การพัฒนากระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์โดยเครื่องมือการประเมินวัฏจักรชีวิตภายใต้ความไม่แน่นอน

นางสาวพิชญา คุณวุฒิ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF VINYL CHLORIDE PRODUCTION PROCESS BY LIFE CYCLE ASSESSMENT TOOL UNDER UNCERTAINTY

Miss Phitchaya Khunnawut

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	การพัฒนากระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์โดยเครื่องมือการประเมินวัฏจักรชีวิตภายใต้ความไม่แน่นอน
โดย	นางสาวพิชญา คุณวุฒิ
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

พิชญา คุณวุฒิ : การพัฒนากระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์โดยเครื่องมือการประเมินวัฏจักรชีวิตภายใต้ความไม่แน่นอน. (DEVELOPMENT OF VINYL CHOLRIDE PRODUCTION PROCESS BY LIFE CYCLE ASSESSMENT TOOL UNDER UNCERTAINTY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : อ. ดร.สุรเทพ เขียวหอม, 75 หน้า.

งานวิจัยนี้ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตในการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ด้วยกระบวนการที่แตกต่างกัน 4 กรณีศึกษา คือค่าการเปลี่ยนแปลงร้อยละ 55 เป็นกรณี A ค่าการเปลี่ยนแปลงร้อยละ 59 เป็นกรณี B ค่าการเปลี่ยนแปลงร้อยละ 63 เป็นกรณี C และค่าการเปลี่ยนแปลงร้อยละ 77 เป็นกรณี D ประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro ด้วยวิธี Impact 2002+ พร้อมทั้งประเมินวัฏจักรชีวิตภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลและสภาวะการดำเนินการ จากผลการศึกษาพบว่าทั้ง 4 กรณีศึกษามีผลกระทบสูงสุดในด้านการใช้พลังงานที่ไม่สามารถทดแทนได้ (non–renewable energy) โดยกรณี A ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดและกรณี D ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาภายใต้ความไม่แน่นอนกรณี A ส่งผลกระทบมากกว่าทุกกรณีที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 100 กรณี B ส่งผลกระทบมากกว่า กรณี C และกรณี D ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 77.2 และ ร้อยละ 100 ตามลำดับ ส่วนกรณี C ส่งผลกระทบมากกว่ากรณี D ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 100 เมื่อปรับปรุงด้วยหลักการโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนผลกระทบจะลดลงประมาณร้อยละ 100 สำหรับกรณี A กรณี B และกรณี C ส่วนกรณี D ผลกระทบลดลงประมาณร้อยละ 200

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต พิชญา คุณวุฒิ

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2552 ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

4970472021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : VINYL CHLORIDE / LIFE CYCLE ASSESSMENT / ENVIRONMENTAL IMPACT

PHITCHAYA KHUNNAWUT : DEVELOPMENT OF VINYL CHLORIDE PRODUCTION PROCESS BY LIFE CYCLE ASSESSMENT TOOL UNDER UNCERTAINTY. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CHAIRIT SATAYAPRASERT , Dr.Ing., THESIS CO-ADVISOR : SOORATHEP KHEAWHOM, Ph.D., 75 pp.

This research uses Life Cycle Assessment (LCA) to assess environmental impacts of four different cases of Vinyl Chloride production processes. We consider four cases including 1) case A with 55% conversion, 2) case B with 59% conversion, 3) case C with 63% conversion, and 4) case D with 77% conversion. SimaPro with Impact 2002+ method are used to evaluate and assess environmental impacts. Moreover, life cycle assessment under the uncertainty of data and operating condition is performed. The results show that all cases have the maximum impact on non-renewable energy. Case A has the maximum environmental impacts, while case D has the lowest impacts. With uncertainty consideration, it was found that case A has environmental impacts higher than those of other cases at 100% confidence level. Case B has environmental impacts higher than those of case C and D 77.2 and 100% confidence level, respectively. Case C has environmental impacts higher than that of case D at 100% confidence level. The process improvement using the heat exchanger network results in the reduction of environmental impacts about 100% for case A, B, and C, and about 200% for case D.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Chemical Engineering Student's Signature Phitchaya Khunnawut

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 อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะแนวทางการทำวิจัยและข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนช่วยแก้ไขและปรับปรุงเพิ่มเติมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยโดยดี

และขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. มนตรี วงษ์ศรี (ประธานกรรมการ) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรเจิด จงสมจิตร(กรรมการ) และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพล เกียรติกิตติพงษ์ (กรรมการ) ที่กรุณาให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ท้ายที่สุดนี้ต้องขอขอบคุณครอบครัว และทุกกำลังใจที่มีเสมอมาในระหว่างการศึกษาจนสำเร็จได้ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ฌ
สารบัญภาพ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1ความเป็นมาของปัญหา..... 1
1.2วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 2
1.3ขอบเขตงานวิจัย..... 3
1.4ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย..... 3
1.5วิธีการดำเนินงาน..... 4
1.6เนื้อหาในแต่ละบท..... 4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 6
2.1 เครื่องมือการจัดการและประเมินด้านสิ่งแวดล้อม..... 6
2.2 การประเมินวัฏจักรชีวิต..... 9
2.3 โปรแกรมสำเร็จรูปด้านการประเมินวัฏจักรชีวิต..... 22
2.4ไวนิลคลอไรด์..... 31
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 40
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... 44
3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัยและวิธีวิเคราะห์..... 44
3.2 วัสดุอุปกรณ์ในการวิจัย..... 45
บทที่ 4 การประเมินวัฏจักรชีวิต..... 46
4.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์..... 46
4.2 การประเมินวัฏจักรชีวิตกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ภายใต้ความไม่แน่นอน... 56

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

4.3 การพัฒนากระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์..... 61
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 64
5.1 บทสรุป..... 64
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 66
รายการอ้างอิง..... 67
ภาคผนวก..... 70
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 75

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	เครื่องมือการจัดการและประเมินด้านสิ่งแวดล้อม……	7
2.2	การเปรียบเทียบโปรแกรม LCA……	23
2.3	เปรียบเทียบวิธีการประเมินค่าผลกระทบแต่ละดัชนีที่ชี้วัด……..	25
2.4	แสดงสารอ้างอิง วิธี Impact 2002+……	27
2.5	แสดงสสารที่เป็นปัจจัยของผลกระทบที่ใช้ใน วิธี Impact 2002+……	29
2.6	อธิบายลักษณะผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของแต่ละประเภทของ ผลกระทบ……..	30
2.7	แสดงสมบัติทั่วไปของไวนิลคลอไรด์……..	32
2.8	แสดงสภาวะของแต่ละกระบวนการผลิต……..	37
4.1	แสดงปริมาณวัตถุดิบ,พลังงานและของเสียจากกระบวนการ ผลิตไวนิลคลอไรด์……	47
4.2	แสดงปริมาณวัตถุดิบ ,พลังงาน และของเสียที่ปลดปล่อยออกจาก กระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ภายใต้ความไม่แน่นอน……	57
4.3	เปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใน กระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 1……..	61
4.4	เปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใน กระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 2……..	61
4.5	เปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใน กระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 3……..	62
4.6	เปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใน กระบวนการ ผลิตด้วยกรณีที่ 4……	62

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ขั้นตอนการทำงานของ LCA.....	12
2.2	ขั้นตอนและขอบเขตของ LCA.....	13
2.3	การจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบ.....	17
2.4	สูตรโครงสร้างของไวนิลคลอไรด์.....	31
2.5	แสดงสัดส่วนการใช้ประโยชน์ของไวนิลคลอไรด์.....	32
2.6	แสดงสัดส่วนการผลิตพลาสติกแต่ละชนิด.....	33
2.7	กระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์.....	36
2.8	แสดงภาพการจำลองกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์.....	39
3.1	ขอบเขตของระบบในการประเมินวัฐจักรชีวิตของการผลิตไวนิลคลอไรด์.....	44
4.1	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในส่วนของการผลิตวัตถุดิบ.....	48
4.2	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในส่วนของการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต.....	49
4.3	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในส่วนของการปล่อยของเสียจากกระบวนการผลิต...	50
4.4	ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์เปรียบเทียบแต่ละส่วนของการผลิต.....	51
4.5	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์:กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์.....	52
4.6	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์:กลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์.....	53
4.7	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ : ด้านภาวะโลกร้อน.....	53
4.8	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์:กลุ่มผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ.....	54
4.9	ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์เปรียบเทียบแต่ละผลกระทบ.....	55

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.10 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ภายใต้ความไม่แน่นอน..... 59
4.11 ผลการประเมินความเชื่อมั่นในการเกิดค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 2 และ กระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 3..... 60
4.12 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์..... 63

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในปัจจุบันประเทศไทยกำลังอยู่ในช่วงการเปลี่ยนแปลงระบบเศรษฐกิจ จากระบบที่เคยพึ่งพาผลผลิตทางการเกษตรกรรม มาเป็นระบบที่พึ่งพาผลผลิตจากอุตสาหกรรมเพื่อการส่งออกมากขึ้น จากการเปลี่ยนแปลงระบบเศรษฐกิจดังกล่าว ทำให้ประเทศไทยมีการเจริญเติบโตทางอุตสาหกรรมสูง ทั้งในแง่จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมและปริมาณผลผลิต โดยเฉพาะตั้งแต่ พ.ศ 2519 รัฐบาลไทยได้มีนโยบายพัฒนาอุตสาหกรรมเพื่อการส่งออกและทดแทนการนำเข้า จากผลของการพัฒนาอุตสาหกรรม ทำให้โรงงานอุตสาหกรรมที่ได้รับอนุญาตประกอบการมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

จากการเพิ่มจำนวนของโรงงานอุตสาหกรรม ส่งผลให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามไปด้วย ซึ่งอุตสาหกรรมปิโตรเคมีนับเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมหลัก และหนึ่งในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีคืออุตสาหกรรมพลาสติก โดยในปี 2006 พลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์มีสัดส่วนการผลิตมากที่สุดถึงร้อยละ 19 รองลงมาเป็นโพลีโพรพีลีน ร้อยละ 17 และโพลีนเอธีลีน ร้อยละ 16 [1] จะเห็นได้ว่าพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์เป็นพลาสติกอันดับแรกที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีคุณสมบัติ เหนียว ทนทานและขึ้นรูปง่าย พลาสติกไวนิลคลอไรด์ (polyvinylchloride resin) จึงใช้ทำกระเบื้องยางปูพื้น ท่อน้ำ สายไฟฟ้า ถุงมือ ของเด็กเล่นชนิดเป่าลม ถ้วยและถาดบรรจุอาหาร เป็นต้น จากปริมาณการผลิตไวนิลคลอไรด์ในปี ค.ศ 1920 - 1970 มีปริมาณ 27-41 ล้านกิโลกรัมต่อปี เพิ่มขึ้นเป็น 150 ล้านกิโลกรัมต่อปี ในช่วงปี 1980-1990 จนกระทั้งปัจจุบันเพิ่มขึ้นเป็น 180 ล้านกิโลกรัมต่อปี [2] จากความต้องการไวนิลคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้กำลังการผลิตมากขึ้นด้วย ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้นเช่นกัน

ไวนิลคลอไรด์เป็นสารที่ไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่ได้มีการคิดค้นขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1835 และมีการผลิตเพื่อการค้าในปี ค.ศ.1920 กระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์นั้น ใช้เอธีลีนไดคลอไรด์เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตจากปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยความร้อนไปเป็น ไวนิลคลอไรด์ , ไฮโดรเจนคลอไรด์ และยังเกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงคือ ไตรคลอโรอีเทน , เตตระคลอโรอีเทน , เพนตะคลอโรอีเทน , ไดคลอโรเอธีลีน และไตรคลอโรเอธีลีน เป็นต้น ซึ่งสารพิษเหล่านี้ล้วนเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อมทั้งสิ้น อีกทั้งไวนิลคลอไรด์เองก็จัดเป็นสารอันตราย โดย

มีความไวไฟสูง ไอของสารนี้เมื่อรวมตัวกับอากาศในอัตราส่วนที่พอเหมาะจะทำให้เกิดการระเบิดได้ นอกจากนี้ ยังเป็นสารที่มีอันตรายต่อสุขภาพสูง โดยมีรายงานพบว่าทำให้เกิดผลกระทบที่ร้ายแรง เช่น การเกิดมะเร็งที่ตับ และอันตรายต่อระบบต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น การเป็นพิษต่อระบบประสาท อันตรายต่อระบบหลอดเลือดแดง ผิวหนัง กระดูก ตับ และโรคแทรกซ้อนต่าง ๆ ดังนั้นในกระบวนการผลิตจำต้องคำนึงถึงอันตรายต่อสุขภาพ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นสำคัญ

ในการผลิตไวนิลคลอไรด์นั้นมีหลายสภาวะในการดำเนินการโดยทั้งหมดใช้สารตั้งต้นคือ เอธีลีนไดคลอไรด์ทั้งสิ้น โดยในปี 1982 Link, G และคณะ ได้ทำการผลิตไวนิลคลอไรด์ที่ อุณหภูมิ 415°C และความดัน 246 psia จะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงร้อยละ 55 [3] ในปี 1987 บริษัท Tosoh Corp., Shinnayo ได้ทำการผลิตที่ อุณหภูมิ 509°C และความดัน 352 psia จะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงร้อยละ 59 [4]ในปี 1992 บริษัท Wacker-Chemie ได้ทำการผลิตที่ อุณหภูมิ 535 °C และความดัน 421 psia จะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงร้อยละ 63 [5] และในปี 1996 บริษัท Elf Atochem S.A. ได้ทำการผลิตที่ อุณหภูมิ 631 °C และความดัน 462 psia จะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงร้อยละ 77 [6] ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาถึงสภาวะในถังปฏิกรณ์ และ ค่าการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน 4 กระบวนการดังกล่าว เนื่องจากกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์เป็นหนึ่งในแหล่งของการปล่อยสารพิษสู่สิ่งแวดล้อม อันก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อมตามมา โดยการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตด้วยโปรแกรม HYSYS สำหรับใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต พร้อมทั้งประเมินวัฏจักรชีวิตภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลและสภาวะการดำเนินการ และทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้หลักโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้มีการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพสูงที่สุดและศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลังจากการปรับปรุง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อวิเคราะห์และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของทางเลือกการผลิตไวนิลคลอไรด์ โดยการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตและการประเมินวัฏจักรชีวิต

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตเมื่อพิจารณาถึงความไม่แน่นอนของข้อมูลและสภาวะในการดำเนินการ

1.2.3 ปรับปรุงกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 งานวิจัยนี้ศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์จากข้อมูลเอกสารสิทธิบัตร และบทความวิชาการ ที่สภาวะในถังปฏิกรณ์ และ ค่าการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน 4 กรณีศึกษา

1.3.2 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบของการจำลองกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ โดยพิจารณาถึงอันตรายที่เกิดขึ้นตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบและ/หรือสารตั้งต้น พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตและสารเคมีที่ถูกปล่อยออกมาในระหว่างกระบวนการผลิตซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1.3.3 จำลองกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ โดยใช้โปรแกรม HYSYS

1.3.4 พิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตที่ภายใต้ความไม่แน่นอนข้อมูลและสภาวะการดำเนินการ

1.3.5 พัฒนากระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยการทำโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

1.4 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย

1.4.1 แนวทางในการพิจารณาวิธีที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์

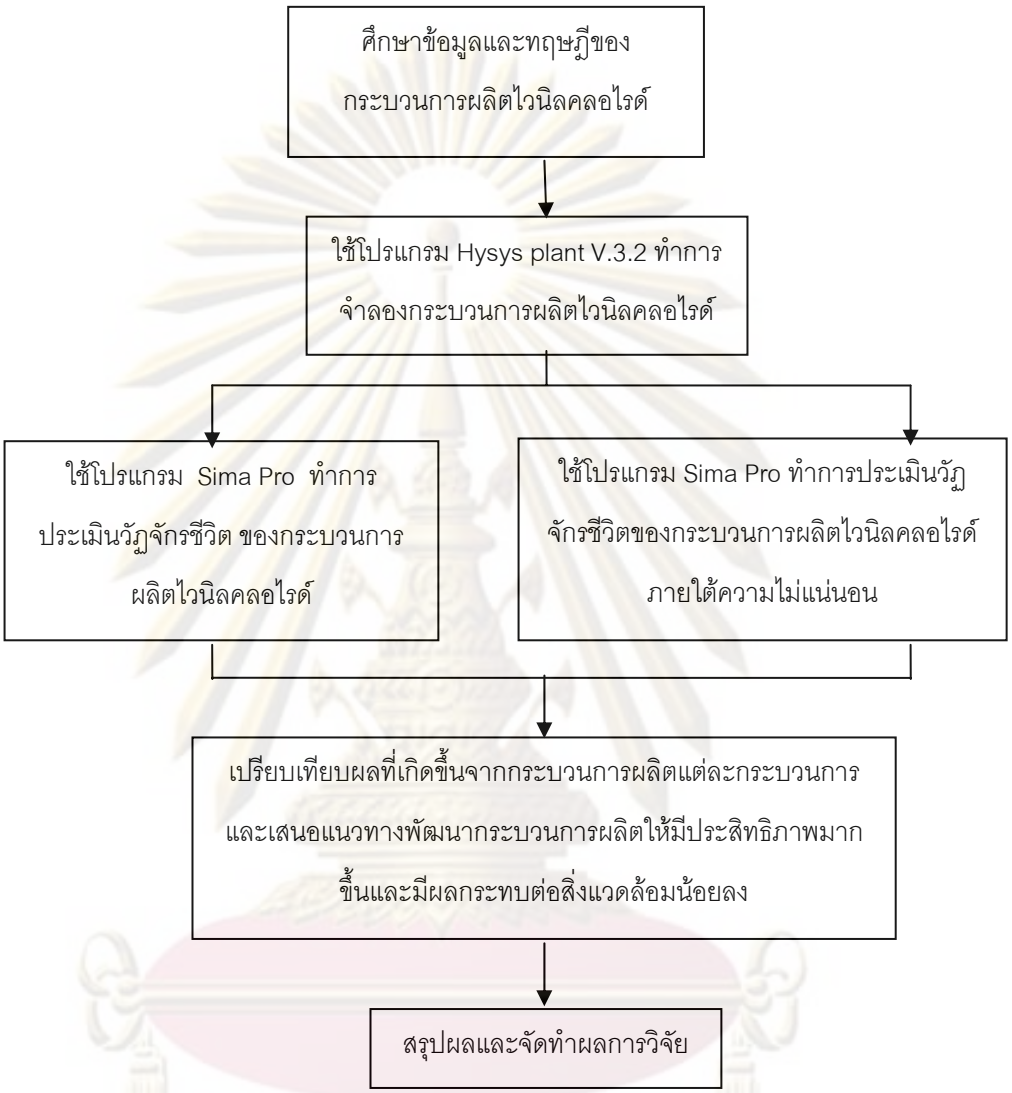
1.4.2 ทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์

1.4.3 ทราบถึงความผันแปรของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ เมื่อมีการพิจารณาถึงความไม่แน่นอนของข้อมูลและสภาวะดำเนินการ

1.4.4 ทราบถึงแนวทางในการลดพลังงานในกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์เพื่อให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5 วิธีการดำเนินงาน



1.6 เนื้อหาในแต่ละบท

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาสำหรับงานวิจัยนี้ และกล่าวถึงวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ขอบเขตของงานวิจัยที่ได้ศึกษา วิธีการดำเนินงานวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

บทที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โดยอธิบายถึงหลักการและความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA), ขั้นตอนและกรอบการดำเนินงานของ LCA

รวมถึงโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต และอธิบายถึงการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro®6.0 สำหรับใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต นอกจากนี้ยังกล่าวถึงกระบวนการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับไวนิลคลอไรด์และการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ และในส่วนท้ายของบทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากวารสารทางวิชาการ ที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิต และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต

บทที่ 3 อธิบายถึงวิธีการดำเนินงานวิจัย โดยกล่าวถึงวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย , ขั้นตอนการวิจัย และวิธีที่ใช้ในการประเมินวัฐจักรชีวิต

บทที่ 4 เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงการวิเคราะห์ผลกระทบของการจำลองกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ที่สภาวะในถังปฏิกรณ์ และ ค่าการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน 4 กระบวนการ และเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตแต่ละกระบวนการภายใต้ความไม่แน่นอน ผลที่ได้แสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบผลกระทบด้านต่างๆที่เกิดจากกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ รวมถึงอธิบายสรุปผลที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต

บทที่ 5 สรุปถึงผลกระทบในด้านต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ รวมถึงกระบวนการที่เหมาะสมในการใช้ผลิตไวนิลคลอไรด์ และข้อเสนอแนะของการทำงานวิจัยนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องมือการจัดการและประเมินด้านสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันได้มีการนำเครื่องมือการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมเข้ามาช่วยในการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อระบุขนาดและความหนักเบาของผลกระทบของผลิตภัณฑ์หรือโครงการ เครื่องมือในการจัดการและประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมีอยู่หลายวิธี เช่น LCA (Life cycle Assessment), EIA (Environmental Impact Assessment), EPE (Environmental Performance Evaluation) โดยแต่ละวิธีมีเป้าหมายและความเหมาะสมในการเลือกใช้ต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 เครื่องมือการจัดการและประเมินด้านสิ่งแวดล้อม

เครื่องมือ	LCA (Life Cycle Assessment)	RA (Risk Assessment)	EIA (Environmental Impact Assessment)	EPE (Environmental Performance Evaluation)
วัตถุประสงค์รวม	-เพื่อทำความเข้าใจในโครงสร้างทางสิ่งแวดล้อมของระบบ -เพื่อระบุลำดับในการปรับปรุง	-เพื่อประเมินผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ที่เป็นอันตราย	-เพื่อประเมินผลกระทบด้านบวกและลบต่อสิ่งแวดล้อมของแผนโครงการในอนาคต	-เพื่อจัดหาข้อมูลที่เชื่อถือและพิสูจน์ได้เกี่ยวกับสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อมขององค์กร
ข้อดี	-พิจารณาผลกระทบทั้งระดับโลกและภูมิภาค -สะดวกในการพิจารณาผลกระทบต่อสังคม	-ประเมินผลกระทบระดับพื้นที่และภูมิภาคเป้าหมายเฉพาะ	-ประเมินผลกระทบทั้งด้านบวกและลบ -พิจารณาผลกระทบของโครงการในระดับพื้นที่	-มีการวัดสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อมที่สัมพันธ์โดยตรงกับนโยบายและเป้าหมาย
ข้อเสีย	-ไม่ได้พิจารณาถึงเรื่องเวลา	-มิได้พิจารณาตลอดวงจรชีวิตไม่พิจารณาถึงปริมาณการใช้ทรัพยากร	-ยากต่อการวิเคราะห์ระดับโลก ภูมิภาค และตลอดวงจรชีวิต	-ให้ความสัมพันธ์ที่ไม่สมบูรณ์ในการวัดสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อม
ผู้ใช้; อุตสาหกรรม	-มุ่งเน้นในการปรับปรุง -กลยุทธ์การวางแผนระยะยาว -ติดต่อสื่อสาร	-เพื่อตรวจสอบการยอมรับของความเสี่ยง	-เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการของกฎหมาย -เพื่อระบุหรือชี้วัดความต้องการในการเปลี่ยนแปลงของโครงการเพื่อลดผลกระทบลง	-เพื่อวัดสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อมและปรับปรุง -เพื่อชี้วัดกลยุทธ์โอกาสทางธุรกิจ
หน่วยงานรัฐ	-ใช้สนับสนุนการคิดแบบครบวงจร	-เพื่ออธิบายสถานการณ์ที่ยอมรับได้ -ในการจัดสรรลำดับทรัพยากรให้เป็นไปตามข้อกำหนดของกฎหมาย	-เป็นข้อมูลเพื่อช่วยในการตัดสินใจในการยอมรับแผนโครงการ	-เพื่อติดตามความก้าวหน้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 เครื่องมือการจัดการและประเมินด้านสิ่งแวดล้อม (ต่อ)

เครื่องมือ	LCA (Life Cycle Assessment)	RA (Risk Assessment)	EIA (Environmental Impact Assessment)	EPE (Environmental Performance Evaluation)
หน่วยงานที่มิใช่รัฐ	-ใช้สนับสนุนการคิดแบบครบวงจรแต่ยังมีข้อสงสัยในการประยุกต์ใช้	-เพื่อคัดค้านการยอมรับสถานการณ์ที่เป็นอันตราย	-เพื่อคัดค้านการยอมรับต่อแผนโครงการ	-ไม่ได้นำไปใช้
เป้าหมายของการวิเคราะห์	-ผลิตภัณฑ์หรือการบริการ	-สถานการณ์ความเป็นพิษ	-แผนโครงการโดยทั่วไปเป็นโครงการก่อสร้าง	-กิจกรรมต่างๆ ขององค์กร
การกำหนดพื้นที่	-ไม่จำกัด	-จำกัดเขตหรือพื้นที่	-จำกัดเขตหรือพื้นที่	-จำกัดกิจกรรมในองค์กร
พิจารณาผลกระทบทางด้านใด	-ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรวมจากการใช้ทรัพยากรและของเสียที่เกิดขึ้น	-ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และเป้าหมายทางสิ่งแวดล้อม	-ผลกระทบทั้งหมดของโครงการต่อสิ่งแวดล้อมในพื้นที่	-ผลกระทบที่สัมพันธ์กับกิจกรรมขององค์กร
การแปรผล	-การประเมินผลกระทบ	-เปรียบเทียบกับมาตรฐานที่ยอมรับได้	-ต้นทุนและกำไรทางสิ่งแวดล้อม	-ระบุการชี้วัดที่ตรงกับปัญหาของสมรรถนะ
ฐานการเปรียบเทียบ	-หน่วยหน้าที่	-สถานการณ์ที่ต้องการการเปรียบเทียบ	-โครงการ	-หน่วยการทำงาน

ที่มา: SETAC-Europe Working Group, 2003

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 2.1 พบว่าเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมที่สุดคือ เครื่องมือการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA) เนื่องจากครอบคลุมผลกระทบทั้งระดับโลก มุ่งเน้นในการปรับปรุง การวางแผนระยะยาว และไม่จำกัดพื้นที่ในการศึกษา ดังนั้น LCA จึงเป็นเครื่องมือที่นำมาใช้ประเมินผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการซึ่งมีความเหมาะสมกับงานวิจัยและทำการศึกษาครั้งนี้

2.2 การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment)

2.2.1 นิยามและแนวความคิดของการประเมินวัฏจักรชีวิต

ได้มีผู้ให้คำนิยาม การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA) ตามความหมายต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.2.1.1เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือ LCA เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์และประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิตหรือกิจกรรมต่างๆ ในเชิงปริมาณ (Quantitative) โดยพิจารณาตลอดวัฏจักรชีวิต ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งานและการบำรุงรักษา การใช้ซ้ำ (Reuse) รวมถึงการหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) และการกำจัดหลังหมดอายุการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) [7]

2.2.1.2 การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ เป็นวิธีการประเมินประเด็นปัญหาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวเนื่องกับผลิตภัณฑ์ทั้งวงจร ตั้งแต่ การออกแบบ การใช้พลังงานและวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้ผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการทิ้ง [8]

2.2.1.3 การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ หมายถึง กระบวนการในการประเมินประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อม และประเด็นผลกระทบที่มีศักยภาพของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เริ่มต้นไปจนสิ้นสุดอายุของผลิตภัณฑ์นั้นๆ [9]

2.2.1.4 การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ หมายถึง กระบวนการที่มีวัตถุประสงค์เพื่อการประเมินภาระทางสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ กระบวนการ หรือกิจกรรมโดยการบ่งชี้ปริมาณของพลังงาน วัตถุดิบที่ใช้ และของเสียที่ปลดปล่อยออกมาสู่

สิ่งแวดล้อม และประเมินผลกระทบของสิ่งเหล่านั้น เพื่อหาความเป็นไปได้ที่จะส่งผลกระทบต่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อม การประเมินนี้ได้รวมตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ กระบวนการ หรือกิจกรรม และกระบวนการนำวัตถุดิบมาใช้ ขั้นตอนการผลิต การขนส่งและจัดจำหน่าย การใช้หรือการใช้ซ้ำ การซ่อมบำรุง การนำกลับมาใช้ใหม่และการกำจัดในขั้นตอนสุดท้าย **[10]**

2.2.2 ความเป็นมาของการประเมินวัฏจักรชีวิต

การศึกษา LCA เป็นผลสืบเนื่องมาจากวิกฤตการณ์พลังงานในช่วงปี ค.ศ.1970 และจากนโยบายการประหยัดพลังงานของรัฐบาลประเทศต่างๆ ส่งผลกระทบหลักต่อการปลูกจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อม การศึกษา LCA จึงถูกพัฒนาขนานไปกับแนวคิดที่ต้องการวิเคราะห์ความต้องการใช้พลังงานสำหรับแต่ละภาคอุตสาหกรรมอย่างละเอียด ความสนใจเรื่อง LCA เริ่มมีมากขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ.1980 เพราะมีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ 2 เรื่องคือ 1)ภาครัฐของประเทศต่างๆ เริ่มนำผลการศึกษา LCA ไปใช้มากขึ้น 2) มีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณผลกระทบของผลิตภัณฑ์สำหรับเปรียบเทียบความรุนแรงของปัญหาที่ต่างประเภทกัน เช่น การทำให้โลกร้อนขึ้น และการลดลงของทรัพยากร

ปัจจุบัน ความรู้เกี่ยวกับ LCA ได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว เป็นที่รู้จักและได้รับการยอมรับมากขึ้น โดยถูกนำมาใช้ในการกำหนดกลยุทธ์และการกำหนดนโยบายด้านสิ่งแวดล้อม เช่น โครงการด้านสิ่งแวดล้อมของสหประชาชาติ (United Nations Environment Programme: UNEP) ได้ส่งเสริมการจัดทำ LCA ภายใต้โครงการ Life Cycle Initiative นอกจากนี้ ยังมีบริษัทผู้ประกอบการในยุโรปกลุ่มหนึ่งได้ร่วมกันจัดตั้งองค์กรเอกชนในนามของ Society for the Promotion of Life Cycle Development (SPOLD) เพื่อส่งเสริมการนำแนวคิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยคำนึงถึงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

เมื่อปี พ.ศ.2540 สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (TISI) สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (TEI) และกรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้ทำการเผยแพร่ความรู้ด้าน LCA เข้าสู่ภาคอุตสาหกรรม เนื่องจาก LCA ได้กำหนดไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14000 ขององค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (International Organization for Standardization; ISO) เรื่องการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นอนุกรมที่ให้การรับรองมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ **[11]** มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับ LCA มีทั้งหมด 7 ฉบับ ดังนี้

1. ISO 14040 – Life Cycle Assessment – Principle and framework เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงหลักการ นิยามศัพท์ และกรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
2. ISO 14041 – Life Cycle Assessment – Goal and scope definition and Life Cycle Inventory analysis เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการกำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต การวิเคราะห์และจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (LCI)
3. ISO 14042 – Life Cycle Assessment – Life Cycle Impact Assessment (LCIA) เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
4. ISO 14043 – Lice Cycle Assessment – Life Cycle Interpretation เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการแปลผลข้อมูลที่ได้จากการทำ LCI และ LCIA
5. ISO/TR 14047 – Life Cycle Assessment – Illustrative examples on how to apply ISO 14042 – Life Cycle Impact Assessment เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14042 สำหรับวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
6. ISO/TR 14048 – Life Cycle Assessment – LCA Data Document Format เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างรูปแบบเอกสารของข้อมูลด้าน LCA
7. ISO/TR 14049 – Life Cycle Assessment – Examples of Application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14041 สำหรับจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

ISO (International Standard for Organization) กล่าวว่า การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเทคนิคในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมซึ่งเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์หรือการบริการตลอดวงจรชีวิต เริ่มจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบและพลังงาน การขนส่ง การผลิตผลิตภัณฑ์ การบรรจุ การบำรุงรักษา การใช้ และการจัดการกับผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุ หรือกล่าวได้ว่า พิจารณาทุกกระบวนการหรือกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ว่ามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามลักษณะกลุ่มเป้าหมายคือ การใช้ทรัพยากร สุขภาพของมนุษย์และผลต่อระบบนิเวศ

2.2.3 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต

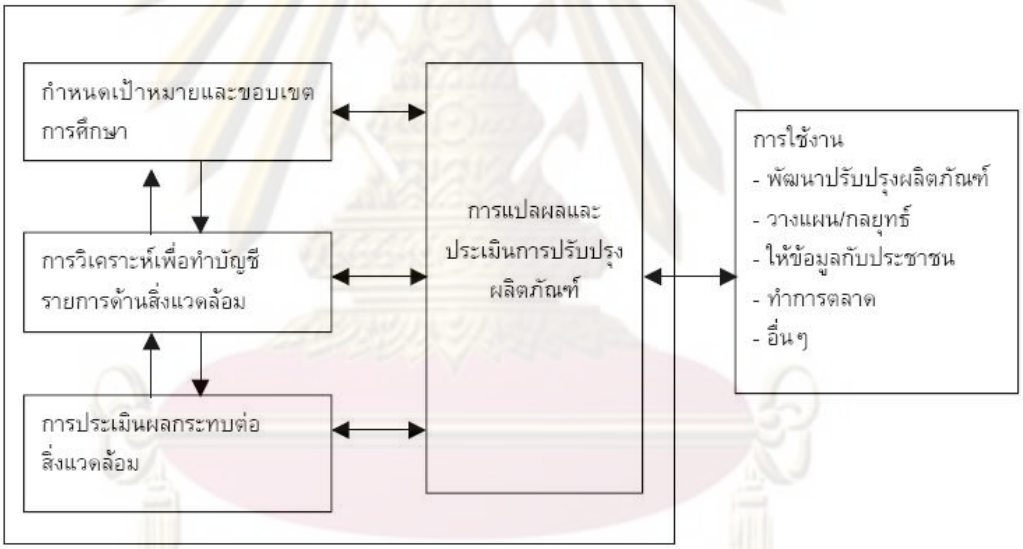
การประเมินวัฏจักรชีวิต ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนคือ (ดูภาพที่ 2.1)

2.2.3.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and scope definition)

เป็นขั้นตอนแรกของการประเมินวัฏจักรชีวิตซึ่งจะต้องประกอบด้วยประเด็นที่สำคัญ คือ

- การกำหนดเป้าหมายของการศึกษา (Goal)

เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด การตั้งเป้าหมายจะต้องชัดเจนโดยรวมถึงเหตุผลของการศึกษา ผลของการศึกษา การนำผลการศึกษาไปใช้ และผู้ใช้ผลการศึกษา



ภาพที่ 2.1 ขั้นตอนการทำงานของ LCA ที่มา: ISO 14040 (1997)

- การกำหนดขอบเขตของการศึกษา (Scope)

เป็นการระบุสิ่งที่ต้องการประเมินและรายละเอียดภายในระบบซึ่งรวมถึงวิธีในการประเมิน โดยการกำหนดขอบเขตต้องครอบคลุมถึงหน้าที่ของระบบ หน่วยหน้าที่ ระบบที่ต้องการศึกษา ขอบเขตของระบบ วิธีการลงบัญชี ข้อมูลที่ต้องการ สมมติฐานที่ต้องใช้ ข้อจำกัดของการศึกษา คุณภาพของข้อมูลเบื้องต้น การกำหนดขอบเขตของการศึกษา ควรจะอธิบายหรือมี

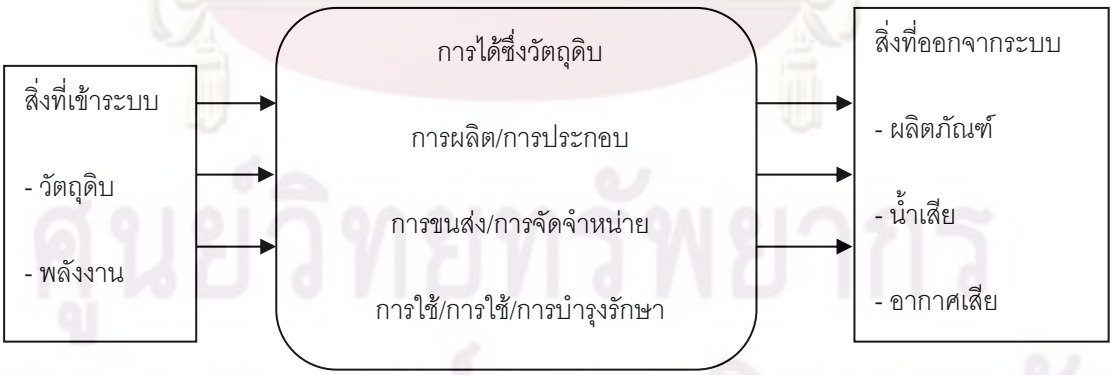
การกำหนดอย่างเพียงพอเพื่อให้แน่ใจได้ว่ารายละเอียดในการศึกษามีความเกี่ยวข้องและเพียงพอต่อเป้าหมายที่ตั้งไว้

- การกำหนดหน่วยหน้าที่ (Functional unit)

หน่วยหน้าที่ ถูกใช้ตัวอ้างอิงหรือพื้นฐานสำหรับการจัดเก็บข้อมูลเข้าและข้อมูลออกของระบบ หน่วยหน้าที่ของระบบควรจะมีการระบุอย่างชัดเจนและสามารถวัดค่าได้ ซึ่งประโยชน์ของการกำหนดหน่วยหน้าที่ คือ การเปรียบเทียบวัฏจักรชีวิตของหลายผลิตภัณฑ์เกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการกำหนดหน่วยหน้าที่ประกอบด้วย ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ ความคงทนของผลิตภัณฑ์ และคุณสมบัติพื้นฐาน

- ขอบเขตของระบบ (System boundaries)

เป็นการกำหนดกระบวนการ ข้อมูลเข้าข้อมูลออกที่รวมอยู่ในการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ดังนั้น ขอบเขตของระบบ คือ ขอบเขตระหว่างผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อม โดยระบบผลิตภัณฑ์ คือ หน่วยที่รวบรวมวัสดุ และพลังงาน ที่มีการเชื่อมโยงกันเป็นหน่วยงานต่างๆ ที่ทำหน้าที่อย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง โดยที่สามารถแบ่งกระแสขั้นตอนของทรัพยากร วัตถุดิบหรือพลังงาน จากสิ่งแวดล้อมที่เข้าสู่ระบบก่อนถูกเปลี่ยนแปลงในกระบวนการต่างๆ (ดูภาพที่ 2.2)



ภาพที่ 2.2 ขั้นตอนและขอบเขตของ LCA

- คุณภาพของข้อมูล (Data Quality)

คุณภาพของข้อมูลที่ใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการย่อมมีผลต่อคุณภาพของบทสรุปของการประเมินวัฏจักรชีวิตของสิ่งที่สนใจ คุณภาพของข้อมูลสามารถอธิบายและประเมินได้ภายใต้ประเด็นดังต่อไปนี้

- คุณภาพของข้อมูลในบัญชีรายการ
- ช่วงเวลาในการศึกษา
- ระดับพื้นที่ในการศึกษา เช่น ระดับโลก ระดับภูมิภาค
- เทคโนโลยีในการศึกษา
- แหล่งที่มาของข้อมูล
- วิธีในการได้มาของข้อมูล
- ความถูกต้องและสมบูรณ์ของข้อมูล รวมถึงการเป็นตัวแทนของข้อมูล

2.2.3.2 การจัดทำบัญชีรายการ (Life cycle Inventory analysis; LCI)

การจัดทำบัญชีรายการ เป็นขั้นตอนที่สองของการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งจะต้องประกอบด้วยประเด็นที่สำคัญ คือ

- การคัดเลือกข้อมูล (Data collection)

การวิเคราะห์บัญชีรายการจะรวมถึงการคัดเลือกข้อมูลและการจัดการข้อมูลที่จะนำมาใช้ของการใช้วัตถุดิบ ของเสียและมลภาวะต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทั้งหมดของวัฏจักรชีวิต

- การกลั่นกรองขอบเขตระบบ (Refining system boundaries)

ขอบเขตของระบบจะถูกกลั่นกรองหลังจากการเก็บข้อมูลชุดแรก ตัวอย่างของผลในการกลั่นกรองข้อมูล เช่น การตัดสินใจในการเลือกหรือตัดกระบวนการใดออกไป การตัดวัตถุดิบบางส่วนออกไป การเพิ่มหน่วยการผลิตซึ่งแสดงว่ามีส่วนสำคัญในการวิเคราะห์ผล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- วิธีการคำนวณ (Calculation procedures)

การคำนวณผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งอาจอยู่ในรูป เอ็กเซลโลตัส หรือ LCA Program การเลือกโปรแกรมที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของข้อมูล ซึ่งการเปรียบเทียบ LCA Program สามารถดูได้จากหัวข้อ 2.3 โปรแกรม LCA

- การได้ข้อมูลที่ถูกต้อง (Validation of data)

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลต้องดำเนินการระหว่างการเก็บรวบรวมหรือคัดเลือกข้อมูลเพื่อปรับปรุงคุณภาพข้อมูล การตรวจสอบข้อมูลอย่างมีหลักเกณฑ์จะแสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงข้อมูลหรือข้อมูลนั้นมีความใกล้เคียงกันกับกระบวนการอื่นๆ

- การเชื่อมโยงข้อมูล (Relating data to the specific system)

พื้นฐานของข้อมูลเข้าและข้อมูลออก บ่อยครั้งที่ได้จากโรงงานในหน่วยที่กำหนดเอง เช่น พลังงานในหน่วยเมกกะจูลต่อเครื่องจักรต่อสัปดาห์ หรือ ของเสียต่อระบบการจัดการของเสีย เช่น น้ำหนักของโลหะต่อปริมาตรน้ำเสีย ซึ่งไม่ค่อยมีความสัมพันธ์กับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่กำลังศึกษา

- การจัดสรรข้อมูล (Allocation)

เมื่อต้องทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบที่มีความซับซ้อน จึงเป็นไปไม่ได้ที่จะจัดการเพื่อให้ครอบคลุมผลกระทบและผลที่ได้จากขอบเขตของระบบได้ทั้งหมด การแก้ปัญหานี้สามารถทำได้ 2 วิธีคือ

- การเพิ่มขอบเขตของระบบ
- การจัดสรรผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ตรงปัญหากับการศึกษา

ซึ่งการจัดสรรเป็นทางเลือกที่ดีกว่าการเพิ่มขอบเขตของระบบ เนื่องจากเป็นการลดปัญหาความซับซ้อนของระบบและเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.3.3 การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Assessment Impact Assessment; LCIA)

ตามหลักการที่กำหนดในมาตรฐาน ISO14042 การทำ LCIA แบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

- การเลือกชนิดกลุ่มเป้าหมาย (Impact categories)

ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้น ขั้นตอนแรกที่ต้องการดำเนินการคือการจำแนกว่าระบบผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านใดบ้างและเกิดขึ้นในกระบวนการใด โดยการนำเอาข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการมาใช้วิเคราะห์และจำแนกผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสารขาเข้าและสารขาออกทั้งหมดอย่างเป็นหมวดหมู่ สำหรับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญและนิยมนำมาใช้ในการจำแนกเพื่อประเมินผลกระทบ ได้แก่

- การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change)
- การทำให้โลกร้อน (global warming)
- การทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ (ozone depletion)
- การสิ้นเปลืองทรัพยากร (resource depletion)
- การสิ้นเปลืองพลังงาน (energy depletion)
- การออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสง-เคมี (photochemical oxidation)
- การก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ (acidification)
- การก่อให้เกิดสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ
- การก่อให้เกิดความเป็นพิษในมหาสมุทร (aquatic ecotoxicicity)
- ภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (nutrification)

- การคัดเลือกตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบ (category indicators)

หลังจากที่ได้คัดเลือกประเภทกลุ่มผลกระทบเพื่อต้องการศึกษาแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การคัดเลือกตัวชี้วัดของแต่ละกลุ่มผลกระทบ เนื่องจากแต่ละกลุ่มผลกระทบจะมีตัวชี้วัดผลกระทบได้หลายตัว ดังนั้นเพื่อให้สามารถคัดเลือกตัวชี้วัดได้อย่างเหมาะสมจึงจำเป็นต้องทำการพิจารณาผลกระทบและตัวชี้วัดผลกระทบปลายทาง ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าผลกระทบสำคัญที่

มุ่งหวังให้เกิดการแก้ไขปรับปรุงในอนาคต โดยเกณฑ์ในการพิจารณาคือ ความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา LCA และสอดคล้องกับประเภทของผลกระทบที่ได้คัดเลือกไว้แล้ว

- การคัดเลือกแบบจำลอง Characterization

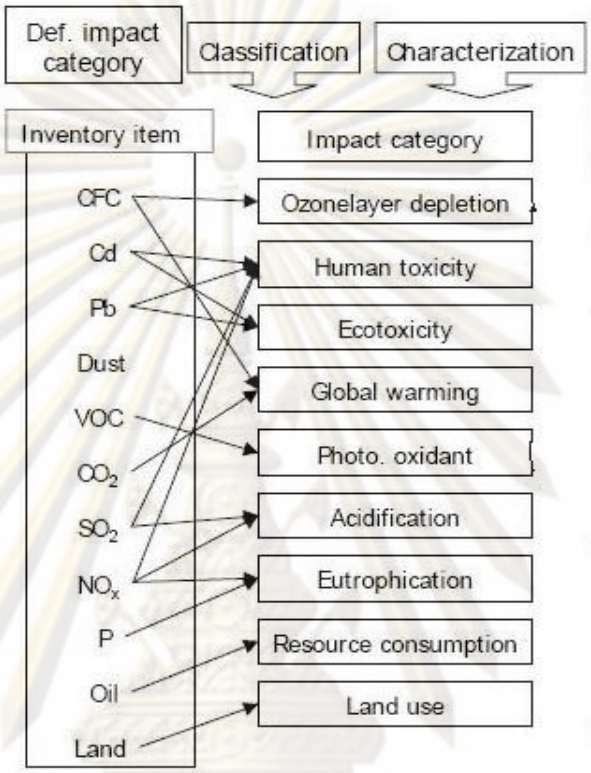
แบบจำลองการจัดทำ Characterization เป็นแบบจำลองสำเร็จภาพสำหรับใช้ในการแปลงค่าสารแต่ละตัวในกลุ่มผลกระทบเดียวกัน ให้อยู่ในภาพตัวเลขที่บอกถึงค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสารแต่ละตัวมีศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับที่แตกต่างกัน ซึ่งปัจจุบันมีแบบจำลองสำหรับให้เลือกใช้มากมายที่ได้กำหนดค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบของสารต่างๆ ซึ่งคำนวณมาจากความรู้ทางวิทยาศาสตร์ อย่างไรก็ตาม ค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบ (potential environment impact) ของสารต่างๆ ในแต่ละแบบจำลองอาจมีความแตกต่างกัน ดังนั้นการคัดเลือกแบบจำลองจึงต้องพิจารณาถึงการยอมรับ และความแพร่หลายของแบบจำลองนั้น เช่น ในการศึกษาผลกระทบของระบบผลิตภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศ แบบจำลองที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ IPCC Model ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Intergovernmental Panel on Climate Change เป็นต้น แบบจำลองการจัดทำ Characterization ต้องมีองค์ประกอบสำคัญของแต่ละกลุ่มผลกระทบ ดังนี้

- ระบุผลกระทบปลายทาง
- ระบุตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบเพื่อนำไปสู่ผลกระทบปลายทางได้
- ระบุประเภทผลกระทบของข้อมูลที่ได้จากการทำ LCI ได้อย่างเหมาะสม เพื่อนำไปสู่การคัดการคัดเลือกตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบและกลุ่มผลกระทบปลายทางได้อย่างสมเหตุสมผล
- ระบุแนวคิดพื้นฐานของแบบจำลองและค่าแฟกเตอร์ Equivalent

- การจำแนกข้อมูล LCI เข้าอยู่ในกลุ่มผลกระทบ (classification)

หลังจากที่มีการคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ ตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบและแบบจำลองในการทำ Characterization แล้ว ในขั้นนี้ ผู้วิจัยต้องนำข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการ LCI มาจำแนกตามกลุ่มผลกระทบที่ได้คัดเลือกไว้อย่างเป็นหมวดหมู่ โดยในกลุ่มผลกระทบหนึ่งๆ อาจมีสารขาเข้าหรือสารขาออกมากกว่า 1 ตัวที่

เป็นปัจจัยสำคัญก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างการจำแนกข้อมูล LCI เข้าอยู่ในกลุ่มผลกระทบ แสดงดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบ ที่มา: Norihiro Itsubo, Japan (2003)

อย่างไรก็ตาม ในการจำแนกกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสารขาเข้าและสารขาออกนั้นจะเห็นได้ว่า สารบางตัวสามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า 1 ประเภท ดังนั้น เพื่อให้สามารถประเมินผลกระทบของระบบผลิตภัณฑ์ให้มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ในการจำแนกผลกระทบของสารประเภทนี้ จึงจำเป็นต้องพิจารณากลไกของการเกิดผลกระทบ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

- ผลกระทบแบบคู่ขนาน เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ และก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด ซึ่งผลกระทบจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ดังนั้น ในการคำนวณหาผลกระทบจึงต้องทำทั้ง 2 ด้านพร้อมกัน
- ผลกระทบแบบอนุกรมหรือแบบต่อเนื่อง เช่น ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ก่อให้เกิดผลกระทบด้านการเกิดโอโซนในระดับพื้นดิน

- (ground-level ozone formation) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ จากนั้นเมื่อระเหยขึ้นไปบนชั้นบรรยากาศ จะก่อให้เกิดผลกระทบการเกิดโอโซนระดับชั้นบรรยากาศ และภาวะความเป็นกรด ซึ่งผลกระทบดังกล่าวเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำเทคนิคการปันส่วนปริมาณที่เกิดขึ้นตามสัดส่วนของแต่ละผลกระทบมาประกอบการคำนวณผลกระทบที่เกิดขึ้น

โดยประเภทของผลกระทบและชนิดของสารอันเป็นผลให้เกิดผลกระทบประเภทนั้นๆ แสดงดังภาคผนวก

- การทำ characterization

การทำ Characterization เป็นขั้นตอนการนำข้อมูลปริมาณสารต่าง ๆ ที่ได้จากการทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม มาประเมินผลกระทบเชิงปริมาณตามกลุ่มของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการประเมินทำได้โดยการแปลงค่าสารแต่ละตัวในกลุ่มผลกระทบเดียวกันให้อยู่ในรูปตัวเลขที่บอกถึงค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสารแต่ละตัวมีศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับที่แตกต่างกัน จึงต้องนำมาเทียบอ้างอิงกับสารพื้นฐาน โดยดูจากค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบ (Potential environmental impact) ซึ่งคำนวณจากความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคนิคกระบวนการที่สามารถดำเนินการได้

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

EP_j (Environmental impact potential) คือค่าศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับผลกระทบประเภท j ใดๆ (kg substance equipment)

Q_i (Quantity of substance) คือ ปริมาณมลภาวะสาร j ที่ปล่อยออกมา (kg substance j)

EF_{ij} (Equivalency factor) คือ ค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j (kg substance equivalent/kg substance j)

- การเทียบหน่วย (Normalization)

จากการทำ Characterization จะทำให้ทราบถึงปริมาณของผลกระทบที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา ผู้วิจัยอาจต้องการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปว่าผลกระทบแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในภาพรวมทั้งหมดอย่างไรบ้าง การเปรียบเทียบอาจทำโดยการเทียบกับปริมาณทั้งหมดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่กำหนด หรือเทียบต่อจำนวนประชากร 1 คน ว่าเป็นต้นเหตุในการเกิดผลกระทบมากน้อยเพียงใดในช่วงเวลาที่กำหนด เช่น ศึกษาการปล่อย CO_2 ที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา ว่ามีปริมาณเท่าใดเมื่อเทียบกับการปล่อย CO_2 ในระดับทวีปเอเชีย

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

$NP_{j(product)}$ (Normalized environment impact potential) ค่าปกติทางศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ของผลิตภัณฑ์ (person)

T (Lifetime of product) คือ อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์

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

- การจัดกลุ่ม (grouping)

ผลที่ได้จากการทำการเทียบหน่วย สามารถนำมาจัดเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้อีก โดยปกติมักนิยมแบ่งเป็นผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบนิเวศ และผลกระทบต่อการคงเหลือของทรัพยากร เพื่อให้ทราบว่ากลุ่มผลกระทบใดมีความสำคัญหรือรุนแรงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากผลกระทบทั้ง 3 ด้าน จัดเป็นผลกระทบปลายทางที่เห็นชัดและคนทั่วไปสามารถเข้าใจได้ง่ายที่สุด อย่างไรก็ตาม ค่าผลกระทบที่นำมาคำนวณนี้มาจากหลักการทางวิทยาศาสตร์ไม่ได้เกิดจากการวัดผลโดยตรง ดังนั้น ความเที่ยงตรงของข้อมูลจึงมีน้อยกว่าข้อมูล LCI อนุกรมมาตรฐาน ISO ชุด 1404X จึงจัดให้การจัดกลุ่มเป็นขั้นตอนทางเลือกถ้าต้องการศึกษาเพิ่มเติม

- การให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting)

หลังจากทำการจัดกลุ่มของผลกระทบออกเป็นกลุ่มใหญ่แล้ว หากต้องการทราบว่ากลุ่มใดส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดหรือกลุ่มใดมีความสำคัญที่สุด สามารถทำได้โดยนำค่าแฟกเตอร์ความสำคัญ (Weighting factor) มาคูณ ซึ่งในการกำหนดน้ำหนักความสำคัญในแต่ละด้านนั้นมีความละเอียดอ่อนและขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ หลายประการ เช่น สภาพภูมิประเทศ ประเภทและระดับความรุนแรงของผลกระทบ ความสำคัญของผลกระทบที่

ส่งผลต่อการศึกษาวิจัย โดยการดำเนินการให้น้ำหนักความสำคัญและวิธีการที่ใช้นั้นควรทำโดยระมัดระวังและควรแสดงให้เห็นถึงเหตุผลและเกณฑ์ในการให้คะแนนความสำคัญเพื่อแสดงถึงความโปร่งใส

$$WP_j = WF_j \times NP_j$$

WP_j (Weighted environmental impact potential) คือ ศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ หลังการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญแล้ว (person for target year; Pt)

WF_j (Weighting factor) คือ ค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้

- การวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล (Data quality analysis)

การวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลเป็นการวิเคราะห์ความถูกต้องและความสมบูรณ์ของข้อมูลที่รวบรวมไว้เพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่สามารถเชื่อถือได้ นอกจากนี้ การวิเคราะห์ความไม่แน่นอนและอ่อนไหวของผลลัพธ์ที่ได้มาจากศึกษา LCIA จะทำให้สามารถตัดผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการที่ไม่สำคัญออกไป และยังใช้เป็นตัวบ่งชี้ว่าควรมีการทำ LCIA ซ้ำหรือไม่ เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล เช่น การวิเคราะห์ความถ่วงของข้อมูล (Gravity analysis) การวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของข้อมูล (Uncertainty analysis) การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูล (Sensitivity analysis)

2.2.3.4 การแปลผลวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Interpretation)

การแปลผลหรือการตีความเป็นขั้นตอนในการนำผลจากการทำบัญชีรายการและการประเมินผลกระทบมารวมกันเพื่อให้ได้ข้อสรุป และข้อเสนอแนะตามเป้าหมาย วัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษา

ISO ได้ให้นิยามสำหรับการแปลผลไว้สองความหมายคือ 1) เพื่อวิเคราะห์ผลให้ได้ข้อสรุป อธิบายข้อจำกัดและข้อแนะนำโดยใช้ผลการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต LCA หรือการวิเคราะห์บัญชีรายการ 2) เพื่อรายงานผลของการแปลผลวัฏจักรชีวิตในลักษณะที่ชัดเจน และเพื่อนำเสนอผลของการประเมินวัฏจักรชีวิตและการวิเคราะห์บัญชีรายการที่สามารถเข้าใจได้สมบูรณ์ ถูกต้อง และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ เป้าหมายของการศึกษา ประเด็นหลักๆ ที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการแปลผลนี้จะเกี่ยวข้องกับประเด็นดังต่อไปนี้

- การระบุประเด็นสำคัญเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม
- การประเมินผลที่สมบูรณ์ ละเอียด และเที่ยงตรง
- การตรวจสอบบทสรุปว่าตรงกับวัตถุประสงค์ ขอบเขตการศึกษา ข้อจำกัดและสมมติฐานอื่นๆ หรือไม่

ถ้าสมบูรณ์แล้วทำรายงานบทสรุป แต่ถ้าไม่สมบูรณ์ต้องกลับไปเริ่มที่ขั้นตอนที่หนึ่งของการประเมินวัฏจักรชีวิตใหม่ การระบุประเด็นสำคัญเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมเป็นขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบผลของข้อมูลจาก 3 ขั้นแรกของกระบวนการประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อที่จะระบุข้อมูลที่ให้ผลกระทบมากที่สุดในการวิเคราะห์บัญชีรายการและการประเมินค่าผลกระทบในแต่ละกระบวนการ ผลิตภัณฑ์ หรือการบริการ การระบุประเด็นสำคัญทางสิ่งแวดล้อม รวมถึง

- ชนิดของบัญชีรายการ เช่น พลังงาน ของเสีย
- ประเด็นของผลกระทบ เช่น การใช้ทรัพยากร
- ขั้น หรือ กระบวนการที่เป็นผลสำคัญในการวิเคราะห์บัญชีรายการ หรือการประเมินผลกระทบ เช่น ขั้นการขนส่ง ขั้นการใช้ กระบวนการผลิตวัตถุดิบ

2.3 โปรแกรมสำเร็จรูปด้านการประเมินวัฏจักรชีวิต

ปัจจุบันบริษัทและองค์กรต่างๆ ได้พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เพื่อแก้ปัญหาในการจัดการเก็บข้อมูลในเชิงปริมาณและการประเมินผลของ LCA บางโปรแกรมได้ถูกพัฒนาขึ้นในการประเมิน LCA อย่างสมบูรณ์ นั้นคือ ประกอบด้วย การวิเคราะห์บัญชีรายการ การประเมินค่าผลการทบและบางโปรแกรมมีการแปลผลข้อมูล ในหลายโปรแกรมจะมีตัวอย่างโปรแกรมให้ผู้สนใจเข้าไปศึกษา แต่บ่อยครั้งที่ตัวอย่างโปรแกรมเหล่านี้มีข้อจำกัดในการศึกษา ประเด็นสำคัญในการเลือกใช้โปรแกรมมีดังนี้

- ฐานข้อมูล
- การคำนวณบัญชีรายการ
- การประเมินผลกระทบ
- การแปลผลข้อมูล

ซึ่งคุณสมบัติของโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์แต่ละโปรแกรม แสดงดังตารางที่ 2.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบโปรแกรม LCA

หัวข้อ	CUMPAN 1.44	ECO-it 1.0	EDIP PC-tool	EPS 4.0 Design System	Gabi 3	SimaPro6	TEAM	Umberto 3.5
ประเทศ	Germany	Holland	Denmark	Sweden	Germany	Holland	France	Germany
จำนวนลิขสิทธิที่ขายได้	62	70	100	>200	250	>600	>200	>350
ราคา	$6,000	$215	$700	$3,200	$2,500-8,000	$2,540	$3,000	$1,000-2,000
เวลาที่ใช้ในการศึกษา	1 วัน	<2 ชม.	<1 สัปดาห์	<1 สัปดาห์	<1 เดือน	<1 วัน	<1 วัน	<1 สัปดาห์
วิธีในการประเมินผลกระทบ	Several	All single score method	EDIP, environmental method	EPS	Eco Indicator + create your own method	EI95, EI99, EP97, CML, EDIP, EPS	CML, EPA, IPCC, CVCH	Eco indicator, Swiss eco point
เป็นไปตามมาตรฐาน ISO14040	x	-	x	x	x	x	x	x
แสดงผลในรูปตาราง	x	x	x	x	x	x	x	x
แสดงผลในรูปกราฟ	x	x	x	x	x	x	x	x
การปรับปรุงข้อมูล	ทุกปี	ช่วงเวลาอื่น	ช่วงเวลาอื่น	ทุกปี	ช่วงเวลาอื่น	ทุก 2 ปี	ทุกปี	ช่วงเวลาอื่น
แสดงค่าทางสิ่งแวดล้อมเป็นหน่วย Pt	-	x	x	x	x	x	x	x
แสดงผลในแต่ละประเภทของผลกระทบ	x	-	x	x	x	x	x	x
สามารถแสดงผลเพื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ได้	x	-	x	x	x	x	x	x

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบโปรแกรม LCA (ต่อ)

หัวข้อ	CUMPAN 1.44	ECO-it 1.0	EDIP PC-tool	EPS 4.0 Design System	Gabi 3	SimaPro6	TEAM	Umberto 3.5
สามารถดึงผลการประเมินออกจากโปรแกรมได้	x	x	x	x	x	x	x	x
ตรงตามเป้าหมาย สำหรับ วิศวกรออกแบบ	x	x	x	x	-	x	-	x
ตรงตามเป้าหมาย สำหรับ วิศวกรสิ่งแวดล้อม	x	-	x	x	x	x	x	x
ตรงตามเป้าหมาย สำหรับ ผู้เชี่ยวชาญด้าน LCA	-	-	-	x	x	x	x	x
มีฐานข้อมูล	x	x	x	x	x	x	x	x
สามารถเพิ่มข้อมูลเข้าไปใหม่ได้	x	x	x	x	x	x	x	x

x หมายถึง มีคุณสมบัตินั้นในโปรแกรม

- หมายถึง ไม่มีคุณสมบัตินั้นในโปรแกรม

ที่มา: Jonbrink (2000)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.1 โปรแกรมสำเร็จรูป Sima Pro

จะเห็นได้ว่าโปรแกรมสำเร็จรูป Sima Pro มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม เช่น มีการวิเคราะห์ผลกระทบตามระบบ ISO14040 มีการเปรียบเทียบผลของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเปรียบเทียบ มีฐานข้อมูล มีการแสดงผลในรูปตาราง หรือกราฟ เป็นโปรแกรมที่เหมาะสมกับวิศวกรสิ่งแวดล้อมและวิศวกรออกแบบ มีความยืดหยุ่นในการเพิ่มข้อมูลใหม่ ใช้ระยะเวลาในการศึกษาน้อย มีการปรับปรุงฐานข้อมูล นอกจากนี้แล้วสามารถสังเกตได้ว่าโปรแกรมสำเร็จรูปอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ Sima Pro แต่ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือราคาและการยอมรับของผู้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากปริมาณลิขสิทธิ์ที่ขายได้ของโปรแกรมสำเร็จรูป Sima Pro ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ในงานวิจัยนี้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro มีความเหมาะสม

วิธีในการแปลผลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในโปรแกรม Sima Pro มีหลายวิธี ดังนั้นในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจะต้องเลือกวิธีที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยพิจารณาถึงสิ่งต่อไปนี้ คือเลือกกลุ่มของผลกระทบให้ตรงกับเป้าหมายที่ต้องการศึกษา โดยพิจารณาว่าการศึกษาของเราต้องการศึกษาถึงผลกระทบด้านใดบ้าง และเลือกวิธีการประเมินผลกระทบให้ตรงกับสารเคมี ทั้งนี้เนื่องจากในวิธีหนึ่ง ๆ นั้นอาจไม่ได้ทำการศึกษาและ/หรือเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสารเคมีที่มีอยู่ในจำนวนมากได้ทุกตัว ดังนั้นหากเราเลือกวิธีในการประเมินไม่เหมาะสมจะทำให้เราประเมินผลกระทบผิดพลาด

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบวิธีการประเมินค่าผลกระทบแต่ละดัชนีที่ชี้วัด

ดัชนีชี้วัด	ประเภทผลกระทบ	ครอบคลุมงานวิจัย
EPS 2000	สุขภาพมนุษย์ , ระบบนิเวศน์ , ทรัพยากร	ไม่ครอบคลุม
EDIP	สุขภาพมนุษย์ , ระบบนิเวศน์ , ทรัพยากร	ไม่ครอบคลุม
Eco-Indicator 99	สุขภาพมนุษย์ , ระบบนิเวศน์ , ทรัพยากร	ไม่ครอบคลุม
Impact 2002	สุขภาพมนุษย์ , ระบบนิเวศน์ , ทรัพยากร , ภาวะโลกร้อน	ครอบคลุม
CML 1992	สุขภาพมนุษย์ , ระบบนิเวศน์	ไม่ครอบคลุม
IPCC 2001	ภาวะโลกร้อน	ไม่ครอบคลุม
Ecopoint 97	ทรัพยากร	ไม่ครอบคลุม

จากปัจจัยการเลือกวิธีการประเมินผลกระทบและตารางที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าวิธีการประเมินผลกระทบด้วยวิธี Impact 2002 มีความเหมาะสมกับงานวิจัยนี้เนื่องจากมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ เป้าหมายและขอบเขตการศึกษา ดังนั้นในงานวิจัยนี้ทำการเลือกวิธีการประเมินผลกระทบด้วยวิธี Impact 2002

2.3.2 Impact 2002+

ในปัจจุบันวิธีการประเมินค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมีหลายวิธี เช่น Eco-scarcity Method, Environmental Theme Method, Environmental Design of Industrial Products (EDPI), Eco-indicator Method และอื่น ๆ แต่วิธี Impact 2002+ เป็นวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตใหม่ที่มีการพัฒนาขึ้น ซึ่งเป็นการรวม midpoint และ damage โดยการเชื่อมโยงกับบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม วิธี Impact 2002+ เป็นแนวคิดและวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นใหม่สำหรับใช้ประเมินเปรียบเทียบระหว่างความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human toxicity) และความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicity) วิธี Impact 2002+ ยังมีระบบการให้น้ำหนักที่สนับสนุนข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ ซึ่งขั้นตอนการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของวิธี Impact 2002+ คือการแจกแจงประเภทของผลกระทบจากวัตถุดิบ พลังงานและของเสีย ออกเป็น 14 ประเภท และจัดเป็น 4 กลุ่มใหญ่ ตามลักษณะของกลุ่มเป้าหมาย ดังตารางที่ 2.4 และมีการให้น้ำหนักหรือความสำคัญและรวมคะแนนเป็นคะแนนเดียว

Midpoint characterization factors จะอยู่บนหลักของความเท่ากัน เช่น midpoint characterization score อยู่ในหน่วยของ kg-equivalents ของสารที่เปรียบเทียบต่อสารอ้างอิง ตารางที่ 2.4 แสดงสารอ้างอิง และ damage unit ที่ใช้ใน Impact 2002+ **[12]**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 แสดงสารอ้างอิงในแต่ละ midpoint และdamage unit ที่ใช้ใน วิธี Impact 2002+

Midpoint category	Midpoint reference substance	Damage category	Damage unit
Human toxicity (carcinogens + non-carcinogens)	kg_{eq} chloroethylene into air	Human health	DALY
Respiratory (inorganics)	Kg_{eq} PM2.5 into air	Human health	
Ionizing radiations	Bq_{eq} carbon-14 into air	Human health	
Ozone layer depletion	Kg_{eq} CFC-11 into air	Human health	
Photochemical oxidation [=Respiratory (organics) for human health]	Kg_{eq} ethylene into air	Human health	
		Ecosystem quality	-
Aquatic ecotoxicity	Kg_{eq} triethylene glycol into water	Ecosystem quality	PDF * m^2 * yr
Terrestrial ecotoxicity	Kg_{eq} triethylene glycol into water	Ecosystem quality	
Terrestrial acidification/nitrification	Kg_{eq} SO_2 into air	Ecosystem quality	
Aquatic acidification	Kg_{eq} SO_2 into air	Ecosystem quality	Under development
Aquatic eutrophication	Kg_{eq} PO_4^{3-} into water	Ecosystem quality	Under development
Land occupation	m^2_{eq} organic arable land-year	Ecosystem quality	PDF * m^2 * yr
Global warming	Kg_{eq} CO_2 into air	Climate change (life support system)	Kg_{eq} CO_2 into air
Non-renewable energy	MJ Total primary non-renewable or kg_{eq} crude oil (860 kg/m^3)	Resources	MJ
Mineral extraction	MJ addition energy	Resources	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยแต่ละกลุ่มผลกระทบหลักคือผลกระทบต่อมนุษย์(Human health) ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ (Ecosystem quality) , ผลกระทบต่อพลังงาน (Resource) และภาวะโลกร้อน (Climate change) โดยอธิบายในหน่วยผลกระทบเป็น DALY ,PDF *m2Yr , MJ surplus และ kg CO_2 eq ตามลำดับซึ่งเป็นหน่วยของผลกระทบของสามกลุ่มผลกระทบดังนี้

ผลกระทบต่อมนุษย์ (Human health) อธิบายในหน่วย DALY ย่อมาจาก Disability Adjusted Life Years หมายถึงจำนวนปีที่ต้องเจ็บป่วยและตายก่อนวัยอันควร โดยผลกระทบที่รวมในกลุ่มผลกระทบต่อมนุษย์ประกอบด้วย ความเป็นพิษต่อมนุษย์ (carcinogens + non-carcinogens) ผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร (Respiration of organic substance) ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร (Photochemical oxidation)สารแผ่รังสี (Radiation) การลดลงของโอโซน (Ozone depletion)

ผลกระทบด้านระบบนิเวศน์ (Ecosystem quality) อธิบายในหน่วย PDF*m2*yr ย่อมาจาก potentially Disappeared Fraction ซึ่งหมายถึง สัดส่วนของสิ่งมีชีวิตที่หายไปบนพื้นที่ 1 ตารางเมตรในระยะเวลา 1 ปี โดยกลุ่มผลกระทบที่รวมอยู่ในกลุ่มผลกระทบนี้ประกอบด้วย ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (Aquatic ecotoxicity) ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตบนพื้นดิน (Terrestrial ecotoxicity), ความเป็นกรดและการเกิดไนเตรทบนพื้นดิน(Terrestrial acidification/nitrification) ความเป็นกรดต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (Aquatic acidification) สภาวะที่อาหารของพืชละลายอยู่ในน้ำมาก (Aquatic eutrophication) และ การใช้พื้นที่ (Land use)

กลุ่มผลกระทบต่อพลังงาน (Resource) อธิบายในหน่วย MJ primary ซึ่งเป็นหน่วยของพลังงานที่ใช้ในการสกัดแร่ กลุ่มผลกระทบที่รวมอยู่ในกลุ่มผลกระทบนี้ประกอบด้วย การใช้เชื้อเพลิงที่ไม่สามารถใช้ซ้ำได้ (Non-renewable energy) และ การใช้สินแร่ (Mineral)

กลุ่มผลกระทบภาวะโลกร้อน (Climate change) อธิบายในหน่วย kg CO_2 eq ซึ่งเป็นหน่วยเทียบเท่าสาร CO_2 หมายความว่า ค่าของสารใดๆซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดภาวะโลกร้อนเมื่อถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม สามารถเกิดผลกระทบได้ เทียบเท่า การปล่อย CO_2 1 กิโลกรัม ส่วนผลกระทบที่รวมอยู่ในกลุ่มผลกระทบนี้ประกอบด้วย ภาวะโลกร้อน (Climate change) เพียงผลกระทบเดียว

ตารางที่ 2.5 แสดงสารที่เป็นปัจจัยของผลกระทบที่ใช้ใน วิธี Impact 2002+

กลุ่มเป้าหมายของการทำลาย (หน่วย)	ประเภทของผลกระทบ	สารที่เป็นปัจจัยของผลกระทบ
Human Health (Disability Adjusted Life Years :DALYs)	สารก่อมะเร็งและสารไม่ก่อมะเร็ง	arsenic, cadmium, nickel, zinc
	การหายใจจากอินทรีย์สาร	methane, benzene
	การหายใจจากอนินทรีย์สาร	CO, SO_x, NH_3
	สารแผ่รังสี	Nuclear energy production
	การลดลงของชั้นโอโซน	CFCs, HFCs
Ecosystem Quality (Potentially Disappeared Fraction : PDF)	ระบบนิเวศน์เป็นพิษในน้ำ	phenol, methanol
	ระบบนิเวศน์เป็นพิษในดิน	styrene, xylene
	ภาวะความเป็นกรด/ภาวะอูโทรฟิเคชันในดิน	So_x, NO_x, NH_3
	ภาวะความเป็นกรดในน้ำ	So_x, NO_x, NH_3, ไฮโดรเจนคลอไรด์
	ภาวะอูโทรฟิเคชันในดิน	Phosphate, nitrate, phosphorus
	การใช้พื้นที่	Grassland, wood
Resource Depletion (MJ surplus Energy)	การใช้สินแร่	cupper, nickel, zinc
	การใช้เชื้อเพลิง	crude oil, coal
Climate change (kg_{eq} CO_2 into air)	ภาวะโลกร้อน	CO2, methane, CFCs

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.6 อธิบายลักษณะผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของแต่ละประเภทของผลกระทบ

ประเภทกลุ่มของผลกระทบ	ลักษณะผลกระทบ
Aquatic acidification และ Terrestrial acid/nutro	ป่าและทะเลสาป ถูกทำลายโดยฝนกรด เนื่องจากการปล่อย สารที่มีความเป็นกรดสู่บรรยากาศ
Aquatic eutrophication	สภาวะที่น้ำขาดออกซิเจน เนื่องจากพืชน้ำเจริญเติบโตมากเกินไป เนื่องจากแหล่งน้ำ มีปริมาณ ฟอสฟอรัส และไนโตรเจนมากเกินไป
Global warming	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของโลกหรืออุณหภูมิของโลกสูงขึ้น เนื่องจากมีการปล่อยแก๊สเช่นคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน สู่บรรยากาศ
Non-renewable energy	การลดลงของทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดเนื่องจากการสกัดหรือการใช้แร่ธาตุ หรือพวกเชื้อเพลิงถ่านหิน
Aquatic ecotoxicity / Terrestrial ecotoxicity	สารพิษที่มีผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ เนื่องจากการปล่อยสารเช่น เบนซีน หรือตะกั่ว สู่ดิน น้ำ อากาศ
Land occupation	การลดลงของพื้นที่ รวมถึงพื้นที่ป่า เนื่องจากการใช้พื้นที่
Ozone layer depletion	การลดลงของโอโซนโดยสาเหตุเนื่องจากการปล่อยสาร CFC
Ionizing radiations	ผลกระทบสุขภาพมนุษย์เนื่องจากสารที่มีการแผ่รังสี เช่น โคบอลต์
Human toxicity (carcinogens + non-carcinogens)	ผลกระทบต่อมนุษย์เนื่องจากทั้งการปล่อยสารที่ก่อมะเร็งและไม่ก่อมะเร็ง เช่น เอทีลีนไดคลอไรด์ และ เปอร์คลอโรอีเทน
Photochemical oxidation [=Respiratory (organics) for human health]	ผลกระทบต่อมนุษย์เนื่องจาก การปล่อยสารที่ส่งผลต่อระบบทางเดินหายใจ พวกสารอินทรีย์ ได้แก่ บิวเทน อีเทน เดกเทน สู่บรรยากาศ
Respiratory (inorganics)	ผลกระทบต่อมนุษย์เนื่องจาก การปล่อยสารที่ส่งผลต่อระบบทางเดินหายใจ พวกอนินทรีย์ ได้แก่ แอมโมเนีย ,Sox เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

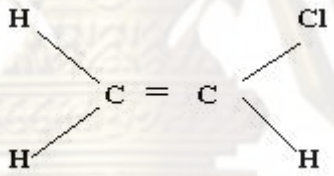
2.4 ไวนิลคลอไรด์

ไวนิลคลอไรด์เป็นสารที่ไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่ได้มีการคิดค้นขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1835 และมีการผลิตออกจำหน่ายในปี ค.ศ.1976 ประเทศสหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น โดย เอธีลีนไดคลอไรด์ สลายด้วยด้วยความร้อนให้ ไวนิลคลอไรด์ และ ไฮโดรเจนคลอไรด์

ไวนิลคลอไรด์ที่จำหน่ายจะเก็บในรูปของเหลวภายใต้ความดัน โดยทั่วไปในการขนส่งจะมีการเติมสารยับยั้ง (inhibitor) ลงไปเพื่อป้องกันการ polymerize ของไวนิลคลอไรด์ในระหว่างการขนส่ง

2.4.1 คุณสมบัติทั่วไป

ไวนิลคลอไรด์ (VCM) สูตรโมเลกุล C_2H_3Cl สภาวะปกติเป็นก๊าซไม่มีสี กลิ่นหอมหวาน และจะเป็นของเหลวเมื่อบรรจุอยู่ในถังอัดความดัน เมื่อทำปฏิกิริยากับด่างแก่ที่อุณหภูมิสูงจะให้ก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ ออกมา



ภาพที่ 2.4 สูตรโครงสร้างของไวนิลคลอไรด์

มีชื่ออื่น ๆอีกได้แก่ Chlorethene , Chlorethylene , Chlorethene , Chloroethylene , Ethene , ChloroEthylene , Monochloride , Monochloroethene , Monochloroethylene , Trovidur , VC , ไวนิลคลอไรด์, Vinylchloride , Vinyl Chloride Monomer

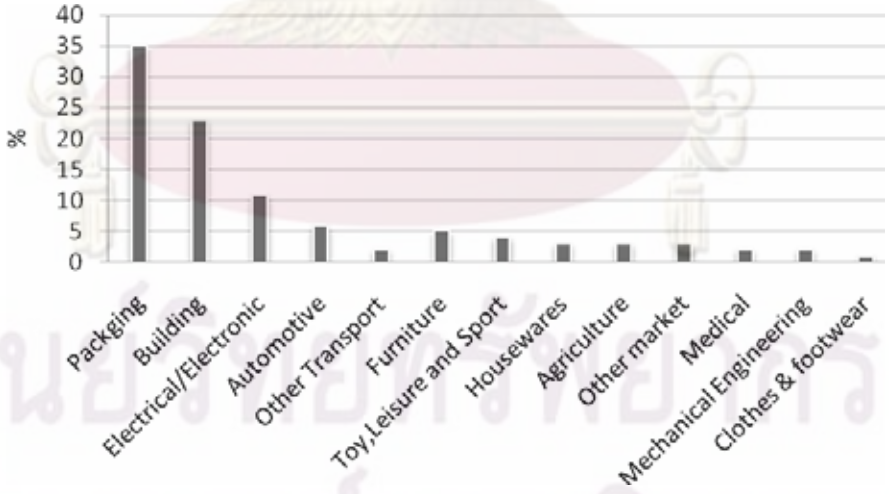
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.7 แสดงสมบัติทั่วไปของไวนิลคลอไรด์

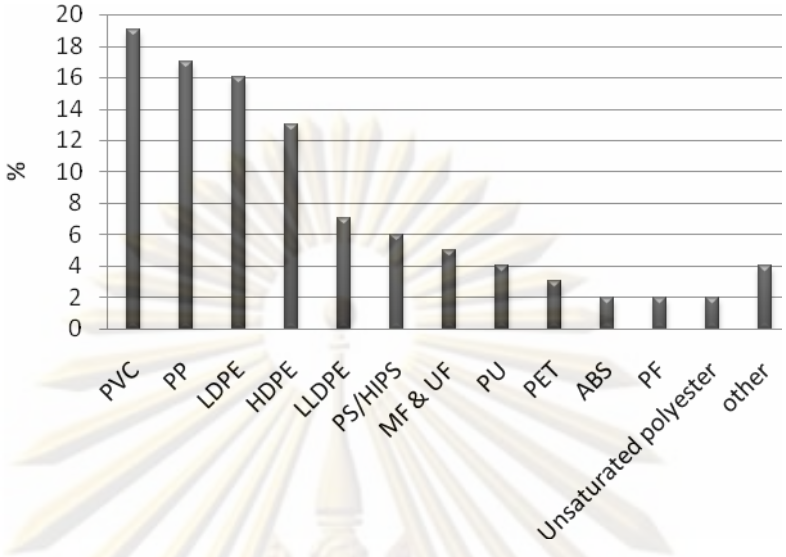
คุณสมบัติ	ไวนิลคลอไรด์
สูตรโครงสร้าง	C_2H_3Cl
มวลโมเลกุล	62.498 g/mol
ความหนาแน่น	0.91 g/ml
จุดหลอมเหลว	-154 °C (326 K)
จุดเดือด	-13 °C (475.15 K)
ความสามารถในการละลายน้ำ	2.7 g/L (30 °C)

2.4.2 การใช้ประโยชน์

ส่วนใหญ่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเม็ด พี.วี.ซี. (polyvinylchloride resin หรือ PVC resin) ซึ่งใช้ทำกระเบื้องยางปูพื้น ท่อน้ำ สายไฟฟ้า ถุงมือ ของเด็กเล่นชนิดเป่าลม ถ้วยและถาดบรรจุอาหาร ชนิดแผ่นบางใช้ทำถุงและภาชนะบรรจุของ ส่วนชนิดโฟม ใช้ทำฟองน้ำ เป็นต้น



ภาพที่ 2.5 แสดงสัดส่วนการใช้ประโยชน์ของไวนิลคลอไรด์,ที่มา Y. Saeki (2006)



ภาพที่ 2.6 แสดงสัดส่วนการผลิตพลาสติกแต่ละชนิด,ที่มา Y. Saeki (2006)

จากภาพที่ 2.6 จะเห็นได้ว่า ไวนิลคลอไรด์มีสัดส่วนการผลิตมากที่สุดถึง ร้อยละ 19 รองลงมาเป็นโพลีโพรพีลีน และ โพลีเอธีลีน

2.4.3 ความเป็นอันตรายของไวนิลคลอไรด์

ส่วนใหญ่ไวนิลคลอไรด์ เข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจเอาไอสารเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ ซึ่งสามารถผ่านเข้าไปในระบบไหลเวียนโลหิต ไปตามเนื้อเยื่อและอวัยวะต่าง ๆ ส่วนการผ่านเข้าทางผิวหนังและการปนเปื้อนในอาหารจะเป็นส่วนน้อย การเกิดอันตรายและอาการจำแนกได้ดังนี้

2.4.3.1แบบเฉียบพลัน

เมื่อได้รับสารในปริมาณความเข้มข้นสูง จะทำให้มึนงง วิงเวียน อ่อนเพลีย ง่วง รู้สึกขาหนัก เสียการทรงตัว การได้ยินและการมองเห็นไม่ชัดเจน ถ้าปริมาณความเข้มข้นสูงมากจะทำให้หมดสติและเสียชีวิตได้

2.4.3.2แบบเรื้อรัง

การได้รับไวนิลคลอไรด์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน จะทำให้เกิดความผิดปกติหรือโรคพิษไวนิลคลอไรด์ขึ้น โดยมีรายละเอียดของการเกิดโรคคือ

- อาการพิษทางระบบประสาท จะมีอาการอ่อนเพลีย มึนงง ขาหนัก ครึ่งหลับครึ่งตื่น ซึ่งอาการเหล่านี้จะปรากฏขึ้นอย่างรวดเร็ว และถ้ายังรับสารต่อไป จะทำให้เกิดความผิดปกติทางระบบประสาท โดยระบบประสาทจะเริ่มอ่อนล้า การรับรู้ต่าง ๆ น้อยลง แต่ก็จะไม่ปรากฏให้เห็นชัดเจน
- การเกร็ง หดตัว และแข็งตัวของหลอดเลือด และการเปลี่ยนแปลงของผิวหนัง โดยในระยะแรก จะมีอาการนิ้วมือซีด แข็ง ผิวหนังไม่สามารถยืดหยุ่นได้ การงอพับเป็นไปด้วยความลำบาก มีตุ่มเล็ก ๆ ขึ้นที่บริเวณเท้า คอ ใบหน้า หลัง และบางครั้งอาจมีอาการหายใจไม่ออกเกิดขึ้นอย่างกะทันหัน และมีอาการเจ็บขณะหายใจ
- การสลายตัวของกระดูก มักจะมีการเปลี่ยนแปลงส่วนของโครงสร้างร่างกาย โดยเฉพาะบริเวณกระดูกปลายนิ้วมือ การตีบและอุดตันของเส้นเลือดแดงบริเวณกระดูกต่าง ๆ เมื่อเอกซเรย์จะแสดงให้เห็นรูปการสลายตัวของกระดูกอย่างชัดเจน รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงตามแนวความยาวของกระดูกข้อมือ
- การเปลี่ยนแปลงที่ตับ ทุกรายที่ได้รับพิษจากไวนิลคลอไรด์ จะมีอาการเกิดขึ้นที่ตับ โดยเริ่มจากการย่อยอาหารลำบากขึ้น อืดอัด มีก๊าซในช่องท้องและลำไส้ ตับจะมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อกดหรือสัมผัสท้องบริเวณนี้จะไม่รู้สึกปวด ผู้ที่ได้รับสารนี้เป็นระยะเวลานาน จะมีเนื้อเยื่อผิดปกติเกิดขึ้นที่ตับและม้าม เนื้อเยื่อตับจะบวมและตายในที่สุด โรคแทรกซ้อนที่เกิดขึ้นในระยะนี้คือ ความดันโลหิตสูง เลือดออกตามบริเวณทางเดินอาหาร เป็นต้น
- การเกิดโรคมะเร็งของระบบอวัยวะต่าง ๆ ถือเป็นอันตรายร้ายแรงที่สำคัญของการได้รับไวนิลคลอไรด์ โดยอาการเริ่มจากการเป็นเนื้องอกที่ร้ายแรง ส่วนใหญ่อาการจะไม่แสดงจนกว่าจะอยู่ในระยะสุดท้าย เช่น ตับโตและเจ็บปวด สภาพร่างกายทั่วไปเสื่อมโทรม อาการที่มักเกิดคู่กับการเกิดเนื้อเยื่อผิดปกติที่ตับ คือ ภาวะที่มีเลือดออกตามทางเดินอาหาร ม้ามทำงานหนักขึ้น นอกจากนี้ ยังทำให้เป็นมะเร็งที่ระบบไหลเวียนโลหิต น้ำเหลือง และระบบทางเดินอาหารด้วย

ในส่วนของมาตรฐานความปลอดภัยในการทำงาน กฎหมายแรงงานได้กำหนดไว้ว่า ไม่ว่าระยะเวลาใดของการทำงานปกติ ห้ามลูกจ้างทำงานในที่ที่มีปริมาณความเข้มข้นของไวนิลคลอไรด์ในบรรยากาศการทำงานเกินกว่า 1 ส่วนในล้านส่วนอากาศ (ppm) หรือ 2.8 มิลลิกรัมต่ออากาศลูกบาศก์เมตร [13]

2.4.4 ปฏิกิริยาการเกิดไวนิลคลอไรด์

เอธีลีน ไดคลอไรด์ สลายตัวด้วยความร้อนเป็น ไวนิลคลอไรด์ และ ไฮโดร คลอไรด์

$$C_2H_4Cl_2 \longrightarrow C_2H_3Cl + HCl$$

$$\Delta H_r = 16.66 \text{ kcal/gmol}$$

โครงสร้างของปฏิกิริยาลูกโซ่ เริ่มจาก คลอรีนเกิดพันธะอิสระ แยกจาก $C_2H_4Cl_2$ ด้วยความร้อน เกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงขึ้นมากมาย เช่น ไตรคลอโรอีเทน (Trichloroethane) ,เตตระคลอโรอี-เทน (Tetrachloroethane), เพนตะคลอโรอีเทน (Pentachloroethane), เปอร์คลอโรอีเทน(Perchloroethane) ,ไดคลอโรเอธีลีน (Dichloroethylene) , ไตรคลอโรเอธีลีน (Trichloroethylene) และ เปอร์คลอโรเอธีลีน (Perchloroethylene) เป็นต้น

$$CH_2 = CHCl \longrightarrow CHCl_2 - CH_2Cl$$

$$\downarrow \Delta$$

$$CHCl = CHCl + HCl$$

$$\downarrow Cl$$

$$CHCl_2 - CH_2Cl$$

$$\downarrow \Delta$$

$$CCl_2 = CHCl + HCl$$

$$\downarrow Cl$$

$$CCl_3 - CHCl_2$$

$$\downarrow \Delta$$

$$CCl_2 = CCl_2 + HCl$$

$$\downarrow Cl$$

$$CCl_3 - CCl_3$$

1,1-ไดคลอโรอีเทน(1,1-Dichloroethane)เกิดมาจากไวนิลคลอไรด์และไฮโดรเจนคลอไรด์

$$C_2H_3Cl + HCl \longleftrightarrow CH_3CHCl_2$$

คาร์บอน และ อะเซทีลีน (acetylene) เกิดจากปฏิกิริยา

$$2C_2H_4Cl_2 \longrightarrow C_2H_4 + 4HCl + 2C$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$2C_2H_4 \longrightarrow 2CH_4 + 2C$$

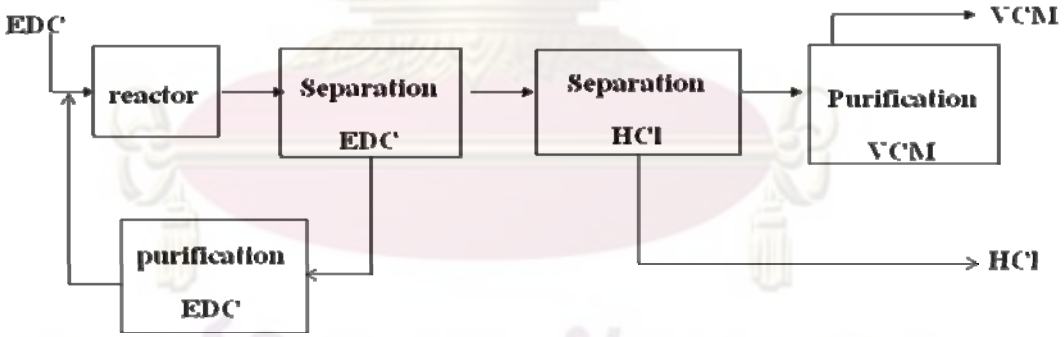
$$C_2H_3Cl \longrightarrow HCl + C_2H_2$$

สิ่งปนเปื้อน อื่นๆที่พบในการแยกเอธีลีนไดคลอไรด์ คือ เบนซีน (Benzene), ไฮโดรเจน (Hydrogen), เอธีลีน (Ethylene) , บิวตะไดอีน (Butadiene) และสารประกอบคลอไรด์เช่น เมธีลคลอไรด์ (Methyl chloride) ,คลอโรฟอร์ม (Chloroform) , คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon tetrachloride), เอธีลคลอไรด์ (Ethyl chloride) เป็นต้น

การสลายตัวไปเป็น ไวนิลคลอไรด์ ถูกเร่งให้เกิดขึ้นจากสารจำพวก เตตระคลอไรด์ และคลอรีน แต่ตัวยับยั้ง คือ เอธีลีน หรือ สารปนเปื้อนจำพวก เอธีลีน คลอโรไฮดริน ส่วนออกซิเจนเป็นตัวเร่งให้เกิดการสลายตัวของ เอธีลีนไดคลอไรด์ แต่ ก็ทำให้เกิดผลพลอยได้ขึ้นด้วย [14]

2.4.4 กระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์

ในสมัยก่อน กระบวนการผลิตโดยใช้ปฏิกิริยาสลายตัวด้วยความร้อน (Thermal Craking) ในสถานะของเหลว แต่ในปัจจุบันนั้นอยู่ในสถานะแก๊สเท่านั้น



ภาพที่ 2.7 กระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์

สารตั้งต้นของกระบวนการคือ เอธีลีนไดคลอไรด์ทำปฏิกิริยาได้ไวนิลคลอไรด์ และไฮโดรเจน คลอไรด์ เป็นผลิตภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์ข้างเคียง ทำการแยกผลิตภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์ข้างเคียงออกจากสารตั้งต้นด้วยหอกลั่นและนำสารตั้งต้นกลับมาใช้ใหม่โดยป้อนกลับสู่ถังปฏิกรณ์ ต่อมาแยกผลิตภัณฑ์ข้างเคียงออกจากผลิตภัณฑ์หลักคือ ไวนิลคลอไรด์ โดยการกลั่น ส่วน

ขั้นตอนสุดท้ายทำให้ ไวนิลคลอไรด์ บริสุทธิ์ ร้อยละ 99.98 โดยกระบวนการผลิตทั้ง 4 กระบวนการมีขั้นตอนการผลิตที่เหมือนกัน แต่แตกต่างกันที่สภาวะในถังปฏิกรณ์ และค่าการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้น

งานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ที่สภาวะในถังปฏิกรณ์ที่แตกต่างกัน 4 สภาวะ ตั้งแต่ปี 1982 – ปัจจุบัน และสภาวะที่แตกต่างกันนั้นส่งผลให้เกิดค่าการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 แสดงสภาวะของแต่ละกระบวนการผลิต

Number (Patent)	Assignee	Earliest Year Shown	Feed	Reaction Temperature (°C)	Reaction Pressure (psia)	EDC Conversion (%)
กรณีที่ 1 (US 4,324,932)	Link, G., et al.	1982	EDC	350-480	145-348	54-56
กรณีที่ 2 (US 4,746,759)	Tosoh Corp., Shinnayo	1988	EDC	500-517	181-522	58-60
กรณีที่ 3 (US 4,822,932)	Wacker-Chemie GmbH	1992	EDC	520-550	305-537	62-65
กรณีที่ 4 (US 5,488,190)	Elf Atochem S.A.	1996	EDC	600-662	345-580	76-77

โดยในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ใช้ชื่อแต่ละกระบวนการดังนี้ กระบวนการที่ 1 คือ จาก US 4,324,932 , กระบวนการที่ 2 จาก US 4,746,759 , กระบวนการที่ 3 จาก US 4,822,932 และกระบวนการที่ 4 จาก US 5,488,190

จากข้อมูลเอกสารสิทธิบัตร และงานวิจัย สามารถจำลองกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์โดยด้วยโปรแกรม HYSYS Plant 3.2 ได้ดังภาพที่ 2.9 โดยมีรายละเอียดกระบวนการผลิตแต่ละ

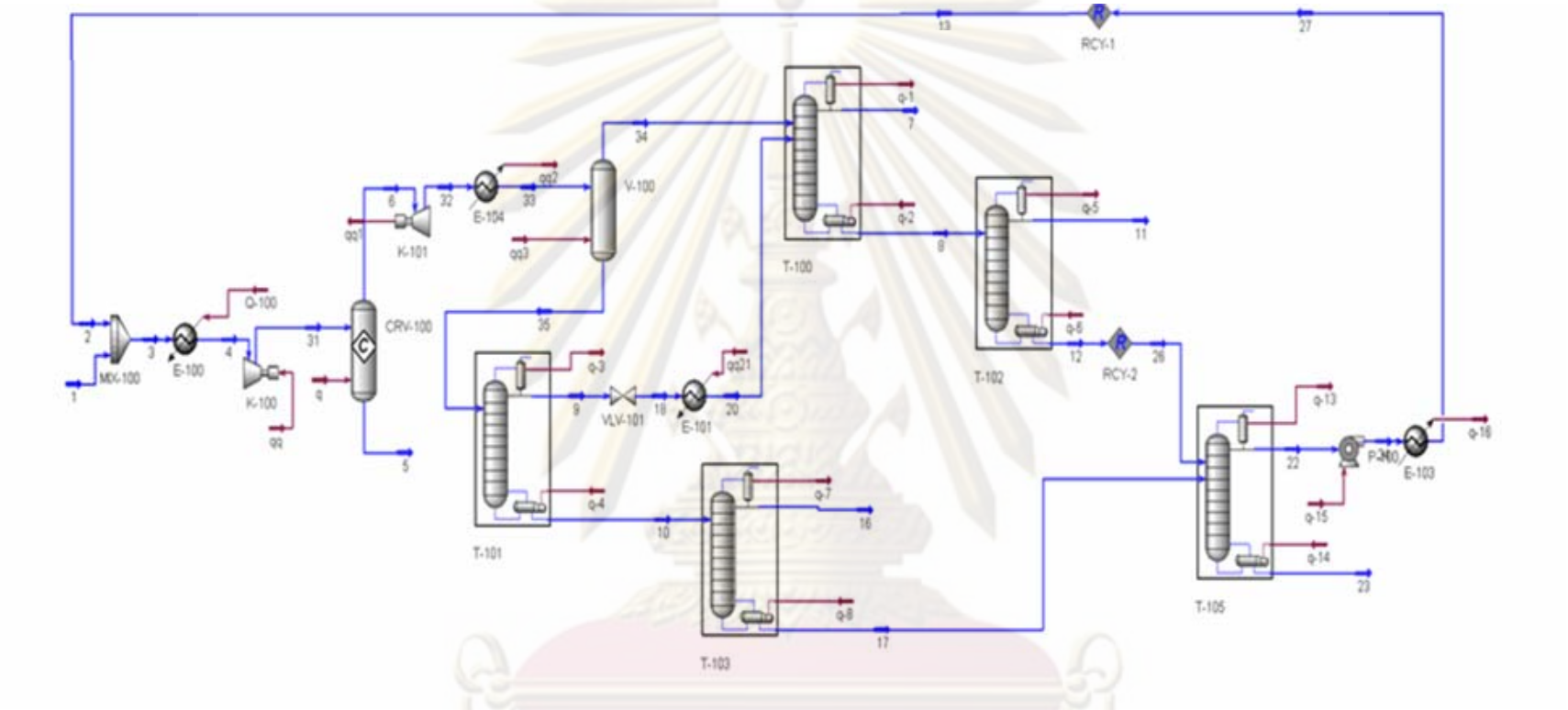
ขั้นตอนแบ่งเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนการทำปฏิกิริยา , ส่วนการทำ VCM ให้บริสุทธิ์ และ ส่วนการนำกลับใช้ใหม่ของ EDC

2.4.4.1 การทำปฏิกิริยา เกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อนของเอธีลีนไดคลอไรด์(EDC) ไปเป็น ไวนิลคลอไรด์(VCM) และ ไฮโดรคลอไรด์(HCl) โดยปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน EDC ถูกป้อนเข้าที่สาย1 รวมกับ ส่วนนำกลับมาใช้ใหม่ของ EDC สาย 2 หลังจากนั้นทำการเพิ่มอุณหภูมิ และความดันเป็น 350-480 °C , 145-348 psia (กรณีที่ 1) , 500-517 °C , 181-522 psia (กรณีที่ 2) , 520-550 °C , 305-537 psia (กรณีที่ 3) และ 600-662°C , 345-580 psia (กรณีที่ 4) เพื่อทำปฏิกิริยา จะได้ VCM , HCl และ EDC ที่สาย 6

2.4.4.2 การทำ VCM ให้บริสุทธิ์ที่ 99.98 % จากสาย 6 ทำการลดความดัน และอุณหภูมิลงเหลือ 300 psia และ 25°C เพื่อแยก EDC ออกจาก VCM และ HCl อย่างหยาบ โดยที่สาย 34 ส่วนใหญ่เป็น VCM และ HCl ส่วนสาย35 ส่วนใหญ่เป็น EDC จากนั้นทำการป้อนเข้าหอกลั่น T-100 เพื่อแยก HCl ออกจาก VCM โดยมีความดันหอ 1400 kPa ,อุณหภูมิยอดหอ -20 °C และก้นหอ 54 °C เมื่อผ่านหอกลั่นนี้ VCM จะออกที่ก้นหอหรือสาย 8 ความบริสุทธิ์ประมาณ 73-78 % จากนั้นเข้าหอกลั่น T-102 เพื่อแยก EDC ที่ปนมาบางส่วนออกที่ก้นหอ โดยมีความดันหอ 700 kPa ,อุณหภูมิยอดหอ 34 °C และก้นหอ 71 °C โดย VCM จะออกที่ยอดหอหรือสาย 11 ความบริสุทธิ์ ที่ 99.98 % ส่วน EDC ที่ก้นหอทำการป้อนสู่ หอกลั่น T-105 เพื่อทำให้บริสุทธิ์ต่อไป

2.4.4.3 การนำกลับใช้ใหม่ของ EDC จากสาย 35 ส่วนใหญ่เป็น EDC แต่จากการผ่านการแยกอย่างหยาบทำให้มี VCM และ HCl ผสมอยู่ด้วย จึงทำการแยก VCM และ HCl ออกที่ยอดหอ T-101 โดยมีความดันหอ 687 kPa ,อุณหภูมิยอดหอ 22 °C และก้นหอ 127 °C VCM และ HCl สาย 9 ผ่านการลดความดันเหลือ 300 kPa เพื่อเข้าสู่ หอกลั่น T-100 ส่วน EDC ที่ก้นหอถูกป้อนไปยังหอกลั่น T-103 เพื่อแยกสิ่งปนเปื้อนเบาออกที่ยอดหอ โดยมีความดันหอ 101 kPa ,อุณหภูมิยอดหอ 40 °C และก้นหอ 58 °C โดยที่ก้นหอ EDC มีความบริสุทธิ์ประมาณ 96.5 % ซึ่งยังไม่บริสุทธิ์เพียงพอในการนำกลับมาใช้ใหม่ จึงทำการกลั่นที่หอกลั่น T-105 โดยเอาสิ่งปนเปื้อนหนักออกที่ก้นหอ โดยมีความดันหอ 101 kPa ,อุณหภูมิยอดหอ 40 °C และก้นหอ 58 °C ซึ่งครั้งนี้ EDC ที่ยอดหอมีความบริสุทธิ์ประมาณ 99.95 % จึงทำการเพิ่มความดัน และอุณหภูมิ เป็น 790 kPa และ 51 °C ตามลำดับ เพื่อป้อนกลับสู่กระบวนการผลิต

โดยกระบวนการผลิตทั้ง 4 กรณีศึกษา มีภาพจำลองกระบวนการผลิตไม่แตกต่างกัน ที่แตกต่างกันคือสภาวะในถังปฏิกรณ์ และค่าการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นเท่านั้น



ภาพที่ 2.8 ภาพการจำลองกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

A. Azapagic และคณะ [15] ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยศึกษาถึงขั้นตอนการเลือกและการออกแบบกระบวนการผลิตที่มีความเหมาะสมที่สุด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตของเหลวคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน ซึ่งในกระบวนการผลิตนั้นมีการปล่อย SO_2, NO_x และ VOCs ออกมา ทำให้ต้องใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตเข้ามาเป็นเครื่องมือในการเลือกกระบวนการผลิตที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยในงานวิจัยจะจำแนกวิธีที่ใช้ในการกำจัด SO_2, NO_x และ VOCs ซึ่งในการกำจัดสารแต่ละตัวจะมีวิธีและกระบวนการกำจัดที่แตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสม จากนั้นจึงใช้ LCA เข้ามาช่วยในการตัดสินใจ นอกจากนี้ยังมีการแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานของการประเมินวัฏจักรชีวิตออกเป็นขั้นตอนย่อยๆ จากโครงการด้านสิ่งแวดล้อมของสหประชาชาติ

A. Tukker [16] ได้ศึกษาความแตกต่างของวิธีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม 2 วิธี คือ การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment : EIA) กับการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA) พบว่า การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (EIA) เป็นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเฉพาะในส่วนของโรงงานว่ามีผลกระทบทางตรงและทางอ้อมต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร ส่วนการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) นั้นเป็นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงอายุของผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งออกเป็น 3 ด้าน คือ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ และผลกระทบต่อแหล่งทัพยากรธรรมชาติ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่สามารถนำไปเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการได้

A. AZAPAGIC [17] งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาอุตสาหกรรมเคมี โดยการนำเสนอวิธีการใหม่ในการออกแบบกระบวนการผลิต และการวิเคราะห์แบบวัฏจักรชีวิต วิธีการนี้แนะนำการออกแบบกระบวนการผลิตและรวบรวมเอาวิธีการที่ต่างๆกันในการออกแบบเข้ามาพิจารณา เช่น หลักเศรษฐกิจ , สิ่งแวดล้อม และ ข้อกฎหมาย และมีกรณีศึกษาคือ กระบวนการผลิตไวนิลคลอไรโมโนเมอร์ กรณีศึกษานี้แสดงถึงการประเมิน และ การได้มาซึ่งข้อมูลที่จะนำมาทำการออกแบบ และการออกแบบซึ่งพิจารณาถึง หลักเศรษฐกิจ , สิ่งแวดล้อม และ ข้อกฎหมาย

A. Lakshmanan, [18] งานวิจัยนี้เสนอการพัฒนาถังปฏิกรณ์ในกระบวนการผลิตให้มีของเสียออกมาในปริมาณที่น้อยที่สุด และการออกแบบโดยคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม และที่คำนึงถึง

มากที่สุดคือการเพิ่มค่าการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มากที่สุดและหลีกเลี่ยงการเกิดของเสียและ ผลพลอยได้ ภายในถังปฏิกรณ์ เช่นเดียวกันก็หลีกเลี่ยงการบำบัดและการแยกที่มีราคาสูง งานวิจัยนี้นำเสนอถังปฏิกรณ์ Mixed Integer Nonlinear Programming (MINLP) พัฒนาโดย Lakshmanan and Biegler (1996a). โดยจะพิจารณาการประยุกต์ถังปฏิกรณ์ในกระบวนการผลิต ไวนิลคลอไรด์โมโนเมอร์ ไวนิลคลอไรด์ผลิตจาก เอธีลีน , คลอรีน และ ออกซิเจน แยกเป็น 3 ปฏิกิริยาดังนี้ คือ ปฏิกิริยา ออกซิคลอโรริเนชันของเอทิลีน , ปฏิกิริยา ไดเร็ก-คอลโรริเนชั่น ของเอธีลีน และ ปฏิกิริยาไพโรไลซิส ของ เอธีลีนไดคลอไรด์ ในที่นี้เราจะใช้แบบจำลองปฏิกิริยาทางจลพลศาสตร์ สำหรับทั้ง 3 ปฏิกิริยา และสรุปว่าถังปฏิกรณ์แบบใดเหมะสมที่สุดจากการปรับปรุงและการเพิ่มของค่าการเปลี่ยนแปลงของ เอธีลีนไปเป็นไวนิลคลอไรด์ , การเกิดผลพลอยได้ที่น้อยที่สุด และนอกจากนั้นก็คำนึงถึงผลกำไรที่มากที่สุดด้วย

K. Chomkumsri **[19]** ทำการประเมินวัฐจักรชีวิตโรงงานผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย 5 ประเภท ได้แก่ 1. The concrete Hydro Power Plant 2.The Hydro Power Plant 3. The thermal Power Plant 4. The combine Cycle Power Plant 5. The Coal Fired Power Plant โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Sima Pro 5.0 พบว่าโรงงานผลิตไฟฟ้าแต่ละประเภทนั้นมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 0.000365 , 0.000104 , 0.509 , 0.293 , 0.257 Pt ตามลำดับสำหรับการผลิตไฟฟ้า 1 kWh แสดงว่าโรงงานไฟฟ้าประเภท The Hydro Power Plant เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

M. Asif **[20]** ได้ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มาจากวัสดุต่างๆที่ใช้ในการสร้างห้องนอนของบ้านในประเทศสก็อตแลนด์ โดยใช้หลักการประเมินวัฐจักรชีวิตเพื่อดูผลกระทบที่มาจากวัสดุต่างๆ เช่น คอนกรีต , ไม้ , กระจก , กระเบื้อง และอลูมิเนียมเป็นต้น ผลการศึกษาพบว่าคอนกรีต , กระเบื้อง และไม้ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านพลังงานมากที่สุด โดยที่คอนกรีตส่งผลกระทบมากถึง ร้อยละ 65 รองลงมาเป็น กระเบื้อง ร้อยละ 14 และไม้ร้อยละ 13 เนื่องมาจากบ้านในสก็อตแลนด์ส่วนใหญ่ใช้คอนกรีตในการก่อสร้าง

Hubert Halleux **[21]** ในงานวิจัยนี้เค้าได้ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต โดยใช้ดัชนี้ Eco Indicator 99 , CML และ Impact 2002+ ของกระบวนการบำบัดน้ำเสีย โดยในวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือจะทำการเปรียบเทียบผลกระทบระหว่างมีการบำบัดน้ำเสียกับไม่มีการบำบัดน้ำเสีย

โดยงานวิจัยนี้เค้าได้เน้นการประเมินผลกระทบที่มีการใช้ดัชนีที่ต่างกันในการประเมิน ซึ่งผลจากการประเมินพบว่ากรณีที่ไม่มีการบำบัดน้ำเสีย พบว่าวิธีการประเมินของ Eco Indicator 99 ,CML และ Impact 2002+ ให้ผลการประเมินที่เหมือนกันทั้งสามวิธี และทางเลือกที่มีการบำบัดน้ำเสียเป็นวิธีการที่มีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมดีกว่าทางเลือกที่ไม่มีการบำบัดน้ำเสีย โดยผลกระทบที่สำคัญคือผลกระทบทางด้านความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์และผลกระทบด้านการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิชัน

W.R. Johns a **[22]** วัตถุประสงค์ของการประเมินวัฏจักรชีวิตคือเพื่อที่จะตรวจสอบผลกระทบที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์ ปัญหาของการผลิตที่มีหลายสาขารวมถึง กระบวนการผลิตที่มีหลายผลิตภัณฑ์ และ การ reuse หรือ การ recycle ในอุตสาหกรรมทั่วไปการ จะมีความแตกต่างระหว่างการ recycle และการ reuse โดยการ recycle จะหมายถึงการนำมาใช้ในในกระบวนการเดียวกันส่วนการ reuse คือการใช้ ของเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตแห่งหนึ่งมาใช้ในอีกกระบวนการหนึ่ง ที่แตกต่างกัน ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ได้สนในทำการศึกษาว่าในการพัฒนากระบวนการ ผลิตระหว่างการ reuse และการ recycle นั้นทางเลือกไหนที่จะให้ผลดีต่อสิ่งแวดล้อมมากสุด โดยใช้ LCA เป็นเครื่องมือในการศึกษา

K.G.Harding(2007) ได้ใช้เครื่องมือการประเมินจักรชีวิตใช้ในการตัดสินทางเลือกของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยผ่านปฏิกิริยา ทรานเอสเทอริฟิเคชั่นโดยใช้ตัวเร่งที่ต่างกัน คือ การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งที่เป็นอินทรีย์สาร กับ ตัวเร่งที่เป็นอนินทรีย์ที่ใช้คือโซเดียมไฮดรอกไซด์ และตัวเร่งที่เป็นสารอินทรีย์คือใช้ตัวเร่งเอ็นไซม์ ซึ่งเอ็นไซม์นี้ผลิตจาก แบตทีเรียที่ชื่อว่า *Candida Antarctica* โดยทางเลือกนี้ไม่ได้ใช้ในอุตสาหกรรมของการผลิตไบโอดีเซล และในงานวิจัยนี้เค้าได้แบ่งทางเลือกคือนอกจากใช้ตัวเร่งที่ต่างกันแล้วยังได้ทำการแบ่งทางเลือกการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้สารน้ำมัน rapeseed oil แต่ใช้ แอลกอฮอล์ต่างกันคือ เมทานอล และ เอททานอล และได้ศึกษาผลกระทบของการนำแอลกอฮอล์กลับมาใช้ใหม่อีกด้วย โดยผลของการประเมินวัฏจักรชีวิต พบว่าการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งที่เป็นเอมไซน์นั้นให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการผลิตโดย

ใช้ตัวเร่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งที่เป็นเอมไซม์ มีผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน สภาวะความเป็นกรด และ photochemical oxidation ลดลงประมาณ 5%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

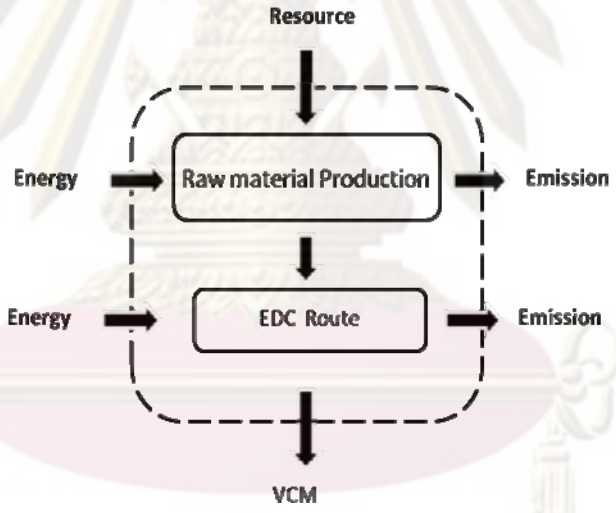
บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัยและวิธีวิเคราะห์

3.1.1 เป้าหมายและขอบเขตงานวิจัย

3.1.1.1 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย

เพื่อประเมินและเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์แต่ละกระบวนการ ซึ่งมีขอบเขตของระบบเฉพาะขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบและขั้นตอนการผลิตไวนิลคลอไรด์ ส่วนขั้นตอนการขนส่ง การนำไปใช้ การใช้ซ้ำ การบำรุงรักษา การนำกลับมาใช้ใหม่ และการกำจัดของเสียไม่ได้นำมาพิจารณา



ภาพที่ 3.1 ขอบเขตของระบบในการประเมินวัฐจักรชีวิตของการผลิตไวนิลคลอไรด์

3.1.1.2 หน่วยหน้าที่

หน่วยหน้าที่ที่ใช้ในการเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม ของงานวิจัยนี้คือ ปริมาณการผลิตไวนิลคลอไรด์ 1 กิโลกรัม

3.1.2 การทำบัญชีรายการ

หลังจากการทำการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการการจัดทำบัญชีรายการ เป็นการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการซึ่งประกอบไปด้วย การใช้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัตถุดิบ การใช้พลังงาน และของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการและถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมทั้ง 4 กระบวนการ

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม HYSYS ทำการจำลองกระบวนการเก็บข้อมูลสมดุลมวลสาร และพลังงาน โดยใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรมสำเร็จรูป Sima Pro และใช้วิธี Impact 2002 ด้วย

3.1.3 การประเมินผลกระทบ

การประเมินผลกระทบของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Sima Pro และใช้วิธี Impact 2002 เป็นวิธีในการแยกประเภทและหาค่าผลกระทบ

การประเมินผลกระทบมีขั้นตอนคือ การทำ Characterzation เพื่อทราบถึงปริมาณหรือค่าน้ำหนักที่เกิดขึ้นในผลกระทบด้านต่างๆ การเทียบหน่วย Normalization ให้ทุกผลกระทบอยู่ในรูปไร้หน่วย และการให้ค่าน้ำหนักผลกระทบแบบคะแนนเดี่ยว Single score

3.1.4 การแปลผล

ขั้นตอนนี้เป็นการประเมินโอกาสที่เป็นไปได้ในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตไวนิลคลอไรด์ จากขั้นตอนการประเมินผลกระทบ จะสามารถชี้ชัดลงไปได้ว่ากระบวนการใดที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด และควรมีการปรับปรุง เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3.2 วัสดุอุปกรณ์ในการวิจัย

3.2.1 โปรแกรม Microsoft Office XP

3.2.2 โปรแกรม Hysys.Plant Version 3.2

3.2.3 โปรแกรมสำเร็จรูป Sima Pro

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
การประเมินวัฏจักรชีวิต

4.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบของการจำลองกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์โมโนเมอร์ที่กระบวนการผลิตกรณีศึกษาที่แตกต่างกันดังที่กล่าวในบทที่ 2 แล้วนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับการประเมินภายใต้ความไม่แน่นอนของสภาวะในถังปฏิกรณ์ อันจะส่งผลต่อค่าพลังงานที่ใช้ ,ค่าผลได้ของผลิตภัณฑ์, ผลิตภัณฑ์ข้างเคียง และของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต โดยกระบวนการผลิตใดส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำที่สุดก็เหมาะที่จะนำมาใช้ได้จริงที่สุด ต่อมาทำการเสนอแนวทางพัฒนากระบวนการให้ลดผลกระทบยิ่งขึ้นโดยการทำโครงข่ายแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger Network) แล้วทำการวิเคราะห์ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตเปรียบเทียบภายหลังการทำโครงข่ายแลกเปลี่ยนความร้อน

โดยในการเปรียบเทียบแต่ละกระบวนการผลิตนั้น เป็นการผลิตไวนิลคลอไรด์ปริมาณ 1 กิโลกรัม เพื่อให้ข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและขาออกจากระบบตั้งอยู่บนพื้นฐานเดียวกัน และสามารถเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของแต่ละกระบวนการได้

4.1.1 การทำบัญชีรายการ

การจัดทำบัญชีรายการ เป็นการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการซึ่งประกอบไปด้วยการใช้วัตถุดิบ การใช้พลังงาน และของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการและถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมทั้ง 4 กระบวนการ โดยใช้โปรแกรม HYSYS ทำการจำลองกระบวนการเพื่อเก็บข้อมูลสารขาเข้าขาออกและพลังงานในกระบวนการผลิต

งานวิจัยนี้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลซึ่งมีขอบเขตการศึกษาเฉพาะขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบและขั้นตอนการผลิตไวนิลคลอไรด์ ขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบคือ ขั้นตอนตั้งแต่การสกัดวัตถุดิบออกมาจากแหล่งธรรมชาติ จนกระทั่งกลายมาเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ คือ เอธีลีนไดคลอไรด์ ส่วนขั้นตอนการผลิตไวนิลคลอไรด์ คือ ขั้นตอนตั้งแต่การนำเอาวัตถุดิบมาผ่านกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ โดยปริมาณการผลิตแต่ละกระบวนการมีการใช้วัตถุดิบ , พลังงาน และการปลดปล่อยของเสีย ดังตารางที่ 4.1

ตาราง 4.1 แสดงปริมาณวัตถุดิบ ,พลังงาน และ ของเสียที่ปลดปล่อยออกจากกระบวนการผลิต

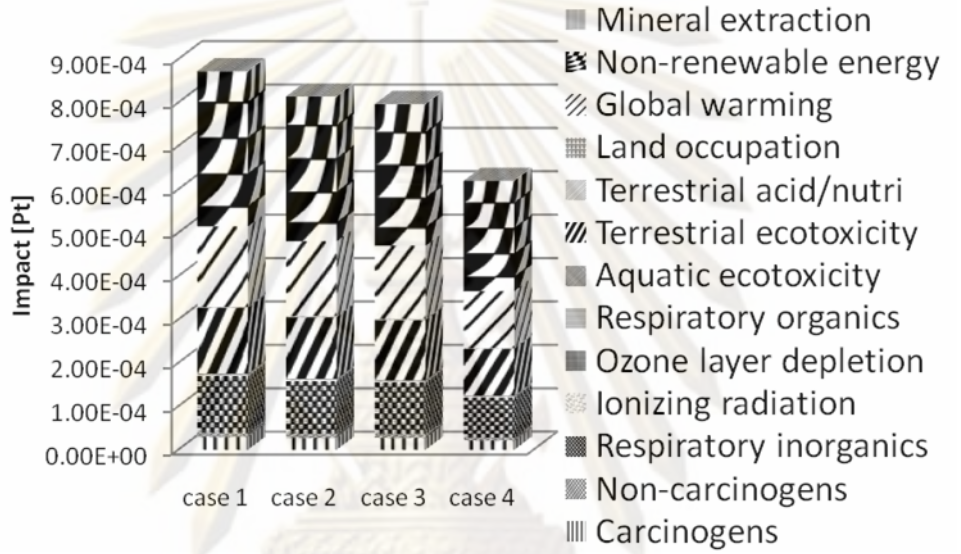
Inventory	case 1	case 2	case 3	case 4
Meterial (Kg)				
EDC	1.768011394	1.686345506	1.630494	1.6031584
Trichloro Ethane	0.000786445	0.000718548	0.0006595	0.0005908
Ethylene	0.000463442	0.000423431	0.0003886	0.0003481
Perchloro Ethane	0.000238741	0.00021813	0.0002002	0.0001793
Energy (kJ)				
heat	8659.266319	6413.993393	5886.4737	6029.5965
cool	10102.79826	9222.29254	8463.8039	5194.4015
Electrical	405.6178058	341.0755217	313.02372	458.78581
	19167.68238	15977.36145	14663.301	11682.784
Product (kg)				
VCM	1	1	1	1
By product (kg)				
HCl	0.592371281	0.590336907	0.5868532	0.5815522
Emission (kg)				
Acetylene	0.000136846	0.000190942	0.0002142	0.0002868
Ethylene	6.73086E-05	9.08319E-05	0.0001223	0.0001933
Trichloro Ethane	0.015511316	0.014851065	0.0143046	0.0134428
Perchloro Ethane	0.007611691	0.00709598	0.0066422	0.0061132
carbon	7.36865E-05	9.56126E-05	9.554E-05	9.28E-05
Dichloro Ethane	0.000460695	0.000398574	0.0003746	0.0003451
Methane	5.26332E-07	6.2233E-07	7.01E-07	9.07E-07
EDC	0.138394378	0.056575486	0.020769	0.0034654
VCM	0.013746556	0.010409889	0.0045692	0.0035816

4.1.2 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์

การผลิตไวนิลคลอไรด์ด้วยกรณีที่ 1,กรณีที่ 2, กรณีที่ 3 และ กรณีที่ 4 นั้นมีความแตกต่างกันตรงที่พลังงานที่ใช้ในระบบ อีกทั้งสภาวะในถังปฏิกรณ์ที่แตกต่างกันนั้น ส่งผลต่อการเกิดค่าการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นที่แตกต่างกันไปด้วย ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมนั้นจึงมีความแตกต่างกัน งานวิจัยนี้ทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 2 รูปแบบการวิเคราะห์ คือ

4.1.2.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์แต่ละขั้นตอนการผลิต

แสดงให้เห็นถึงค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของแต่ละกระบวนการผลิตทั้ง 3 ส่วน คือส่วนของการผลิตวัตถุดิบ , ส่วนของการใช้พลังงานในการผลิตไวนิลคลอไรด์ (heating , cooling และ electricity) และส่วนของการปลดปล่อยของเสียของการผลิตไวนิลคลอไรด์ และแสดงให้เห็นว่าแต่ละขั้นตอนก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประเภทใด

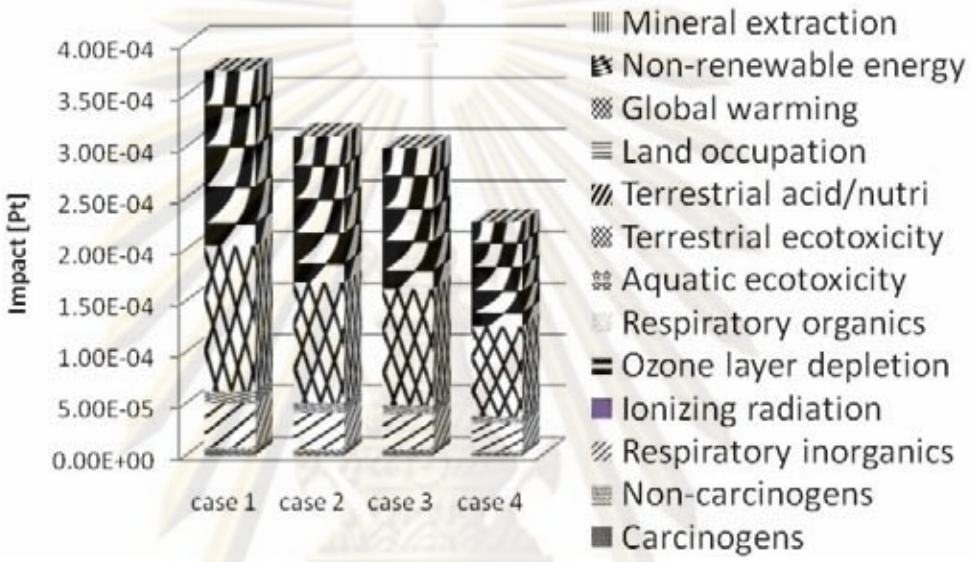


ภาพที่ 4.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในส่วนของการผลิตวัตถุดิบ

จากภาพที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นในส่วนของการผลิตวัตถุดิบคือ การใช้พลังงานที่ไม่สามารถใช้ซ้ำได้ (non-renewable energy) โดยเป็น 45 % ของผลกระทบทั้งหมด รองลงมาเป็น ภาวะโลกร้อน(Global warming) , ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตบนดิน (Terrestrial ecotoxicity) และ ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiration inorganic) ตามลำดับ โดยผลกระทบของทั้ง 4 กรณีศึกษาเป็นไปในแนวโน้มเดียวกัน

จากฐานข้อมูลการผลิตวัตถุดิบพบว่า สาเหตุที่การผลิตวัตถุดิบ EDC เกิดผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ไม่สามารถใช้ซ้ำได้ (non-renewable energy) เนื่องจากการบวนการผลิตวัตถุดิบนั้นใช้เชื้อเพลิง จาก ถ่านหิน และ ฟอสซิล ซึ่งเป็นพลังงานที่ไม่สามารถใช้ซ้ำได้ , สาเหตุที่เกิดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน(Global warming) เนื่องจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบมีการปล่อย CO_2, CO และ ไฮโดรคาร์บอนอีกหลายชนิด เช่น อีเธน มีเทน โดยสารเหล่านี้จะทำให้เกิดผลกระทบทางด้านภาวะโลกร้อน , สาเหตุที่เกิดผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตบนดิน (Terrestrial ecotoxicity) เนื่องจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบมีการปล่อย สารประกอบจำพวก

มีเทน , เบนซีน และ อีเทน โดยสารเหล่านี้จะทำให้เกิดผลกระทบทางด้านความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตบนดิน และสาเหตุที่ทำให้เกิดผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiration inorganic) เนื่องจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบมีการปล่อย CO , แอมโมเนีย และ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยสารเหล่านี้จะทำให้เกิดผลกระทบทางด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร

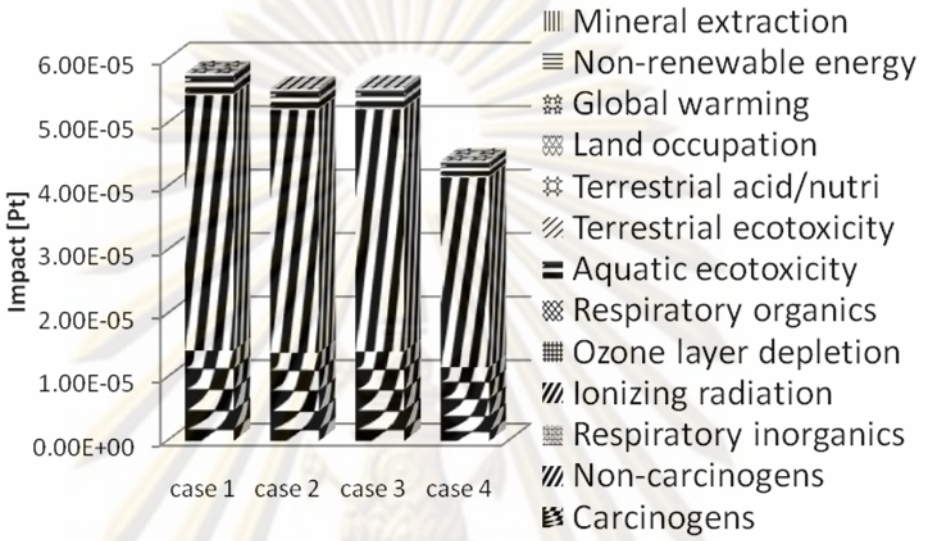


ภาพที่ 4.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในส่วนของการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต

จากภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นในส่วนของการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตคือ การใช้พลังงานที่ไม่สามารถใช้ซ้ำได้ (non-renewable energy) และ ภาวะโลกร้อน (Global warming) โดยทั้งสองผลกระทบเป็น 80% ของผลกระทบทั้งหมด รองลงมาเป็นผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiration inorganic) และ ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตบนดิน (Terrestrial ecotoxicity) ตามลำดับ โดยผลกระทบของทั้ง 4 กรณีศึกษาเป็นไปในแนวโน้มเดียวกัน

จากฐานข้อมูลการผลิตพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์พบว่า สาเหตุที่การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์เกิดผลกระทบด้านการใช้พลังงานที่ไม่สามารถใช้ซ้ำได้ (non-renewable energy) เนื่องจากพลังงานที่ใช้นั้นคือเชื้อเพลิง จาก น้ำมัน และ ถ่านหิน ซึ่งเป็นพลังงานที่ไม่สามารถใช้ซ้ำได้ , สาเหตุที่เกิดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน (Global warming) เนื่องจากการผลิตพลังงานนั้นมีการปล่อย CO_2, CO และ ไฮโดรคาร์บอนอีกหลายชนิด โดยสารเหล่านี้จะทำให้เกิดผลกระทบทางด้านภาวะโลกร้อน และสาเหตุที่ทำให้เกิดผลกระทบด้านการ

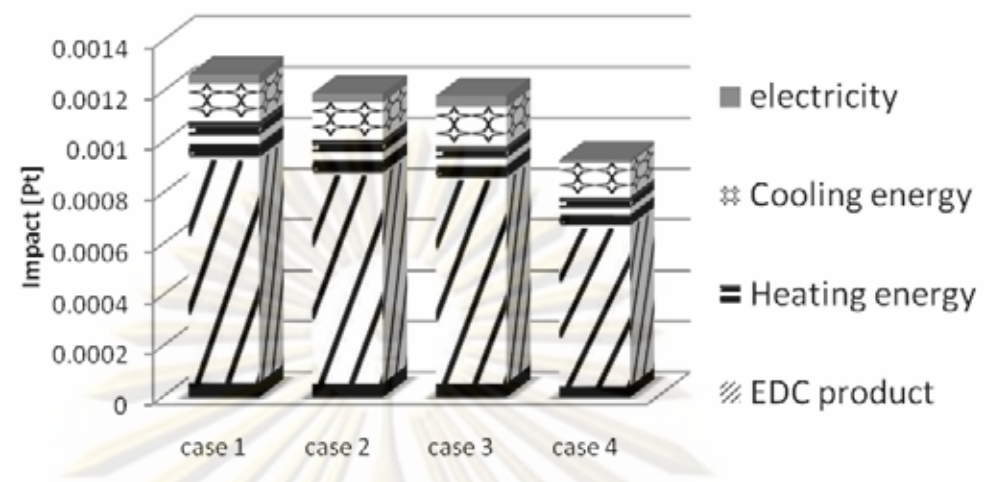
หายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiration inorganic) เนื่องจากขั้นตอนการผลิตพลังงานมีการปล่อย CO , แอมโมเนีย และ ไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยสารเหล่านี้จะทำให้เกิดผลกระทบทางด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร



ภาพที่ 4.3 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในส่วนของการปลดปล่อยของเสียจากกระบวนการผลิต

จากภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นในส่วนของการปลดปล่อยของเสียจากกระบวนการผลิต คือ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (non-carcinogens) โดยเป็น 65% ของผลกระทบทั้งหมด ผลกระทบรองลงมาเป็น สารก่อมะเร็ง (carcinogens) เป็น 25% ของผลกระทบทั้งหมด และความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (aquatic ecotoxicity) เป็น 10 % ของผลกระทบทั้งหมด โดยผลกระทบของทั้ง 4 กรณีศึกษาเป็นไปในแนวโน้มเดียวกัน

จากการปลดปล่อยของเสียในกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ พบว่า มีผลกระทบทางด้านสุขภาพมนุษย์ที่ไม่ก่อเกิดมะเร็ง (non-carcinogens) เนื่องจากกระบวนการผลิตมีการปลดปล่อย มีเทน และ เปอร์คลอโรอีเทน ส่วนผลกระทบทางด้านสารก่อมะเร็ง (carcinogens) เนื่องจากกระบวนการผลิตมีการปลดปล่อย อะเซทีลีน , ไตรคลอโรอีเทน และ ไดคลอโรอีเทน โดยสารเหล่านี้ทำให้เกิดผลกระทบด้านสารก่อมะเร็ง และผลกระทบทางด้านความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (aquatic ecotoxicity) เนื่องจากกระบวนการผลิตมีการปลดปล่อย เปอร์คลอโรอีเทน ไตรคลอโรอีเทน และ ไดคลอโรอีเทน โดยสารเหล่านี้ทำให้เกิดผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ



ภาพที่ 4.4 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์เปรียบเทียบแต่ละส่วนของการผลิต

จากภาพที่ 4.4 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากกระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 1 ที่สูงที่สุดอยู่ในขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ โดย มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 0.873 MPt รองลงมาเป็น พลังงานที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่กระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 0.169 MPt

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากกระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 2 ที่สูงที่สุดอยู่ในขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ โดย มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 0.815 MPt รองลงมาเป็น พลังงานที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่กระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 0.157 MPt

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากกระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 3 ที่สูงที่สุดอยู่ในขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ โดย มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 0.797 MPt รองลงมาเป็น พลังงานที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่กระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 0.149 MPt

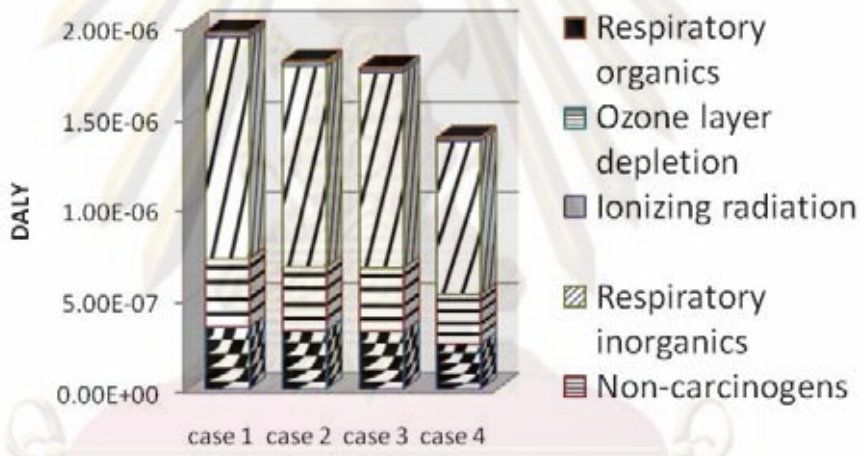
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากกระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 4 ที่สูงที่สุดอยู่ในขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ โดย มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 0.621 MPt รองลงมาเป็น พลังงานที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่กระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 0.135 MPt

จากการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ภาพที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าผลกระทบส่วนใหญ่เกิดจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ EDC โดยมากกว่าขั้นตอนอื่นๆรวมกันประมาณ 2 เท่า รองลงมาเป็นพลังงานที่ใช้ในการให้ความร้อน , พลังงานในการให้ความเย็น ,

พลังงานไฟฟ้าอื่นๆ และของเสียที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิต ตามลำดับ โดยเป็นแนวโน้มเดียวกันทั้ง 4 กระบวนการ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า สิ่งที่ทำให้กระบวนการทั้ง 4 กระบวนการแตกต่างกันเกิดจากปริมาณการใช้สารตั้งต้นที่แตกต่างกันในการผลิตไวนิลคลอไรด์ 1 กิโลกรัม

4.1.2.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์

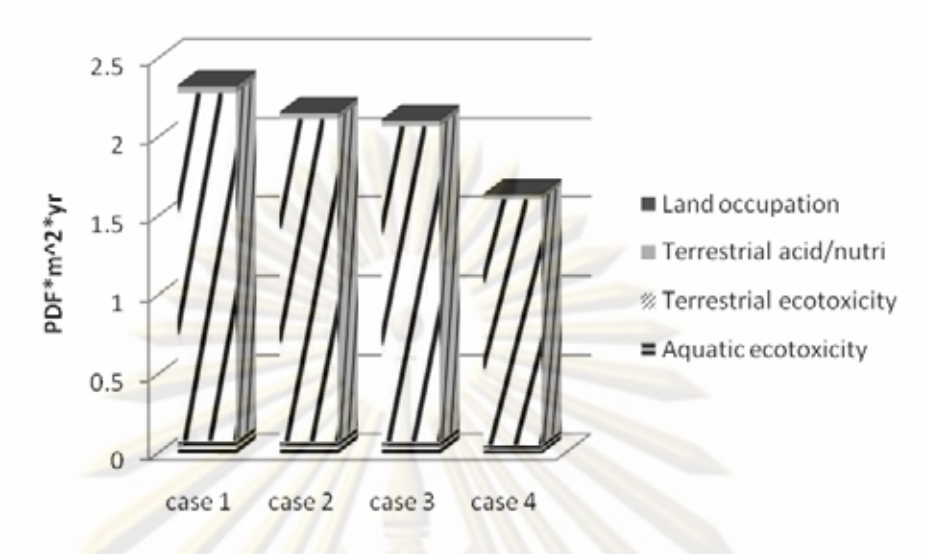
ประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์เปรียบเทียบทั้ง 4 กรณีศึกษา โดยแบ่งแต่ละกลุ่มผลกระทบหลัก 4 กลุ่ม(Damage category) คือ ผลกระทบต่อมนุษย์ (Human health) ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ (Ecosystem quality) , ผลกระทบต่อพลังงาน (Resource) และภาวะโลกร้อน(Climate change) และเปรียบเทียบว่ากรณีศึกษาใดเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่สุด โดยใช้คะแนนเดี่ยว(single score)



ภาพที่ 4.5 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์: กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์

จากภาพที่ 4.5 แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมการกระบวนผลิตไวนิลคลอไรด์ ในกลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ พบว่า ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiratory inorganic) โดยเป็น 65% ของผลกระทบทั้งหมด ซึ่งเกิดจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ และการใช้พลังงานในการผลิตไวนิลคลอไรด์

รองลงมาเป็นผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์แต่ไม่ก่อเกิดมะเร็ง (non-carcinogen) , สารก่อมะเร็ง โดยเป็น 18% และ 15% ของผลกระทบทั้งหมดตามลำดับ ซึ่งเกิดจากขั้นตอนการปลดปล่อยของเสียจากกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์



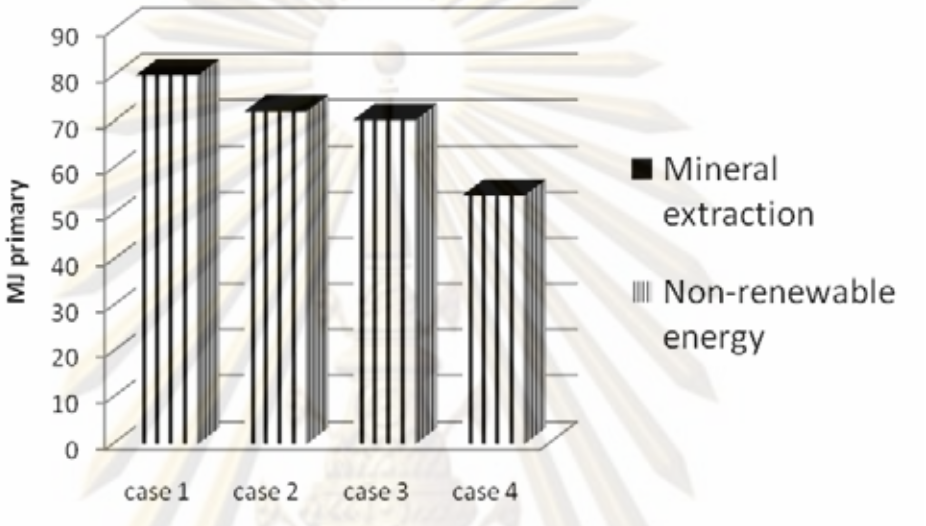
ภาพที่ 4.6 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์:กลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์

จากภาพที่ 4.6 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ของกลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ พบว่า ผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตบนดิน (Terrestrial ecotoxicity) โดยเป็น 95% ของผลกระทบทั้งหมด ซึ่งเกิดจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ

รองลงมาเป็นผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (Aquatic ecotoxicity) , การเกิดกรดและ/หรือการเกิดไนเตรทบนดิน (Terrestrial acid/nutria) โดยเป็น 3% และ 2% ของผลกระทบทั้งหมดตามลำดับ ซึ่งเกิดจากส่วนของการผลิตวัตถุดิบ

ภาพที่ 4.7 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ : ด้านภาวะโลกร้อน

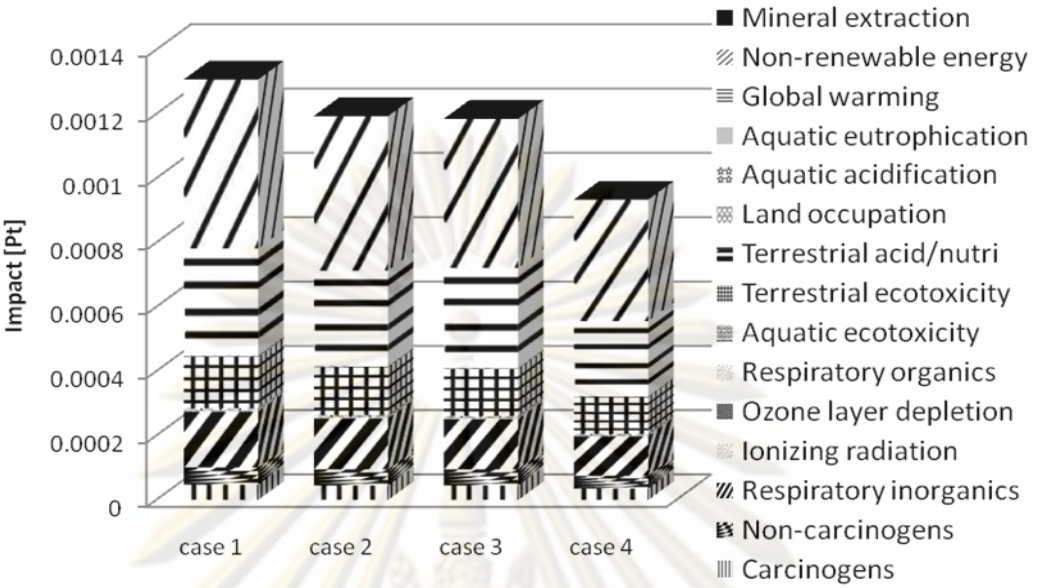
จากภาพที่ 4.7 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ด้านภาวะโลกร้อน พบว่า มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 3.24 , 2.88 , 2.80 และ 2.17 kg CO_2 eq ในกรณีที่ 1 , 2 , 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากส่วนของการผลิตวัตถุดิบและ ส่วนของการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต



ภาพที่ 4.8 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์:กลุ่มผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ

จากภาพที่ 4.8 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ของกลุ่มผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติพบว่า ผลกระทบด้านความการใช้พลังงานที่ไม่สามารถใช้ซ้ำได้ (non-renewable energy) โดยเป็น 99% ของผลกระทบทั้งหมด ซึ่งเกิดจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ และส่วนของการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.9 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์เปรียบเทียบแต่ละผลกระทบ

จากภาพที่ 4.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากกระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 1 ที่สูงที่สุดคือ Non-renewable energy โดย มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 0.53 MPt รองลงมาเป็น Global warming มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 0.33 MPt

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากกระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 2 ที่สูงที่สุดคือ Non-renewable energy โดย มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 0.48 MPt รองลงมาเป็น Global warming มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 0.297 MPt

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากกระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 3 ที่สูงที่สุดคือ Non-renewable energy โดย มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 0.46 MPt รองลงมาเป็น Global warming มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 0.311 MPt

และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากกระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 4 ที่สูงที่สุดคือ Non-renewable energy โดย มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 0.38 MPt รองลงมาเป็น Global warming มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 0.234 MPt

โดยประเภทผลกระทบทั้ง 4 กระบวนการมีแนวโน้มเดียวกันจากมากไปน้อย คือ Non-renewable energy , Global warming , Respiratory organics และ Terrestrial ecotoxicity

จากภาพที่ 4.1 และ 4.2 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการที่ส่งผลกระทบจากมากไปน้อยคือ กระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 1 , กระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 2 , กระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 3

และกระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 4 โดยมีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประมาณ 1.308 MPt , 1.194 MPt , 1.186 MPt และ 0.934 MPt ตามลำดับ

4.2 การประเมินวัฏจักรชีวิตกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ภายใต้ความไม่แน่นอน

วิเคราะห์เปรียบเทียบกับการประเมินภายใต้ความไม่แน่นอนของสภาวะในถังปฏิกรณ์ อันจะส่งผลต่อค่าพลังงานที่ใช้ ,ค่าผลได้ของผลิตภัณฑ์, ผลิตภัณฑ์ข้างเคียง และของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต โดยในการเปรียบเทียบแต่ละกระบวนการผลิตนั้น เป็นการผลิตไวนิลคลอไรด์ปริมาณ 1 กิโลกรัม

4.2.1 การทำบัญชีรายการ

การทำบัญชีรายการ ของผลิตภัณฑ์ไวนิลคลอไรด์ปริมาณ 1 กิโลกรัม เมื่อพิจารณาภายใต้ความไม่แน่นอนของสภาวะในถังปฏิกรณ์ อันจะส่งผลต่อค่าพลังงานที่ใช้ ,ค่าผลได้ของผลิตภัณฑ์, ผลิตภัณฑ์ข้างเคียง และของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต แสดงดังตารางที่ 4.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.2 แสดงปริมาณวัตถุดิบ ,พลังงาน และของเสียที่ปลดปล่อยออกจากกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ภายใต้ความไม่แน่นอน

Inventory	กรณีที่ 1			กรณีที่ 2			กรณีที่ 3			กรณีที่ 4		
Meterial (Kg)												
EDC	1.750331	-	1.785692	1.669482	-	1.703209	1.614189	-	1.646799	1.587127	-	1.61919
Trichloro Ethane	0.000779	-	0.000794	0.000711	-	0.000726	0.000653	-	0.000666	0.000585	-	0.000597
Ethylene	0.000459	-	0.000468	0.000419	-	0.000428	0.000385	-	0.000392	0.000345	-	0.000352
Perchloro Ethane	0.000236	-	0.000241	0.000216	-	0.00022	0.000198	-	0.000202	0.000178	-	0.000181
Energy (kJ)												
heat	8572.674	-	8745.859	6349.853	-	6478.133	5827.609	-	5945.338	5969.301	-	6089.892
cool	10001.77	-	10203.83	9130.07	-	9314.515	8379.166	-	8548.442	5142.457	-	5246.345
Electrical	401.5616	-	409.674	337.6648	-	344.4863	309.8935	-	316.154	454.198	-	463.3737
	18976.01	-	19359.36	15817.59	-	16137.14	14516.67	-	14809.93	11565.96	-	11799.61
Product (kg)												
VCM	1			1			1			1		
By product (kg)												
HCl	0.586448	-	0.598295	0.584434	-	0.59624	0.580985	-	0.592722	0.575737	-	0.587368
Emission (kg)												
Acetylene	0.000135	-	0.000138	0.000189	-	0.000193	0.000212	-	0.000216	0.000284	-	0.00029
Ethylene	6.66E-05	-	6.8E-05	8.99E-05	-	9.17E-05	0.000121	-	0.000124	0.000191	-	0.000195
Trichloro Ethane	0.015356	-	0.015666	0.014703	-	0.015	0.014162	-	0.014448	0.013308	-	0.013577
Perchloro Ethane	0.007536	-	0.007688	0.007025	-	0.007167	0.006576	-	0.006709	0.006052	-	0.006174

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.2 แสดงปริมาณวัตถุดิบ ,พลังงาน และของเสียที่ปลดปล่อยออกจากกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ภายใต้ความไม่แน่นอน (ต่อ)

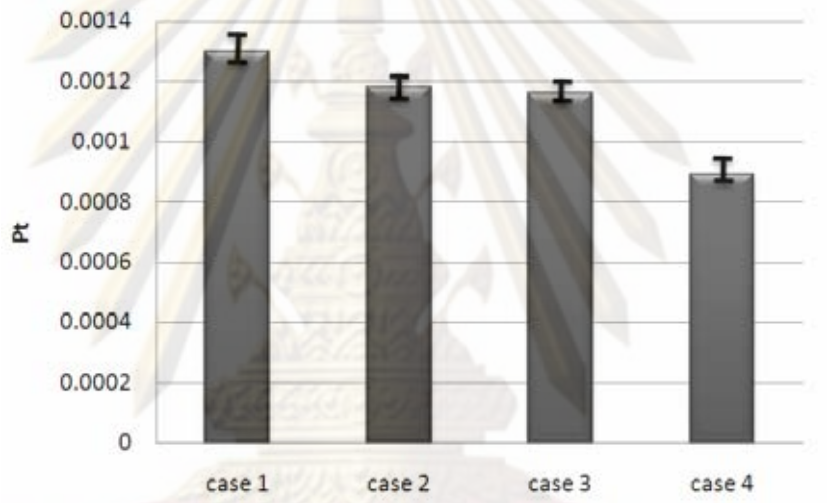
Inventory	กรณีที่ 1			กรณีที่ 2			กรณีที่ 3			กรณีที่ 4		
Emission (kg)												
carbon	7.29E-05	-	7.44E-05	9.47E-05	-	9.66E-05	9.46E-05	-	9.65E-05	9.19E-05	-	9.37E-05
Dichloro Ethane	0.000456	-	0.000465	0.000395	-	0.000403	0.000371	-	0.000378	0.000342	-	0.000349
Methane	5.21E-07	-	5.32E-07	6.16E-07	-	6.29E-07	6.94E-07	-	7.08E-07	8.98E-07	-	9.16E-07
EDC	0.13701	-	0.139778	0.05601	-	0.057141	0.020561	-	0.020977	0.003431	-	0.0035

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ภายใต้ความไม่แน่นอน

จากขั้นตอนการทำบัญชีรายการ ดังตาราง 4.2 จะเห็นได้ว่าข้อมูลมีลักษณะเป็นช่วงข้อมูลประกอบด้วย ค่าน้อยและมาก ในขั้นตอนการประเมินผลกระทบจะทำการวิเคราะห์ปัญหาด้วยวิธีการจำลองแบบมอนติคาโล [24-27] กล่าวคือทำการสุ่มตัวอย่างที่อยู่ในช่วงของข้อมูลจำนวน 10000 ครั้ง [28-30] แล้วทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี Impact 2002+

4.2.2.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์



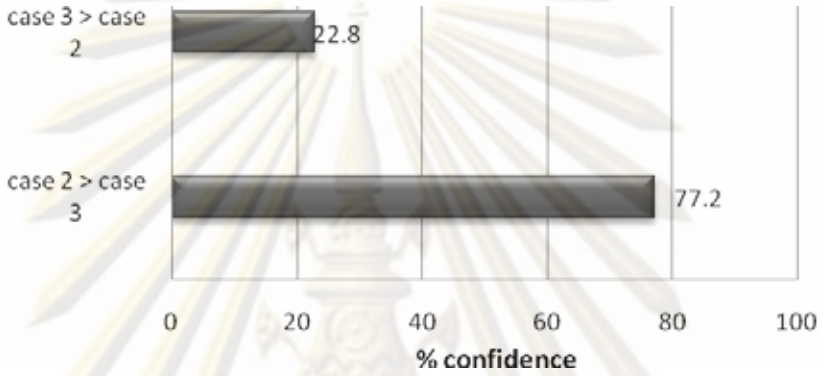
ภาพที่ 4.10 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ภายใต้ความไม่แน่นอน

จากภาพที่ 4.10 จะเห็นได้ว่ากระบวนการผลิตด้วยกรณีที่1 มีค่าความผันแปรของผลกระทบอยู่ระหว่าง 1.26-1.35 MPt , กระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 2 มีค่าความผันแปรของผลกระทบอยู่ระหว่าง 1.14-1.22 MPt , กระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 3 มีค่าความผันแปรของผลกระทบอยู่ระหว่าง 1.12-1.20 MPt และกระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 4 มีค่าความผันแปรของผลกระทบอยู่ระหว่าง 0.86-0.922 MPt

จะเห็นได้ว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ด้วยกระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 1 มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงที่สุด รองลงมาเป็นกระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 2, กระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 3 และกระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 4 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็

ตามเมื่อพิจารณาระหว่างกระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 2 และ กระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 3 นั้น ยังมีความเป็นไปได้ในที่กระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 3 จะให้ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงกว่ากระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 2 เนื่องจากมีความเหลื่อมล้ำของค่าความผันแปร

ในงานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความเชื่อมั่นในการเกิดค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของ กระบวนผลิตด้วยกรณีที่ 2 และ กระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 3



ภาพที่ 4.11 ผลการประเมินความเชื่อมั่นในการเกิดค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 2 และ กระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 3

จากภาพที่ 4.11 ผลการประเมินความเป็นไปได้ในการเกิดร้อยละของค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 2 และ กระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 3 พบว่า ค่าความเชื่อมั่นที่กระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 2 จะเกิดผลกระทบมากกว่ากระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 3 มี ร้อยละ 77.2 และค่าความเชื่อมั่นที่กระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 3 จะเกิดผลกระทบมากกว่ากระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 2 มี ร้อยละ 22.8 ดังนั้น กระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 2 มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดผลกระทบมากกว่ากระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 3

จะเห็นได้ว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์โดยกระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 1 มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงที่สุด รองลงมาเป็น กระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 2 , กระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 3 และกระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 4 ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 การพัฒนากระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์

การพัฒนากระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์เพื่อลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสามารถทำได้โดยการทำโครงข่ายแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger Network)**[31]** มาทำการพัฒนากระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ แล้วทำการวิเคราะห์ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตเปรียบเทียบภายหลังการทำโครงข่ายแลกเปลี่ยนความร้อน

4.3.1 การทำบัญชีรายการ

ในกระบวนการผลิตมี เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอยู่ 5 ตัว เป็นเครื่องทำความร้อน 3 เครื่อง และเครื่องทำความเย็น 2 เครื่อง

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิตกรณีที่ 1

Exchanger	กรณีที่ 1			
	Base – case [kJ/h]		Heat Exchange Network [kJ/h]	
	Heat	Cool	Heat	Cool
H1	2151.848	-	1184.856	-
H2	122.391	-	-	-
C1	-	1980.767	-	760.207
C2	-	11.334	-	11.334

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิตกรณีที่ 2

Exchanger	กรณีที่ 2			
	Base - case[kJ/h]		Heat Exchange Network[kJ/h]	
	Heat	Cool	Heat	Cool
H1	2287.686151	-	966.807319	-
H2	110.0507701	-	-	-
C1	-	1835.749944	-	403.7405731
C2	-	10.55319812	-	10.55319812

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิตกรณีที่ 3

Exchanger	กรณีที่ 3			
	Base - case[kJ/h]		Heat Exchange Network[kJ/h]	
	Heat	Cool	Heat	Cool
H1	2410.904655	-	691.3607427	-
H2	108.3253488	-	-	-
C1	-	1839.572975	-	387.2220482
C2	-	8.000716256	-	8.000716256

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิตกรณีที่ 4

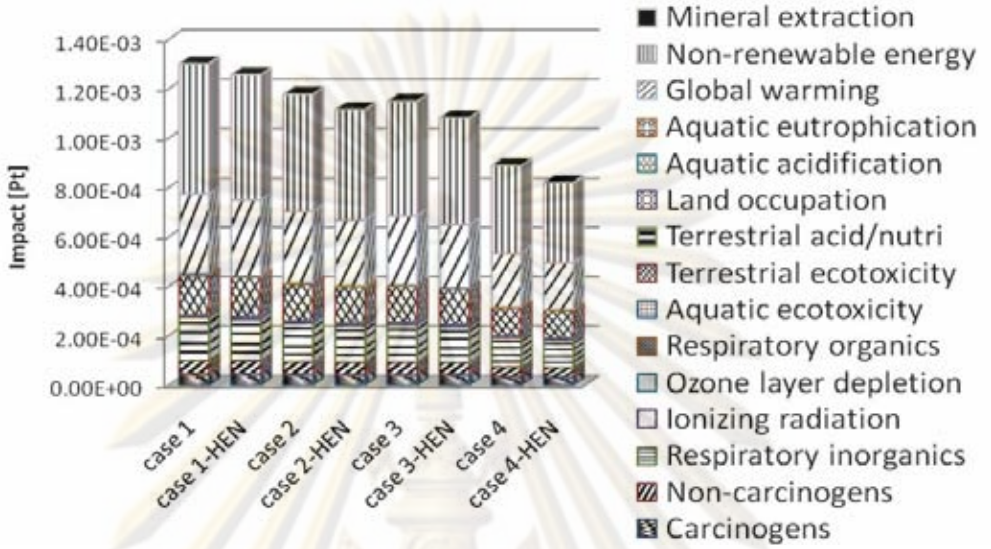
Exchanger	กรณีที่ 4			
	Base - case[kJ/h]		Heat Exchange Network[kJ/h]	
	Heat	Cool	Heat	Cool
H1	2597.086404		877.5783492	-
H2	71.75101485		-	-
C1	-	1881.176188	-	237.2692265
C2	-	6.305831302	-	6.305831302

4.2.2 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์

งานวิจัยนี้ทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี Impact 2002+ เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการใช้พลังงานหลังจากการนำหลักการออกแบบโครงข่ายแลกเปลี่ยนความร้อน มาทำการพัฒนากระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์



ภาพที่ 4.12 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์

จากภาพที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์จะลดลงเมื่อนำหลักการออกแบบโครงข่ายแลกเปลี่ยนความร้อนมาทำการพัฒนากระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ สาเหตุจากการลดพลังงานในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

โดยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 1 ลดลงจาก 1.3 เป็น 1.26 MPt , ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 2 ลดลงจาก 1.18 เป็น 1.12 MPt , ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 3 ลดลงจาก 1.15 เป็น 1.08 MPt และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 4 ลดลงจาก 0.89 เป็น 0.82 MPt เมื่อนำหลักการออกแบบโครงข่ายแลกเปลี่ยนความร้อนมาทำการพัฒนากระบวนการผลิต โดยแบบจำลองกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ภายหลังการทำหลักการเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแสดงในภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

เครื่องมือที่ใช้ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมที่สุดคือ เครื่องมือการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA) เนื่องจากครอบคลุมผลกระทบทั้งระดับโลก มุ่งเน้นในการปรับปรุง การวางแผนระยะยาว และไม่จำกัดพื้นที่ในการศึกษา ดังนั้น LCA จึงเครื่องมือที่นำมาใช้ประเมินผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการซึ่งมีความเหมาะสมกับงานวิจัยและทำการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ เนื่องจากรายงานผลผลิตไวนิลคลอไรด์ ในปี ค.ศ 1920 -1970 มีปริมาณการผลิต 27-41 ล้านกิโลกรัมต่อปี ต่อมาในปี 1980-1990 เพิ่มขึ้นเป็น 150 ล้านกิโลกรัมต่อปีจนกระทั้งปัจจุบัน ได้เพิ่มสูงขึ้นเป็น 180 ล้านกิโลกรัมต่อปี จากผลผลิตที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้คาดการณ์ได้ว่ายังคงมีความต้องการไวนิลคลอไรด์อย่างต่อเนื่องในอนาคต

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวสรุปผลกระทบของการจำลองกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์แต่ละกรณีศึกษาว่ากรณีใดมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดภายใต้การประเมินความไม่แน่นอน และเสนอแนวทางพัฒนาโดยการทำโครงข่ายแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger Network) รวมถึงข้อเสนอแนะของการทำงานวิจัยนี้

งานวิจัยนี้แบบออกเป็น 4 ส่วนใหญ่ๆคือ การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์แต่ละกระบวนการผลิต , การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ภายใต้ความไม่แน่นอน , การพัฒนากระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์โดยการทำโครงข่ายแลกเปลี่ยนความร้อน และการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์โมโนเมอร์ภายหลังการทำโครงข่ายแลกเปลี่ยนความร้อน

จากการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์โดยโปรแกรมสำเร็จรูป Sima Pro โดยวิธี Impact 2002+ ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสามารถสรุปได้ดังนี้

1) จากการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ จะเห็นได้ว่าผลกระทบส่วนใหญ่เกิดจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ EDC โดยมากกว่าขั้นตอนอื่นๆ รวมกันประมาณ 1 เท่า รองลงมาเป็นพลังงานที่ใช้ในการให้ความร้อน , พลังงานในการให้ความเย็น , พลังงานไฟฟ้าอื่นๆ และของเสียที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิต ตามลำดับ โดยเป็นแนวโน้มเดียวกันทั้ง 4 กระบวนการ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า สิ่งที่ทำให้กระบวนการทั้ง 4 กระบวนแตกต่างกันเกิดจากปริมาณการใช้สารตั้งต้นที่แตกต่างกันในการผลิตไวนิลคลอไรด์ 1 กิโลกรัม

2) จากการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ จะเห็นได้ว่าประเภทผลกระทบที่เป็นปัจจัยหลักในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมคือ Non-renewable energy โดย มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าประเภทอื่น 2 เท่า

3) แสดงให้เห็นว่ากระบวนการที่ส่งผลกระทบจากมากไปน้อยคือ กระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 1 , กระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 2 , กระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 3 และกระบวนการผลิตด้วยกรณีที่ 4 ถึงแม้จะมีการพิจารณาถึงความไม่แน่นอนแต่ก็ยังคงให้แนวโน้มผลกระทบเช่นเดิม

4) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ลดลงเมื่อนำหลักการออกแบบโครงข่ายแลกเปลี่ยนความร้อนมาทำการพัฒนากระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ เนื่องจากเป็นการช่วยให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ในส่วนของการพัฒนากระบวนการผลิต ควรพิจารณาค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการพัฒนาเพื่อประกอบการพิจารณาศึกษาความเป็นไปได้

2) วิธีในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ในงานวิจัยได้ใช้วิธี Impact 2002+ ซึ่งมีค่าแฟคเตอร์ต่างๆ รวมถึงการให้น้ำหนักความสำคัญกับผลกระทบในแต่ละประเภท ค่าเหล่านี้มาจากประเทศในแถบยุโรป จึงควรทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้เป็นค่าที่เหมาะสมกับประเทศไทยมากที่สุด

3) ควรขยายขอบเขตการศึกษาของกระบวนการผลิตไวนิคลอไรด์ ให้เป็นแบบ cradle-to-grave เพื่อให้มีความแม่นยำยิ่งขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] Bureau of Ministry of International Trade and Industry (MITI). Data of the advisory committee for the Basic Industries. Japan, 2006.

[2] Saeki . Y. Data of Vinyl Environmental Council. Japan. 2007.

[3] Link.G.,et al.Process for the Manufacture of Vinyl Chloride by the Thermal Cracking of 1,2-DichloroEthane. U.S patent 4,324,932,1982.

[4] ToshoCrop.Process for Thermal Cracking of 1,2-DichloroEthane To form Vinyl Chloride.U.S patent 4,746759,1987.

[5] Wacker-Chemic.Heat Recovery in Production of Vinyl Chloride by Pyrolysis of DichloroEthane .U.S patent 4,822,932,1992.

[6] Elf Atochem.Prepartion of Vinyl Chloride by Pyrolysis of 1,2-Dichloroethane.U.S patant 5,488,190,1996.

[7] ปมทอง มาลากุล ณ อยุธยา และคณะ.เทคโนโลยีด้านการประเมินวัฏจักรชีวิต/ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม.กรมควบคุมมลพิษ,2548.

[8] พงษ์วิภา หล่อสมบูรณ์ และคณะ.หลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA). สำนักงานวิจัยและพัฒนาการเกษตร.2544.

[9] Kimura.,et al.Efficient information visualization in LCA .The International Journal of Life Cycle Assessment (2008):259-265.

[10] SETAC.SETAC Europe LCA Steering Committee.The International Journal of Life Cycle Assessment.(2008)

[11] สถาบันเพิ่มพูนผลผลิตแห่งชาติ.การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์.2545.

[12] Olivier J.,et al.IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology, The International Journal of Life Cycle Assessment 8(2003):324 – 330.

[13] สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.ฐานข้อมูลโรคที่เกี่ยวข้องกับการทำงานและสารเคมี [online].(2546).available from: http//www.chemtrack.org.[2552].

[14] Hochst . A.,et al.Process for theThermal of cleavage of dichloroethane. U.S patant 4,851,597,1984.

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

[16] Tukker,A.H.,and Karra, V. Life cycle Assessment of a Rock crusher.Resources Conresvation and Recycling 28(2000):207-217.

[17] A.Azapagic , A . Methodology for Integrating Sustainability Considerations into Process Design. Chemical Engineering Research and Design 84(2006):439–452.

[18] A. Lakshmanan. A case study for reactor network synthesis: the vinyl chloride Process. Computers and Chemical Engineering 23 (1999): 479–495.

[19] Kirana Chomkumsri. Life Cycle Assessment of Electricity Generating (Thermal and Hydro Power Plant) of Thailand Using SimaPro 5.0. Master'Thesis Depratment of Chemical Engineering Kasetsart University,2003.

[20] Asif . M.,Muneer.T.,and Kelley. R. Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland. Builing and Environment 42(2007):1397-1394.

[21] Hubert . H., Stephane.L ., and Albert.G. Comparison of life cycle assessment methods application to a wastewater treatment plant . CIRP INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIFE CYCLE ENGINEERING ,(2006)

[22] Johns.W.R., Kokossis . A ., and Thompson.F. A flowsheeting approach to integrated life cycle analysis.chemical engineering and processing 7(2008) :557-564.

[23] Harding.K.G .,et.al . A life-cycle comparison between inorganic and biological catalysis for the productionof biodiesel. Journal of Cleaner Production 87(2007):1-11.

[24] Sugiyama . H.,et al. Using Standart Statistic to Consider Uncertainty in Industry-Based Life cycle Inventory Data Base.The International Journal of Life Cycle Assessment 10(2005):399-405.

[25] Philip G. Monte Carlo Analysis as a tool for Characterizing Uncertainty. Michigan State University . Michigan,2005.

[26] Refsgaard,J.C.,et al. Uncertainty in the Environmental modeling process A framework and guidance.Environment Modelling & Software22(2007):1543-1556.

[27] Hammonds.S ., Hoffman. F., and M. Bartell S. An Introductory Guide to Uncertainty Analysis in Environmental and Health Risk Assessment. OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY.Oak Ridge, Tennessee ,1994.

[28] Philip G. Uncertainty Analyzer 1.0, Integrated Sciences Group, 1994.

[29] Julio .C. Integrated Static Model Uncertainty Analysis. Chevron Canada Resources. Canada,1996.

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

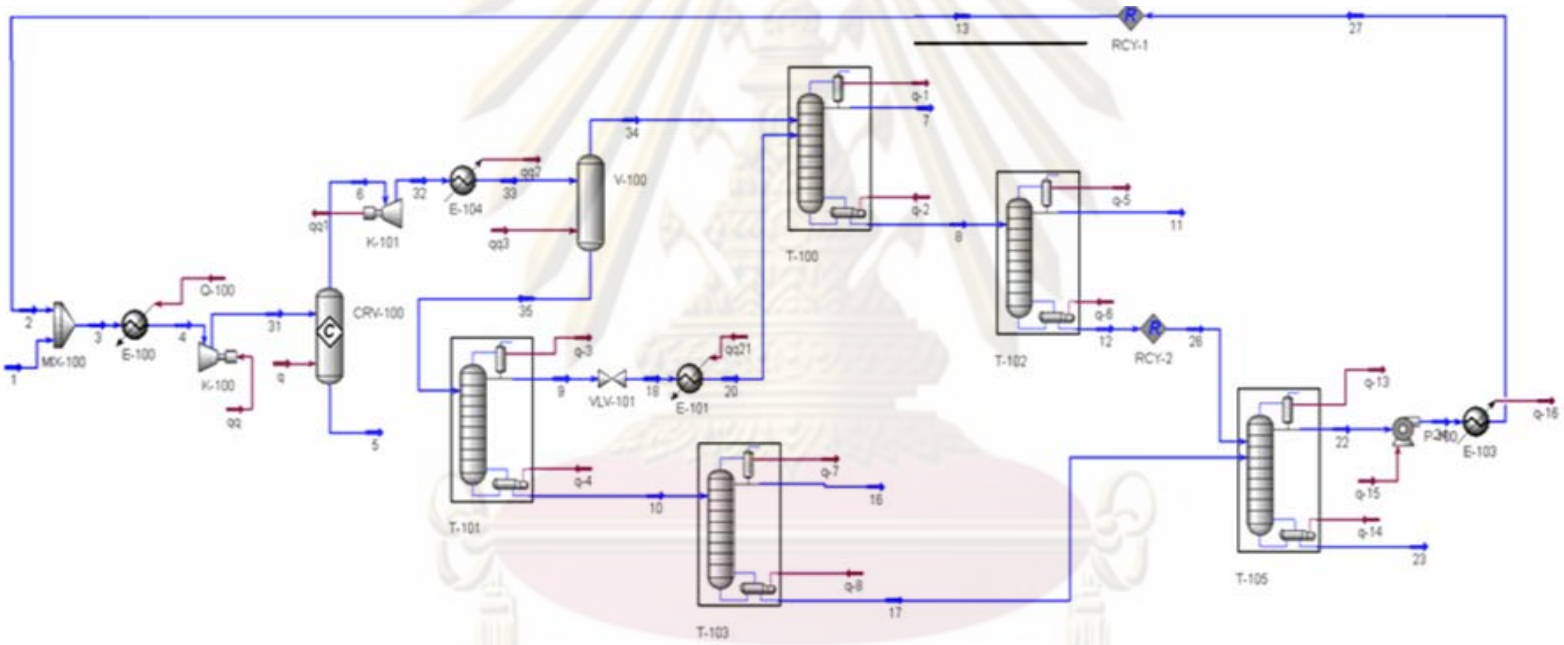
[31] Linnhoff,B .,and Hindmarsh.E.The Pinch Design Method for Heat Exchange Network. Chemical Engineering Science 38 (1983):745-763.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนผังการจำลองกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์



รูป 1 แผนผังการจำลองกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้หลักโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ตารางที่ 1 อุณหภูมิสายขาเข้า-ขาออกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนในการผลิตไวนิลคลอไรด์ด้วยกรณีที่ 1

Exchanger		case 1		
		Q [kJ]	Tin[°c]	Tout[°c]
H1	E-100	2151.848738	51	480
H2	E-101	122.3913117	1	25
C1	E-104	1980.767109	450	25
C2	E-103	11.33413395	58	50

ตารางที่ 2 อุณหภูมิสายขาเข้า-ขาออกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนในการผลิตไวนิลคลอไรด์ด้วยกรณีที่ 2

Exchanger		case 2		
		Q [kJ]	Tin[°c]	Tout[°c]
H1	E-100	2287.686151	51	517
H2	E-101	110.0507701	1	25
C1	E-104	1835.749944	500	25
C2	E-103	10.55319812	58	50

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

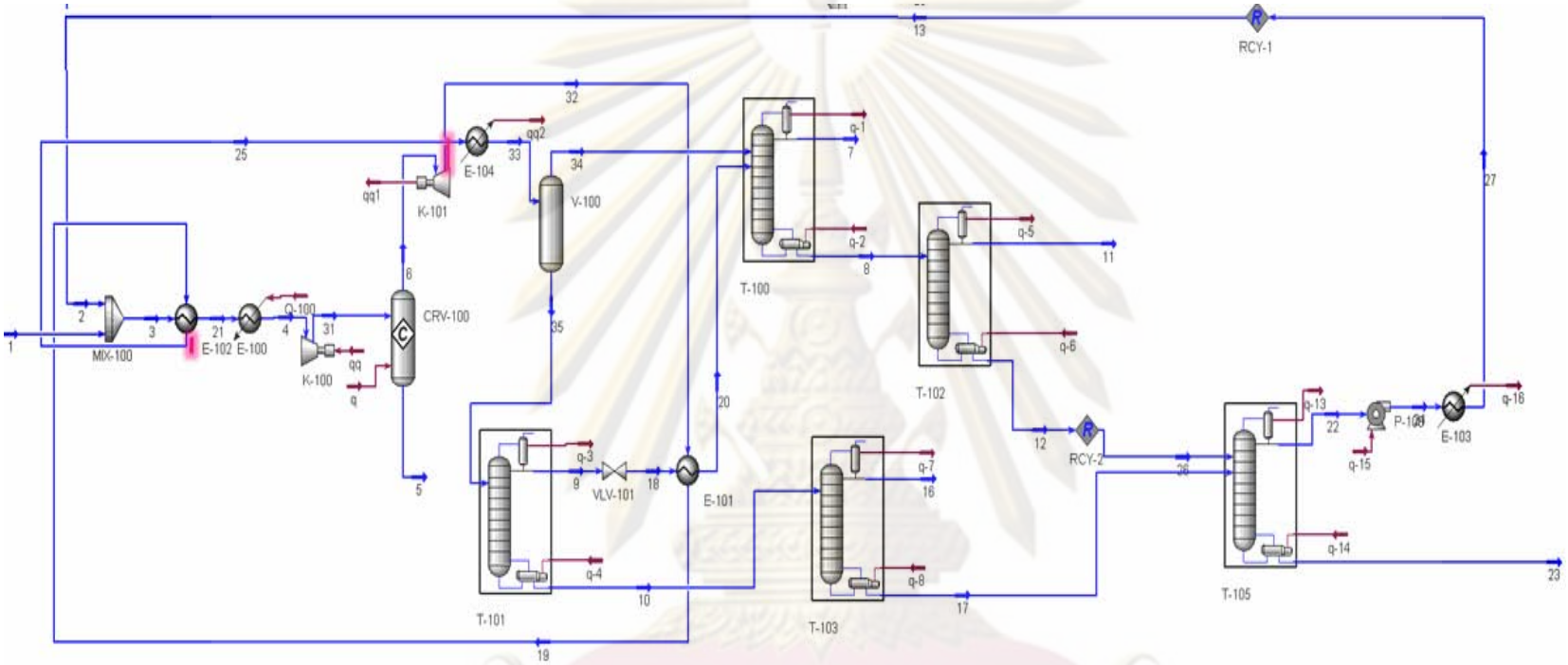
ตารางที่ 3 อุณหภูมิสายขาเข้า-ขาออกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนในการผลิตไวนิลคลอไรด์ด้วยกรณีที่ 3

Exchanger		case 3		
		Q [kJ]	Tin[°c]	Tout[°c]
H1	E-100	2410.904655	51	550
H2	E-101	108.3253488	4	25
C1	E-104	1839.572975	520	25
C2	E-103	8.000716256	58	50

ตารางที่ 4 อุณหภูมิสายขาเข้า-ขาออกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนในการผลิตไวนิลคลอไรด์ด้วยกรณีที่ 4

Exchanger		case 4		
		Q [kJ]	Tin[°c]	Tout[°c]
H1	E-100	2597.086404	51	600
H2	E-101	71.75101485	20	25
C1	E-104	1881.176188	570	25
C2	E-103	6.305831302	58	50

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 2 แผนผังการจำลองกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ด้วยหลักการโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพิชญา คุณวุฒิ เกิดเมื่อวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ 2526 ที่จังหวั ดอ่างทอง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ปีการศึกษา 2548 หลังจากนั้นในปีการศึกษา 2549 ได้เข้าศึกษาต่อ ระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2552

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย