การพัฒนากระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์โดยเครื่องมือการประเมินวัฏจักรชีวิตภายใต้ความไม่แน่นอน

นางสาวพิรญาณ์ สงวนเนตร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Miss Piraya Savuanned

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนากระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์โดยเครื่องมือการประเมินวัฏจักรชีวิตภายใต้ความไม่แน่นอน
โดย	นางสาวพิรญาณ์ สงวนเนตร
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

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

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

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

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิรญาณ์ สงวนเนตร : การพัฒนากระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์โดยเครื่องมือการประเมินวัฏจักรชีวิตภายใต้ความไม่แน่นอน. (DEVELOPMENT OF ACRYLONITRILE PRODUCTION PROCESS BY LIFE CYCLE ASSESSMENT TOOL UNDER UNCERTAINTY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร. ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : อ. ดร. สุรเทพ เขียวหอม, 126 หน้า.

ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ โดยขอบเขตที่พิจารณาตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนกลายเป็นผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาสามทางเลือกการผลิตที่แตกต่างกันได้แก่ 1.กระบวนการผลิตแบบทั่วไปซึ่งใช้โพรพิลีนเป็นสารตั้งต้น 2.กระบวนการผลิตซึ่งใช้โพรเพนเป็นสารตั้งต้นโดยมีสายป้อนกลับ และ 3.กระบวนการผลิตซึ่งใช้โพรเพนเป็นสารตั้งต้นโดยไม่มีสายป้อนกลับ โปรแกรมสำเร็จรูปถูกใช้เพื่อเลียนแบบกระบวนการทั้งสามเส้นทางและสร้างข้อมูลปริมาณวัตถุดิบ พลังงานที่ใช้ และปริมาณสารที่ออกจากกระบวนการผลิต และดัชนีสิ่งแวดล้อม Eco-indicator 99 ถูกใช้เพื่อประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษาพบว่าในขอบเขตของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบทางเลือกที่ 3 มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ส่วนในขอบเขตของขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์และในขอบเขตตั้งแต่การผลิตวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจนถึงขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ทางเลือกที่ 1 มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ส่วนทางเลือกที่ 2 มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดในทุกขอบเขต จากการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลและสภาวะการดำเนินการ ของทางเลือกที่ 1 และทางเลือกที่ 3 ในขอบเขตตั้งแต่การผลิตวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจนถึงขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ พบว่าทางเลือกที่ 1 มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าทางเลือกที่ 3 ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 91.7 การปรับปรุงกระบวนการโดยใช้ข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนส่งผลให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลดลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่อนิสิต พิรญาณ์ สงวนเนตร
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
ปีการศึกษา 2552	ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม สุรเทพ เขียวหอม

4970479421 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : LIFE CYCLE ASSESSMENT(LCA) / ACRYLONITRILE PROCESS

PIRAYA SAVUANNED : DEVELOPMENT OF ACRYLONITRILE PRODUCTION PROCESS BY LIFE CYCLE ASSESSMENT TOOL UNDER UNCERTAINTY .THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. CHAIRIT SATAYAPRASERT, Dr.Ing., THESIS CO-ADVISOR : SOORATHEP KHEAWHOM, Ph.D., 126 pp.

In this work, we apply the life cycle assessment (LCA) in order to evaluate environmental impacts of acrylonitrile production process. We consider three different production routes including 1) convention process using propylene as raw material, 2) the process using propane as raw material with recycle stream , and 3) the process using propane as raw material without recycle stream. Commercial simulation software is used to perform simulation and to obtain information on amount of raw material, energy consumed and material streams leaving the production process. Eco-indicator 99 is used as an indicator to quantify the environment impacts. The results show that alternative 3 has the lowest environmental impacts in the scope of raw materials production. In the scope of acrylonitrile production and cradle-to-gate, alternative 1 has the lowest environmental impacts. While, alternative 2 has the maximum impacts in all scope. In addition, the environmental impacts assessment under uncertainty of data and operating condition in the scope of cradle-to-gate is performed. It was found that alternative 1 has environmental impacts less than that of alternative 3 at 91.7% confidence level. Process improvement using heat exchanger network (HEN) can reduce environmental impacts.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Chemical Engineering Student's Signature Piraya Savuanned

Field of Study : Chemical Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2009 Co-Advisor's Signature Soorathep Kheawhom

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม อาจารย์ทีปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาในการทำงานวิจัยและให้ข้อคิดเห็นในการแก้ปัญหาต่างๆ และช่วยแก้ไขปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้อย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี(ประธานกรรมการ) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรเจิด จงสมจิตร(กรรมการ)และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพล เกียรติกิติพงษ์(กรรมการภายนอกมหาลัย)ที่กรุณาให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเพื่อนทุกคนที่เป็นสมาชิกในห้องปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมวัฏจักรชีวิต (LCE) ที่คอยให้คำสั่งสอน ข้อเสนอแนะ และกำลังใจในตลอดช่วงการทำงานวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายแล้วขอบขอพระคุณบิดาและมารดาที่คอยให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ตลอดของการทำงานวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... 3

1.6 เนื้อหาแต่ละบท..... 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

2.1 ความหมายการประเมินวัฏจักรชีวิต..... 5

2.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรของ

ผลิตภัณฑ์..... 6

2.2.1 กำหนดเป้าหมาย..... 7

2.2.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม..... 8

2.2.3 การประเมินผลกระทบของสิ่งแวดล้อม..... 9

2.2.4 การแปลผล..... 10

2.3 การประเมินวัฏจักรชีวิตร่วมกับการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิต..... 11

2.4 โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับประเมินวัฏจักรชีวิต..... 11

2.5 ข้อมูลทั่วไปของอะคริโลไนไทรล์..... 21

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

2.6 ลำดับการพัฒนากระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์..... 23
2.6.1 กระบวนการผลิตที่ใช้ในอดีต..... 23
2.6.2 กระบวนการผลิตที่ใช้ในปัจจุบัน..... 23
2.6.3 กระบวนการผลิตที่อยู่ภายใต้การพัฒนา..... 24
2.7 ทางเลือกของการผลิตอะคริโลไนไทรล์ที่ใช้ในการศึกษาในงานวิจัย..... 27
2.7.1 การผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรพิลีน (กรณี 1)..... 28
2.7.2 การผลิตอะครโลไนไทรด์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงต่ำ (กรณีที่ 2)..... 33
2.7.3 การผลิตอะครโลไนไทรด์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงสูง (กรณีที่3)..... 36
2.8 สารพิษที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิต..... 39
2.9 ผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้จากการผลิตอะคริโลไนไทรล์..... 39
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 40
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... 46
3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... 46
3.2 ข้อสมมุติฐานและข้อจำกัด..... 48
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์..... 50
4.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์แต่ละทางเลือกการผลิต..... 50
4.2 ผลการประเมินเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิตอะคริโลไนไทรล์..... 57
4.3 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตที่ภายใต้ความไม่แน่นอน..... 68
4.4 ผลการปรับปรุงกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์..... 72
บทที่ 5 .บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 77
5.1 บทสรุป..... 77
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 80
รายการอ้างอิง..... 81

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก..... 84
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 126

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	กลุ่มกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ศึกษาแต่ละดัชนีชี้วัด.....	15
2.2	แสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มเป้าหมายที่ถูกทำลาย ประเภทของผลกระทบและสสารที่เป็นปัจจัยของผลกระทบ.....	17
2.3	อธิบายลักษณะผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของแต่ละประเภทของผลกระทบทั้ง 11 ผลกระทบ.....	18
2.4	สัญลักษณ์ย่อของสารแต่ละตัวที่ใช้ในงานวิจัย.....	22
2.5	คุณสมบัติทางกายภาพของสารในกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์.....	22
2.6	ทางเลือกการผลิตอะคริโลไนไทรล์ที่ใช้การศึกษาในงานวิจัยนี้.....	27
4.1	ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอะคริโลไนไทรล์.....	51
4.2	ปริมาณผลิตภัณฑ์หลักและผลิตภัณฑ์พลอยได้.....	51
4.3	ปริมาณสารที่ปล่อยออกจากกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์.....	52
4.4	ปริมาณวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ที่ภายใต้ความไม่แน่นอน.....	69
4.5	ปริมาณผลิตภัณฑ์หลักและผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่ได้จากกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ที่ภายใต้ความไม่แน่นอน.....	69
4.6	ปริมาณสารที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ที่ภายใต้ความไม่แน่นอน.....	70
4.7	เปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิต.....	73

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต……	6
2.2	ตัวอย่างผังแสดงสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการ……	9
2.3	แสดงแนวคิดในการจัดทำ LCA โดยใช้ Eco-indicator 99……..	19
2.4	สัดส่วนการใช้ประโยชน์ของอะคริโลไนไทรล์……	21
2.5	Activity results corresponding to different propane ammoxidation catalysts……..	25
2.6	แนวโน้มราคาของโพรพิลีนและโพรเพน……	25
2.7	แผนผังของการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากโพรพิลีน……	28
2.8	แบบจำลองกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นโพรพิลีน(ทางเลือก 1)……	32
2.9	แผนผังการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่ำ…….....	34
2.10	แบบจำลองกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่ำ(ทางเลือกที่2)……	35
2.11	แผนผังการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนสูง ……..	37
2.12	แบบจำลองกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนสูง(ทางเลือกที่ 3)……..	38
3.1	ขอบเขตของงานวิจัยที่ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตของอะคริโลไนไทรล์……	46
3.2	ภาพรวมขั้นตอนการทำงานวิจัยในขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิต…….	48
4.1	ผลกระทบของการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรพิลีน (ทางเลือกที่1)……	54
4.2	ผลกระทบของการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่ำ(ทางเลือกที่ 2)……	55

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่		หน้า
4.3	ผลกระทบของการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนสูง(ทางเลือกที่3)……	56
4.4	เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบของการผลิตอะคริโลไนไทรล์ทั้งสามทางเลือก:กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์…..	58
4.5	เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบของการผลิตอะคริโลไนไทรล์ทั้งสามทางเลือก:กลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์……	59
4.6	เปรียบเทียบผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบของการผลิตอะคริโลไนไทรล์ทั้งสามทางเลือก:กลุ่มผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ……	59
4.7	เปรียบเทียบผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ:ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหน่วย Pt (กราฟคะแนนเดียว)……..	61
4.8	เปรียบเทียบผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ของทั้งสามทางเลือก: กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์……	62
4.9	เปรียบเทียบผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ของทั้งสามทางเลือก:กลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์……	63
4.10	เปรียบเทียบผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์: กลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหน่วย Pt (กราฟคะแนนเดียว)……	64
4.11	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ (cradle-to-gate): กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์……..	65
4.12	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์(cradle-to-gate): กลุ่มผลกระทบด้านระบบนิเวศน์…	66
4.13	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ (cradle-to-gate) : กลุ่มผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ……	66
4.14	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์(cradle-to-gate):กลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหน่วยPt (กราฟคะแนนเดียว)……..	68
4.15	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากโพรพิลีน (ทางเลือกที่1) และจากโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนสูง (ทางเลือกที่ 3) ที่ภายใต้ความไม่แน่นอน……..	71

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ หน้า

4.16 การวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของผลกระทบระหว่างทางเลือก1(A) กับทางเลือก 3(B)…… 72

4.17 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตอะคริโลไนไทรล์ทางเลือกที่ 1 ก่อนและหลังการทำ heat exchanger network (HEN)…….. 74

4.18 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตอะคริโลไนไทรล์ทางเลือกที่ 2 ก่อนและหลังการทำ heat exchanger network (HEN)……... 74

4.19 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตอะคริโลไนไทรล์ทางเลือกที่ 3 ก่อนและหลังการทำ heat exchanger network (HEN)……... 75

4.20 เปรียบเทียบผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบจนถึงขั้นการผลิตอะคริโลไนไทรล์ก่อนและหลังการพัฒนากระบวนการผลิตโดยการทำHEN…….. 76

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

อะคริโลไนไทรล์ เป็นสารเคมีซึ่งใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม เช่น ใช้เป็นพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ร่วม ในการผลิตไฟเบอร์พลาสติกใช้เป็น สารมัฐยันต์ ในการผลิตไนลอน นอกจากนี้ อะคริโลไนไทรล์ เป็นสารประกอบสำคัญที่เพิ่มความแข็งแรงให้แก่เรซิน เช่น ABS (acrylonitrile-butadiene-styrene) และ SAN (styrene-acrylonitrile) เนื่องจากอะคริโลไนไทรล์นั้นเป็นสารที่มีประโยชน์อย่างแพร่หลาย จึงทำให้มีความต้องการเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ในแต่ละปี ซึ่งดูได้จากกำลังการผลิตที่เพิ่มมากขึ้น โดยเมื่อคิดเทียบรายปีพบว่า กำลังการผลิตทั่วโลกเพิ่มขึ้นร้อยละ 3 ต่อปี [1] และในทางเอเชียนั้นคาดการว่าจะเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 2 ต่อปี จากปี 2005 ถึง 2008 [1] เมื่อกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งในกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์นั้นมีการปล่อยสารพิษหลายชนิดที่หลักๆ ได้แก่ ไฮโดรเจนไซยาไนต์ อะซิโตไนไทรล์ คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนนอกไซด์ สารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้ถ้าปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมจะทำให้มีผลกระทบทั้งต่อมนุษย์และต่อระบบนิเวศน์ ดังนั้นถ้าสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตลงได้ก็จะเป็นผลดีอย่างยิ่ง ซึ่งการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอาจทำโดย เลือกใช้วัตถุดิบ หรือเลือกเส้นทางการผลิตที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยสุด เป็นต้น

การผลิตอะคริโลไนไทรล์ในปัจจุบันผลิตจากสารตั้งต้นที่เป็นโพรพิลีนซึ่งเป็นกระบวนการของ Standard Oil Company of Ohio (Sohio) [1] โดยประมาณร้อยละ 95 ทั่วโลก นั้นจะผลิตอะคริโลไนไทรล์จากกระบวนการนี้ ซึ่งเริ่มขึ้นในปี ค.ศ. 1960 แต่เนื่องจากความแตกต่างด้านราคาของโพรพิลีนและโพรเพนมีมากขึ้น จึงมีผู้เริ่มให้ความสนใจที่จะผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นโพรพิลีนมาเป็นโพรเพนแทนเนื่องจากโพรเพนมีราคาที่ถูกกว่าโพรพิลีนมากขึ้นเรื่อยๆในแต่ละปี ซึ่งมีราคาต่ำกว่าโดยเฉลี่ยประมาณ 200 ดอลลาร์ต่อตัน และคาดว่าการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากโพรเพนนั้นจะทำให้ลดค่าใช้จ่ายได้ถึง 380 ดอลลาร์ต่อการผลิตอะคริโลไนไทรล์ 1 ตัน [2] เมื่อเทียบกับการผลิตจากโพรพิลีน จึงทำให้มีหลายงานวิจัยที่พยายามพัฒนาปฏิกิริยาการเกิดอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพน เพื่อให้ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาของผลิตภัณฑ์ได้ดี ซึ่งเริ่มมีการพัฒนาปี 1993 เป็นต้นมา แต่พบว่ายังไม่มีงานวิจัยใดที่ได้ศึกษาว่าการผลิตอะคริโลไน

ไทรล์จากสารตั้งต้นโพรพิลีนมาเป็นโพรเพนแทนนั้นจะทำให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้นมากขึ้นหรือลดลงอย่างไร ซึ่งการเปลี่ยนสารตั้งต้นในการผลิตนั้นผู้ผลิตจะมุ่งเน้นสมรรถนะทางด้านเศรษฐศาสตร์เพียงด้านเดียว ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากกระบวนการผลิตที่มีการใช้วัตถุดิบที่ต่างกัน โดยใช้โปรแกรม SimaPro® 6.0 ในการวิเคราะห์ผลกระทบ และทำการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลและสภาวะการดำเนินการ ซึ่งจะทำให้ทราบความแปรผันของค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมภายใต้ความไม่แน่นอนดังกล่าว ทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้หลักโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้มีการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพสูงที่สุดและศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลังจากการปรับปรุง

เนื่องจากการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นจะต้องการข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกของระบบที่จะทำการศึกษา สำหรับในงานวิจัยนี้ระบบที่ต้องศึกษาคือกระบวนการผลิตอะคริโลไทรล์ ซึ่งข้อมูล(ปริมาณวัตถุดิบ พลังงานที่ใช้ และสารที่ปล่อยออก)ที่จะนำมาประเมินนั้นไม่สามารถตรวจวัดโดยตรงได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการเลียนแบบกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์โดยใช้ โปรแกรมเลียนแบบกระบวนการผลิตคือ Hysys simulation version 3.1 โดยข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตนั้นได้มาจากสิทธิบัตรและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของทางเลือกการผลิตอะคริโลไนไทรล์โดยการศึกษาทำบนพื้นฐานร่วมกันของการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตและเครื่องมือการประเมินวัฏจักรชีวิต
2) เพื่อประเมินค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตเมื่อพิจารณาถึงความไม่แน่นอนของข้อมูลและสภาวะในการดำเนินการร่วมด้วย
3) เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์โดยใช้หลักการของโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิตนี้ เพื่อให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลดลง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ในงานวิจัยนี้ได้ประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตอะคริโลไนไทรล์ ที่มีการใช้วัตถุดิบและกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน คือจากสารตั้งต้นที่เป็นโพรพิลีนกับการผลิตจากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพน
2) ในการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นจะมีขอบเขตตั้งแต่ผลกระทบจากการใช้วัตถุดิบและผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการผลิต
3) พิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตที่ภายใต้ความไม่แน่นอนข้อมูลและสภาวะการดำเนินการ
4) พัฒนากระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยการทำโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1) ทราบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผลิตอะคริโลไนไทรล์
2) ทราบแนวทางในการพิจารณาเลือกกระบวนการผลิตที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยสุดในการผลิตอะคริโลไนไทรล์
3) ทราบความผันแปรของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผลิตอะคริโลไนไทรล์เมื่อมีการพิจารณาถึงความไม่แน่นอนของข้อมูลและสภาวะดำเนินการ

1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1) ศึกษาและค้นหาข้อมูลและทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์
2) พัฒนาแบบจำลองของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์โดย ใช้โปรแกรม HYSYS PLANT Version 3.1
3) ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ ที่มีทางเลือกของกระบวนการผลิตที่ต่างกัน โดยใช้โปรแกรม SimaPro 6.0
4) ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตเมื่อพิจารณาความไม่แน่นอนร่วมด้วย
5) ปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการทำโครงข่ายแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิต
6) สรุปผลการวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.6 เนื้อหาในแต่ละบท

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาสำหรับงานวิจัยนี้ และกล่าวถึงวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ขอบเขตของงานวิจัยที่ได้ศึกษา วิธีการดำเนินงานวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

บทที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้อง โดยอธิบายถึงหลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA และทฤษฎีอะคริโลไนไทรล์โดย จะกล่าวถึง คุณสมบัติของอะคริโลไนไทรล์ การประโยชน์ในอุตสาหกรรม ลำดับขั้นการพัฒนากระบวนการผลิตตั้งแต่อดีตที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน ทางเลือกที่ใช้ในการผลิต อธิบายกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์โดยได้อธิบายแต่ละหน่วยของกระบวนการผลิต นอกจากนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยต่างๆจากวารสารทางวิชาการ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

บทที่ 3 อธิบายถึงงานวิธีการดำเนินงานวิจัย โดยกล่าวถึงตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ขั้นตอนการวิจัย และวิธีที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต

บทที่ 4 เป็นส่วนของผลการดำเนินงานวิจัย ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตโดยใช้โปรแกรม Hysys Simulation ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณสารขาเข้า-ออก พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตของแต่ละทางเลือกการผลิต และผลการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro®6.0 ผลที่ได้จะแสดงผลเป็นกราฟที่เป็นผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ของแต่ละทางเลือกในการผลิต และผลการเปรียบเทียบผลกระทบด้านต่างๆ ที่เกิดจากการผลิตอะคริโลไนไทรล์ ที่มีการผลิตที่ต่างกัน ผลกราฟเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ภายใต้ความไม่แน่นอน และสุดท้ายได้การปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการทำการแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิต และผลการประเมินวัฏจักรชีวิตหลังจากพัฒนากระบวนการผลิตโดยการแลกเปลี่ยนความร้อน

บทที่ 5 จะกล่าวสรุปถึงวิธีที่ใช้ในการผลิตแบบใดที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และ รวมถึงข้อเสนอแนะของการทำวิจัยนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิต(Life Cycle Assessment: LCA)เป็นกระบวนการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์หรือกิจกรรม โดยจะจำแนกปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงการพิจารณาของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยจะทำการประเมินผลกระทบจากการใช้พลังงานและวัตถุดิบที่ใช้และผลกระทบที่ปล่อยออกเพื่อที่จะประเมินโอกาสที่จะปรับปรุงสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้น โดยการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นขั้นตอนการทำงานที่บรรจุอยู่ในมาตรฐาน International Standard for Organization (ISO) 14000 ซึ่งเป็นมาตรฐานการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม(Environmental Management Standard) อนุกรมของ ISO14000 ที่เกี่ยวข้องกับ LCA คือ

1. Goal Definition and scoping	Goal and Scope Definition (ISO 14041)
2. Inventory Analysis	Inventory Analysis (ISO14041)
3. Impact Assessment	Impact Assessment (ISO14042)
4. Improvement Assessment	Interpretation (ISO14043)

2.1.1 ขั้นตอนโดยทั่วไปของการประเมินวัฏจักรชีวิต

1. ระบุปริมาณของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทุกขั้นตอนที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา
2. หาค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ได้จากการระบุปริมาณที่ได้จากขั้นตอนแรก
3. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการหาค่าผลกระทบ เพื่อที่จะหาประเมินหาโอกาสที่จะปรับปรุงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

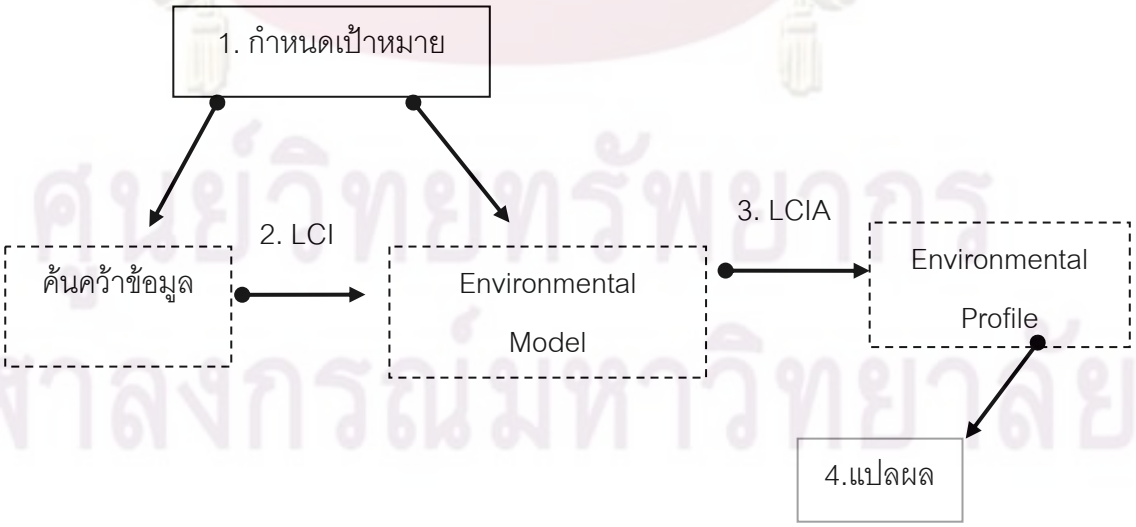
2.1.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากการประเมินวัฏจักรชีวิต

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

2.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์

โครงการด้านสิ่งแวดล้อมของสหประชาชาติ(UNEP) ได้มีการแบ่งขั้นตอนการประเมินผลกระทบเป็น 4 ขั้นตอนหลัก **[3]** คือดังรูปที่ 2.1

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



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.1 **กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของผลิตภัณฑ์การศึกษา** (Goal and Scope Definition)

การประเมินวัฏจักรชีวิตจะต้องทราบว่าจะต้องการศึกษาอะไรและจะศึกษาอย่างไร โดยผลการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นจะมีประโยชน์มากน้อยเพียงใดนั้นจะขึ้นกับการกำหนดขอบเขตและเป้าหมายการกำหนดขอบเขตเป้าหมาย เป็นขั้นตอนแรกของ LCA มีประเด็นหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

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

1) **จุดมุ่งหมาย** (Goal)

จุดมุ่งหมายจะต้องระบุผลของการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งกล่าวได้ว่าเป็นหัวใจของการศึกษาและการสรุปผลรายงานเพราะจุดมุ่งหมายจะทำให้สามารถแยกแยะความสำคัญ ของส่วนต่าง ๆ ในเนื้อหาได้

2) **ขอบข่าย** (scope)

ขอบข่ายจะช่วยให้รับประกันได้ว่าจะสามารถไปสู่จุดมุ่งหมายได้ อย่างถูกต้องสมบูรณ์

3) **ฟังก์ชัน** (functional unit)

ฟังก์ชันเป็นพื้นฐานของ LCA เพราะฟังก์ชันเป็นตัวเปรียบเทียบ หรือตัววัดระหว่างผลิตภัณฑ์ หรือ หลายผลิตภัณฑ์ที่รวมเข้าเป็นผลิตภัณฑ์เดียว มีหลายคำจำกัดความดังนี้

- ฟังก์ชันเป็นมาตรฐานของ input และ output ที่เป็นกลาง ฟังก์ชันของระบบจะให้ความหมายและการวัดที่กระจ่าง ซึ่งผลของการวัดนี้ก็จะใช้เป็นคำตอบต่อไปได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- การเปรียบเทียบระหว่างระบบจะกระทำได้ด้วยฟังก์ชันที่พื้นฐานเหมือนๆกัน

4) **คุณภาพข้อมูล** (data quality)

คุณภาพของข้อมูลที่นำมาใช้ในกระบวนการ LCA จะนำมาซึ่งคุณภาพของข้อสรุปที่ได้ จาก LCA คุณภาพของข้อมูลสามารถที่จะให้รายละเอียดได้ต่าง ๆ ซึ่งสำคัญที่ว่าข้อมูลนั้นจะให้รายละเอียดและสามารถประเมินได้อย่างมีหลักเกณฑ์

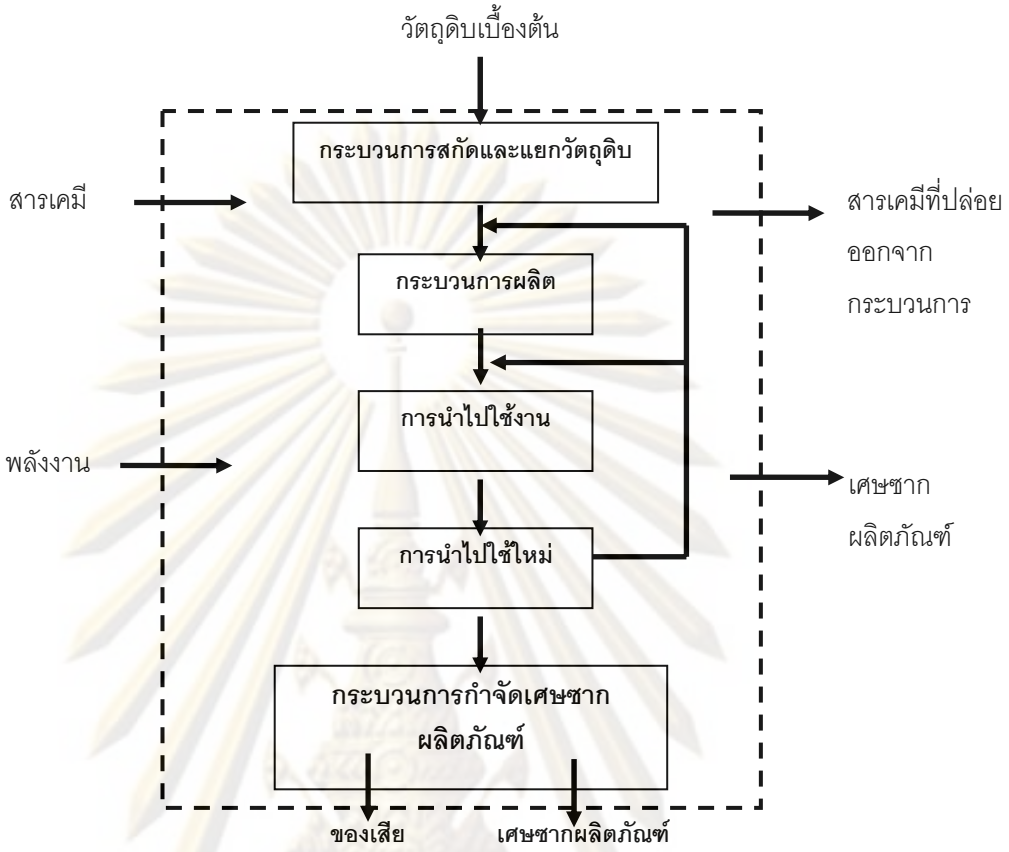
2.2.2 **การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์** (Life Cycle Inventory Analysis: LCIA)

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมคือขั้นที่รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิต เพื่อที่จะนำข้อมูลเหล่านี้ไปคำนวนหาปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของระบบที่ได้ศึกษา ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.2 เพื่อที่จะนำข้อมูลเหล่านี้ใช้คำนวนค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นต่อไป โดยข้อมูลที่ได้จากขั้นนี้จะต้องประกอบด้วยปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของระบบที่ศึกษา

- **ข้อจำกัดของการแปลผล** LCI

ผลที่ได้จากการทำ LCI สามารถที่จะนำไปแปลผลได้ แต่ว่าต้องแปลด้วยความระมัดระวังเพราะว่าผลที่ได้จากการทำ LCI ไม่ใช้ข้อมูลด้านปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมแต่เป็นเพียงปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกเท่า ซึ่งข้อมูลนี้ยังไม่สามารถที่จะนำไปเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์อื่นได้ นอกจากนี้ ผลลัพธ์ของ LCI ยังขึ้นกับความแน่นอนและความหลากหลายของข้อมูล ดังนั้น ในการแปลผลควรรวมการประเมินคุณภาพของข้อมูลและการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูลไว้ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างผังแสดงสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการ [4]

2.2.3 **การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์** (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)

โดยผลที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 คือการทำเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (LCI) ที่อยู่ในเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา โดยขั้นนี้จะนำข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของระบบที่ศึกษา มาแปลงค่าเป็นหน่วยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยขั้นนี้จะทำให้สามารถทราบว่าการที่มีการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสียนั้นมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร โดยขั้นตอนการแปลงค่าปริมาณสารเข้าและสารออกให้เป็นค่าผลกระทบ โดยตอนนี้เรียกว่า ประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)เพื่อนำไปแปลผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมต่อไป

2.2.3.1 ขั้นตอนการทำ LCIA

ตามหลักการที่กำหนดในมาตรฐาน 14042 การทำ LCIA แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นตอนที่ต้องดำเนินการ ได้แก่

1) การคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ (impact categories) ตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบ (category indicators) และแบบจำลองการทำ Characterization (characterization models)
2) การจำแนกข้อมูล LCI เข้าอยู่ในกลุ่มผลกระทบ (classification)
3) การทำ characterization

2. ขั้นตอนที่เป็นทางเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติม ได้แก่

1) การเทียบหน่วย (normalization)
2) การจัดกลุ่ม (grouping)
3) การให้น้ำหนักความสำคัญ (weighting)
4) การวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล (data quality analysis)

2.2.4 แปลผล (Interpretation)

วัตถุประสงค์ของการแปลผลการศึกษา คือ การวิเคราะห์ผลลัพธ์ สรุปผลอธิบายข้อจำกัด การจัดเตรียมข้อเสนอแนะที่มาจากผลลัพธ์ของการทำ LCA หรือ LCI และทำรายงานสรุปการแปลผลการศึกษาให้สามารถเข้าใจได้ง่าย สมบูรณ์ครบถ้วน และมีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 การประเมินวัฏจักรชีวิตร่วมกับการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิต

ในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้นจะมีความถูกต้องหรือไม่ขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูลที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งการได้มาซึ่งข้อมูลที่มีคุณภาพนั้นเป็นเรื่องที่ไม่ง่ายนัก โดยเฉพาะข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต ซึ่งสิ่งนี้เป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งของการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งในงานวิจัยของ David [5] จึงได้นำเสนอข้อแก้ไขของข้อจำกัดนี้โดยได้ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตร่วมกับการสร้างแบบจำลองของกระบวนการผลิต ซึ่งให้ได้ข้อมูลเพื่อใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต

2.4 โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับประเมินวัฏจักรชีวิต

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

- ฐานข้อมูล
- การคำนวณบัญชีรายการ
- การประเมินผลกระทบ
- การแปลผลข้อมูล

2.4.1 โปรแกรมสำเร็จรูปโปรแกรมซิมาโปร

โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro เป็นโปรแกรมที่ผลิต โดย Mr. Mark Goedkoop ของบริษัท Pré Consultants สร้างขึ้นในปี 1990 ภารใต้โครงการของรัฐบาลเนเธอร์แลนด์ Pré Consultants ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมอย่างต่อเนื่องโดยมีรัฐบาลเนเธอร์แลนด์สนับสนุน ซึ่งมีผู้ใช้กว่าร้อยรายใน 47 ประเทศทั่วโลก

ภายในโปรแกรมซิมาโปรจะมีวิธีหลายวิธีที่ใช้คำนวนผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ได้ค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมออกมา

- **โครงสร้างของวิธีการคำนวนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่บรรจุในโปรแกรมซิมาโปร**

โดยโครงสร้างพื้นฐานของวิธีที่ใช้คำนวนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่อยู่ในโปรแกรมซิมาโปรประกอบด้วย [6]:

1. Characterization
2. Damage assessment
3. Normalization
4. Weighting

โดยสามขั้นหลังเป็นขั้นตอนทางเลือกของมาตรฐาน ISO ซึ่งหมายความว่าไม่จำเป็นเสมอไปที่ทุกวิธีคำนวนผลกระทบจะต้องมี สามขั้นหลังนี้

Characterization

ปริมาณสารที่ได้จากขั้นที่ 2 ของการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นจะเอามาคูณกับ characterisation factor จะทำให้ได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างสารที่ทำการศึกษาเทียบเท่ากับสารที่เป็นตัวอ้างอิงกับผลกระทบประเภทนั้นๆ ตัวอย่างเช่น ค่า characterization factor ของ CO_2 มีค่าผลกระทบในกลุ่มผลกระทบด้าน Climate change เท่ากับ 1 และ มีเทน มีค่า characterization factor เท่ากับ 21 จะหมายความว่า ในการปล่อย มีเทน 1 กิโลกรัม จะมีค่าผลกระทบด้าน Climate change เทียบเท่ากับการปล่อย CO_2 21 กิโลกรัม โดยทุกๆ ค่าในกลุ่มผลกระทบประเภทนี้จะทำให้ได้ผลของการทำ characterization ในผลกระทบด้าน Climate change

Damage assessment

Damage assessment คือเป็น ขั้นใหม่ของการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งใช้เพื่อคำนวน ผลกระทบขั้นปลาย endpoint methods โดยวิธีที่มีขั้น Damage assessment ได้แก่วิธี Eco-indicator 99 และ EPS2000 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจะวิเคราะห์ว่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทนั้นมีผลกระทบต่อผลกระทบขั้นปลายอย่างไร ตัวอย่างเช่น วิธีคำนวนค่าผลกระทบของ Eco-indicator 99 นั้นทุก ๆ ประเภท

ของผลกระทบจะถูกนำมาคำนวนในขั้น Damage assessment เพื่อที่จะทำให้ทราบว่าผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ต่อระบบนิเวศน์ และต่อทรัพยากรเป็นอย่างไร

Normalization

หลายๆ วิธีในการคำนวนค่าผลกระทบ ผลที่ได้จากการคำนวนผลกระทบมักจะนำมาเทียบกับค่าผลกระทบอ้างอิงคือนำค่าผลกระทบอ้างอิงมาหารค่าผลกระทบที่เราทำการศึกษา ซึ่งเป็นการทำ Normalization จะทำให้ได้ค่าผลกระทบแบบไร้หน่วย ค่าที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง มักจะเป็นค่าผลกระทบเฉลี่ยต่อคนในระยะเวลา 1 ปีของประเทศนั้นๆ โดยถ้าทราบว่าในระยะเวลา 1 ปี ในประเทศยุโรปมีปริมาณสารพิษที่ปล่อยออกมาเท่าไหร่จากนั้นนำมาคำนวนผลกระทบแล้วหารด้วยปริมาณประชากรก็จะได้ค่า normalize factor เพื่อใช้เป็นตัวอ้างอิง โดยหลังจากการทำ Normalization แล้วจะทำให้ค่าผลกระทบทุกประเภทผลกระทบมีหน่วยของผลกระทบที่เหมือนกัน ซึ่งจะทำให้ง่ายในการเปรียบเทียบกันได้ โดยการทำ Normalization สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทั้งในขั้น characterization และ damage assessment

Weighting

บางวิธีการคำนวนผลกระทบจะมีการให้น้ำหนักของประเภทผลกระทบแต่ละประเภทไม่เท่ากัน นั้นหมายความว่าผลกระทบแต่ละผลกระทบจะต้องนำมาให้น้ำหนักโดยนำค่า Weighting factors มาคูณ แล้วนำค่าผลกระทบมารวม (single score) หากต้องการทราบว่ากลุ่มใด ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดหรือกลุ่มใดมีความสำคัญที่สุดการให้นำหนักสามารถนำมาประยุกต์ใช้ เมื่อมีการ normalized หรือไม่มีการทำ normalized ก็ได้ โดยวิธีการคำนวนค่าผลกระทบในแต่ละขั้นได้แสดงไว้ที่ภาคผนวก ข

โปรแกรม SimaPro เป็นโปรแกรมที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม เพราะมีการวิเคราะห์ผลตามระบบ ISO, มีการเปรียบเทียบผลของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเปรียบเทียบ มีฐานข้อมูล มีการแสดงผลในรูปของตาราง และรูปภาพ มีความยืดหยุ่นในการเพิ่มข้อมูลใหม่ และสามารถปรับปรุงฐานข้อมูลได้ แต่พบว่ามีโปรแกรมสำเร็จรูปหลายโปรแกรมมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับโปรแกรม SimaPro ดังนั้นการเลือกใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูปก็ขึ้นอยู่กับราคาลิขสิทธิ์ของโปรแกรมและการยอมรับของผู้ใช้โปรแกรม เมื่อพิจารณาการยอมรับ

ของผู้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปโดยเปรียบเทียบจากการขายลิขสิทธิ์โปรแกรมพบว่า โปรแกรม SimaPro มีราคาเหมาะสม และได้รับการยอมรับจากผู้ใช้มาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงโปรแกรม SimaPro ในการประเมินวัฏจักรชีวิตชีวิต

2.4.2 การเลือกดัชนีวัดผลกระทบ

ในโปรแกรมซิมาโปร มีดัชนีตัวชี้วัดหลายดัชนี ดังตาราง 2.1 ซึ่งแต่ละวิธีนั้นจะพิจารณากลุ่มผลกระทบที่ต่างกัน ดังนั้นการเลือกผลกระทบจะต้องเลือกที่ครอบคลุมงานวิจัยของมากที่สุดโดยพิจารณาจาก

1. การคัดเลือกกลุ่มผลกระทบที่สนใจในการศึกษา
2. เลือกวิธีคำนวนผลกระทบที่ตรงกับผลกระทบที่จะศึกษา
3. ตรวจสอบว่าสารทุกตัวที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมถูกอธิบายเชิงข้อมูลไว้ในวิธีที่เลือกหรือไม่

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์โดยการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้มุ่งเน้นจะศึกษาผลกระทบเพียงด้านใดด้านหนึ่งเท่านั้นเพราะว่าการผลิตอะคริโลไนไทรล์สารเคมีที่ปล่อยออกมานั้นไม่ได้ส่งผลกระทบเพียงด้านใดด้านหนึ่ง จึงได้เลือกผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งสามด้านคือ คือ ต่อสุขภาพมนุษย์ ต่อระบบนิเวศน์ และต่อการลดลงของทรัพยากร ซึ่งดัชนีวัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ศึกษาผลกระทบทั้งสามด้านได้แก่ Eco-indicator, EDIP 2003, ESP 2000, IMPACT 2002+, BEES และ TRACI 2 และเมื่อได้ตรวจสอบในฐานข้อมูลในแต่ละดัชนีพบว่าดัชนีที่เหมาะสมสุดคือ Eco-indicator 99

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 กลุ่มกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ศึกษาแต่ละดัชนีชี้วัด

ชนิด method	ผลกระทบที่ศึกษา
CML	ด้านสุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศน์
Eco-indicator-95,99	ด้านสุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศน์ และการใช้ทรัพยากร
Ecological Scarcity 2006	ระบบนิเวศน์ และการใช้ทรัพยากร
EDIP 2003	ด้านสุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศน์ และการใช้ทรัพยากร
EPD 2007	ระบบนิเวศน์ และการใช้ทรัพยากร
ESP 2000	ด้านสุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศน์ และการใช้ทรัพยากร
IMPACT 2002+	ด้านสุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศน์ และการใช้ทรัพยากร
BEES	ด้านสุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศน์ และการใช้ทรัพยากร
TRACI 2	ด้านสุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศน์ และการใช้ทรัพยากร
Cumulative Energy Demand	การใช้ทรัพยากรพลังงาน
Ecological footprint	ระบบนิเวศน์
IPCC 2007	สภาวะโลกร้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4.3 ประเมินผลกระทบโดยวิธี ECO-indicator 99

2.4.3.1 วิธีการประเมินค่าผลกระทบโดยดัชนีวัดผลกระทบ Eco-indicator

วิธีในการประเมินค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันมีหลายวิธี เช่น Ecoscarcity Method, Environmental Theme Method, Environmental Design of Industrial Products (EDPI), Eco-indicator Method etc. แต่วิธี Eco-indicator เป็นวิธีที่ใช้อย่างแพร่หลายเพราะมีระบบการให้น้ำหนักที่สนับสนุนข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ ซึ่งขั้นตอนการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของ Eco-indicator Method มีดังนี้ [7]

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

กลุ่มเป้าหมายและประเภทของผลกระทบมีดังนี้

สุขภาพมนุษย์(Human Health) ประกอบด้วย

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระบบนิเวศน์(Ecosystem) ประกอบด้วย

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

การลดลงของทรัพยากร(Resource depletion)

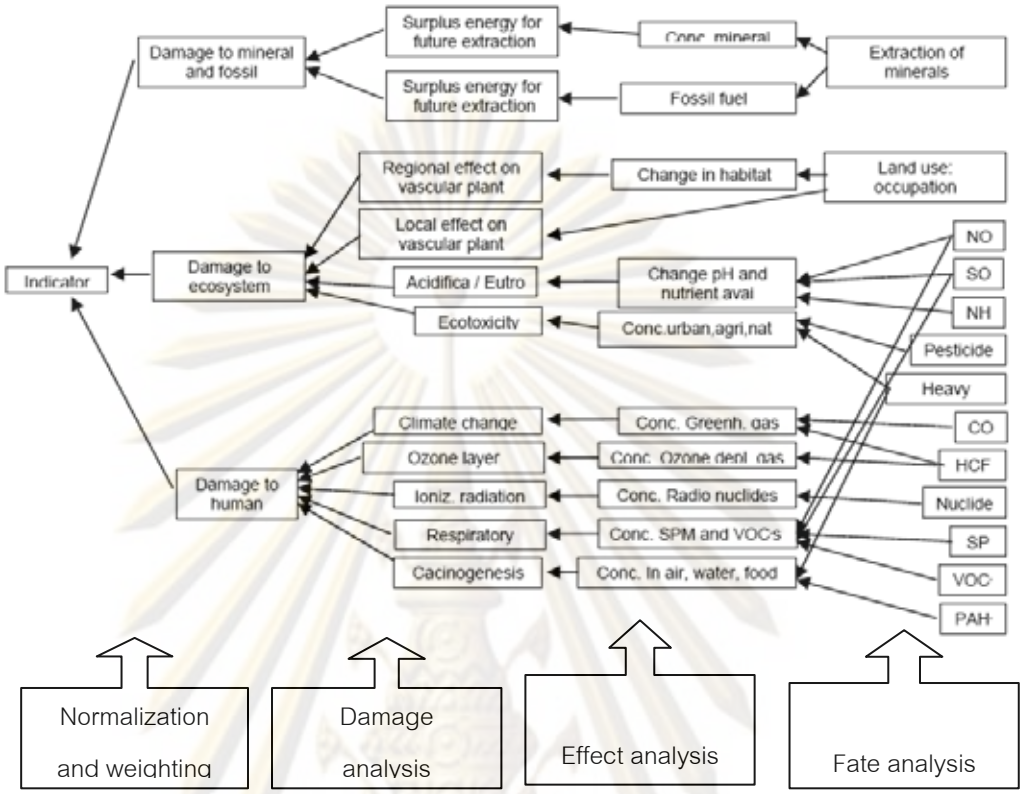
10. การใช้สินแร่(Mineral)
11. การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล(Fossil fuel)

ตารางที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มเป้าหมายที่ถูกทำลาย ประเภทของผลกระทบ และสสารที่เป็นปัจจัยของผลกระทบ

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

ตารางที่ 2.3 อธิบายลักษณะผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของแต่ละประเภทของผลกระทบทั้ง 11 ผลกระทบ

ประเภทของกลุ่มของผลกระทบ	ลักษณะของผลกระทบ
Acidification	ป่าและทะเลสาป ถูกทำลายโดยฝนกรด เนื่องจากการปล่อย สารที่มีความเป็นกรดสู่บรรยากาศ
Eutrofication	สภาวะที่น้ำขาดออกซิเจน เนื่องจากพืชน้ำเจริญเติบโตมากเกินไป เนื่องจากแหล่งน้ำ และดินมีปริมาณฟอสฟอรัส และไนโตรเจนมากเกินไป
Greenhouse effect	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของโลกหรืออุณหภูมิของโลกสูงขึ้น เนื่องจากมีการปล่อยแก๊สพวกคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทนเป็นต้น สู่บรรยากาศ
Resource depletion	การลดลงของทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดเนื่องจากการสกัด หรือการใช้แร่ธาตุ หรือพวกเชื้อเพลิง
Ecotoxicity	สารพิษที่มีผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ เนื่องจากการปล่อย เบนซีน ตะกั่ว เป็นต้น สู่ดิน น้ำ อากาศ
Land use	การลดลงของพื้นที่ รวมถึงพื้นที่ป่า ด้วยสาเหตุเนื่องจากการใช้พื้นที่
Ozone depletion	การลดลงของโอโซนโดยสาเหตุเนื่องจากการปล่อยสาร CFC เป็นต้น
Radiation	ผลกระทบสุขภาพมนุษย์เนื่องจากสารที่มีการแผ่รังสี เช่น โคบอลต์ ยูเรเนียม เป็นต้น
Carcinogenic	ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์เนื่องจาก การปล่อยสารที่ก่อมะเร็ง เช่น อะคริโลไนไทรล์ คลอโรฟลอม์เป็นต้น
Respiration of organic substance	ผลกระทบต่อมนุษย์เนื่องจาก การปล่อยสารที่ส่งผลต่อระบบทางเดินหายใจ เนื่องจากการปล่อยสาร พวกอินทรีย์ ได้แก่ บิวเทน อีเทน เดกเทน เป็นต้น
Respiration of inorganic	ผลกระทบต่อมนุษย์เนื่องจาก การปล่อยสารที่ส่งผลต่อระบบทางเดินหายใจเนื่องจากการปล่อยพวกอนินทรีย์สารสู่บรรยากาศได้แก่ แอมโมเนียม ซัลเฟต เป็นต้น



รูปที่ 2.3 แสดงแนวคิดในการจัดทำ LCA โดยใช้ Eco-indicator 99 **[7]**

2.4.3.2 การเปลี่ยนค่าที่ได้จากขั้น Inventory ให้กลายเป็นค่าของผลกระทบของแต่ละกลุ่มผลกระทบโดยดัชนีชี้วัดของ Eco-indicator 99

ขั้นตอนการเปลี่ยนจากค่าที่ได้จากขั้น Inventory ให้กลายเป็นค่าศักยภาพผลกระทบของแต่ละกลุ่มผลกระทบ ของกลุ่มผลกระทบหลักสามกลุ่มผลกระทบ คือ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ต่อการลดลงของระบบนิเวศน์ และต่อการลดลงของทรัพยากร (ดังรูปที่ 2.3)

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

1. Fate Analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของสารที่ปล่อยออกจากระบบผลิตภัณฑ์ต่อระยะเวลาและพื้นที่กับความเข้มข้น

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

- **ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์วิทยา** แสดงในหน่วยสัดส่วนการสูญหายของความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตต่อพื้นที่เนื่องจากผลกระทบหรือภาระทางสิ่งแวดล้อม แสดงในหน่วยของ PDF/m^2/year (PDF: Potentially Disappeared Fraction)

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

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

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

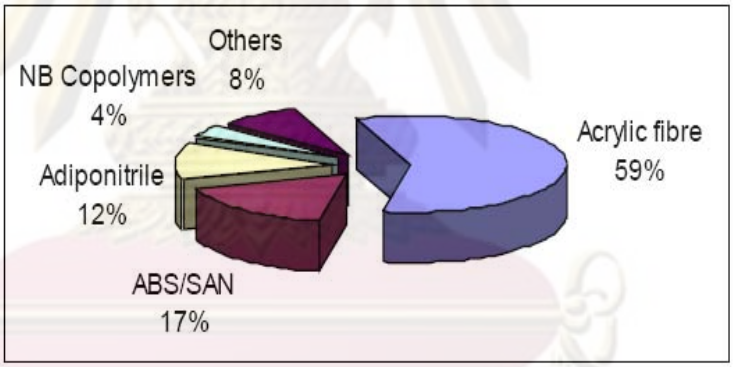
ผลจากการทำ Fate Analysis, Effect Analysis และ Damage Analysis เหมือนกับผลจากการทำ Classification และ Characterization คือการแจกแจงสารเข้าสู่ประเภทของผลกระทบและทำการคำนวณหาค่าของผลกระทบแต่ละประเภท จากนั้นจะทำการหาขนาดของผลกระทบแต่ละกลุ่มเป้าหมายโดยใช้ค่า Normalization โดยการให้ความสำคัญของแต่ละกลุ่มเป้าหมายจะใช้ค่า Weighting ของบริษัท Pre' Consultant

2.5 ข้อมูลทั่วไปของอะคริโลไนไทรล์

อะคริโลไนไทรล์ ($CH_2 = CH - C \equiv N$) เป็นสารระเหย ติดไฟง่าย ไม่มีสี และเป็นสารที่มีกลิ่นเฉพาะตัว สามารถละลายน้ำได้เล็กน้อยและละลายได้ดีในสารละลายออร์แกนิก อะคริโลไนไทรล์ที่เป็น technical-grade จะมีความบริสุทธิ์ที่ร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก

- **การใช้ประโยชน์**

อะคริโลไนไทรล์ เป็นสารที่มีประโยชน์ในอุตสาหกรรม เป็นโมโนเมอร์หรือโคโพลีเมอร์ ที่ใช้ในการผลิตไฟเบอร์พลาสติกและ อิลาสโตเมอร์ สามารถใช้ในการผลิต อะดิโพรไนไทรล์ โดยเป็นสารตัวกลางในการผลิต ไนลอน นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นสารประกอบสำคัญที่เพิ่มความแข็งแรงให้แก่เรซิน เช่น ABS(acrylonitrile-butadiene-styrene) และ SAN (styrene-acrylonitrile) ใช้ในการผลิตพวก เครื่องมือช่าง เครื่องมือสำนักงาน กระเป๋าเดินทางเป็นต้น (รูปที่ 2.4)



รูปที่ 2.4 สัดส่วนการใช้ประโยชน์ของอะคริโลไนไทรล์ [8]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- **คุณสมบัติทางกายภาพ**

คุณสมบัติทางกายภาพของสารที่มีอยู่ในกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ได้แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สัญลักษณ์ย่อของสารแต่ละตัวที่ใช้ในงานวิจัย

ชื่อสาร	สูตรโครงสร้าง	สัญลักษณ์ย่อของสารแต่ละตัว
อะคริโลไนไทรล์	CH_2=CH-CN	AN
คาร์บอนมอนอกไซด์	CO	CO
คาร์บอนไดออกไซด์	CO_2	CO_2
ไฮโดรเจนไซด์ยาไนต์	HCN	HCN
อะซิโตรไนไตรล์	CH3-CN	ACN
อะโครลิน	CH2-CH-CHO	ACR

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติทางกายภาพของสารในกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์

สาร	หน่วย	AN	HCN	ACN	ACR
สูตรโมเลกุล	G/mol	53.1	27.0	41.1	56.1
Nbp	K	350.5	298.9	354.8	325.8
Freezing point	K	189.6	259.9	229.3	185.8
Tc	K	535.0	456.7	545.5	506.0
Pc	atm	44.2	53.2	47.7	49.3
Vc	Cm3/mol	212.0	139.0	173.0	197.0
Zc	-	0.214	0.197	0.184	0.234
Liquid volume	Cm3/mol	66.2	53.6	52.9	67.2
Enth.vaporization	Cal/mol	7418.7	6431.2	7212.3	6833.9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6 ลำดับการพัฒนากระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ [9]

การผลิตอะคริโลไนไทรล์สามารถที่จะผลิตได้จากหลายวัตถุดิบดังนี้

2.6.1 กระบวนการผลิตที่ใช้ในอดีต

1. ผลิตจากไฮโดรเจนไซยาไนต์ กับ เอทิลลีนออกไซด์ ได้เป็น ไซยาโนไฮดริน แล้วดึงน้ำออกจะได้ อะคิโลไนไทรล์ ซึ่งเป็นการพัฒนาโดย IG Farben และกระบวนการนี้ได้รับการยอมรับโดย American Cyanamid and Union Carbide และสิ้นสุดลงในปี 1965
2. ผลิตจากไฮโดรเจนไซยาไนต์ กับ อะเซตทิลีน Bayer และใช้ใน American Cyanamid , Du Pont, Monsanto และสิ้นสุดลงในปี 1970
3. ผลิตจาก แลตโตไนไทด์ โดยการทำปฏิกิริยาระหว่าง อะซิตัลดีไฮด์ กับไฮโดรเจนไซยาไนต์จะได้แลตโตไนไทด์ แล้วดึงน้ำออกจะได้ อะคิโลไนไทล์ พัฒนาโดย Hoechst in Greisheim และสิ้นสุดลงในปี 1959
4. ผลิตจากปฏิกิริยาแอมโมนออกซิเดชันของโพรพิลีน โดยใช้ ไนโตรเจนออกไซด์ และสิ้นสุดในปี 1966

2.6.2 การผลิตอะคริโลไนไทรล์ในปัจจุบัน

ในปัจจุบันประมาณร้อยละ 95 ทั่วโลกการผลิตอะคริโลไนไทรล์ในอุตสาหกรรมจะผลิตจากปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันของ โพรพิลีนซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาโดย Standard Oil Company (sohio) ในปี 1960 **[1]** โดยปฏิกิริยาการเกิดดังนี้

$$CH_2=CH-CH_3 + NH_3 + 3/2\ O_2 \longrightarrow CH_2=CH-CN + 3H_2O \quad \text{.....(1)}$$

เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน(ΔH = -123 kcal/mol) ปฏิกิริยาเกิดในสถานะแก๊ส อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ตัวเร่งทำปฏิกิริยาคือ ในช่วง 400-500 $^{\circ}$C ที่ความดัน 1.5-3 บาร์ **[8]** ชนิดของตัวเร่งที่ใช้ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้โดยทั่วไปตัวเร่งที่ใช้จะประกอบด้วย โมลิบเนียม หรือ แอนติมอนีออกไซด์ อยู่บน โลหะทรานซิชั่น เช่น Fe ,Ni, Co และ V เป็นปฏิกิริยาที่มีอัตราการเกิดเป็นผลิตภัณฑ์สูง อัตราส่วนของสารตั้งต้นจึงใช้ใกล้พอดีกลับค่าที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาได้ และ

ปฏิกิริยาที่มีความจำเพาะ(selectivity)ในการเกิดผลิตภัณฑ์หลักสูง นอกจากนี้ยังเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงทำให้ได้ ผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ซึ่งได้แก่ ไฮโดรเจนไซยาไนต์ และ อะซิโตไนไตรล์

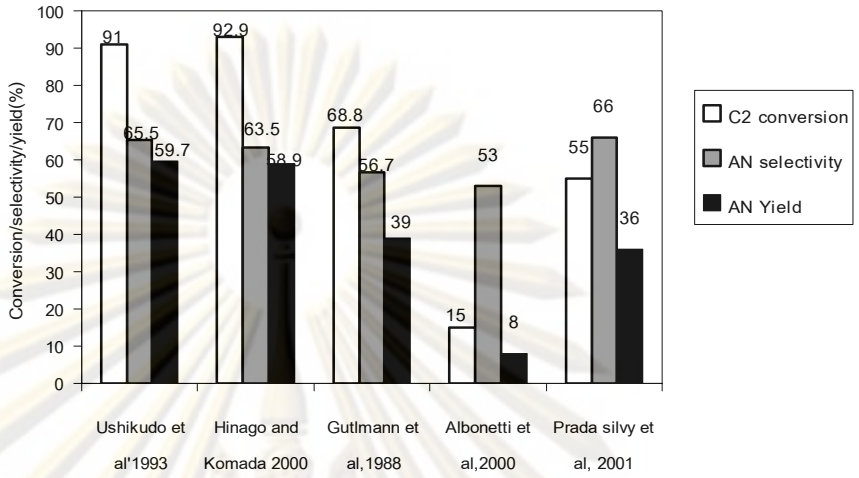
3.6.3 การผลิตอะคริโลไนไทรล์ที่อยู่ภายใต้การพัฒนา

เนื่องจากความแตกต่างด้านราคาระหว่างโพรพิลีนกับโพรเพนนั้นคือโพรพิลีนมีราคาสูงกว่าโพรเพนมากขึ้นในแต่ละปี ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.6 จึงเริ่มมีผู้ให้ความสนใจในการผลิตอะคริไลไนไทรล์จากโพรเพน แต่ก็มีปัญหาคือสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนนั้น ความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาของโพรเพนให้ได้เป็นอะคริโลไนไทรล์นั้นไม่ดีเท่าสารตั้งต้นที่เป็นโพรพิลีน ซึ่งจะทำให้ได้ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนไม่มากนัก จึงทำให้มีหลายงานวิจัยที่มีการพัฒนาการเกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันของโพรเพนให้ได้เป็นอะคริโลไนไทรล์ เช่น งานวิจัยของ Ushikubo et al โดยใช้ตัวเร่ง MoV0.3Te0.23Nb0.15Ox , Hinago and Komada 2000 โดยใช้ตัวเร่ง MoV0.33Te0.40Nb0.11O*x*, Guttmann et al.1988., Albonetti et al. 2000.โดยใช้ตัวเร่ง VSb12.5Fe5O*x* Prada Silvy et al. 2001.โดยใช้ตัวเร่ง VAlON ซึ่งแต่ละตัวเร่งนั้นก็ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่างกันดังรูปที่ 2.6 และมีปฏิกิริยาการเกิดอะคริโลไนไทรล์จากโพรเพนดังสมการที่ 2

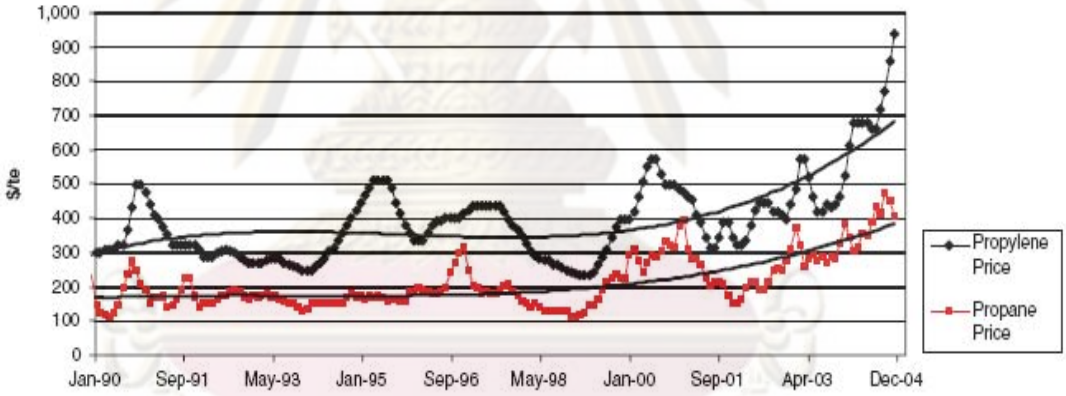
$$CH_3 - CH_2 - CH_3 + 2O_2 + NH_3 \rightarrow C_3H_3N + 4H_2O \quad \text{..... (2)}$$

โดยการผลิตอะคริโลไนไทรล์นั้นแบ่งตาม ชนิดของตัวเร่ง ทำให้แบ่งเป็นสองทางเลือก **[10]** ถ้าเป็นของ standard oil ชนิดของตัวเร่งที่ใช้จะให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่ำ จึงต้องมีหน่วยป้อนกลับของโพรเพน ถ้าเป็นของ Mitsubishi Chemical ชนิดของตัวเร่งที่ใช้จะให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนสูง จึงไม่มีหน่วยป้อนกลับของโพรเพน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.5 Activity results corresponding to different propane ammoxidation catalysts. [2]



รูปที่ 2.6 แนวโน้มราคาของสารตั้งต้นโพรพิลีนและโพรเพน [11]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- **<u>ข้อดีและข้อเสียของแต่ละสารตั้งต้น</u>**

ผลิตจากสารตั้งต้นที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรม: โพรพิลีน

ข้อดี

- ตัวเร่งมีความจำเพาะกับโพรพิลีนทำให้การเกิดปฏิกิริยาของผลิตภัณฑ์หลักเกิดได้ดี
- เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงน้อย
- มีค่าการเปลี่ยนแปลง (ค่าconversion) ของสารตั้งต้นสูงจึงไม่ต้องมีหน่วยป้อนกลับของสารตั้งต้น

ข้อเสีย

- เมื่อเทียบกับโพรเพนแล้วโพรพิลีนมีราคาสูงกว่า
- การผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นโพรพิลีนนั้นการที่จะได้มาของโพรพิลีนนั้นต้องผ่านกระบวนการผลิตโพรพิลีนก่อน(two step)ดังนั้นจึงเป็นวัตถุดิบที่มีผลกระทบมากกว่าเมื่อเทียบกับโพรเพน

ผลิตจากสารตั้งต้นที่อยู่ในขั้นพัฒนา: โพรเพน

ข้อดี

- สามารถผลิตอะคริโลไนไทรล์โดยใช้โพรเพนได้โดยไม่ต้องผ่านขั้นตอน (one step) ของการผลิตโพรพิลีนเพื่อนำไปผลิตเป็นอะคริโลไนไทรล์
- มีราคาถูกกว่า

ข้อเสีย

- สารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนนั้นการเกิดปฏิกิริยานั้นมีค่า selectivity ของผลิตภัณฑ์หลักต่ำ
- เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงมาก
- การใช้ตัวเร่งบางชนิดยังให้ค่า conversion ของโพรเพนต่ำจึงต้องมีหน่วยป้อนกลับของสารตั้งต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.7 ทางเลือกของการผลิตอะคริโลไนไทรล์ที่ใช้ในการศึกษา

จากหัวข้อที่แล้วมาจะเห็นว่าการผลิตอะคริโลไนไทรล์นั้นมีหลายทางเลือกการผลิตด้วยกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้เลือกทำการเปรียบเทียบการผลิตอะคริโลไนไทรล์โดยทางเลือกที่ทำการศึกษาจะเป็นทางเลือกการผลิตที่ในอุตสาหกรรมใช้กันทั่วไปนั้นคือผลิตจากสารตั้งต้นที่เป็นโพรพิลีน และอีกทางเลือกหนึ่งเป็นทางเลือกที่กำลังเป็นที่สนใจเพราะเนื่องจากเหตุผลทางด้านเศรษฐศาสตร์คือผลิตจากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนและสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนนั้นถ้าแบ่งตามตัวเร่งยังสามารแบ่งการผลิตอะคริโลไนไทรล์ได้เป็นอีก 2 ทางเลือก คือทางเลือกการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่ำซึ่งทางเลือกนี้เป็นเทคโนโลยีของ standard oli และอีกทางเลือกหนึ่งคือผลิตอะคริโลไนไทรล์จากโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนสูงเป็นเทคโนโลยีของ Mitsubishi Chemical ซึ่งแต่ละกรณีนั้นกระบวนการผลิตในหน่วยหลักจะเหมือนกันประกอบด้วยหน่วยการเกิดปฏิกิริยาหน่วยกำจัดแอมโมเนีย หน่วยการนำสารกลับ (recovery) และหน่วยทำให้สารบริสุทธิ์(purification) แต่ทั้ง 3 กรณีนั้นต่างกันที่หน่วยการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งเมื่อหน่วยการเกิดปฏิกิริยาต่างก็จะทำให้หน่วย อื่นๆ ต่างกันด้วย และนอกจากนี้ถ้าใช้เทคโนโลยีที่ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่ำจะต้องเพิ่มหน่วยป้อนกลับของสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงจะเลือกหากระบวนการผลิตที่เหมาะสม ที่จะส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมน้อยสุดโดยทางเลือกการผลิตได้แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ทางเลือกการผลิตอะคริโลไนไทรล์ที่ใช้การศึกษาในงานวิจัยนี้

กรณีศึกษา	กรณี1	กรณี 2	กรณี 3
สารตั้งต้น, C3	โพรพิลีน	โพรเพน	โพรเพน
ตัวออกซิไดซ์	อากาศ	ออกซิเจน	อากาศ
C3 conversion %	99	40	87
AN yield %	81	22.4	47.85
หน่วยป้อนกลับสารตั้งต้น,C_3	ไม่มี	มี	ไม่มี
อ้างอิง	Y.Hu et al (2007) **[12]**	Roberto Catani(1992) **[13]**	Kiyotaka Asakura al 2000**[14]**

2.7.1 การผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรพิลีน: กรณี 1

การผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรพิลีนโดยชนิดของวัตถุดิบที่ใช้และลำดับขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ดังนี้

- **ขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นโพรพิลีน: กรณีที่ 1**

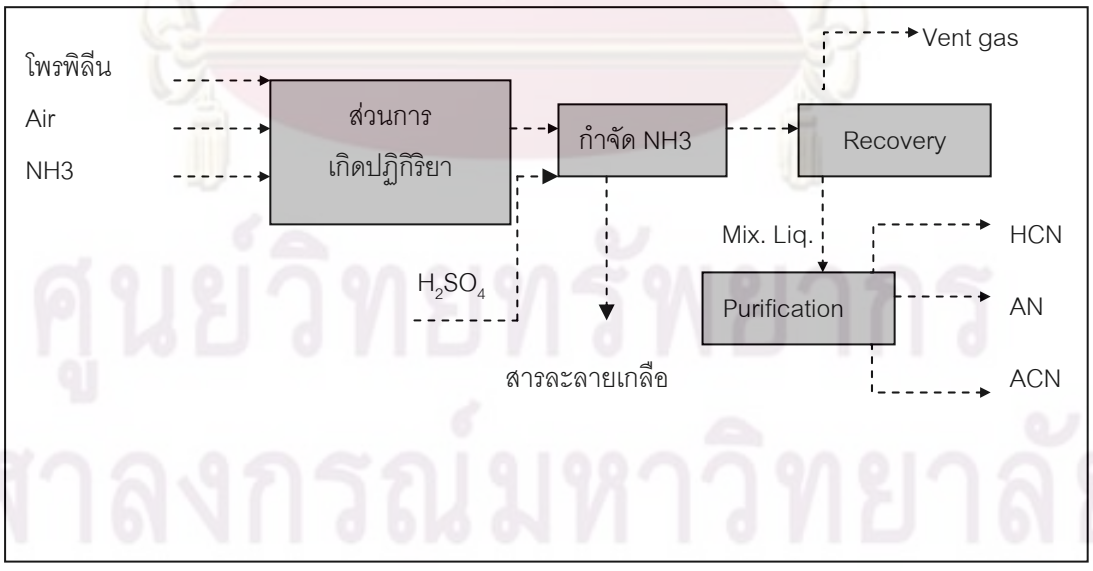
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลียนแบบกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์โดยใช้โปรแกรม Hysys Simulation version 3.1 ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการจำลองกระบวนการผลิตนั้นบางส่วนได้จากหนังสือ Chemical process design: Aided Case Studiesของ Alexandre C. **[1]** และมีบางส่วนได้มาจากสิทธิบัตรและวารสารที่เกี่ยวข้อง จากข้อมูลเหล่านี้ทำให้แบ่งการผลิตอะคริโลไนไทรล์ได้เป็น 4 ส่วนหลักโดยได้แสดงภาพรวมดังรูปที่ 2.7

2.7.1.1 ส่วนการเกิดปฏิกิริยา

2.7.1.2 ส่วนกำจัดแอมโมเนียที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา

2.7.1.3 ส่วนการนำสารกลับมา(recovery)

2.7.1.4 ส่วนทำสารให้บริสุทธิ์ (purification)



รูปที่ 2.7 แผนผังของการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากโพรพิลีน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรพิลีนแผนผัง แสดงดังรูปที่ 2.9 สารตั้งต้นที่ใช้ประกอบด้วย โพรพิลีน อากาศ แอมโมเนีย โดยสารจะเกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันได้เป็นอะคริโลไนไทรล์และสารอื่นร่วมด้วย จากนั้นจะต้องผ่านหน่วยกำจัดแอมโมเนียที่เหลือจากการผลิตโดยใช้สารละลายกรดซัลฟลูริก โดยหน่วยนี้จะมีสารที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมคือสารละลายเกลือแอมโมเนียมซัลเฟต เมื่อสารที่ผ่านการกำจัดแอมโมเนียที่เหลือจะเข้าสู่หน่วยการ ส่วนการนำสารกลับมา โดยหน่วยนี้มีสารที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ โพรพิลีน ออกซิเจน ไนโตรเจน เป็นต้น จากนั้นเข้าสู่หน่วยการกลั่นผลิตภัณฑ์หลักและผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ เพื่อให้ได้ความบริสุทธิ์(purification)ตามต้องการ โดยรูปที่ได้จากการจำลองกระบวนการผลิตกรณี 1 ดังรูปที่ 2.8

2.7.1.1 ส่วนการเกิดปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในส่วนนี้คือแอมมอกซิเดชันของโพรพิลีนโดย ตัวเร่งที่ใช้คือ Mo-Bi-Fe อัตราส่วนของสารตั้งต้นที่ใช้ propylene: ammonia: air 1: 1.15: 10 โดยสารตั้งต้นจะทำปฏิกิริยาที่เครื่องปฏิกรณ์ (CRV-100) โดยอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 447 $^{\circ}$ C ความดัน 1 บรรยากาศ มีค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรพิลีนคือร้อยละ 99 **[12]** ปฏิกิริยาเป็นแบบคายความร้อนมีปฏิกิริยาการเกิดผลิตภัณฑ์หลักดังสมการที่ 1

$$CH_2 = CH - CH_3 + NH_3 + \frac{2}{3}O_2 \rightarrow CH_2 = CH - CN + 3H_2O \quad \text{.....1}$$

2.7.1.2 ส่วนกำจัดแอมโมเนียที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา

สารเมื่อออกจากเครื่องปฏิกรณ์ (CRV-100) จะได้แก๊สผสมที่ประกอบด้วย อะคริโลไนไทรล์ อะซิโตไนไตรล์ ไฮโดรเจนไซยาไนต์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และสารตั้งต้นที่เหลือจากการผลิต แก๊สจะทำเย็นลงก่อนที่จะเข้าสู่หอ quenching (X-101) โดยหอนี้ทำหน้าที่กำจัดแอมโมเนียที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา โดยใช้กรดซัลฟลูริกในการกำจัดแอมโมเนียที่เหลือซึ่งจะได้สารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตที่ก้นหอโดยสารละลายนี้ บางโรงงานก็นำไปส่งต่อให้กับโรงงานผลิตเป็นแอมโมเนียมซัลเฟต แต่บางโรงงานก็นำไปกำจัด ส่วนแก๊สที่ปราศจากแอมโมเนียแล้วจะเข้าสู่ส่วนการนำสารกลับมา

2.7.1.3 **ส่วนการนำสารกลับมา** (recovery)

สารเมื่อผ่านการกำจัดแอมโมเนียที่เหลือแล้วจะเข้าสู่หน่วย Recovery โดยสิทธิบัตรที่ได้ศึกษาส่วนนี้ได้แก่ **[15-18]** ได้บอกไว้ว่าลำดับการแยกประกอบด้วย หอดูดซับ (absorber; T-101) เพื่อแยกแก๊ส หอกลั่นสกัด (Extraction distillation ; T-100)และ หอแยกตัวทำละลาย(stripping column; T-102) ดังนั้นจึงได้ลำดับหน่วยแยกนี้ได้ดังนี้

สารเมื่อผ่านการกำจัดแอมโมเนียแล้วจะเข้าสู่หน่วย Recovery จะทำการลดอุณหภูมิเหลือ 30 ^{0}C **[1]** เพื่อควบแน่นำ้ออกก่อนที่จะเข้าหอดูดซับ (absorber; T-101)

Absorber; T-101 หอนี้จะทำหน้าที่ในการแยกแก๊ส ให้ออกจากผลิตภัณฑ์หลักและผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ โดยแก๊สผสมจะป้อนเข้าที่ก้นหอ ตัวทำละลายที่ใช้ในการดูดซับสารผลิตภัณฑ์คือ นำ้ (จะป้อนเข้าที่ยอดหอ) แก๊สที่ไม่ถูกดูดซับจะออกยอดหอ ประกอบด้วย โพรพิลีน โพรเพน ออกซิเจน ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น ส่วนของเหลวจะออกด้านล่างหอซึ่งประกอบด้วย อะซิโตไนไตรล์ อะคริโลไนไทรล์และนำ้จะส่งเข้าหอ Extraction distillation (T-100) โดยอุณหภูมิของนำ้ที่ใช้เป็นตัวทำละลายเท่ากับ 5 $^{\circ}$C ความดันหอ 450 kPa จำนวนชั้นของหอดูดซับเท่ากับ 30 ชั้น **[1]** โดยปริมาณนำ้ที่ใช้จะออกแบบเพื่อให้ได้การกลับมา(recovery)ของอะคริโลไนไทรล์และไฮโดรเจนไซยาไนต์กลับมาร้อยละ100 โดยนำ้หนัก

Extraction distillation; T-100 หอนี้จะทำหน้าที่ กลั่นแยกอะซิโตไนไตรล์ออกจากอะคริโลไนไทรล์แยกโดยวิธีนี้เนื่องจากว่า สารสองตัวนี้จุดเดือดต่างกันเพียง 4 $^{\circ}$ C ถ้าแยกโดยการกลั่นโดยวิธีธรรมดา จะต้องใช้หอที่มีความสูงมาก **[19]** ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย จึงได้เลือกการแยกโดยใช้ตัวทำละลายในการช่วยแยกคือ นำ้ซึ่งป้อนเข้าที่ยอดหอ โดยจะต้องใช้นำ้ในปริมาณที่มากดังนั้นจะต้องมีหน่วยแยกนำ้เพื่อนำนำ้กลับมาใช้ใหม่ โดยอะคริโลไนไทรล์ ไฮโดรเจนไซยาไนต์ และนำ้บางส่วนจะออกที่ด้านบนของหอ Extraction distillation (T-100) นำ้ส่วนใหญ่และอะซิโตไนไตรล์จะออกที่ด้านล้างของหอ อะซิโตไนไตรล์และนำ้จะเข้าสู่หอ stripping(T-102) โดยสภาวะที่ใช้ในหอ T-100 คือ อุณภูมิของนำ้ที่ใช้ในการสกัด เท่ากับ 70 $^{\circ}$ C ความดันหอ 140 k Pa จำนวนชั้น 30 ชั้น **[1]** โดยได้ทำการ recovery ในหน่วยนี้คือเพื่อให้ได้อะคริโลไนไทรล์ร้อยละ 99.9 โดยนำ้หนัก

หอ Stripping; T-102 ทำหน้าที่แยกอะซิโตไนไตรล์ออกจากน้ำเพื่อนำน้ำมาใช้ใหม่ซึ่งในในงานวิจัยของ **[18-19]** ซึ่งได้บอกว่าสารเมื่อ ออกสู่หอ Extraction distillation(T-100) แล้วจะต้องกลั่นแยกน้ำเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ใน absorption column(T-101) และหอ Extraction distillation(T-100) ตัวทำละลายที่ใช้ในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่คือไอน้ำเพื่อที่จะแยกอะซิโตไนไตรล์ออกจากน้ำเพื่อที่จะนำน้ำป้อนกลับไปใช้ใหม่ที่หอดูดซับ (absorber) และหอ Extraction distillation สภาวะที่ใช้ในหอนี้คือ ความดันหอ 50 kPa, จำนวนชั้นของหอ 40 ชั้น **[1]** โดยจะกลั่นให้ได้น้ำที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก

2.7.1.4 **ส่วนทำสารให้บริสุทธิ์**

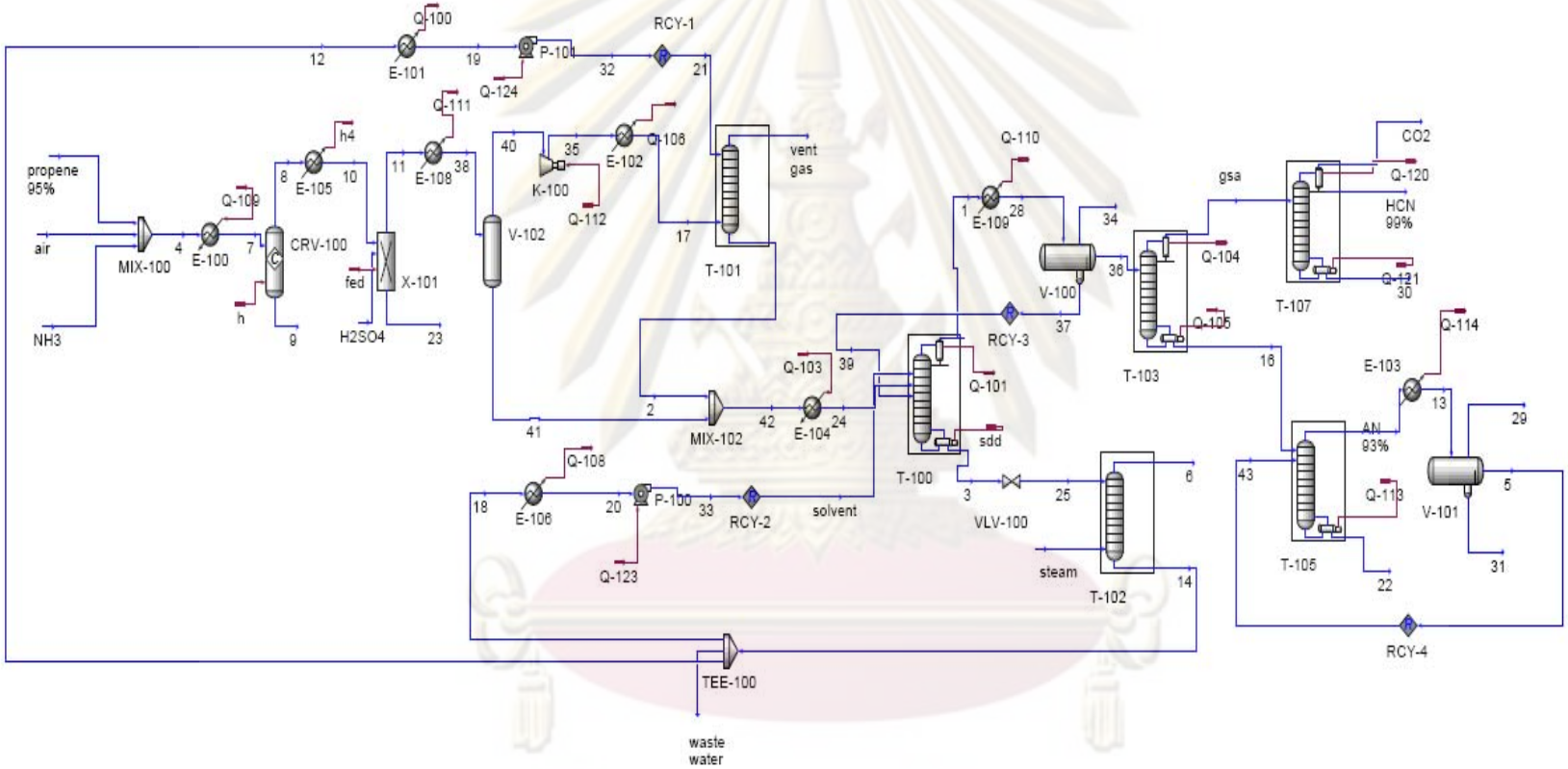
สารที่ออกด้านบนของหอ Recovery column จะประกอบด้วย อะคริโลรินอะคริโลไนไทรล์ ไฮโดรเจนไซยาไนต์ และน้ำปริมาณเล็กน้อยซึ่งจะส่งเข้าสู่หอแยกสารเบา (T-103)หอกลั่นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (T-107) และหอกลั่นผลิตภัณฑ์(T-105)

หอแยกสารเบา ; T-103 จะทำหน้าที่แยกแก๊สที่เป็นแก๊สเบาออกจากผลิตภัณฑ์ โดยแยกอะคริโลริน ไฮโดรเจนไซยาไนต์ ออกยอดหอ (T-103) จากนั้นกลั่นแยก ไฮโดรเจนไซยาไนต์ ให้ได้ความบริสุทธิ์ที่ต้องการ ที่หอ T-107 โดยหอนี้มีความดันเท่ากับ 110 kPa จำนวนชั้น 40 ชั้นและโดยหอนี้จะทำการ recovery ไฮโดรเจนไซยาไนต์ ร้อยละ100 โดยน้ำหนัก

หอกลั่นผลิตภัณฑ์ร่วม (หอกลั่นไฮโดรเจนไซยาไนต์; T-107) ทำหน้าที่ในการกลั่นไฮโดรเจนไซยาไนต์ออกจากอะคริโลริน เพื่อให้ได้ไฮโดรเจนไซยาไนต์มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก ความดันหอ 100 kPa จำนวนชั้นของหอ 30 ชั้น

หอกลั่นผลิตภัณฑ์ (หอกลั่นอะคริโลไนไทรล์; T-105) ทำหน้าที่ในการกลั่นอะคริโลไนไทรล์ออกจากน้ำเพื่อให้ อะคริโลไนไทรล์มีความบริสุทธิ์ที่ ร้อยละ 99.99 โดยน้ำหนัก ความดันหอ 110 kPa จำนวนชั้นของหอ 30 ชั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.8 แบบจำลองกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นโพรพิลีน (ทางเลือก 1)

2.7.2 การผลิตอะครโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่ำ: กรณีที่ 2

การผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่ำ โดยชนิดของวัตถุดิบที่ใช้และลำดับขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ดังนี้

- **ขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่ำ: กรณี 2**

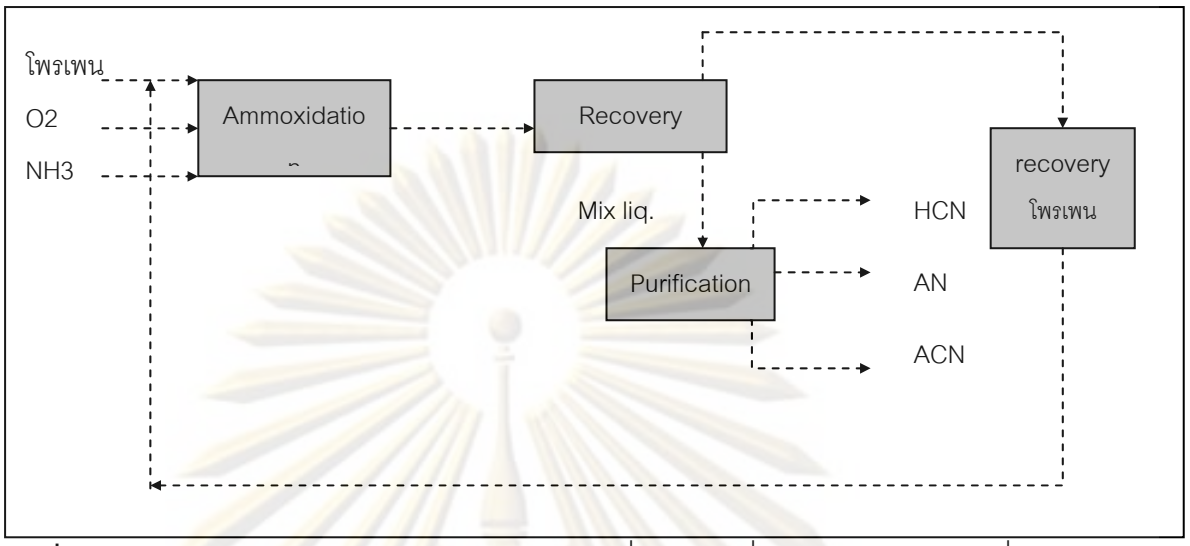
การผลิตอะคริโลไนไทรล์ จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพน จะมีลักษณะกระบวนการผลิตจะคล้ายการผลิตจากสารตั้งต้นที่เป็นโพรพิลีน หน่วยหลักในการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่ำ ดังรูปที่ 2.9 โดยกระบวนการผลิตหลักมีหน่วยการกำจัดแอมโมเนียที่เหลือ ส่วน recovery และส่วนทำสารให้บริสุทธิ์ (purification) จะมีลักษณะเดียวกับการผลิตอะคริโลไนไทรล์ที่ใช้สารตั้งต้นที่เป็นโพรพิลีน แต่ต่างกันที่ส่วนการเกิดปฏิกิริยาและต้องมีหน่วยการนำโพรเพนกลับมา โดยรูปที่ได้จากการจำลองกระบวนการผลิตกรณี 2 ดังรูปที่ 2.10

2.7.2.1 ส่วนการเกิดปฏิกิริยา
2.7.2.2 ส่วนกำจัดแอมโมเนียที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา
2.7.2.3 ส่วนการนำสารกลับมา
2.7.2.4 ส่วนทำสารให้บริสุทธิ์
2.7.2.5 ส่วนนำโพรเพนกลับมา

2.7.2.1 ส่วนการเกิดปฏิกิริยา (ammoxidation)

ตัวเร่งที่ใช้ VSbAl อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา คือ 500 °C ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนคือร้อยละ 40 [13] อัตราส่วนของสารตั้งต้นคือ โพรเพน: แอมโมเนีย: ออกซิเจน: เท่ากับ 1.25: 1: 3 [2] สารตั้งต้นจะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ (CRV-100) โดยมีปฏิกิริยาหลักเกิดผลิตภัณฑ์ดังนี้

$$CH_3 - CH_2 - CH_3 + 2O_2 + NH_3 \rightarrow C_3H_3N + 4H_2O \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 2$$

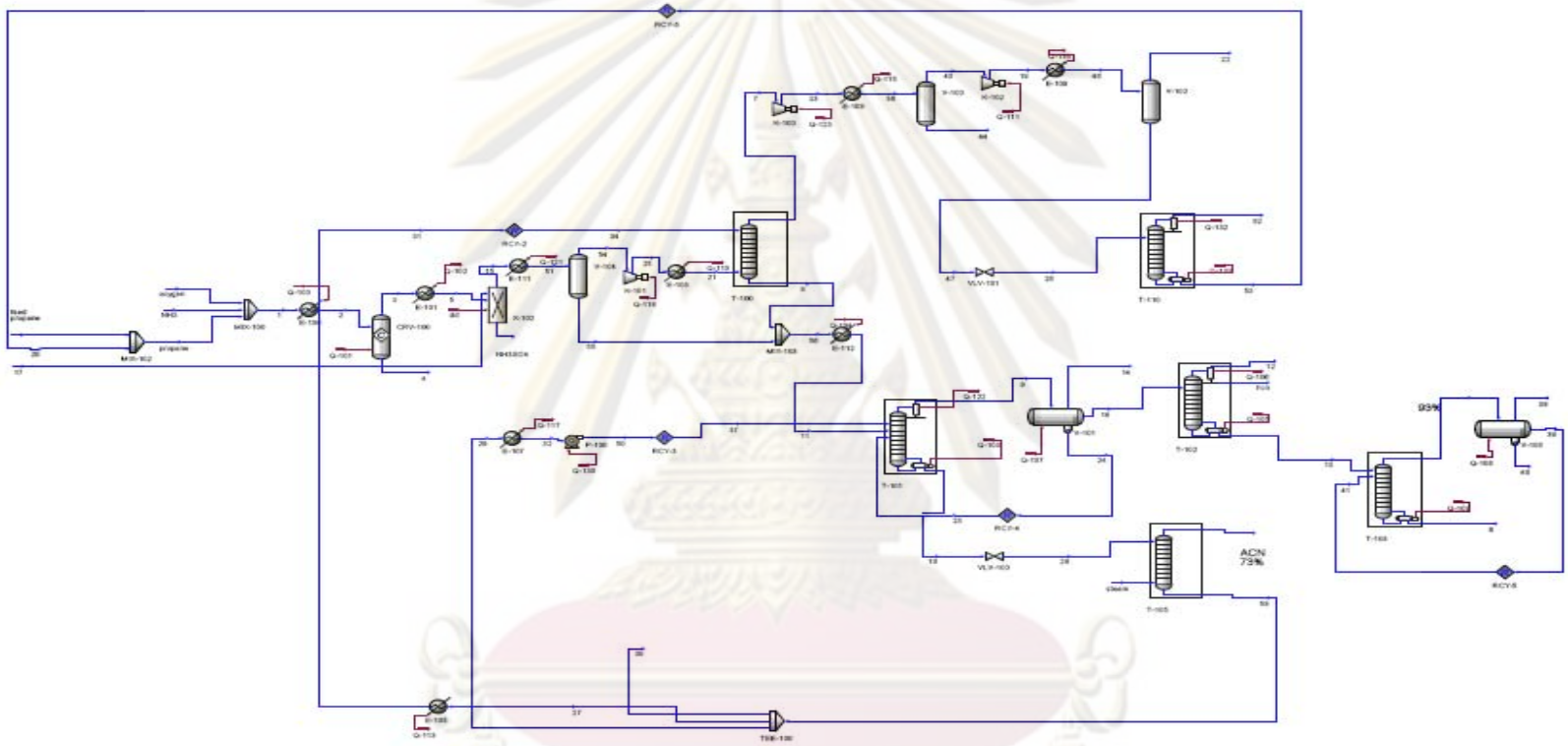


รูปที่ 2.9 แผนผังการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่ำ

2.7.2.5 **ส่วนนำโพรเพนกลับมาใช้ใหม่**

ส่วนนี้จะเริ่มจากแก๊สที่ออกจากหอดูดซับจากรูปคือ T-100 จะถูกส่งเข้าส่วนนี้ คือ แยกแก๊สโพรเพนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ที่เครื่องปฏิกรณ์ (CRV-100) เนื่องจากค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่ำจึงต้อนมีการนำโพรเพนกลับมา โดยขั้นตอนของหน่วยนี้ เมื่อแก๊สที่ออกจากยอดหอดูดซับซึ่งจะประกอบด้วย โพรเพนที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาซึ่งผสมอยู่กับแก๊สอื่นดังนั้นจะต้องทำการแยก โพรเพนออกจากแก๊สอื่นโดยลำดับขั้นดังนี้ เพิ่มความดันแก๊สประมาณ 200-650 psia และลดอุณหภูมิในช่วง 20°- 50° C **[20-21]** เพื่อให้น้ำควบแน่นและเข้าหอแยก V-100 น้ำจะออกที่ก้นหอแยกแก๊สที่ปราศจากน้ำจะลดอุณหภูมิอีกครั้งเพื่อแยกแก๊สเบาที่หอแยก V-102 และกลั่นแยกโพรเพนให้บริสุทธิ์ที่ ร้อยละ 95 ที่หอกลั่น T-110 เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.10 แบบจำลองกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่ำ (ทางเลือกที่ 2)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.7.3 การผลิตอะครโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนสูง : กรณีที่ 3

การผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงสูง ประกอบด้วยวัตถุดิบที่ใช้และขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์

- **ขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนสูง: กรณี 3**

แผนผังภาพรวมของ กระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนสูง แสดงดังรูปที่ 2.11 โดยลำดับขั้นตอนการผลิตจะคล้ายกับการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นโพพิลิน (กรณี1) และการผลิตจากโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่ำ คือการผลิตจะประกอบด้วยหน่วยหลักคือ หน่วยการเกิดปฏิกิริยาแอมมอกซิเดชันของโพรเพนหน่วยการแยกเฟส และหน่วยทำให้สารบริสุทธิ์ (purification) แต่เนื่องจากทางเลือกที่ 3 นี้ตัวเร่งที่นำมาใช้มีค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนสูงจึงไม่มีหน่วยป้อนกลับของสารตั้งต้น โดยรายละเอียดแต่ละหน่วยการผลิตที่ได้จากโปรแกรม Hysys แสดงดังรูปที่ 2.12 ซึ่งแบ่งเป็น 4 ส่วนหลักคือ

2.7.3.1 ส่วนการเกิดปฏิกิริยา (ammoxidation)

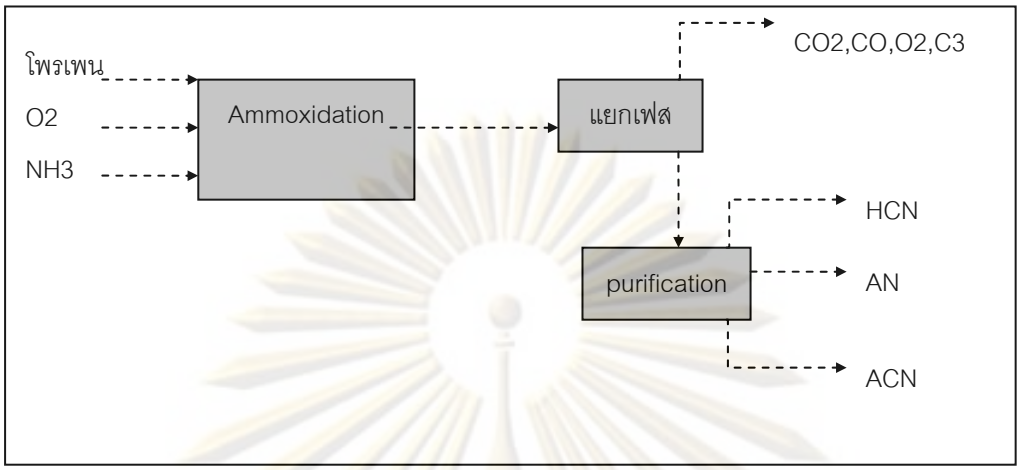
2.7.3.2 ส่วนแยกแอมโมเนียที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา

2.7.3.3 ส่วนการนำสารกลับมา(Recovery)

2.7.3.4 ส่วนทำสารให้บริสุทธิ์ (purification)

โดยส่วนการนำสารกลับมาและส่วนทำสารให้บริสุทธิ์จะมีขั้นตอนการเดียวกันกับการผลิตจากสารตั้งต้นที่เป็นโพรพิลีน จึงไม่ขอกล่าวซ้ำโดยจะอธิบายในส่วนที่ต่างคือ ส่วนการเกิดปฏิกิริยา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

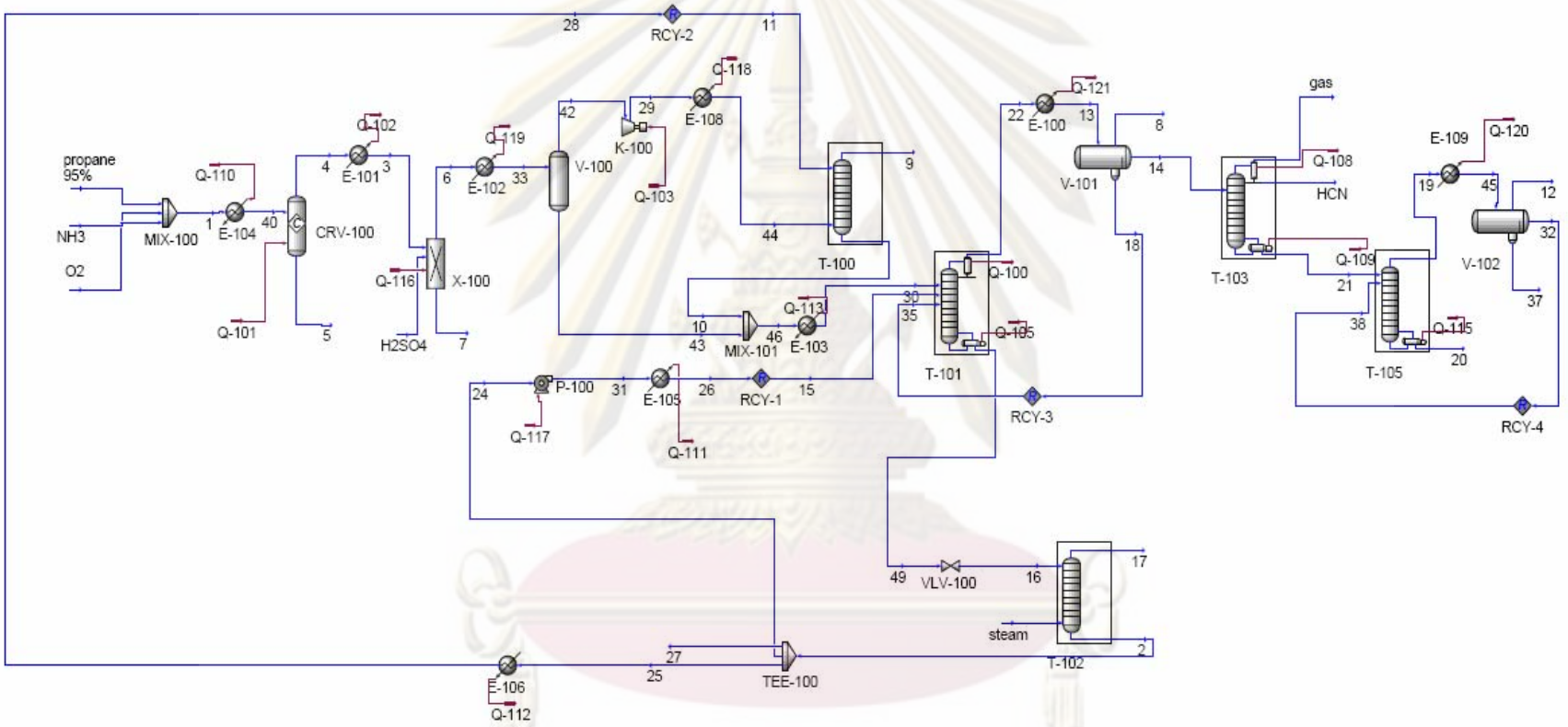


รูปที่ 2.11 แผนผังการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนสูง

2.7.3.1 **ส่วนการเกิดปฏิกิริยา**

ปฏิกิริยาที่เกิดคือปฏิกิริยา แอมมอกซิเดชันของโพรเพน ชนิดของตัวเร่งที่ใช้คือ MoVNbTe Oxide อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาคือ 435 $^{\circ}$ C อัตราส่วนของสารตั้งต้น คือ C_3H_8 : NH_3 : Air เท่ากับ 1.0: 1.2: 3.0 ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนเท่ากับ ร้อยละ 87 **[14]** ส่วนการผลิตในหน่วยอื่นได้แก่ ส่วนกำจัดแอมโมเนียที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา ส่วนการนำสารกลับมา ส่วนทำสารให้บริสุทธิ์มีขั้นตอนการผลิตเหมือนกรณีที่ 1 และ 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.12 แบบจำลองกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนสูง (ทางเลือกที่ 3)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.8 สารที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิต

1. สารปล่อยออกที่เป็นแก๊ส
2. สารปล่อยออกที่เป็นสารละลาย

1. สารปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมที่เป็นแก๊ส

แก๊สที่ปล่อยออกจากกระบวนการผลิตส่วนใหญ่มาจากหอดูดซับนั้นคือแก๊สที่ไม่ถูกดูดซับจะปล่อยสู่บรรยากาศ แก๊สเหล่านี้จะประกอบด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ โพรเพน โพรพิลีน ออกซิเจน ไนโตรเจน โดยแก๊สที่ปล่อยออกมานี้จะนำไปเผาในเตาเผา นอกจากหน่วยของหอดูดซับแล้ว แก๊สที่ปล่อยออกยังมาจากหอกลั่นไฮโดรเจนไซยาไนต์ โดยกลั่นแยกสารเบาออกจากไฮโดรเจนไซยาไนต์ซึ่งแก๊สที่ออกจากหอนี้จะมีไฮโดรเจนไซยาไนต์บางส่วนออกสู่สิ่งแวดล้อมด้วย และส่วนที่ปล่อยแก๊สสู่สิ่งแวดล้อมอีกก็คือ หอ Stripping ซึ่งทำการกลั่นแยกน้ำออกจากอะซิโตไนไตรล์ดั้งนั้นด้านบนหอจะปล่อยอะซิโตไนไทรล์ออกสู่สิ่งแวดล้อม

2. สารที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมที่เป็นสารละลาย

สารละลายที่ปล่อยออกส่วนใหญ่มาจากส่วนกำจัดแอมโมเนียที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาโดยสารละลายที่ออกจากส่วนนี้จะประกอบด้วย สารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตและน้ำ โดยสารละลายนี้บางโรงงานก็นำไปผลิตเป็นปุ๋ย หรือไม่ก็นำไปบำบัดก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

2.9 ผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้จากการผลิตอะคริโลไนไทรล์

ผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้จากการผลิตอะคริโลไนไทรล์ได้แก่ ไฮโดรเจนไซยาไนต์และอะซิโตไนไตรล์ โดยจะต้องมีการนำกลับ(Recovery) กลับมาหรือไม่นั้นขึ้นกับความต้องการของตลาด โดยถ้าไม่เป็นที่ต้องการของตลาดก็จะไม่ได้นำกลับมาขายซึ่งจะต้องนำไปกำจัด

โดยไฮโดรเจนไซยาไนต์นั้นถ้าไม่ได้นำไปขายหรือไม่ได้เอาไปเผาควรที่จะหลีกเลี่ยงการเก็บเพราะเป็นสารที่มีพิษมาก โดยสารสองตัวนี้เมื่อเผาแล้วจะได้ แก๊ส จำพวกไนโตรเจนออกไซด์

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

K.G.Harding [22] ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องมือการประเมินจักรชีวิตในการตัดสินทางเลือกของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ต่างกันโดยผ่านปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งที่ต่างกัน คือ การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งที่เป็นอินทรีย์สาร กับ ตัวเร่งที่เป็นอนินทรีย์ ตัวเร่งที่เป็นอนินทรีย์ที่ใช้คือโซเดียมไฮดรอกไซด์ และตัวเร่งที่เป็นสารอินทรีย์คือใช้ตัวเร่งเอ็มไซม์ ซึ่งเอ็มไซม์นี้ผลิตจาก แบตทีเรียที่ชื่อว่า *Candida Antarctica* โดยทางเลือกที่ใช้ตัวเร่งจากเอ็มไซม์นี้ยังไม่มีใช้ในอุตสาหกรรมของการผลิตไบโอดีเซล นอกจากจะประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่างกันแล้วยังได้ทำการแบ่งทางเลือกการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้สารน้ำมัน rapeseed oil แต่ใช้ แอลกอฮอล์ต่างกันที่คือ เมทานอล และ เอททานอล และได้ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของปริมาณการนำแอลกอฮอล์กลับมาใช้ใหม่ด้วย โดยผลของการประเมินวัฏจักรชีวิต พบว่าการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งที่เป็นเอ็มไซม์นั้นให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการผลิตโดยใช้ตัวเร่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งที่เป็นเอ็มไซม์ มีผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน สภาวะความเป็นกรด และ photochemical oxidation ลดลงประมาณร้อยละ 5

J.R.Hopper, et al [23] ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนากระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ซึ่งเป็นเทคโนโลยีของ Sohio process ทำการพัฒนากระบวนการผลิตโดยใช้ข้อมูลทางด้าน เทอร์โมไดนามิกและข้อมูลทางด้านจลนศาสตร์ โดยการพัฒนาเพื่อให้เกิดของเสียจากกระบวนการผลิตน้อยสุด โดยส่วนที่ทำการพัฒนาคือ ส่วนของเครื่องปฏิกรณ์ โดยศึกษาว่าเครื่องปฏิกรณ์ ชนิดใดที่ทำให้เกิด ผลผลิตภัณฑ์พลอยได้น้อยสุดจากการวิจัยพบว่า เครื่องปฏิกรณ์ที่เหมาะสมที่สุดคือ fluidized reactor สภาวะที่ใช้คือ 450 $^{\circ}$ C residence time 7 วินาที ได้ค่า conversion ร้อยละ 81 ส่วนสภาวะที่เหมาะสมของหน่วยแยกสารของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์นี้

หน่วยแยก	จำนวนชั้น	reflux ratio
Absorber	20	-
stripper	10	>4.1
HCN คอลัมน์	30	>4.5
AN คอลัมน์	100	>25.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

W.R. Johns a, A. Kokossis b, F. Thompsonb **[24]** วัตถุประสงค์ของการประเมินวัฏจักรชีวิตคือเพื่อที่จะตรวจสอบผลกระทบที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์ปัญหาของการผลิตที่มีหลายสาขารวมถึง กระบวนการผลิตที่มีหลายผลิตภัณฑ์ และ การ reuse หรือการ recycle ในอุตสาหกรรมทั่วไปการจะมีความแตกต่างระหว่างการ recycle และการ reuse โดยการ recycle จะหมายถึงการนำมาใช้ในในกระบวนการเดียวกันส่วนการ reuse คือการใช้ของเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตแห่งหนึ่งมาใช้ในอีกกระบวนการหนึ่งที่แตกต่างกัน ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ได้สนในทำการศึกษาว่าในการพัฒนากระบวนการ ผลิตระหว่างการ reuse และการ recycle นั้นทางเลือกไหนที่จะให้ผลดีต่อสิ่งแวดล้อมมากสุด โดยใช้ LCA เป็นเครื่องมือในการศึกษา

Arnold Tukker **[25]** ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม 2 วิธี คือ การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment: EIA) การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) พบว่าการทำ EIA นั้นเป็นการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเฉพาะในส่วนของโรงงานว่ามีผลกระทบทางตรงและทางอ้อมต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร ส่วนการทำ LCA นั้นเป็นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงอายุของผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งเป็น 3 ด้านคือ ด้านผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ด้านผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยา และด้านการนำทรัพยากรธรรมชาติไปใช้ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่สามารถนำไปเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการได้

Ricardo Prada Silvy, Mihaela Florea, Nathalie Blangenois, and Paul Grange **[2]** ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ ของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนของสองตัวเร่งที่ต่างกันคือ กรณีที่ใช้ตัวเร่ง VAlON ซึ่งให้ค่าคอนเวอร์ชันของโพรเพนต่ำคือมีการป้อนกลับของโพรเพนที่เหลือการทำปฏิกิริยา กับกรณีที่ใช้ตัวเร่ง MoV0,3Te0,23Nb0,15 O*x* ซึ่งให้ค่าคอนเวอร์ชันสูง ซึ่งจะไม่มีการป้อนกลับของโพรเพน โดยได้คิดจากราคาของวัตถุดิบที่ใช้และคิดจากราคาของผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นคือ อะคริโลไนไทรล์ และแอมโมเนียมซัลเฟตด้วย และผลที่ได้คือการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากโพรเพนนั้นไม่ว่าใช้ตัวเร่งที่ได้ค่าคอนเวอร์ชันสูงไม่มีหน่วยป้อนกลับของโพรเพน และกรณีที่ใช้ตัวเร่งที่ให้ค่าคอนเวอร์ชันต่ำต้องมีหน่วยป้อนกลับของโพรเพนนั้นพบว่ามีผลกำไรใกล้เคียงกันคือ $ 607 และ $ 624 ตามลำดับ

Hubert Halleux **[26]** ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต โดยใช้ดัชนี้ Eco Indicator 99 , CML และ Impact 2002+ ของกระบวนการบำบัดน้ำเสีย โดยในวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือจะทำการเปรียบเทียบผลกระทบระหว่างมีการบำบัดน้ำเสียกับไม่มีการบำบัดน้ำเสีย โดยงานวิจัยนี้ได้เน้นการประเมินผลกระทบที่มีการใช้ดัชนีที่ต่างกันในการประเมิน ซึ่งผลจากการประเมินพบว่ากรณีที่ไม่มีการบำบัดน้ำเสียในวิธีการประเมินของ Eco-Indicator 99 ,CML และ Impact 2002+ ให้ผลการประเมินที่เหมือนกันทั้งสามวิธี และทางเลือกที่มีการบำบัดน้ำเสียเป็นวิธีการที่มีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมดีกว่าทางเลือกที่ไม่มีการบำบัดน้ำเสีย จากการประเมินผลกระทบระบบบำบัดน้ำเสียมีผลกระทบหลัก คือผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์และผลกระทบด้านการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิชัน

S. Renou et al. **[27]** ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต(LCA)เพื่อประเมินผลกระทบของกระบวนการ บำบัดน้ำเสีย โดยใช้โปรแกรมซิกมาโปร เวอร์ชัน 6 และ วิธีที่ใช้คำนวนผลกระทบทั้งหมด 5 วิธี คือ CML 2000, Eco-Indicator 99, EDIP96, EPS และ Eco-points 97 โดยเป้าหมายของงานวิจัยนี้คือศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการประเมินค่าผลกระทบเมื่อมีการใช้วิธีที่ต่างกันในการหาค่าผลกระทบ โดย functional unit ที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้คือ ปริมาณน้ำเสียที่เก็บตัวอย่างน้ำในระยะเวลา 1 ปี และประเภทผลกระทบที่พิจารณาคือ ด้านสภาวะความเป็นกรด ด้านการเจริญเติบโตของพืชน้ำที่มากเกินไป ผลกระทบด้านสภาวะโลกร้อน, การลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ และความเป็นพิษต่อมนุษย์ จากการประเมินผลกระทบของการบำบัดน้ำเสียพบว่าการใช้วิธีที่ต่างกันประเมินค่าผลกระทบนั้นไม่มีความต่างในผลกระทบที่ระดับ global เช่น ผลกระทบด้านสภาวะโลกร้อน การลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ eutrophication และผลกระทบด้านสภาวะความเป็นกรด แต่ผลกระทบด้าน ความเป็นพิษต่อมนุษย์ พบว่าการประเมินผลกระทบแต่ละวิธีนั้นให้ค่าการประเมินที่ต่างกันมาก แต่ว่าสามารถยอมรับได้เพราะว่ากระบวนการที่ศึกษาคือการบำบัดน้ำเสียซึ่งผลกระทบนี้ไม่มีความสำคัญต่อระบบนี้มากเท่าไหร่นัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

David Bojarski **[5]** ในงานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีแก้ไขข้อจำกัดของการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งข้อจำกัดอย่างหนึ่งของการประเมินวักจักรชีวิตคือการได้ข้อมูลที่มีความถูกต้อง ซึ่งในงานจัยนี้ได้เสนอข้อแก้ไข ที่เป็นข้อจำกัดของการได้มาซึ่งข้อมูลเพื่อใช้ประเมินวัฏจักรชีวิต นั้นคือใช้การสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตนอกจากนี้ ยังได้พิจารณาความไม่แน่นอนของข้อมูล โดยการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนนี้จะใช้วิธี Monte Carlo ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียของกระบวนการผลิตกรดฟอสฟอริก โดยเทอร์โมไดนามิกซ์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองกระบวนการคือ Electrolyte-NRTL โดยทำการเลือกทางเลือกของการบำบัดน้ำเสียของกระบวนการผลิตกรดฟอสฟอริกทั้งหมดสามทางเลือกคือ

ทางเลือกที่ 1 ทิ้งลงมหาสมุทรมีปริมาณน้ำเพียงเล็กน้อยที่นำไปใช้ใหม่ในกระบวนการผลิต

ทางเลือกที่ 2 ปรับสภาพน้ำให้เป็นกลางก่อนคือ ให้มี pH เป็น 7 แล้วทิ้งลงในบ่อน้ำ โดย ร้อยละ 90 นำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตและอีก ร้อยละ 10 นำไปบำบัด

ทางเลือกที่ 3 น้ำทิ้งทั้งหมดจะนำ H2SiF6 กลับมาและปรับสภาพให้เป็นกลางก่อนทิ้ง

โดยข้อมูลที่ใช้การสร้างแบบจำลองนั้นได้จากกระบวนการผลิตจริงในอุตสาหกรรมและได้จากการสร้างแบบจำลองโดยใช้ Aspen Plusโดยการเปรียบเทียบนั้นจะทำที่ภายใต้ความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์ดังนี้

- พารามิเตอร์ ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเช่น อุณหภูมิของสายขาเข้า อุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์ อุณหภูมิในหอดูดซับ
- พารามิเตอร์ที่ได้จากฐานข้อมูลของ Ecoinvent databaseในโปรแกรมซิมาโปร

Wei Zhao **[28]** ได้ทำการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบกำจัดของเสียหลายองค์ประกอบ(MSW)ในประเทศจีน ซึ่งในประเทศจีนนั้นมีปริมาณ MSW มากขึ้นเรื่อยๆแต่ว่ามีโรงงานกำจัดของเสียนี้ไม่มากนัก โดยในงานวิจัยนี้ได้สนใจผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของปล่อยแก๊สเรือนกระจก(greenhouse gas;GHG) ซึ่งในงานวิจัยได้ศึกษาทางเลือกที่จะเป็นไปได้ในการลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกของระบบกำจัด MSW โดยใช้เครื่องมือการประเมินวัฏจักรชีวิต(Life cycle assessment ;LCA)ในการตัดสินทางเลือก ซึ่งแบ่งเทคโนโลยีที่ใช้ในระบบกำจัดของเสียนี้เป็น 7 ทางเลือกคือ

SO ทางเลือกนี้จะแบ่งโดย ร้อยละ 48.9 จะบำบัดโดยการนำไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า และ ร้อยละ 49.5 จะนำไปทำฝังกลบโดยไม่มีเครื่องกำจัดแก๊สที่เกิดจากการฝังกลบ

S1 จะคล้ายกับทางเลือก SO แต่จะต่างกันที่มีเครื่องมือกำจัดแก๊สที่เกิดจากการฝังกลบ

S2 กำจัดขยะโดยเตาเผาขยะโดยจะตั้งข้อสมุติฐานว่าของเสียทั้งหมดจะเข้าสู่เตาเผาแล้วได้กระแสไฟฟ้า

S3 มีการนำขยะบางส่วนนำกลับมาใช้ใหม่ (recycle)

S4 จะแยกขยะประเภท kitchen waste มาหมักเป็นปุ๋ยหมัก โดยนำขยะประเภทนี้มาร้อยละ50 เพื่อนำมาหมักแล้วใช้เป็นปุ๋ยและขยะประเภทอื่นนำมากำจัดตามแบบทางเลือกที่ SO

S5 จะคล้ายกับทางเลือก S4 แต่จะต่างกันที่การนำมาย่อยนั้นจะย่อยโดย anaerobic

S6 ทางเลือกนี้จะนำหลายๆทางเลือกมาร่วมกันเพื่อบำบัดของเสียเพื่อให้มีการปล่อยแก๊สเรือนกระจกน้อยสุด โดยจะแยก พวกโลหะ แก้ว กระดาษ และพลาสติกนำกลับมาใช้ใหม่ที่เปอร์เซ็นการ recycle ร้อยละ 30 และ ร้อยละ 50 ของขยะประเภท kitchen wasteจะนำมาหมักโดยวิธี anaerobicและขยะบางส่วนจะนำไปที่โรงาน MSW-to-energy plant และที่เหลือจะนำไปฝังกลบโดยมีเครื่องกำจัดแก๊สที่เกิดจากการฝังกลบ

นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังได้มีการศึกษาเพิ่มเติมคือ การวิเคราะห์ sensitivity analysis ด้วยคือศึกษาอัตราการ recycle MSW นำกลับมาใช้ใหม่เช่น แก้ว กระดาษ ว่าอัตราการ recycle MSW นั้นมีผลต่อการปล่อยแก๊สเรือนกระจกอย่างไร และยังศึกษา sensitivity ของการใช้การ allocation ที่ต่างกันด้วย และศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องกำจัดแก๊สที่เกิดจากการฝังกลบ ผลลัพธ์ในการประเมินวัฏจักรชีวิตก็คือ ในการปล่อยแก๊สเรือนกระจกของระบบการกำจัดของเสียในไต้หวันนั้นทำให้มีค่าผลกระทบเท่ากับ 467.34 Mg CO2eq.per year และผลของศึกษาด้าน sensitivity analysis ของอัตราการ recycle MSW พบว่าถ้าอัตราการ recycle MSW มากจะทำให้ลดการปลอ่ยแก๊สเรือนกระจกลดลง ซึ่งมีความสัมพันธ์กันเป็นส่วนกลับกันแบบเส้นตรง และศึกษาผลของประสิทธิภาพของเครื่องกำจัดแก๊สพบว่าถ้าประสิทธิภาพของเครื่องมากขึ้นก็จะทำให้มีผลกระทบเนื่องจากการปล่อยแก๊สเรือนกระจกลดลง และผลของการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของวิธีที่ต่างกันในการบำบัดของเสียพบว่าทางเลือกที่ S6 นั้นมีผลกระทบด้านการ

ปล่อยแก๊สเรือนกระจกน้อยสุดหรือกล่าวได้ว่าเป็นวิธีที่มีศักยภาพที่ดีในการลดผลกระทบจากการปล่อยแก๊สเรือนกระจก

Roberto Catani [12] ได้ทำการศึกษาทางด้าน kinetic ของปฏิกิริยา แอมมอกซิเดชันของโพรเพนเพื่อให้ได้เป็นอะคริโลไนไทรล์ บนตัวเร่ง V-Sb-Al เพื่อที่จะหาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา โดยตัวแปรที่ทำการหาสภาวะได้แก่ อัตราส่วนของสารตั้งต้นของโพรเพน แอมโมเนีย ออกซิเจน และอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา โดยผลการทดลองพบว่า ตัวเร่งชนิดนี้จะให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นมากสุดอยู่ในช่วง ร้อยละ 35 - 40 และมีค่า selectivity เป็นอะคริโลไนไทรล์มากสุดอยู่ในช่วง ร้อยละ 50-60

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

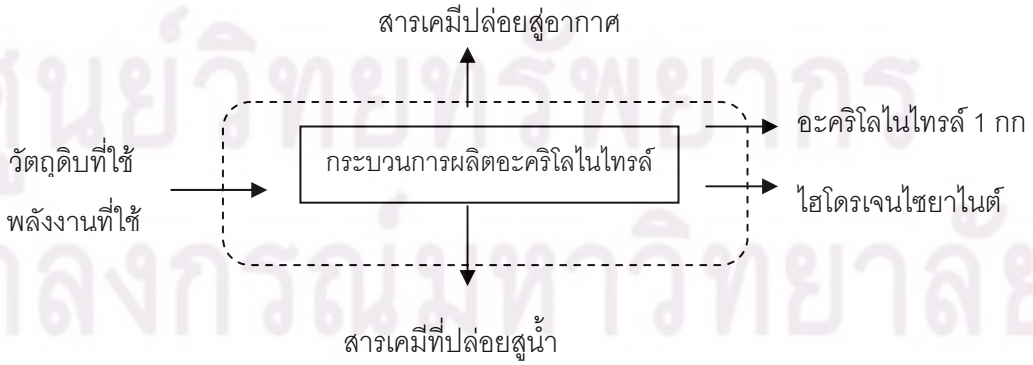
3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ และศึกษาผลกระทบของการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากกระบวนการผลิตที่มีการใช้วัตถุดิบที่ต่างกัน โดยมีขั้นตอนการทำงานวิจัยดังนี้

3.1.1 เป้าหมายและขอบเขตของงานวิจัย

3.1.1.1 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย

เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์และเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตที่มีทางเลือกการผลิตที่ต่างกันเพื่อที่จะเลือกเส้นทางการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากสุด โดยทางเลือกที่ทำการศึกษาแบ่งเป็น 3 ทางเลือก ดังตารางที่ 2.8 โดยขอบเขตที่ใช้ศึกษาคือกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ในงานวิจัยนี้คือ ศึกษาแบบ Cradle-to-gate ซึ่งจะมีขอบเขตของระบบผลกระทบที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบจนถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการผลิต ซึ่งไม่ได้รวมถึงการศึกษาที่เกิดจากขั้นตอนของการขนส่งวัตถุดิบและการนำไปใช้ การนำกลับมาใช้ใหม่ และการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้น โดยขอบเขตที่ศึกษาในงานวิจัยนี้แสดงดังรูป



รูปที่ 3.1 ขอบเขตของงานวิจัยที่ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตของอะคริโลไนไทรล์

3.1.1.2 **หน่วยหน้าที่** (functional unit)

หน่วยหน้าที่ (Functional unit) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เพื่อใช้เปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตอะคริโลไนไทรล์ที่ต่างกัน หน่วยหน้าที่ ที่ใช้ คือ 1 กิโลกรัมของปริมาณการผลิตอะคริโลไนไทรล์ เพื่อให้ข้อมูลปริมาณสารที่เข้าและออกจาก ระบบตั้งอยู่บนพื้นฐานเดียวกัน

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

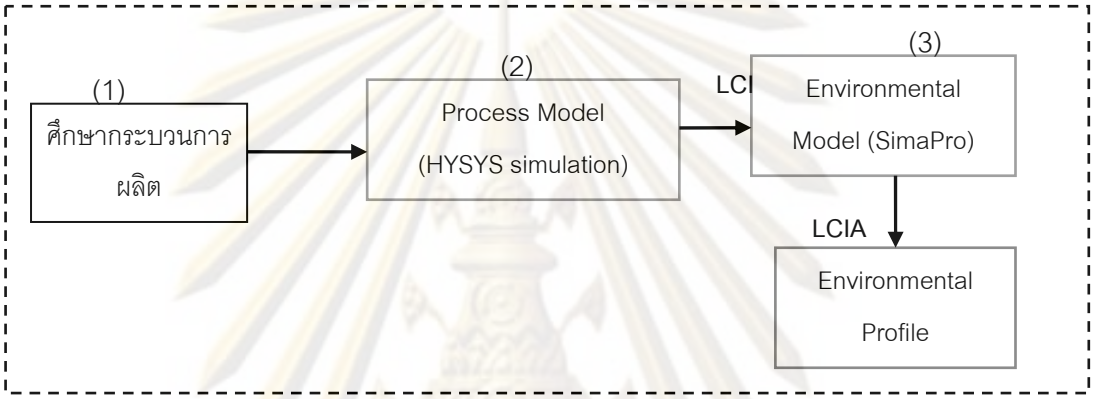
ขั้นตอนที่สองของการประเมินวัฏจักรชีวิตก็คือ การทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมโดยขั้นนี้จะต้องเก็บ รวบรวมข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและปริมาณสารขาออกของขอบเขตที่ได้ทำการศึกษาซึ่ง ขอบเขตของงานวิจัยนี้ก็คือศึกษาผลกระทบของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ ดังนั้นการประเมินวัฏจักรชีวิตในขั้นนี้จะต้องได้ข้อมูลปริมาณสารขาเข้า และสารขาออก ของระบบของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ ซึ่งข้อมูลทางด้านนี้ไม่สามารถที่จะตรวจวัดได้โดยตรง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการเลียนแบบกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ โดยใช้โปรแกรม Hsys. plant Version 3. 1เพื่อที่จะให้ได้ข้อมูลด้านปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ พลังงานที่ใช้ และสารที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองของกระบวนการผลิตนั้นได้จะได้มาจากหนังสือ สิทธิบัตร และงานวิจัย ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

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

ขั้นตอนที่สามของการประเมินวัฏจักรชีวิตก็คือ การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยขั้นนี้จะเปลี่ยนหน่วยของปริมาณที่ได้จากการทำ LCI ให้อยู่ในหน่วยของผลกระทบ ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ของงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Semipro 6.0 และใช้วิธี Eco-indicator 99 เป็นดัชนีที่ใช้คำนวนผลกระทบ โดยวิธีที่ใช้คำนวนผลกระทบของ Eco-indicator 99 นั้น จะมีขั้นตอนการทำ characterization เพื่อเปลี่ยนปริมาณของสารเข้าและสารขาออกที่เป็นหน่วยกิโลกรัม ให้เป็นหน่วยของผลกระทบ ที่เกิดขึ้นในด้านต่างๆทั้ง 11 ผลกระทบ โดยมีค่าแฟกเตอร์มาคูณ และขั้นการทำการเทียบหน่วย (normalization) และการทำให้น้ำหนักผลกระทบ (weighting) มีคะแนนเดียว (single score) ซึ่งค่าแฟกเตอร์ (factor) สำหรับนำมาคูณกับข้อมูลที่ได้เก็บรวมรวมข้อมูลเพื่อประเมินผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี Eco-Indicator 99 ได้แสดงไว้ในภาคผนวก

3.1.4 **การแปลผล** (Life Cycle Interpretation)

ขั้นนี้เป็นขั้นสุดท้ายของการประเมินวัฏจักรชีวิตคือเมื่อได้ผลที่ได้จากการประเมินผลกระทบคือขั้น LCIA แล้วต้องนำมาแปลผล เพื่อหาโอกาสที่เป็นไปได้ในการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ วิเคราะห์เป็นแนวทางในการพิจารณาเลือกกระบวนการผลิตที่มีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมน้อยสุด



รูปที่ 3.2 ภาพรวมขั้นตอนการทำงานวิจัยในขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิต

จากรูปที่ 3.2 สามารถสรุปภาพรวมการทำงานวิจัยได้คือ ทำการศึกษากระบวนการผลิต (1) เพื่อสร้างแบบจำลองของกระบวนการผลิตทุกทางเลือกที่ได้ทำการศึกษา ขั้นที่(2) นำข้อมูลด้านกระบวนการผลิตมาสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิต โดยการสร้างแบบจำลองจะทำให้ได้ข้อมูลสารเข้า-ออก นั้นคือขั้นการทำ LCI จากข้อมูล LCI ที่ได้จากการสร้างแบบจำลองจะนำไปใช้ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้นคือขั้นที่(3) โดยใช้โปรแกรมซิกมาโปรเวอร์ชัน 6 จากนั้นนำค่าผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม จะนำไปแปลผลเพื่อสรุปเป็นข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้านสิ่งแวดล้อม

3.2 **ข้อสมมุติฐานและข้อจำกัด** (Limitation and Assumption)

เนื่องจากกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์นั้นข้อมูลที่นำมาสร้างแบบจำลองนั้นได้มาจากงานวิจัยที่เกี่ยว สิทธิบัติและหนังสือ ดังนั้นข้อมูลที่ใช้ในการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมในงานวิจัยนี้ ได้เก็บรวบรวมมาจากบทความจากเอกสารทางวิชาการระดับนานาชาติ

และวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์ในประเทศไทย และใช้ฐานข้อมูลผลิตภัณฑ์จากโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro®6.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ของแต่ละทางเลือกการผลิต

ในบทนี้จะนำเสนอผลการวิจัยและวิจารณ์จากการประเมินวัฏจักรชีวิตต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรด์จากทางเลือกการผลิตที่ต่างกัน คือผลิตจากสารตั้งต้นที่ใช้กันทั่วไป(conventional process) คือโพรพิลีน (ทางเลือกที่ 1) และผลิตอะคริโลไนไทรด์จากสารต้นต้นที่มีการพัฒนาเมื่อไม่นานมานี้คือ ใช้สารตั้งต้นโพรเพน โดยสารตั้งสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนนั้นแบ่งเป็น 2 ทางเลือก คือมีการนำโพรเพนกลับมาใช้ใหม่ (ทางเลือกที่ 2) และไม่มีการนำโพรเพนกลับมาใช้ใหม่(ทางเลือกที่ 3) โดยการประเมินวัฏจักรชีวิตของแต่ละทางเลือกการผลิตนั้นจะต้องมีการกำหนดหน่วยการทำงาน (function unit) ซึ่งในงานวิจัยนี้คือหน่วยหน้าที่ที่ใช้คือ การผลิตอะคริโลไนไทรล์ 1 กิโลกรัม เพื่อให้ข้อมูลปริมาณสารที่เข้าและขาออกจากระบบเพื่อตั้งให้อยู่บนพื้นฐานเดียวกัน และสามารถเปรียบเทียบผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของแต่ละทางเลือกการผลิตได้โดยใช้ ECO-indicator 99 ในการประเมินค่าผลกระทบซึ่งมีผลการวิจัยดังนี้

4.1.1 การทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory)

ในการประเมินวัฏจักรชีวิตสำหรับผลิตภัณฑ์ต่างๆ จะต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับมวลสาร พลังงาน และของเสีย ที่ปลดปล่อยออกจากกระบวนการต่างๆ ตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ งานวิจัยนี้ได้ใช้การสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรด์ ทั้ง 3 ทางเลือก โดยใช้โปรแกรม HYSYS simulation โดยผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตทั้งสามทางเลือกแสดงดังตารางที่ 4.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอะคริโลไนไทรล์

สาร	ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3
	วัตถุดิบที่ใช้ (kg/hr) : สารขาเข้า		
โพรพิลีน	1.0377	-	-
โพรเพน	-	1.8299	1.9755
อากาศ	7.2825	-	19.3963
ออกซิเจน	-	6.0873	-
แก๊สเฉื่อย	-	21.3153	-
แอมโมเนีย	0.4819	1.2341	0.7645
กรดซัลฟลูริก	0.2054	2.2211	1.0859
ไอน้ำ	1.9134	3.4221	2.315
heating energy kJ/hr	23535.82	52647.37	30177.73
พลังงานไฟฟ้า kJ/hr	6,552.32	49668.98	7585.36
cooling energy kJ/hr	46968.22	140431.39	81241.474

ตารางที่ 4.2 ปริมาณผลิตภัณฑ์หลักและผลิตภัณฑ์พลอยได้

สาร	ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3
	ผลิตภัณฑ์(kg/hr) : สารขาออก		
อะคริโลไนไทรล์	1	1	1
ไฮโดรเจนไซยาไนด์	0.112	0.1785	0.0705

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารที่ปล่อยออกจากกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์

สาร	ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3
	สารที่ปล่อยออก (kg/hr): สารขาออก		
อะโครลีน	0.0173	-	-
โพรพิลีน	0.0099	0.2768	0.1737
โพรเพน	0.0519	0.1296	0.2185
ออกซิเจน	0.3088	3.1444	0.7559
แก๊สเฉื่อย	5.6631	21.3153	15.1804
อะซิโตไนไทรล์	0.0394	0.0298	0.0467
อะคริโลไนไทรล์	0.0068	0.0068	0.0068
ไฮโดรเจนไซยาไนด์	0.0009	0.0004	0.0001
คาร์บอนไดออกไซด์	0.1232	0.6728	1.0085
คาร์บอนมอนอกไซด์	0.0787	0.4291	0.6437
แอมโนเนียมไอออน	0.0717	0.7868	0.3832
ซัลเฟตไอออน	0.2054	2.2211	1.0859
น้ำ	3.2279	5.8825	4.9686

4.1.2 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ของทั้งสามทางเลือก แสดงดังรูป 4.1-4.3 โดยผลที่ได้จะแสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตและผลกระทบที่เกิดจากสารที่ปล่อยออกจากกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ โดยทางเลือกที่ 1 และ ทางเลือก 2 กับ 3 จะใช้วัตถุดิบต่างกันคือโพรพิลีนกับโพรเพนแต่ว่าทั้งสามทางเลือกใช้วัตถุดิบชนิดอื่นเหมือนกันโดยจะต่างกันที่ปริมาณการใช้เพราะมีสภาวะการเกิดปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ต่างกันโดยการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ จะทำให้ทราบว่าในการผลิตอะคริโลไนไทรล์ 1 กิโลกรัม นั้นมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านใดบ้างใน 11 ประเภทผลกระทบและสาเหตุมาจากวัตถุดิบใด

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์นั้นกลุ่มผลกระทบที่ทำการศึกษาประกอบด้วย 11 กลุ่มผลกระทบดั้งนี้

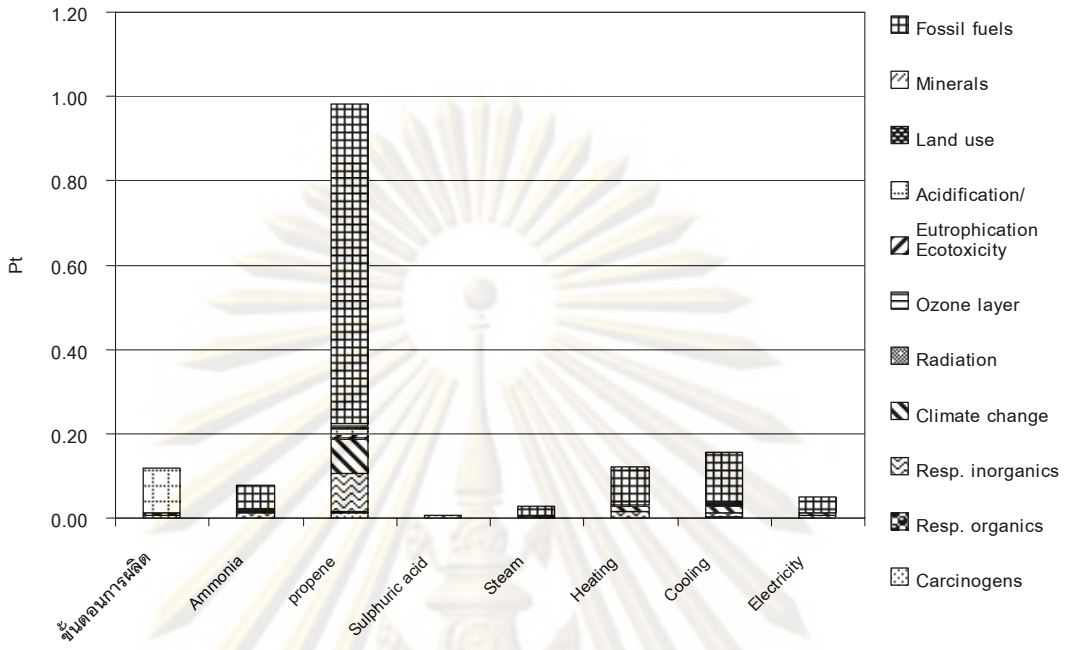
1. สารก่อมะเร็ง (Carcinogenic)
2. ผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร (Respiration of organic substance)
3. ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiration of inorganic substance)
4. สารแผ่รังสี (Radiation)
5. ภาวะโลกร้อน (Climate change)
6. การลดลงของโอโซน (Ozone depletion)
7. ภาวะความเป็นกรด (Acidification)/ภาวะอูโทรฟิเคชัน (Eutrophication)
8. ความเป็นพิษ (Ecotoxicity)
9. การใช้พื้นที่ (Land use)
10. การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (fossil fuels)
11. การใช้สินแร่ (Mineral)

4.1.2.1 **การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์** :

จากสารตั้งต้นโพรพิลีน (ทางเลือกที่ 1)

ในการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรพิลีนนั้นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตประกอบด้วย โพรพิลีน แอมโมเนีย ออกซิเจน(จากอากาศ) กรดซัลฟลูริก ไอน้ำ และพลังงานที่ใช้ในการผลิตซึ่งประกอบด้วย พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในหน่วยเพิ่มความดัน (Electricity) พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิ (heating energy) พลังงานที่ใช้ลดอุณหภูมิ (cooling energy) โดยผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้แสดงดังรูปที่ 4.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

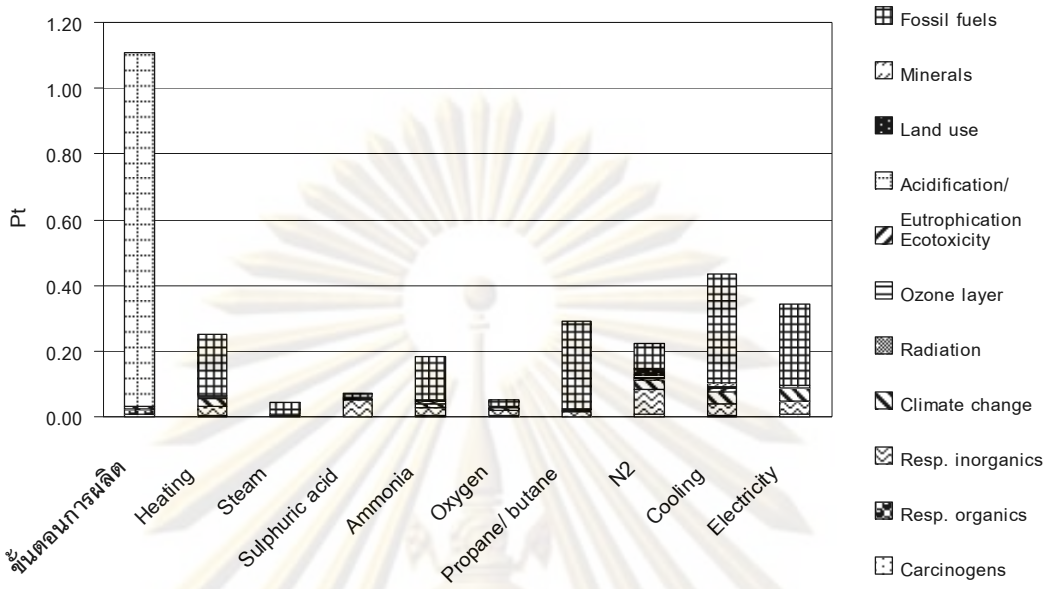


รูปที่ 4.1 ผลกระทบของการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรพิลีน (ทางเลือกที่ 1)

การผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรพิลีน (ทางเลือกที่1) พบว่าผลกระทบหลักมาจากวัตถุดิบที่ใช้ (สารขาเข้าทั้งหมดประกอบด้วย ammonia, propylene, sulfuric acid, steam, heating, cooling, electricity) โดยวัตถุดิบที่มีผลกระทบมากสุดคือ โพรพิลีน ซึ่งมีค่าผลกระทบเท่ากับ 0.982 Pt และผลกระทบรองลงมาก็คือพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ โดยผลกระทบจากสารที่ปล่อยออกของทางเลือกที่ 1 มีค่าผลกระทบน้อยกว่าผลกระทบที่มาจากการผลิตวัตถุดิบ โดยผลกระทบที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ มีค่าเท่ากับ 0.1186 Pt

4.1.2.2 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์: จากสารตั้งต้นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่ำ (ทางเลือกที่ 2)

ในการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่ำ(ทางเลือก 2) นั้น วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจะคล้ายกับทางเลือกที่ 1 แต่จะใช้โพรเพนแทนโพรพิลีน และแหล่งให้ออกซิเจนที่ใช้ไม่ได้มาจากแหล่งธรรมชาติแต่มาจากโรงงานผลิตแก๊สออกซิเจน ส่วนสารตั้งต้นอื่นและชนิดพลังงานที่ใช้จะเหมือนทางเลือก 1 แต่จะต่างกันที่ปริมาณการใช้เท่านั้น

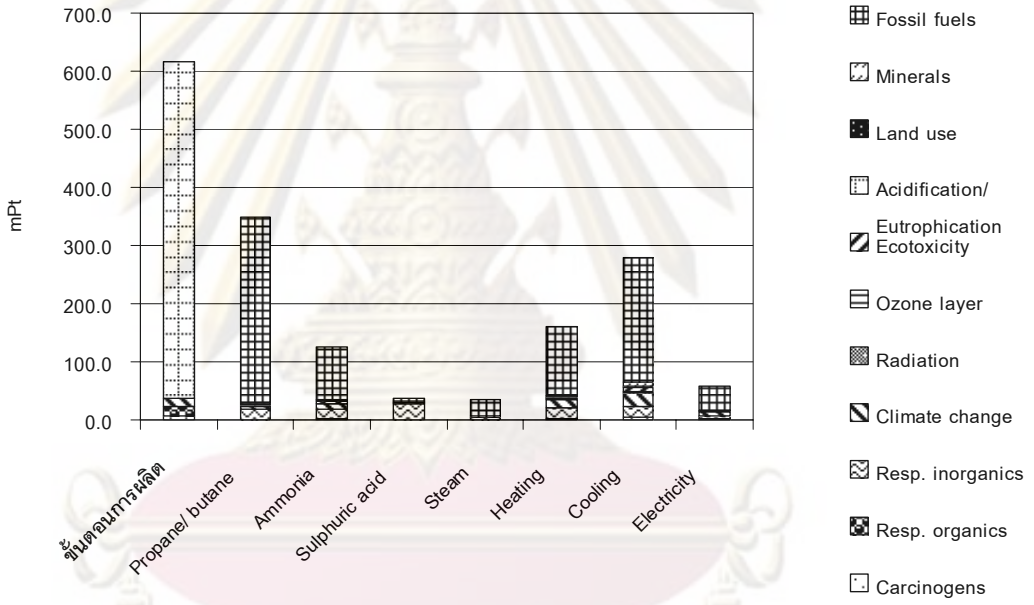


รูปที่ 4.2 ผลกระทบของการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่ากาเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่ำ (ทางเลือกที่ 2)

การผลิตอะคริโลไนไทรล์ในทางเลือกที่ 2 มีค่าผลกระทบแสดงดังรูปที่ 4.2 พบว่ามีค่าผลกระทบส่วนใหญ่มาจากสารที่ปล่อยออกในระหว่างการผลิตอะคริโลไนไทรล์ โดยมีค่าผลกระทบเท่ากับ 1.1071 Pt โดยวัตถุดิบที่ส่งผลกระทบมากสุดได้แก่ พลังงานที่ใช้ในหน่วยการผลิตต่างๆ มีผลกระทบมากสุดคือพลังงานที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ, พลังงานไฟฟ้า, และพลังงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิ โดยมีค่าผลกระทบเท่ากับ 0.4355 Pt, 0.343 Pt และ 0.2523 Pt ตามลำดับ ส่วนวัตถุดิบที่เป็น โพรเพนมีค่าผลกระทบน้อยกว่า ผลกระทบของพลังงานที่ใช้ในการผลิต โดยสาเหตุที่การผลิตอะคริโลไนไทรล์ทางเลือกที่ 2 มีค่าผลกระทบจากพลังงานที่ใช้เป็นหลักเป็นเพราะว่าทางเลือกที่ 2 นั้นเป็นทางเลือกที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่ำ ดังนั้น การที่จะให้ได้ปริมาณการผลิตอะคริโลไนไทรล์เท่ากันกับทางเลือกอื่นจะต้องใช้ปริมาณสารตั้งต้นที่มากกว่าดังนั้นจึงทำให้เพิ่มการรับน้ำหนักของแต่ละหน่วยการผลิตจึงต้องใช้พลังงานในการผลิตมากและนอกจากนี้ยังต้องมีหน่วยป้อนกลับของโพรเพนด้วยซึ่งต้องมีการใช้พลังงานในส่วนนี้เพิ่มเข้ามา จึงทำให้ทางเลือกที่ 2 มีผลกระทบส่วนใหญ่มาจากวัตถุดิบที่เป็นพลังงาน โดยการที่ใช้พลังงานในการผลิตมากจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล

4.1.2.3 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์: จากสารตั้งต้นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนสูง(ทางเลือกที่ 3)

ในการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนสูง(ทางเลือก 3) นั้น วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจะเหมือนกับทางเลือกที่ 1และ 2 แต่จะเปลี่ยนจากสารตั้นต้นที่เป็นโพรพิลีนมาเป็นโพรเพนแทน ส่วนวัตถุดิบอื่นที่ใช้จะเหมือนกันแต่จะต่างกันที่ปริมาณการใช้ โดยการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตอะคริโลไนไทรล์ทางเลือก 3 แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ผลกระทบของการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่ากาเปลี่ยนแปลงของโพรเพนสูง (ทางเลือกที่ 3)

การผลิตอะคริโลไนไทรล์ทางเลือก 3 ผลกระทบหลักมาจากทั้งขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ และมาจากวัตถุดิบที่ใช้(สารขาเข้า)โดยวัตถุดิบที่มีผลกระทบหลัก ได้แก่ โพรเพนและพลังงานที่ใช้ ส่วนผลกระทบที่มาจากขั้นตอนการผลิตนั้นมีค่าผลกระทบเท่ากับ 616 m Pt

จากรูปที่ 4.1-4.3 สามารถสรุปได้ว่าถ้าใช้สารตั้งต้นที่เป็นโพรพิลีนเป็นวัตถุดิบในการผลิตอะคริโลไนไทรล์จะทำให้มีผลกระทบส่วนใหญ่มาจากวัตถุดิบที่ใช้เพราะเนื่องจาก ว่าสารตั้งต้นที่เป็นโพรพิลีนนั้นต้องผ่านขั้นตอนการผลิตจากโพรเพนให้เป็นโพรพิลีนก่อนแล้วค่อยนำมาใช้ในการ

ผลิตอะคริโลไนไทรล์ แต่ทางเลือกที่ 2 และ 3 นั้นใช้สารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนซึ่งไม่ต้องผ่านการผลิตโพรพิลีนจึงทำให้ทางเลือกที่ 2 และ 3 นั้นมีผลกระทบหลักมาจากขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์มากกว่าผลกระทบที่มาจากขั้นตอนการผลิตสารตั้งต้นที่ใช้

4.2 ผลการประเมินเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิตอะคริโลไนไทรล์

จากการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของแต่ละทางเลือกของการผลิตในหัวข้อ 4.1.2.1 - 4.1.2.3 จะทำให้ทราบว่าในการผลิตแต่ละทางเลือกนั้นมีผลกระทบหลักมาจากวัตถุดิบตัวใดและผลกระทบมาจากขั้นตอนใดของการผลิตอะคริโลไนไทรล์ แต่ในหัวข้อนี้จะเสนอผลของการเปรียบเทียบทางเลือกทั้งสามทางเลือกเพื่อที่จะสามารถตัดสินใจได้ว่าทางเลือกใดที่จะมีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดโดยการประเมินผลเพื่อเปรียบเทียบนั้นในงานวิจัยนี้ได้แบ่งขอบเขตของกระทบที่ศึกษาเป็นสามขอบเขตของการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตอะคริโลไนไทรล์ดังนี้

4.2.1. ผลกระทบที่เกิดจากการผลิตวัตถุดิบ/หรือสารตั้งต้นที่ใช้ในการผลิตอะคริโลไนไทรล์
4.2.2. ผลกระทบที่เกิดจากขั้นตอนการผลิต/หรือสารที่ปล่อยออกจากกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์
4.2.3. ผลกระทบตั้งแต่การผลิตวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ (รวมผลกระทบจากขอบเขต 1 และ 2) หรือเรียกว่า cradle-to-gate

กราฟที่จะนำมาเสนอเพื่อเปรียบเทียบค่าผลกระทบของทั้งสามทางเลือกการผลิต จะเป็นกราฟที่อธิบายแต่ละกลุ่มผลกระทบหลักนั้นคือผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์(Human health) ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ (Ecosystem quality) และผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ (Resource) โดยอธิบายในหน่วยผลกระทบเป็น DALY, PDF *m2Yr และ MJ surplus ตามลำดับ ซึ่งเป็นหน่วยของผลกระทบของสามกลุ่มผลกระทบดังนี้

ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human health) อธิบายในหน่วย DALY ย่อมาจาก Disability Adjusted Life Years หมายถึงจำนวนปีที่ต้องเจ็บป่วยและตายก่อนวัยอันควร โดยมีสาเหตุมาจาก ประเภทผลกระทบดังนี้ สารก่อมะเร็ง (Carcinogenic) ผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร (Respiration of organic substance) ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์

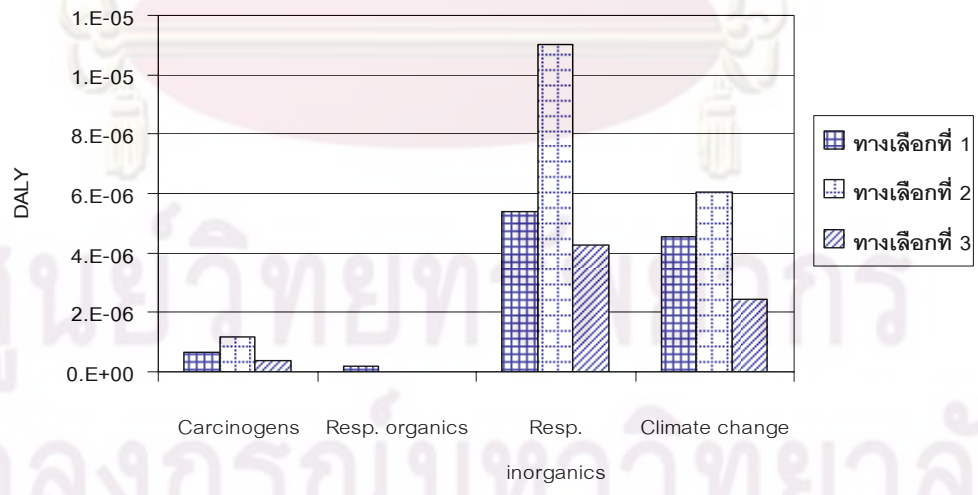
สาร (Respiration of inorganic substance) สารแผ่รังสี (Radiation) ภาวะโลกร้อน (Climate change) การลดลงของโอโซน (Ozone depletion)

ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ (Ecosystem quality) อธิบายในหน่วย PDF m2*yr ย่อมาจาก potentially Disappeared Fraction ซึ่งหมายถึง สัดส่วนของสิ่งมีชีวิตที่หายไปบนพื้นที่ 1 ตารางเมตรในระยะเวลา 1 ปี โดยมีสาเหตุมาจากประเภทผลกระทบต่างๆดังนี้คือ ภาวะความเป็นกรด/ภาวะอูโทรฟิเคชัน (Acidification/Eutrophication) ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicity) และ การใช้พื้นที่ (Land use)

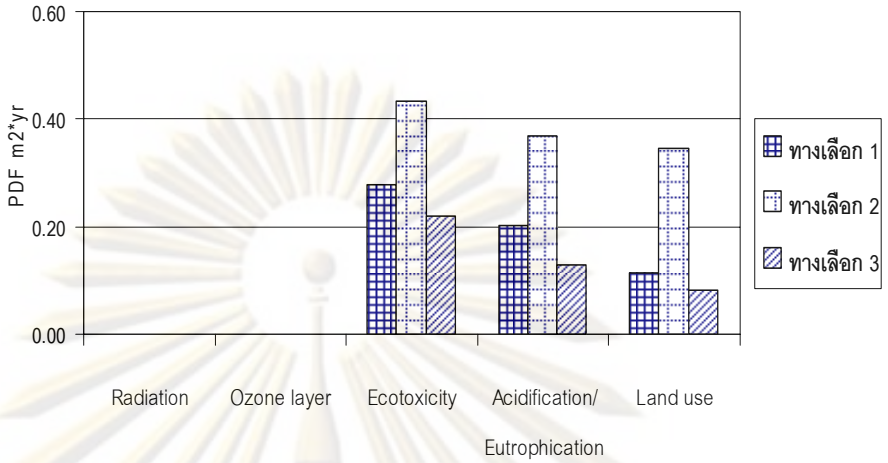
กลุ่มผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ (Resource) อธิบายในหน่วย MJ surplus ซึ่งเป็นหน่วยของพลังงานที่ใช้ในการสกัดแร่ในอนาคต (เนื่องจากการใช้พลังงานในปัจจุบันจะส่งผลต่อการใช้พลังงานในอนาคตอย่างไร) โดยมีสาเหตุมาจาก การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (fossil fuels) และการใช้สินแร่ (Mineral)

4.2.1 เปรียบเทียบผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบที่ใช้ในการการผลิตอะคริโลไนไทรล์

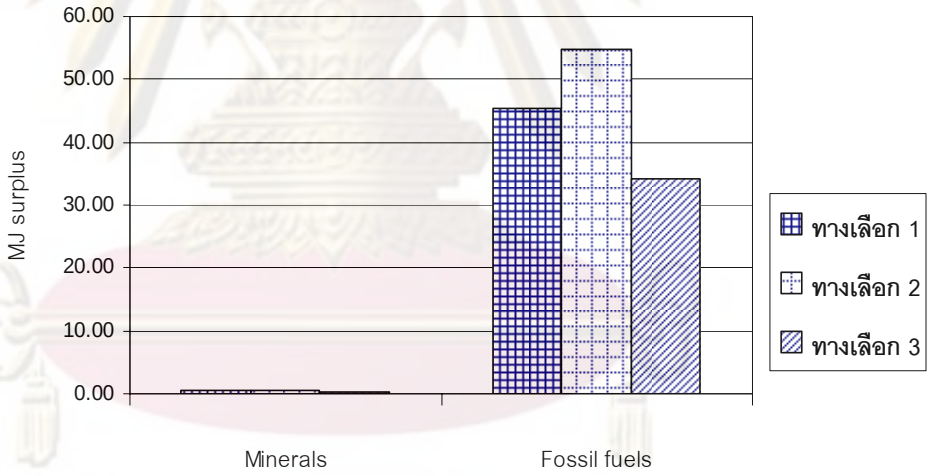
ผลการเปรียบเทียบของขอบเขตของผลกระทบที่มาจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอะคริโลไนไทรล์ของทั้งสามกลุ่มผลกระทบหลัก คือ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ และผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ ได้แสดงดังรูปที่ 4.4 - 4.6



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบของการผลิตอะคริโลไนไทรล์ทั้งสามทางเลือก : กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบของการผลิตอะคริโลไนไทรล์ทั้งสามทางเลือก: กลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบของการผลิตอะคริโลไนไทรล์: กลุ่มผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ

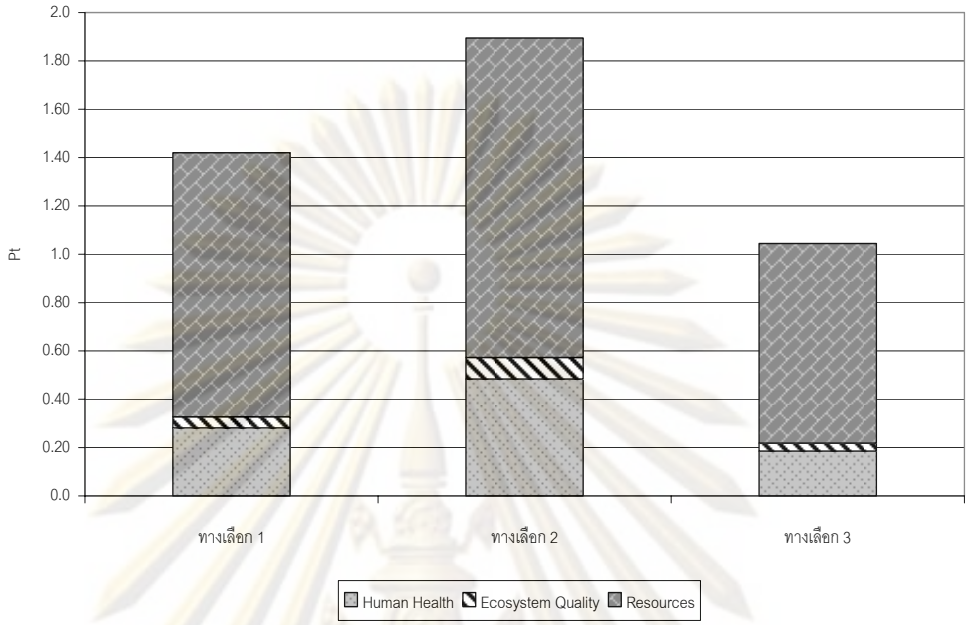
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.4 - 4.6 จะเห็นว่าผลกระทบที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบไม่ว่าจะใช้ทางเลือกใดในการผลิตจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลักเหมือนกันในทั้งสามกลุ่มผลกระทบ

- ผลกระทบที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ดังรูป ที่ 4.4 โดยมีสาเหตุหลักคือ กลุ่มผลกระทบต่อเดินหายใจเนื่องจากสารอนินทรีย์ ด้านสภาวะโลกร้อน และ สารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง
- ผลกระทบที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบที่มีผลต่อระบบนิเวศน์ ดังรูปที่ 4.5 โดยมีผลกระทบหลักมาจาก ด้านสภาวะความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ ด้านสภาวะความเป็นกรด/และการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน และด้านการใช้พื้นที่
- ผลกระทบต่อการลดลงของพลังงานโดยมีผลกระทบหลักมาจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล

เมื่อเปรียบเทียบทั้งสามทางเลือกการผลิตพบว่าทางเลือกที่ 2 เป็นทางเลือกที่มีค่าผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบมากกว่าทางเลือกอื่นทุกประเภทผลกระทบ ถึงแม้ว่าทางเลือกที่ 2 จะใช้สารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าสารตั้งต้นที่เป็นโพรพิลีนแต่ที่ทางเลือกที่ 2 มีค่าผลกระทบมากสุดเพราะว่าเป็นทางเลือกที่มีการใช้พลังงานในการผลิตที่มากกว่าทางเลือกอื่นดังนั้นจึงทำให้ทางเลือกที่ 2 มีผลกระทบมากสุด ส่วนทางเลือกที่มีค่าผลกระทบจากวัตถุดิบน้อยสุดคือทางเลือกที่ 3 นั้นเป็นเพราะว่าทางเลือกที่ 3 ใช้สารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนซึ่งเป็นวัตถดิบที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยโพรพิลีนและนอกจากนี้ทางเลือกที่ 3 เป็นทางเลือกทีมีค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนที่สูงจึงทำให้ใช้วัตถุดิบและพลังงานน้อยกว่าทางเลือกที่ 2 แต่ว่ามีปริมาณการใช้สารตั้งต้นและพลังงานมากกว่าทางเลือกที่1แต่มีผลกระทบน้อยกว่า เป็นเพราะว่าทางเลือกที่ 3 ใช้สารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีผลกระทบน้อยกว่าโพรพิลีนจึงทำให้ทางเลือกที่ 3 มีผลกระทบน้อยกว่าทางเลือกที่ 1 โดยพบว่าทางเลือกที่ 3 มีค่าผลกระทบน้อยสุดทุกประเภทผลกระทบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

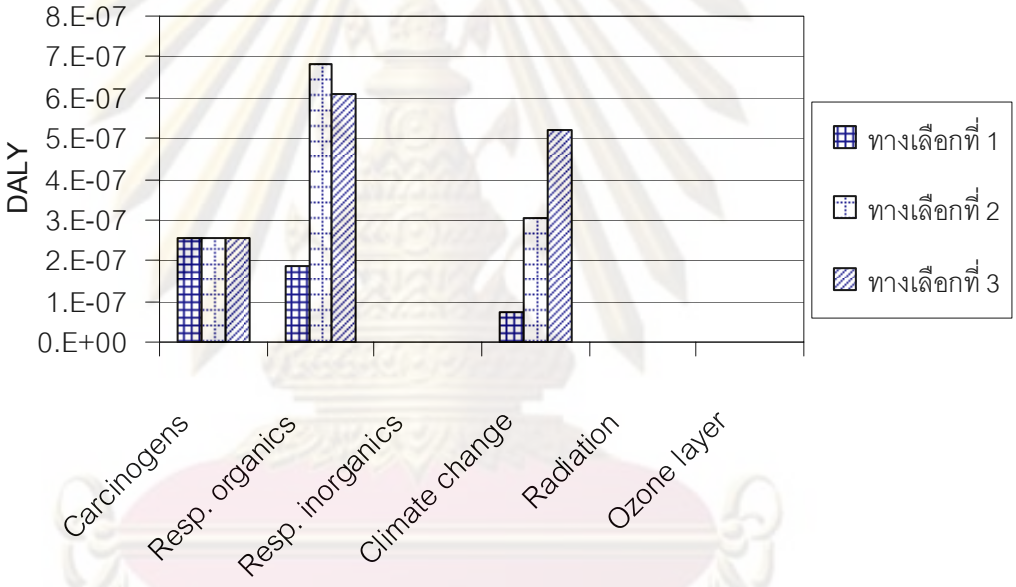


รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ: ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหน่วย Pt (กราฟคะแนนเดียว)

จากกราฟที่ 4.7 เป็นกราฟที่รวมกลุ่มผลกระทบทั้ง 3 ประเภทที่ถูกทำให้เป็นหน่วยเดียวกัน (normalization) คือหน่วย Point; Pt (จากเดิมผลกระทบแต่ละประเภทนั้นมีหน่วยผลกระทบไม่เหมือนกัน) จากรูปที่ 4.7 พบว่าผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบทั้งสามทางเลือก ทางเลือกที่มีผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบมากสุดคือทางเลือกที่ 2 ส่วนทางเลือกที่ 3 เป็นทางเลือกที่มีผลกระทบในขั้นการผลิตวัตถุดิบน้อยสุด โดยทั้งสามทางเลือกมีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ(Resources)มากสุด รองลงมาคือต่อสุขภาพมนุษย์ (Human health) และสุดท้ายคือผลกระทบต่อระบบนิเวศน์(Ecosystem Quality) สาเหตุที่ทั้งสามทางเลือกมีค่าผลกระทบด้านการลดลงของทรัพยากรมากเป็นเพราะว่าการผลิตสารตั้งต้นแต่ละตัวนั้นมีผลกระทบต่อการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมากกว่าผลกระทบทางด้านอื่นซึ่งการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมากก็จะส่งผลกระทบถึงการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ(Resources) จึงทำให้ผลกระทบจากวัตถุดิบที่ใช้ส่วนใหญ่คือผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ (Resources)

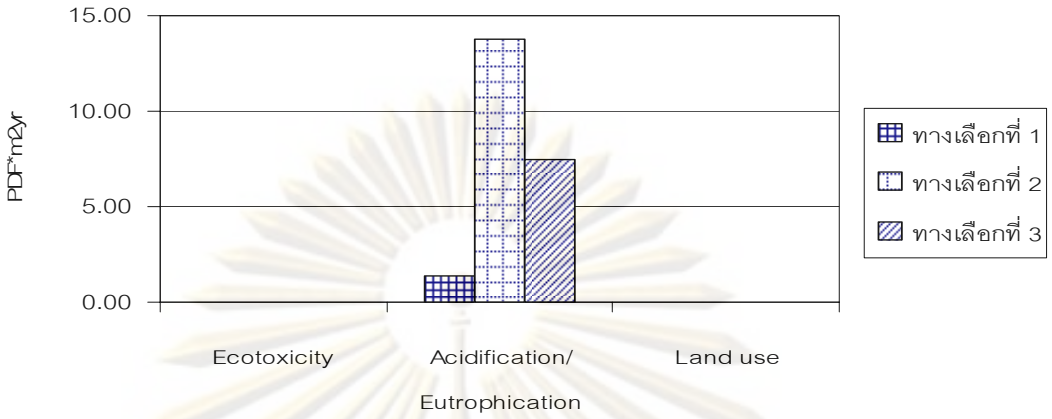
4.2.2 เปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์

ผลการเปรียบเทียบในขอบเขตผลกระทบที่มาจากขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ในสามกลุ่มผลกระทบหลัก คือ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ และผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ จากการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์/หรือสารที่ปล่อยออกจากกระบวนการผลิต นี้ไม่มีผลกระทบต่อการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ (เพราะเนื่องจากเป็นผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตซึ่งเป็นผลกระทบที่มาจากสารที่ปล่อยออกในกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์) ซึ่งในขอบเขตนี้ทำให้เกิดผลกระทบต่อมนุษย์และต่อระบบนิเวศน์เท่านั้นได้แสดงดัง รูปที่ 4.8 - 4.9



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ของทั้งสามทางเลือก : กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ของทั้งสามทางเลือก : กลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์

ผลกระทบที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ไม่ว่าจะใช้ทางเลือกใดในการผลิตจะทำให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลักเหมือนกันทั้งสามกลุ่มผลกระทบดังรูปที่ 4.4 - 4.6

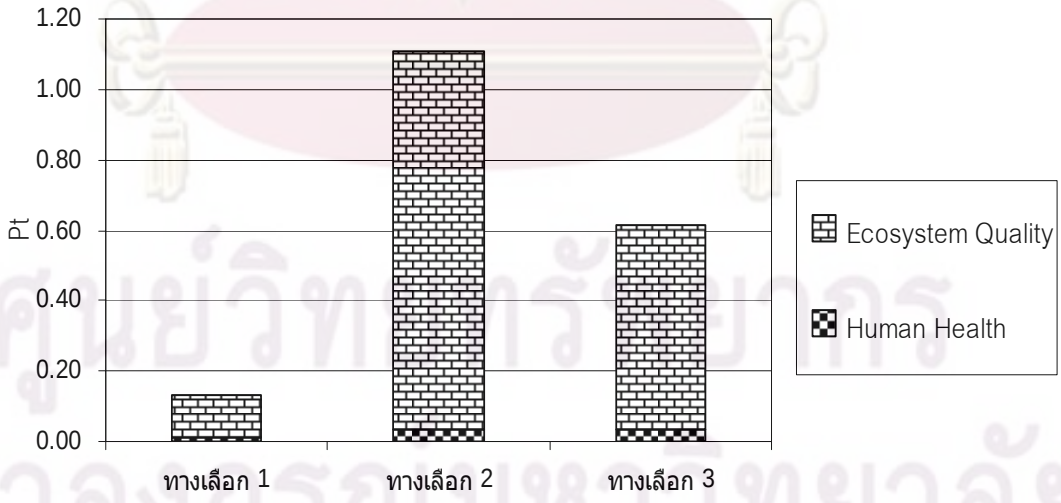
ทางเลือกที่ 2 และ 3 มีผลกระทบมากกว่าทางเลือกที่ 1 ทุกประเภทผลกระทบโดยสาเหตุที่ทางเลือกที่ 2 และ 3 มีค่าผลกระทบทางด้านสุขภาพมนุษย์มากกว่าทางเลือกการผลิตที่เป็นกระบวนการผลิตโดยทั่วไป (ทางเลือกที่ 1) เป็นเพราะเนื่องจากในขั้นตอนการผลิต ของทางเลือกที่ 2 และ 3 นั้นมีปริมาณสารพิษที่ปล่อยออกมามากกว่าทางเลือกที่ 1 โดยมีค่าผลกระทบหลักได้แก่

- **ผลกระทบต่อการหายใจเนื่องจากอินทรีย์สาร**: โดยสาเหตุมาจากในขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์นั้น มีการปล่อย โพรพิลีน โพรเพน อะซิโตไนไทรล์ และ อะคริโลรินโดยสารเหล่านี้จะทำให้เกิดผลกระทบทางด้านนี้
- **ผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อน**: โดยสาเหตุมาจากขั้นตอนการผลิตมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และโพรเพน โดยทางเลือกที่ 3 มีผลกระทบด้านนี้มากสุดเพราะว่าทางเลือกที่ 3 มีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโพรเพนให้กลายเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์ไดออกไซด์มาก ซึ่งมากกว่าการเกิดออกซิเดชันของสารตั้งต้นที่เป็นโพรพิลีน (ทางเลือกที่1) จึงทำให้ทางเลือกที่ 3 มีผลต่อสภาวะโลกร้อนมากที่สุด
- **ผลกระทบต่อการเกิดมะเร็ง**: โดยสาเหตุมาจากในการผลิตมีการปล่อย อะคริโลไนไทรล์สู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งในงานวิจัยนี้จะสร้างแบบจำลองทั้งสามทางเลือกให้มีการ

recovery อะคริโลไนไทรล์ให้เท่ากันดังนั้นอะคริโลไนไทรล์ที่ปล่อยออกจะมีปริมาณที่เท่ากันทั้งสามทางเลือก ดังนั้นจึงทำให้ทั้งสามทางเลือกมีผลกระทบด้านนี้เท่ากัน

ค่าผลกระทบที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตหรือ / สารที่ปล่อยออกจากกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ ในกลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ แสดงดังรูปที่ 4.9 พบว่า ทางเลือกที่ 2 และ 3 มีผลกระทบมากกว่าทางเลือกที่ 1 ทุกประเภทในกลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ โดยมีค่าผลกระทบหลักในกลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ได้แก่

- **ผลกระทบด้านความเป็นกรด/ปรากฏการณ์ยูโทฟิเคชัน** ที่ในกระบวนการผลิตมีผลกระทบด้านนี้มากเนื่องจากในกระบวนการผลิตมีการปล่อย สารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต ซึ่งมาจากขั้นตอนของหน่วยกำจัดแอมโมเนียที่เหลือโดยใช้กรดซัลฟูริก โดยทางเลือกที่ 2 มีผลกระทบมากสุดเพราะว่า ทางเลือกที่ 2 เป็นทางเลือกที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่ำ จึงทำให้มีสารตั้งต้นที่เหลือจากการทำปฏิกิริยามากนั้นรวมถึงแอมโมเนีย จึงทำให้มีการปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมมากสุด ส่วนทางเลือกที่ 1 มีผลกระทบด้านนี้น้อยสุดเป็นเพราะว่าเป็นทางเลือกที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรพิลีนสูงสุด จึงทำให้แอมโมเนียเหลือจากการทำปฏิกิริยาน้อยจึงทำให้แอมโมเนียปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมน้อยสุด ผลกระทบด้านนี้จึงน้อยสุด

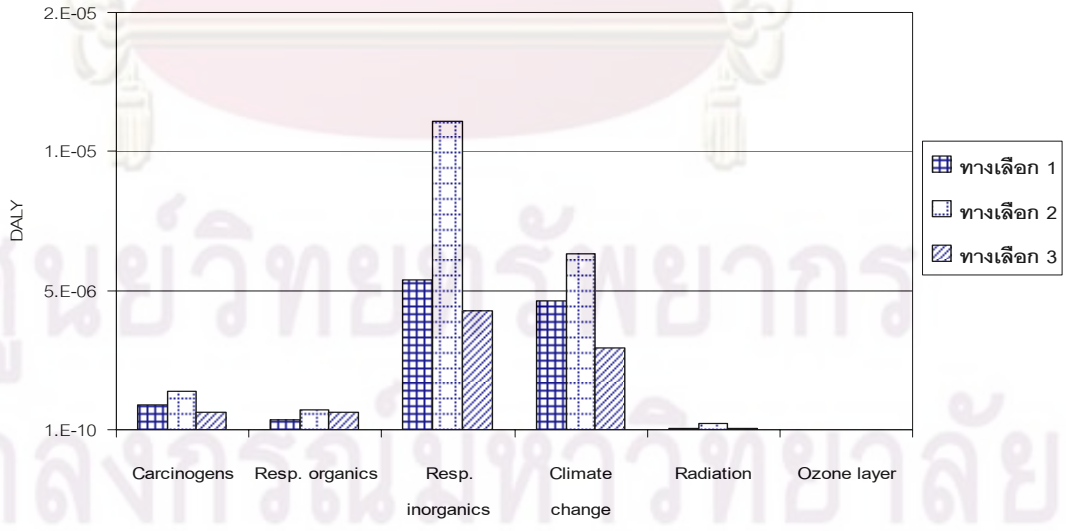


รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์: กลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหน่วย Pt (กราฟคะแนนเดียว)

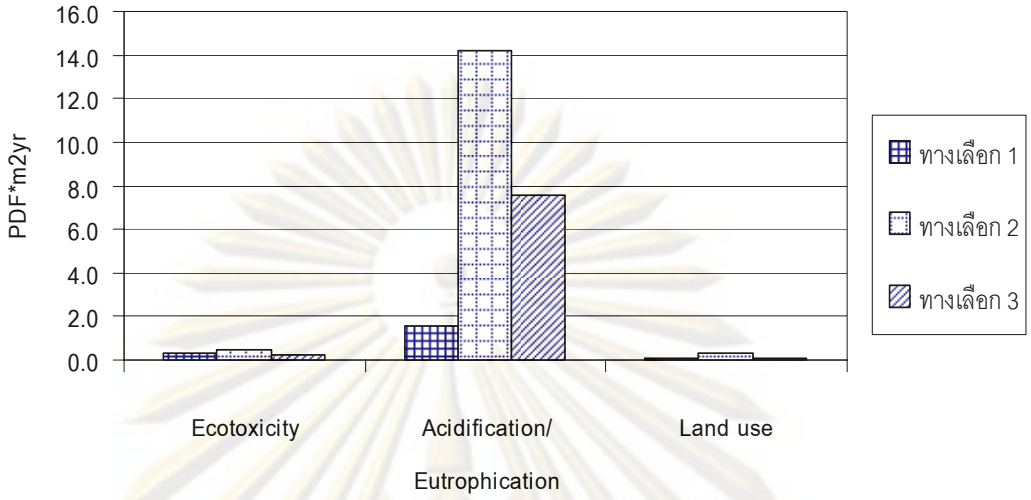
จากกราฟที่ 4.10 เป็นกราฟผลกระทบแบบคะแนนเดียวของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นการผลิตอะคริโลไนไทรล์ จากกราฟสามารถบอกได้ว่า ทางเลือกที่มีค่าผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์มากสุดคือทางเลือกที่ 2 และทางเลือกที่มีผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตน้อยสุดคือทางเลือกที่ 1 โดยมีค่าผลกระทบเท่ากับ 1.11 Pt และ 0.119 Pt ตามลำดับ และมีผลกระทบส่วนใหญ่เป็นผลกระทบต่อระบบนิเวศน์โดยสาเหตุที่ขั้นตอนการผลิตมีอะคริโลไนไทรล์มีผลกระทบต่อระบบนิเวศน์มากสุดเป็นเพราะเนื่องจากว่าในการผลิตนั้นมีการปล่อยสารแอมโมเนียมซัลเฟตเป็นหลักซึ่งแอมโมเนียมซัลเฟตนั้นจะทำให้เกิด สภาวะการเป็นกรด/ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันซึ่งการเกิดผลกระทบนี้จะเป็นสาเหตุที่ทำให้ระบบนิเวศน์ลดลงนั้นคือทำให้ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์มากสุด

4.2.3 **เปรียบเทียบผลกระทบตั้งแต่การผลิตวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจนถึงขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์** (cradle-to-gate)

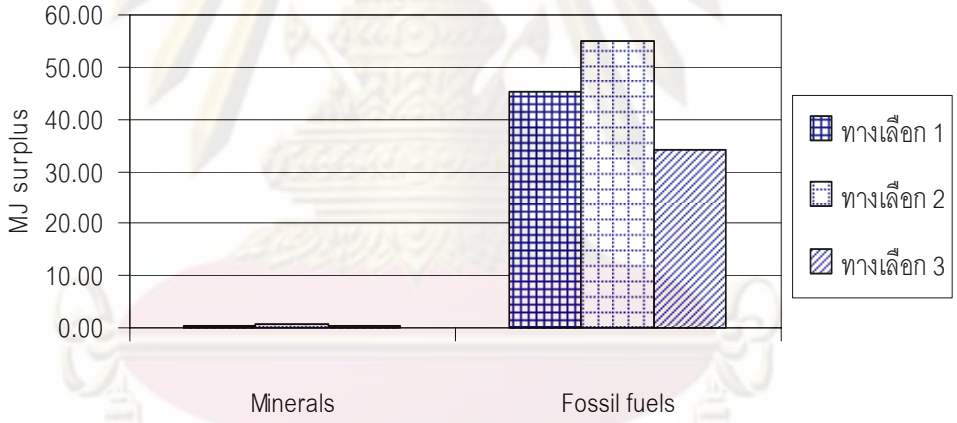
ผลการเปรียบเทียบในขอบเขตการประเมินผลกระทบตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงขั้นการผลิตอะคริโลไนไทรล์ (Cradle-to-gate) ในสามกลุ่มผลกระทบหลัก คือ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ผลกระทบต่อการลดลงของระบบนิเวศน์ และผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ แสดงดังรูปที่ 4.11 - 4.13



รูปที่ 4.11 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ (cradle-to-gate): กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์



รูปที่ 4.12 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ (cradle-to-gate) โดยเป็นกลุ่มผลกระทบต่อการลดลงของระบบนิเวศน์



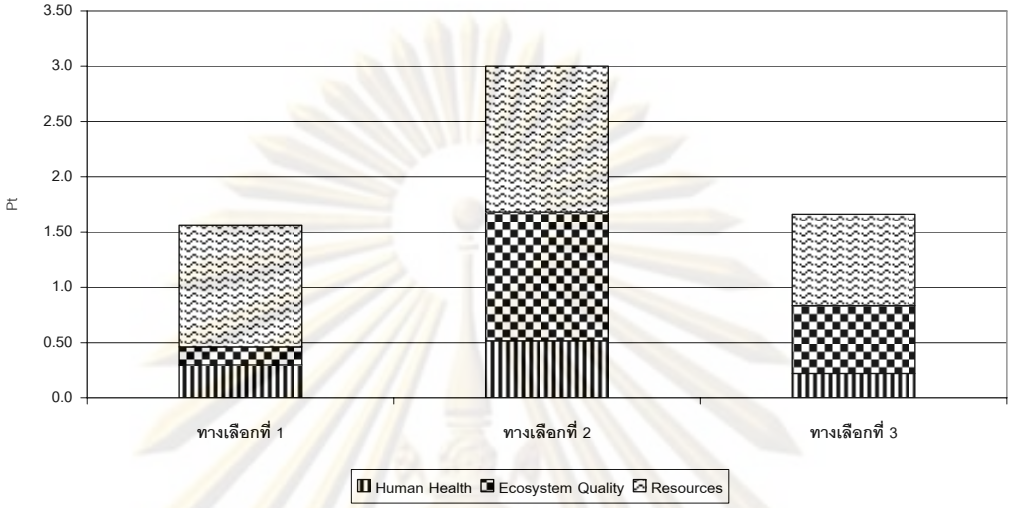
รูปที่ 4.13 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ (cradle-to-gate): กลุ่มผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ

ในกลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ แสดงดังรูปที่ 4.11 ทั้งสามทางเลือกมีค่าผลกระทบหลักๆ เหมือนกันทั้งสามทางเลือก จากรูปจะเห็นว่าการผลิตในขอบเขต Cradle-to-gate ที่มีผลกระทบต่อมนุษย์โดยมีสาเหตุหลักๆคือ ด้านระบบทางเดินหายใจเนื่องจากสารอนินทรีย์ ด้านสภาวะโลกร้อน ด้านระบบทางเดินหายใจเนื่องจากสารอินทรีย์ และ สารก่อมะเร็งซึ่งทางเลือกที่ 2 มีผลกระทบมากสุดในทุกประเภทผลกระทบ ส่วนทางเลือกที่ 3 มีผลกระทบส่วนใหญ่น้อยกว่าทางเลือกที่ 1 ยกเว้น ผลกระทบด้านการหายใจเนื่องจากสารอินทรีย์

ในกลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ของค่ากระทบตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงขั้นการผลิตอะคริโลไนไทรล์ (Cradle-to-gate) แสดงดังรูปที่ 4.12 จะเห็นว่าผลกระทบในขั้น cradle-to-gate นั้นที่ส่งผลกระทบหลักในกลุ่มนี้คือ ด้านความเป็นกรด/ยูโทรฟิเคชัน ซึ่งจากการประเมินผลกระทบของการผลิตวัตถุดิบและขั้นการผลิตอะคริโลไนไทรล์ทำให้ทราบว่าผลด้านความเป็นกรด/ยูโทรฟิเคชันของกระทบขั้น cradle-to-gate มาจากผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตไม่ได้มาจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ โดยทางเลือกที่ 2 มีผลกระทบในกลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์มากกว่าทางเลือกอื่นใน ทุกประเภทผลกระทบย่อย ส่วนทางเลือกที่ 3 เป็นทางเลือกที่มีค่าผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์และด้านการใช้พื้นที่น้อยกว่าทางเลือกที่ 1 แต่ทางเลือกที่ 3 มีผลกระทบด้าน ความเป็นกรด/ ยูโทรฟิเคชัน มากกว่าทางเลือกที่ 1 เพราะเนื่องจากทางเลือกที่ 3 มีปริมาณการปล่อย สารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตมากกว่าทางเลือกที่ 1

ในกลุ่มผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติของค่ากระทบตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงขั้นการผลิตอะคริโลไนไทรล์ (Cradle-to-gate) แสดงดังรูปที่ 4.13 จากกราฟพบว่ามีค่าผลกระทบหลักคือผลกระทบด้าน การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมากสุด ส่วนผลกระทบจากการใช้สินแร่พบว่ามีการผลิตอะคริโลไนไทรล์มีค่าผลกระทบไม่มากนัก เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในการผลิตเป็นแหล่งพลังงานจากฟอสซิล โดยทางเลือกที่ 2 มีค่าผลกระทบมากสุดจากทั้งขอบเขตการผลิตวัตถุดิบและขอบเขตขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ดังนั้นเมื่อพิจารณาทั้งสองขอบเขตคือผลกระทบตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงขั้นการผลิตอะคริโลไนไทรล์ (Cradle-to-gate) จึงทำให้ทางเลือกที่ 2 มีผลกระทบในขอบเขตนี้มากสุด ส่วนทางเลือกที่ 1 และ 3 พบว่าทางเลือกที่ 3 เป็นทางเลือกที่มีผลกระทบด้านทรัพยากรธรรมชาติน้อยสุด ถึงแม้ว่าการใช้พลังงานของทางเลือกที่ 3 จะมากกว่าทางเลือกที่ 1 ซึ่งดูได้จากตารางที่ได้จากการทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม แต่เนื่องจากทางเลือกที่ 1 ใช้สารตั้งต้นที่เป็นโพรพิลีนซึ่งต้องผ่านขั้นตอนการผลิตโพรเพนมาเป็นโพรพิลีน เมื่อรวมผลกระทบของการผลิตวัตถุดิบที่ต่างกันคือโพรพิลีนและโพรเพนมาพิจารณาด้วยจึงทำให้ทางเลือกที่ 1 มีผลกระทบจากวัตถุดิบมากกว่าทางเลือกที่ 3 จึงทำให้ผลกระทบด้านทรัพยากรธรรมชาติของทางเลือกที่ 3 น้อยกว่าทางเลือก 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.14 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ (cradle-to-gate): กลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหน่วย Pt (กราฟคะแนนเดียว)

เมื่อดูผลกราฟที่รวมเป็น Single score ของผลกระทบจากการผลิตวัตถุดิบกับขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ (Cradle-to-gate) จะทำให้ทราบได้ว่าทางเลือกใดที่มีผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมน้อยสุด นั้นคือกระบวนการผลิตที่เป็นกระบวกการผลิตที่ใช้กันทั่วไปนั้นมีผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมน้อยสุด รองลงมาก็คือ การผลิตจากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนสูง และกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่ำนั้นมีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยมีค่าผลกระทบเรียงลำดับดังนี้ 1.54,1.66 และ 3 Pt ตามลำดับ โดยการผลิตอะคริโลไนไทรล์พบว่ามีผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากรและผลกระทบต่อระบบนิเวศน์มากสุด

4.3 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ภายใต้ความไม่แน่นอน

จากขั้นตอนการประเมินผลกระทบของการผลิตอะคริโลไนไทรล์ทั้งสามทางเลือกพบว่าเมื่อดูผลกระทบตั้งแต่การผลิตวัตถุดิบจนถึงขั้นการผลิต(Cradle-to-gate) จากกราฟ Single score พบว่าทางเลือกที่ 1 และทางเลือกที่ 3 นั้นมีค่าผลกระทบใกล้เคียงกันคือ 1.54 Pt กับ 1.66 Pt ในงานวิจัยนี้จึงได้ประเมินผลกระทบของขอบเขต Cradle-to-gate เพื่อที่จะศึกษาว่าถ้ามีการพิจารณาความไม่แน่นอนแล้วผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของทางเลือกที่ 1 และ 3 จะให้ผลอย่างไร

4.3.1 **การทำบัญชีรายการ** (life cycle inventory: LCI)

การทำบัญชีรายการ (Life cycle inventory: LCI) ของการผลิตอะคริโลไนไทรล์ ที่อัตราการผลิตอะคริโลไนไทรล์ 1 กิโลกรัม ที่ภายใต้ความไม่แน่นอนของอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์และความไม่แน่นอนของฐานข้อมูลโปรแกรมซิมาโปร ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณการใช้วัตถุดิบการใช้พลังงานและปริมาณของเสียที่ปล่อยจากกระบวนการผลิต แสดงดังตารางที่ 4.4 และ ตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ปริมาณวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ที่ภายใต้ความไม่แน่นอน

วัตถุดิบ	**ทางเลือกที่** 1	**ทางเลือกที่** 3
	วัตถุดิบที่ใช้ (kg/hr) : สารขาเข้า	
โพรพิลีน	1.0365 - 1.0633	-
โพรเพน	-	1.8408 - 2.1265
แอมโมเนีย	0.4813 - 0.4935	0.7027 - 0.8233
ออกซิเจน	1.5733 - 1.6622	3.8627 - 4.5871
ไนโตรเจน	5.5063 - 5.8175	14.1813 - 16.2868
กรดซัลฟลูริก	0.2054 - 0.2466	0.9327 - 1.2341
ไอน้ำ	1.9108 - 1.9131	2.3150 - 2.5158
พลังงาน ; kJ/hr	23053.2188 - 23743.8953	29724.9043 - 31558.0896
พลังงานไฟฟ้า ; kJ/hr	6220.8938 - 6633.3082	7211.3136 - 8175.44293
Cooling energy ; kJ/hr	44992.4272 - 48391.0396	73336.5019 - 91245.9084

ตารางที่ 4.5 ปริมาณผลิตภัณฑ์หลักและผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่ได้จากกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ที่ภายใต้ความไม่แน่นอน

สาร	**ทางเลือกที่** 1	**ทางเลือกที่** 3
	ผลิตภัณฑ์หลักและรอง : (kg/hr)	
อะคริโลไนไทรล์	1	1
ไฮโดรเจนไซยาไนด์	0.0945 - 0.1187	0.0578 - 0.0747

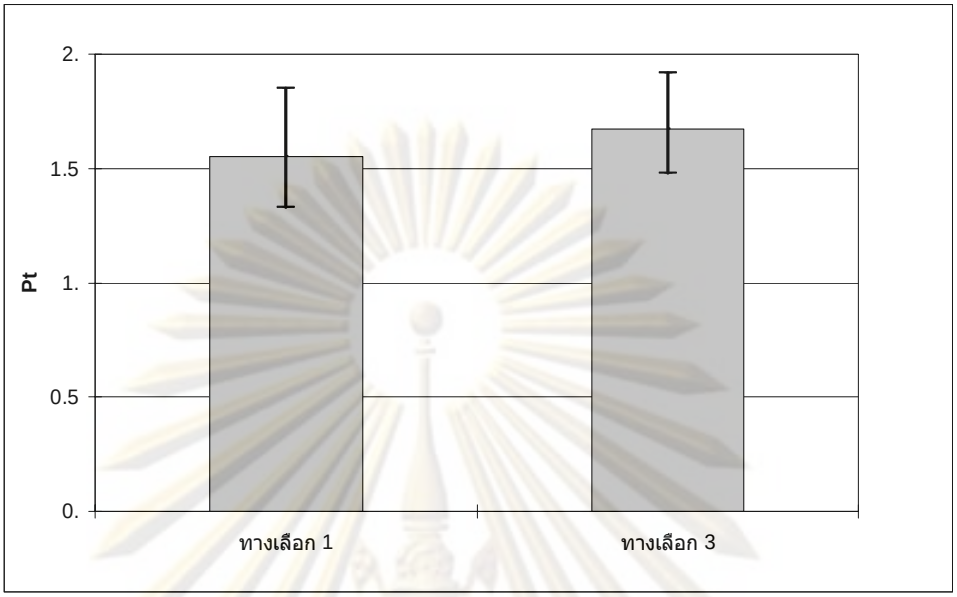
ตารางที่ 4.6 ปริมาณสารที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ที่ภายใต้ความไม่แน่นอน

สาร	ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 3
	สารที่ปล่อยออก (kg/hr): สารขาออก	
โพรพิลีน	0.0099 - 0.0493	0.1358 - 0.2066
โพรเพน	0.0518 - 0.0531	0.2023 - 0.2268
อะซิโตรไนไทรล์	0.0289 - 0.0394	0.0439 - 0.0544
อะคริโลไนไทรล์	0.0068	0.0068
ไฮโดรเจนไซยาไนด์	0.0009 - 0.0010	0.0001 - 0.0007
คาร์บอนมอนอกไซด์	0.0590 - 0.1109	0.4779 - 0.8317
คาร์บอนไดออกไซด์	0.0924 - 0.1734	0.7502 - 1.3054
อะโครลิน	0.0115 - 0.0123	-
ออกซิเจน	0.2661 - 0.3528	0.5140 - 0.9328
ไนโตรเจน	5.5064 - 5.8175	14.1813 - 16.2868
แอมโมเนียมไอออน	0.0717 - 0.0868	0.3250 - 0.4325
ซัลเฟต	0.2054 - 0.2466	0.9327 - 1.2341
น้ำ	3.1667 - 3.2653	4.6274 - 5.5616

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

จากการทำบัญชีรายการภายใต้ความไม่แน่นอนจะทำให้ได้ช่วงของปริมาณสารขาเข้าและสารขาออก การที่ข้อมูลที่ใช้การประเมินผลกระทบมีค่าเป็นช่วงนั้นจะทำการวิเคราะห์สมการปัญหาที่เป็นช่วงโดย มอนติคาร์โล โดยจะทำการสุ่มค่าที่อยู่ในช่วง แล้วมาคำนวนผลกระทบโดยใช้ โมเดลคำนวนผลกระทบคือ Eco-indicator 99 โดยในงานวิจัยนี้ได้สุ่มตัวอย่างจำนวน 10,000 ครั้งและ แปลผลที่ช่วงความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 โดยผลของการประเมินภายใต้ความไม่แน่นอนนี้จะทำให้ทราบความแปรผันของผลกระทบว่ามีความแปรผันเท่าไหร่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

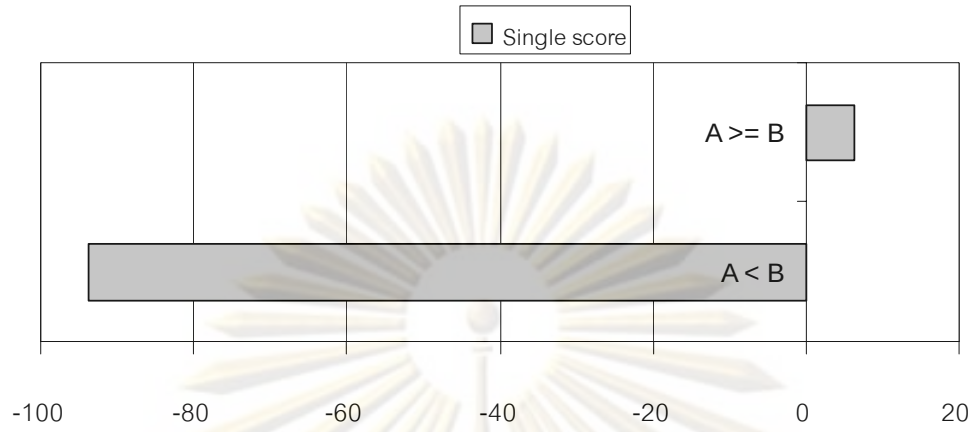


รูปที่ 4.15 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากโพรพิลีน (ทางเลือกที่ 1) และ จากโพรเพนที่ค่าที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนสูง (ทางเลือกที่ 3) ที่ภายใต้ความไม่แน่นอน

จากรูป 4.15 เป็นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบ single score ที่ภายใต้ความไม่แน่นอน พบว่าค่าผลกระทบที่ได้นั้นสำหรับทางเลือกที่ 1 มีค่าความแปรผันของผลกระทบเท่ากับ 1.33 -1.85 Pt และทางเลือกที่ 3 มีค่าความแปรผันของผลกระทบเท่ากับ 1.48 – 1.92 Pt

จากช่วงของค่าผลกระทบที่ได้นั้นมีค่าที่เหลื่อมซ้อนกันนั้นแสดงว่ามีโอกาสที่ค่าผลกระทบทางเลือก 1 จะมากกว่าทางเลือก 3 ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการพล๊อตกราฟความน่าจะเป็นของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้ เดลต้าอินดิเคเตอร์ เพื่อหาโอกาสว่าทางเลือกที่ 1จะมีค่าผลกระทบน้อยกว่าทางเลือกที่ 3 อยู่เท่าใด จากรูป 4.16 เป็นจำนวนครั้งของค่าผลกระทบทางเลือกที่ 1 ลบกับค่าผลกระทบทางเลือกที่ 3 ซึ่งสามารถบอกได้ว่าทางเลือกที่ 1 มีค่าผลกระทบน้อยกว่าทางเลือกที่ 3 ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 91.7 และมีโอกาสที่ทางเลือกที่ 3 จะมีค่าผลกระทบน้อยกว่าทางเลือกที่ 1 อยู่ ร้อยละ 8.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.16 การวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของผลกระทบกระหว่างทางเลือก 1(A) กับทางเลือก 3(B)

4.4 ผลการปรับปรุงกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์

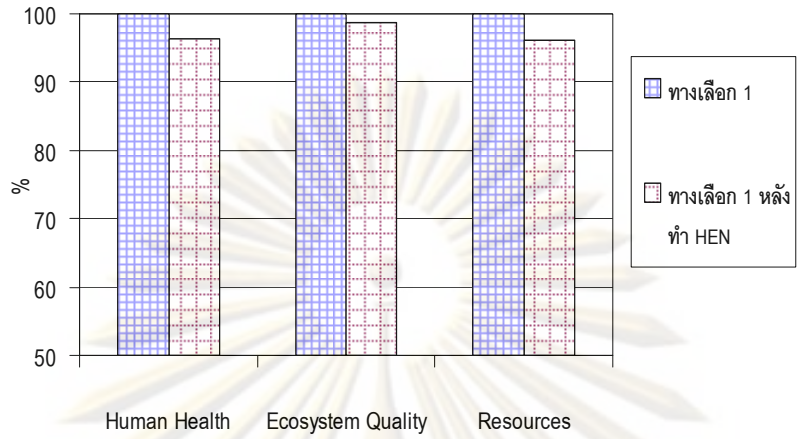
จากประเมินวัฏจักรชีวิตของแต่ละทางเลือกของกระบวนการผลิตพบว่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่นั้นมาจากการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต ดังนั้นถ้าสามารถลดพลังงานการใช้ลงได้ก็จะสามารถทำให้ผลกระทบลดลงได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการออกแบบโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิตเพื่อให้กระบวนการผลิตนั้นมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นและดูแนวโน้มว่าเมื่อในระบบมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพแล้วจะทำให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างไรโดยวิธีที่ใช้การแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในงานนี้คือ Pinch analysis โดยได้แสดงสายพลังงานในแต่ละสายก่อนและหลังการแลกเปลี่ยนไว้ที่ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

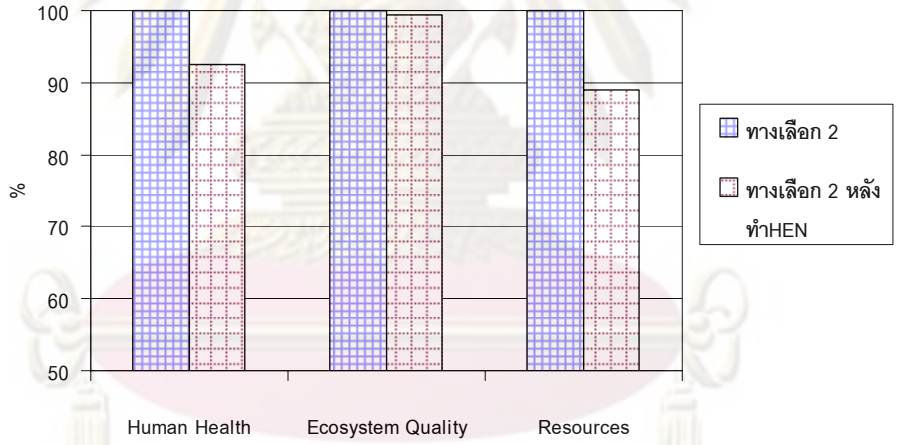
ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิต

Utility	ทางเลือกที่ 1		ทางเลือกที่ 2		ทางเลือกที่ 3	
	พลังงานที่ใช้; kJ/hr		พลังงานที่ใช้; kJ/hr		พลังงานที่ใช้; kJ/hr	
	ก่อน HEN	หลังHEN	ก่อน HEN	หลัง HEN	ก่อน HEN	หลัง HEN
steam kJ/hr	23,535.81	17,093.62	52,647.38	28,308.11	30177.73	17068.34
cooler kJ/hr	46,968.22	40,526.14	140,431.39	116,092.12	81241.47	68132.09
Electricity kJ/hr	6,552	6,552	49,668.98	49,668.98	7585.36	7585.36
รวม	77,056.04	64,171.76	242,747.75	194,069.21	119,004.50	92,785.79
การลดลงของพลังงาน	ร้อยละ 16.72		ร้อยละ 20.05		ร้อยละ 22.03	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

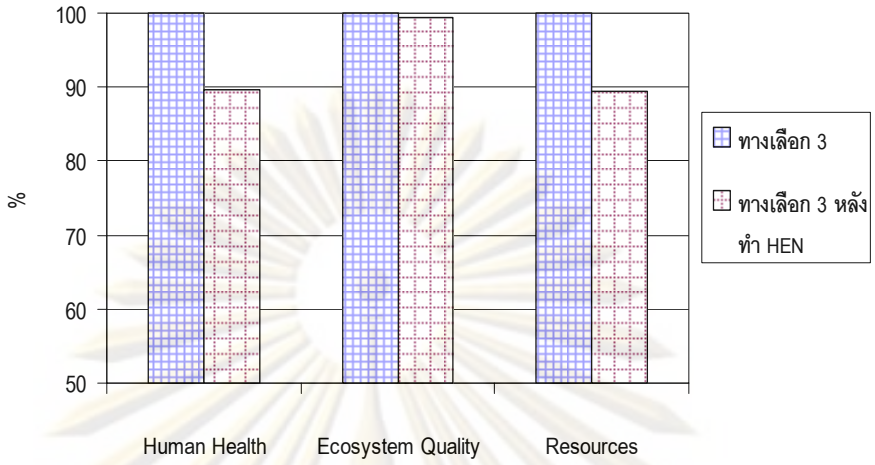


รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตอะคริโลไนไทรล์ทางเลือกที่ 1 ก่อนและหลังการทำ heat exchanger network (HEN)



รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตอะคริโลไนไทรล์ทางเลือกที่ 2 ก่อนและหลังการทำ heat exchanger network (HEN)

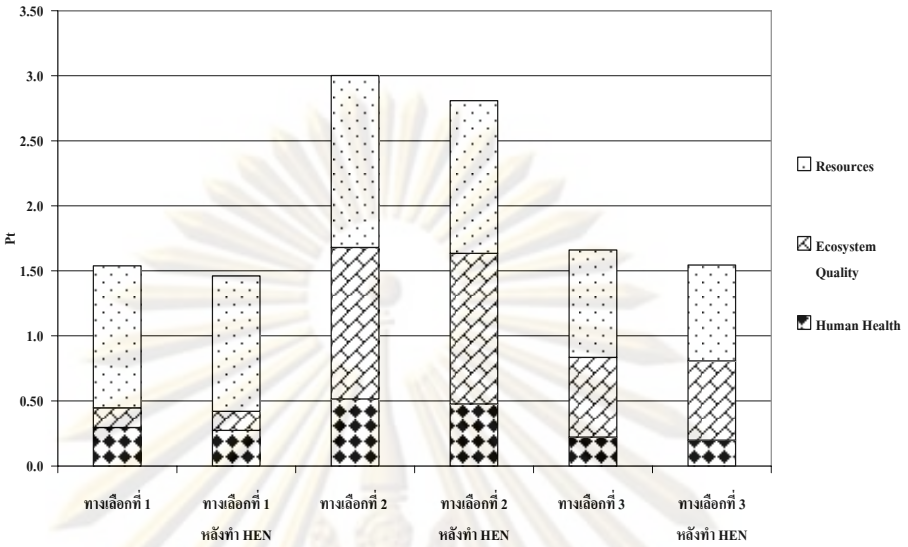
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตอะคริโลไนไทรล์ทางเลือกที่ 3 ก่อนและหลังการทำ heat exchanger network (HEN)

จากรูป 4.17- 4.19 พบว่าการที่ในกระบวนการผลิตมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นจะทำให้ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมทั้งสามกลุ่มผลกระทบลดลง นั้นคือต่อสุขภาพมนุษย์ต่อการลดลงของระบบนิเวศน์ และต่อการลดลงของพลังงาน จากรูปที่ 4.17 ทางเลือกที่ 1 พบว่าเมื่อมีการใช้พลังงานในระบบลดลงแล้วจะทำให้ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ต่อการลดลงของระบบนิเวศน์ และ ผลกระทบต่อการลดลงของพลังงาน ลดลงไป ร้อยละ 3.721, 1.281และ 3.806 ตามลำดับ จากรูปที่ 4.18 ทางเลือกที่ 2 ผลกระทบลดลงไป ร้อยละ 7.52, 0.59และ 11.09 ตามลำดับ จากรูปที่ 4.19 ทางเลือกที่ 3 ผลกระทบลดลงไป ร้อยละ 10.42, 0.67และ 10.59 ตามลำดับ จะเห็นว่าการผลการใช้พลังงานนั้นไม่ได้เพียงแต่ทำให้ผลกระทบด้านพลังงานลดลงเท่านั้น จากผลชี้ให้เห็นว่าการใช้พลังงานลดลงจะทำให้ผลกระทบต่อมนุษย์และผลกระทบด้านระบบนิเวศน์ลดลงอีกด้วยเพราะเนื่องจากว่าการใช้พลังงานนั้นไม่ได้ส่งผลต่อการลดลงของพลังงานเท่านั้นแต่ยังส่งผลต่อสุขภาพมนุษย์และต่อระบบนิเวศน์ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบจนถึงขั้นการผลิตอะคริโลไนไทรล์ก่อนและหลังการพัฒนากระบวนการผลิตโดยการทำ HEN

จากรูปที่ 4.20 พบว่าการพัฒนากระบวนการผลิตโดยการแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิตถึงแม้ว่าแต่ละทางเลือกมีการลดลงของพลังงานไม่เท่ากันแต่เมื่อนำมาประเมินผลกระทบหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตนั้นจะทำให้ลำดับผลกระทบมีแนวโน้มเหมือนเดิมคือกระบวนการผลิตที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยสุดคือทางเลือกที่ 1 รองลงมาทางเลือกที่ 3 และ ผลกระทบมากสุดคือทางเลือกที่ 2 แต่การปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้หลักการแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำให้มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลดลง โดยทางเลือกที่ 1 มีผลกระทบก่อนการพัฒนาโดยการแลกเปลี่ยนความร้อน มีค่าผลกระทบ 1.54 Pt และมีค่าผลกระทบหลังทำการแลกเปลี่ยนความร้อน 1.48 Pt ซึ่งผลกระทบลงลงไป 0.06 Pt ส่วน ทางเลือกที่ 2 มีค่าผลกระทบก่อนและหลังการพัฒนา คือ 3 Pt และ 2.81 Pt ตามลำดับ โดยผลกระทบลดลงไป 0.19 Pt และทางเลือกที่ 3 ผลกระทบก่อนและหลังการพัฒนา คือ 1.66 Pt และ 1.55 Pt ตามลำดับ โดยผลกระทบลดลงไป 0.11 Pt

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

อะคริโลไนไทรล์เป็นสารที่มีประโยชน์ทางอุตสาหกรรม เช่น ใช้เป็นสารมัฐยันต์ที่ใช้เพิ่มความแข็งแรงให้แก่เรซิน ใช้เป็นโคโพลิเมอร์ ทำให้มีความต้องการสูง ในการผลิตอะคริโลไนไทรล์ในปัจจุบันผลิตจากสารตั้งต้นที่เป็นโพรพิลีน แต่เนื่องจากความแตกต่างด้านราคาของโพรพิลีนและโพรเพนมีมากขึ้นจึงมีผู้เริ่มให้ความสนใจที่จะผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นโพรพิลีนมาเป็นโพรเพนแทนเพราะเนื่องจากราคาของโพรเพนที่ถูกกว่า จึงทำให้มีงานวิจัยหลายงานวิจัยที่จะพยายามพัฒนาการเกิดปฏิกิริยาการเกิดอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพน เพื่อให้ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาของผลิตภัณฑ์ได้ดี แต่พบว่ายังไม่มีงานวิจัยใดที่ได้ศึกษาการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นโพรพิลีนมาเป็นโพรเพนนั้นจะทำให้ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมนั้นมากขึ้นหรือลดลงอย่างไร ซึ่งการเปลี่ยนสารตั้งต้นในการผลิตนั้นผู้ผลิตจะมุ่งเน้นด้านสมถภาพทางเศรษศาสตร์เพียงอย่างเดียว

ในงานวิจัยนี้จึงทำการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตอะคริโลไนไทรล์ที่มีการใช้วัตถุดิบการผลิตที่ต่างกัน เพื่อที่จะศึกษาว่ากระบวนการผลิตใดที่จะมีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยใช้โปรแกรม SimaPro® 6.0 ในการวิเคราะห์ผลกระทบ โดยการประเมินทำที่ภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลและสภาวะการดำเนินการ และได้ทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้หลักโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้ในกระบวนการผลิตมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลังจากการปรับปรุง

สามารถสรุปผลการประเมินวัฏจักรของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro®6.0 โดยใช้ดัชนีของ Eco-indicator 99 เพื่อใช้เป็นดัชนีวัดผลกระทบซึ่งสรุปผลได้ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1) **ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอะคริโลไนไทรล์**

ถ้าเลือกการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนสูง พบว่าผลกระทบในขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบมีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าทางเลือกการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่ใช้กันโดยทั่วไป (ทางเลือก 1) โดยพบว่าค่าผลกระทบน้อยกว่าทุกกลุ่มผลกระทบหลักซึ่งประกอบด้วย ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ต่อระบบนิเวศน์และต่อทรัพยากรธรรมชาติ แต่ถ้าเลือกทางเลือกทางเลือก 2 คือใช้สารตั้งต้นจากโพรเพนที่ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่ำ จะมีค่าผลกระทบมากกว่ากระบวนการผลิตที่ใช้กันโดยทั่วไป ในทุกประเภทผลกระทบ

2) **ผลกระทบในขั้นตอนการผลิตอะคริโลไนไทรล์**

ถ้าใช้การผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นโพรเพนไม่ว่าจะเป็นทางเลือกที่ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่ำหรือสูงพบว่าผลกระทบในขอบเขตนี้จะมีค่าผลกระทบมากกว่าทางเลือกที่เป็นทางเลือกที่ใช้กันทั่วไป(ทางเลือก 1) ในทั้งสามกลุ่มผลกระทบ

3) **ผลกระทบตั้งแต่การผลิตวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอะคริโลไนไทรล์จนถึงขั้นตอนการผลิตของอะคริโลไนไทรล์** (cradle-to-gate)

3.1) การผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนสูง(ทางเลือก 3) มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ต่อทรัพยากรธรรมชาติ น้อยกว่าทางเลือกที่ใช้กันทั่วไป(ทางเลือก 1) แต่มีค่าผลกระทบต่อระบบนิเวศน์มากกว่าทางเลือกที่ใช้กันทั่วไป

3.2) การผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่ำ มีค่าผลกระทบในขอบเขต cradle-to-gate มากกว่าทางเลือกการผลิตที่ใช้กันทั่วไป โดยมากกว่าในทุกกลุ่มผลกระทบ

3.3) จากกราฟที่รวมผลกระทบเป็นคะแนนเดียวคือหน่วย point ;Pt เพื่อที่จะเปรียบเทียบได้ว่าเมื่อรวมทุกกลุ่มผลกระทบแล้ว(ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ต่อระบบนิเวศน์และต่อทรัพยากรธรรมชาติ)ทางเลือกใดที่มีค่าผลกระทบน้อยสุด ซึ่งผลพบว่า

ทางเลือกที่ให้ผลกระทบน้อยสุดคือทางเลือกที่เป็นกระบวนการผลิตที่ใช้กันทั่วไป รองลงมาคือการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนสูง และกระบวนการผลิตที่ให้ผลกระทบมากสุดคือการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่ำ

3.4) ถึงแม้ว่าสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนนั้นจะเป็นวัตถุดิบที่ราคาถูกกว่าโพรพิลีน แต่จากการประเมินผลกระทบ พบว่าการใช้โพรเพนไม่ว่าจะใช้ทางเลือกที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่ำหรือสูง ในขอบเขตการผลิตอะคริโลไนไทรล์ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนการผลิต (cradle-to-gate) มีค่าผลกระทบมากกว่ากระบวนการผลิตจากสารตั้งต้นที่เป็นโพรพิลีนซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่มีราคาแพง

4) การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ภายใต้ความไม่แน่นอน

การประเมินผลกระทบเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นโพรพิลีนกับการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนสูงที่ภายใต้ความไม่แน่นอน ผลการประเมินพบว่าทางเลือกที่ 1 มีผลกระทบน้อยกว่าทางเลือกที่ 3 ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 91.7

5) การพัฒนากระบวนการผลิตโดยการออกแบบข่ายงานแลกเปลี่ยนความร้อน

หลังจากการทำ HEN ทั้งสามกระบวนการผลิตพบว่าแนวโน้มการเปรียบเทียบทั้งสามทางเลือกยังเหมือนเดิมนั้นคือ ทางเลือกที่ 1 เป็นทางเลือกที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยสุด ผลกระทบรองลงมาคือทางเลือกที่ 3 และผลกระทบมากสุดคือทางเลือกที่ 2 ซึ่งแนวโน้มเหมือนเดิม แต่ว่าทำให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลดลง โดยพบว่าการที่ระบบมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพจะทำให้ผลกระทบทั้งสามกลุ่มผลกระทบลดลงโดยมีผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ต่อระบบนิเวศน์ลดลงมากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เมื่อพิจารณาด้านผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแล้วเส้นทางที่ไม่ควรเลือกใช้ในการผลิตอะคริโลไนไทรล์คือการผลิตจากสารตั้งต้นโพรเพนที่ใช้เทคโนโลยีที่ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนต่ำเพราะเป็นทางเลือกที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากสุด เพราะว่าเป็นกระบวนการผลิตที่มีการใช้พลังงานมากกว่าเส้นทางอื่นและมีปริมาณการปล่อยสารพิษมากกว่าด้วย

2. สารละลายเกลือที่ได้จากหน่วยกำจัดแอมโมเนียที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาควรนำสารละลายไปส่งต่อให้โรงงานที่ผลิตแอมโมเนียมซัลเฟตเพื่อผลิตเป็นปุ๋ย เพราะจากการประเมินพบว่าแอมโมเนียมซัลเฟตเป็นสารที่ส่งผลกระทบหลักของการผลิตอะคริโลไนไทรล์ซึ่งจะทำให้ส่งผลกระทบด้าน ความเป็นกรด/ ยูโทรฟิเคชัน ซึ่งก็จะทำให้ส่งผลกระทบขั้นปลายคือผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ คือทำให้สิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศน์ลดน้อยลง

3. ในกลุ่มผลกระทบหลักสามกลุ่มผลกระทบ ถ้าพิจารณากลุ่มผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์และด้านการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ควรเลือกเส้นทางการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของโพรเพนสูงเพราะเมื่อเทียบกับการผลิตที่ใช้กันทั่วไปคือสารตั้งต้นที่เป็นโพรพิลีนแล้วมีค่าผลกระทบสองด้านนี้น้อยกว่า

4. ถ้าพิจารณาทั้งสามกลุ่มผลกระทบหลักแล้ว ควรเลือกทางเลือกที่ใช้กันโดยทั่วไปในการผลิต (ทางเลือกที่ 1) อะคริโลไนไทรล์เพราะเป็นทางเลือกที่มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] Alexandre C.Dimian., and Costin Sorin Bildea. Chemical process design: Computer aided case studies. 1 : WILEY VCH, 2008.

[2] Ricardo Prada Silvy., et al. Propane Ammoxidation catalyst based on vanadium-aluminum oxynitride. AIChE Journal 49 (2003) : 2228-2231.

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

[4] Adisa Azapagic. Life cycle assessment and its application to process selection, design and optimization. Chemical engineering journal 73 (1990) : 1-21.

[5] Aaro´n David Bojarski., et al. Life Cycle Assessment Coupled with Process Simulation under Uncertainty for Reduced Environmental Impact: Application to Phosphoric Acid Production. Ind. Eng. Chem. Res. 47 (2008) : 8286-8300.

[6] Rolf Frischknecht., et al. Implementation of life cycle impact assessment methods. 3. Centre for Life Cycle Inventories : Dubendorf, 2007.

[7] Mark Goedkoop., and Renilde Spriensma. The Eco-indicator 99 A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. 2. PRé Consultants, 2000.

[8] EUROPEAN COMMISSION. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). World Trade Centre, 2000.

[9] Alain chauvel., and Gilles lefebvre. PETROCHEMICAL PROCESS . 2. Institut Francais du Petrole publication,1989.

[10] PERP Program. Chem Systems' Process Evaluation/Research Planning program has published a new, 1998.

[11] James F. Brazdil .Strategies for the selective catalytic oxidation of alkanes. Topics in Catalysis (August 2006) : 289-294.

[12] Yongqi Hu .,et al . Amoxidation of propylene to acrylonitrile in a bench-scale circulating fluidized bed reactor. Chemical engineering and processing (2007) : 918-923.

[13] Roberto Catani., Gabriele Centi., and Ferruccio Trifirb. Kinetics and Reaction Network in Propane Ammoxidation to Acrylonitrile on V-Sb-A1 Based Mixed Oxides. Ind. Eng. Chem. Res 31 (1992) : 107-119.

[14] Kiyotaka Asakura., et al. Characterization and Kinetic Studies on the Highly Active Ammoxidation Catalyst MoVNbTeOx. Journal of Catalysis 194 (2000) : 309–317.

[15] Chih Wu., et al. Process for distillation and recovery for olifinic nitrites. U.S.patent 3,936,360, 1976.

[16] Chih Wu., et al. Process for recovery of olefinc nitrile. U.S.patent 4166,008, 1979.

[17] LOVETT, G.H. Purification of olinically unsaturated niriles by water extractive distillation .U.S.patent 3, 399, 120, 1968.

[18] Landis., et al. Acrylonitrile purification by extractive distillation. U.S.patent 4,269,667, 1981.

[19] Kasimir Krzemicki. Method of preparing acrylonitrile free from acetonitrile. U.S. 3,210,399, 1965.

[20] Khoobiar., et al. Process for preparing unsaturated nitriles from alkanes .U.S. patent 4,609,502, 1986.

[21] Ramachandran., et al. Method of producing unsaturated hydrocarbons and separating the same from saturated hydrocarbons. U.S. patent 5, 177, 293, 1993.

[22] Harding, K.G., et al. A life-cycle comparison between inorganic and biological catalysis for the production of biodiesel. Journal of Cleaner Production (2007) : 1-11.

[23] Hopper, J.R., et al. Original contribution waste minimization by process modification. Waste management (1993) : 3-14.

[24] Johns, W.R., Kokossis, A., and Thompson, F. A flow sheeting approach to integrated life cycle analysis. Chemical engineering and processing (2008) : 557-564.

[25] Arnol Tukker. Life cycle assessment as a tool in environmental impact assessment. Environmental impact assessment review (2000) : 435–456.

[26] Hubert Halleux., Stephane Lassaux1., and Albert Germain .Comparison of life cycle assessment methods application to a wastewater treatment plant. CIRP INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIFE CYCLE ENGINEERING, 2006.

[27] Renou, S., et al. Influence of impact assessment methods in waste water treatment LCA. Journal of Cleaner Production 16 (2008) : 1098-1105.

[28] Wei Zhao.,et al. Life cycle assessment of municipal solid waste management with regard to greenhouse gas emissions: Case study of Tianjin, China. science of the total environment 407 (2009) : 1517– 1526.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้หลักโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

- การปรับปรุงโดยใช้หลักโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นโพรพิลีน: ทางเลือกที่ 1

ตารางที่ 1 ก สายที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน: สายร้อน

สายร้อน	สัญลักษณ์	ปริมาณความร้อน;kJ/hr	Tin $^{\circ}$C	T out $^{\circ}$C
Cooling gas from reactor	h4	2701.54	447	220
Cooling feed to sep.V-102	Q-111	3020.45	63	30
Cooling feed to absorber	Q-106	2149.42	193	30
Cooling solvent to extractive dis.	Q-108	2028.79	100	70
รวม		9900.20		

ตารางที่ 2 ก สายที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน: สายเย็น

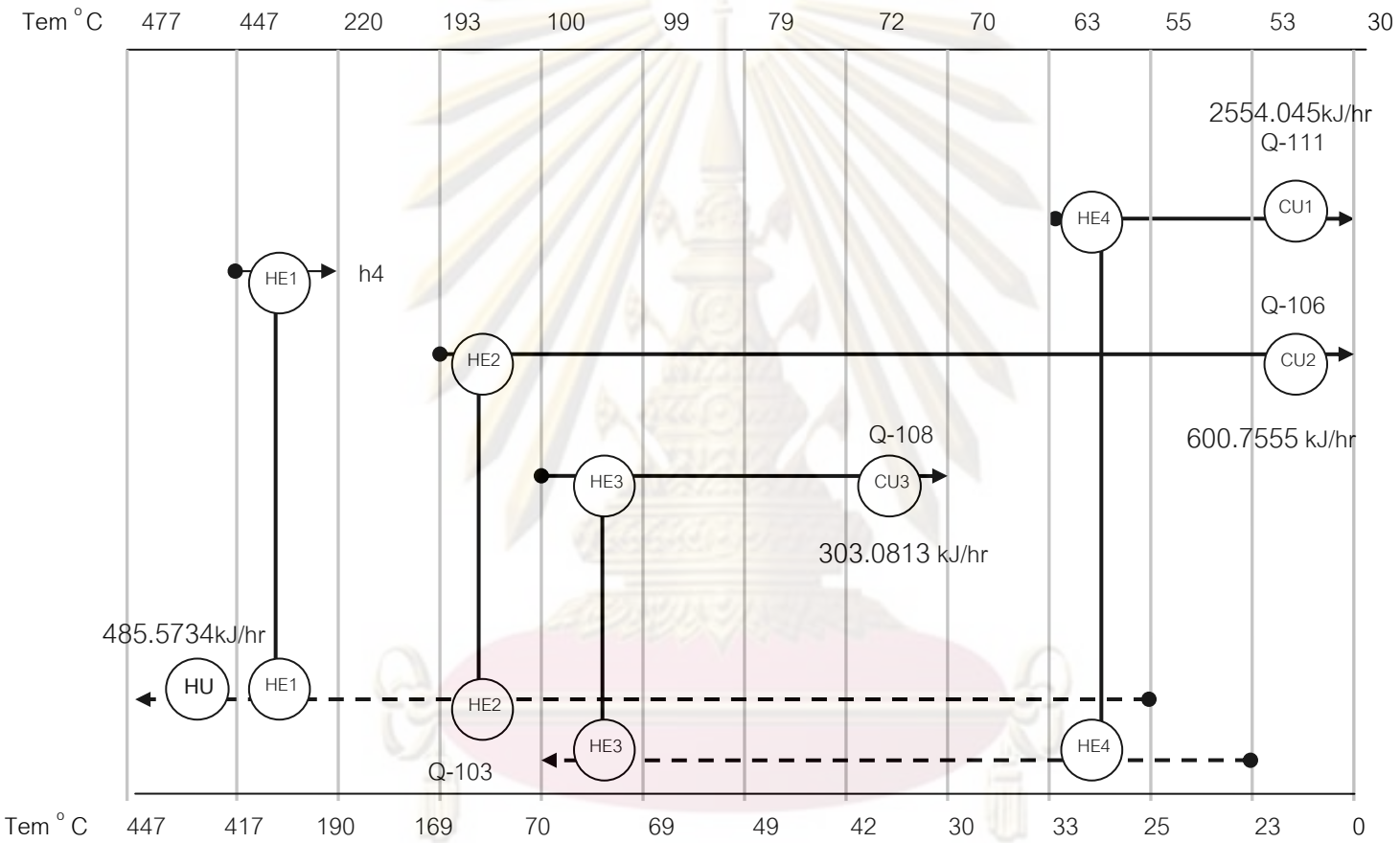
สายเย็น	สัญลักษณ์	ปริมาณความร้อน;kJ/hr	Tin $^{\circ}$C	Tout $^{\circ}$C
Preheat to reactor	Q-109	4735.781	25	447
Pre-heat to extractive distillation	Q-103	2192.109	23	70
รวม		6927.89		

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 ก ตารางเปรียบเทียบพลังงานของแต่ละสายเมื่อมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตของการผลิตอะคริโลไนไทรล์ทางเลือกที่ 1

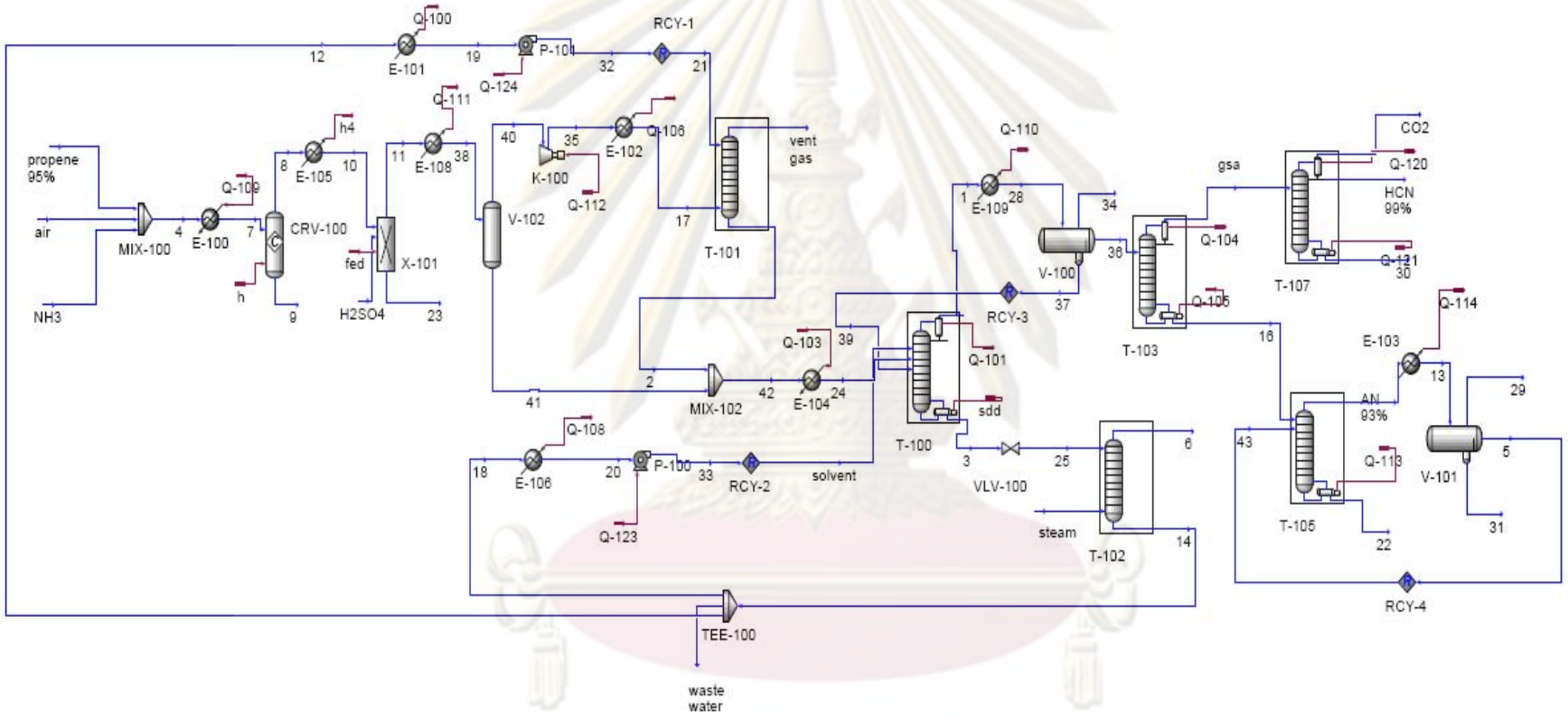
ทางเลือกที่ 1				
	Q; kJ/hr ก่อน HEN		Q; kJ/hr หลัง HEN	
stream	heating	cooling	heating	cooling
h4	-	2701.54	-	0
Q-111	-	3020.45	-	2554.045
Q-106	-	2149.42	-	600.7555
Q-108	-	2028.79	-	303.0813
รวม	-	9900.20	-	3457.886
Q-109	4735.781	-	485.5734	-
Q-103	2192.109	-	0	-
รวม	6927.89	-	485.5734	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



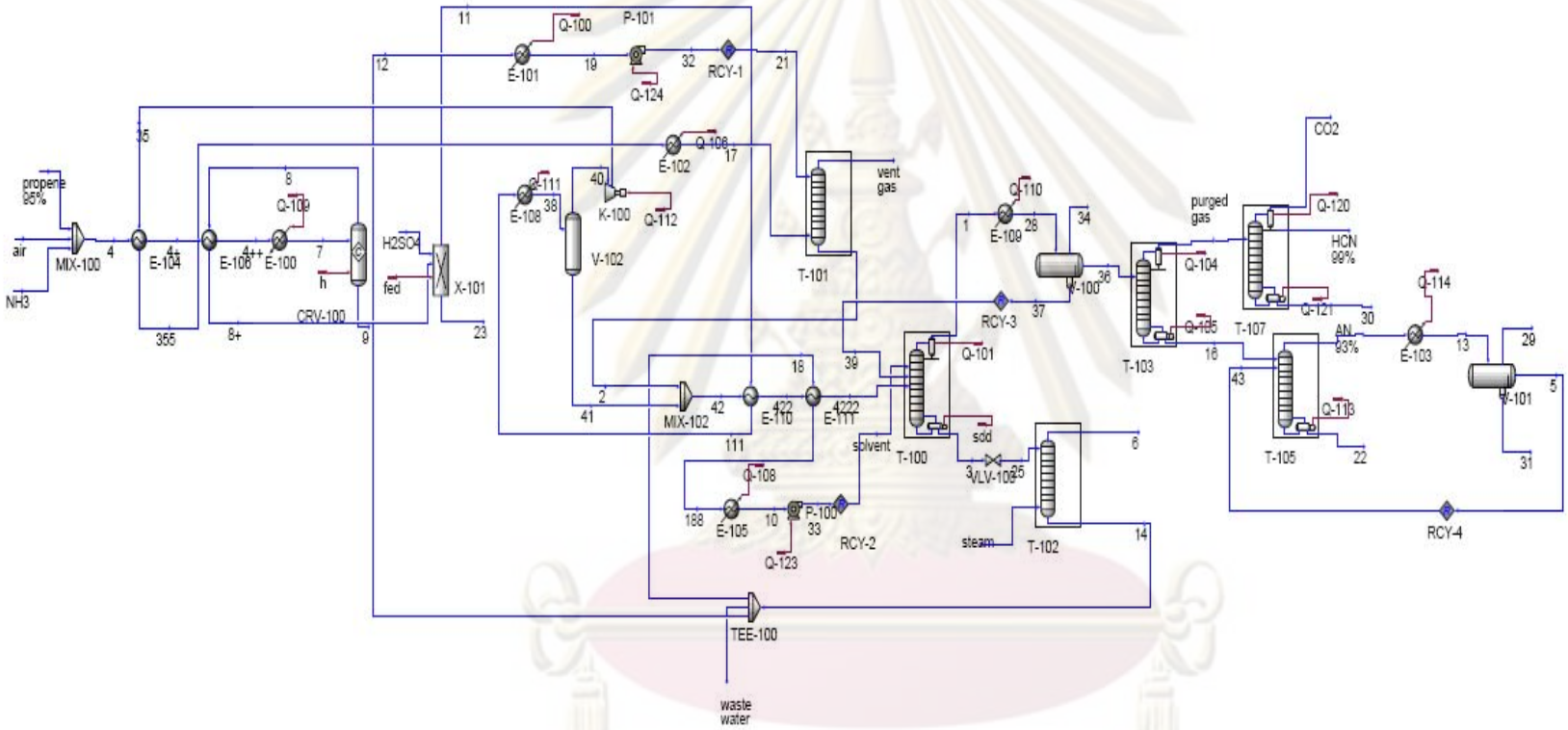
รูปที่ 1ก การจับคู่สายพลังงานของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรพิลีน (ทางเลือก 1)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 2 ก แผนผังแบบจำลองการพัฒนากระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นโพรพิลีน (ทางเลือก 1); ก่อนการปรับปรุงการผลิตโดยใช้หลักโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 3 ก แผนผังจำลองการพัฒนากระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นโพรพิลีน (ทางเลือก 1): หลังการปรับปรุงการผลิตโดยใช้หลักโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- การปรับปรุงโดยใช้หลักโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงต่ำ: ทางเลือกที่ 2

ตารางที่ 4 ก สายพลังงานที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน: สายร้อน

สายร้อน	สัญลักษณ์	ปริมาณความร้อน kJ/hr	Tin $^{\circ}$C	Tout $^{\circ}$C
Cooling gas from reactor	Q-102	12756.22	500	220
Cooling feed to absorber	Q-110	5564.035	175	30
Cooling solvent to extractive dis.	Q-117	3042.016	100	70
Cooling solvent to absorber	Q-113	6906.286	100	30
Cooling feed to sep.V-100	Q-115	7004.831	243.1878	30
รวม		35273.39		

ตารางที่ 5 ก สายพลังงานที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน: สายเย็น

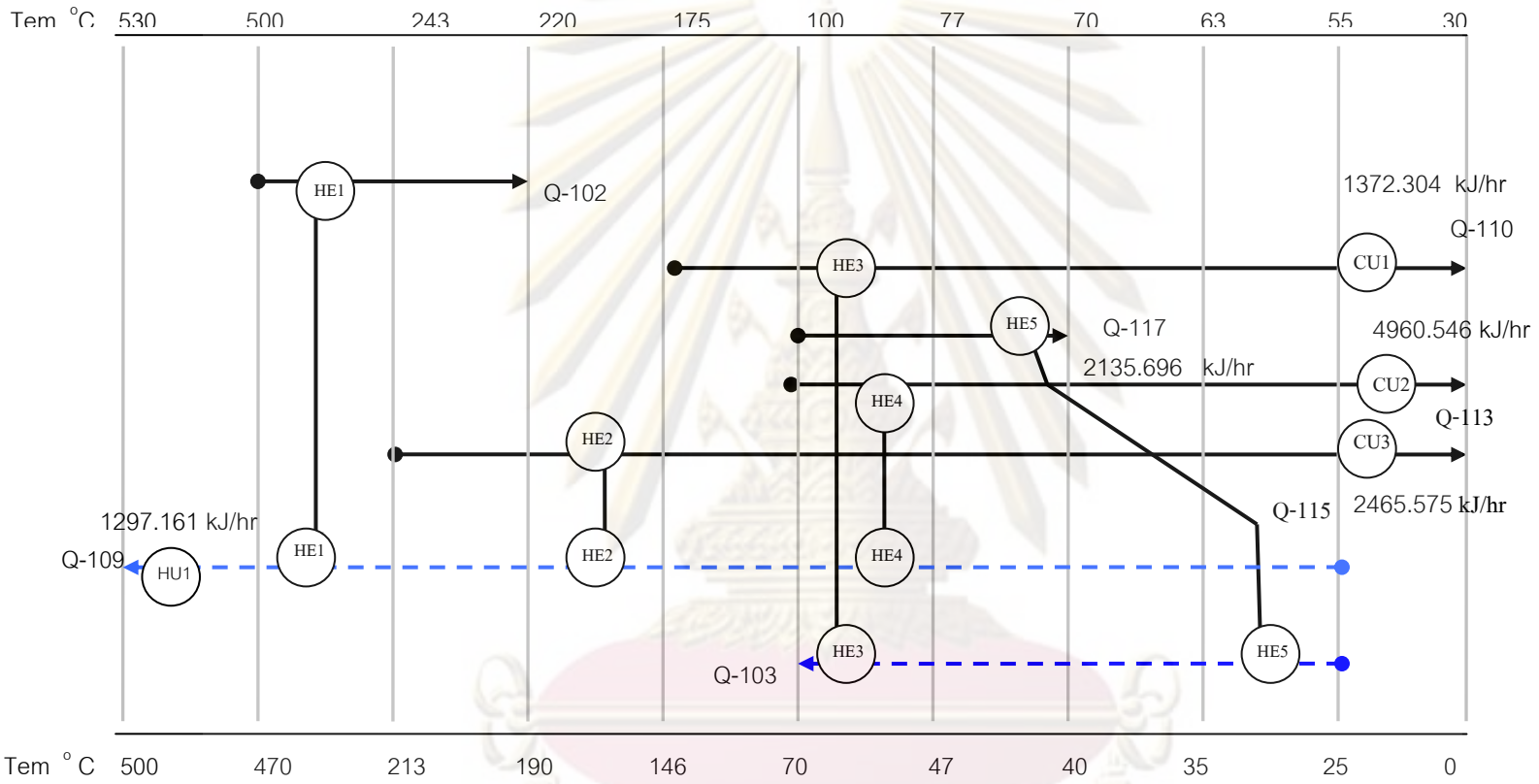
	สัญลักษณ์	ปริมาณความร้อน kJ/hr	Tin	Tout
Preheat feed to reactor	Q-100	20538.38	25	500
Preheat to extractive disstillation	Q-104	5098.051	25	70
รวม		25636.43		

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6 ก สายพลังงานที่ได้จากการทำแลกเปลี่ยนความร้อนในระบบของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ทางเลือก 2

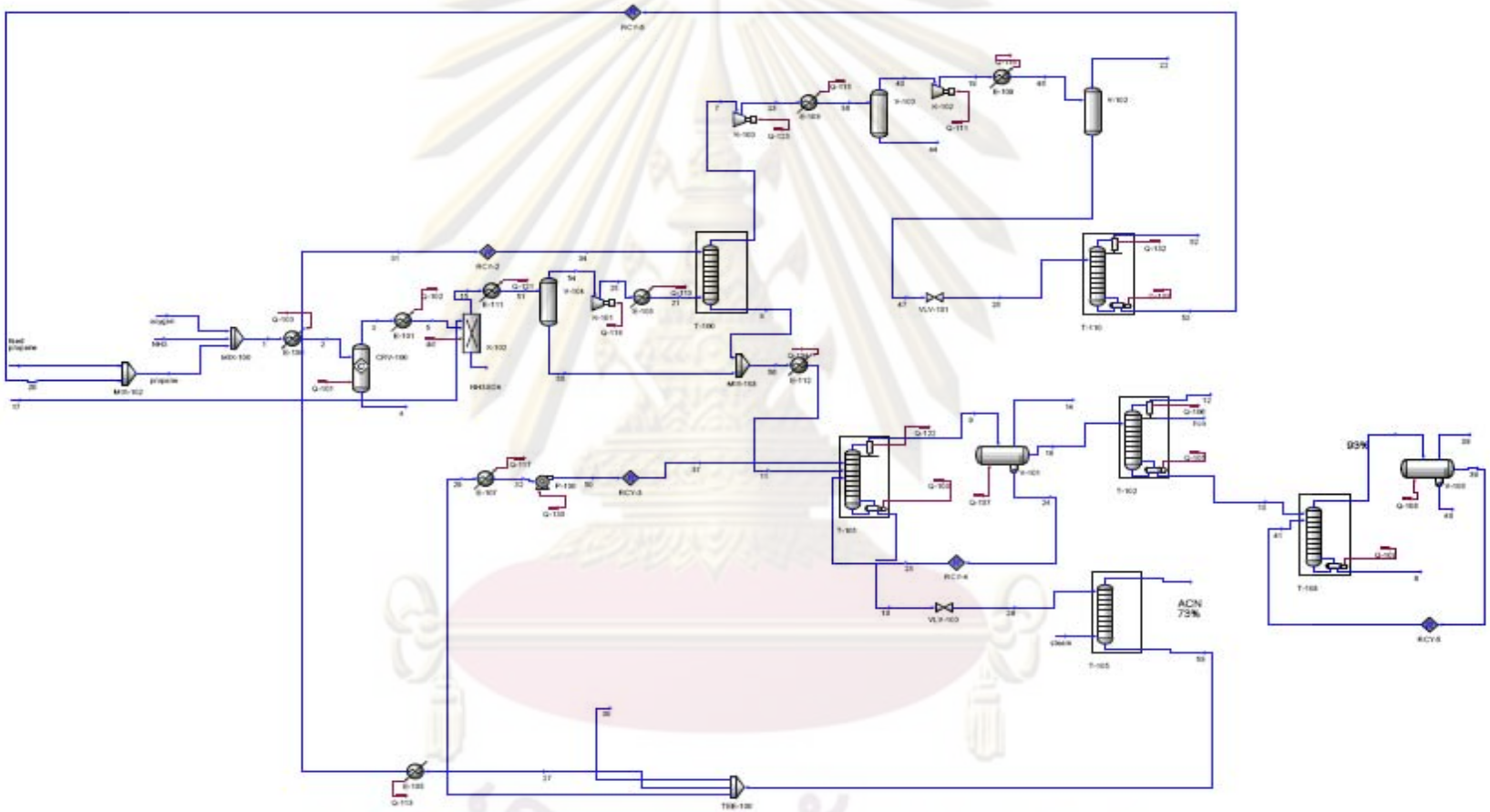
ทางเลือกที่ 2				
	Q ; kJ/hr ก่อน		Q; kJ/hr หลัง	
stream	steam	cooling	steam	cooling
Q-102	-	12756.22	-	0
Q-110	-	5564.035	-	1372.304
Q-117	-	3042.016	-	2135.696
Q-113	-	6906.286	-	4960.546
Q-115	-	7004.831	-	2465.575
รวม	-	35273.39	-	10934.12
Q-109	20538.38	-	1297.161	-
Q-103	5098.051	-	0	-
รวม	25636.43	-	1297.161	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



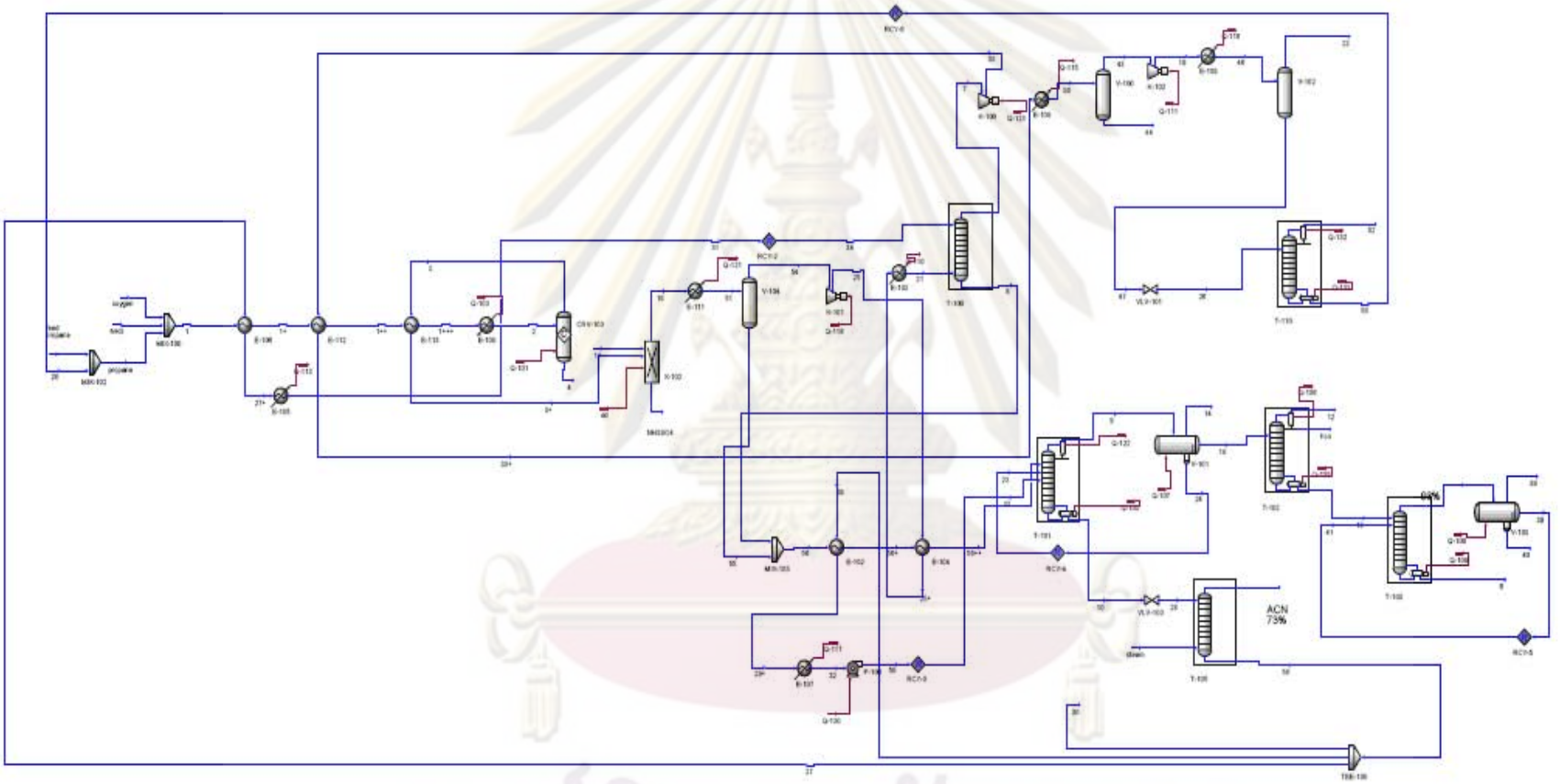
รูปที่ 4 ก การจับคู่สายพลังงานของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงต่ำ (ทางเลือก 2)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5 **ก** แบบจำลองกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าคอนเวอร์ชันของโพรเพนต่ำ (ทางเลือกที่ 2)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 6 ก แผนผังจำลองการพัฒนากระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นโพรเพนที่ค่าคอนเวอร์ชันต่ำ (ทางเลือก 2): หลังการปรับปรุงการผลิตโดยใช้หลักโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- การปรับปรุงโดยใช้หลักโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงสูง: ทางเลือกที่ 3

ตารางที่ 7 ก สายที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน: สายร้อน

สายร้อน	hot	ปริมาณความร้อน kJ/hr	Tin $^{\circ}$ C	Tout $^{\circ}$ C
Cooling gas from reactor	Q-102	6153.5449	435	220
Cooling feed to absorber	Q-118	4676.655193	202	30
Cooling solvent to extractive dis.	Q-111	2253.781428	100	70
Cooling solvent to absorber	Q-112	4099.053888	100	30
Cooling feed to dacantor	Q-120	2862.137408	75.53	30
		20045.17282		

ตารางที่ 8 ก สายที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน: สายเย็น

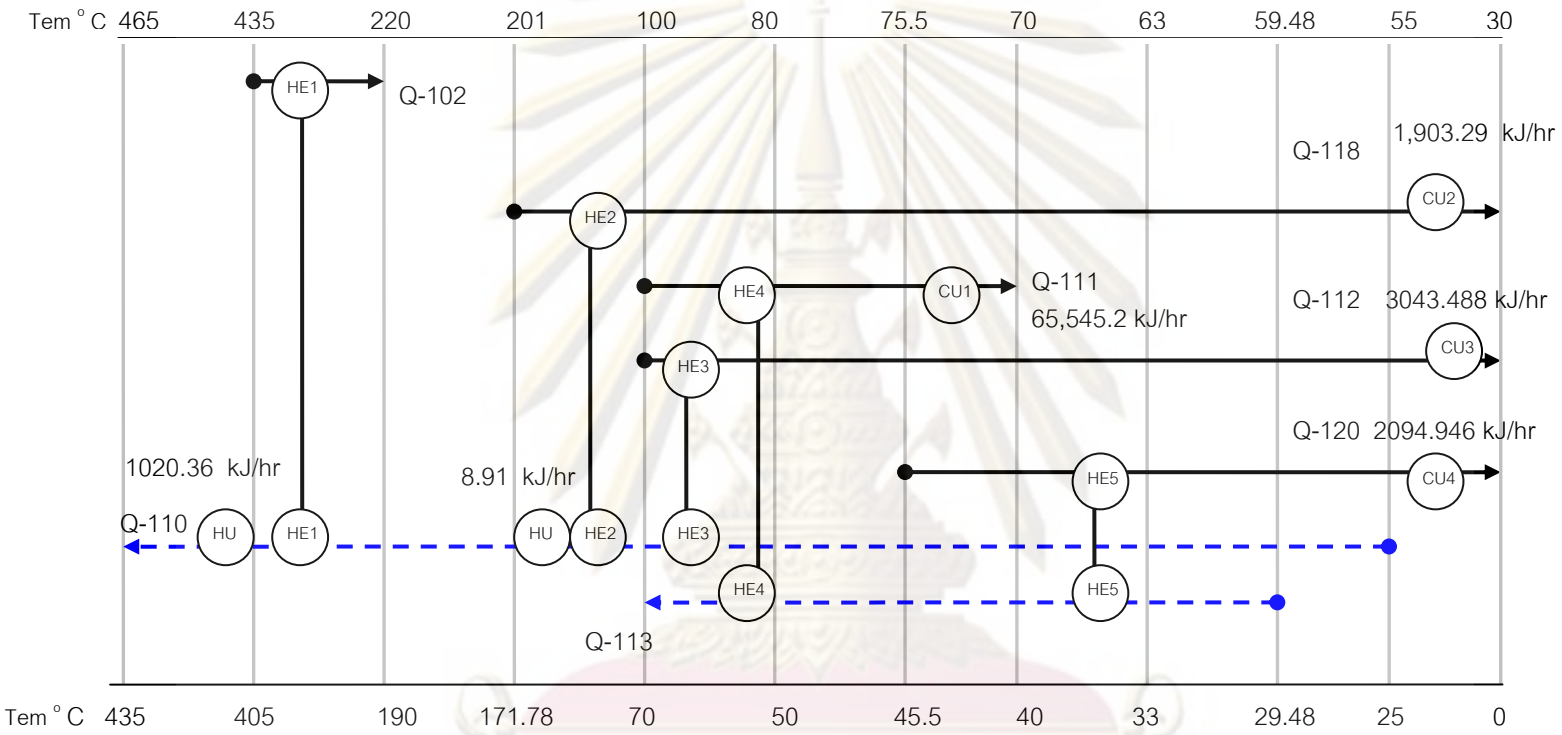
สายเย็น	cold	ปริมาณความร้อน kJ/hr	Tin $^{\circ}$ C	Tout $^{\circ}$ C
Preheat feed to reactor	Q-110	11183.64	25	435
Preheat to extractive disstillation	Q-113	2955.068	29.48	70
รวม		14138.71		

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 9 ก สายพลังงานที่ได้จากการทำแลกเปลี่ยนความร้อนในระบบของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์ทางเลือก 3

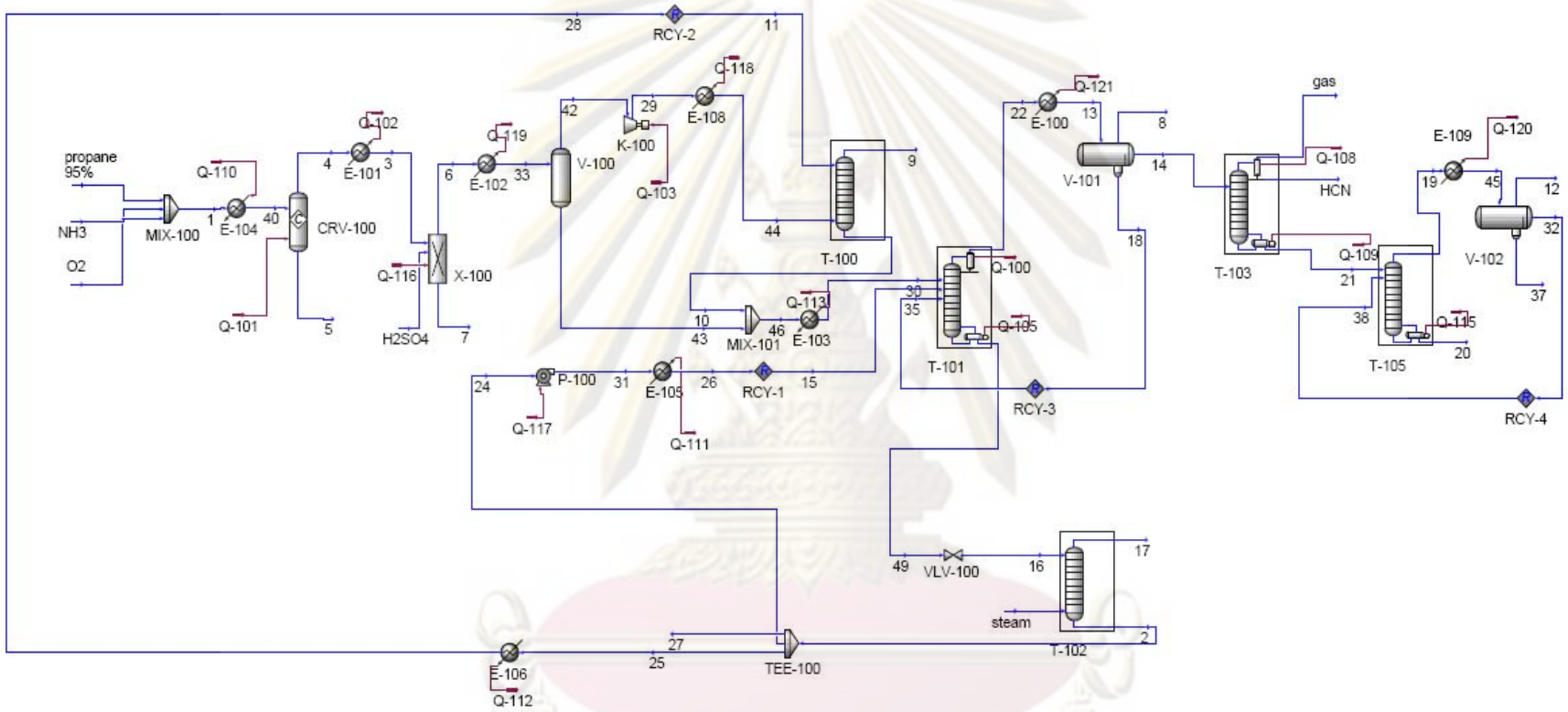
process 3					
		Q ; kJ/hr ก่อน		Q ; kJ/hr หลัง	
stream		steam	cooling	steam	cooling
H1	Q-102	-	6153.5449	-	0
H3	Q-118	-	4676.655193	-	1903.29
H4	Q-111	-	2253.781428	-	65.97138
H5	Q-112	-	4099.053888	-	3043.488
H7	Q-120	-	2862.137408	-	2094.946
รวม		-	20045.17282	-	7107.696
C1	Q-109	11183.64	-	1029.271393	-
C2	Q-103	2955.068	-	0	-
รวม		14138.71	-	1029.271393	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



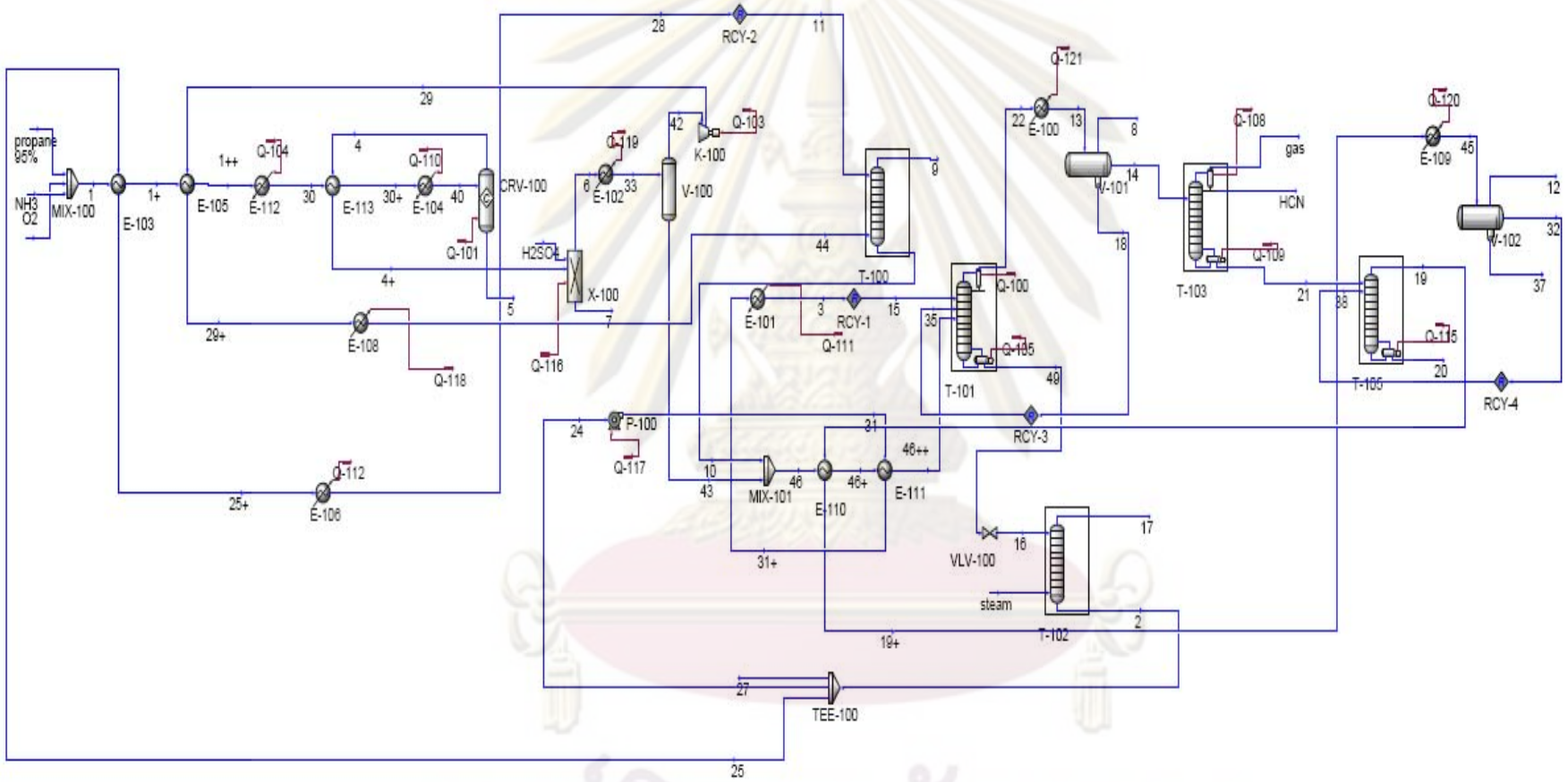
รูปที่ 7 ก การจับคู่สายพลังงานของกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าการเปลี่ยนแปลงสูง (ทางเลือก3)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 8 ก แบบจำลองกระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นที่เป็นโพรเพนที่ค่าคอนเวอร์ชันของโพรเพนสูง (ทางเลือกที่ 3)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 9 ก แผนผังจำลองการพัฒนากระบวนการผลิตอะคริโลไนไทรล์จากสารตั้งต้นโพรเพนที่ค่าคอนเวอร์ชันสูง (ทางเลือก 3): หลังการปรับปรุงการผลิตโดยใช้หลักโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ภาคผนวก ข

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1. การกำหนดบทบาท (Characterization)

เป็นการแสดงประเภทของผลกระทบให้อยู่ในรูปของตัวบ่งชี้(Indicator) โดยใช้ค่าแฟกเตอร์ (Characterization Factor) ในการคูณเพื่อเปลี่ยนจากปริมาณน้ำหนักเป็นค่าบ่งชี้ของผลกระทบและทำการรวมค่าทั้งหมดของผลกระทบ ดังสมการ

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

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

Q_i (Quality of Substance) คือ ปริมาณมลภาวะสาร j ที่ปล่อยออกมา

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

2. การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization)

เป็นการแสดงขนาดของผลกระทบของผลิตภัณฑ์หรือบริการ โดยเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์หรือบริการอื่นที่ต้องการอ้างอิง แสดงดังสมการ

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

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

T (Life Time of Product) คือ อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. **การให้ค่าน้ำหนัก** (Weighting)

เป็นขั้นตอนในการให้ความสำคัญของลักษณะของผลกระทบทั้ง 3 ประเภทคือ สุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศ การใช้ทรัพยากร และรวมค่าของดัชนีตัววัดทั้ง 3 ประเภทให้เป็นคะแนนเดียว

$$WP_j = WF_j \times NP_j$$

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

WF_j (Weighting Factor) คือ ค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้

* หมายเหตุ โดยค่าแฟกเตอร์ของค่า Characterization factor ค่า Normalization factor และค่า Weighting Factor ขั้นได้แสดงไว้ดังตาราง ข1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข ค่า Damage factor ของวิธี Eco-indicator 99

ตาราง ข 1 Damage category Human Health

ตาราง ข 1.1 ประเภทผลกระทบด้าน สารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (carcinogen)

Com-part-ment	Substances	Damage factor	unit
Air	1,2-dibromoethane	2.60E-04	DALY/kg
Air	1.2-dichloroethane	2.98E-05	DALY/kg
Air	1.3-butadiene	1.58E-05	DALY/kg
Air	1.4-dioxane	1.39E-07	DALY/kg
Air	2.4.6-trichlorophenol	2.05E-06	DALY/kg
Air	acetaldehyde	2.16E-07	DALY/kg
Air	acrylonitrile	1.69E-05	DALY/kg
Air	alpha-hexachlorocyclohexan	3.00E-04	DALY/kg
Air	Arsenic	2.46E-02	DALY/kg
Air	Bis(chloromethyl)ether	7.48E-03	DALY/kg
Air	benzene	2.50E-06	DALY/kg
Air	benzo(a)anthracene	5.86E-02	DALY/kg
Air	benzo(a)pyrene	3.98E-03	DALY/kg
Air	benzotrichloride	6.60E-03	DALY/kg
Air	benzylchloride	1.04E-05	DALY/kg
Air	beta-chlorocyclohexan	9.99E-05	DALY/kg
Air	bromodichloromethane	8.76E-06	DALY/kg
Air	Cadmium	1.35E-01	DALY/kg
Air	Chromium (VI)	1.75	DALY/kg
Air	di(2-ethylhexyl)phthalate	3.38E-05	DALY/kg
Air	dibenz(a)anthracene	3.10E+01	DALY/kg
Air	dichloromethane	4.36E-07	DALY/kg
Air	Dichlorvos	3.15E-05	DALY/kg
Air	2.3.7.8-TCDD Dioxin	1.79E+02	DALY/kg
Air	epichlorohydrin	3.02E-07	DALY/kg

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Air	ethylene oxide	1.83E-04	DALY/kg
Air	formaldehyde	9.91E-07	DALY/kg
Air	gamma-HCH (Lindane)	3.49E-04	DALY/kg
Air	Hexachlorobenzene	8.25E-02	DALY/kg
Air	metals	5.20E-03	DALY/kg
Air	Nickel	2.35E-02	DALY/kg
Air	Nickel-refinery-dust	4.74E-02	DALY/kg
Air	Nickel-subsulfide	9.48E-02	DALY/kg
Air	PAH's	1.70E-04	DALY/kg
Air	particles diesel soot	9.78E-06	DALY/kg
Air	Polychlorobiphenyls	1.97E-03	DALY/kg
Air	pentachlorophenol	7.21E-03	DALY/kg
Air	propyleneoxide	1.17E-05	DALY/kg
Air	styrene	2.44E-08	DALY/kg
Air	perchloroethylene	4.82E-07	DALY/kg
Air	carbontetrachloride	8.38E-04	DALY/kg
Air	chloroform	2.63E-05	DALY/kg
Air	vinyl chloride	2.09E-07	DALY/kg
Water	1.2-dibromoethane	1.24E-03	DALY/kg
Water	1.2-dichloroethane	2.98E-05	DALY/kg
Water	1.3-butadiene	3.37E-04	DALY/kg
Water	1.4-dioxane	9.21E-07	DALY/kg
Water	2.4.6-trichlorophenol	1.05E-05	DALY/kg
Water	acetaldehyde	9.23E-07	DALY/kg
Water	acrylonitrile	4.16E-05	DALY/kg
Water	alpha-hexachlorocyclohexan	6.85E-03	DALY/kg
Water	Arsenic	6.57E-02	DALY/kg
Water	Bis(chloromethyl)ether	1.54E-02	DALY/kg
Water	benzene	4.12E-06	DALY/kg

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Water	benzo(a)anthracene	6.58E-01	DALY/kg
Water	benzo(a)pyrene	2.99	DALY/kg
Water	benzotrichloride	9.46E-03	DALY/kg
Water	benzylchloride	1.98E-05	DALY/kg
Water	beta-chlorocyclohexan	5.75E-03	DALY/kg
Water	bromodichloromethane	9.36E-06	DALY/kg
Water	Cadmium	7.12E-02	DALY/kg
Water	Chromium (VI)	3.43E-01	DALY/kg
Water	di(2-ethylhexyl)phthalate	6.64E-04	DALY/kg
Water	dibenz(a)anthracene	4.07E+01	DALY/kg
Water	dichloromethane	4.97E-07	DALY/kg
Water	Dichlorvos	1.17E-05	DALY/kg
Water	dioxins (TEQ)	2.02E+03	DALY/kg
Water	epichloorhydrin	9.90E-07	DALY/kg
Water	ethylene oxide	1.39E-04	DALY/kg
Water	formaldehyde	4.97E-06	DALY/kg
Water	gamma-HCH (Lindane)	4.16E-03	DALY/kg
Water	hexachlorobenzene	1.25E-01	DALY/kg
Water	Nickel	3.11E-02	DALY/kg
Water	Nickel--subsulfide	5.02E-03	DALY/kg
Water	Nickel-refinery-dust	1.00E-02	DALY/kg
Water	PAH's	2.60E-03	DALY/kg
Water	Polychlorobiphenyls	3.91E-02	DALY/kg
Water	pentachlorophenol	2.29E-02	DALY/kg
Water	propylene oxide	1.74E-05	DALY/kg
Water	styrene	1.22E-06	DALY/kg
Water	perchloroethylene	4,72E-07	DALY/kg
Water	carbontetrachloride	8.29E-04	DALY/kg
Water	chloroform	2.60E-05	DALY/kg

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ตาราง ข 1.2 Respiratory effects on humans caused by organic substances

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ตาราง ข 1.3 Respiratory effects on humans caused by inorganic substances

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

ตาราง ข 1.4 Damages to human health caused by climate change

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ตาราง ข1.5 Human health effects caused by ionising radiation

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ตาราง ข 1.6 Human health effects caused by ozone layer depletion

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ตาราง ข 2 Damage category Ecosystem Quality

ตาราง ข 2.1 Damage to Ecosystem Quality caused by ecotoxic emissions

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ตาราง ข 2.2 Damage to Ecosystem Quality caused by the combined effect of acidification and eutrophication

Com-part-ment	Substances	Damage factor	unit
Air	ammonia	15.57	PDF/kg
Air	NO	8.789	PDF/kg
Air	NO2	5.713	PDF/kg
Air	NOx	5.713	PDF/kg
Air	NOx (as NO2)	5.713	PDF/kg
Air	SO2	1.041	PDF/kg
Air	SO3	0.8323	PDF/kg
Air	SOx	1.041	PDF/kg
Air	SOx (as SO2)	1.041	PDF/kg
water	NH4+	18.9	PDF/kg
water	sulfate	0.694	PDF/kg

ตาราง ข 2.3 Damage to Ecosystem Quality caused by land occupation and land conversion

Land-occupation	Damage factor	unit
land use II-III	0.51	PDF/m2a
land use II-IV	0.96	PDF/m2a
land use III-IV	0.96	PDF/m2a
land use IV-IV	1.15	PDF/m2a
Occup. as Contin. urban land	1.15	PDF/m2a
Occup. as Convent. arable land	1.15	PDF/m2a

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Occup. as Discont. urban land	0.96	PDF/m2a
Occup. as Forest land	0.11	PDF/m2a
Occup. as Green urban land	0.84	PDF/m2a
Occup. as Industrial area	0.84	PDF/m2a
Occup. as Intens. meadow land	1.13	PDF/m2a
Occup. as Organic arable land	1.09	PDF/m2a
Occup. as organic meadow land	1.02	PDF/m2a
Occup. as rail/ road area	0.84	PDF/m2a
Occup. as Integrated arable land	1.15	PDF/m2a
Occup. as less intens.meadow land	1.02	PDF/m2a

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข 3 Damage category Resources

ตาราง ข 3.1 Damage to Resources caused by extraction of minerals (H,A) The unit of damage is MJ surplus energy per kg extracted material.

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข 3.2 Damage to Resources caused by extraction of fossil fuels

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

ตาราง ค Normalization factor และ weighting factor

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพิรญาณ์ สงวนเนตร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์เคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒในปีการศึกษา 2548 และในปีการศึกษา 2549 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและสำเร็จการศึกษาในปี 2552

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย