสียที่ถูกปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตสไตรีน เนื่องจากสไตรีนเป็นมอนอเมอร์ที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตพอลิสไตรีน ซึ่งพอลิสไตรีนสามารถนำมาใช้ในการผลิตของเล่น แก้วพลาสติก พลาสติกที่เป็นวัสดุสำหรับคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์อิเล็คโทรนิค บรรจุภัณฑ์ที่ทำมาจากโฟม งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตสไตรีนระหว่างกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับการใช้ไอน้ำและกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ว่ากระบวนการใดส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro® 6.0 ในการวิเคราะห์ผลกระทบเนื่องจากเป็นโปรแกรมที่ทำการวิเคราะห์ผลตามมาตร ฐาน ISO และสามารถรายงานผลเป็นรูปภาพและตาราง ทำให้ง่ายต่อความเข้าใจ และใช้วิธี Eco-Indicator 99 เป็นวิธีในการวิเคราะห์ผลกระทบ

จากการประเมินวัฏจักรชีวิติของกระบวนการผลิตสไตรีนระหว่างกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับการใช้ไอน้ำและกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 6.0 โดยใช้วิธี Eco-Indicator 99 ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สามารสรุปได้ดังนี้

1. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบจากกระบวนการผลิตสไตรีนด้วยวิธีดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับการใช้ไอน้ำจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากระบวนการผลิตสไตรีนด้วยวิธีดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับการใช้คาร์บอนไดออกไซด์

เนื่องจากค่าร้อยละผลิตผลของปฏิกิริยาในขั้นแรกของกระบวนการผลิตสไตรีนด้วยวิธีดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับการใช้ไอน้ำมีค่าน้อยส่งผลให้ต้องใช้สารตั้งต้นที่มีปริมาณมากขึ้นและต้องใช้พลังงานจำนวนมากในการนำสารตั้งต้นกลับมาใช้ใหม่ จึงส่งผลให้เกิดผลกระทบในด้านการใช้เชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตปริมาณมาก

2. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการการปลดปล่อยของเสียจากกระบวนการผลิตสไตรีนด้วยวิธีดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับการใช้ไอน้ำจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากระบวนการผลิตสไตรีนด้วยวิธีดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีสาเหตุหลักมาจากการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่สูงกว่ากระบวนการดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้ยังมีการปลดปล่อยมีเทน เอทิลีน เอทิลเบนซีน โทลูอีน เบนซีน และสไตรีนสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณที่มากกว่าทำให้ส่งผลกระทบด้านการหายใจเนื่องมาจากอินทรีย์สารและผลกระทบด้านการเป็นสารก่อมะเร็งสูงกว่ากระบวนการผลิตสไตรีนด้วยวิธีดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับการใช้คาร์บอนไดออกไซด์

3. ในขั้นตอนการผลิตสไตรีนกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับการใช้ไอน้ำส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากระบวนการดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีสาเหตุหลักมาจากการใช้พลังงานและการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่มากกว่ากระบวนการดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับการใช้คาร์บอนไดออกไซด์

4. เมื่อจัดกลุ่มผลกระทบ 11 ประเภท ออกเป็น 3 กลุ่มของกระบวนการผลิตสไตรีนทั้งสองกระบวนการ พบว่ากลุ่มผลกระทบที่มีปริมาณสูงสุดคือ ผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากร รองลงมาคือ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ และน้อยที่สุดคือ ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ โดยกระบวนการผลิตสไตรีนด้วยกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำส่งผลกระทบมากกว่ากระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนด์ออกไซด์ในทุกๆ กลุ่มผลกระทบ

5. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตสไตรีนเมื่อมีการพิจารณาความไม่แน่นอนของกระบวนการผลิตสไตรีนด้วยวิธีดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่ายังคงส่งผลกระทบเช่นเดิมคือ ส่งผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากรมากที่สุด รองลงมาคือ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ และน้อยที่สุดคือ ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์

6. การนำหลักการการออกแบบโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchange Network: HEN) มาช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตสไตรีน ทำให้สามารถช่วยลดพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตสไตรีน จึงลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตพลังงานลงได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตสไตรีนของกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับการใช้ไอน้ำ และกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันของเอทิลเบนซีนร่วมกับการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นเพียงข้อมูลที่ได้รวบรวมมาจากบทความเอกสารทางวิชาการระดับนานาชาติ จึงอาจขาดความสมบูรณ์และความถูกต้องเมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บข้อมูลจากโรงงานจริง ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์จึงเป็นเพียงการประมาณเท่านั้น

2. เพื่อให้การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นควรมีการขยายขอบเขตของงการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยทำการพิจารณาเพิ่มในด้านการขนส่ง การใช้งานของผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่และการจัดการกับการกับเศษซากหรือพิจารณาแบบ “Cradle-to-Gave” ของทั้งกระบวนการผลิต

3. ในกระบวนการผลิตควรพิจารณาในด้านของเศรษฐศาสตร์ร่วมด้วยเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจำเป็นต้องมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ จึงควรนำมาพิจารณาประกอบการตัดสินใจ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ที่จะลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

4. การประเมินผลกระทบในงานวิจัยนี้ได้ใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรมSimaPro®6.0 ซึ่งเป็นฐานข้อมูลจากต่างประเทศมาประมวลผล เพื่อความเหมาะสมและความถูก ต้องของข้อมูลที่เหมาะสมกับประเทศไทย จึงควรทำการเก็บรวบรวมข้อมูลสารพื้นฐานของประเทศไทยเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการประมวลผลที่ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] Lidback, A. Styrene-This is Not a Drill. Chemical Marketing Associates, 2004 World Petrochemical Conference, 23-24. Houston: TX, 2004.

[2] Guy, B. Styrene. Encyclopedia of Chemical Processing (2006): 2859-2869.

[3] ฝ่ายธุรกิจและสิ่งแวดล้อม. คู่มือการจัดทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ . สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย นนทบุรี, 2547.

[4] Per Consultants. SimaPro [Online]. (n.d.). Available from http://www.pre.nl.simapro.html[2005]

[5] พลาสติกซีโร่. คุณสมบัติของสารเคมีสไตรีน ซึ่งเป็นสารเคมีที่ผลิตพลาสติกและขบวนการผลิตสไตรีน. สไตรีน (Styrene) พลาสติกเพื่อพลาสติก, หน้า 5-7. ห้องสมุดกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2539.

[6] SRI Consulting. Styrene[Online]. (n.d.). Available from: http://www.sriconsulting.com/WP/Public/Reports/styrene[2009]

[7] Industry Canada. Chemicals[Online]. (n.d.). Available from: http://www.ic.gc.ca/eic/site/chemicals-chimiques.nsf/eng/bt01135.html[2009]

[8] MIN CHE CHON Chon International Co., Ltd. Transformation of the old process: Ethyl-benzene to Styrene with CO_2 dilution, CHEMRA WN XVI Conference Consultation Forum, 1999.

[9] Elanshaie, S.S.E.H., et al. On the link between intrinsic catalytic reaction kinetics and the Catalytic dehydrogenation of ethyl benzene to styrene. Catalysis Today 64 (2001): 151–162.

[10] Peter, W., et al. Design Guidelines for Distillation Columns in Ethyl-benzene and Styrene Monomer Service. Distillation 2005 Spring AIChE Meeting, Atlanta Georgia, 2005.

[11] Billie, E. distillation of vinyl aromatic monomer. U.S Patent 5,954,524, 1981.

[12] Park., et al. method for catalytic dehydrogenation of hydrocarbon using of carbon dioxide as a soft oxidant. U.S Patent 6,958,427, 2005.

[13] Wade, A. Biological Water-Gas Shift Conversion of Carbon Monoxide to Hydrogen [Online].(n.d.).Available from http://www.osti.gov/bridge[2004, January].

[14] Barton.,et al. Life Cycle Assessment for Waste Management. Waste Management 16 (1996): 15-50.

[15] Reginald, B.H., and Hsien, H. Life cycle assessment of EPS and CPB inserts: design considerations and end of life scenarios. Environmental Management 74 (2005): 195-205.

[16] Harding, K.G., Dennis, J.S., Blottnitz, H., and Harrison, S.T.L. A life-cycle comparison between inorganic and biological catalysis for the production of biodiesel. Cleaner Production 16 (2007): 1368-1378.

[17] Renou, S., Thomas, J.S., Aoustin, E., Pons, M.N. Influence of impact assessment methods in wastewater treatment LCA. Journal of Cleaner Production 16 (2008): 1098-1105.

[18] Cavani, F., and Trifiro, F. Alternative processes for the production of styrene. Applied Catalysis A: General 133 (1995): 219-239.

[19] Ailing, S., Zhangfeng, Q., Shuwei, C., and Jianguo, W. Role of carbon dioxide in the ethyl benzene dehydrogenation couple with reverse water-gas shift. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical 210 (2004): 189-195.

[20] Shuwei, C., Zhangfeng, Q., Ailing, S., and Jianguo, W. Theoretical and Experimental Study on Reaction Coupling: Dehydrogenation of Ethyl benzene in the Presence of Carbon Dioxide. Journal of Natural Gas Chemistry 15 (2006): 11-20.

[21] Jong-San, C., et al. Catalytic dehydrogenation of aromatic hydrocarbon with carbon dioxide. Fuel Chemistry Division Preprints 47 (2002): 309.

[22] Sang-Eon, P., et al. Novel Process for Styrene from Ethyl benzene with carbon dioxide. Prepr. Pap.-Am. Chem. Soc., Div. Fuel Chem 49 (2004): 115.

[23] Huiyun, L., et al. Preparation of Highly Active Cr2O3-SiO2 Catalyst by Sol-Gel Method for Ethyl-benzene dehydrogenation in the presence of CO2. Chin J Catal 27 (2006): 4–6.

[24] Serra, J.M., et al. Styrene from toluene by combinatorial catalysis. Catalysis Today 81 (2003): 425–436.

[25] Mustafaeva, R.M., and Salaeva, Z. Ch. Basic aspect of technology for production of styrene and ethyl-benzene and methanol. Chemistry and Technology of Fuels and Oil vol.44, 3 (2008): 51-53.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

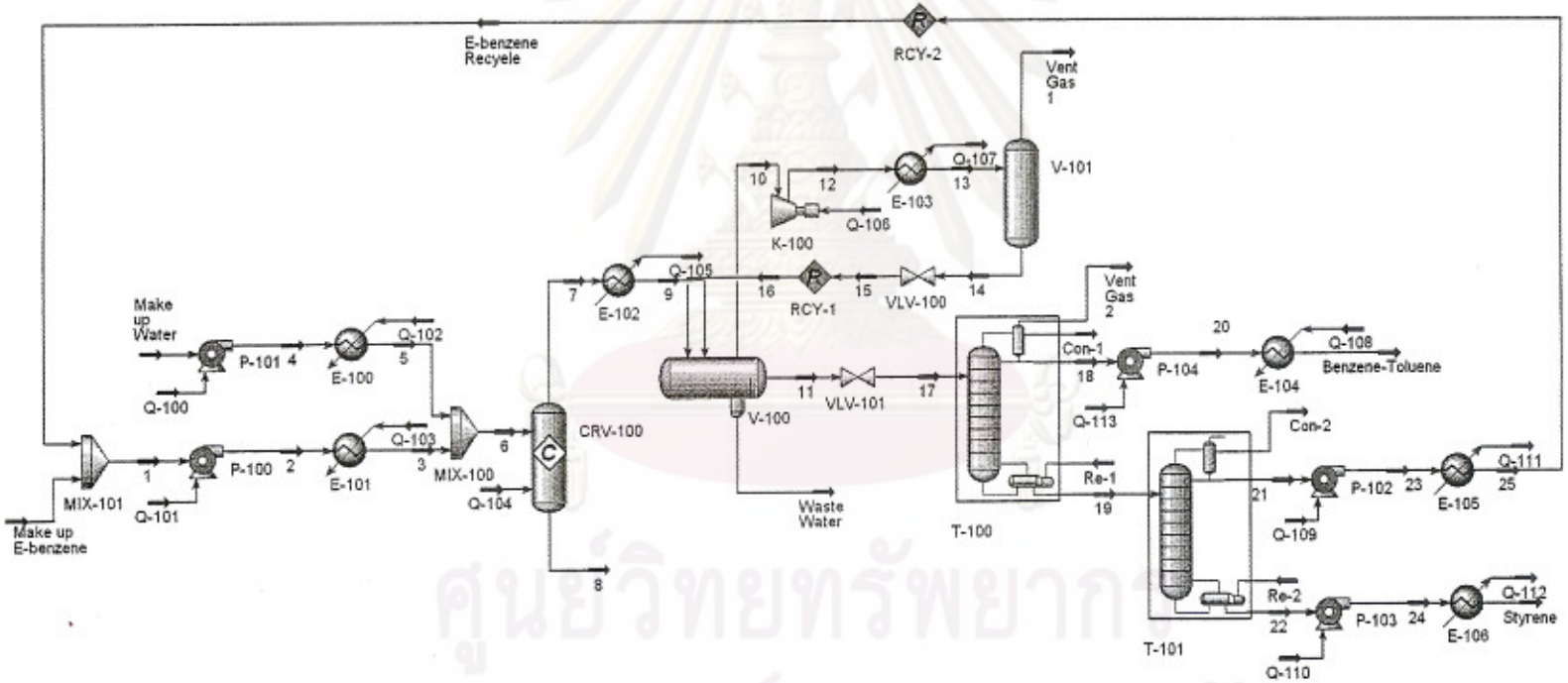
ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

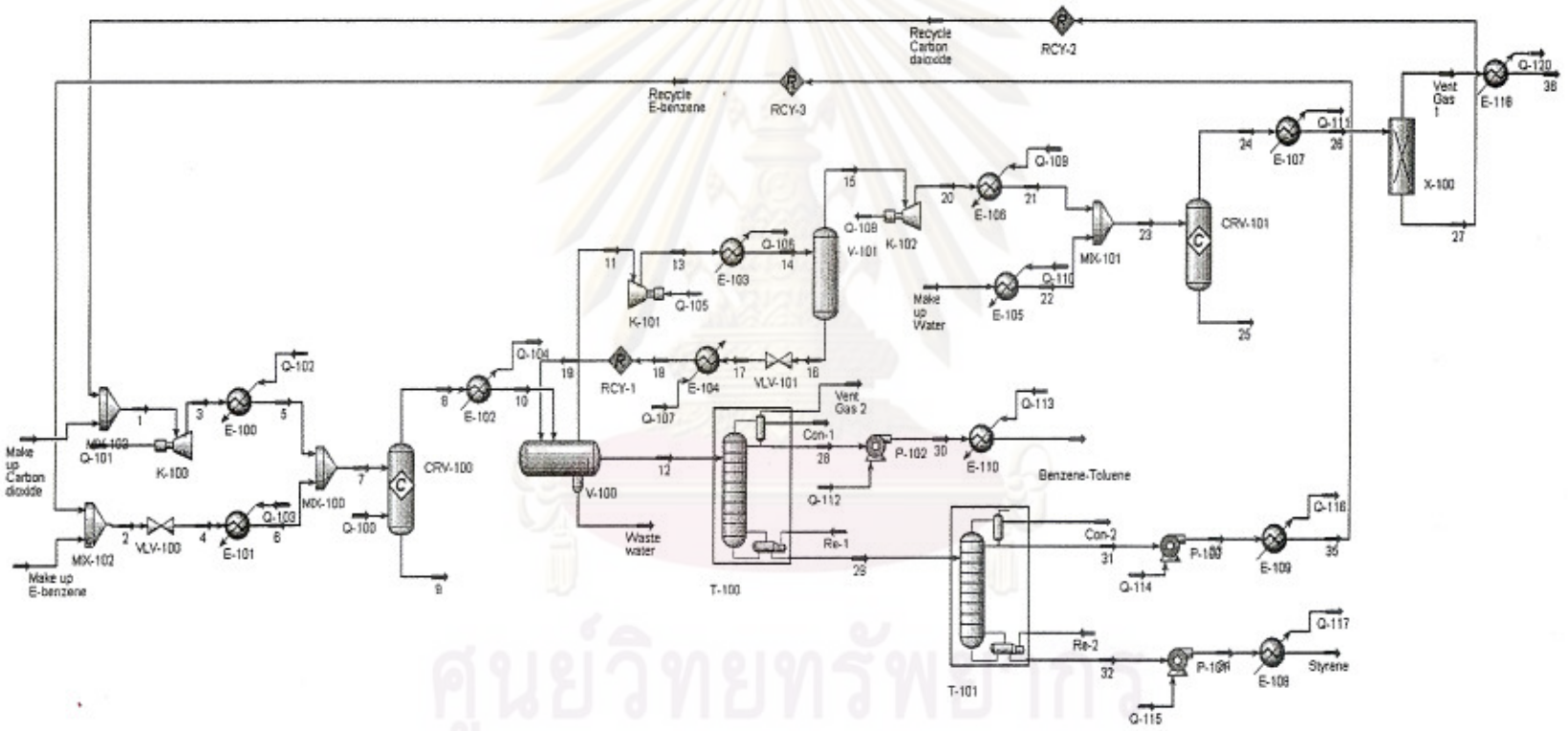
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก แผนผังแบบจำลองกระบวนการผลิตสไตรีน



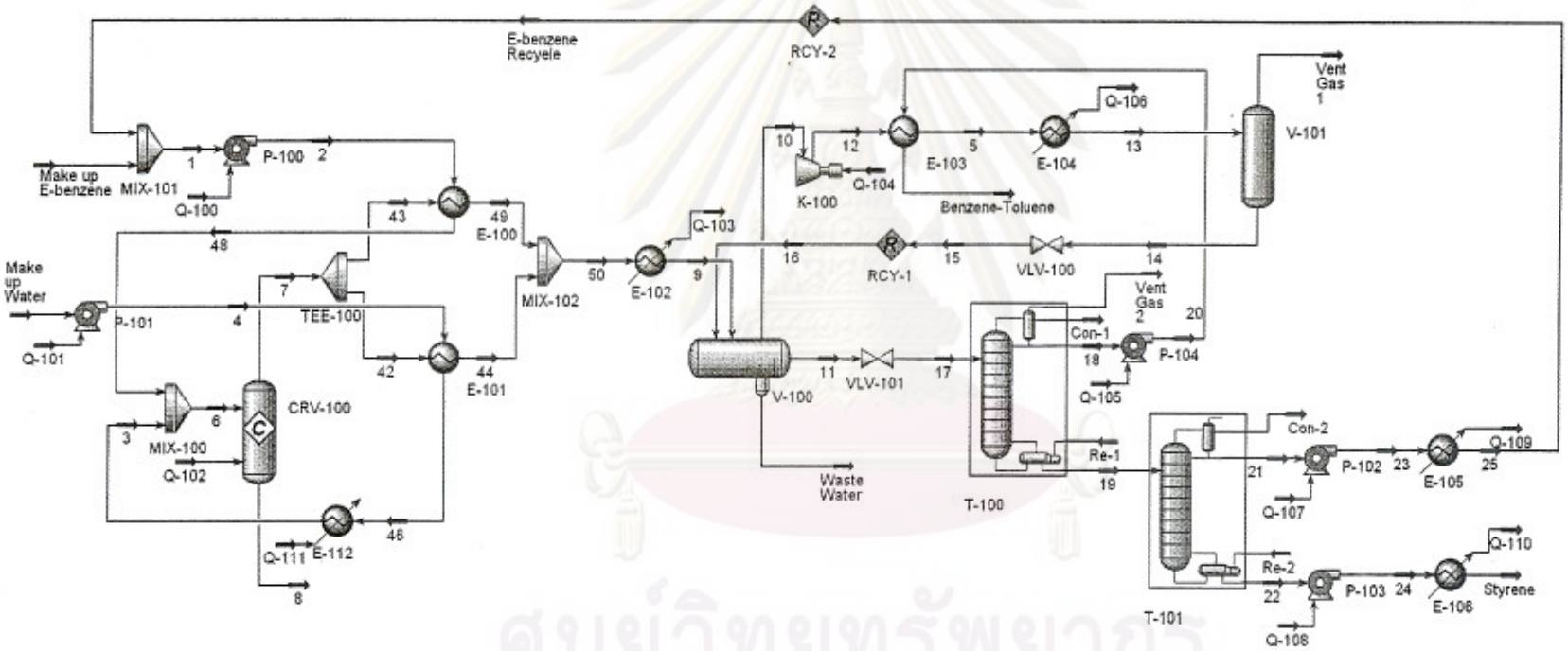
ภาพที่ ก1 แผนผังแบบจำลองกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



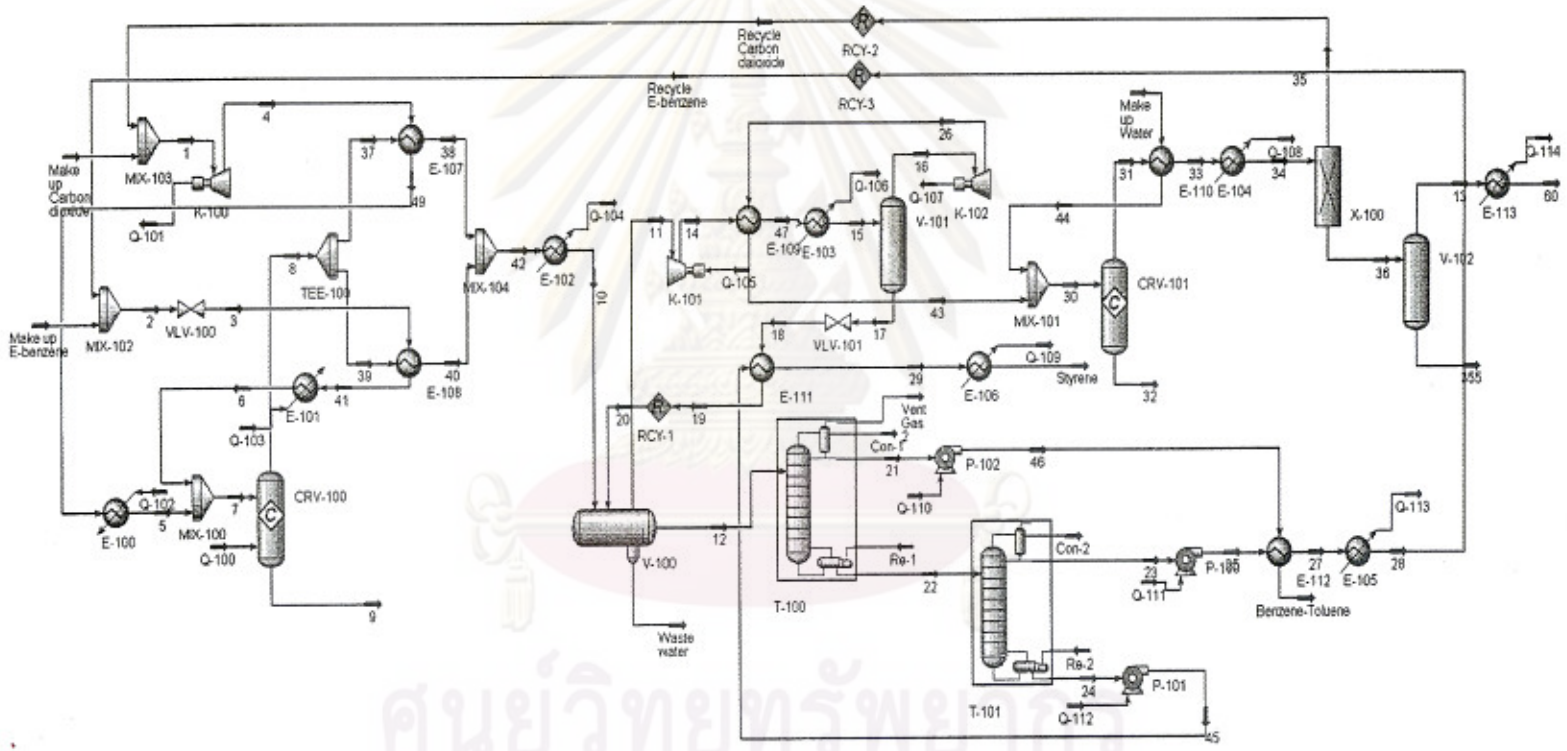
ภาพที่ ก2 แผนผังแบบจำลองกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ก3 แผนผังแบบจำลองกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับไอน้ำหลังการทำโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ก4 แผนผังแบบจำลองกระบวนการดีไฮโดรจีเนชันเอทิลเบนซีนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์หลังการทำโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ช

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข ค่า Damage factor **ของวิธี** Eco-99

ข.2 Damage category Human Health (H,A)

ตาราง ข1 Carcinogenic effect on humans

Com-part-ment	Substances	Damage factor (DALY/kg)
Air	1,2-dibromoethane	2.60E-04
Air	1.2-dichloroethane	2.98E-05
Air	1.3-butadiene	1.58E-05
Air	1.4-dioxane	1.39E-07
Air	2.4.6-trichlorophenol	2.05E-06
Air	acetaldehyde	2.16E-07
Air	acrylonitrile	1.69E-05
Air	alpha-hexachlorocyclohexan	3.00E-04
Air	Arsenic	2.46E-02
Air	Bis(chloromethyl)ether	7.48E-03
Air	benzene	2.50E-06
Air	benzo(a)anthracene	5.86E-02
Air	benzo(a)pyrene	3.98E-03
Air	benzotrichloride	6.60E-03
Air	benzylchloride	1.04E-05
Air	beta-chlorocyclohexan	9.99E-05
Air	bromodichloromethane	8.76E-06
Air	Cadmium	1.35E-01
Air	Chromium (VI)	1.75
Air	di(2-ethylhexyl)phthalate	3.38E-05
Air	dibenz(a)anthracene	3.10E+01
Air	dichloromethane	4.36E-07

Air	Dichlorvos	3.15E-05
Air	2.3.7.8-TCDD Dioxin	1.79E+02
Air	epichlorohydrin	3.02E-07
Air	ethylene oxide	1.83E-04
Air	formaldehyde	9.91E-07
Air	gamma-HCH (Lindane)	3.49E-04
Air	Hexachlorobenzene	8.25E-02
Air	metals	5.20E-03
Air	Nickel	2.35E-02
Air	Nickel-refinery-dust	4.74E-02
Air	Nickel-subsulfide	9.48E-02
Air	PAH's	1.70E-04
Air	particles diesel soot	9.78E-06
Air	Polychlorobiphenyls	1.97E-03
Air	pentachlorophenol	7.21E-03
Air	propyleneoxide	1.17E-05
Air	styrene	2.44E-08
Air	perchloroethylene	4.82E-07
Air	carbontetrachloride	8.38E-04
Air	chloroform	2.63E-05
Air	vinyl chloride	2.09E-07
Water	1.2-dibromoethane	1.24E-03
Water	1.2-dichloroethane	2.98E-05
Water	1.3-butadiene	3.37E-04
Water	1.4-dioxane	9.21E-07
Water	2.4.6-trichlorophenol	1.05E-05
Water	acetaldehyde	9.23E-07

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Water	acrylonitrile	4.16E-05
Water	alpha-hexachlorocyclohexan	6.85E-03
Water	Arsenic	6.57E-02
Water	Bis(chloromethyl)ether	1.54E-02
Water	benzene	4.12E-06
Water	benzo(a)anthracene	6.58E-01
Water	benzo(a)pyrene	2.99
Water	benzotrichloride	9.46E-03
Water	benzylchloride	1.98E-05
Water	beta-chlorocyclohexan	5.75E-03
Water	bromodichloromethane	9.36E-06
Water	Cadmium	7.12E-02
Water	Chromium (VI)	3.43E-01
Water	di(2-ethylhexyl)phthalate	6.64E-04
Water	dibenz(a)anthracene	4.07E+01
Water	dichloromethane	4.97E-07
Water	Dichlorvos	1.17E-05
Water	dioxins (TEQ)	2.02E+03
Water	epichloorhydrin	9.90E-07
Water	ethylene oxide	1.39E-04
Water	formaldehyde	4.97E-06
Water	gamma-HCH (Lindane)	4.16E-03
Water	hexachlorobenzene	1.25E-01
Water	Nickel	3.11E-02
Water	Nickel--subsulfide	5.02E-03
Water	Nickel-refinery-dust	1.00E-02
Water	PAH's	2.60E-03

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Water	Polychlorobiphenyls	3.91E-02
Water	pentachlorophenol	2.29E-02
Water	propylene oxide	1.74E-05
Water	styrene	1.22E-06
Water	perchloroethylene	4,72E-07
Water	carbontetrachloride	8.29E-04
Water	chloroform	2.60E-05
Water	vinyl chloride	2.84E-07
Soil	1,2-dibromoethane (ind.)	3.81E-03
Soil	1,2-dichloroethane (ind.)	4.58E-04
Soil	1,3-butadiene (ind.)	1.20E-05
Soil	1,4-dioxane (ind.)	3.10E-07
Soil	2,4,6-trichlorophenol (ind.)	2.76E-06
Soil	acetaldehyde (ind.)	4.77E-07
Soil	acrylonitrile (ind.)	7.01E-05
Soil	alpha-hexachlorocyclohexan (agr.)	2.32E-02
Soil	Arsenic (ind.)	1.32E-02
Soil	Bis(chloromethyl)ether (ind.)	1.68E-02
Soil	benzene (ind.)	1.33E-05
Soil	benzo(a)anthracene (ind.)	1.60E-01
Soil	benzo(a)pyrene (ind.)	2.06E-03
Soil	benzotrichloride (ind.)	1.32E-01
Soil	benzylchloride (ind.)	4.16E-05
Soil	beta-chlorocyclohexan (agr.)	7.36E-03
Soil	bromodichloromethane (ind.)	7.82E-05
Soil	Cadmium (ind.)	3.98E-03
Soil	Chromium (ind.)	2.71E-01

Soil	di(2-ethylhexyl)phthalate(ind)	3.18E-07
Soil	dibenz(a)anthracene (ind.)	2.44E+01
Soil	dichloromethane (ind.)	5.99E-06
Soil	Dichlorvos (agr.)	2.25E-05
Soil	2,3,7,8-TCDD Dioxin (ind.)	7.06
Soil	epichloorhydrin (ind.)	1.30E-06
Soil	ethyleenoxide (ind.)	2.38E-03
Soil	formaldehyde (ind.)	1.83E-06
Soil	gamma-HCH (Lindane) (agr.)	8.64E-03
Soil	hexachlorobenzene (ind.)	1.47E-01
Soil	Nickel (ind.)	3.94E-03
Soil	Nickel-refinery-dust (ind.)	6.37E-03
Soil	Nickel-subsulfide (ind.)	1.27E-02
Soil	PCBs (ind.)	2.04E-02
Soil	pentachloorfenol (ind.)	1.26E-05
Soil	propyleenoxide (ind.)	1.40E-04
Soil	styrene (ind.)	2.09E-08
Soil	perchloroethylene (ind.)	6.00E-06
Soil	carbontetrachloride (ind.)	3.99E-02
Soil	chloroform (ind.)	4.12E-06
Soil	vinylchloride (ind.)	7.67E-07

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข2 Respiratory effects on humans caused by organic substances (H,A)

Com-part-ment	Substances	Damage factor (DALY/kg)
Air	1,1,1-trichloroethane	1.96E-08
Air	1,2,3-trimethyl benzene	2.72E-06
Air	1,2,4-trimethyl benzene	2.72E-06
Air	1,3,5-trimethyl benzene	2.98E-06
Air	1,3-butadiene	1.87E-06
Air	1-butene	2.30E-06
Air	1-butoxy propanol	9.36E-07
Air	1-hexene	1.87E-06
Air	1-methoxy 2-propanol	7.91E-07
Air	1-pentene	2.13E-06
Air	2,2-dimethyl butane	5.19E-07
Air	2,3-dimethyl butane	1.19E-06
Air	2-butoxy ethanol	9.36E-07
Air	2-ethoxy ethanol	8.34E-07
Air	2-hexanone	1.19E-06
Air	2-methoxy ethanol	6.47E-07
Air	2-methyl 1-butanol	8.51E-07
Air	2-methyl 1-butene	1.70E-06
Air	2-methyl 2-butanol	3.06E-07
Air	2-methyl 2-butene	1.79E-06
Air	2-methyl hexane	8.51E-07
Air	2-methyl pentane	9.36E-07
Air	2-pentanone	1.19E-06

Air	3,5-diethyl toluene	2.81E-06
Air	3,5-dimethyl ethyl benzene	2.81E-06
Air	3-hexanone	1.28E-06
Air	3-methyl 1-butanol	8.51E-07
Air	3-methyl 1-butene	1.45E-06
Air	3-methyl 2-butanol	7.91E-07
Air	3-methyl hexane	7.83E-07
Air	3-methyl pentane	1.02E-06
Air	3-pentanol	9.36E-07
Air	3-pentanone	8.51E-07
Air	acetaldehyde	1.36E-06
Air	acetic acid	2.13E-07
Air	acetone	2.04E-07
Air	propionaldehyde	1.70E-06
Air	alcohols	7.60E-07
Air	aldehydes	1.40E-06
Air	alkanes	7.50E-07
Air	alkenes	2.10E-06
Air	benzene	4.68E-07
Air	butane	7.57E-07
Air	butanol	1.36E-06
Air	butene	2.47E-06
Air	cis 1,2-dichloroethene	9.36E-07
Air	cis 2-butene	2.47E-06
Air	cis 2-hexene	2.30E-06
Air	cis 2-pentene	2.38E-06
Air	CxHy aromatic	2.10E-06

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Air	CxHy chloro	3.50E-07
Air	CxHy halogenated	3.50E-07
Air	cyclohexane	6.21E-07
Air	cyclohexanol	9.36E-07
Air	cyclohexanone	6.47E-07
Air	decane	8.26E-07
Air	di-i-propyl ether	1.02E-06
Air	diacetone alcohol	5.62E-07
Air	dichloromethane	1.45E-07
Air	diethyl ether	1.02E-06
Air	dimethyl ether	3.74E-07
Air	dodecane	7.66E-07
Air	esters	3.70E-07
Air	ethane	2.64E-07
Air	ethane diol	8.26E-07
Air	ethanol	8.34E-07
Air	ethene	2.13E-06
Air	ethers	7.40E-07
Air	ethyl t-butyl ether	4.60E-07
Air	ethylacetate	4.60E-07
Air	ethylbenzene	1.53E-06
Air	acetylene	1.87E-07
Air	formaldehyde	1.11E-06
Air	formic acid	6.89E-08
Air	heptane	1.11E-06
Air	hexane	1.02E-06
Air	i-butane	6.64E-07

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Air	i-butanol	8.09E-07
Air	i-butyraldehyde	1.11E-06
Air	i-pentane	8.51E-07
Air	i-propanol	2.98E-07
Air	i-propyl acetate	4.60E-07
Air	i-propyl benzene	1.11E-06
Air	isoprene	2.38E-06
Air	ketones	8.70E-07
Air	m-ethyl toluene	2.21E-06
Air	m-xylene	2.38E-06
Air	methane	1.28E-08
Air	methanol	2.81E-07
Air	methyl acetate	1.02E-07
Air	methyl chloride	1.11E-08
Air	methyl ethyl ketone	8.09E-07
Air	methyl formate	7.15E-08
Air	methyl i-butyl ketone	1.02E-06
Air	methyl i-propyl ketone	7.83E-07
Air	methyl propene	1.36E-06
Air	methyl t-butyl ether	3.32E-07
Air	methyl t-butyl ketone	6.98E-07
Air	n-butanol	1.36E-06
Air	n-butyl acetate	5.19E-07
Air	n-butyraldehyde	1.70E-06
Air	n-propanol	1.19E-06
Air	n-propyl acetate	6.21E-07
Air	n-propyl benzene	1.36E-06

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Air	neopentane	3.74E-07
Air	NMVOC	1.28E-06
Air	nonane	8.51E-07
Air	o-ethyl toluene	1.96E-06
Air	o-xylene	2.30E-06
Air	octane	9.36E-07
Air	p-ethyl toluene	1.96E-06
Air	p-xylene	2.21E-06
Air	pentanal	1.62E-06
Air	pentane	8.51E-07
Air	propane	3.83E-07
Air	propane diol	1.02E-06
Air	propene	2.38E-06
Air	propanoic acide	3.23E-07
Air	s-butanol	8.51E-07
Air	s-butyl acetate	5.79E-07
Air	t-butanol	2.64E-07
Air	t-butyl acetate	1.36E-07
Air	perchloroethylene	6.21E-08
Air	toluene	1.36E-06
Air	trans 1,2-dichloroethene	8.43E-07
Air	trans 2-butene	2.47E-06
Air	trans 2-hexene	2.30E-06
Air	trans 2-pentene	2.38E-06
Air	trichloroethylene	6.98E-07
Air	chloroform	4.94E-08
Air	undecane	8.26E-07

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Air	VOC	6.46E-07
Air	xylene	2.21E-06

ตาราง ข3 Respiratory effects on humans caused by inorganic substances (H,A)

Com-part-ment	Substances	Damage factor (DALY/kg)
Air	ammonia	8.50E-05
Air	dust (PM10)	3.75E-04
Air	dust (PM2.5)	7.00E-04
Air	TSP	1.10E-04
Air	NO	1.37E-04
Air	NO2	8.87E-05
Air	NOx	8.87E-05
Air	NOx (as NO2)	8.87E-05
Air	SO2	5.46E-05
Air	SO3	4.37E-05
Air	SOx	5.46E-05
Air	SOx (as SO2)	5.46E-05

ตาราง ข4 Damages to human health caused by climate change (H,A)

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

Air	CFC-113	6.30E-04
Air	CFC-12	1.40E-03
Air	carbon dioxide	2.10E-07
Air	methylene chloride	1.90E-06
Air	HALON-1301	-7.10E-03
Air	HCFC-123	6.60E-06
Air	HCFC-124	8.50E-05
Air	HCFC-141b	5.20E-05
Air	HCFC-142b	3.40E-04
Air	HCFC-22	2.80E-04
Air	HFC-125	5.70E-04
Air	HFC-134	2.10E-04
Air	HFC-134a	2.70E-04
Air	HFC-143	6.30E-05
Air	HFC-143a	7.80E-04
Air	HFC-152a	2.90E-05
Air	HFC-227ea	5.90E-04
Air	HFC-23	2.60E-03
Air	HFC-236fa	1.40E-03
Air	HFC-245ca	1.20E-04
Air	HFC-32	1.40E-04
Air	HFC-41	3.10E-05
Air	HFC-4310mee	2.70E-04
Air	methane	4.40E-06
Air	nitrous oxide	6.90E-05
Air	perfluorbutane	1.50E-03
Air	perfluorcyclobutane	1.90E-03

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Air	perfluorhexane	1.60E-03
Air	perfluorpentane	1.70E-03
Air	perfluorpropane	1.50E-03
Air	sulphur hexafluoride	5.30E-03
Air	carbontetrachloride	-2.60E-04
Air	chloroform	8.30E-07

ตาราง ข5 Human health effects caused by ionising radiation (H,A)

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Air	U-238	8.20E-12
Air	Xe-133	1.40E-16
Water	Ag-110m	5.10E-13
Water	Co-58	4.10E-14
Water	Co-60	4.40E-11
Water	Cs-134	1.40E-10
Water	Cs-137	1.70E-10
Water	H-3	4.50E-16
Water	I-131	5.00E-13
Water	Mn-54	3.10E-13
Water	Ra-226	1.30E-13
Water	Sb-124	8.20E-13
Water	U-234	2.40E-12
Water	U-235	2.30E-12
Water	U-238	2.30E-12

ตาราง ข6 Human health effects caused by ozone layer depletion (H,A)

Com-part-ment	Substances	Damage factor (DALY/kg)
Air	1,1,1-trichloroethane	1.26E-04
Air	CFC-11	1.05E-03
Air	CFC-113	9.48E-04
Air	CFC-114	8.95E-04
Air	CFC-115	4.21E-04
Air	CFC-12	8.63E-04
Air	HALON-1201	1.47E-03
Air	HALON-1202	1.32E-03
Air	HALON-1211	5.37E-03
Air	HALON-1301	1.26E-02

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Air	HALON-2311	1.47E-04
Air	HALON-2401	2.63E-04
Air	HALON-2402	7.37E-03
Air	HCFC-123	1.47E-05
Air	HCFC-124	3.16E-05
Air	HCFC-141b	1.05E-04
Air	HCFC-142b	5.26E-05
Air	HCFC-22	4.21E-05
Air	HCFC-225ca	2.11E-05
Air	HCFC-225cb	2.11E-05
Air	methyl bromide	6.74E-04
Air	methyl chloride	2.11E-05
Air	carbontetrachloride	1.26E-03

ข.2 Damage category Ecosystem Quality (H,A)

ตาราง ข7 Damage to Ecosystem Quality caused by ecotoxic emissions (H,A)

Com-part-ment	Substances	Damage factor (PDF/kg)
Air	1,2,3-trichlorobenzene	3.51E-02
Air	1,2,4-trichlorobenzene	2.54E-02
Air	1,3,5-trichlorobenzene	1.29E-01
Air	2,4-D	1.46E+00
Air	Arsenic	5.92E+02
Air	Atrazine	2.09E+02
Air	Azinphos-methyl	1.10E+04
Air	Bentazon	7.33E+00
Air	benzene	2.75E-03

Air	benzo(a)pyrene	1.42E+02
Air	Carbendazim	2.40E+03
Air	Cadmium	9.65E+03
Air	Chromium	4.13E+03
Air	Copper	1.46E+03
Air	di(2-ethylhexyl)phthalate	1.94E-03
Air	dibutylphthalate	1.13E-01
Air	Dichlorvos	1.61E+00
Air	2,3,7,8-TCDD Dioxin	1.32E+05
Air	Diquat-dibromide	2.39E+03
Air	Diuron	4.43E+03
Air	DNOC	8.19E+00
Air	fentin acetate	6.77E+02
Air	fluoranthene	4.37E-02
Air	gamma-HCH (Lindane)	2.16E+00
Air	Hexachlorobenzene	3.88E+01
Air	Mercury	8.29E+02
Air	Malathion	1.17E+02
Air	Maneb	3.84E+01
Air	Mecoprop	7.79E-02
Air	Metabenzthiazuron	3.07E+02
Air	metals	2.60E+02
Air	Metamitron	3.78E+01
Air	Metribuzin	4.92E+02
Air	Mevinphos	2.13E+03
Air	Monolinuron	1.06E+02
Air	Nickel	7.10E+03

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Air	PAH's	7.80E-04
Air	Parathion	6.05E+01
Air	Lead	2.54E+03
Air	Polychlorobiphenyls	8.07E+01
Air	pentachlorophenol	1.33E+01
Air	Simazine	1.44E+03
Air	Thiram	2.26E+02
Air	toluene	2.40E-04
Air	Trifluralin	1.09E+00
Air	Zinc	2.89E+03
Water	1,2,3-trichlorobenzene	1.56E-01
Water	1,2,4-trichlorobenzene	1.39E-01
Water	1,3,5-trichlorobenzene	2.73E-01
Water	2,4-D	7.56E-02
Water	Arsenic	1.14E+01
Water	Atrazine	5.06E+01
Water	Azinphos-methyl	8.87E+02
Water	Bentazon	5.81E-02
Water	benzene	4.80E-02
Water	benzo(a)pyrene	3.68E+01
Water	Carbendazim	1.63E+02
Water	Cadmium	4.80E+02
Water	Chromium	6.87E+01
Water	Copper	1.47E+02
Water	di(2-ethylhexyl)phthalate	6.37E-01
Water	dibutylphthalate	1.62E+00
Water	Dichlorvos	1.81E-01

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Water	dioxins (TEQ)	1.87E+05
Water	Diquat-dibromide	1.18E+02
Water	Diuron	2.31E+02
Water	DNOC	6.73E-01
Water	fentin acetate	7.85E+02
Water	fluoranthene	3.96E+00
Water	gamma-HCH (Lindane)	1.04E+01
Water	hexachlorobenzene	4.55E+01
Water	Mercury	1.97E+02
Water	Malathion	1.64E+02
Water	Maneb	6.23E-01
Water	Mecoprop	1.35E-02
Water	Metabenzthiazuron	1.43E+01
Water	Metamitron	3.77E-01
Water	Metribuzin	3.18E+00
Water	Mevinphos	6.73E+01
Water	Monolinuron	1.04E+01
Water	Nickel	1.43E+02
Water	PAH's	2.10E-03
Water	Parathion	2.48E+02
Water	Lead	7.39E+00
Water	Polychlorobiphenyls	2.58E+02
Water	pentachlorophenol	2.51E+01
Water	Simazine	6.03E+01
Water	Thiram	8.74E+02
Water	toluene	1.73E-01
Water	Trifluralin	7.80E+01

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Water	Zinc	1.63E+01
Soil	1,2,3-trichlorobenzene (ind.)	2.41E+00
Soil	1,2,4-trichlorobenzene (ind.)	2.26E+00
Soil	1,3,5-trichlorobenzene (ind.)	1.19E+00
Soil	2,4-D (agr.)	1.27E-04
Soil	Arsenic (ind.)	6.10E+02
Soil	Atrazine (agr.)	1.49E-01
Soil	Azinphos-methyl (agr.)	3.55E-01
Soil	Bentazon (agr.)	1.66E-02
Soil	benzene (ind.)	4.97E-01
Soil	benzo(a)pyrene (ind.)	7.25E+03
Soil	Carbendazim (agr.)	2.34E+00
Soil	Cadmium (agr.)	3.01E+01
Soil	Cadmium (ind.)	9.94E+03
Soil	Chromium (ind.)	4.24E+03
Soil	Copper (ind.)	1.50E+03
Soil	di(2-ethylhexyl)phthalate(ind)	2.67E-02
Soil	dibutylphthalate (ind.)	1.14E+00
Soil	Dichlorvos (agr.)	7.52E-04
Soil	2,3,7,8-TCDD Dioxin (ind.)	2.09E+05
Soil	Diquat-dibromide (agr.)	6.84E-02
Soil	Diuron (agr.)	4.07E-02
Soil	DNOC (agr.)	6.17E-03
Soil	fentin acetate (agr.)	3.84E-01
Soil	fluoranthene (ind.)	8.00E+00
Soil	gamma-HCH (Lindane) (agr.)	1.38E+00
Soil	hexachlorobenzene (ind.)	9.96E+01

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Soil	Mercury (ind.)	1.68E+03
Soil	Malathion (agr.)	2.79E-02
Soil	Maneb (agr.)	2.61E-01
Soil	Mecoprop (agr.)	2.79E-06
Soil	Metabenzthiazuron (agr.)	3.15E-01
Soil	Metamitron (agr.)	2.03E-04
Soil	Metribuzin (agr.)	4.91E-02
Soil	Mevinphos (agr.)	2.09E-01
Soil	Monolinuron (agr.)	4.38E-01
Soil	Nickel (ind.)	7.32E+03
Soil	Parathion (agr.)	3.24E-02
Soil	Lead (ind.)	1.29E+01
Soil	PCBs (ind.)	8.35E+02
Soil	pentachloorfenol (ind.)	2.51E+01
Soil	Simazine (agr.)	3.87E-01
Soil	Thiram (agr.)	9.96E-01
Soil	toluene (ind.)	6.79E-02
Soil	Trifluralin (agr.)	2.07E-02
Soil	Zinc (ind.)	2.98E+03

ตาราง ข8 Damage to Ecosystem Quality caused by the combined effect of acidification and eutrophication (H,A)

Com-part-ment	Substances	Damage factor (PDF/kg)
Air	ammonia	15,57
Air	NO	8,789
Air	NO2	5,713

Air	NOx	5,713
Air	NOx (as NO2)	5,713
Air	SO2	1,041
Air	SO3	0,8323
Air	SOx	1,041
Air	SOx (as SO2)	1,041

ตาราง ข9 Damage to Ecosystem Quality caused by land occupation and land conversion (H,A)

Land-occupation	Damage factor (PDF/m2a)
land use II-III	0.51
land use II-IV	0.96
land use III-IV	0.96
land use IV-IV	1.15
Occup. as Contin. urban land	1.15
Occup. as Convent. arable land	1.15
Occup. as Discont. urban land	0.96
Occup. as Forest land	0.11
Occup. as Green urban land	0.84
Occup. as Industrial area	0.84
Occup. as Intens. meadow land	1.13
Occup. as Organic arable land	1.09
Occup. as organic meadow land	1.02
Occup. as rail/ road area	0.84
Occup. as Integrated arable land	1.15
Occup. as less intens.meadow land	1.02

Land conversion	Damage factor (PDF/m2a)
Conv. to Continuous urban land	34.53
Conv. to Convent. arable land	34.38
Conv. to Discontinuous urban	28.73
Conv. to Green urban	25.16
Conv. to Industrial area	25.16
Conv. to Integr. arable land	34.38
Conv. to Intensive meadow	34.02
Conv. to Less intensive meadow	30.62
Conv. to Organic arable land	32.73
Conv. to Organic meadow	30.62
Conv. to rail/ road area	25.16

ข.3 Damage category Resources (H,A)

ตาราง ข10 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 (MJ surplus/kg)
aluminium (in ore)	2.38
bauxite	0.5
chromium (in ore)	0.9165
chromium (ore)	0.275
copper (in ore)	36.7
copper (ore)	0.415
iron (in ore)	0.051
iron (ore)	0.029
lead (in ore)	7.35

lead (ore)	0.368
manganese (in ore)	0.313
manganese (ore)	0.141
mercury (in ore)	165.5
molybdene (in ore)	41
molybdenum (ore)	0.041
nickel (in ore)	16.32
nickel (ore)	0.245
tin (in ore)	600
tin (ore)	0.06
tungsten (ore)	0.323
zinc (in ore)	1.885
zinc (ore)	0.075

ตาราง ข11 Damage to Resources caused by extraction of fossil fuels (H,A)

Fossil fuels	Damage factor (MJ surplus/kg)
coal	0.252
coal ETH	0.155
crude gas	4.2
crude oil	5.9
crude oil (feedstock)	5.9
crude oil (resource)	1.44E-01
crude oil ETH	6.13
crude oil IDEMAT	6.15
energy from coal	8.59E-03

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

energy from natural gas	1.50E-01
energy from oil	0.144
hard coal (resource)	8.59E-03
natural gas	4.55
natural gas (feedstock)	5.25
natural gas (resource)	1.50E-01
natural gas (vol)	5.49
natural gas ETH	5.25
oil	6.05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชลธิดา สิลสมบัติ เกิดวันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ.2527 ที่จังหวัดราชบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตสาขาวิทยาศาสตร์เคมี จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒในปีการศึกษา 2545 หลังจากนั้นในปีการศึกษา 2549 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2552

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย