การพัฒนากระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตโดยเครื่องมือประเมินวัฏจักรชีวิตภายใต้ความไม่แน่นอน

นายชินาธิปกรณ์ พงศ์ภิญโญภาพ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF METHYL METHACRYLATE PRODUCTION PROCESS BY LIFE CYCLE ASSESSMENT TOOL UNDER UNCERTAINTY

Mr. Shinatiphkorn Pongpinyopap

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 2008

Copyright of Chulalongkorn University

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนากระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตโดยเครื่องมือประเมินวัฏจักรชีวิตภายใต้ความไม่แน่นอน
โดย	นายชินาธิปกรณ์ พงศ์ภิญโญภาพ
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมรชัย อาภรณ์วิชานพ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โอกร เมฆาสุวรรณดำรง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชินาธิปกรณ์ พงศ์ภิญโญภาพ : การพัฒนากระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตโดยเครื่องมือประเมินวัฏจักรชีวิตภายใต้ความไม่แน่นอน. (DEVELOPMENT OF METHYL METHACRYLATE PRODUCTION PROCESS BY LIFE CYCLE ASSESSMENT TOOL UNDER UNCERTAINTY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม อ.ดร.สุรเทพ เขียวหอม, 84 หน้า.

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตด้วยกระบวนการ ACH กับกระบวนการ iC4โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต พิจารณาตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนกลายเป็นผลิตภัณฑ์(cradle-to-gate) และเสนอแนวทางในการพัฒนาปรับปรุงโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro® 6.0 ด้วยวิธี EDIP ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษาพบว่า ในขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบกระบวนการ iC4 จะส่งผลกระทบมากกว่ากระบวนการ ACH 30 เท่า และมากกว่าที่ระดับความเชื่อมั่น 100 เปอร์เซ็นต์เมื่อพิจารณาภายใต้ความไม่แน่นอน ส่วนขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตกับประเมินแบบ cradle-to-gate กระบวนการ ACH จะส่งผลกระทบกระบวนการ iC4 มากกว่า 40 เท่า 30 เท่า ตามลำดับ และมากกว่าที่ระดับความเชื่อมั่น 100 เปอร์เซ็นต์เมื่อพิจารณาภายใต้ความไม่แน่นอน ส่วนแนวทางการพัฒนาปรับปรุงด้วยหลักการข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนพบว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจะลดลง 1.4 เท่าในขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบสำหรับกระบวนการ ACH และลดลง 11.5 เท่าสำหรับกระบวนการ iC4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่อนิสิต ชินาธิปกรณ์ พงศ์ภิญโญภาพ
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ
ปีการศึกษา 2551	ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม สุรเทพ เขียวหอม

4970282021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : METHYL METHACRYLATE / LIFE CYCLE ASSESSMENT / ENVIRONMENTAL IMPACTS

SHINATIPHKORN PONGPINYOPAP : DEVELOPMENT OF METHYL METHACRYLATE PRODUCTION PROCESS BY LIFE CYCLE ASSESSMENT TOOL UNDER UNCERTAINTY. ADVISOR : ASSOC. PROF. CHAIRIT SATAYAPRASERT, Dr.Ing., CO-ADVISOR : SOORATHEP KHEAWHOM, Ph.D., 84 pp.

In this research, Life Cycle Assessment(LCA) is used to assess environmental impacts of Methyl Methacrylate(MMA) production process using route ACH process and iC4 process, according to cradle-to-gate approach. SimaPro® 6.0, LCA software tool, with EDIP method is used to assess environmental impacts. From the results obtained, iC4 process has higher environmental impacts than ACH process 30 times and higher at 100% confidence level under uncertainty in the raw materials production process phase. Environment impacts from MMA production process phase and cradle-to-gate phase, ACH process has higher environmental impacts than iC4 process 40 and 30 times respectively, and higher at 100% confidence level under uncertainty. Development process by heat exchanger network(HEN) has shown the reducible environmental impacts 1.4 times in the raw materials production process phase for ACH, and 11.5 times for iC4.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Chemical Engineering	Student's Signature Shinatiphkorn Pongpinyopap
Field of Study : Chemical Engineering	Advisor's Signature Chairit Satayaprasert
Academic Year : 2008	Co-Advisor's Signature Soorathep Kheawhom

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะแนวทางการทำวิจัยและข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนช่วยแก้ไขและปรับปรุงเพิ่มเติมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้อย่างดียิ่ง

และขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ(ประธานกรรมการ) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อมรชัย อาภรณ์วิชานพ(กรรมการ) และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โอกร เมฆมาสุวรรณดำรง(กรรมการกายนอกมหาวิทยาลัย) ที่กรุณาให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ท้ายที่สุดนี้ต้องขอขอบคุณครอบครัว และเพื่อนทุกท่านที่ช่วยเป็นกำลังใจในระหว่างการศึกษาจนสำเร็จได้ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 2

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย..... 3

1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย..... 3

1.6 เนื้อหาในแต่ละบท..... 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการและทฤษฎีเกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิต..... 5

2.2 เมทิลเมทาคริเลต..... 19

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 25

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัยและการวิเคราะห์..... 29

3.2 วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย..... 31

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต..... 32

4.2 การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตภายใต้ความไม่แน่นอน..... 38

4.3 การพัฒนากระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต..... 43

หน้า

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ
5.1 บทสรุป..... 47
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 48
รายการอ้างอิง..... 49
ภาคผนวก..... 51
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 84

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คำจำกัดความย่อของ LCA ในระบบมาตรฐาน ISO 14000.....	6
2.2	โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการศึกษา LCA ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน……	10
2.3	เปรียบเทียบวิธีการประเมินค่าผลกระทบแต่ละดัชนีชี้วัด……	12
2.4	ค่า Global warming potential ในเวลาต่าง ๆ กัน…….....	14
2.5	ค่า Ozone depletion potential ในเวลาต่าง ๆ กัน…….	14
2.6	ค่า Acidification Equivalency factors…….	15
2.7	ค่า Eutrophication Equivalency factors…….....	15
2.8	ค่า Photochemical smog Equivalency factors……..……	15
2.9	ค่า ER_{j90} ของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ……..……	17
2.10	สมบัติทั่วไปของเมทิลเมทาคริเลต…….…….……	19
2.11	เทคโนโลยีกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตและผู้คิดค้น……...……..	22
2.12	เปรียบเทียบผลการประเมินระหว่างการใช้วิธี Ecopoint กับวิธี Eco-indicator 95…….....	26
4.1	ปริมาณวัตถุดิบและพลังงานของกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต……..	33
4.2	ปริมาณของเสียที่ปลดปล่อยออกจากกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต…….....	34
4.3	ปริมาณวัตถุดิบและพลังงานของกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตภายใต้ความไม่แน่นอน……..….	39
4.4	ปริมาณของเสียที่ปลดปล่อยออกจากกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตภายใต้ความไม่แน่นอน…….……....	39
4.5	เปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตด้วยกระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน(ACH).....	43
4.6	เปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตด้วยกระบวนการไอโซบิวเทน(iC4).....	43

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต.....	8
2.2	โครงสร้างโมเลกุลเมทิลเมทาคริเลต……..	19
2.3	สัดส่วนการใช้ประโยชน์ของเมทิลเมทาคริเลต…….	20
2.4	อุปสงค์-อุปทานของเมทิลเมทาคริเลต(*คาดการณ์)…….	20
2.5	เส้นทางกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต…….……..	21
2.6	กำลังการผลิตและกระบวนการที่ใช้ผลิตเมทิลเมทาคริเลต……..…..	23
2.7	กระบวนการ ACH สำหรับผลิตเมทิลเมทาคริเลต…….	24
2.8	กระบวนการ Isobutane สำหรับผลิตเมทิลเมทาคริเลต……...……....	24
3.1	ขอบเขตของระบบสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตเมทิลเมทาคริเลต…….....…….....	29
4.1	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ…….	35
4.2	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต…….…….	36
4.3	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบกับขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต (Cradle-to-Gate)……...…….	37
4.4	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบภายใต้ความไม่แน่นอน…	40
4.5	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตภายใต้ความไม่แน่นอน…….....	41
4.6	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบกับขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตภายใต้ความไม่แน่นอน (Cradle-to-Gate)……...……	42
4.7	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ…….	44
4.8	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต…….……..	45
4.9	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบกับขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต (Cradle-to-Gate)……...…….	46

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมกำลังเผชิญกับภาวการณ์แข่งขันกันเองรวมถึงกฎหมายและกฎระเบียบต่างๆที่มีความเข้มงวดมากขึ้นกอปรกับอุตสาหกรรมเคมี-ปิโตรเคมี เป็นอุตสาหกรรมในลำดับต้นๆที่ทำลายสุขภาพมนุษย์รวมถึงสิ่งแวดล้อม อาทิ ปัญหาภาวะโลกร้อน(Global Warming) ปัญหาสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง(Climate Change) เป็นต้น ทำให้การคิดค้นพัฒนาเทคโนโลยีใหม่เป็นปัจจัยสำคัญในการผ่านพ้นภาวการณ์ ซึ่งการคิดค้นพัฒนากระบวนการจำเป็นต้องพิจารณาหลายๆด้านด้วยกัน เช่น ความต้องการของตลาด ราคาต้นทุน ความปลอดภัยและควรที่จะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ส่งผลทำให้มีการนำเครื่องมือที่ช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ มาประยุกต์ใช้ เช่น การใช้เทคโนโลยีสะอาด (Cleaner Technology) เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต รวมถึงลดต้นทุนการผลิตในอุตสาหกรรม, การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment) และการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) เพื่อวิเคราะห์หาค่าของประเภทผลกระทบในด้านต่างๆที่เกิดจากกระบวนการผลิต เป็นต้น ซึ่งการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมและมีความเหมาะสมสำหรับการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมมากที่สุด เนื่องจากเป็นการพิจารณาปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์และสามารถประเมินค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นออกมาเป็นค่าตัวเลขของผลกระทบนั้นได้อีกด้วยเพื่อสะดวกแก่การทำความเข้าใจ

เมทิลเมทาคริเลตเป็นมอนอเมอร์ที่นำมาใช้ผลิตแผ่นพลาสติกอะครีลิคและเป็นตัวกระจายพอลิเมอร์ในการผลิตสีและการเคลือบอย่างแพร่หลาย เห็นได้จากปริมาณผลผลิตที่สูงขึ้นเกือบ 2 เท่า ประมาณ 2.2 ล้านตันต่อปี ใน 15 ปีที่ผ่านมา ทำให้คาดการณ์ว่ายังคงมีความต้องการเมทิลเมทาคริเลตอย่างมากในอนาคต เนื่องจากมีคุณสมบัติโปร่งใสและมีความทนทาน จึงได้รับความนิยมในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นแผ่นป้ายโฆษณา, อุปกรณ์ให้ความสว่าง, ยานพาหนะ และวัสดุก่อสร้าง เป็นต้น สำหรับกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตนั้นมีมากมายหลายวิธีโดยแรกเริ่มเมื่อปี ค.ศ. 1937 บริษัท ICI ทำการผลิตเมทิลเมทาคริเลตจากอะซีโตน มีชื่อเรียกกระบวนการว่า อะซีโตนไซยาโนไฮดริน(ACH) ซึ่งถือว่าเป็นกระบวนการที่ถูกนำไปใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมการผลิตเมทิลเมทาคริเลตจนกระทั่งปี ค.ศ. 1982 พบว่าอุตสาหกรรมดังกล่าวส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

อันเนื่องมาจากการเป็นพิษของไฮโดรเจนไซนาไนด์และแอมโมเนียมไบซัลเฟต ส่งผลทำให้มีการวิจัยพัฒนากระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตใหม่เพื่อนำมาแทนกระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน(ACH) ปัจจุบันมีกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตมากมาย อาทิเช่น TBA direct oxidation โดยใช้ Tert-Butyl Alcohol(TBA) เป็นสารตั้งต้น, Isobutene direct oxidative ใช้ Isobutene เป็นสารตั้งต้น, C2 BASF ใช้ Ethylene, CO และ Formaldehyde เป็นสารตั้งต้น, Isobutane ใช้ Isobutane เป็นสารตั้งต้น และ MAN ใช้ TBA, NH_3 และ H_2SO_4 เป็นสารตั้งต้น เป็นต้น โดยกระบวนการที่ทำการวิจัยพัฒนาขึ้นมาใหม่และกระบวนการที่ยังอยู่ในระดับห้องทดลองเหล่านี้ถูกออกแบบโดยคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมเป็นหลัก

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตด้วยวิธีต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตว่ากระบวนการใดส่งผลกระทบมากที่สุด โดยวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นเพื่อพิจารณาว่ากระบวนการใดมีความเหมาะสมและกระบวนการใดควรหลีกเลี่ยง ทั้งนี้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นภายใต้ความไม่แน่นอนเพื่อประเมินและเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมกับผลกระทบที่ไม่ได้วิเคราะห์ความไม่แน่นอน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิเคราะห์และประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตโดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต
2. เพื่อเสนอแนะวิธีการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริลตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. โครงงานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษากระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตโดยวิธีกระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน(ACH) กับ วิธีกระบวนการไอโซบิวเทน(iC4)
2. ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต โดยทำการประเมินขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบและขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต (Cradle-to-Gate)
3. ทำการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro® 6.0 ด้วยวิธี EDIP

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1. เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาวิธีที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต เพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม
2. ทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตเพื่อหลีกเลี่ยงและป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต
3. ทราบถึงความผันแปรได้ของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตภายใต้ความไม่แน่นอน
4. ทราบถึงแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีของกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต
2. ศึกษาการใช้โปรแกรม Hysys.Plant Version 3.2 เพื่อทำการจำลองกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต
3. ศึกษาการใช้โปรแกรม SimaPro® 6.0 เพื่อเลือกวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตในกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตที่เหมาะสม
4. ประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตที่แตกต่างกันและเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตแต่ละกระบวนการภายใต้ความไม่แน่นอน
5. สรุปผลและจัดทำผลการวิจัย

1.6 เนื้อหาในแต่ละบท

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาสำหรับงานวิจัยนี้ และกล่าวถึงวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ขอบเขตของงานวิจัยที่ได้ศึกษา วิธีการดำเนินงานวิจัยอย่างคร่าวๆ และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

บทที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้อง โดยอธิบายถึงหลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA), ความหมายและคุณสมบัติของเมทิลเมทาคริเลต, วิธีการสังเคราะห์เมทิลเมทาคริเลต, การนำเมทิลเมทาคริเลตไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ,

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต และอธิบายถึงการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro®6.0 เพื่อเลือกใช้วิธีที่เหมาะสมสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิต นอกจากนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยต่างๆจากวารสารทางวิชาการ ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ

บทที่ 3 อธิบายถึงงานวิธีการดำเนินงานวิจัย โดยกล่าวถึงวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย, ขั้นตอนการวิจัย และวิธีที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต

บทที่ 4 เป็นส่วนของผลการดำเนินงานวิจัย ซึ่งเป็นส่วนที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิตโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro®6.0 ผลจากการคำนวณที่ได้จะแสดงผลเป็นกราฟเปรียบเทียบผลกระทบด้านต่างๆ ที่เกิดจากการกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต รวมถึงอธิบายและสรุปผลที่เกิดจากกระบวนการผลิต

บทที่ 5 จะกล่าวสรุปถึงผลกระทบด้านต่างๆ ที่เกิดจากการกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต รวมถึงข้อเสนอแนะของการทำวิจัยนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการและทฤษฎีเกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA)[1,2]

2.1.1 ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA) เป็นเครื่องมือที่ใช้ประกอบการตัดสินใจเพื่อกำหนดแนวทางในการเลือกพัฒนาผลิตภัณฑ์ ในการศึกษา LCA สามารถช่วยลดผลกระทบที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และยังลดการใช้วัตถุดิบที่ไม่เหมาะสมในกระบวนการผลิตได้ ซึ่ง LCA เป็นวิธีที่ใช้ในการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์จากข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต

การศึกษา LCA มีความเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ที่สนใจทั้งวงจรชีวิต ตั้งแต่การกำหนดขอบเขตในการศึกษา วัตถุดิบ พลังงานที่ใช้ กระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งานของผลิตภัณฑ์ รวมไปจนถึงการจัดการกับเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังจากการนำไปใช้ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นการพิจารณาตั้งแต่เกิดจนตาย (cradle-to-grave) โดยจะพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม ที่ส่งผลต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ระบบนิเวศและการใช้ทรัพยากรเป็นหลัก สำหรับในงานวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการขนส่งและการใช้งานผลิตภัณฑ์

LCA เป็นหลักการทำงานส่วนหนึ่งที่ถูกบรรจุอยู่ใน International Standard for Organization (ISO) 14000 ว่าด้วยเรื่องเกี่ยวกับมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental Management Standard) อนุกรมของ ISO14000 ที่เกี่ยวข้องกับ LCA มีดังนี้

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

ตารางที่ 2.1 คำจำกัดความย่อของ LCA ในระบบมาตรฐาน ISO 14000

Standard	Focus
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 กำหนดขอบเขต ระบบผลิตภัณฑ์ 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

2.1.2 วัตถุประสงค์ของการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ จากข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสีย หรือจากข้อมูลของสารขาเข้าหรือขาออกของผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีด้านสิ่งแวดล้อม

2.1.3 ประโยชน์ของการประเมินวัฏจักรชีวิต

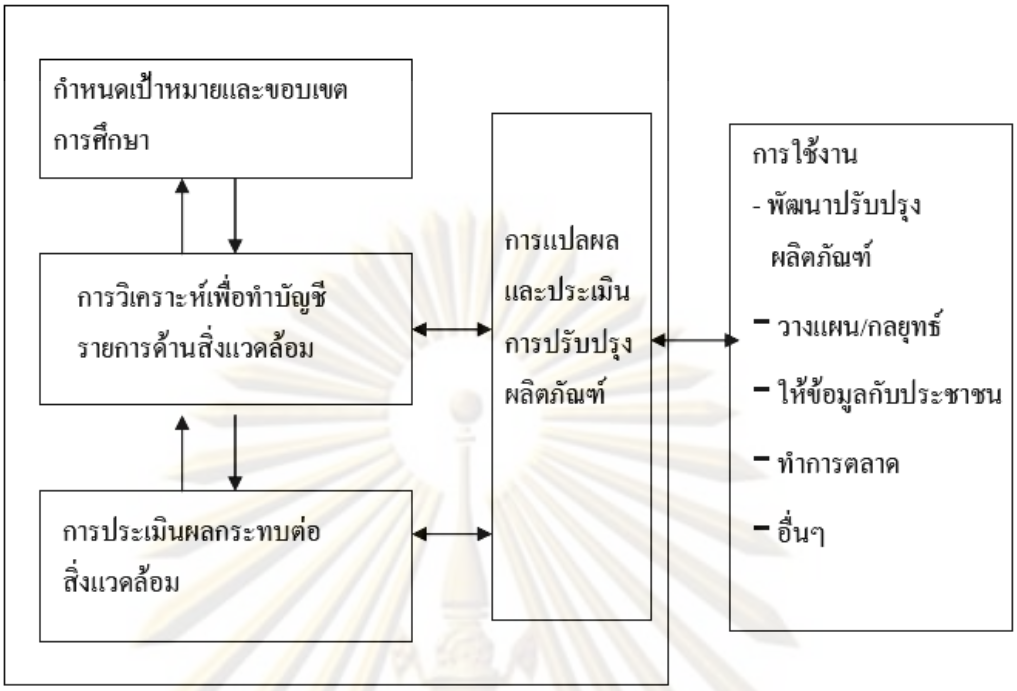
ประโยชน์ที่ได้จากการศึกษา LCA นั้นสามารถนำไปปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อให้ได้กระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังใช้ในการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดว่าผลิตภัณฑ์ชนิดใดเหมาะแก่การนำไปใช้งานและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มทางเลือกในกระบวนการผลิตซึ่งสามารถลดผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิต และนำไปสู่การใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ

2.1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานของการประเมินวัฏจักรชีวิต

ในการศึกษาการดำเนินงานของการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope definition)
2. การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory Analysis)
3. การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Impact Assessment)
4. การแปลผล (Life Cycle Interpretation)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต**[3]**

2.1.4.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope Definition)

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาของ LCA เป็นขั้นตอนที่ใช้ในการกำหนดสิ่งที่ต้องการศึกษาให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการศึกษา ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาจะมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับขั้นตอนนี้เอง

หลักสำคัญในการกำหนดเป้าหมายคือ ควรกำหนดให้ชัดเจนไม่คลุมเครือ ควรกำหนดเหตุผลและจุดมุ่งหมายในการศึกษาเพื่อประโยชน์ในการศึกษา หรือการนำไปใช้งานต่อ ในส่วนของขอบเขตการศึกษานั้นจะเป็นตัวกำหนดข้อจำกัดของสิ่งที่ศึกษา ซึ่งควรกำหนดรายละเอียดของขอบเขตที่เพียงพอเพื่อให้การวิเคราะห์สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ โดยขอบเขตการศึกษาจะมีความสัมพันธ์กับความซับซ้อนของเป้าหมายการศึกษา และมีผลกระทบโดยตรงต่อเวลาและค่าใช้จ่ายในการศึกษา

2.1.4.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory Analysis)

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูล ที่ได้จากขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา รวมถึงการสร้างผังของผลิตภัณฑ์ไปจนถึงการคำนวณเพื่อหาปริมาณสารขาเข้าและขาออกของระบบผลิตภัณฑ์ ทำให้ทราบว่าในกระบวนการผลิตมีการใช้ทรัพยากรและปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณเท่าใด โดยความยากง่ายในขั้นตอนการเก็บข้อมูลนั้นอาจจะพิจารณาจากพลังงานและทรัพยากรที่ใช้ หรือพิจารณาถึงการปล่อยของเสียระหว่างกระบวนการผลิตสู่อากาศ แหล่งน้ำและดิน โดยขึ้นอยู่กับความสามารถในการสืบค้นข้อมูลของแต่ละการพิจารณา

2.1.4.3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Impact Assessment)

ในขั้นตอนนี้การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต เป็นการแปลงค่าข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม จากข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสียออกจากระบบในระหว่างกระบวนการผลิต หรือจากสารขาเข้าและขาออกเพื่อเป็นการเตรียมข้อมูลสำหรับใช้ในการแปลผลการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

2.1.4.4 การแปลผล (Life Cycle Interpretation)

การแปลผลการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม คือการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมกับการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต เพื่อนำมาสรุปผลและอธิบายสิ่งที่ได้มาจากผลลัพธ์ จากนั้นจึงทำรายงานเพื่อสรุปการแปลผลการศึกษาให้สามารถเข้าใจง่าย สมบูรณ์ครบถ้วนและมีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.5 โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิต

ในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต ต้องใช้ข้อมูลและตัวเลขเป็นจำนวนมากดังนั้นจึงมีการนำโปรแกรมสำเร็จรูปมาช่วยวิเคราะห์ผล โดยโปรแกรมที่นำมาใช้มีความสะดวก รวดเร็วและมีคุณภาพ ซึ่งแต่เดิมนั้นใช้ Microsoft Excel หรือ Spreadsheets ในการคำนวณ แต่ปัจจุบันเริ่มหันมาใช้โปรแกรมสำเร็จรูปมากขึ้นเนื่องจากสามารถใช้งานได้ง่ายรวมถึงประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย นอกจากนี้ยังสามารถใช้ได้กับกระบวนการผลิตที่มีจำนวนขั้นตอนมากๆ และเชื่อมโยงกับฐานข้อมูล LCA ที่ทำไว้ทั่วโลกได้ ตัวอย่างโปรแกรมสำเร็จรูปที่นิยมใช้สำหรับการศึกษา LCA แสดงในตาราง

ตารางที่ 2.2 โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการศึกษา LCA ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

โปรแกรมสำเร็จรูป	ผู้ผลิตโปรแกรม	ประเทศ
SimaPro 5.1,6	Pre'Consultants	เนเธอร์แลนด์
GaBi 3.2	IKP Stuttgart	เยอรมัน
TEAM 3.0	Ecobilan	ฝรั่งเศส
LCAiT	Chalmers	สวีเดน
KCL-Eco	KCL	ฟินแลนด์
Umberto 4.1	Ifu / ifeu	เยอรมัน
EcoPro	EMPA, sinum	สวิตเซอร์แลนด์
Boustead	Boustead	อังกฤษ
NIRE-LCA	NIRE / AIST	ญี่ปุ่น*
JEMAI-LCA	JEMAI	ญี่ปุ่น*

* มีเฉพาะภาษาญี่ปุ่นเท่านั้น

2.1.5.1 โปรแกรม SimaPro 6.0 (System for Integrated Environmental Assessment of Products)[4]

บริษัท Pre Consultants ก่อตั้งเมื่อปี 1990 โดย Mr.Mark Goedkoop โดยมุ่งเน้นไปที่การจัดการวัฏจักรชีวิตและการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยการพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์และการบริการ ด้วยโปรแกรมที่เป็นที่รู้จักกันดี ในชื่อของ SimaPro LCA Software ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของวัฏจักรชีวิตของระบบ

โปรแกรม SimaPro ถูกสร้างในปี ค.ศ. 1990 สำหรับโครงการของรัฐบาลเนเธอร์แลนด์ โดยใช้ LCA software เป็นตัวแสดงผลซึ่งสามารถเข้าใจได้ง่าย โปรแกรม SimaPro 4 ถูกสร้างในปี ค.ศ. 1997 โดยทำงานบนระบบปฏิบัติการ Window และประสบความสำเร็จอย่างมาก Pre Consultants ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมอย่างต่อเนื่องโดยมีรัฐบาลเนเธอร์แลนด์สนับสนุน โดยได้ทำการพัฒนา Eco-indicator 95 และ 99 โดยทั้ง 2 โปรแกรมมีประโยชน์อย่างมากในการจัดการผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวัฏจักร

ในปัจจุบัน SimaPro ไม่เพียงแต่ใช้ทำการประเมินผลิตภัณฑ์เท่านั้น แต่ได้ขยายการใช้งานไปถึงกระบวนการผลิตและการบริการอีกด้วย และล่าสุด SimaPro 6.0 เป็นโปรแกรมที่ทำการเก็บข้อมูล, วิเคราะห์ผลและแสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์และการบริการ ซึ่งเราสามารถสร้างแบบจำลองขึ้นได้อย่างง่ายดาย และทำการวิเคราะห์ผลที่ซับซ้อนของวัฏจักรชีวิต พร้อมทั้งแสดงผลออกมาได้อย่างชัดเจนและเข้าใจได้ง่าย สำหรับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมมีดังนี้

1. กำหนดขอบเขตและเป้าหมาย: ทำการกำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์ของการประเมินผล
2. การรวบรวมข้อมูล: เป็นการอ้างอิงข้อมูลจากข้อมูลพื้นฐานของโปรแกรม หรือ ข้อมูลเพิ่มเติมพื้นฐานจากกระบวนการนั้น
3. การประเมินผลกระทบ: โปรแกรมมีวิธีการประเมินผลกระทบหลายแบบ ประกอบด้วย CML 1992, Eco-indicator 95, Ecopoint 97, Eco-indicator 99, EDIP, EPS 2000, IPCC 2001 และ Cumulative Energy Demand

ในส่วนของขั้นตอนการประเมินผลกระทบ การเลือกวิธีการประเมินผลกระทบมีความสำคัญมาก เพื่อให้การสรุปผลมีความถูกต้องตรงตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา ฉะนั้นการเลือกวิธีการประเมินผลกระทบต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ประกอบด้วย ปัจจัยแรกประเภทของผลกระทบ(Impact Category) ให้มีความสอดคล้องกับขอบเขตและเป้าหมายของการศึกษา และปัจจัยที่สองความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ทรัพยากร การปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมกับค่า Characterization Factor เนื่องจากสารเคมีและกิจกรรมต่างๆที่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมนั้นมีอยู่อย่างมากมาย ถ้ามีการเลือกวิธีการประเมินผลกระทบที่ไม่มีความเหมาะสมจะส่งทำให้สารเคมีและกิจกรรมต่างๆนั้นจะไม่ถูกแปลงค่าข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในรูปของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงทำให้ผลสรุปสุดท้ายมีความผิดพลาด

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบวิธีการประเมินค่าผลกระทบแต่ละดัชนีชี้วัด

ดัชนีชี้วัด	ประเภทผลกระทบ	ครอบคลุมงานวิจัย
EPS 2000	สุขภาพมนุษย์, ระบบนิเวศน์, ทรัพยากร	ไม่ครอบคลุม
EDIP	สุขภาพมนุษย์, ระบบนิเวศน์, ทรัพยากร	ครอบคลุม
Eco-Indicator 95	สุขภาพมนุษย์, ระบบนิเวศน์, ทรัพยากร	ไม่ครอบคลุม
Eco-Indicator 99	สุขภาพมนุษย์, ระบบนิเวศน์, ทรัพยากร	ไม่ครอบคลุม
CML 1992	สุขภาพมนุษย์, ระบบนิเวศน์	ไม่ครอบคลุม
Ecopoint 97	ทรัพยากร	ไม่ครอบคลุม
IPCC 2001	สภาวะโลกร้อน	ไม่ครอบคลุม
Cumulative Energy Demand	พลังงาน	ไม่ครอบคลุม

จากปัจจัยการเลือกวิธีการประเมินผลกระทบและตารางที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าวิธีการประเมินผลกระทบด้วยวิธี EDIP มีความเหมาะสมกับงานวิจัยนี้เนื่องจากมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ เป้าหมายและขอบเขตการศึกษา รวมทั้งมีความครอบคลุมระหว่างการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมกับค่า Characterization Factor ที่จะสามารถแปลงค่าข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในรูปของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในงานวิจัยนี้ทำการเลือกวิธีการประเมินผลกระทบด้วยวิธี EDIP

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.5.2 วิธีประเมินค่าผลกระทบโดย EDIP[5,6]

การประเมินผลกระทบด้วยวิธี Environmental Design of Industrial Product (EDIP) ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศเดนมาร์ค ปี 1996 ซึ่งประกอบด้วยการจำแนกกลุ่มของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Classification) และการตีค่าผลกระทบของแต่ละกลุ่ม (Characterization) ซึ่งอาจรวมถึงการเทียบหน่วย (Normalization) และการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) เพื่อให้ได้ค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score)

ดัชนีชี้วัดทางสิ่งแวดล้อมในวิธี EDIP มีทั้งหมด 16 กลุ่ม ได้แก่

1. Global warming (GWP100)
2. Ozone depletion
3. Acidification
4. Eutrophication
5. Photochemical smog
6. Ecotoxicity water chronic
7. Ecotoxicity water acute
8. Ecotoxicity soil chronic
9. Human toxicity air
10. Human toxicity water
11. Human toxicity soil
12. Bulk waste
13. Hazardous waste
14. Radioactive waste
15. Slags/ashes
16. Resources (all)

ขั้นตอนในการประเมินแบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

1. Classification/ Characterization เป็นขั้นตอนในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างมลภาวะที่ปล่อยออกมา กับผลิตภัณฑ์ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เพื่อประเมินผลกระทบเชิงปริมาณตามกลุ่มของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการประเมินทำได้โดยการแปลงค่าสารแต่ละ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวในกลุ่มผลกระทบเดียวกันให้อยู่ในรูปตัวเลขที่บอกถึงค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสารแต่ละตัวมีศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับที่แตกต่างกัน จึงต้องนำมาเทียบอ้างอิงกับสารพื้นฐาน โดยดูจากค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบ (potential environmental impact) ซึ่งคำนวณจากความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคนิคกระบวนการที่สามารถดำเนินการได้ เช่น ในกรณีภาวะโลกร้อนขึ้น ก๊าซหรือสารต่างๆ ที่เป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อนขึ้นจะถูกทำให้อยู่ในรูปของ CO_2-equivalent ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.4 ค่า Global warming potential ในเวลาต่าง ๆ กัน

สารเคมี	สูตรเคมี	GWP:Global warming potential (gCO_2/gก๊าซ)		
		20 ปี	100 ปี	500 ปี
Carbon dioxide	CO_2	1	1	1
Methane	CH_4	62	25	8
CFC 11	$CFCl_3$	5000	4000	1400
CFC 12	CF_2Cl_2	7900	8500	4200
CFC 134a	CH_2FCF_3	3300	1300	420

กรณีการลดลงของโอโซน(Ozone depletion) ก๊าซหรือสารต่างๆ ที่เป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาการลดลงของโอโซนจะถูกทำให้อยู่ในรูปของ CFC11-equivalent ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.5 ค่า Ozone depletion potential ในเวลาต่าง ๆ กัน

สารเคมี	สูตรเคมี	ODP:Ozone depletion potential (gCFC11/gก๊าซ)		
		5 ปี	20 ปี	100 ปี
CFC11	$CFCl_3$	1	1	1
CFC113	$CF_2ClCFCl_2$	0.55	0.59	0.78
HCFC22	CHF_2Cl	0.19	0.14	0.07
HCFC141b	$CFCl_2CH_3$	0.54	0.33	0.13
HCFC142b	CF_2ClCH_3	0.17	0.14	0.08

กรณีภาวะกรดในบรรยากาศ(Acidification) ก๊าซหรือสารต่างๆ ที่เป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะกรดในบรรยากาศจะถูกทำให้อยู่ในรูปของ SO_2-equivalent ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.6 ค่า Acidification Equivalency factors

สารเคมี	สูตรเคมี	Equivalency factors(ac) (gSO_2/gก๊าซ)
Sulfur dioxide	SO_2	1
Sulfur trioxide	SO_3	0.80
Nitrogen dioxide	NO_2	0.70
Ammonia	NH_3	1.88
Sulfuric acid	H_2SO_4	0.65

กรณีภาวะการเจริญเติบโตของพืชน้ำ(Eutrophication) ก๊าซหรือสารต่างๆ ที่เป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะการเจริญเติบโตของพืชน้ำจะถูกทำให้อยู่ในรูปของ NO_3-equivalent ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.7 ค่า Eutrophication Equivalency factors

สารเคมี	สูตรเคมี	Equivalency factors(ne) (gNO_3/gก๊าซ)
Nitrate	NO_3^-	1
Nitric oxide	NO	2.07
Nitrogen dioxide	NO_2	1.35
Ammonia	NH_3	3.64
Nitrite	NO_2^-	1.35

กรณีภาวะหมอกควันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสง-เคมี(Photochemical smog) ก๊าซหรือสารต่างๆ ที่เป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะหมอกควันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสง-เคมีจะถูกทำให้อยู่ในรูปของ C_2H_4-equivalent ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.8 ค่า Photochemical smog Equivalency factors

สารเคมี	สูตรเคมี	Equivalency factors(po) (gC_2H_4/gก๊าซ)
Ethene	C_2H_4	1
Methane	CH_4	0.007
Ethane	C_2H_6	0.1
Propane	C_3H_8	0.4
Benzene	C_6H_6	0.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยประเภทของผลกระทบและชนิดของสสารอันเป็นผลให้เกิดผลกระทบประเภทต่างๆ (Characterization factor) ของวิธี EDIP ทั้งหมดแสดงในภาคผนวก

จากนั้นนำมาคำนวณหาศักยภาพของผลกระทบนั้นๆด้วยสมการที่ 1

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

ซึ่งค่า EP_j (Environmental impact potential) คือ ค่าศักยภาพของผลกระทบสิ่งแวดล้อม สำหรับผลกระทบประเภท j ใดๆ

Q_i (Quantity of substance) คือ ปริมาณสารมลภาวะ i ที่ถูกปล่อยออกมา

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

2. Normalization เป็นขั้นตอนในการหาความสำคัญของศักยภาพ ของแต่ละผลกระทบที่มีความสัมพันธ์ต่อผลกระทบที่เกิดจากกิจกรรมของสังคมในภาพรวม ขั้นตอนนี้จะทำการเทียบหาค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ต่ออายุการใช้งาน และสัดส่วนของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมนั้นๆ ต่อคนต่อปี มีการคำนวณดังสมการที่ 2

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

ซึ่งค่า NP_j(Product) (Normalized environmental impact potential) คือ ค่ามาตรฐานของศักยภาพของผลกระทบสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ ของผลิตภัณฑ์

T (Lifetime of product) คืออายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (ปี)

ER_j (Normalization Reference) คือค่าอ้างอิงปกติของผลกระทบที่ j ใด ๆ ที่เกิดจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปี (kg substance equivalent/person/year)

วิธี EDIP นี้จะอ้างอิงข้อมูลทางสิ่งแวดล้อมจากปี 1990 ดังนั้นค่า ER_{j90} หาได้จากอัตราส่วนของค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่อจำนวนประชากรในปี 1990 ได้การคำนวณดังสมการที่ 3

$$ER_{j90} = EP_{j90} / POP_{j90} \quad (3)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.9 ค่า ER_{j90} ของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ

ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	หน่วย	ต่อคน
ภาวะโลกร้อน	$KgCO_2$-eq/year	8700
การลดลงของโอโซน	KgCFC11-eq/year	0.2
ภาวะกรดในบรรยากาศ	$KgSO_2$-eq/year	82

3. Weighting สำหรับการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นแต่ละชนิดที่จะมีค่าแตกต่างกันออกไป อัตราส่วนของความสำคัญ WF (Weighting factor) จะขึ้นอยู่กับผู้ประเมิน เช่น มีการนำเอานโยบายสิ่งแวดล้อมโลกในการลดมลภาวะแต่ละชนิด มาเป็นค่า WF หรือนำเอากฎหมายสิ่งแวดล้อมของแต่ละประเทศในการอนุญาตให้ปล่อยมลภาวะแต่ละชนิดมาตั้งเป็นค่า WF ก็ได้ แต่โปรแกรมการประเมินวัฏจักรชีวิต SimaPro ได้ใช้ข้อมูลทางสิ่งแวดล้อมของทวีปยุโรป ที่ทำให้เกิดการเสียชีวิตของคน 1 คน ในหนึ่งพันคนต่อปี ซึ่งสมการการคำนวณได้จากสมการที่ 4 และ 5

$$WP_j = WF_j \times NP_j \tag{4}$$

$$= WF_j \times EP_{j(Product)} / ER_{j90}$$

$$= (ER_{j90} / ER_{j2000}) \times (EP_{j(Product)} / ER_{j90})$$

$$= EP_{j(Product)} / ER_{j2000} \tag{5}$$

ซึ่งค่า WP_j (Weighted Environmental impact potential) คือ ค่าศักยภาพของผลกระทบสิ่งแวดล้อม j ใดๆ หลังการให้ค่านำหนักความสำคัญแล้ว มีหน่วยคือ milliperson-eq for target year (mPET)

WF_j (Weighting factor) คือค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้ ซึ่ง WF_j ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมใดๆ ที่เกิดจากการกระทบของคนหนึ่งคนต่อปี (ER_{j90}) กับเป้าหมายของสังคมที่จะกำหนดให้ก่อมลพิษได้ในปี 2000 (ER_{j2000}) ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของนโยบายทางสิ่งแวดล้อมของพื้นที่นั้นๆ สามารถเขียนเป็นสมการคำนวณได้ดังสมการที่ 6

$$WF_j = ER_{j90} / ER_{j2000} \tag{6}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

WF_j จะแสดงปริมาณค่า ER_{j2000} ที่จะต้องถูกกำหนดให้ลดลงในปี 2000 ซึ่งเป็นไปตามนโยบายทางสิ่งแวดล้อมในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมในแต่ละประเภท โดยที่ถ้าการตั้งเป้าหมายของการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากเท่าไรแสดงว่าค่า WF_j จะมากขึ้นเท่านั้น ซึ่งค่า ER_{j2000} คำนวณได้จากสมการที่ 7

$$ER_j = EP_{j2000} / POP_{90} \quad (7)$$

ค่า EP_{j2000} เป็นค่าศักยภาพของผลกระทบสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ในปี 2000 ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ 8

$$EP_{j2000} = \sum \{ (EP_{j90} \text{ x } [1 - PRT_i \text{ x } 10 / (TY_i - RY_i)] \} \quad (8)$$

ซึ่งค่า PRT_i (Political reduction target) คือ เป้าหมายการลดลง (%) ของสาร i ระหว่างปีที่เป็นปีอ้างอิงปีที่เป็นเป้าหมาย

TY_i คือ ปีเป้าหมายตามนโยนายการลดลงของสาร i

RY_i คือ ปีอ้างอิง

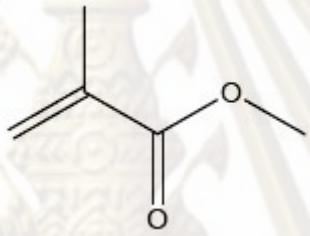
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 เมทิลเมทาคริเลต[7]

โดยทั่วไปเมทิลเมทาคริเลตจะเป็นมอนอเมอร์ในการผลิตเทอร์โมพลาสติกประเภทแอคริเลต มีความโปร่งใสสูง แสงผ่านได้ 92 % ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์หลายชนิด ทนกรดและเบส มีสมบัติทางกลดี ทนแรงดึงและแรงกระแทกสูง เหนียวกว่าโพลิสไตรีน ใช้ทำเลนซ์ โคมไฟ แว่นตา ถาดและถ้วยบรรจุของเหลวใส ทำกระจกไฟหน้า ไฟท้าย และไฟเลี้ยว สำหรับรถยนต์ เครื่องบิน หรือเรือ

2.2.1 สมบัติทั่วไปของเมทิลเมทาคริเลต

เมทิลเมทาคริเลต (CAS No. 80-62-6) มีสถานะเป็นของเหลว ไม่มีสี ระเหยและติดไฟได้ง่าย



รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลเมทิลเมทาคริเลต

ตารางที่ 2.10 สมบัติทั่วไปของเมทิลเมทาคริเลต

สูตรโครงสร้าง	$C_5H_8O_2$
มวลโมเลกุล	100.12 g/mol
ความหนาแน่น	0.94 g/cm³
จุดหลอมเหลว	-48 °C (225 K)
จุดเดือด	101 °C (374 K)
ความสามารถในการละลายน้ำ	1.5 g/100 ml (25 °C)
ความหนืด	0.6 cP at 20 °C

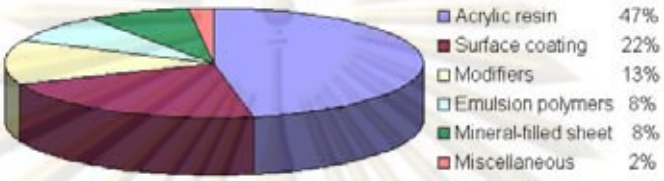
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.2 การใช้ประโยชน์

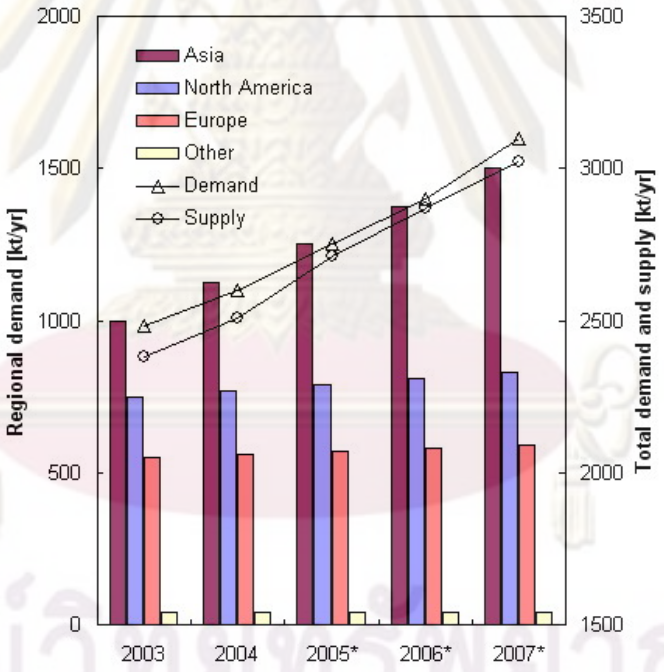
1. ใช้เป็นมอนอเมอร์สำหรับการผลิตพอลิเมทิลเมทาคริเลต(PMMA) เพื่อทำเป็นพลาสติกอะคริลิค

2. ใช้เป็นโคพอลิเมอร์สำหรับการผลิตเมทิลเมทาคริเลตบิวทะไดอีนสไตรีน(MBS)

3. ใช้เป็นมอดิฟายสำหรับพอลิไวนิลคลอไรด์(PVC)



รูปที่ 2.3 สัดส่วนการใช้ประโยชน์ของเมทิลเมทาคริเลต

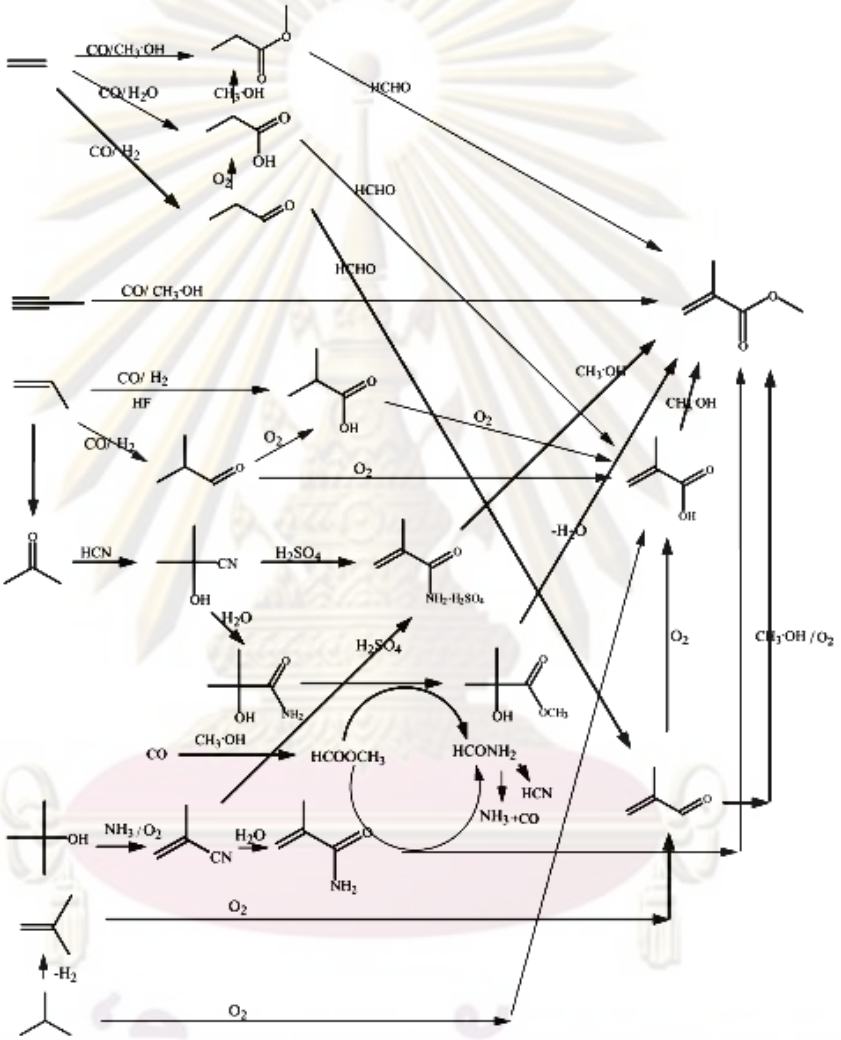


รูปที่ 2.4 อุปสงค์-อุปทานของเมทิลเมทาคริเลต(*คาดการณ์)

ในปี 2003 มีความต้องการเมทิลเมทาคริเลต 2,300 kt/yr แต่เมื่อเปรียบเทียบกับปี 1980 ที่ต้องการเพียง 1,400 kt/yr(Bauer, 2003) จะเห็นได้ว่าความต้องการเมทิลเมทาคริเลตเติบโตขึ้นอย่างสูงและต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทวีปเอเชียที่มีความต้องการมากเมื่อเทียบกับทวีปอื่น

2.2.3 กระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต

กระบวนการสังเคราะห์หรือผลิตเมทิลเมทาคริเลตมีความหลากหลายถึง 17 กระบวนการ สามารถผลิตได้จากสารตั้งต้นถึง 6 ชนิด ได้แก่ ethylene, propylene, propyne, tert-butyl alcohol (TBA), isobutene และ isobutane



รูปที่ 2.5 เส้นทางกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต**[8]**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

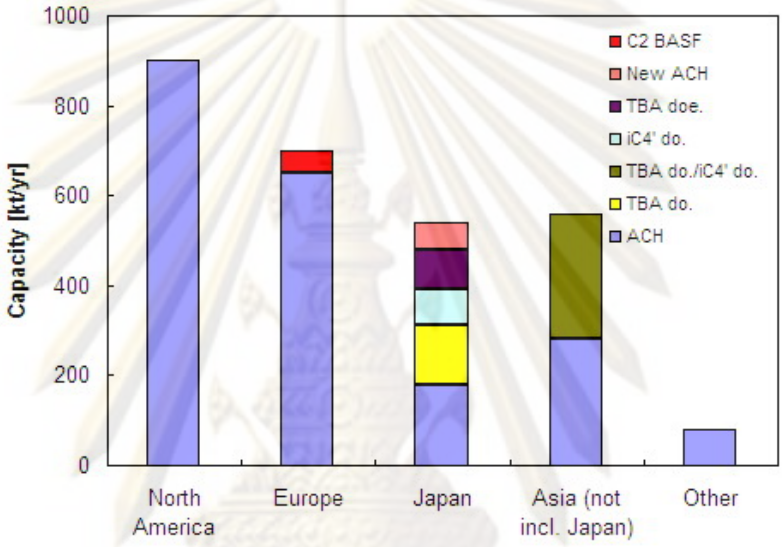
ตารางที่ 2.11 เทคโนโลยีกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตและผู้คิดค้น

ชื่อกระบวนการ	สารตั้งต้น	ผู้คิดค้น	ใช้ใน อุตสาหกรรม
ACH	Acetone, HCN, H_2SO_4	Lucite, Cyro, Rohm&Haas, Atoglas etc	1937-
TBA direct oxidation	Tert-Butyl Alcohol (TBA)	Mitsubishi Rayon, Mitsui/Kuraray	1982-
Isobutene direct oxidation	Isobutene (iC4')	Sumitomo Chemicals/ Nippon Shokubai	1982-
TBA direct oxidative esterification	TBA	Asahi Kasei	1999-
New ACH	Acetone, Methyl formate	Mitsubishi Gas Chemical	1997-
C2 BASF	Ethylene, CO, Formaldehyde	BASF	1989-
MAN	TBA, NH_3, H_2SO_4	Asahi Kasei	1984-1999
Isobutane	Isobutane (iC4)	Sumitomo Chemicals	2008-
Propyne	Propyne, CO	Shell/Lucite	Under development
Alpha	Ethylene, CO, Formaldehyde	Lucite	Under development

จากตารางที่ 2.11 และรูปที่ 2.6 แสดงถึงภาพรวมของกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน มีทั้งแบบที่ยังดำเนินการอยู่, ยุติการผลิตไปแล้ว และกระบวนการที่กำลังพัฒนาขึ้นมาใหม่ กระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตที่มีมากที่สุด ได้แก่ กระบวนการ ACH ซึ่งมีอยู่มากถึง 75 เปอร์เซ็นต์ของโรงงานผลิตเมทิลเมทาคริเลตทั่วโลกถือกำเนิดมาจากบริษัท ICI ในประเทศอังกฤษและเป็นกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตแรกสุด จนกระทั่งในปีค.ศ. 1982 บริษัท Mitsubishi Rayon และ Nippon Shokubi ได้คิดค้นกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตขึ้นมาใหม่คือกระบวนการ Isobutene direct oxidation เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการผลิตเมทิลเมทาคริเลตในประเทศญี่ปุ่น สาเหตุหลักคือความยากลำบากในการจัดซื้อ HCN มาเป็นสารตั้งต้นของ

กระบวนการ การบำบัด ammonium bisulfate ที่ออกมาพร้อมกับผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ รวมถึงราคาในการลงทุนสูง

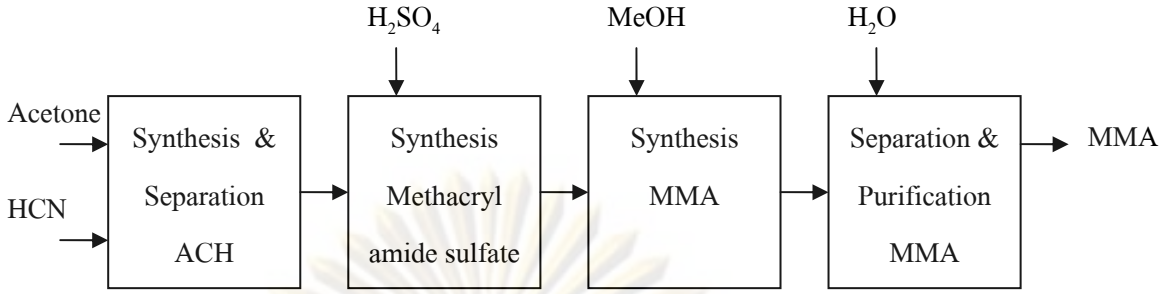
จากสาเหตุหลักที่กล่าวในข้างต้นทำให้เป็นแรงผลักดันในการแข่งขันเพื่อที่จะทำการคิดค้นพัฒนากระบวนการใหม่ๆขึ้นมาเพื่อลดปัญหาดังกล่าว ทำให้เกิดกระบวนการผลิตเมทิลเทาคริเลตขึ้นอีกมากมายในประเทศญี่ปุ่น อาทิ เช่น กระบวนการ TBA direct oxidation, กระบวนการ TBA direct oxidative esterification, กระบวนการ New ACH และ กระบวนการ Isobutane



รูปที่ 2.6 กำลังการผลิตและกระบวนการที่ใช้ผลิตเมทิลเมทาคริเลต

2.2.3.1 กระบวนการ ACH

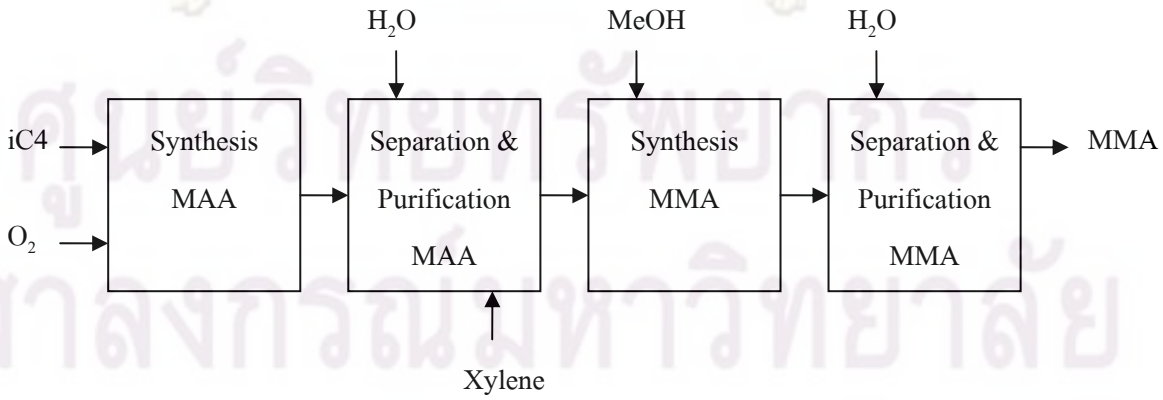
สารตั้งต้นของกระบวนการนี้คือAcetone กับ HCN ซึ่งทำปฏิกิริยากันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความดัน 1 atm ได้ Acetone cyanohydrin(ACH) เป็นผลิตภัณฑ์ ทำการแยกผลิตภัณฑ์ออกจากสารตั้งต้นด้วยหอกลั่น จากนั้นทำปฏิกิริยาขั้นที่สองกับ Sulfuric acid ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ความดัน 1 atm ได้ Methacryl amide sulfate เป็นผลิตภัณฑ์และทำปฏิกิริยาขั้นสุดท้ายกับเมทานอลที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดัน 7 atm ได้ MMA เป็นผลิตภัณฑ์หลัก ส่วนผลิตผลพลอยได้ของปฏิกิริยานี้คือ Ammonium bisulfate จากนั้นทำการดูดซับ Ammonium bisulfate ด้วยน้ำ ทำการสกัดเมทานอลด้วยน้ำ และขั้นตอนสุดท้ายทำให้ MMA บริสุทธิ์โดยหอกลั่นเพื่อแยกเอาน้ำออก



รูปที่ 2.7 กระบวนการ ACH สำหรับผลิตเมทิลเมทาคริเลต

2.2.3.2 กระบวนการ Isobutane

สารตั้งต้นของกระบวนการนี้คือ Isobutane กับ Oxygen ซึ่งทำปฏิกิริยากันที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ความดัน 3 atm ได้ Methacrylic acid(MAA) เป็นผลิตภัณฑ์หลัก ส่วนผลิตผลพลอยได้ของปฏิกิริยานี้คือ Methacrolein(MAL), Acetic acid, CO และ CO_2 จากนั้นทำการดูดซับ MAA กับ Acetic acid ออกมาโดยการใช้น้ำ ต่อมาทำการสกัด MAA ด้วย Xylene แล้วผ่านหอกลั่นเพื่อทำการแยก MAA กับ Xylene จากนั้นนำ MAA ที่ได้มาทำปฏิกิริยากับเมทานอลที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความดัน 1 atm หลังสิ้นสุดปฏิกิริยาจะได้ Methyl Methacrylate(MMA) และน้ำ เป็นผลิตภัณฑ์ หลังจากนั้นทำการแยก MAA กับ Xylene ที่ยังเหลืออยู่ในสารละลายด้วยหอกลั่น ทำการสกัดเมทานอลด้วยน้ำ และขั้นตอนสุดท้ายทำให้ MMA บริสุทธิ์โดยหอกลั่นเพื่อแยกเอาน้ำออก



รูปที่ 2.8 กระบวนการ Isobutane สำหรับผลิตเมทิลเมทาคริเลต

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

A.H. Landfield และ V. Karra (2000)**[9]** ได้ศึกษาเรื่องการประเมินวัฏจักรชีวิตของเครื่องบดหิน (Rock crusher) รุ่น HP400 SX พบว่าเครื่องบดหินที่กำหนดให้มีอายุการใช้งาน 25 ปี เมื่อวิเคราะห์การประเมินวัฏจักรชีวิตแล้ว ด้านการใช้จะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดในวัฏจักรชีวิต เนื่องจากมีการใช้กระแสไฟฟ้าที่ผลิตด้วยการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่างๆกัน ดังนั้นจะต้องมีการปรับปรุงโดยจัดให้มีการออกแบบระบบการทำงานของเครื่องบดหินที่ดีกว่า โดยการลดการใช้กระแสไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

A. Tukker (2000)**[10]** ทำการเปรียบเทียบวิธีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม 2 วิธี คือ การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment: EIA) กับการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) พบว่าการทำ EIA นั้นเป็นการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เฉพาะในส่วนของโรงงานหรือโครงการเท่านั้นว่ามีผลกระทบทางตรงและทางอ้อมต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร เพื่อใช้ช่วยในการยืนยันการตัดสินใจทำกิจกรรมโดยคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม ส่วนการทำ LCA นั้นเป็นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงอายุของผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งเป็น 3 ด้านคือ ด้านผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ด้านผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยา และด้านการนำทรัพยากรธรรมชาติไปใช้ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่สามารถนำไปเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการได้

P. Neri และคณะ (2002)**[11]** ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของคอมเพรสเซอร์ที่ผลิตโดยบริษัทแห่งหนึ่งในประเทศอิตาลี โดยใช้โปรแกรม SimaPro 3.1 ทำการประเมินด้วยวิธี Ecopoint และ Eco-indicator 95 พบว่าชิ้นส่วนของคอมเพรสเซอร์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดคือ stator และ rotor ผลกระทบที่สำคัญได้แก่ carcinogenic substances, heavy metals และ acidification ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้วัตถุดิบและกระบวนการผลิตที่มีอลูมิเนียมเป็นส่วนประกอบ และยังพบว่าในช่วงของการใช้งานมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้าคิดเป็น 95.6% สำหรับวิธี Ecopoint และ 98.38% สำหรับวิธี Eco-indicator 95 (ตารางที่ 2.12)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.12 เปรียบเทียบผลการประเมินระหว่างการใช้วิธี Ecopoint กับวิธี Eco-indicator 95

Compressor	ECOPOINT (Pt)	ECOINDICATOR (Pt)
Electricity Italy for Indirect Centres	3.14	0.92
Electricity Italy for Use	477.04	1581.95
Transports for Distribution	3.72	5.31
Transports for Service	3.00	0.48
Compression group	-	8.36
Tank group	6.12	10.45
Packaging	3.00	0.19
Auxiliary materials	3.00	0.34
Total damage	499 Pt	1608 Pt

Y. Nishioka และคณะ (2002)**[12]** ได้ศึกษาการประเมินการเพิ่มฉนวนกันความร้อนในที่พักอาศัยโดยการนำเครื่องมือการประเมิน 2 แบบมารวมกันคือ การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment : RA) กับการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA) พบว่า การเพิ่มฉนวนกันความร้อนสามารถลดการใช้พลังงานและมีผลดีต่อสุขภาพมนุษย์ มีการปล่อยมลพิษจากการเผาเชื้อเพลิง มีการใช้ต้นทุนเพิ่มขึ้น การประเมินความเสี่ยงและการประเมินวัฏจักรชีวิตสามารถใช้คำนวณผลกระทบสุทธิและมีผลต่อทั้งกฎระเบียบด้านพลังงานที่เข้มงวดมากขึ้นหรือการรับรองนโยบายการอนุรักษ์พลังงาน ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอการวิเคราะห์แบบรวมการประเมินความเสี่ยงและการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยมีจุดประสงค์ในการประมาณผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์สุทธิของการเพิ่มฉนวนกันความร้อนในที่พักอาศัยสำหรับการสร้างที่พักใหม่จากหลักเกณฑ์การอนุรักษ์พลังงานระดับนานาชาติ และทำการอภิปรายวิธีการคำนวณแบบวัฏจักรชีวิตที่สามารถให้ผลโดยประมาณ ซึ่งสามารถนำมาเปรียบเทียบต้นทุนและผลประโยชน์ที่ได้รับ

K. Chomkumsri (2003)**[13]** ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตโรงงานผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย 5 ประเภท ได้แก่ 1.The Concrete Hydro Power Plant 2.The Hydro Power Plant 3.The Thermal Power Plant 4.The Combined Cycle Power Plant และ5.The Coal Fired Power Plant โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 5.0 และวิธี “Environmental Design of Industrial Product: EDIP” พบว่าโรงงานผลิตไฟฟ้าแต่ละประเภทนั้นมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 0.000365, 0.000104,

0.509, 0.293, 0.257 Pt ตามลำดับ สำหรับการผลิตไฟฟ้า 1 kWh แสดงว่าโรงงานผลิตไฟฟ้าประเภท The Hydro Power Plant เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

S. Witsalaphong (2005)**[14]** ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของตู้เย็นที่ใช้ในบ้านชนิด 1 ประตู ขนาด 6.3 ลูกบาศก์ฟุต และเสนอแนวทางในการพัฒนาปรับปรุง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 5.1 และวิธี "Environmental Design of Industrial Product: EDIP" ควบคู่กับวิธี Eco-indicator 99 ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษาพบว่า ขั้นตอนการใช้งานก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด (85.88%) เนื่องจากการใช้ปริมาณไฟฟ้าสูงตลอดอายุการใช้งาน รองลงมาคือ ขั้นตอนการผลิตคอมเพรสเซอร์ (4.31%) เนื่องจากการใช้ทองแดง นิเกิล เหล็กหล่อ และพลังงานไฟฟ้า และขั้นตอนการฉีดโฟมในตัวโครงตู้ (3.71%) เนื่องจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในการฉีดโฟมสูงกว่าขั้นตอนการผลิตอื่นๆ นอกจากนั้นยังมาจากการใช้พลาสติก PS และโฟมฉนวนกันความร้อนซึ่งจะถูกทิ้งในกองขยะเมื่อตู้เย็นหมดอายุการใช้งาน แนวทางในการปรับปรุง ควรปรับปรุงในเรื่องของการใช้พลังงานไฟฟ้าเพราะเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดผลกระทบสูงที่สุด โดยมุ่งเน้นที่การปรับปรุงประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ ให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากที่สุดและการเลือกใช้วัตถุดิบที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยในการผลิตชิ้นส่วนตู้เย็นทั้งหมด

M. Asif (2007)**[15]** ได้ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มาจากวัสดุต่างๆที่ใช้ในการสร้างห้องนอนของบ้านในประเทศสก๊อตแลนด์ โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อดูผลกระทบที่มาจากวัสดุต่างๆเช่น คอนกรีต ไม้ กระจก กระเบื้อง อะลูมิเนียม ฯลฯ ผลการศึกษาพบว่า คอนกรีต กระเบื้อง และ ไม้ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านพลังงานมากที่สุด โดยที่คอนกรีตส่งผลกระทบมากถึง 65% รองลงมาเป็น กระเบื้อง 14% และไม้ 13% เนื่องมาจากบ้านในประเทศสก๊อตแลนด์ส่วนใหญ่ใช้คอนกรีตในการก่อสร้าง

C. Kiwjaroun (2009)**[16]** ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เปรียบเทียบกันระหว่างการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานเอสเทอร์ริฟิเคชั่นโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเบสกับการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้เมทานาทอลที่สภาวะเหนือวิกฤต ทำการจำลองกระบวนการผลิตด้วยโปรแกรม Hysys.Plant Version 3.2 เพื่อเก็บข้อมูลวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมและทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยโปรแกรม SimaPro® 7.0 ด้วยวิธี Eco-Indicator 99 พบว่าการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้เมทานาทอลที่สภาวะเหนือวิกฤตจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานเอสเทอร์ริฟิเคชั่นโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเบส 38% โดยการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้เมทานาทอลที่สภาวะเหนือวิกฤตจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 102 Pt และการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการ

ทรานเอสเทอร์ริฟิเคชั่นโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเบสส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 74 Pt เนื่องจากมีการใช้พลังงานมากในขั้นตอนการเปลี่ยนสภาวะเมทานอล ขั้นตอนการทำปฏิกิริยา และการนำเมทานอลกลับมาใช้ใหม่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

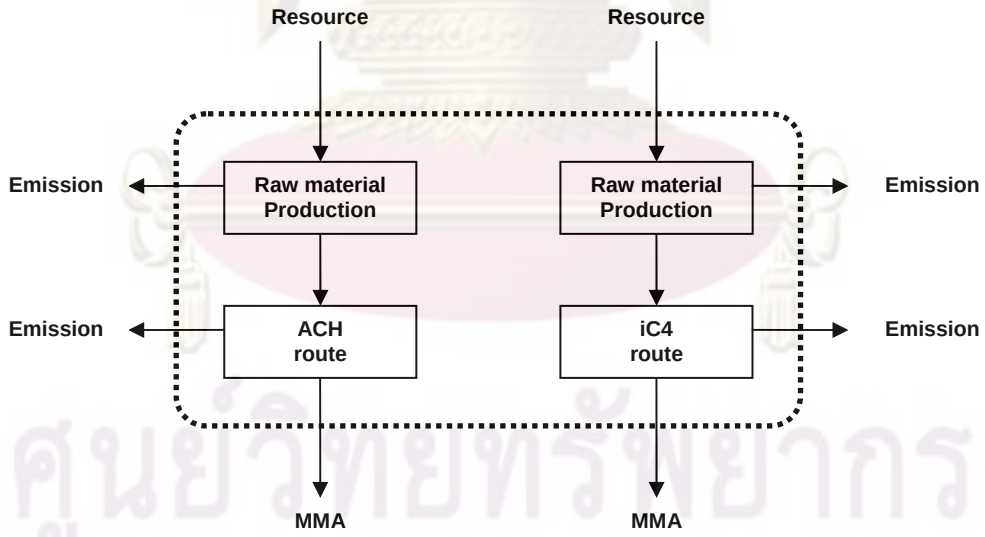
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัยและการวิเคราะห์

3.1.1 เป้าหมายและขอบเขตของงานวิจัย (Goal and Scope Definition)

3.1.1.1 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย (Objective and purpose)

เพื่อประเมินและเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตด้วยวิธีการต่างๆ โดยขอบเขตของระบบการศึกษากระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแบบ “Cradle-to-Gate” ซึ่งมีขอบเขตของระบบเฉพาะขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบและขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต สำหรับขั้นตอนการขนส่ง การนำไปใช้ การใช้ซ้ำ การบำรุงรักษา การนำกลับมาใช้ใหม่และการกำจัดของเสีย ไม่ได้นำมาพิจารณา



รูปที่ 3.1 ขอบเขตของระบบสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตเมทิลเมทาคริเลต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.1.2 หน่วยหน้าที่ (functional unit)

หน่วยหน้าที่ (functional unit) ที่ใช้ในการเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ สำหรับงานวิจัยนี้คือ ปริมาณการผลิตเมทิลเมทาคริเลต 1 กิโลกรัม

3.1.2 การทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI)

หลังจากที่ได้ทำการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory: LCI) ขั้นตอนนี้เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลด้านการใช้วัตถุดิบ พลังงาน รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกจากกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตด้วยกระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน(ACH) กับ กระบวนการไอโซบิวเทน(iC4) โดยมีขอบเขตการศึกษาดังที่ได้อธิบายในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาไว้แล้ว ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Hysys.Plant Version 3.2 เพื่อทำการจำลองกระบวนการเก็บข้อมูลสมดุลมวลสารและพลังงาน และใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro®6.0 โดยแผนผังการจำลองกระบวนการแสดงในภาคผนวก

3.1.3 การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)

ในการประเมินผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับการศึกษาแบบ “Cradle-to-Gate” ของกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro®6.0 และใช้วิธี EDIP เป็นวิธีในแยกประเภทและหาค่าผลกระทบ

วิธีการประเมินผลกระทบในงานวิจัยนี้มีขั้นตอน คือ การทำ characterization เพื่อทราบถึงปริมาณหรือค่าน้ำหนักผลกระทบที่เกิดขึ้นในด้านต่างๆ การเทียบหน่วย (normalization) และการทำให้น้ำหนักผลกระทบมีคะแนนเดี่ยว (single score) ซึ่งค่าแฟกเตอร์ (factor) สำหรับนำมาคูณกับข้อมูลที่ได้เก็บรวมรวมข้อมูลเพื่อประเมินผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี EDIP ได้แสดงไว้ในภาคผนวก

3.1.4 การแปลผล (Life Cycle Interpretation)

ในขั้นตอนของการแปลผล เป็นการประเมินโอกาสที่เป็นไปได้ ในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์นั้นๆ จากขั้นตอนของการประเมินผลกระทบ ทำให้สามารถชี้ชัดลงไปได้

อย่างชัดเจนถึงกระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด และควรมีการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุง ณ จุดนั้นๆ เพื่อทำให้คุณสมบัติทางสิ่งแวดล้อมดีขึ้น

3.2 วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย

3.2.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ

Hardware AMD(Athlon) 2200+

1.8 GHz, 256 GB of RAM

3.2.2 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

4.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต

ในงานวิจัยนี้การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต จะทำการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน(ACH) กับกระบวนการไอโซบิวเทน(iC4) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการกำหนดหน่วยการทำงาน (Functional unit) ของกระบวนการผลิต เป็นการผลิตเมทิลเมทาคริเลตปริมาณ 1 กิโลกรัม เพื่อให้ข้อมูลปริมาณสารที่เข้าและออกจากระบบตั้งอยู่บนพื้นฐานเดียวกัน และสามารถเปรียบเทียบผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของแต่ละกระบวนการได้

สำหรับการแสดงผลการประเมินผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตของงานวิจัยนี้จะแสดงออกมาในลักษณะกราฟเชิงเดี่ยว (Single score) เนื่องจากเป็นวิธีการแสดงผลที่ง่ายต่อความเข้าใจ และแสดงผลออกมาในลักษณะการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบแยกย่อย ซึ่งจำแนกผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตออกเป็นผลกระทบย่อยๆ เช่น ผลกระทบต่อโลกร้อน (Global warming), ผลกระทบต่อการลดลงของชั้นโอโซน (Ozone depletion), ผลกระทบต่อการเกิดฝนกรด (Acidification), ผลกระทบต่อการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของแพลงค์ตอน (Eutrophication), ผลกระทบต่อความเป็นพิษของระบบนิเวศ (Ecotoxicity) เป็นต้น

4.1.1 การทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI)

ในการประเมินวัฏจักรชีวิตสำหรับผลิตภัณฑ์ต่างๆ จะต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับมวลสาร พลังงาน และของเสียที่ปลดปล่อยออกจากกระบวนการต่างๆ ตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ งานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลแบบ “Cradle-to-Gate” ซึ่งมีขอบเขตของระบบเฉพาะขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบและขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ หมายถึง ขั้นตอนตั้งแต่การสกัดวัตถุดิบออกมาจากแหล่งธรรมชาติ จนกระทั่งกลายมาเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต เช่น การผลิตอะซีโตน(Acetone) การผลิตไฮโดรเจนไซยาไนด์(HCN) เป็นต้น ปริมาณของวัตถุดิบแต่ละชนิด จะแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณวัตถุดิบและพลังงานของกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต

Inventory	ACH route	iC4 route
Materials (kg)		
Acetone	1.0445	
HCN	0.4928	
H_2SO_4	1.2288	
MeOH	0.4234	0.4456
iC4		14.6856
O_2		16.1871
H_2O	2.4772	12.2088
Xylene		8.2457
Energy (heat, kJ)		
Steam	1428	20170
Utilities (kg)		
Cooling water	42.42	710.3
Product (kg)		
MMA	1	1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต หมายถึง ขั้นตอนตั้งแต่การนำเอาวัตถุดิบมาผ่านกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต ของเสียที่ปลดปล่อยออกจากกระบวนการผลิต แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณของเสียที่ปลดปล่อยออกจากกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต

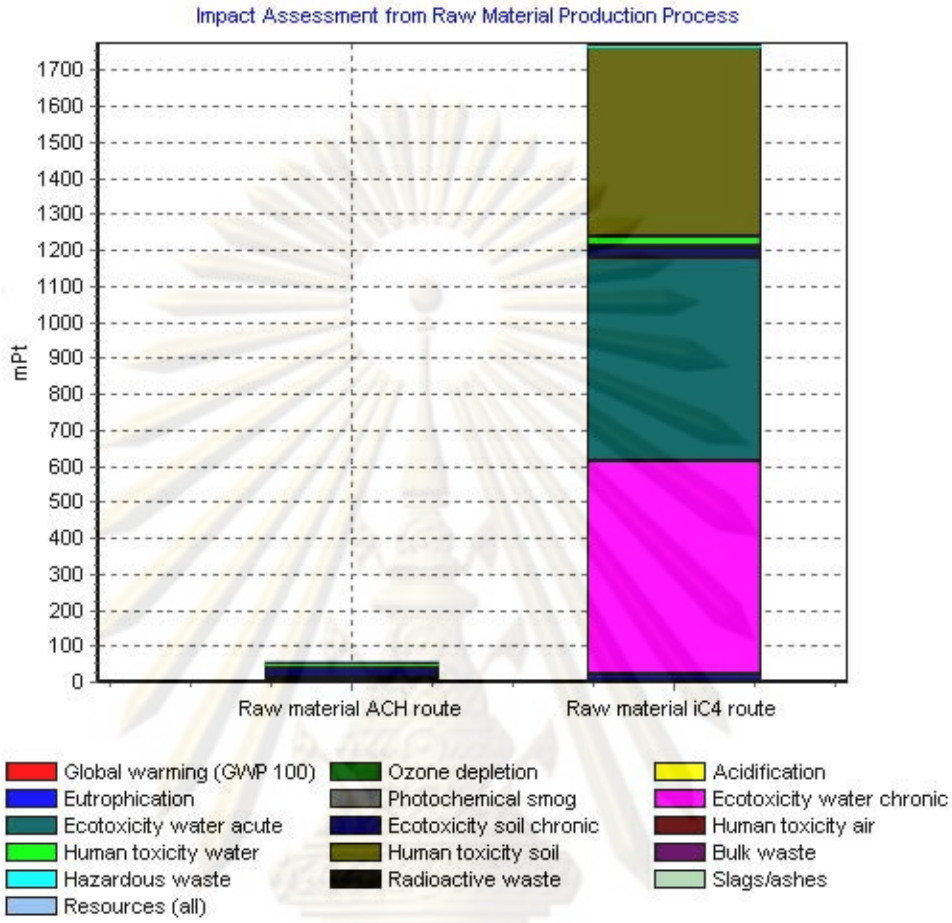
Inventory	ACH route	Inventory	iC4 route
Emission (kg)		*Emission (kg)*	
Acetone	0.1029	iC4	13.2066
HCN	0.0574	O_2	13.4578
ACH	0.3100	Methacrylic acid	0.2565
H_2SO_4	0.0084	Methacrolein	0.0168
Methacrylamide sulfate	0.0688	Acetic acid	0.3033
MeOH	0.0340	CO	0.2831
Ammonium bisulfate	1.3976	CO_2	1.0675
H_2O	2.4681	MeOH	0.0958
		Xylene	8.2457
		H_2O	13.7344

4.1.2 การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)

กระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตด้วยกระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน(ACH) กับกระบวนการไอโซบิวเทน(iC4)นั้นมีการใช้สารเคมีที่แตกต่างกัน ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมนั้นย่อมมีความแตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้จะทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี EDIP และแบ่งผลกระทบที่ศึกษาออกเป็น 3 ช่วง คือ ขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ, ขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต และขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบกับขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต (Cradle-to-Gate)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ



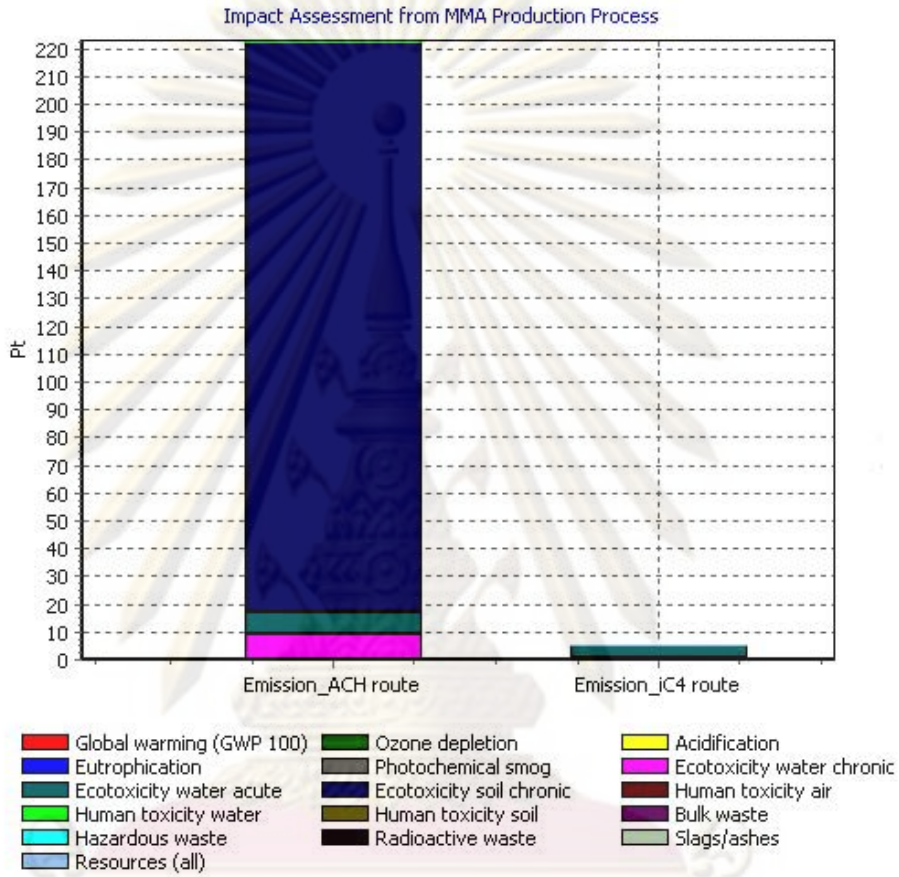
รูปที่ 4.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ

จากรูปที่4.1 จะเห็นได้ว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบจากกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตด้วยกระบวนการไอโซบิวเทน(iC4) จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตด้วยกระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน (ACH) ประมาณ 30 เท่า โดยกระบวนการไอโซบิวเทน(iC4) ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 1.74 Pt ส่วนกระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน(ACH) ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 0.06 Pt

ประเภทของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากกระบวนการไอโซบิวเทน(iC4) มากที่สุด คือ Ecotoxicity water chronic ประมาณ 0.58 Pt รองลงมา คือ Ecotoxicity water acute ประมาณ 0.56 Pt ซึ่งสาเหตุหลักนั้นเกิดจากขั้นตอนการผลิตไอโซบิวเทน(iC4) ส่วนกระบวนการอะซีโตน

ไซยาโนไฮดริน(ACH)จะส่งผลกระทบในประเภท Ecotoxicity soil chronic มากที่สุด ประมาณ 0.034 Pt สาเหตุหลักเกิดจากขั้นตอนการผลิตไฮโดรเจนไซยาไนด์(HCN)

4.1.2.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต

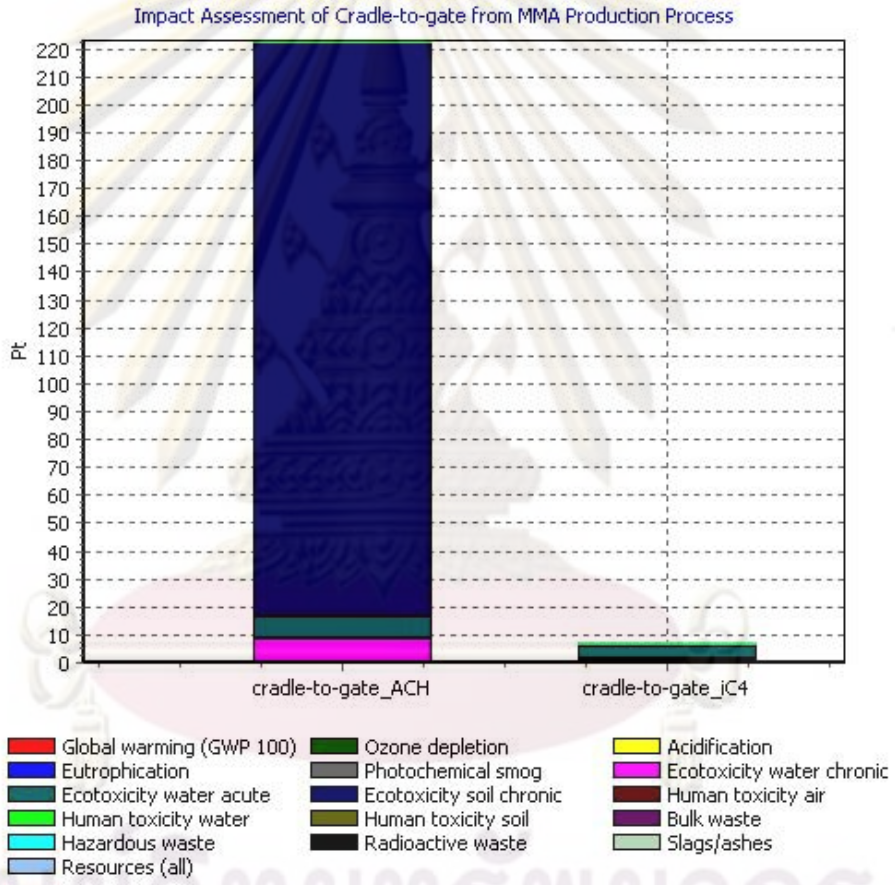


รูปที่ 4.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตจากกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตด้วยกระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน(ACH) จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตด้วยกระบวนการไอโซบิวเทน (iC4) ประมาณ 40 เท่า โดยกระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน(ACH) ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 223 Pt ส่วนกระบวนการไอโซบิวเทน(iC4) ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 5.34 Pt

ประเภทของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากกระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน (ACH) มากที่สุด คือ Ecotoxicity soil chronic ประมาณ 206 Pt รองลงมา คือ Ecotoxicity water chronic ประมาณ 8.92 Pt โดยมีสาเหตุหลักจากการปลดปล่อยอะซีโตน(Acetone) สู่สิ่งแวดล้อม ส่วนกระบวนการไอโซบิวเทน(iC4) จะส่งผลกระทบในประเภท Ecotoxicity water acute มากที่สุด ประมาณ 4.56 Pt ซึ่งมีสาเหตุจากการปลดปล่อยไซรีน(Xylene) สู่สิ่งแวดล้อม

4.1.2.3 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบกับขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต (Cradle-to-Gate)



รูปที่ 4.3 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบกับขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต (Cradle-to-Gate)

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบกับขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต(Cradle-to-Gate) จากกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตด้วยกระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน(ACH) จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากระบวนการ

ผลิตเมทิลเมทาคริเลตด้วยกระบวนการไอโซบิวเทน(iC4) ประมาณ 30 เท่า โดยกระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน(ACH) ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 223 Pt ส่วนกระบวนการไอโซบิวเทน(iC4) ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 7.08 Pt

ประเภทของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากกระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน (ACH) มากที่สุด คือ Ecotoxicity soil chronic ประมาณ 206 Pt รองลงมา คือ Ecotoxicity water chronic ประมาณ 8.92 Pt ส่วนกระบวนการไอโซบิวเทน(iC4) จะส่งผลกระทบในประเภท Ecotoxicity water acute มากที่สุด 5.12 Pt โดยสาเหตุหลักของทั้ง 2 กระบวนการนั้นเกิดจากขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต

4.2 การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตภายใต้ความไม่แน่นอน

ในงานวิจัยนี้การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตภายใต้ความไม่แน่นอนจะทำการพิจารณาถึงความไม่แน่นอนในส่วนของสภาพภูมิอากาศและร้อยละผลิตผลปฏิกิริยา โดยหน่วยการทำงาน (Functional unit) ของกระบวนการผลิต คือการผลิตเมทิลเมทาคริเลตปริมาณ 1 กิโลกรัม

4.2.1 การทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI)

การทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI)ของการผลิตเมทิลเมทาคริเลตปริมาณ 1 กิโลกรัม เมื่อทำการพิจารณาถึงความไม่แน่นอนในส่วนสภาพภูมิอากาศและร้อยละผลิตผลปฏิกิริยาจะส่งผลถึงปริมาณวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตและปริมาณของเสียที่ปลดปล่อยออกจากกระบวนการผลิต แสดงดังตารางที่ 4.3 และ 4.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 ปริมาณวัตถุดิบและพลังงานของกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตภายใต้ความไม่แน่นอน

Inventory	ACH route	iC4 route
Materials (kg)		
Acetone	1.0445 - 1.1191	
HCN	0.4928 - 0.5279	
H_2SO_4	1.2288 - 1.3165	
MeOH	0.4234 - 0.4536	0.4456 - 0.6435
iC4		14.6856 - 21.2086
O_2		16.1871 - 23.3771
H_2O	2.4772 - 2.6539	12.2088 - 17.6317
Xylene		8.2457 - 11.9083
Energy (heat, kJ)		
Steam	1428 - 1530	20170 - 29129
Utilities (kg)		
Cooling water	42.42 - 45.44	710.3 - 1025.8

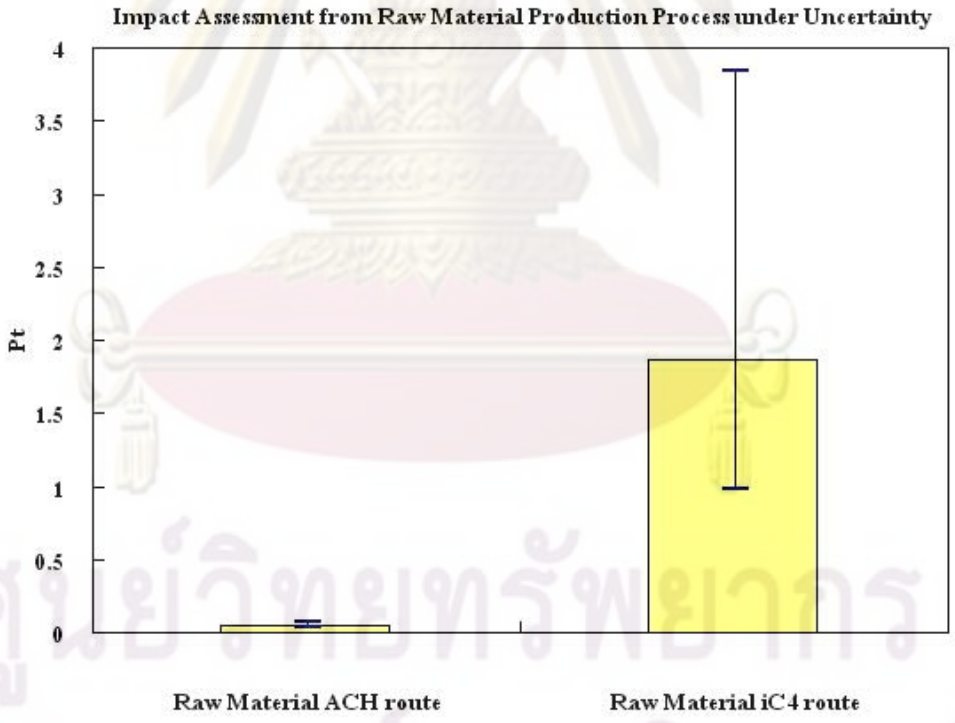
ตารางที่ 4.4 ปริมาณของเสียที่ปลดปล่อยออกจากกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตภายใต้ความไม่แน่นอน

Inventory	ACH route	Inventory	iC4 route
Emission (kg)		*Emission (kg)*	
Acetone	0.0560 - 0.1029	iC4	13.2066 - 19.3281
HCN	0.0355 - 0.0574	O_2	13.4578 - 19.9084
ACH	0.3100 - 0.4140	Methacrylic acid	0.2565 - 0.5432
H_2SO_4	0.0084 - 0.0170	Methacrolein	0.0168 - 0.0214
Methacrylamide sulfate	0.0688 - 0.2458	Acetic acid	0.3033 - 0.3855
MeOH	0.0340 - 0.0667	CO	0.2831 - 0.3596
Ammonium bisulfate	1.3906 - 1.3976	CO_2	1.0675 - 1.3558
H_2O	2.4681 - 2.6441	MeOH	0.0958 - 0.2805
		Xylene	8.2457 - 11.9083
		H_2O	13.7344 - 19.5249

4.2.2 การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)

จากขั้นตอนการทำบัญชีรายการ(Life Cycle Inventory: LCI) ที่แสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4 จะเห็นว่าเป็นลักษณะของช่วงข้อมูลที่ประกอบด้วยค่าน้อยที่สุดกับค่ามากที่สุด ดังนั้นในขั้นตอนการประเมินผลกระทบ(Life Cycle Impact Assessment: LCIA) จะทำการวิเคราะห์ปัญหาด้วยวิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โล**[17-21]** กล่าวคือ ทำการสุ่มตัวอย่างที่อยู่ในช่วงข้อมูลนั้นแล้วทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี EDIP โดยในงานวิจัยนี้จะทำการสุ่มตัวอย่างจำนวน 10,000 ครั้ง**[22-25]** ทำการแปลผลที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และแบ่งผลกระทบที่ศึกษาออกเป็น 3 ช่วง คือ ขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ, ขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต และขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบกับขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต (Cradle-to-Gate)

4.2.2.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบภายใต้ความไม่แน่นอน

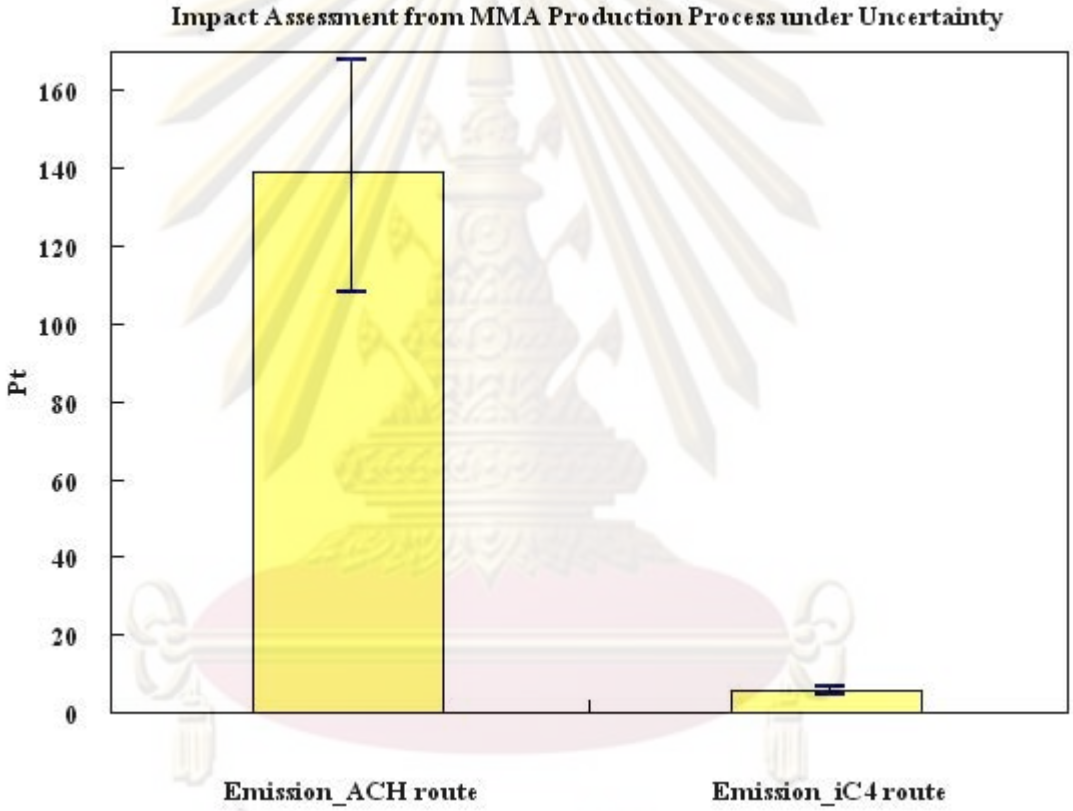


รูปที่ 4.4 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบภายใต้ความไม่แน่นอน

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบภายใต้ความไม่แน่นอนจากกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตด้วยกระบวนการไอโซบิวเทน(iC4) จะ

ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตด้วยกระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน(ACH) ที่ระดับความเชื่อมั่น 100 เปอร์เซ็นต์ โดยกระบวนการไอโซบิวเทน(iC4) มีความผันแปรได้ของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอยู่ในช่วงระหว่าง 0.98 - 3.84 Pt ส่วนกระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน(ACH) มีความผันแปรได้ของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอยู่ในช่วงระหว่าง 0.04 - 0.08 Pt

4.2.2.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตภายใต้ความไม่แน่นอน

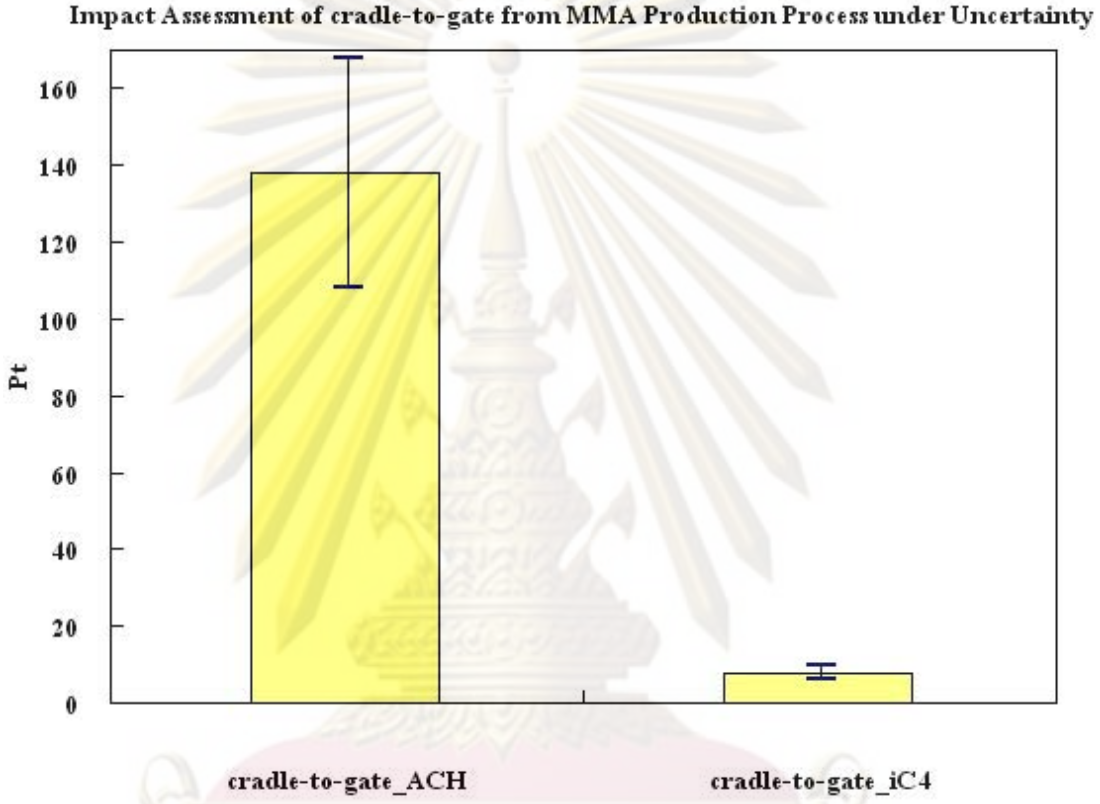


รูปที่ 4.5 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตภายใต้ความไม่แน่นอน

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตภายใต้ความไม่แน่นอนจากกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตด้วยกระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน(ACH) จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตด้วยกระบวนการไอโซบิวเทน(iC4) ที่ระดับความเชื่อมั่น 100 เปอร์เซ็นต์ โดยกระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน(ACH) มีความผันแปรได้ของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอยู่ในช่วงระหว่าง 108 - 168 Pt

ส่วนกระบวนการไอโซบิวเทน(iC4) มีความผันแปรได้ของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอยู่ในช่วงระหว่าง 4.74 – 6.58 Pt

4.2.2.3 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบกับขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตภายใต้ความไม่แน่นอน (Cradle-to-Gate)



รูปที่ 4.6 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบกับขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตภายใต้ความไม่แน่นอน (Cradle-to-Gate)

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบกับขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตภายใต้ความไม่แน่นอน(Cradle-to-Gate) จากกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตด้วยกระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน(ACH) จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตด้วยกระบวนการไอโซบิวเทน(iC4) ที่ระดับความเชื่อมั่น 100 เปอร์เซ็นต์ โดยกระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน(ACH) มีความผันแปรได้ของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอยู่ในช่วงระหว่าง 108 - 168 Pt ส่วนกระบวนการไอโซบิวเทน(iC4) มีความผันแปรได้ของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอยู่ในช่วงระหว่าง 6.09 - 9.59 Pt

4.3 การพัฒนากระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต

การพัฒนากระบวนการผลิตเพื่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมน้อยลงสามารถทำได้หลายวิธี อาทิเช่น การเปลี่ยนชนิดของวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกัน การเปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิงที่มีส่วนประกอบของซัลเฟอร์น้อยลง การเปลี่ยนชนิดของอุปกรณ์การผลิต เป็นต้น สำหรับงานวิจัยนี้จะนำหลักการออกแบบข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน(Heat exchanger network: HEN)**[26]** มาทำการพัฒนากระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตเพื่อลดการใช้พลังงาน ส่งผลทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมน้อยลง

4.3.1 การทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI)

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตด้วยกระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน(ACH)

Exchanger	Base-Case		Heat Exchanger Network	
	Steam	Cooling water	Steam	Cooling water
H1	228.46	-	109.50	-
H2	536.60	-	330.24	-
C1	-	2.93	-	-
C2	-	2.08	-	0.39
C3	-	19.79	-	19.79

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตด้วยกระบวนการไอโซบิวเทน(iC4)

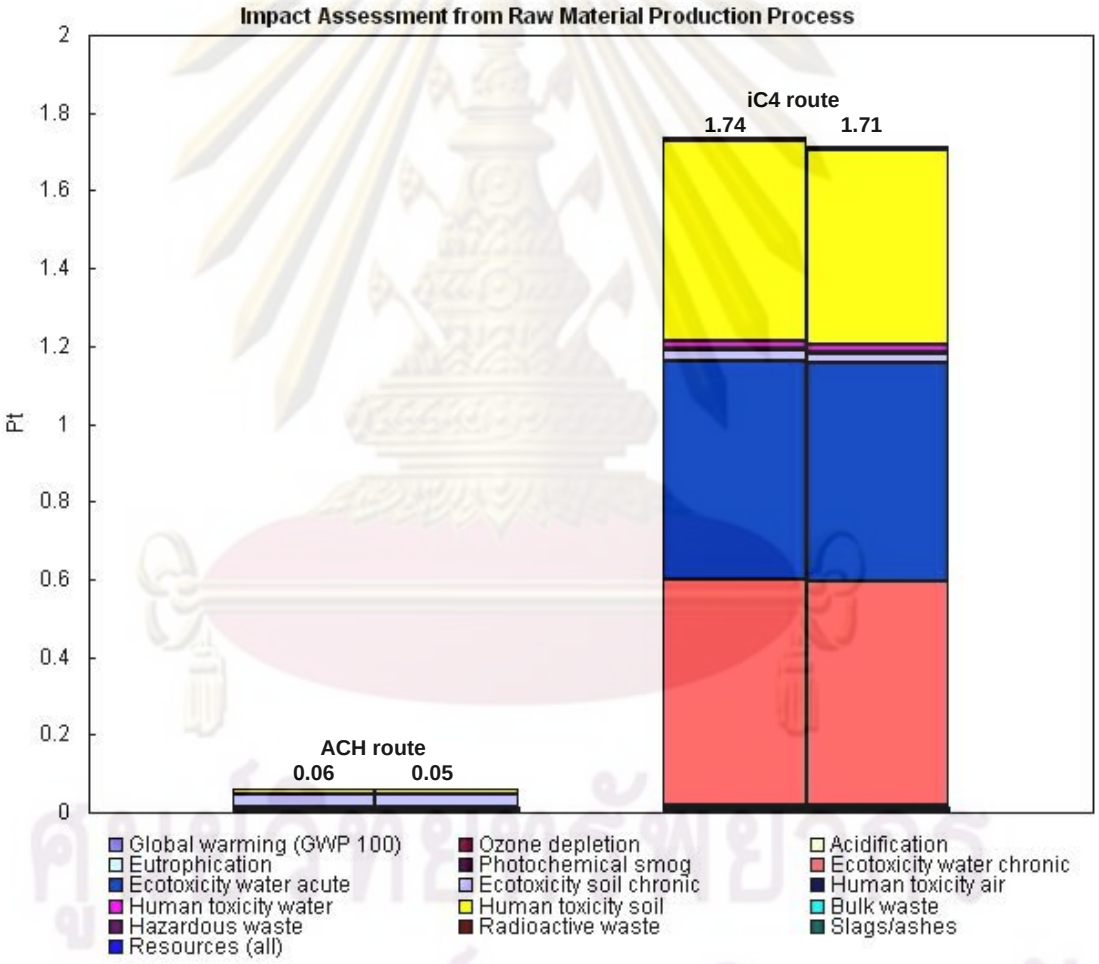
Exchanger	Base-Case		Heat Exchanger Network	
	Steam	Cooling water	Steam	Cooling water
H1	11915.20	-	635.70	-
H2	74.57	-	-	-
C1	-	176.56	-	16.41
C2	-	10.57	-	9.51

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2 การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)

งานวิจัยนี้จะทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี EDIP และแบ่งผลกระทบที่ศึกษาออกเป็น 3 ช่วง คือ ขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ, ขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต และขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบกับขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต (Cradle-to-Gate) เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการใช้พลังงานหลังจากนำหลักการออกแบบข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน(Heat exchanger network: HEN) มาทำการพัฒนากระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต

4.3.2.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ

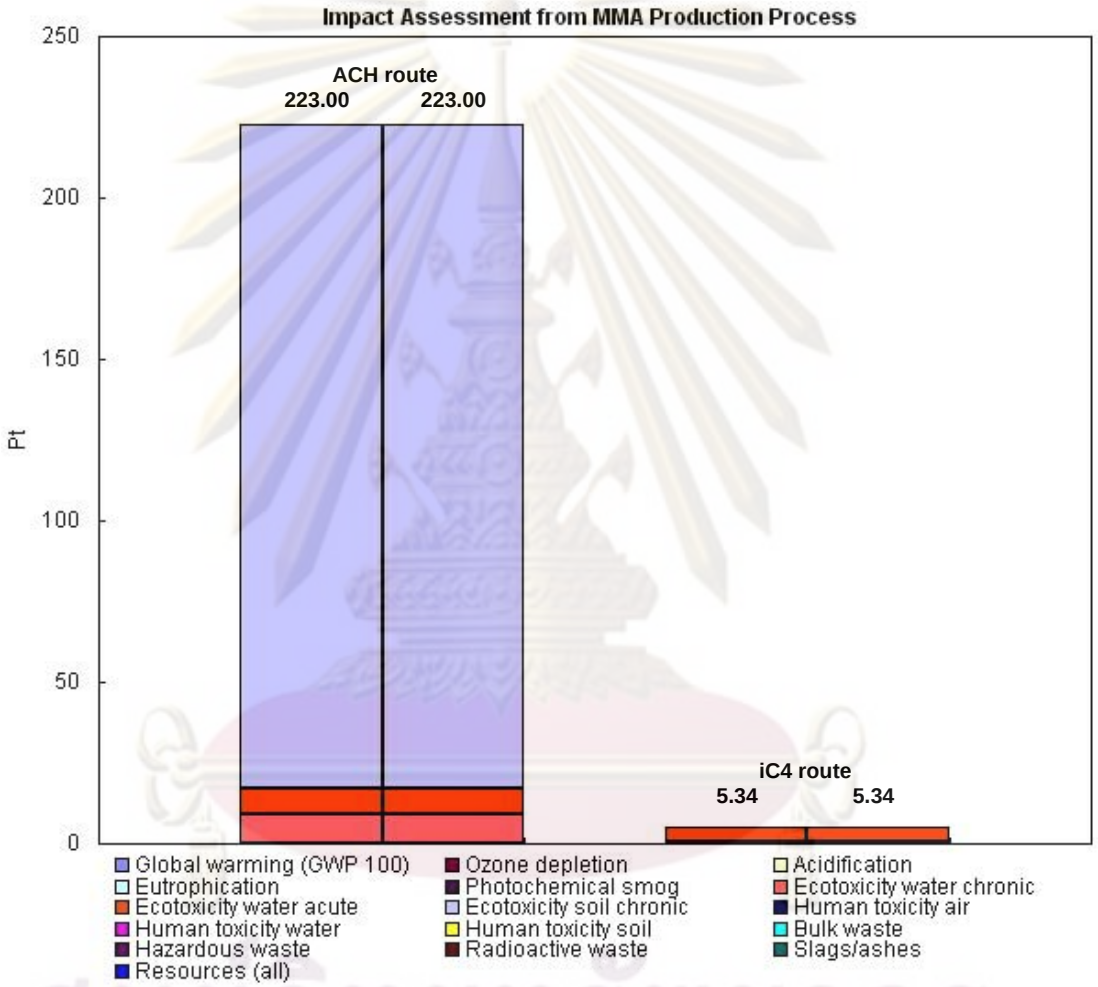


รูปที่ 4.7 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบจะลดลงเมื่อนำหลักการออกแบบข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน(Heat exchanger network: HEN) มา

ทำการพัฒนากระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต เนื่องจากเป็นการลดการใช้พลังงานในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละตัว โดยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน(ACH) จะลดลงประมาณ 0.01 Pt ส่วนกระบวนการไอโซบิวเทน(iC4)จะลดลงประมาณ 0.03 Pt

4.3.2.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต

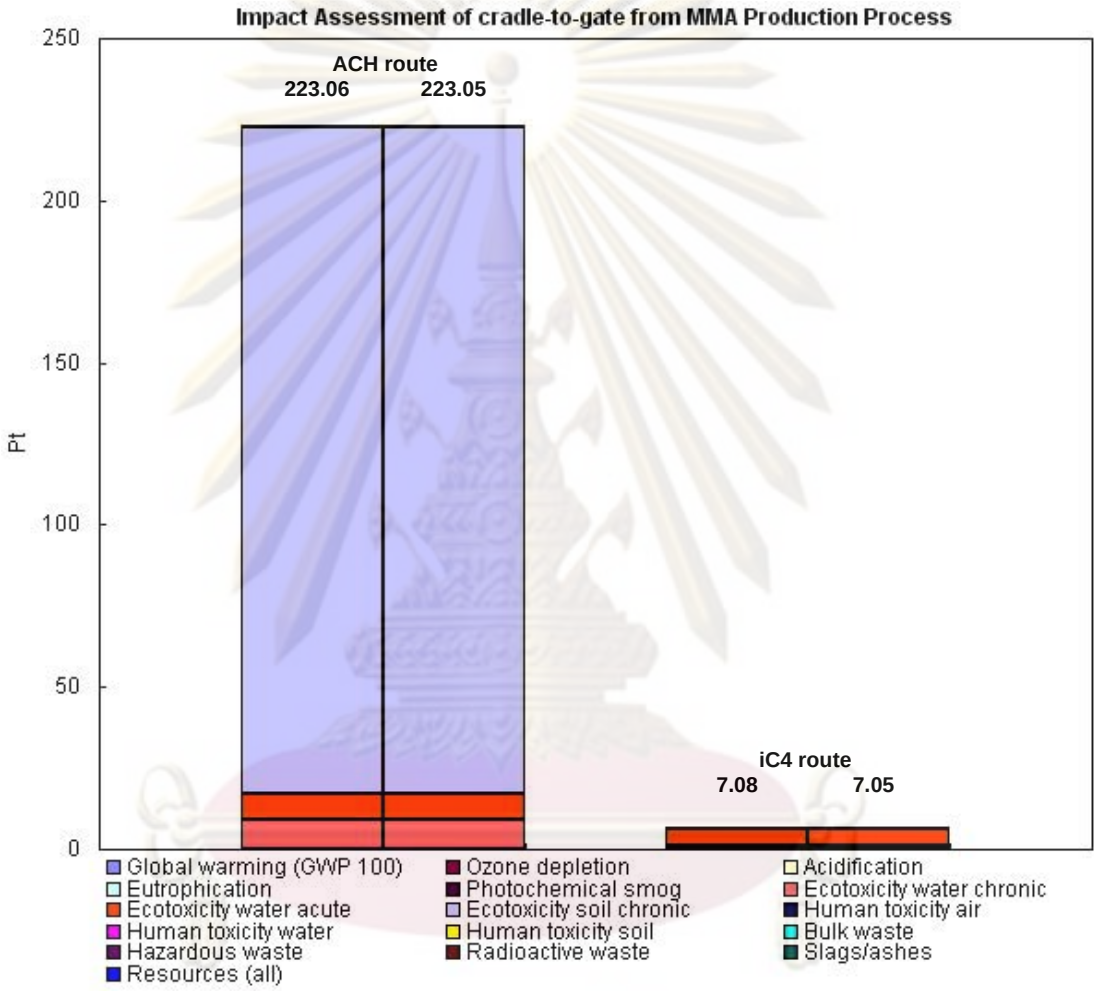


รูปที่ 4.8 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตหลังจากนำหลักการออกแบบข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน(Heat exchanger network: HEN) มาทำการพัฒนากระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตนั้นไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากการออกแบบข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นการใช้พลังงานในระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จึง

ส่งผลเพียงแค่ในขั้นตอนของการผลิตพลังงานเพื่อใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเท่านั้น แต่มิได้มีผลต่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต

4.3.2.3 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบกับขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต (Cradle-to-Gate)



รูปที่ 4.9 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบกับขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต (Cradle-to-Gate)

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบกับขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต(Cradle-to-Gate) ลดลงเมื่อนำหลักการออกแบบข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน(Heat exchanger network: HEN) มาทำการพัฒนากระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต โดยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน(ACH) กับกระบวนการไอโซบิวเทน(iC4)จะลดลงประมาณ 0.01 Pt และ 0.03 Pt ตามลำดับ

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA) เป็นเครื่องมือที่มีความเหมาะสมสำหรับการประเมินผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเป็นวิธีที่มุ่งเน้นการประเมินผลิตภัณฑ์โดยพิจารณารวมตลอดทั้งชีวิตของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังสามารถระบุสิ่งที่ควรปรับปรุง อันเป็นเป้าหมายของอุตสาหกรรมในการลดการใช้ทรัพยากรต่างๆ รวมถึงของเสียที่ถูกปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต เนื่องจากเมทิลเมทาคริเลตเป็นมอนอเมอร์ที่นิยมนำมาใช้ผลิตแผ่นพลาสติกอะครีลิคและนำไปประยุกต์ใช้เป็นแผ่นป้ายโฆษณา, อุปกรณ์ให้ความสว่าง และยานพาหนะ ซึ่งคาดการณ์ว่ามีความต้องการเมทิลเมทาคริเลตอย่างมากในอนาคตเห็นได้จากปริมาณผลผลิตที่สูงขึ้นเกือบ 2 เท่า ประมาณ 2.2 ล้านตันต่อปี ใน 15 ปีที่ผ่านมา เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตระหว่างกระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน(ACH) กับกระบวนการไอโซบิวเทน(iC4)ว่ากระบวนการใดส่งผลกระทบมากที่สุด

จากการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro® 6.0 โดยใช้วิธี EDIP ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบจากกระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตด้วยกระบวนการไอโซบิวเทน(iC4) จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตด้วยกระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน(ACH) ถึงแม้ว่ามีการพิจารณาความไม่แน่นอนแล้วก็ยังคงให้ผลกระทบเช่นเดิม เนื่องจากค่าร้อยละผลิตผลปฏิกิริยาขั้นแรกของกระบวนการไอโซบิวเทน(iC4) มีค่าน้อยส่งผลทำให้ต้องใช้สารตั้งต้นมากขึ้น

2) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตเมทิลเมทาคริเลตและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบ Cradle-to-Gate กระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน(ACH) จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากระบวนการไอโซบิวเทน(iC4) เนื่องจากสารเคมี

ที่ถูกปลดปล่อยออกจากกระบวนการอะซีโตนไซยาโนไฮดริน(ACH)นั้น มีความร้ายแรงมากกว่า ถึงแม้ว่ามีการพิจารณาความไม่แน่นอนแล้วก็ยังคงให้ผลกระทบเช่นเดิม

3) การนำหลักการออกแบบข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน(Heat exchanger network: HEN) มาพัฒนากระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต สามารถช่วยให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตพลังงานลดลงได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) เพื่อให้การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ควรขยายขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตเมทิลเมทาคริเลตเป็นแบบ “Cradle-to-Grave”

2) ในส่วนของการพัฒนากระบวนการผลิต ควรพิจารณาค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการพัฒนาเพื่อประกอบการพิจารณาศึกษาความเป็นไปได้

3) วิธีในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้ใช้วิธี EDIP ซึ่งจะมีค่า Factor ต่างๆ รวมทั้งการให้น้ำหนักความสำคัญกับผลกระทบในแต่ละประเภท ค่าเหล่านี้เป็นค่าที่มาจากกลุ่มประเทศทางยุโรป จึงควรทำการศึกษาและคำนวณใหม่เพื่อให้เป็นค่าที่เหมาะสมกับประเทศไทยมากที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] Rebitzer, G., et al. Life cycle assessment Part 1: Framework goal and scope definition inventory analysis and applications. Environment International 30 (2004): 701-720.

[2] Pennington, D.W., et al. Life cycle assessment Part 2: Current impact assessment practice. Environment International 30 (2004): 721-739.

[3] ฝ่ายธุรกิจและสิ่งแวดล้อม. คู่มือการจัดทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย เมืองทองธานี อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี, 2547.

[4] PRé Consultants. SimaPro. : http://www.pre.nl/simapro.htm, 2005.

[5] Wenzel, H., Hauschild, M., and Alting, L. Environmental Assessment of Products.Volume 1 - Methodology,Tools and Case Studies in Product Development. First edition. London: Chapman & Hall, 1997.

[6] Wenzel, H., and Hauschild, M. Environmental Assessment of Products. Volume 2 - Scientific background. First edition. London: Chapman & Hall, 1998.

[7] Hirokazu Sugiyama. Decision-making Framework for Chemical Process DesignIncluding Different Stages of Environmental, Health and Safety (EHS) Assessment. Doctoral dissertation, Institute for Chemical and Bioengineering Safety and Environmental Technology Group, ETH Zurich, 2007.

[8] Nagai, K. New developments in the production of methyl methacrylate. Applied Catalysis A:General 221 (2001): 367-377.

[9] Landfield, A.H., and Karra, V. Life cycle assessment of a rock crusher. Resources Conservation and Recycling 28 (2000): 207-217.

[10] Tukker, A. Life cycle assessment as a tool in environmental impact assessment. Environmental Impact Assessment Review 20 (2000): 435-456.

[11] Neri, P. Life Cycle assessment of an axial air compressor manufactured by the firm FINI COMPRESSOR. Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering 4193 (2001): 106-115.

[12] Nishioka, Y., et al. Integrating Risk Assessment and Life Cycle Assessment: A Case Study of Insulation. Risk Analysis 22 (2002): 1003-1017.

[13] Kirana Chomkumsri. Life Cycle Assessment of Electricity Generating(Thermal and Hydro Power Plant) of Thailand Using Simapro5.0. Master's Thesis, Department of Chemical Engineering, Kasetsart University, 2003.

[14] Surasak Witsalaphong. Life Cycle Assessment of Household Refrigerator. Master's Thesis, Department of Chemical Engineering, Kasetsart University, 2005.

[15] Asif, M., Muneer, T., and Kelley, R. Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland. Building and Environment 42 (2007): 1391-1394.

[16] Kiwjaroun, C., et al. LCA studies comparing biodiesel synthesized by conventional and supercritical methanol methods. Journal of Cleaner Production 17 (2009): 143-153.

[17] LaGrega, M.D., Buckingham, P.L., and Evans, J.C. Hazardous waste management. New York: McGraw-Hill, 1994.

[18] Sugiyama, H., et al. Using Standard Statistics to Consider Uncertainty in Industry-Based Life Cycle Inventory Databases. The International Journal of Life Cycle Assessment 10 (2005): 399-405.

[19] Refsgaard, J.C., et al. Uncertainty in the environmental modelling process e A framework and guidance. Environmental Modelling & Software 22 (2007): 1543-1556.

[20] José Alejandro Cano Ruiz. Decision Support Tools for Environmentally Conscious Chemical Process Design. Doctoral dissertation, Department of Chemical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 2000.

[21] Huijbregts, M.A.J. Application of uncertainty and variability in LCA (Part I)-a general framework for the analysis of uncertainty and variability in life cycle assessment. The International Journal of Life Cycle Assessment 3 (1998): 273-280.

[22] Refsgaard, J.C., et al. Uncertainty in the environmental modelling process - A framework and guidance. Environmental Modelling & Software 22 (2007): 1543-1556.

[23] Sonnemann, G.W., et al. Uncertainty assessment by a Monte Carlo simulation in a life cycle inventory of electricity produced by a waste incinerator. Journal of Cleaner Production 11 (2003): 279-292.

[24] Tan, R.R., et al. Assessing the sensitivity of water networks to noisy mass loads using Monte Carlo simulation. Computers & Chemical Engineering 31 (2007): 1355-1363.

[25] Sonnemann, G.W., et al. Framework for the uncertainty assessment in the Impact Pathway Analysis with an application on a local scale in Spain. Environment International 28 (2002): 9-18.

[26] Linnhoff, B., and Hindmarsh, E. The Pinch Design Method for Heat Exchanger Networks. Chemical Engineering Science 38 (1983): 745-763.

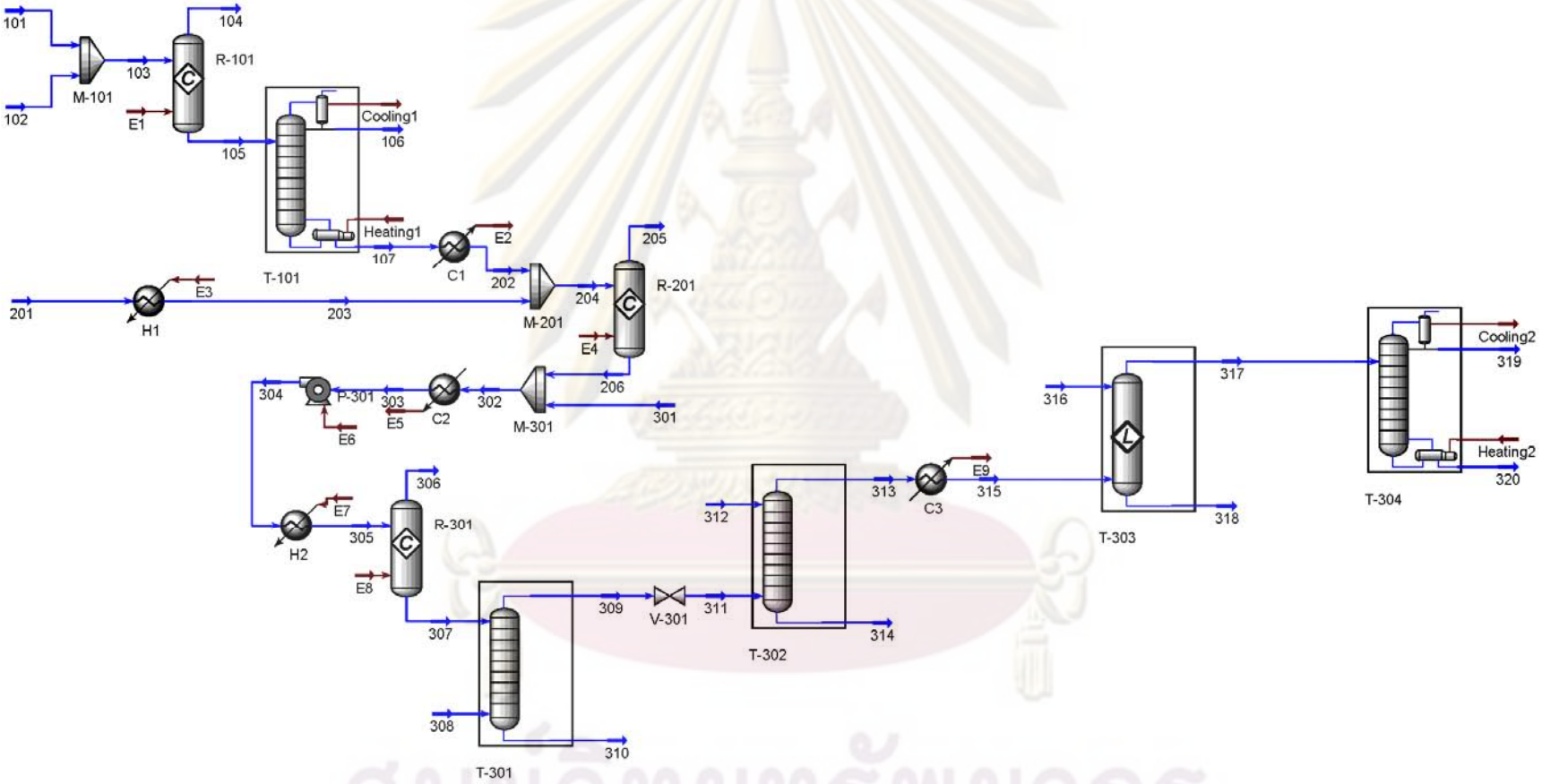
ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
แผนผังการจำลองกระบวนการ

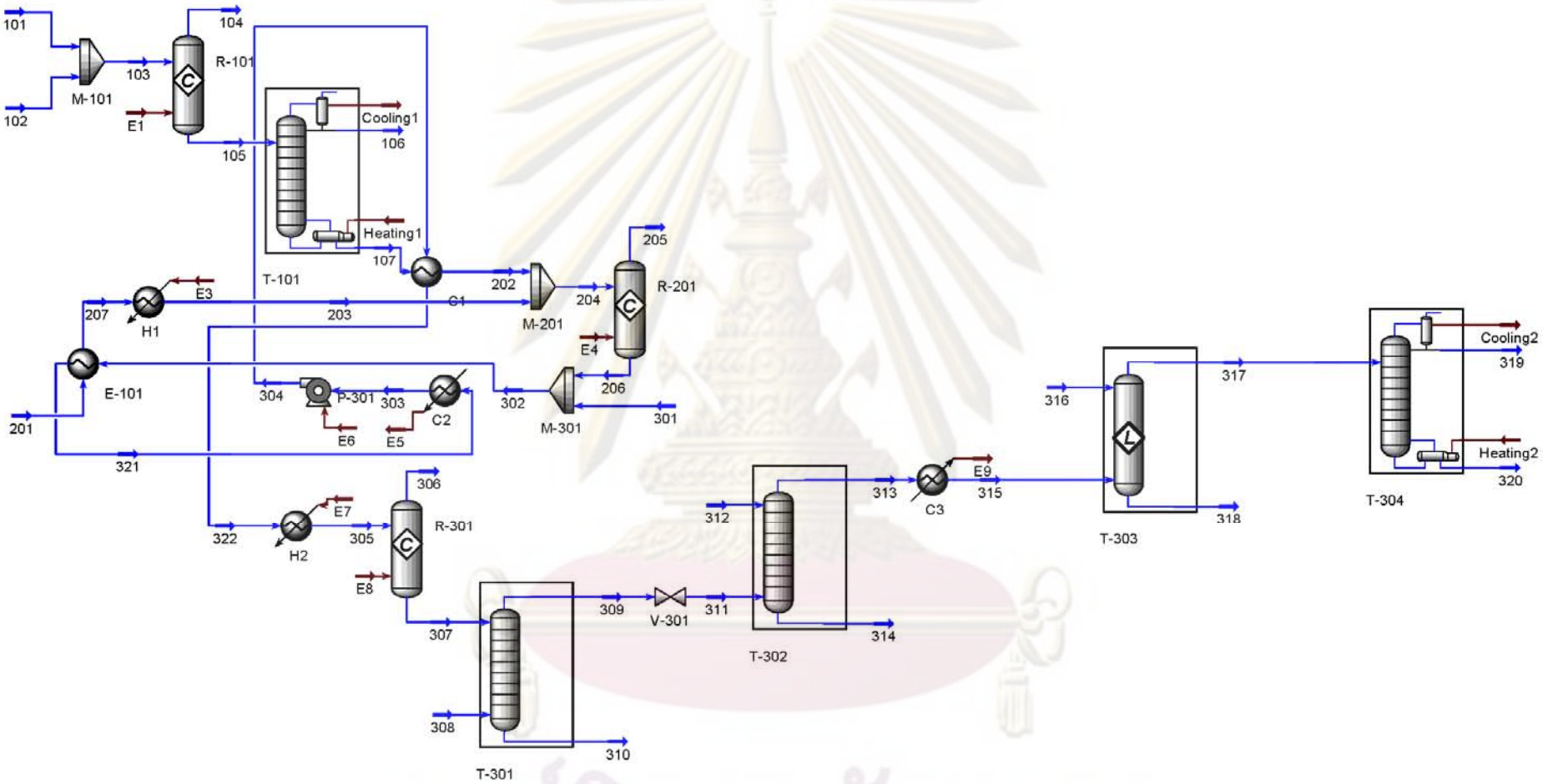
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก แผนผังการจำลองกระบวนการ



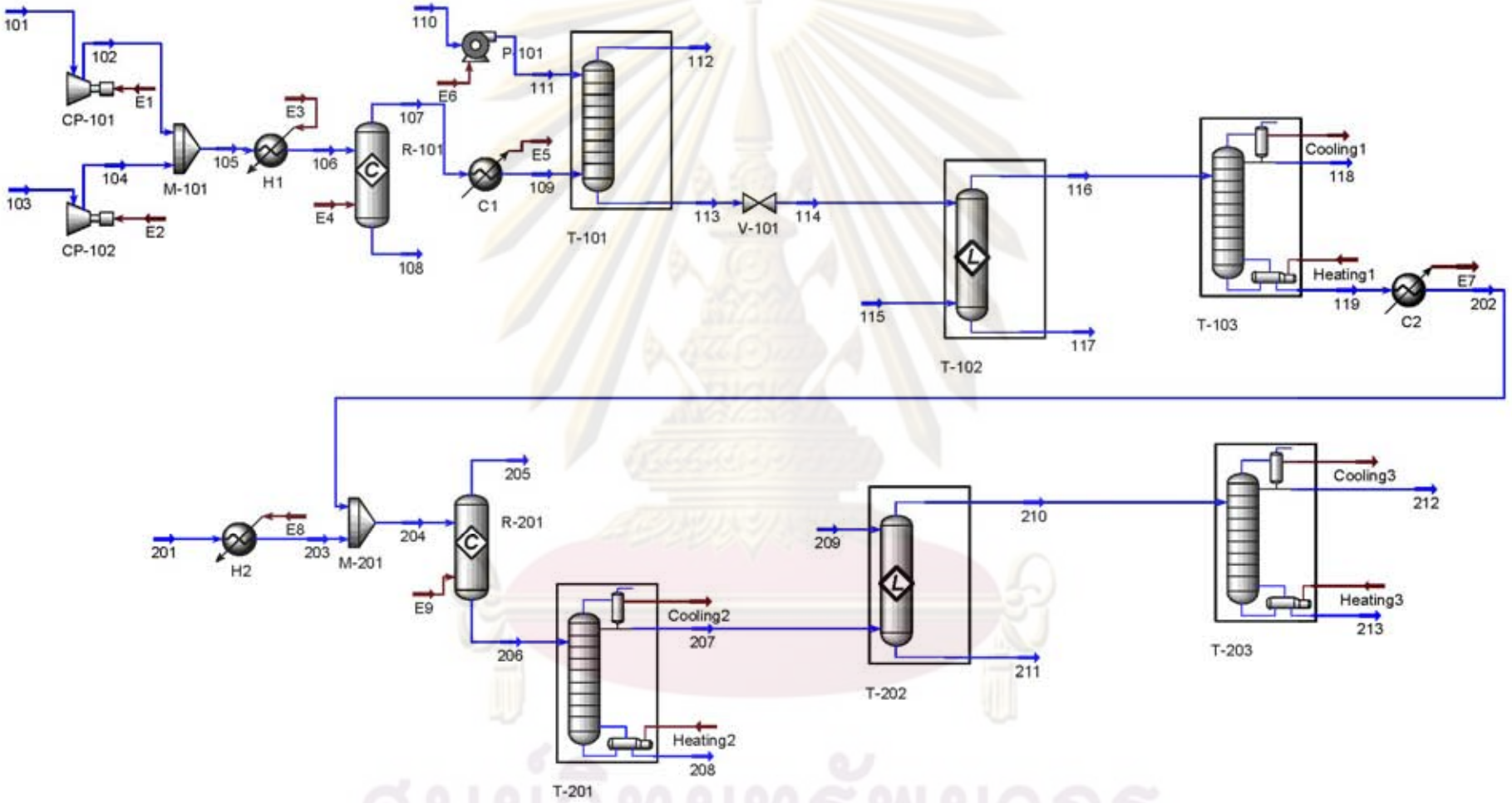
รูป ก1 แผนผังการจำลองกระบวนการ ACH

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



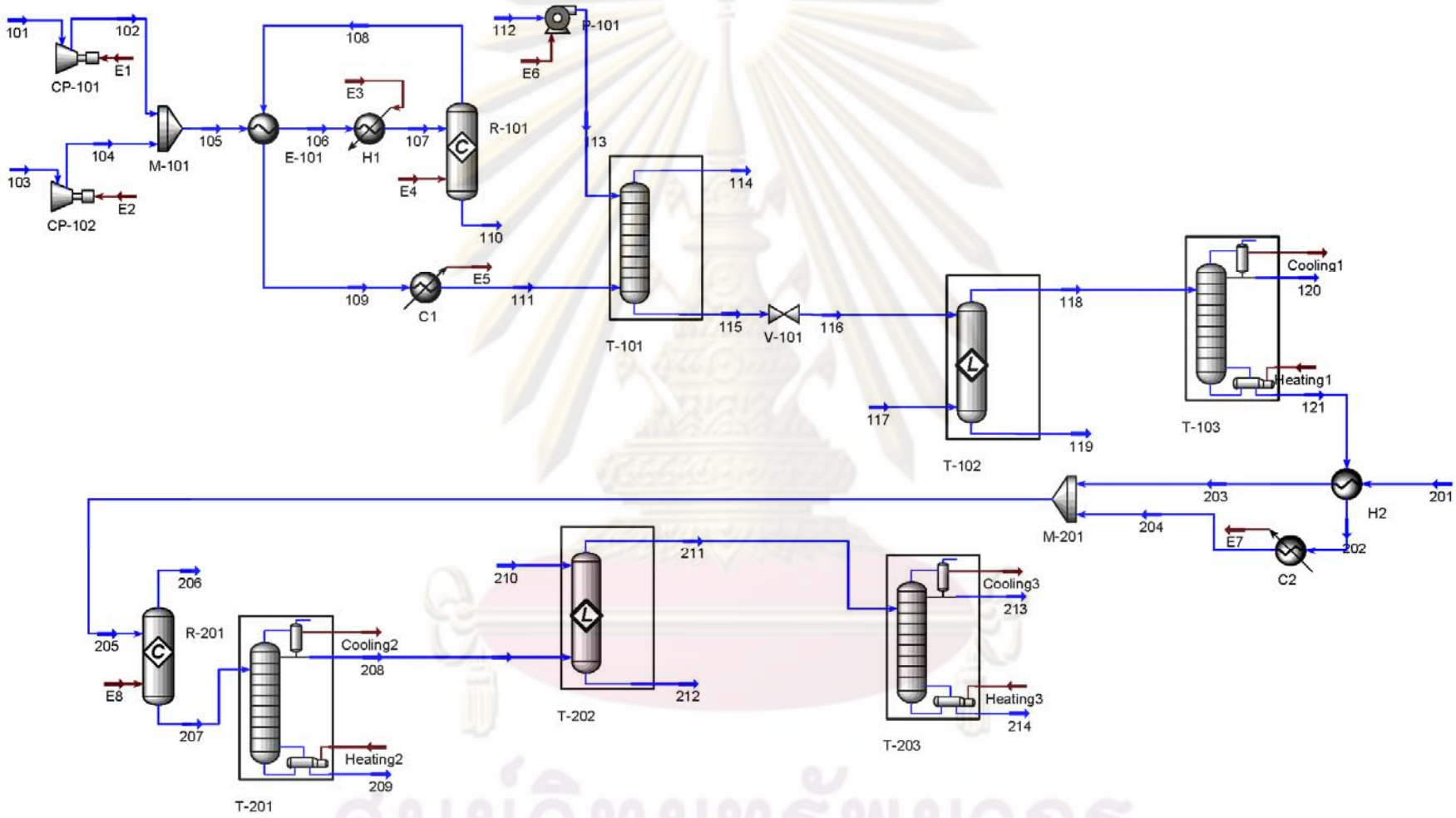
รูป ก2 แผนผังการจำลองการพัฒนากระบวนการ ACH ด้วยหลักการข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



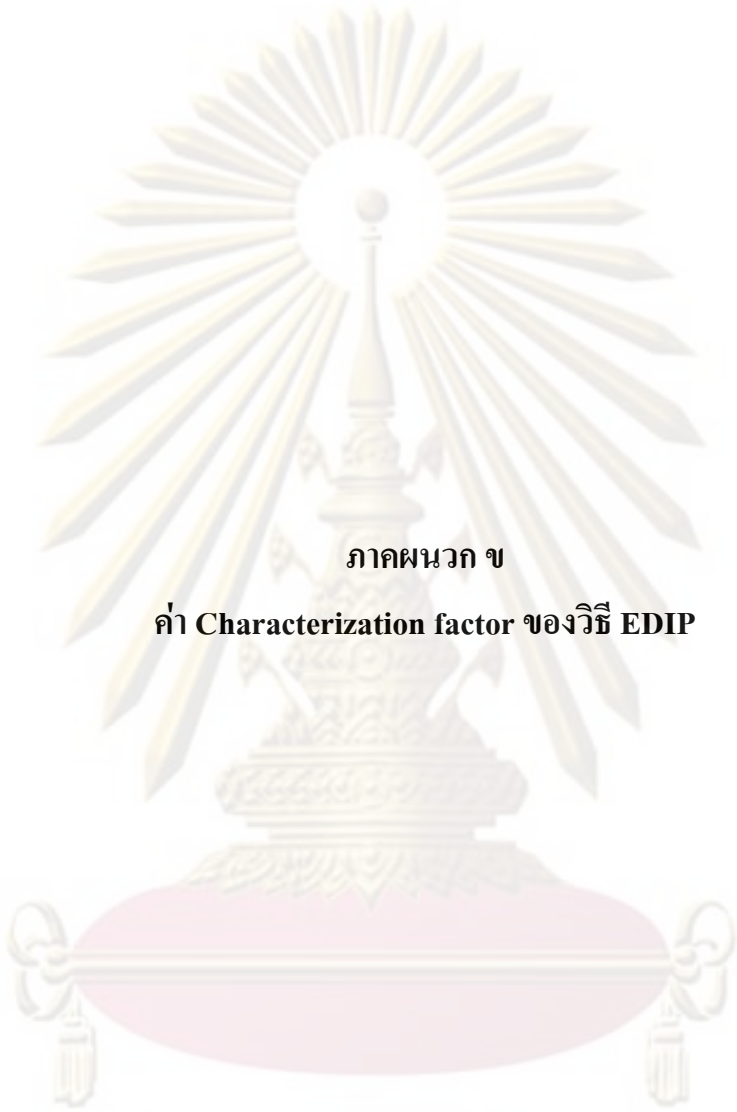
รูป ก3 แผนผังการจำลองกระบวนการ iC4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป ก4 แผนผังการจำลองการพัฒนากระบวนการ iC4 ด้วยหลักการข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

ค่า Characterization factor ของวิธี EDIP

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข ค่า Characterization factor ของวิธี EDIP

ตาราง ข1 ประเภทผลกระทบ Global warming (GWP 100)

Compartment	Substance	CAS number	Factor	Unit
Air	Acetic acid	000064-19-7	2	g CO_2 / g
Air	Acetic acid, trifluoro-	000076-05-1	1	g CO_2 / g
Air	Acetone	000067-64-1	2	g CO_2 / g
Air	Acrolein	000107-02-8	2	g CO_2 / g
Air	Aldehydes, unspecified		2	g CO_2 / g
Air	Ammonium carbonate	000506-87-6	2	g CO_2 / g
Air	Benzaldehyde	000100-52-7	2	g CO_2 / g
Air	Benzene	000071-43-2	3	g CO_2 / g
Air	Benzene, ethyl-	000100-41-4	3	g CO_2 / g
Air	Benzene, hexachloro-	000118-74-1	1	g CO_2 / g
Air	Benzene, pentachloro-	000608-93-5	1	g CO_2 / g
Air	Butadiene	000106-99-0	3	g CO_2 / g
Air	Butane	000106-97-8	3	g CO_2 / g
Air	Butene	025167-67-3	3	g CO_2 / g
Air	Carbon dioxide	000124-38-9	1	g CO_2 / g
Air	Carbon dioxide, biogenic	000124-38-9	1	g CO_2 / g
Air	Carbon dioxide, fossil	000124-38-9	1	g CO_2 / g
Air	Carbon monoxide	000630-08-0	2	g CO_2 / g
Air	Carbon monoxide, biogenic	000630-08-0	2	g CO_2 / g
Air	Carbon monoxide, fossil	000630-08-0	2	g CO_2 / g
Air	Chloroform	000067-66-3	5	g CO_2 / g
Air	Cumene	000098-82-8	3	g CO_2 / g
Air	Cyclobutane, octafluoro-	000115-25-3	9100	g CO_2 / g
Air	Dinitrogen monoxide	010024-97-2	320	g CO_2 / g
Air	Epichlorohydrin	000106-89-8	1	g CO_2 / g
Air	Ethane	000074-84-0	3	g CO_2 / g
Air	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	000075-37-6	140	g CO_2 / g
Air	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	000071-55-6	110	g CO_2 / g

Air	Ethane, 1,1,1-trifluoro-, HCFC-143a	000420-46-2	4400	g CO_2 / g
Air	Ethane, 1,1,2-trifluoro-, HFC-143	000430-66-0	290	g CO_2 / g
Air	Ethane, 1,1,2,2-tetrafluoro-, HFC-134	000359-35-3	1200	g CO_2 / g
Air	Ethane, 1,2-dichloro-	000107-06-2	1	g CO_2 / g
Air	Ethane, chloropentafluoro-, CFC-115	000076-15-3	9300	g CO_2 / g
Air	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	000076-16-4	12500	g CO_2 / g
Air	Ethane, pentafluoro-, HFC-125	000354-33-6	3200	g CO_2 / g
Air	Ethanol	000064-17-5	2	g CO_2 / g
Air	Ethene	000074-85-1	3	g CO_2 / g
Air	Ethene, chloro-	000075-01-4	1	g CO_2 / g
Air	Ethene, tetrachloro-	000127-18-4	1	g CO_2 / g
Air	Ethene, trichloro-	000079-01-6	1	g CO_2 / g
Air	Ethylene diamine	000107-15-3	2	g CO_2 / g
Air	Ethylene oxide	000075-21-8	2	g CO_2 / g
Air	Ethyne	000074-86-2	3	g CO_2 / g
Air	Formaldehyde	000050-00-0	3	g CO_2 / g
Air	Heptane	000142-82-5	3	g CO_2 / g
Air	Hexane	000110-54-3	3	g CO_2 / g
Air	Hexane, perfluoro-	000355-42-0	6800	g CO_2 / g
Air	Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated		3	g CO_2 / g
Air	Hydrocarbons, aromatic		3	g CO_2 / g
Air	Hydrocarbons, chlorinated		1	g CO_2 / g
Air	Hydrocarbons, partly oxidized		2	g CO_2 / g
Air	Hydrocarbons, unspecified		3	g CO_2 / g
Air	Isocyanic acid	000075-13-8	2	g CO_2 / g
Air	m-Xylene	000108-38-3	3	g CO_2 / g
Air	Methane	000074-82-8	25	g CO_2 / g
Air	Methane, biogenic	000074-82-8	25	g CO_2 / g
Air	Methane, bromo-, Halon 1001	000074-83-9	1	g CO_2 / g
Air	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	000075-63-8	5600	g CO_2 / g
Air	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	000075-45-6	1700	g CO_2 / g
Air	Methane, chlorofluoro-, HCFC-31	000593-70-4	1	g CO_2 / g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Air	Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	000075-72-9	11700	g CO_2 / g
Air	Methane, dichloro-, HCC-30	000075-09-2	9	g CO_2 / g
Air	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	000075-71-8	8500	g CO_2 / g
Air	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	000075-43-4	1	g CO_2 / g
Air	Methane, difluoro-, HFC-32	000075-10-5	580	g CO_2 / g
Air	Methane, fossil	000074-82-8	25	g CO_2 / g
Air	Methane, monochloro-, R-40	000074-87-3	25	g CO_2 / g
Air	Methane, tetrachloro-, CFC-10	000056-23-5	1400	g CO_2 / g
Air	Methane, tetrafluoro-, FC-14	000075-73-0	6300	g CO_2 / g
Air	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	000075-69-4	4000	g CO_2 / g
Air	Methane, trifluoro-, HFC-23	000075-46-7	12100	g CO_2 / g
Air	Methanol	000067-56-1	2	g CO_2 / g
Air	Monoethanolamine	000141-43-5	2	g CO_2 / g
Air	Nitrobenzene	000098-95-3	2	g CO_2 / g
Air	Paraffins	008002-74-2	3	g CO_2 / g
Air	Pentane	000109-66-0	3	g CO_2 / g
Air	Phenol	000108-95-2	2	g CO_2 / g
Air	Phenol, pentachloro-	000087-86-5	1	g CO_2 / g
Air	Polychlorinated biphenyls	001336-36-3	1	g CO_2 / g
Air	Propanal	000123-38-6	2	g CO_2 / g
Air	Propane	000074-98-6	3	g CO_2 / g
Air	Propene	000115-07-1	3	g CO_2 / g
Air	Propionic acid	000079-09-4	2	g CO_2 / g
Air	Propylene oxide	000075-56-9	2	g CO_2 / g
Air	Sodium formate	000141-53-7	2	g CO_2 / g
Air	Styrene	000100-42-5	3	g CO_2 / g
Air	Sulfur hexafluoride	002551-62-4	24900	g CO_2 / g
Air	t-Butyl methyl ether	001634-04-4	2	g CO_2 / g
Air	Toluene	000108-88-3	3	g CO_2 / g
Air	Xylene	001330-20-7	3	g CO_2 / g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข2 ประเภทผลกระทบOzone depletion

Compartment	Substance	CAS number	Factor	Unit
Air	Ethane, 1-chloro-1,1-difluoro-, HCFC-142	000075-68-3	0.05	g CFC11 / g
Air	Ethane, 1,1-dichloro-1-fluoro-, HCFC-141b	001717-00-6	0.1	g CFC11 / g
Air	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	000075-37-6	0	g CFC11 / g
Air	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	000071-55-6	0.12	g CFC11 / g
Air	Ethane, 1,1,1-trifluoro-, HCFC-143a	000420-46-2	0	g CFC11 / g
Air	Ethane, chloropentafluoro-, CFC-115	000076-15-3	0.4	g CFC11 / g
Air	Ethane, pentafluoro-, HFC-125	000354-33-6	0	g CFC11 / g
Air	Methane, bromo-, Halon 1001	000074-83-9	0.64	g CFC11 / g
Air	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	000075-63-8	12	g CFC11 / g
Air	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	000075-45-6	0.04	g CFC11 / g
Air	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	000075-71-8	0.82	g CFC11 / g
Air	Methane, monochloro-, R-40	000074-87-3	0.02	g CFC11 / g
Air	Methane, tetrachloro-, CFC-10	000056-23-5	1.2	g CFC11 / g
Air	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	000075-69-4	1	g CFC11 / g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข3 ประเภทผลกระทบAcidification

Compartment	Substance	CAS number	Factor	Unit
Air	Ammonia	007664-41-7	1.88	g SO_2 / g
Air	Ammonium carbonate	000506-87-6	0.67	g SO_2 / g
Air	Ammonium nitrate	006484-52-2	0.4	g SO_2 / g
Air	Ammonium, ion	014798-03-9	1.78	g SO_2 / g
Air	Hydrogen chloride	007647-01-0	0.88	g SO_2 / g
Air	Hydrogen fluoride	007664-39-3	1.6	g SO_2 / g
Air	Hydrogen sulfide	007783-06-4	1.88	g SO_2 / g
Air	Nitric acid	007697-37-2	0.51	g SO_2 / g
Air	Nitric oxide	010102-43-9	1.07	g SO_2 / g
Air	Nitrogen dioxide	010102-44-0	0.7	g SO_2 / g
Air	Nitrogen oxides	011104-93-1	0.7	g SO_2 / g
Air	Phosphoric acid	007664-38-2	0.98	g SO_2 / g
Air	Sulfur dioxide	007446-09-5	1	g SO_2 / g
Air	Sulfur oxides		1	g SO_2 / g
Air	Sulfur trioxide	007446-11-9	0.8	g SO_2 / g
Air	Sulfuric acid	007664-93-9	0.65	g SO_2 / g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข4 ประเภทผลกระทบEutrophication

Compartment	Substance	CAS number	Factor	Unit
Air	Acrylonitrile	000107-13-1	1.17	g NO_3 / g
Water	Acrylonitrile	000107-13-1	1.17	g NO_3 / g
Soil	Acrylonitrile	000107-13-1	1.17	g NO_3 / g
Air	Ammonia	007664-41-7	3.64	g NO_3 / g
Water	Ammonia	007664-41-7	3.64	g NO_3 / g
Soil	Ammonia	007664-41-7	3.64	g NO_3 / g
Water	Ammonia, as N	007664-41-7	3.64	g NO_3 / g
Air	Ammonium carbonate	000506-87-6	0.532	g NO_3 / g
Air	Ammonium nitrate	006484-52-2	0.328	g NO_3 / g
Soil	Ammonium nitrate	006484-52-2	0.328	g NO_3 / g
Air	Ammonium, ion	014798-03-9	3.44	g NO_3 / g
Water	Ammonium, ion	014798-03-9	3.44	g NO_3 / g
Soil	Ammonium, ion	014798-03-9	3.44	g NO_3 / g
Air	Cyanide	000057-12-5	2.38	g NO_3 / g
Water	Cyanide	000057-12-5	2.38	g NO_3 / g
Air	Ethylene diamine	000107-15-3	2.06	g NO_3 / g
Water	Ethylene diamine	000107-15-3	2.06	g NO_3 / g
Soil	Ethylene diamine	000107-15-3	2.06	g NO_3 / g
Air	Hydrazine	000302-01-2	3.88	g NO_3 / g
Water	Hydrazine	000302-01-2	3.88	g NO_3 / g
Soil	Hydrogen cyanide	000074-90-8	2.38	g NO_3 / g
Air	Nitrate	014797-55-8	1	g NO_3 / g
Water	Nitrate	014797-55-8	1	g NO_3 / g
Soil	Nitrate	014797-55-8	1	g NO_3 / g
Air	Nitric acid	007697-37-2	0.983	g NO_3 / g
Water	Nitric acid	007697-37-2	0.983	g NO_3 / g
Soil	Nitric acid	007697-37-2	0.983	g NO_3 / g
Air	Nitric oxide	010102-43-9	2.07	g NO_3 / g
Air	Nitrite	014797-65-0	1.35	g NO_3 / g
Water	Nitrite	014797-65-0	1.35	g NO_3 / g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Air	Nitrobenzene	000098-95-3	0.51	g NO_3 / g
Water	Nitrobenzene	000098-95-3	0.51	g NO_3 / g
Water	Nitrogen	007727-37-9	4.43	g NO_3 / g
Air	Nitrogen dioxide	010102-44-0	1.35	g NO_3 / g
Air	Nitrogen oxides	011104-93-1	1.35	g NO_3 / g
Water	Nitrogen oxides	011104-93-1	1.35	g NO_3 / g
Soil	Nitrogen oxides	011104-93-1	1.35	g NO_3 / g
Water	Nitrogen, organic bound	007727-37-9	4.43	g NO_3 / g
Air	Nitrogen, total		4.43	g NO_3 / g
Water	Nitrogen, total		4.43	g NO_3 / g
Soil	Nitrogen, total		4.43	g NO_3 / g
Air	Phosphate	014265-44-2	10.45	g NO_3 / g
Water	Phosphate	014265-44-2	10.45	g NO_3 / g
Soil	Phosphate	014265-44-2	10.45	g NO_3 / g
Air	Phosphoric acid	007664-38-2	10.12	g NO_3 / g
Water	Phosphoric acid	007664-38-2	10.12	g NO_3 / g
Soil	Phosphoric acid	007664-38-2	10.12	g NO_3 / g
Air	Phosphorus	007723-14-0	32.03	g NO_3 / g
Water	Phosphorus	007723-14-0	32.03	g NO_3 / g
Soil	Phosphorus	007723-14-0	32.03	g NO_3 / g
Water	Phosphorus compounds, unspecified		32.03	g NO_3 / g
Air	Phosphorus pentoxide	001314-56-3	13.9	g NO_3 / g
Water	Phosphorus pentoxide	001314-56-3	13.9	g NO_3 / g
Soil	Phosphorus pentoxide	001314-56-3	13.9	g NO_3 / g
Air	Phosphorus, total		32.03	g NO_3 / g
Water	Phosphorus, total		32.03	g NO_3 / g
Soil	Phosphorus, total		32.03	g NO_3 / g
Air	Pyrophosphate	002466-09-3	11.41	g NO_3 / g
Water	Pyrophosphate	002466-09-3	11.41	g NO_3 / g
Soil	Pyrophosphate	002466-09-3	11.41	g NO_3 / g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข5 ประเภทผลกระทบPhotochemical smog

Compartment	Substance	CAS number	Factor	Unit
Air	1-Butene	000106-98-9	1	g ethene / g
Air	1-Butene, 2-methyl-	000563-46-2	0.8	g ethene / g
Air	1-Butene, 3-methyl-	000563-45-1	0.9	g ethene / g
Air	Benzene	000071-43-2	0.2	g ethene / g
Air	Benzene, 1-propyl-	000103-65-1	0.5	g ethene / g
Air	Benzene, 1,2,3-trimethyl-	000526-73-8	1.2	g ethene / g
Air	Benzene, 1,2,4-trimethyl-	000095-63-6	1.2	g ethene / g
Air	Benzene, 1,3,5-trimethyl-	000108-67-8	1.1	g ethene / g
Air	Butene	025167-67-3	1	g ethene / g
Air	Carbon monoxide	000630-08-0	0.03	g ethene / g
Air	Ethane	000074-84-0	0.1	g ethene / g
Air	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	000071-55-6	0.001	g ethene / g
Air	Ethanol	000064-17-5	0.3	g ethene / g
Air	Ethene	000074-85-1	1	g ethene / g
Air	Ethene, tetrachloro-	000127-18-4	0.01	g ethene / g
Air	Ethene, trichloro-	000079-01-6	0.1	g ethene / g
Air	Ethers, unspecified		0.4	g ethene / g
Air	Ethyne	000074-86-2	0.2	g ethene / g
Air	Formaldehyde	000050-00-0	0.4	g ethene / g
Air	Heptane	000142-82-5	0.5	g ethene / g
Air	Heptane, 2-methyl-	000592-27-8	0.5	g ethene / g
Air	Hexane	000110-54-3	0.4	g ethene / g
Air	Hexane, 2-methyl-	000591-76-4	0.5	g ethene / g
Air	Hexane, 3-methyl-	000589-34-4	0.5	g ethene / g
Air	Isobutane	000075-28-5	0.3	g ethene / g
Air	Isobutanol	000078-83-1	0.3	g ethene / g
Air	Isobutene	000115-11-7	0.6	g ethene / g
Air	Isobutyl acetate	000110-19-0	0.3	g ethene / g
Air	Isobutyraldehyde	000078-84-2	0.6	g ethene / g
Air	Isopentane	000078-78-4	0.3	g ethene / g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Air	Isoprene	000078-79-5	0.8	g ethene / g
Air	Isopropyl acetate	000108-21-4	0.2	g ethene / g
Air	Ketones, unspecified		0.4	g ethene / g
Air	m-Xylene	000108-38-3	1	g ethene / g
Air	Methane	000074-82-8	0.007	g ethene / g
Air	Methane, biogenic	000074-82-8	0.007	g ethene / g
Air	Methane, dichloro-, HCC-30	000075-09-2	0.01	g ethene / g
Air	Methane, fossil	000074-82-8	0.007	g ethene / g
Air	Methanol	000067-56-1	0.1	g ethene / g
Air	Methyl ethyl ketone	000078-93-3	0.4	g ethene / g
Air	Nonane	000111-84-2	0.5	g ethene / g
Air	Nonane, 2-methyl	000871-83-0	0.4	g ethene / g
Air	o-Xylene	000095-47-6	0.7	g ethene / g
Air	Octane	000111-65-9	0.5	g ethene / g
Air	Octane, 2-methyl-	003221-61-2	0.5	g ethene / g
Air	p-Xylene	000106-42-3	0.9	g ethene / g
Air	Propanal	000123-38-6	0.6	g ethene / g
Air	Propane	000074-98-6	0.4	g ethene / g
Air	Propene	000115-07-1	1	g ethene / g
Air	Propylene glycol methyl ether	000107-98-2	0.5	g ethene / g
Air	Propylene glycol methyl ether acetate	000108-65-6	0.1	g ethene / g
Air	Toluene	000108-88-3	0.6	g ethene / g
Air	Toluene, 2-ethyl-	000611-14-3	0.7	g ethene / g
Air	Toluene, 3-ethyl-	000620-14-4	0.8	g ethene / g
Air	Toluene, 4-ethyl-	000622-96-8	0.7	g ethene / g
Air	Undecane	001120-21-4	0.4	g ethene / g
Air	Xylene	001330-20-7	0.891	g ethene / g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข6 ประเภทผลกระทบEcotoxicity water chronic

Compartment	Substance	CAS number	Factor	Unit
Air	Acetic acid	000064-19-7	0.08	m^3 / g
Water	Acetic acid	000064-19-7	0.4	m^3 / g
Soil	Acetic acid	000064-19-7	0	m^3 / g
Air	Acetic acid, butyl ester	000123-86-4	0.56	m^3 / g
Water	Acetic acid, butyl ester	000123-86-4	2.8	m^3 / g
Soil	Acetic acid, butyl ester	000123-86-4	0	m^3 / g
Air	Acetic acid, ethyl ester	000141-78-6	0.08	m^3 / g
Water	Acetic acid, ethyl ester	000141-78-6	0.41	m^3 / g
Soil	Acetic acid, ethyl ester	000141-78-6	0	m^3 / g
Air	Acetone	000067-64-1	4000	m^3 / g
Water	Acetone	000067-64-1	20000	m^3 / g
Soil	Acetone	000067-64-1	0	m^3 / g
Air	Acetone cyanohydrin	000075-86-5	2.56	m^3 / g
Water	Acetone cyanohydrin	000075-86-5	91.1	m^3 / g
Soil	Acetone cyanohydrin	000075-86-5	2.44	m^3 / g
Air	Ammonium sulfate	007783-20-2	0.119	m^3 / g
Water	Ammonium sulfate	007783-20-2	3.95	m^3 / g
Soil	Ammonium sulfate	007783-20-2	0.0622	m^3 / g
Water	Cobalt	007440-48-4	2000	m^3 / g
Soil	Cobalt	007440-48-4	0	m^3 / g
Air	Copper	007440-50-8	2500	m^3 / g
Soil	Copper	007440-50-8	0	m^3 / g
Water	Copper, ion	017493-86-6	13000	m^3 / g
Air	Cumene	000098-82-8	2.9	m^3 / g
Water	Cumene	000098-82-8	2.9	m^3 / g
Soil	Cumene	000098-82-8	2.9	m^3 / g
Air	Cyanide	000057-12-5	800	m^3 / g
Water	Cyanide	000057-12-5	800	m^3 / g
Air	Ethanol, diethylamino-	000100-37-8	0	m^3 / g
Water	Ethanol, diethylamino-	000100-37-8	13	m^3 / g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Soil	Ethanol, diethylamino-	000100-37-8	0	m^3 / g
Air	Ethene, tetrachloro-	000127-18-4	20	m^3 / g
Water	Ethene, tetrachloro-	000127-18-4	20	m^3 / g
Soil	Ethene, tetrachloro-	000127-18-4	20	m^3 / g
Air	Ethylene diamine	000107-15-3	0	m^3 / g
Water	Ethylene diamine	000107-15-3	0.87	m^3 / g
Soil	Ethylene diamine	000107-15-3	0	m^3 / g
Air	Hydrogen cyanide	000074-90-8	800	m^3 / g
Water	Hydrogen cyanide	000074-90-8	800	m^3 / g
Soil	Hydrogen cyanide	000074-90-8	800	m^3 / g
Air	Methanol	000067-56-1	0.01	m^3 / g
Water	Methanol	000067-56-1	0.05	m^3 / g
Soil	Methanol	000067-56-1	0	m^3 / g
Water	o-Xylene	000095-47-6	4	m^3 / g
Air	Phenol	000108-95-2	0	m^3 / g
Water	Phenol	000108-95-2	44	m^3 / g
Air	Sodium benzoate	000532-32-1	0.63	m^3 / g
Water	Sodium benzoate	000532-32-1	3.2	m^3 / g
Soil	Sodium benzoate	000532-32-1	0	m^3 / g
Air	Toluene	000108-88-3	4	m^3 / g
Water	Toluene	000108-88-3	4	m^3 / g
Soil	Toluene	000108-88-3	4	m^3 / g
Air	Triethanolamine	000102-71-6	0	m^3 / g
Water	Triethanolamine	000102-71-6	5.6	m^3 / g
Soil	Triethanolamine	000102-71-6	0	m^3 / g
Air	Triethyl amine	000121-44-8	0	m^3 / g
Water	Triethyl amine	000121-44-8	100	m^3 / g
Soil	Triethyl amine	000121-44-8	0	m^3 / g
Air	Xylene	001330-20-7	4	m^3 / g
Water	Xylene	001330-20-7	4	m^3 / g
Soil	Xylene	001330-20-7	4	m^3 / g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข7 ประเภทผลกระทบEcotoxicity water acute

Compartment	Substance	CAS number	Factor	Unit
Water	1-Butanol	000071-36-3	0.04	m^3 / g
Water	1H-Benzotriazole	000095-14-7	2	m^3 / g
Water	2-Propanol	000067-63-0	0.13	m^3 / g
Water	Acetic acid	000064-19-7	0.2	m^3 / g
Water	Acetic acid, butyl ester	000123-86-4	0.56	m^3 / g
Water	Acetic acid, ethyl ester	000141-78-6	0.21	m^3 / g
Water	Acetone	000067-64-1	10	m^3 / g
Water	Acetone cyanohydrin	000075-86-5	47.22022	m^3 / g
Water	Acrylamide	000079-06-1	0.029983	m^3 / g
Water	Ammonium sulfate	007783-20-2	0.622366	m^3 / g
Water	Anthracene	000120-12-7	10000	m^3 / g
Water	Arsenic, ion	017428-41-0	190	m^3 / g
Water	Atrazine	001912-24-9	670	m^3 / g
Water	Benzene	000071-43-2	10	m^3 / g
Water	Benzene, 1,2-dichloro-	000095-50-1	10	m^3 / g
Water	Benzene, chloro-	000108-90-7	100	m^3 / g
Water	Biphenyl	000092-52-4	100	m^3 / g
Water	Cadmium, ion	022537-48-0	12000	m^3 / g
Water	Chloroform	000067-66-3	10	m^3 / g
Water	Chromium VI	018540-29-9	67	m^3 / g
Water	Cobalt	007440-48-4	200	m^3 / g
Water	Copper, ion	017493-86-6	1300	m^3 / g
Water	Cumene	000098-82-8	7.1	m^3 / g
Water	Cyanide	000057-12-5	2000	m^3 / g
Water	Detergent, anionic		10	m^3 / g
Water	Dibutyltin oxide	000818-08-6	10000	m^3 / g
Water	Dichromate		32.3	m^3 / g
Water	Diethanolamine	000111-42-2	0.45	m^3 / g
Water	Diethylene glycol	000111-46-6	0.02	m^3 / g
Water	Diethylene glycol butyl ether	000112-34-5	0.19	m^3 / g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Water	Hydrogen cyanide	000074-90-8	2000	m^3 / g
Water	Hydrogen sulfide	007783-06-4	3300	m^3 / g
Water	m-Xylene	000108-38-3	10	m^3 / g
Water	Methanol	000067-56-1	0.03	m^3 / g
Water	Molybdenum	007439-98-7	200	m^3 / g
Water	Monoethanolamine	000141-43-5	13	m^3 / g
Water	Nickel, ion	014701-22-5	67	m^3 / g
Water	Nitrilotriacetic acid	000139-13-9	0.08	m^3 / g
Water	o-Xylene	000095-47-6	10	m^3 / g
Water	Phenol	000108-95-2	22	m^3 / g
Water	Propylene glycol	000057-55-6	0.01	m^3 / g
Water	Propylene oxide	000075-56-9	0.59	m^3 / g
Water	Selenium	007782-49-2	1400	m^3 / g
Water	Sodium benzoate	000532-32-1	1.6	m^3 / g
Water	Sodium hypochlorite	007681-52-9	27	m^3 / g
Water	Sodium nitrobenzenesulfonate	027215-71-0	0.04	m^3 / g
Water	Strontium	007440-24-6	1000	m^3 / g
Water	Styrene	000100-42-5	40	m^3 / g
Water	Sulfamic acid	005329-14-6	7	m^3 / g
Water	Triethanolamine	000102-71-6	1.1	m^3 / g
Water	Triethyl amine	000121-44-8	10	m^3 / g
Water	Vanadium, ion	022541-77-1	20	m^3 / g
Water	Xylene	001330-20-7	10	m^3 / g
Water	Zinc, ion	023713-49-7	100	m^3 / g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข8 ประเภทผลกระทบEcotoxicity soil chronic

Compartment	Substance	CAS number	Factor	Unit
Air	1-Butanol	000071-36-3	0.09	m^3 / g
Water	1-Butanol	000071-36-3	0	m^3 / g
Soil	1-Butanol	000071-36-3	0.11	m^3 / g
Air	Acetic acid	000064-19-7	0.79	m^3 / g
Water	Acetic acid	000064-19-7	0	m^3 / g
Soil	Acetic acid	000064-19-7	0.99	m^3 / g
Air	Acetone	000067-64-1	38000	m^3 / g
Water	Acetone	000067-64-1	0	m^3 / g
Soil	Acetone	000067-64-1	47000	m^3 / g
Air	Acetone cyanohydrin	000075-86-5	245.5001	m^3 / g
Water	Acetone cyanohydrin	000075-86-5	43.01839	m^3 / g
Soil	Acetone cyanohydrin	000075-86-5	230.9589	m^3 / g
Air	Acrylamide	000079-06-1	0.048684	m^3 / g
Water	Acrylamide	000079-06-1	7.96E-07	m^3 / g
Soil	Acrylamide	000079-06-1	0.371937	m^3 / g
Air	Ammonium sulfate	007783-20-2	11.38112	m^3 / g
Water	Ammonium sulfate	007783-20-2	1.09E-16	m^3 / g
Soil	Ammonium sulfate	007783-20-2	4.72924	m^3 / g
Air	Cyanide	000057-12-5	7600	m^3 / g
Water	Cyanide	000057-12-5	7600	m^3 / g
Air	Hydrogen cyanide	000074-90-8	7600	m^3 / g
Water	Hydrogen cyanide	000074-90-8	7600	m^3 / g
Soil	Hydrogen cyanide	000074-90-8	7600	m^3 / g
Air	Hydrogen sulfide	007783-06-4	0	m^3 / g
Water	Hydrogen sulfide	007783-06-4	0	m^3 / g
Soil	Hydrogen sulfide	007783-06-4	0	m^3 / g
Water	Hypochlorite	014380-61-1	0	m^3 / g
Air	Iron	007439-89-6	0.53	m^3 / g
Water	Iron	007439-89-6	0	m^3 / g
Soil	Iron	007439-89-6	0.66	m^3 / g

Water	Iron, ion	015438-31-0	0	m^3 / g
Air	Lead	007439-92-1	0.01	m^3 / g
Water	Lead	007439-92-1	0	m^3 / g
Soil	Lead	007439-92-1	0.01	m^3 / g
Water	m-Xylene	000108-38-3	0.4	m^3 / g
Water	Metallic ions, unspecified		0.000141	m^3 / g
Air	Metals, unspecified		0.18	m^3 / g
Air	Methacrylic acid, methyl ester	000080-62-6	0	m^3 / g
Water	Methacrylic acid, methyl ester	000080-62-6	0	m^3 / g
Soil	Methacrylic acid, methyl ester	000080-62-6	0.48	m^3 / g
Air	Methanol	000067-56-1	0.1	m^3 / g
Water	Methanol	000067-56-1	0	m^3 / g
Soil	Methanol	000067-56-1	0.12	m^3 / g
Water	o-Xylene	000095-47-6	0.4	m^3 / g
Air	Phenol	000108-95-2	0	m^3 / g
Water	Phenol	000108-95-2	0	m^3 / g
Soil	Phenol	000108-95-2	110	m^3 / g
Air	Vanadium	007440-62-2	0.34	m^3 / g
Soil	Vanadium	007440-62-2	0.43	m^3 / g
Water	Vanadium, ion	022541-77-1	0	m^3 / g
Air	Xylene	001330-20-7	0.4	m^3 / g
Water	Xylene	001330-20-7	0.4	m^3 / g
Soil	Xylene	001330-20-7	0.4	m^3 / g
Air	Zinc	007440-66-6	0.005	m^3 / g
Soil	Zinc	007440-66-6	0.007	m^3 / g
Water	Zinc, ion	023713-49-7	0	m^3 / g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข9 ประเภทผลกระทบHuman toxicity air

Compartment	Substance	CAS number	Factor	Unit
Air	1-Butanol	000071-36-3	13000	m^3 / g
Water	1-Butanol	000071-36-3	0	m^3 / g
Soil	1-Butanol	000071-36-3	0	m^3 / g
Air	Acetic acid	000064-19-7	10000	m^3 / g
Water	Acetic acid	000064-19-7	0	m^3 / g
Soil	Acetic acid	000064-19-7	0	m^3 / g
Air	Acetone	000067-64-1	32000	m^3 / g
Water	Acetone	000067-64-1	0	m^3 / g
Soil	Acetone	000067-64-1	0	m^3 / g
Air	Benzene	000071-43-2	10000000	m^3 / g
Water	Benzene	000071-43-2	10000000	m^3 / g
Soil	Benzene	000071-43-2	10000000	m^3 / g
Air	Carbon monoxide	000630-08-0	830	m^3 / g
Water	Carbon monoxide	000630-08-0	830	m^3 / g
Soil	Carbon monoxide	000630-08-0	830	m^3 / g
Air	Chlorine	007782-50-5	34000	m^3 / g
Water	Chlorine	007782-50-5	34000	m^3 / g
Soil	Chlorine	007782-50-5	34000	m^3 / g
Air	Chloroform	000067-66-3	100000	m^3 / g
Water	Chloroform	000067-66-3	100000	m^3 / g
Soil	Chloroform	000067-66-3	100000	m^3 / g
Air	Ethanol	000064-17-5	110	m^3 / g
Water	Ethanol	000064-17-5	0	m^3 / g
Air	Ethene, chloro-	000075-01-4	390000	m^3 / g
Water	Ethene, chloro-	000075-01-4	390000	m^3 / g
Soil	Ethene, chloro-	000075-01-4	390000	m^3 / g
Air	Hydrogen cyanide	000074-90-8	140000	m^3 / g
Water	Hydrogen cyanide	000074-90-8	140000	m^3 / g
Soil	Hydrogen cyanide	000074-90-8	140000	m^3 / g
Water	m-Xylene	000108-38-3	6700	m^3 / g

Water	Metallic ions, unspecified		179	m^3 / g
Air	Metals, unspecified		808000	m^3 / g
Air	Methacrylic acid	000079-41-4	45000	m^3 / g
Water	Methacrylic acid	000079-41-4	0	m^3 / g
Soil	Methacrylic acid	000079-41-4	0	m^3 / g
Air	Methacrylic acid, methyl ester	000080-62-6	10000000	m^3 / g
Water	Methacrylic acid, methyl ester	000080-62-6	0	m^3 / g
Soil	Methacrylic acid, methyl ester	000080-62-6	0	m^3 / g
Air	Methanol	000067-56-1	2500	m^3 / g
Water	Methanol	000067-56-1	0	m^3 / g
Air	Nitrogen oxides	011104-93-1	8600	m^3 / g
Water	Nitrogen oxides	011104-93-1	0	m^3 / g
Soil	Nitrogen oxides	011104-93-1	0	m^3 / g
Water	o-Xylene	000095-47-6	6700	m^3 / g
Air	Ozone	010028-15-6	50000	m^3 / g
Water	Ozone	010028-15-6	50000	m^3 / g
Soil	Ozone	010028-15-6	50000	m^3 / g
Air	Phenol	000108-95-2	1400000	m^3 / g
Water	Phenol	000108-95-2	0	m^3 / g
Air	Sulfur dioxide	007446-09-5	1300	m^3 / g
Water	Sulfur dioxide	007446-09-5	1300	m^3 / g
Soil	Sulfur dioxide	007446-09-5	1300	m^3 / g
Air	Toluene	000108-88-3	2500	m^3 / g
Water	Toluene	000108-88-3	2500	m^3 / g
Soil	Toluene	000108-88-3	2500	m^3 / g
Air	Xylene	001330-20-7	6700	m^3 / g
Water	Xylene	001330-20-7	6700	m^3 / g
Soil	Xylene	001330-20-7	6700	m^3 / g
Air	Zinc	007440-66-6	81000	m^3 / g
Soil	Zinc	007440-66-6	0	m^3 / g
Water	Zinc, ion	023713-49-7	0	m^3 / g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข10 ประเภทผลกระทบHuman toxicity water

Compartment	Substance	CAS number	Factor	Unit
Air	1-Butanol	000071-36-3	0.0014	m^3 / g
Water	1-Butanol	000071-36-3	0.0071	m^3 / g
Soil	1-Butanol	000071-36-3	0	m^3 / g
Air	Acetone	000067-64-1	8.5E-06	m^3 / g
Water	Acetone	000067-64-1	0.000043	m^3 / g
Soil	Acetone	000067-64-1	0	m^3 / g
Air	Benzene	000071-43-2	2.3	m^3 / g
Water	Benzene	000071-43-2	2.3	m^3 / g
Soil	Benzene	000071-43-2	2.3	m^3 / g
Air	Biphenyl	000092-52-4	1.4	m^3 / g
Water	Biphenyl	000092-52-4	7.1	m^3 / g
Soil	Biphenyl	000092-52-4	0	m^3 / g
Air	Chloroform	000067-66-3	0.054	m^3 / g
Water	Chloroform	000067-66-3	0.054	m^3 / g
Soil	Chloroform	000067-66-3	0.054	m^3 / g
Air	Chromium	007440-47-3	3.6	m^3 / g
Soil	Chromium	007440-47-3	0	m^3 / g
Air	Chromium VI	018540-29-9	3.6	m^3 / g
Water	Chromium VI	018540-29-9	18	m^3 / g
Soil	Chromium VI	018540-29-9	0	m^3 / g
Water	Chromium, ion	016065-83-1	18	m^3 / g
Air	Cobalt	007440-48-4	0.0025	m^3 / g
Water	Cobalt	007440-48-4	0.012	m^3 / g
Soil	Cobalt	007440-48-4	0	m^3 / g
Air	Copper	007440-50-8	3.4	m^3 / g
Soil	Copper	007440-50-8	0	m^3 / g
Water	Copper, ion	017493-86-6	17	m^3 / g
Air	Cumene	000098-82-8	0.21	m^3 / g
Water	Cumene	000098-82-8	0.21	m^3 / g
Soil	Cumene	000098-82-8	0.21	m^3 / g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Air	Cyanide	000057-12-5	0.0015	m^3 / g
Water	Cyanide	000057-12-5	0.0015	m^3 / g
Air	Hydrogen cyanide	000074-90-8	0.0015	m^3 / g
Water	Hydrogen cyanide	000074-90-8	0.0015	m^3 / g
Soil	Hydrogen cyanide	000074-90-8	0.0015	m^3 / g
Air	Hydrogen sulfide	007783-06-4	0.00081	m^3 / g
Water	Hydrogen sulfide	007783-06-4	0.0041	m^3 / g
Soil	Hydrogen sulfide	007783-06-4	0	m^3 / g
Air	Selenium	007782-49-2	28	m^3 / g
Water	Selenium	007782-49-2	140	m^3 / g
Soil	Selenium	007782-49-2	0	m^3 / g
Air	Thallium	007440-28-0	13000	m^3 / g
Water	Thallium	007440-28-0	65000	m^3 / g
Soil	Thallium	007440-28-0	0	m^3 / g
Air	Toluene	000108-88-3	0.004	m^3 / g
Water	Toluene	000108-88-3	0.004	m^3 / g
Soil	Toluene	000108-88-3	0.004	m^3 / g
Air	Triethanolamine	000102-71-6	0	m^3 / g
Water	Triethanolamine	000102-71-6	0.000084	m^3 / g
Soil	Triethanolamine	000102-71-6	0	m^3 / g
Air	Triethyl amine	000121-44-8	0	m^3 / g
Water	Triethyl amine	000121-44-8	0.23	m^3 / g
Soil	Triethyl amine	000121-44-8	0	m^3 / g
Air	Xylene	001330-20-7	0.0011	m^3 / g
Water	Xylene	001330-20-7	0.0011	m^3 / g
Soil	Xylene	001330-20-7	0.0011	m^3 / g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข11 ประเภทผลกระทบHuman toxicity soil

Compartment	Substance	CAS number	Factor	Unit
Air	2-Propanol	000067-63-0	0.0028	m^3 / g
Water	2-Propanol	000067-63-0	0	m^3 / g
Soil	2-Propanol	000067-63-0	0.0035	m^3 / g
Air	Acetone	000067-64-1	0.0041	m^3 / g
Water	Acetone	000067-64-1	0	m^3 / g
Soil	Acetone	000067-64-1	0.0052	m^3 / g
Air	Arsenic	007440-38-2	100	m^3 / g
Soil	Arsenic	007440-38-2	130	m^3 / g
Water	Arsenic, ion	017428-41-0	0	m^3 / g
Soil	Biphenyl	000092-52-4	0.0036	m^3 / g
Air	Cadmium	007440-43-9	4.5	m^3 / g
Soil	Cadmium	007440-43-9	5.6	m^3 / g
Air	Chromium	007440-47-3	1.1	m^3 / g
Soil	Chromium	007440-47-3	1.4	m^3 / g
Air	Chromium VI	018540-29-9	1.1	m^3 / g
Water	Chromium VI	018540-29-9	0	m^3 / g
Soil	Chromium VI	018540-29-9	1.4	m^3 / g
Water	Chromium, ion	016065-83-1	0	m^3 / g
Air	Cobalt	007440-48-4	0.17	m^3 / g
Water	Cobalt	007440-48-4	0	m^3 / g
Soil	Cobalt	007440-48-4	0.21	m^3 / g
Air	Hydrogen cyanide	000074-90-8	0.71	m^3 / g
Water	Hydrogen cyanide	000074-90-8	0.71	m^3 / g
Soil	Hydrogen cyanide	000074-90-8	0.71	m^3 / g
Air	Hydrogen sulfide	007783-06-4	0.26	m^3 / g
Water	Hydrogen sulfide	007783-06-4	0	m^3 / g
Soil	Hydrogen sulfide	007783-06-4	0.33	m^3 / g
Air	Mercury	007439-97-6	81	m^3 / g
Water	Mercury	007439-97-6	81	m^3 / g
Soil	Mercury	007439-97-6	81	m^3 / g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Air	Molybdenum	007439-98-7	1.5	m^3 / g
Water	Molybdenum	007439-98-7	0	m^3 / g
Soil	Molybdenum	007439-98-7	1.9	m^3 / g
Air	Nickel	007440-02-0	0.12	m^3 / g
Soil	Nickel	007440-02-0	0.15	m^3 / g
Air	Pentanone, methyl-	000108-10-1	0.12	m^3 / g
Water	Pentanone, methyl-	000108-10-1	0	m^3 / g
Soil	Pentanone, methyl-	000108-10-1	0.15	m^3 / g
Air	Silver	007440-22-4	4.2	m^3 / g
Water	Silver	007440-22-4	0	m^3 / g
Soil	Silver	007440-22-4	5.3	m^3 / g
Air	Sodium dichromate	010588-01-9	0.4367	m^3 / g
Air	Sodium hypochlorite	007681-52-9	0	m^3 / g
Water	Sodium hypochlorite	007681-52-9	0	m^3 / g
Soil	Sodium hypochlorite	007681-52-9	0.025	m^3 / g
Air	Thallium	007440-28-0	10	m^3 / g
Water	Thallium	007440-28-0	0	m^3 / g
Soil	Thallium	007440-28-0	13	m^3 / g
Air	Titanium	007440-32-6	0.38	m^3 / g
Soil	Titanium	007440-32-6	0.47	m^3 / g
Soil	Triethyl amine	000121-44-8	1.2	m^3 / g
Air	Vanadium	007440-62-2	0.96	m^3 / g
Soil	Vanadium	007440-62-2	1.2	m^3 / g
Air	Xylene	001330-20-7	0.000067	m^3 / g
Water	Xylene	001330-20-7	0.000067	m^3 / g
Soil	Xylene	001330-20-7	0.000067	m^3 / g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข12 ประเภทผลกระทบBulk waste

Compartment	Substance	CAS number	Factor	Unit
Waste	Aluminium waste		1	kg / kg
Waste	Bitumen waste		1	kg / kg
Waste	Bulk waste, unspecified		1	kg / kg
Waste	Calcium fluoride waste		1	kg / kg
Waste	Cardboard waste		1	kg / kg
Waste	Carton waste		1	kg / kg
Waste	Catalyst waste		1	kg / kg
Waste	Cathode iron ingots waste		1	kg / kg
Waste	Cathode loss		1	kg / kg
Waste	Chromium waste		1	kg / kg
Waste	Coal tailings		1	kg / kg
Waste	Construction waste		1	kg / kg
Waste	Copper absorbent waste		1	kg / kg
Waste	Copper waste		1	kg / kg
Waste	Electronic waste		1	kg / kg
Waste	Fluoride waste		1	kg / kg
Waste	Gas pipe waste		1	kg / kg
Waste	Glass waste		1	kg / kg
Waste	Ion exchanger sludge		1	kg / kg
Waste	Iron waste		1	kg / kg
Waste	Light bulb waste		1	kg / kg
Waste	Limestone waste		1	kg / kg
Waste	Metal waste		1	kg / kg
Waste	Mineral waste		1	kg / kg
Waste	Mineral waste, from mining		1	kg / kg
Waste	Mineral wool waste		1	kg / kg
Waste	Packaging waste, paper and board		1	kg / kg
Waste	Packaging waste, plastic		1	kg / kg
Waste	Packaging waste, steel		1	kg / kg
Waste	Packaging waste, unspecified		1	kg / kg

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Waste	Packaging waste, wood	1	kg / kg
Waste	Paint waste	1	kg / kg
Waste	Photovoltaic cell waste	1	kg / kg
Waste	Photovoltaic panel waste	1	kg / kg
Waste	Photovoltaic production waste	1	kg / kg
Waste	Photovoltaic/EVA cell waste	1	kg / kg
Waste	Plastic waste	1	kg / kg
Waste	Printed circuitboards waste	1	kg / kg
Waste	Process waste	1	kg / kg
Waste	Production waste	1	kg / kg
Waste	Production waste, not inert	1	kg / kg
Waste	Waste in bioactive landfill	1	kg / kg
Waste	Waste in incineration	1	kg / kg
Waste	Waste in inert landfill	1	kg / kg
Waste	Waste to recycling	1	kg / kg
Waste	Waste, final, inert	1	kg / kg
Waste	Waste, from drilling, unspecified	1	kg / kg
Waste	Waste, industrial	1	kg / kg
Waste	Waste, inorganic	1	kg / kg
Waste	Waste, solid	1	kg / kg
Waste	Waste, unspecified	1	kg / kg
Waste	Wood ashes	1	kg / kg
Waste	Wood waste	1	kg / kg
Waste	Wood, sawdust	1	kg / kg
Waste	Zeolite waste	1	kg / kg
Waste	Zinc waste	1	kg / kg

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข13 ประเภทผลกระทบHazardous waste

Compartment	Substance	CAS number	Factor	Unit
Waste	Asbestos		1	kg / kg
Waste	Bilge oil		1	kg / kg
Waste	Chemical waste, inert		1	kg / kg
Waste	Chemical waste, regulated		1	kg / kg
Waste	Chemical waste, unspecified		1	kg / kg
Waste	Electrostatic filter dust		1	kg / kg
Waste	Oil separator sludge		1	kg / kg
Waste	Oil waste		1	kg / kg
Waste	Refinery sludge		1	kg / kg
Waste	Waste, from incinerator		1	kg / kg
Waste	Waste, toxic		1	kg / kg

ตาราง ข14 ประเภทผลกระทบRadioactive waste

Compartment	Substance	CAS number	Factor	Unit
Waste	Waste, nuclear, unspecified/kg		1	kg / kg

ตาราง ข15 ประเภทผลกระทบSlags/ashes

Compartment	Substance	CAS number	Factor	Unit
Waste	Coal ash		1	kg / kg
Waste	Fly ash		1	kg / kg
Waste	Slags		1	kg / kg
Waste	Slags and ashes		1	kg / kg
Waste	Soot		1	kg / kg

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข16 ประเภทผลกระทบResources (all)

Compartment	Substance	CAS number	Factor	Unit
Raw	Aluminium, in ground	001318-16-7	0.0015	kg / kg
Raw	Antimony, in ground	007440-36-0	1	kg / kg
Raw	Beryllium, in ground	007440-41-7	26	kg / kg
Raw	Cadmium, in ground	007440-43-9	4.4	kg / kg
Raw	Cerium, in ground	007440-45-1	0.17	kg / kg
Raw	Cinnabar, in ground		7.84	kg / kg
Raw	Coal, 18 MJ per kg, in ground		0.00001	kg / kg
Raw	Coal, 26.4 MJ per kg, in ground		0.00001	kg / kg
Raw	Coal, 29.3 MJ per kg, in ground		0.00001	kg / kg
Raw	Coal, brown, in ground		0.00001	kg / kg
Raw	Cobalt, in ground	007440-48-4	0.98	kg / kg
Raw	Copper, in ground	007440-50-8	0.016	kg / kg
Raw	Gold, in ground	007440-57-5	87	kg / kg
Raw	Iron, in ground	007439-89-6	0.000085	kg / kg
Raw	Lanthanum, in ground	007439-91-0	0.31	kg / kg
Raw	Lead, in ground	007439-92-1	0.075	kg / kg
Raw	Manganese, in ground	007439-96-5	0.0067	kg / kg
Raw	Mercury, in ground	007439-97-6	9.1	kg / kg
Raw	Molybdenum, in ground	007439-98-7	0.25	kg / kg
Raw	Nickel, in ground	007440-02-0	0.11	kg / kg
Raw	Oil, crude, in ground		0.000039	kg / kg
Raw	Palladium, in ground	007440-05-3	140	kg / kg
Raw	Platinum, in ground	007440-06-4	120	kg / kg
Raw	Silver, in ground	007440-22-4	6.9	kg / kg
Raw	Stibnite, in ground	001317-86-8	0.717	kg / kg
Raw	Tantalum, in ground	007440-25-7	21	kg / kg
Raw	Tin, in ground	007440-31-5	0.93	kg / kg
Raw	Zinc, in ground	007440-66-6	0.036	kg / kg

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข17 ค่า Normalization กับค่า Weighting ของวิธี EDIP

Impact category	Normalization	Weighting
Global warming (GWP 100)	0.000000115	1.3
Ozone depletion	0.00495	23
Acidification	0.00000806	1.3
Eutrophication	0.00000336	1.2
Photochemical smog	0.00005	1.2
Ecotoxicity water chronic	0.00000213	2.3
Ecotoxicity water acute	0.0000208	2.3
Ecotoxicity soil chronic	0.0000333	2.3
Human toxicity air	1.09E-10	2.8
Human toxicity water	0.0000169	2.5
Human toxicity soil	0.00323	2.5
Bulk waste	0.000741	1.1
Hazardous waste	0.0483	1.1
Radioactive waste	28.6	1.1
Slags/ashes	0.00286	1.1
Resources (all)	1	1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายชินาธิปกรณ์ พงศ์ภิญโญภาพ เกิดเมื่อวันที่ 3 กรกฎาคม พ.ศ. 2526 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒในปีการศึกษา 2548 หลังจากนั้นในปีการศึกษา 2549 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2551

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย