การประเมินวัฏจักรชีวิตของไคโตซานจากเปลือกกุ้ง กระดองปูและแกนปลาหมึก

นางสาวสุดารัตน์ แก้วสีลาม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR THE CHITOSAN PRODUCTION BY SHRIMP SHELLS, CRAB SHELLS AND SQUID PENS

Miss Sudarat Kaewseelam

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

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินวัฏจักรชีวิตของไคโตซานจากเปลือกกุ้ง กระดองปูและแกนปลาหมึก
โดย	นางสาวสุดารัตน์ แก้วสีลาม
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล กิตติศุภกร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)

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

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนงค์นาฏ สมหวังธนโรจน์)

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

สุดารัตน์ แก้วสีลาม : การประเมินวัฏจักรชีวิตของไคโตซานจากเปลือกกุ้ง กระดองปูและแกนปลาหมึก. (LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR THE CHITOSAN PRODUCTION BY SHRIMP SHELLS, CRAB SHELLS AND SQUID PENS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร, 131 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไคโตซาน โดยขอบเขตที่พิจารณาตั้งแต่การผลิตวัตถุดิบจนกลายเป็นผลิตภัณฑ์ โดยเลือกพิจารณากระบวนการผลิตสามกระบวนการที่มีวัตถุดิบที่แตกต่างกัน ได้แก่ กระบวนการผลิตแบบที่ 1 ใช้เปลือกกุ้งเป็นสารตั้งต้นในการผลิต กระบวนการผลิตแบบที่ 2 ใช้กระดองปูเป็นสารตั้งต้นในการผลิต และกระบวนการผลิตแบบที่ 3 ใช้แกนปลาหมึกเป็นสารตั้งต้นในการผลิต โปรแกรม HYSYS ถูกใช้เพื่อจำลองแบบกระบวนการพร้อมสร้างข้อมูลปริมาณวัตถุดิบ พลังงานที่ใช้และปริมาณสารที่ออกจากกระบวนการผลิต และดัชนีสิ่งแวดล้อม Eco-indicator 99 ได้นำมาใช้เพื่อประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเป็นดัชนีที่สามารถประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ครอบคลุมทั้งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ต่อระบบนิเวศน์และการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ ซึ่งผลการศึกษาทั้งสามขอบเขตคือ ขอบเขตขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ ขั้นตอนการผลิตไคโตซาน และขั้นตอนการผลิตตั้งแต่วัตถุดิบจนถึงการผลิตไคโตซาน พบว่า กระบวนการผลิตแบบที่ 2 มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ส่วนกระบวนการผลิตแบบที่ 3 มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2552

5070491321 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : LIFE CYCLE ASSESSMENT(LCA) / CHITOSAN PRODUCTION

SUDARAT KAEWSEELAM : LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR THE CHITOSAN PRODUCTION BY SHRIMP SHELLS, CRAB SHELLS AND SQUID PENS.THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR PAISAN KITTISUPAKORN, Dr.Ing., 131 pp.

In this research, life cycle assessment (LCA) has been applied to evaluate environmental impacts of chitosan production processes. Three different production alternatives have been considered including 1) the process using shrimp shells as raw material, 2) the process using crab shells as raw material, and 3) the process using squid pens as raw material. HYSYS software has been used to perform simulation and to obtain information on amount of raw material, energy consumed and material streams leaving the production process. Eco-indicator 99, one of environmental assessment indicator, has been used to quantify the environment impacts. This indicator is able to cover the evaluation of all environmental impacts which are human health, ecosystem and resource depletion. Simulation results show that all scope (raw materials production, chitosan production and cradle-to-gate), alternative 2 has the lowest environmental impacts and alternative 3 has the highest environmental impacts.

Department : Chemical Engineering Student's Signature .....

Field of Study : Chemical Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year : 2009

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล กิตติศุภกร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาในการทำงานวิจัยและให้ข้อคิดเห็นในการแก้ปัญหาต่างๆ และช่วยแนะนำแก้ไขปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้อย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม (ประธานกรรมการ) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนงค์นาฏ สมหวังธนโรจน์ (กรรมการ) และดร.วชิรา ดาวสุด (กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย) ที่กรุณาให้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ขึ้น

ขอขอบคุณพี่และเพื่อนทุกคนที่เป็นสมาชิกในห้องปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมวัฏจักรชีวิต (LCE) ที่คอยให้คำสั่งสอน ข้อเสนอแนะและกำลังใจในตลอดช่วงการทำงานวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดาและมารดาที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ตลอดการทำงานวิจัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย…… ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา……. 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย…….. 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย…….. 2

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย..... 3

1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย…… 3

1.6 เนื้อหาแต่ละบท…….. 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง…….. 5

2.1 หลักการและทฤษฎีการประเมินวัฏจักรชีวิต…….. 5

2.1.1 ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต 5

2.1.2 ประวัติความเป็นมาของการประเมินวัฏจักรชีวิต……... 8

2.1.3 วัตถุประสงค์ของการประเมินวัฏจักรชีวิต……... 9

2.1.4 ขั้นตอนโดยทั่วไปของการประเมินวัฏจักรชีวิต…… 12

2.1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการประเมินวัฏจักรชีวิต…… 12

2.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรของ

ผลิตภัณฑ์……. 12

2.2.1 กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของผลิตภัณฑ์การศึกษา……..… 13

2.2.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์……... 14

หน้า

2.2.3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์..... 16
2.2.4 การแปลผล..... 17
2.3 การประเมินวัฏจักรชีวิตร่วมกับการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิต
ด้วยโปรแกรม HYSYS..... 17
2.4 โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับประเมินวัฏจักรชีวิต..... 17
2.4.1 โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro..... 18
2.4.2 การเลือกดัชนีวัดผลกระทบ..... 20
2.4.3 การประเมินผลกระทบโดยวิธี Eco-indicator 99..... 22
2.5 ข้อมูลทั่วไปของไคโตซาน..... 28
2.5.1 แหล่งวัตถุดิบในธรรมชาติ..... 28
2.5.2 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับไคตินและไคโตซาน..... 30
2.6 กระบวนการผลิตไคโตซาน..... 39
2.6.1 การผลิตไคติน..... 39
2.6.2 การผลิตไคโตซาน..... 40
2.7 ทางเลือกของการผลิตไคโตซานที่ใช้ในการศึกษา..... 41
2.7.1 การผลิตไคโตซานจากสารตั้งต้นที่เป็นเปลือกกุ้ง
(กระบวนการผลิตแบบที่ 1)..... 41
2.7.2 การผลิตไคโตซานจากสารตั้งต้นที่เป็นกระดองปู
(กระบวนการผลิตแบบที่ 2)..... 44
2.7.3 การผลิตไคโตซานจากสารตั้งต้นที่เป็นแกนปลาหมึก
(กระบวนการผลิตแบบที่3)..... 48
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 52
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... 57
3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... 57
3.2 ข้อสมมุติฐานและข้อจำกัด..... 60
3.3 โปรแกรมสำหรับการทำวิจัย..... 60

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์..... 61
4.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไคโตซานแต่ละแบบ
การผลิต..... 61
4.2 ผลการประเมินเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิต
ไคโตซาน..... 71
บทที่ 5 .บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 83
5.1 บทสรุป..... 83
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 85
รายการอ้างอิง..... 86
ภาคผนวก..... 89
ภาคผนวก ก. แผนผังการจำลองกระบวนการผลิตไคโตซาน
ด้วยโปรแกรม HYSYS..... 90
ภาคผนวก ข. การคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม..... 106
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 131

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คำจำกัดความย่อของ LCA ในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14000……..	6
2.2	เครื่องมือสำหรับจัดการและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม……..	10
2.3	กลุ่มกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ศึกษาแต่ละดัชนีชี้วัด……...	21
2.4	แสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มเป้าหมายที่ถูกทำลาย ประเภทของผลกระทบและสสารที่เป็นปัจจัยของผลกระทบ……	23
2.5	อธิบายลักษณะผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของแต่ละประเภทของผลกระทบทั้ง 11 ผลกระทบ……..	24
2.6	แหล่งวัตถุดิบสำคัญของไคติน……	28
2.7	แสดงปริมาณไคตินในสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ……	29
2.8	น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานในแต่ละแบบการผลิต……	51
2.9	น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานสำหรับการนำไปใช้……	52
4.1	ปริมาณวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ในการผลิตไคโตซานของกระบวนการผลิตแบบที่ 1……..	62
4.2	ปริมาณวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ในการผลิตไคโตซานของกระบวนการผลิตแบบที่ 2……..	62
4.3	ปริมาณวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ในการผลิตไคโตซานของกระบวนการผลิตแบบที่ 3……..	63
4.4	ปริมาณผลิตภัณฑ์หลักและผลิตภัณฑ์พลอยได้ของกระบวนการผลิตแบบที่ 1....	63
4.5	ปริมาณผลิตภัณฑ์หลักและผลิตภัณฑ์พลอยได้ของกระบวนการผลิตแบบที่ 2....	63
4.6	ปริมาณผลิตภัณฑ์หลักและผลิตภัณฑ์พลอยได้ของกระบวนการผลิตแบบที่ 3....	64
4.7	ปริมาณสารและพลังงานที่ปล่อยออกจากกระบวนการผลิตแบบที่ 1.....	64
4.8	ปริมาณสารและพลังงานที่ปล่อยออกจากกระบวนการผลิตแบบที่ 2.....	65
4.9	ปริมาณสารและพลังงานที่ปล่อยออกจากกระบวนการผลิตแบบที่ 3.....	65
4.10	กลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไคโตซาน……..	66

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต……	13
2.2	ตัวอย่างผังแสดงสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการ……	15
2.3	แสดงแนวคิดในการจัดทำ LCA โดยใช้ Eco-indicator 99……..	26
2.4	โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส ไคตินและไคโตซาน……	30
2.5	แผนผังการผลิตไคโตซานจากเปลือกกุ้ง……	41
2.6	แผนผังการจำลองกระบวนการผลิตแบบที่ 1……	43
2.7	แผนผังการผลิตไคโตซานจากกระดองปู……...	45
2.8	แผนผังการจำลองกระบวนการผลิตแบบที่ 2……	46
2.9	แผนผังการผลิตไคโตซานจากแกนปลาหมึก……	48
2.10	แผนผังการจำลองกระบวนการผลิตแบบที่ 3……	50
3.1	ขอบเขตของงานวิจัยที่ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตของไคโตซาน……..……	57
3.2	ภาพรวมขั้นตอนการทำงานวิจัยในขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิต……	59
4.1	ผลกระทบของการผลิตไคโตซานโดยใช้เปลือกกุ้งเป็นวัตถุดิบ……	67
4.2	ผลกระทบของการผลิตไคโตซานโดยใช้กระดองปูเป็นวัตถุดิบ……	68
4.3	ผลกระทบของการผลิตไคโตซานโดยใช้แกนปลาหมึกเป็นวัตถุดิบ……..	70
4.4	เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบของการผลิตไคโตซานทั้งสามแบบ:กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์……	73
4.5	เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบของการผลิตไคโตซานทั้งสามแบบ:กลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์……	74
4.6	เปรียบเทียบผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบของการผลิตไคโตซานทั้งสามแบบ:กลุ่มผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ……	74
4.7	เปรียบเทียบผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ:ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหน่วย Pt (กราฟคะแนนเดียว)……...	76
4.8	เปรียบเทียบผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตไคโตซานของทั้งสามแบบ: กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์……	77

ภาพที่		หน้า
4.9	เปรียบเทียบผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตไคโตซาน:กลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหน่วย Pt (กราฟคะแนนเดียว)……	78
4.10	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนการผลิตไคโตซาน(cradle-to-gate): กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์……..….	79
4.11	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนการผลิตไคโตซาน(cradle-to-gate): กลุ่มผลกระทบด้านระบบนิเวศน์……..….	80
4.12	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนการผลิตไคโตซาน (cradle-to-gate) : กลุ่มผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ……..….	81
4.13	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนการผลิตไคโตซาน(cradle-to-gate):กลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหน่วยPt (กราฟคะแนนเดียว)……..	82

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในยุคปัจจุบันที่แนวทางการวิจัยเริ่มหันเข้าหาธรรมชาติมากขึ้น มีการพยายามค้นหาแหล่งพลังงานและแหล่งวัตถุดิบทางอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ในการพัฒนาให้มากขึ้น โดยในบรรดาทางเลือกใหม่เหล่านั้น วัสดุชีวภาพ (Biomaterials) ก็เป็นหนึ่งในบรรดาวัสดุทางเลือกใหม่ที่นักวิทยาศาสตร์กำลังให้ความสนใจมากเช่นกัน

ในแต่ละปีประเทศไทยมีการส่งออก นำเข้าและบริโภคกุ้ง ปูและปลาหมึกเป็นจำนวนมาก ซึ่งปริมาณเหล่านี้จะเป็นดัชนีแสดงถึงปริมาณกากของเหลือที่เกิดขึ้นจะมากตามไปด้วย โดยในปัจจุบันของเหลือเหล่านี้ถูกขายให้กับโรงงานผลิตอาหารสัตว์ในราคาที่ต่ำมาก โดยนำไปตากแห้งแล้วบดเป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ เช่น เป็ด ไก่ กุ้ง เป็นต้น เพื่อใช้ทดแทนโปรตีน ในกรณีที่มีการตกค้างของกากเหล่านี้ในโรงงาน จะก่อให้เกิดปัญหาต่อโรงงานหลายประการ ได้แก่ ส่งกลิ่นเหม็นรบกวนและเป็นแหล่งรวมของเชื้อโรค มลพิษทางน้ำทำให้โรงงานต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดทิ้ง ดังนั้นแนวทางหนึ่งในการแปรรูปกากของเหลือเหล่านี้ให้มีมูลค่าสูงขึ้น คือ การแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ไคตินและไคโตซาน จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง[1]

ปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยกันอย่างกว้างขวางในเรื่องการผลิตไคตินและไคโตซาน ทั้งทางชีวภาพและทางเคมี อย่างไรก็ตามการผลิตทางชีวภาพยังอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งจำเป็นจะต้องศึกษาเพิ่มเติมในด้านการลงทุน สำหรับการผลิตเชิงพาณิชย์ในปัจจุบันจะใช้วิธีทางเคมี เนื่องจากสารเคมีที่ใช้หาง่ายและขั้นตอนไม่ยุ่งยากซับซ้อน เป็นเพียงการนำกากของเหลือที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตอาหารทะเล อาทิ เปลือกหัวกุ้ง กระดองปู แกนปลาหมึก มาผ่านกระบวนการแยกโปรตีนโดยใช้ด่างเจือจางและกระบวนการแยกแร่โดยใช้กรดเจือจาง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้เรียกว่า ไคติน จากนั้นนำไคตินมาแช่ในด่างเข้มข้นตามระยะเวลาที่กำหนดเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่เรียกว่า ไคโตซาน สารไคตินและไคโตซานจัดเป็นโพลิเมอร์ธรรมชาติ (Biopolymer) ที่มากด้วยอรรถประโยชน์ ในตลาดโลกมีการนำไคตินและไคโตซานมาใช้อย่างกว้างขวางในหลายอุตสาหกรรม อาทิ ผลิตภัณฑ์อาหารเสริม/ควบคุมน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ เคมีเกษตร ผลิตภัณฑ์เพื่อความงาม ธุรกิจสิ่งแวดล้อม ผลิตภัณฑ์อาหาร เส้นใยและสิ่งทอ กระดาษ สีและหมึก เป็นต้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของการผลิตไคโตซานด้วยกระบวนการทางเคมีจากกระบวนการผลิตที่มีการใช้วัตถุดิบที่ต่างกัน 3 ชนิด คือ เปลือกกุ้ง กระดองปูและแกนปลาหมึก โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.1 ในการวิเคราะห์ผลกระทบ และเนื่องจากการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นต้องการข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกของระบบที่จะทำการศึกษา สำหรับในงานวิจัยนี้ระบบที่ต้องศึกษาคือกระบวนการผลิตไคโตซานซึ่งข้อมูล (พลังงานที่ใช้และสารที่ปล่อยออก) ที่นำมาประเมินนั้นไม่สามารถตรวจวัดโดยตรงได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการเลียนแบบกระบวนการผลิตไคโตซานโดยใช้โปรแกรมเลียนแบบกระบวนการผลิตคือ HYSYS Plant version 3.1 โดยข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตนั้นได้มาจากสิทธิบัตรและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาการจำลองการผลิตและประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไคโตซานโดยการศึกษาทำบนพื้นฐานร่วมกันของการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตโดยใช้ HYSYS Plant version 3.1 และการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยใช้ SimaPro 7.1

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ในงานวิจัยนี้ได้ประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไคโตซานที่มีการใช้สารตั้งต้นที่แตกต่างกัน คือ เปลือกกุ้ง กระดองปูและแกนปลาหมึก
2) ในการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นจะมีขอบเขตตั้งแต่ผลกระทบจากการใช้วัตถุดิบและผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการผลิต
3) พิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตไคโตซานจากการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิต
4) การออกแบบและจำลองกระบวนการผลิต ได้เก็บรวบรวมมาจากบทความเอกสารทางวิชาการระดับนานาชาติ สิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องและวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์ในประเทศไทย

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1) ทราบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตไคโตซาน
2) ทราบแนวทางในการป้องกันผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในการผลิตไคโตซาน

1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1) ศึกษาและค้นหาข้อมูลและทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการผลิตไคโตซาน
2) พัฒนาแบบจำลองของกระบวนการผลิตไคโตซานโดยใช้โปรแกรม HYSYS Plant Version 3.1
3) ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไคโตซาน โดยใช้โปรแกรม SimaPro 7.1
4) วิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตไคโตซาน
5) สรุปผลการวิจัย

1.6 เนื้อหาแต่ละบท

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาสำหรับงานวิจัย วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัยที่ได้ศึกษา วิธีการดำเนินงานวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยอธิบายถึงหลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA และทฤษฎีไคโตซาน โดยกล่าวถึง คุณสมบัติของไคโตซาน การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม อธิบายกระบวนการผลิตไคซานโดยได้อธิบายแต่ละหน่วยของกระบวนการผลิตทั้งสามแบบ นอกจากนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยต่างๆ จากวารสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

บทที่ 3 อธิบายถึงงานวิธีการดำเนินงานวิจัย โดยกล่าวถึงตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ขั้นตอนการวิจัย และวิธีที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต

บทที่ 4 เป็นส่วนของผลการดำเนินงานวิจัย ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตโดยใช้โปรแกรม Hysys Plant ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตของแต่ละแบบการผลิต และผลการประเมินวัฏจักรชีวิตโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro

7.1 ผลที่ได้จะแสดงผลเป็นกราฟที่เป็นผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการผลิตไคโตซานของแต่ละแบบในการผลิต และผลการเปรียบเทียบผลกระทบด้านต่างๆ ที่เกิดจากการผลิตไคโตซานที่มีการผลิตที่ต่างกัน

บทที่ 5 จะกล่าวสรุปถึงวิธีที่ใช้ในการผลิตแบบใดที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และรวมถึงข้อเสนอแนะของการทำวิจัยนี้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment : LCA) ประโยชน์จากการนำการประเมินวัฏจักรชีวิตไปประยุกต์ใช้ ขั้นตอนการดำเนินงานของการประเมินวัฏจักรชีวิต รวมถึงโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตและอธิบายถึงการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro สำหรับใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต นอกจากนี้ยังกล่าวถึงรายละเอียดและสมบัติต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับไคโตซาน การนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ส่วนท้ายของบทกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต

2.1 **หลักการและทฤษฎีการประเมินวัฏจักรชีวิต** (Life Cycle Assessment: LCA)

2.1.1 **ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต**

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในเชิงปริมาณที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากขั้นตอนต่าง ๆ ที่เกี่ยวเนื่องกับผลิตภัณฑ์ทั้งวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่การออกแบบ การใช้พลังงานและวัตถุดิบ การขนส่งและการแจกจ่าย กระบวนการผลิต การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่หรือแปรรูป รวมทั้งการจัดการกับซากผลิตภัณฑ์หลังจากการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle-to-grave) หรืออาจประเมินผลกระทบแบบ Cradle-to-gate ซึ่งเป็นการประเมินผลกระทบโดยครอบคลุมในขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบหรือพลังงานจนถึงกระบวนการผลิต[2-4] โดยพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ครอบคลุมไปถึงผลต่อระบบนิเวศน์ สุขภาพอนามัยของมนุษย์ การใช้ทรัพยากรและปัญหาสิ่งแวดล้อมโลกเป็นหลัก โดยอาศัยข้อมูลการใช้ทรัพยากรทั้งวัตถุดิบและปริมาณพลังงานรวมถึงการปล่อยของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ทั้งนี้เพื่อนำผลไปใช้ประกอบการตัดสินใจเพื่อกำหนดนโยบายการออกแบบผลิตภัณฑ์ การปรับปรุงกระบวนการผลิตหรือเพิ่มทางเลือกกระบวนการผลิตเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและให้มีการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ

มีคำนิยามเกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิตดังนี้

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

การประเมินวัฏจักรชิวิตเป็นเครื่องมือด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมหนึ่งที่ถูกบรรจุอยู่ใน International Organization for Standardization (ISO) 14000 ว่าด้วยเรื่องเกี่ยวกับมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental Management Standard) มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตมีทั้งหมด 7 ฉบับ ดังตารางที่ 2.1**[2]**

ตารางที่ 2.1 คำจำกัดความย่อของการประเมินวัฏจักรชีวิตในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14000

Standard	Focus
ISO 14040 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework	คำแนะนำสู่โครงร่าง หลักการและข้อกำหนดสำหรับการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตโดยเฉพาะการแนะนำในเรื่องการพิจารณาถึงความสำคัญในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต

ตารางที่ 2.1 คำจำกัดความย่อของ LCA ในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14000 (ต่อ)

Standard	Focus
ISO 14041 Environmental management - Life cycle assessment - Goal and scope definition and life cycle inventory analysis	คำแนะนำในการทำ Life cycle inventory ให้คำจำกัดความของเป้าหมาย กำหนดขอบเขต ระบบผลิตภัณฑ์ การเก็บข้อมูลและการส่งผลของรายงาน
ISO 14042 Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment	คำแนะนำเรื่องโครงสร้างของผลของการเก็บข้อมูลเพื่อความเข้าใจที่ดีขึ้นเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมที่สัมพันธ์กับระบบผลิตภัณฑ์ที่กำลังศึกษาอยู่
ISO 14043 Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle interpretation	คำแนะนำถึงการแปลผลจากการเก็บข้อมูล LCA และการศึกษา LCA
ISO/TR 14047 Environmental management - Life cycle assessment - Illustrative examples on how to apply ISO 14042 - Life cycle impact assessment	เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14042 สำหรับวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
ISO/TR 14048 Environmental management - Life cycle assessment - LCA data documentation format	เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างรูปแบบเอกสารของข้อมูลด้าน LCA

ตารางที่ 2.1 คำจำกัดความย่อของ LCA ในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14000 (ต่อ)

Standard	Focus
ISO 14049 Environmental management - Life cycle assessment - Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis	เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14041 สำหรับจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

2.1.2 ประวัติความเป็นมาของการประเมินวัฏจักรชีวิต

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

ปัจจุบันความรู้เกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิตได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็วเป็นที่รู้จักและได้รับการยอมรับมากขึ้น โดยถูกนำมาใช้ในการกำหนดกลยุทธ์และการกำหนดนโยบายด้านสิ่งแวดล้อม เช่น โครงการด้านสิ่งแวดล้อมของสหประชาชาติ (United Nations Environment Programme : UNEP) ได้ส่งเสริมการจัดทำการประเมินวัฏจักรชีวิตภายใต้โครงการ Life Cycle Initiative นอกจากนี้ ยังมีบริษัทผู้ประกอบการในยุโรปกลุ่มหนึ่งได้ร่วมกันจัดตั้งองค์กรเอกชนในนามของ Society for the Promotion of Life Cycle Development (SPOLD) เพื่อส่งเสริมการนำแนวคิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยคำนึงถึงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์[2]

2.1.3 **วัตถุประสงค์ของการประเมินวัฏจักรชีวิต**

เป็นการพิจารณาข้อมูลการใช้พลังงาน การใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมหรือพิจารณาจากข้อมูลของสารขาเข้าและสารขาออกของผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากผลิตภัณฑ์

ผลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการเลือกตัดสินใจกระบวนการผลิตว่าทางเลือกไหนมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดหรือเพื่อบอกว่าในกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์นั้น ขั้นตอนการผลิตแต่ละขั้นตอนมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร ดังนั้นการประเมินวัฏจักรชีวิตจึงเป็นเพียงเครื่องมือที่ใช้ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจทางด้านสิ่งแวดล้อม ไม่ได้แทนที่เครื่องมือวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมชนิดอื่น ๆ ซึ่งถูกกำหนดขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะอย่าง ดังตารางที่ 2.2[5]

ตารางที่ 2.2 เครื่องมือสำหรับจัดการและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

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

ตารางที่ 2.2 เครื่องมือสำหรับจัดการและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม (ต่อ)

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

2.1.4 ขั้นตอนโดยทั่วไปของการประเมินวัฏจักรชีวิต

1. ระบุปริมาณของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทุกขั้นตอนที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา
2. หาค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ได้จากการระบุปริมาณที่ได้จากขั้นตอนแรก
3. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการหาค่าผลกระทบ เพื่อที่จะประเมินหาโอกาสที่จะปรับปรุงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการประเมินวัฏจักรชีวิต

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

การประเมินวัฏจักรชีวิตถูกใช้เป็นเครื่องมือในการตัดสินใจปรับปรุงกระบวนการผลิตไปสู่กระบวนการที่สร้างภาระต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง

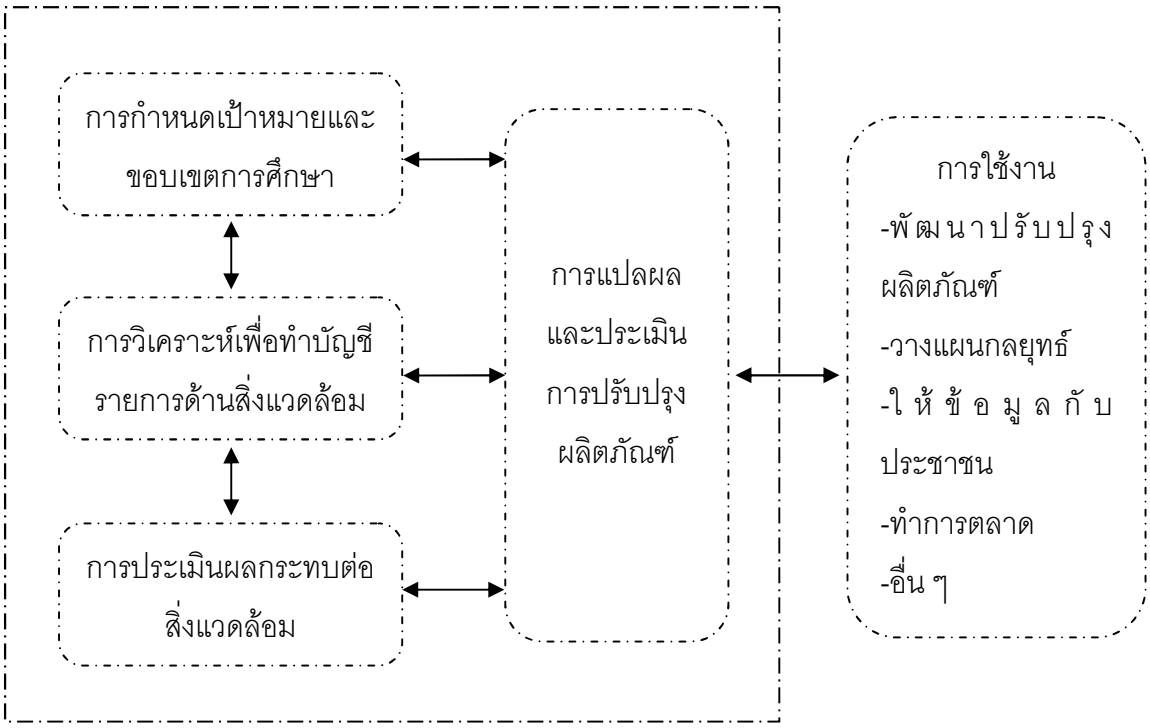
การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือคำนวณตัวบ่งชี้ที่แสดงถึงความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หรือบริการ

2.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์

โครงการด้านสิ่งแวดล้อมของสหประชาชาติ(UNEP) ได้มีการแบ่งขั้นตอนการประเมินผลกระทบเป็น 4 ขั้นตอนหลัก คือดังรูปที่ 2.1

1. กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของผลิตภัณฑ์การศึกษา (Goal and Scope Definition)
2. การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์(Inventory Analysis :LCI)

3. การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์(Impact Assessment :LCIA)
4. การแปลผล(Interpretation)



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต

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

การประเมินวัฏจักรชีวิตต้องทราบว่าต้องการศึกษาอะไรและจะศึกษาอย่างไรโดยผลการประเมินวัฏจักรชีวิตมีประโยชน์มากน้อยเพียงใดนั้นจะขึ้นกับการกำหนดขอบเขตและเป้าหมายการกำหนดขอบเขตเป้าหมาย เป็นขั้นตอนแรกของการประเมินวัฏจักรชีวิตมีประเด็นหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

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

1) **จุดมุ่งหมาย** (Goal)

จุดมุ่งหมายจะต้องระบุผลของการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งกล่าวได้ว่าเป็นหัวใจของการศึกษาและการสรุปผลรายงานเพราะจุดมุ่งหมายจะทำให้สามารถแยกแยะความสำคัญของส่วนต่าง ๆ ในเนื้อหาได้

2) **ขอบข่าย** (scope)

ขอบข่ายจะช่วยให้รับประกันได้ว่าจะสามารถไปสู่จุดมุ่งหมายได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์

3) **ฟังก์ชัน** (functional unit)

ฟังก์ชันเป็นพื้นฐานของการประเมินวัฏจักรชีวิตเพราะฟังก์ชันเป็นตัวเปรียบเทียบหรือตัววัดระหว่างผลิตภัณฑ์ หรือ หลายผลิตภัณฑ์ที่รวมเข้าเป็นผลิตภัณฑ์เดียว มีหลายคำจำกัดความดังนี้

- ฟังก์ชันเป็นมาตรฐานของ input และ output ที่เป็นกลาง ฟังก์ชันของระบบจะให้ความหมายและการวัดที่กระจ่าง ซึ่งผลของการวัดนี้ก็จะใช้เป็นคำตอบต่อไปได้
- การเปรียบเทียบระหว่างระบบจะกระทำได้ด้วยฟังก์ชันที่พื้นฐานเหมือน ๆ กัน

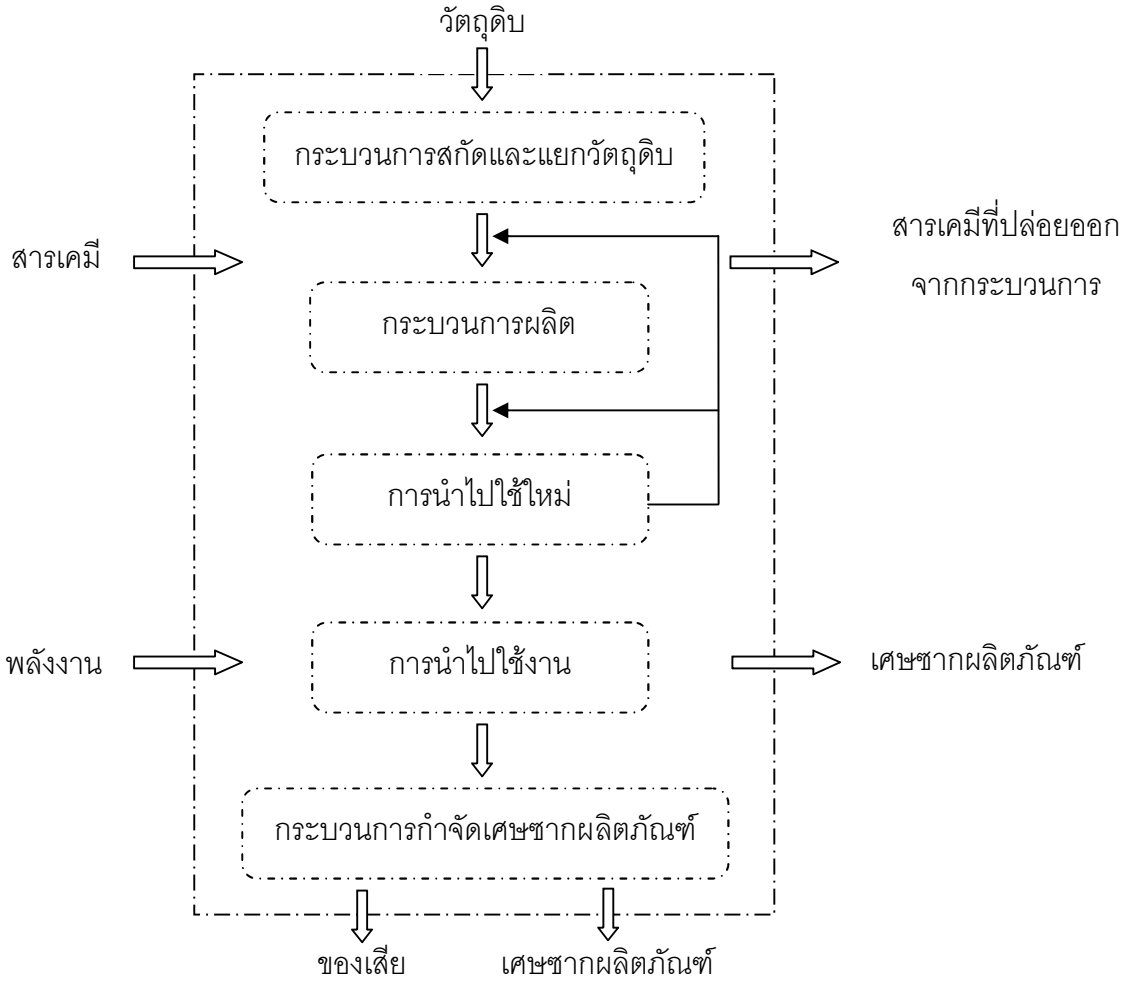
4) **คุณภาพข้อมูล** (data quality)

คุณภาพของข้อมูลที่นำมาใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตจะนำมาซึ่งคุณภาพของข้อสรุปที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิต คุณภาพของข้อมูลสามารถที่จะให้รายละเอียดได้ต่าง ๆ ซึ่งสำคัญที่ว่าข้อมูลนั้นจะให้รายละเอียดและสามารถประเมินได้อย่างมีหลักเกณฑ์

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

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมคือขั้นที่รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิต เพื่อที่จะนำข้อมูลเหล่านี้ไปคำนวณหาปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของระบบที่ได้ศึกษา ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.2 เพื่อที่จะนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้คำนวณค่า

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นต่อไป โดยข้อมูลที่ได้จากขั้นนี้จะต้องประกอบด้วยปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของระบบที่ศึกษา



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างผังแสดงสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการ

- **ข้อจำกัดของการแปลผล** LCI

ผลที่ได้จากการทำการวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อม สามารถที่จะนำไปแปลผลได้ แต่ว่าต้องแปลด้วยความระมัดระวังเพราะว่าผลที่ได้จากการทำการวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมไม่ใช่ข้อมูลด้านปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมแต่เป็นเพียงปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกเท่านั้น ซึ่งข้อมูลนี้ยังไม่สามารถที่จะนำไปเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์อื่นได้ นอกจากนี้ ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมยังขึ้นกับความแน่นอนและความหลากหลายของข้อมูล ดังนั้นในการแปลผลควรรวมการประเมินคุณภาพด้วย

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

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

2.2.3.1 **ขั้นตอนการทำ** LCIA

ตามหลักการที่กำหนดในมาตรฐาน 14042 การทำการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. **ขั้นตอนที่ต้องดำเนินการ** ได้แก่

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

2. **ขั้นตอนที่เป็นทางเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติม** ได้แก่

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

2.2.4 **แปลผล** (Interpretation)

วัตถุประสงค์ของการแปลผลการศึกษา คือ การวิเคราะห์ผลลัพธ์ สรุปผลอธิบายข้อจำกัด การจัดเตรียมข้อเสนอแนะที่มาจากผลลัพธ์ของการทำการประเมินวัฏจักรชีวิตหรือการวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมและทำรายงานสรุปการแปลผลการศึกษาให้สามารถเข้าใจได้ง่าย สมบูรณ์ครบถ้วน และมีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

2.3 **การประเมินวัฏจักรชีวิตร่วมกับการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตด้วยโปรแกรม** HYSYS

ในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้นจะมีความถูกต้องหรือไม่ขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูลที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งการได้มาซึ่งข้อมูลที่มีคุณภาพนั้นเป็นเรื่องที่ไม่ง่ายนัก โดยเฉพาะข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต ซึ่งสิ่งนี้เป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งของการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งในงานวิจัยของ David[6] จึงได้นำเสนอข้อแก้ไขของข้อจำกัดนี้โดยได้ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตร่วมกับการสร้างแบบจำลองของกระบวนการผลิต ซึ่งให้ได้ข้อมูลเพื่อใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต

2.4 **โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับประเมินวัฏจักรชีวิต**

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

- ฐานข้อมูล
- การคำนวณบัญชีรายการ
- การประเมินผลกระทบ
- การแปลผลข้อมูล

2.4.1 โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro

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

ภายในโปรแกรม SimaPro จะมีวิธีหลายวิธีที่ใช้คำนวณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเพื่อให้ได้ค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมออกมา

โครงสร้างของวิธีการคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่บรรจุในโปรแกรม SimaPro

โดยโครงสร้างพื้นฐานของวิธีที่ใช้คำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่อยู่ในโปรแกรม SimaPro ประกอบด้วย**[7]** :

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

โดยสามขั้นหลังเป็นขั้นตอนทางเลือกของมาตรฐาน ISO ซึ่งหมายความว่าไม่จำเป็นเสมอไปที่ทุกวิธีคำนวณผลกระทบจะต้องมีสามขั้นหลังนี้

Characterization

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

Damage assessment

Damage assessment คือเป็นขั้นใหม่ของการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยวิธีที่มีขั้น Damage assessment ได้แก่ วิธี Eco-indicator 99 และ EPS 2000 ตัวอย่างเช่น วิธีคำนวณค่าผลกระทบของ Eco-indicator 99 นั้นทุก ๆ ประเภทของผลกระทบจะถูกนำมาคำนวณในขั้น Damage assessment เพื่อที่จะทำให้ทราบว่าผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ต่อระบบนิเวศน์และต่อทรัพยากรเป็นอย่างไร

Normalization

หลายๆ วิธีในการคำนวณค่าผลกระทบ ผลที่ได้จากการคำนวณผลกระทบมักจะนำมาเทียบกับค่าผลกระทบอ้างอิงคือนำค่าผลกระทบอ้างอิงมาหารค่าผลกระทบที่เราทำการศึกษา ซึ่งเป็นการทำ normalization จะทำให้ได้ค่าผลกระทบแบบไร้หน่วย ค่าที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง มักจะเป็นค่าผลกระทบเฉลี่ยต่อคนในระยะเวลา 1 ปีของประเทศนั้นๆ โดยถ้าทราบว่าในระยะเวลา 1 ปี ในประเทศยุโรปมีปริมาณสารพิษที่ปล่อยออกมาเท่าไหร่จากนั้นนำมาคำนวณผลกระทบแล้วหารด้วยปริมาณประชากรก็จะได้ค่า normalize factor เพื่อใช้เป็นตัวอ้างอิง โดยหลังจากการทำ normalization แล้วจะทำให้ค่าผลกระทบทุกประเภทผลกระทบมีหน่วยของผลกระทบที่เหมือนกันซึ่งจะทำให้ง่ายในการเปรียบเทียบกันได้ โดยการทำ normalization สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทั้งในขั้น characterization และ damage assessment

Weighting

บางวิธีการคำนวณผลกระทบจะมีการให้น้ำหนักของประเภทผลกระทบแต่ละประเภทไม่เท่ากัน นั้นหมายความว่าผลกระทบแต่ละผลกระทบจะต้องนำมาให้น้ำหนักโดยนำค่า weighting factor มาคูณ แล้วนำค่าผลกระทบมารวม (single score) หากต้องการทราบว่ากลุ่มใด ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดหรือกลุ่มใดมีความสำคัญที่สุด การให้น้ำหนักสามารถนำมาประยุกต์ใช้ เมื่อมีการ normalized หรือไม่มีการทำ normalized ก็ได้ โดยวิธีการคำนวณค่าผลกระทบในแต่ละขั้นได้แสดงไว้ที่ภาคผนวก ข

โปรแกรม SimaPro เป็นโปรแกรมที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม เพราะมีการวิเคราะห์ผลตามระบบ ISO มีการเปรียบเทียบผลของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเปรียบเทียบ มีฐานข้อมูล มีการแสดงผลในรูปของตารางและรูปภาพ มีความยืดหยุ่นในการเพิ่มข้อมูลใหม่และสามารถปรับปรุงฐานข้อมูลได้ แต่พบว่ามีโปรแกรมสำเร็จรูปหลายโปรแกรมมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับโปรแกรม SimaPro ดังนั้นการเลือกใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูปก็ขึ้นอยู่กับราคาลิขสิทธิ์ของโปรแกรมและการยอมรับของผู้ใช้โปรแกรม เมื่อพิจารณาการยอมรับของผู้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปโดยเปรียบเทียบจากการขายลิขสิทธิ์โปรแกรมพบว่า โปรแกรม SimaPro มีราคาเหมาะสมและได้รับการยอมรับจากผู้ใช้มาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้โปรแกรม SimaPro ในการประเมินวัฏจักรชีวิต

2.4.2 การเลือกดัชนีวัดผลกระทบ

ในโปรแกรม SimaPro มีดัชนีตัวชี้วัดหลายดัชนี ดังตาราง 2.3 ซึ่งแต่ละวิธีนั้นจะพิจารณากลุ่มผลกระทบที่ต่างกัน ดังนั้นการเลือกผลกระทบจะต้องเลือกที่ครอบคลุมงานวิจัยมากที่สุดโดยพิจารณาจาก

1. การคัดเลือกกลุ่มผลกระทบที่สนใจในการศึกษา
2. เลือกวิธีคำนวณผลกระทบที่ตรงกับผลกระทบที่จะศึกษา
3. ตรวจสอบว่าสารทุกตัวที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมถูกอธิบายเชิงข้อมูลไว้ในวิธีที่เลือกหรือไม่

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตไคโตซานโดยการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้มุ่งเน้นจะศึกษาผลกระทบเพียงด้านใดด้านหนึ่งเท่านั้นเพราะว่าการผลิตไคโตซาน สารเคมีที่ปล่อยออกมานั้นไม่ได้ส่งผลกระทบเพียงด้านใดด้านหนึ่ง จึงได้เลือกผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งสามด้าน คือ ต่อสุขภาพมนุษย์ ต่อระบบนิเวศน์ และต่อการลดลงของทรัพยากร ซึ่งดัชนีวัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ศึกษาผลกระทบทั้งสามด้านได้แก่ Eco-indicator, EDIP 2003, ESP 2000, IMPACT 2002+, BEES และ TRACI 2 และเมื่อได้ตรวจสอบในฐานข้อมูลในแต่ละดัชนีพบว่าดัชนีที่เหมาะสมที่สุดคือ Eco-indicator 99

ตารางที่ 2.3 กลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ศึกษาแต่ละดัชนีชี้วัด

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

2.4.3 ประเมินผลกระทบโดยวิธี Eco-indicator 99

2.4.3.1 วิธีการประเมินค่าผลกระทบโดยดัชนีวัดผลกระทบ Eco-indicator

วิธีในการประเมินค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันมีหลายวิธี เช่น Ecoscarcity Method, Environmental Theme Method, Environmental Design of Industrial Products (EDPI), Eco-indicator Method etc. แต่วิธี Eco-indicator เป็นวิธีที่ใช้อย่างแพร่หลาย เพราะมีระบบการให้น้ำหนักที่สนับสนุนข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ ซึ่งขั้นตอนการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของ Eco-indicator Method มีดังนี้[8]

- วัตถุดิบ พลังงานและของเสียจะถูกแจกแจงเป็นประเภทของผลกระทบทั้ง 11 ประเภท
- ผลกระทบทั้ง 11 ประเภทจะถูกจัดกลุ่มออกเป็น 3 กลุ่ม ตามลักษณะของกลุ่มเป้าหมาย
- การให้น้ำหนักหรือความสำคัญและรวมคะแนนเป็นคะแนนเดียว

กลุ่มเป้าหมายและประเภทของผลกระทบมีดังนี้

สุขภาพมนุษย์(Human Health) ประกอบด้วย

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

ระบบนิเวศน์(Ecosystem) ประกอบด้วย

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

การลดลงของทรัพยากร (Resource depletion) ประกอบด้วย

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

ตารางที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มเป้าหมายที่ถูกทำลาย ประเภทของผลกระทบและสสารที่เป็นปัจจัยของผลกระทบ

กลุ่มเป้าหมายของการทำลาย (หน่วย)	ประเภทของผลกระทบ	สสารที่เป็นปัจจัยของผลกระทบ
Human Health (Disability Adjusted Life Years :DALYs)	สารก่อมะเร็ง ผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร สารแผ่รังสี ภาวะโลก การลดลงของชั้นโอโซน	arsenic, cadmium, nickel methane, benzene CO, SO_x, NH_3 Nuclear energy production CO_2, methane, CFCs CFCs, HFCs
Ecosystem Quality (Potentially Disappeared Fraction : PDF)	ภาวะความเป็นกรด/ภาวะยูโทรฟิเคชัน ความเป็นพิษ การใช้พื้นที่	NO_x, SO_x, NH_3 Heavy metal, benzene Grassland, wood

ตารางที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มเป้าหมายที่ถูกทำลาย ประเภทของผลกระทบ และสสารที่เป็นปัจจัยของผลกระทบ (ต่อ)

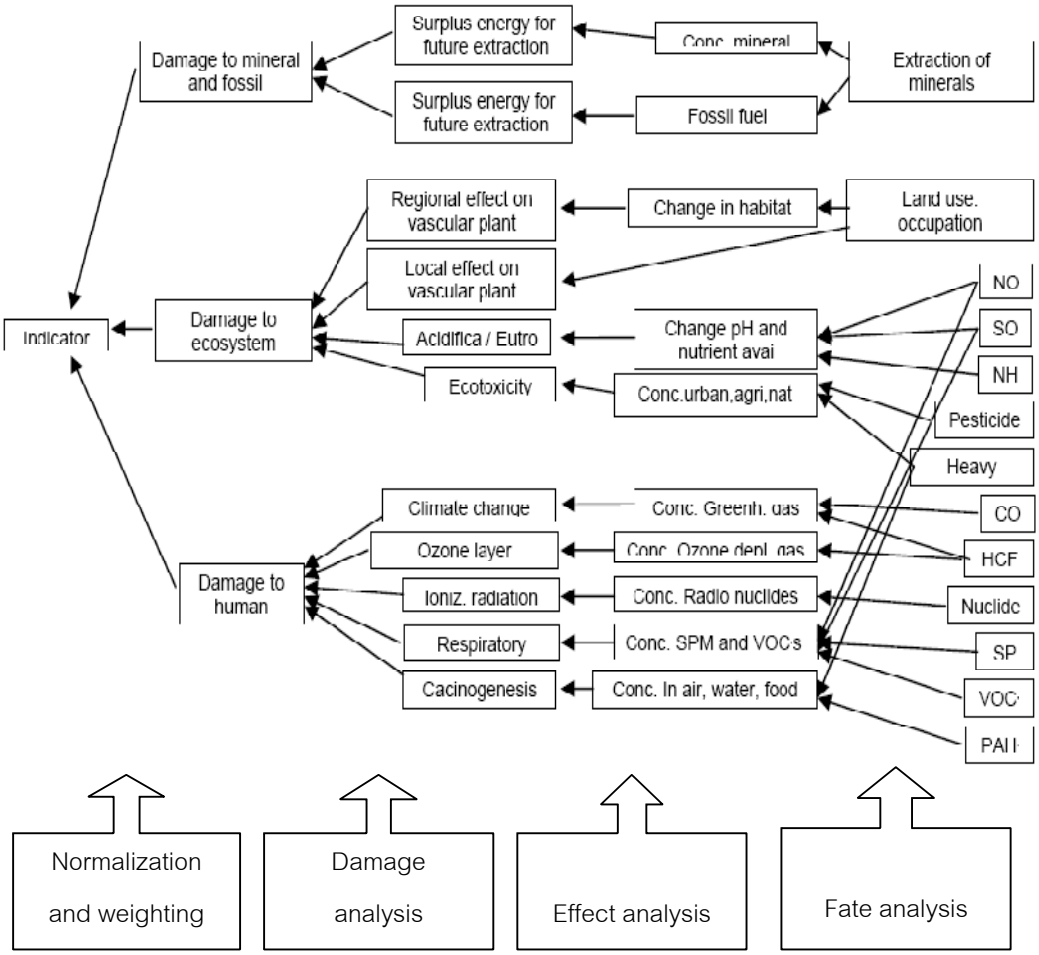
กลุ่มเป้าหมายของการทำลาย (หน่วย)	ประเภทของผลกระทบ	สสารที่เป็นปัจจัยของผลกระทบ
Resource Depletion (MJ surplus Energy)	การใช้สินแร่ การใช้เชื้อเพลิง	copper, nickel, zinc crude oil, coal

ตารางที่ 2.5 อธิบายลักษณะผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของแต่ละประเภทของผลกระทบทั้ง 11 ผลกระทบ

ประเภทของกลุ่มของผลกระทบ	ลักษณะของผลกระทบ
Acidification	ป่าและทะเลสาป ถูกทำลายโดยฝนกรด เนื่องจากการปล่อยสารที่มีความเป็นกรดสู่บรรยากาศ
Eutrophication	สภาวะที่น้ำขาดออกซิเจนเนื่องจากพืชน้ำเจริญเติบโตมากเกินไป เนื่องจากแหล่งน้ำ และดินมีปริมาณฟอสฟอรัสและไนโตรเจนมากเกินไป
Greenhouse effect	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของโลกหรืออุณหภูมิของโลกสูงขึ้น เนื่องจากมีการปล่อยแก๊สพวกคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทนเป็นต้น สู่บรรยากาศ
Resource depletion	การลดลงของทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดเนื่องจากการสกัดหรือการใช้แร่ธาตุหรือพวกเชื้อเพลิง
Ecotoxicity	สารพิษที่มีผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ เนื่องจากการปล่อยเบนซีน ตะกั่ว เป็นต้น สู่ดิน น้ำและอากาศ
Land use	การลดลงของพื้นที่ รวมถึงพื้นที่ป่า ด้วยสาเหตุเนื่องจากการใช้พื้นที่
Ozone depletion	การลดลงของโอโซนโดยสาเหตุเนื่องจากการปล่อยสาร CFC เป็นต้น

ตารางที่ 2.5 อธิบายลักษณะผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของแต่ละประเภทของผลกระทบทั้ง 11 ผลกระทบ (ต่อ)

ประเภทของกลุ่มของผลกระทบ	ลักษณะของผลกระทบ
Radiation	ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์เนื่องจากสารที่มีการแผ่รังสี เช่น โคบอลต์ ยูเรเนียม เป็นต้น
Carcinogenic	ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์เนื่องจากการปล่อยสารที่ก่อมะเร็ง เช่น อะคริโลไนไทรล์ คลอโรฟลอม์เป็นต้น
Respiration of organic substance	ผลกระทบต่อมนุษย์เนื่องจากการปล่อยสารที่ส่งผลต่อระบบทางเดินหายใจ เนื่องจากการปล่อยสารอินทรีย์ ได้แก่ บิวเทน อีเทน เดกเทน เป็นต้น
Respiration of inorganic substance	ผลกระทบต่อมนุษย์เนื่องจากการปล่อยสารที่ส่งผลต่อระบบทางเดินหายใจเนื่องจากการปล่อยอนินทรีย์สารสู่บรรยากาศได้แก่ แอมโมเนียม ซัลเฟต เป็นต้น



รูปที่ 2.3 แสดงแนวคิดในการจัดทำการประเมินวัฏจักรชีวิตโดยใช้ Eco-indicator 99**[8]**

2.4.3.2 การเปลี่ยนค่าที่ได้จากขั้นการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมให้กลายเป็นค่าของผลกระทบของแต่ละกลุ่มผลกระทบโดยดัชนีชี้วัดของ Eco-indicator 99

ขั้นตอนการเปลี่ยนจากค่าที่ได้จากขั้นการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมให้กลายเป็นค่าศักยภาพผลกระทบของแต่ละกลุ่มผลกระทบของกลุ่มผลกระทบหลักสามกลุ่มผลกระทบ คือ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ต่อการลดลงของระบบนิเวศน์ และต่อการลดลงของทรัพยากร (ดังรูปที่ 2.3)

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

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

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

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

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

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

ผลจากการทำ Fate Analysis, Effect Analysis และ Damage Analysis เหมือนกับผลจากการทำ Classification และ Characterization คือการแจกแจงสารเข้าสู่ประเภทของผลกระทบและทำการคำนวณหาค่าของผลกระทบแต่ละประเภท จากนั้นจะทำการหาขนาดของ

ผลกระทบแต่ละกลุ่มเป้าหมายโดยใช้ค่า Normalization โดยการให้ความสำคัญของแต่ละกลุ่มเป้าหมายจะใช้ค่า Weighting ของบริษัท Pre' Consultant

2.5 ข้อมูลทั่วไปของไคโตซาน

2.5.1 แหล่งวัตถุดิบในธรรมชาติ

เซลลูโลส (cellulose) พอลิแซคคาไรด์จากพืชถือได้ว่าเป็นแหล่งวัสดุชีวภาพหลักคิดเป็นประมาณ 50% ของวัสดุชีวภาพทั้งหมดที่ได้จากธรรมชาติ ในขณะที่ไคติน (chitin) พอลิแซคคาไรด์จากสัตว์ พบมีมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส โดยสามารถแยกสกัดได้จากเปลือกของสัตว์ที่มีข้อปล้องในตระกูล crustacean จำพวก กุ้ง ปู เป็นต้น โดยพบเป็นองค์ประกอบหลักในโครงสร้างภายนอก เช่นกระดองปู เปลือกกุ้ง และแกนปลาหมึก เป็นต้น นอกจากนี้ ไคตินยังพบเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างหลักของแมลง รา และยีสต์ โดยปริมาณที่พบในสัตว์ต่าง ๆ มีปริมาณต่ำ ๆ ตั้งแต่ 0.01% จนพบในปริมาณสูงถึง 40% เมื่อเทียบกับน้ำหนักตัวแห้งของสัตว์เหล่านั้น ในตารางที่ 2.6 แสดงแหล่งวัตถุดิบของไคติน

ตารางที่ 2.6 แหล่งวัตถุดิบสำคัญของไคติน**[1]**

สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังประเภทมีข้อปล้อง (Arthropods)	แมลง (Insect)	จุลินทรีย์ (Microorganisms)
หนอนทะเล	แมลงป่อง	สาหร่ายสีเขียว
หอย	แมงมุม	ยีสต์
กุ้ง	มด	เชื้อรา
ปู	แมลงสาบ	สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำตาล
ปลาหมึก	แมลงปีกแข็ง	สปอร์

ในธรรมชาติเราจะไม่พบไคตินเป็นโครงสร้างหลักเดี่ยวๆ ในสิ่งมีชีวิต โดยจะพบในรูปที่เป็นสารประกอบที่ปะปนอยู่กับสารอื่น เช่น ในเปลือกกุ้ง หรือ กระดองปู จะพบมีหินปูนหรือแคลเซียมและโปรตีนประกอบอยู่ด้วย ในขณะที่ในเปลือกแข็งหุ้มของแมลงจะประกอบด้วยไคตินในรูปที่เป็นสารเชิงซ้อนของไคตินกับโปรตีน (chitin-protein complex) และในผนังเซลล์ของ รา ยีสต์ หรือ

จุลินทรีย์ ไคตินจะอยู่ร่วมกับสารอินทรีย์อื่นๆ ในบรรดาสัตว์จำพวก arthopods กุ้ง ปู นับเป็นแหล่งวัตถุดิบสำคัญในการผลิตไคตินเชิงพาณิชย์ เนื่องจากกากของเสียที่ได้จากการแปรรูปเพื่อไปเป็นอาหารมีจำนวนมาก โดยเฉพาะกุ้งซึ่งถือได้ว่าเป็นสัตว์เศรษฐกิจสำคัญของโลกมีมูลค่าการส่งออกและนำเข้าจำนวนมากในแต่ละประเทศทั่วโลก

ปริมาณไคตินที่เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างต่อน้ำหนักตัวแห้งของสัตว์ต่าง ๆ เหล่านี้มีต่างกันไป ซึ่งแสดงไว้ดังตารางที่ 2.7

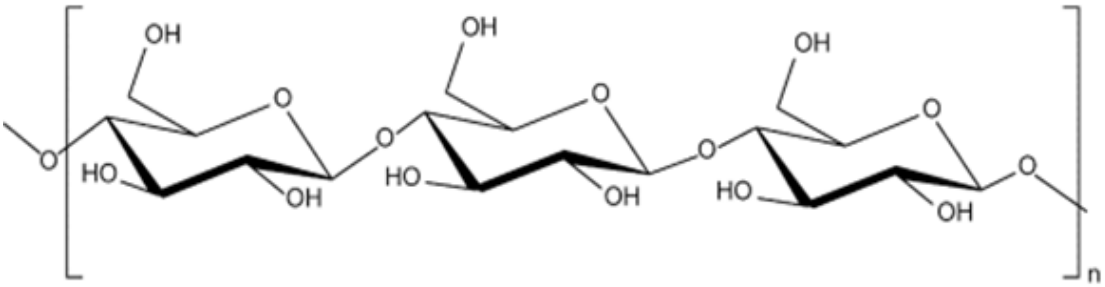
ตารางที่ 2.7 แสดงปริมาณไคตินทีมีในสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ**[1]**

แหล่งวัตถุดิบ	ปริมาณที่พบ (%)
เชื้อรา	5-20
หนอน	20-38
ปลาหมึก	3-20
แมงป่อง	30
แมงมุม	38
แมลงสาบ	35
แมลงปีกแข็ง	37
กุ้ง	40
หนอนไหม	44
ปูเสฉวน	69
ปูหิน	70

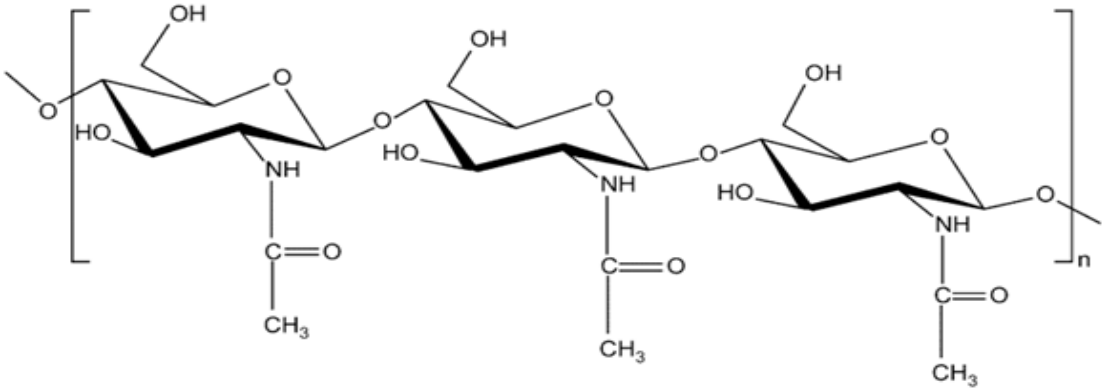
2.5.2 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับไคตินและไคโตซาน

ไคติน มีชื่อทางเคมีว่า Poly [β-(1⟶4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucopyranose] เป็นสารชีวภาพที่มีโครงสร้างคล้ายกับเซลลูโลส แต่จะต่างกันที่ตำแหน่ง C-2 โดยเซลลูโลสจะประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล ส่วนไคตินจะประกอบด้วยหมู่อะซิทามิโด (acetamido group) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.4(ก) และ 2.4(ข) ตามลำดับ โดยทั่วไปมักพบไคตินในผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น เห็ด รา รวมทั้งเปลือกของแมลงและสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลังประเภทมีข้อและปล้อง อาทิ กุ้ง ปูและปลาหมึก

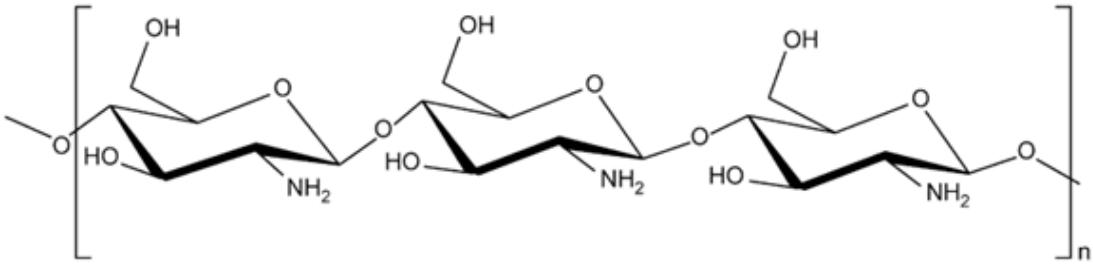
ไคโตซานหรืออนุพันธ์ของไคตินที่ได้จากการทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิทิลของไคติน หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยา deacetylation โดยแช่ไคตินในสารละลายด่างเข้มข้น ซึ่งไคโตซานที่ได้นี้มีชื่อทางเคมีว่า poly [β-(1⟶4)-2-amino-2-deoxy-D-glucopyranose] เป็นโพลิเมอร์ที่ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์เกือบทั้งหมดและน้ำที่มีค่า pH เป็นกลางหรือด่าง แต่สามารถละลายในกรดอ่อน โครงสร้างของไคโตซานแสดงไว้ในรูปที่ 2.4 (ค)[9]



(ก) โครงสร้างของเซลลูโลส



(ข) โครงสร้างของไคติน



(ค) โครงสร้างของไคโตซาน

รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส ไคตินและไคโตซาน

กรรมวิธีการผลิตไคตินและไคโตซานมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งวิธีทางเคมีและทางชีวภาพ ซึ่งในระดับอุตสาหกรรมมักจะใช้วิธีทางเคมี และวัตถุดิบส่วนใหญ่มาจากกากของเหลือในอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง อาทิ เปลือก-หัวกุ้ง กระดองปูและแกนปลาหมึก โดยสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของไคตินและไคโตซานที่ได้มีความหลากหลายขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ (species) ของสัตว์เหล่านี้ รวมถึงกรรมวิธีการผลิต ดังนั้นกระบวนการผลิตที่นำเอาเทคโนโลยีชีวภาพเข้ามาผสมผสานกับกระบวนการผลิตทางเคมี จึงมีการพัฒนาขึ้นเพื่อให้ได้สมบัติของผลิตภัณฑ์ไคตินและไคโตซานตามต้องการและเหมาะสมกับการนำไปใช้

- **การใช้ประโยชน์**[10-14]

กว่าสองทศวรรษ ที่มีการค้นคว้าวิจัยอย่างกว้างขวางในการนำไคตินและไคโตซานไปใช้ในด้านต่างๆ อาทิ การเกษตร อาหาร เส้นใยและสิ่งทอ ตลอดจนการนำมาใช้ในการบำบัดน้ำ

- ด้านการเกษตร

การศึกษาวิจัยเพื่อนำสารไคติน-ไคโตซานมาใช้ในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรทั้งพืชและสัตว์ได้เกิดขึ้นอย่างแพร่หลายเนื่องจากการใช้ไคตินและไคโตซานให้ผลดีในแง่ของการเป็นสารธรรมชาติที่ช่วยลดความเสี่ยงของเกษตรกรและผู้บริโภคต่อการได้รับสารพิษจากปุ๋ยและยาปราบศัตรูพืช พร้อมทั้งมีจุดเด่นที่สามารถช่วยเพิ่มผลผลิต ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาพืชผลทางการเกษตร รวมถึงสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้และปลอดภัยต่อสภาพแวดล้อม การใช้ประโยชน์จากไคตินและไคโตซานทางด้านการเกษตร สามารถนำไปใช้ได้ในเกือบทุกขั้นตอนหรือเกือบครบวงจร ดังตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานที่สำคัญต่อไปนี้

ใช้เป็นสารปรับสภาพดินสำหรับเพาะปลูก

ไคตินหรือไคโตซานในลักษณะที่เป็นผงหรือสารละลายสามารถนำมาใช้ผสมกับดินสำหรับเพาะปลูกหรือผสมกับ media ที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อได้ การใช้ไคโตซานผสมใยปุยน้ำสำหรับพืชมีข้อดี คือ สามารถยึดเกาะกับพื้นผิวดินได้ดี ทนต่อการถูกชะล้าง ลดการระเหยของน้ำ อีกทั้งยังเป็นตัวควบคุมการปลดปล่อยแร่ธาตุและสารอาหารให้แก่พืชอีกด้วย

ใช้ในการเคลือบเมล็ดพืช

ไคโตซานสามารถนำมาใช้เป็นสารเคลือบเมล็ดพืชเพื่อป้องกันการขูดขีดและเสียหายของเมล็ดพันธุ์ โดยฟิล์มไคโตซาน มีลักษณะยืดหยุ่น แข็งแรง ยึดเกาะกับผิวเมล็ดพันธุ์ได้ดี และที่สำคัญคือ ช่วยเพิ่มอัตราการงอกของเมล็ด นอกจาก oligoglucosamine จะมีผลต่อการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง แล้วยังพบว่าสามารถสร้างปมรากที่ใช้ในการตรึงไนโตรเจนเพิ่มขึ้นถึง 2 เท่า และมีผลผลิตเพิ่มขึ้น 20-30% ส่วนการใช้ 0.1% ไคโตซานในกรดอะซีติกสามารถเร่งอัตราการงอกของเมล็ดกะหล่ำปลี ในขณะที่ 1.5% ไคโตซานในกรดแลคติกให้ผลดีต่อการงอกของเมล็ดผักกาดหอมและคื่นฉ่าย

ใช้เป็นสารกระตุ้นการเจริญเติบโต

การฉีดพ่นไคโตซานความเข้มข้น 10-15 ppm ในนาข้าวส่งผลให้ผลผลิตข้าวมีปริมาณเพิ่มขึ้น 41.7-91.5% โดยขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ทำการเพาะปลูกและการใช้ไคโตซานความเข้มข้น 10 ppm ฉีดพ่นกล้วยไม้มีผลช่วยเร่งการเจริญเติบโตของใบใหม่ เมื่อนำ oligochitosan ที่เตรียมขึ้นโดยวิธีอาบรังสีมาเติมลงใน media สำหรับเพาะกล้วยไม้ด้วยความเข้มข้น 50-75 ppm สามารถช่วยเร่งอัตราการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ได้ดี สำหรับการศึกษากับต้นเยอบิร่า พบว่า ปริมาณไคโตซานที่เหมาะสมต่อการเพิ่มจำนวนดอกและกระตุ้นการเจริญเติบโตของใบ คือ 60 ppm และ 20-40 ppm ตามลำดับ

ส่วนการศึกษาในกรณีของสัตว์ พบว่าไคโตซานสามารถใช้เป็นสารเร่งการเจริญเติบโตของสุกรได้ โดยให้อัตราแลกเนื้อเพิ่มขึ้นและสามารถลดปริมาณการใช้ยาปฏิชีวนะได้ในปริมาณมาก ทำให้สุกรมีสุขภาพแข็งแรงขึ้น ลดอาการป่วยของสุกรภายในฟาร์มและลดต้นทุนการผลิตลงได้ นอกจากนี้ยังมีการทดลองใช้ไคโตซานผสมในอาหารสำหรับไก่เนื้อ ซึ่งมีผลทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตดี ขนสวย สุขภาพแข็งแรงสมบูรณ์กว่ากลุ่มที่ไม่ได้ใช้ไคโตซาน

ใช้เป็นสารต้านทานโรคพืช

จากการใช้ไคโตซานความเข้มข้น 70 ppm ฉีดพ่นต้นข้าวโพด พบว่าเปอร์เซ็นต์การถูกทำลายโดยเชื้อราของต้นข้าวโพดลดลงเหลือ 14.7% นอกจากนี้ยังพบว่าเมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านการเคลือบด้วย 0.4% oligoglucosamine มีความต้านทานต่อ rust disease ได้ดีขึ้น ทำให้สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้เพิ่มขึ้นถึง 36.9%

ใช้เป็นสารยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว

จากการศึกษาโดยใช้ไคโตซานเคลือบผิวผลไม้ชนิดต่างๆ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา พบว่าไคโตซานมีผลทำให้ผลไม้สดสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานขึ้น พบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของไคโตซานที่ใช้ในการเคลือบผิวส้มสด คือ 1.6% และ 1.8% ใน 2% กรดอะซีติก โดยสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 35-40 วัน ในกรณีของการเก็บรักษากล้วยพบว่า เมื่อนำกล้วยจุ่มลงในสารละลาย 1.5% ไคโตซาน ซึ่งเตรียมจากไคโตซานที่ผ่านการอาบรังสีที่ 25 kGy แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้แห้ง กล้วยจะเริ่มสุกตามธรรมชาติหลังจากเก็บไว้นานถึง 20 วัน นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ไคโตซานที่ความเข้มข้น 1% และ 1.3% สามารถชะลอการสุกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ได้จนถึงวันที่ 25 ของการเก็บรักษา

ใช้ผลิตอุปกรณ์ทางการเกษตร

ไคโตซานหรืออนุพันธ์สามารถนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตแผ่นคลุมดิน เพื่อเร่งการเจริญเติบโตของพืช เพิ่มอุณหภูมิของดินและช่วยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้ในการผลิตกระถางหรือถุงเพาะต้นกล้าได้ ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

- ด้านเส้นใยและสิ่งทอ

จากการสำรวจงานวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ไคตินไคโตซานทางด้านเส้นใยและสิ่งทอ พบว่า สามารถแบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ดังนี้

ใช้ผลิตเป็นเส้นใยและเส้นด้าย

เส้นใยไคตินและไคโตซานสามารถนำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ผ้านอนวูฟเวน (nonwoven) ผ้าปิดแผล ไหมละลาย เป็นต้น ในขั้นตอนของกระบวนการขึ้นรูปใช้วิธีละลายด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม แล้วจึงปั่น (spin) เส้นใยผ่านหัวรีดที่มีรูเล็กๆ ที่เรียกว่า spinneret ลงในอ่างสารเคมีที่ทำให้เกิดการแข็งตัว (coagulation bath) ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่าการปั่นเส้นใยแบบเปียก (wet spinning) การผลิตเป็นเส้นใยมีหลายลักษณะด้วยกัน เช่น ผลิตเส้นใยจากไคติน-ไคโตซานโดยตรง การผลิตเส้นใยไคตินโดยละลายไคตินด้วยสารละลายเอไมด์-LiCl แล้วอัดรีดผ่าน spinneret ลงในอ่างที่มี butyl alcohol อยู่ พบว่าเส้นใยมีค่าความทนแรงดึงขณะแห้ง (dry tensile strength) อยู่ที่ 50 kg/mm (493 Pa) ส่วนการเตรียมเส้นใยไคโตซานได้ทำการศึกษาโดยใช้วิธีนำไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลขนาดต่างๆ มาเตรียมให้ได้ความเข้มข้น 1-8% พร้อมกับเติมสารเติมแต่งจำพวกยูเรีย และ/หรือ polyoxyglycol ลงไปด้วย อีกวิธีหนึ่งคือการผลิตโดยปั่นเป็นเส้นใยร่วมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่น โดยเตรียมเส้นใย cellulose-chitin-silk fibroin และ cellulose-silk fibroin ด้วยวิธี wet spinning ซึ่งพบว่าเส้นใยมีความเสถียรต่ออุณหภูมิถึง 200°C ทั้งนี้เส้นใยที่มี silk fibroin อยู่ไม่เกิน 10% จะให้สมบัติเชิงกลที่ดี โดยมี tenasity อยู่ใน ช่วง 1.08-1.20 g/denier นอกจากนี้ยังสามารถใช้วิธีนำไคโตซานไปเคลือบลงบนเส้นใยหรือเส้นด้ายชนิดอื่น มีการเตรียมเส้นด้ายฝ้ายที่เคลือบด้วยไคโตซาน (Chitosan coated cotton fiber, CCCF) โดยเริ่มจากการทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน เส้นด้ายฝ้ายด้วยสารละลาย potassium periodate แล้วจึงนำไปเคลือบด้วยสารละลายไคโตซานในกรดอะซีติก พบว่าสมบัติเชิงกลของ CCCF จะมีความใกล้เคียงกับเส้นด้ายฝ้ายที่ไม่ผ่านการเคลือบและผิวของเส้นใยมีความหยาบขึ้น ซึ่งเป็นผลดีต่อการดูดซับสาร เช่น ยา เป็นต้น

ใช้เป็นสารตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ (Textile finishing agent)

รายงานวิจัยเกี่ยวกับการนำไคตินและไคโตซานมาใช้ในการตกแต่งผ้าเพื่อปรับปรุงสมบัติการต้านทานจุลชีพ (antimicrobial) มีอยู่มากมาย เช่นการเตรียม chito-oligosaccharides โดยการ depolymerize ด้วย sodium nitrite ซึ่งเมื่อนำ chito-oligosaccharides ไปอัดรีดลงบนผ้าฝ้ายด้วยวิธีอัดรีด-อบแห้ง-อบผนึก (pad-dry-cure) พบว่าผ้าที่ผ่านการตกแต่งหลังจากผ่านการซัก 50 ครั้งแล้วยังคงมีประสิทธิภาพที่ทำให้ Staphylococcus aureus ลดลง 95% และ 100% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้พัฒนาสารตกแต่งเพื่อป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความว่องไวและสามารถ

สร้างพันธะที่แข็งแรงกับเส้นใย โดยการสังเคราะห์สาร NMA/GTMAC-Chitosan ซึ่งได้จากการนำไคโตซานมาทำปฏิกิริยากับ glycidyltrimethyl ammoniumchloride เพื่อให้ได้ GTMAC-Chitosan แล้วจึงนำไปทำปฏิกิริยากับ N-methylolacrylamide เพื่อให้ได้สารที่ต้องการโดยคาดว่าสารนี้จะสามารถสร้างพันธะโคเวเลนต์กับเซลลูโลสได้ กลไกการทำงานของไคโตซานในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลชีพนั้นยังไม่เป็นที่เข้าใจอย่างแน่ชัด แต่มีการตั้งสมมติฐานของกลไกการทำงานไว้ว่า อาจเกิดจากการที่ประจุบวกบนสายโซ่โมเลกุลไคโตซานเข้าไปจับกับผนังเซลล์ของจุลชีพแล้วทำให้เกิดช่องหรือโพรงทำให้ผนังเซลล์รั่วและตายลงในที่สุด หรือการที่ไคโตซานแทรกตัวผ่านเข้าไปในเซลล์ของจุลชีพและไปยับยั้งการสังเคราะห์ mRNA และสารประเภทโปรตีน และพบว่าการใช้ไคโตซานตกแต่งผ้าฝ้ายสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลเช่น ค่ามองศาการคืนตัวจากรอยยับขณะแห้งและเปียก (dry-wet wrinkle recovery angle) และความทนแรงดึงได้ นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาโดยนำไคโตซานไปใช้ในการปรับปรุงสมบัติการหดตัวของผ้าจากใยขนสัตว์ โดยใช้วิธีทำให้โมเลกุลไคโตซานมีหมู่ N-acyl ที่มีสายโซ่โมเลกุลยาวอยู่ในโครงสร้าง

ใช้เป็นสารช่วยในกระบวนการสิ่งทอ (Textile Auxiliaries)

บทบาทของไคโตซานที่ถูกนำมาศึกษาเพื่อใช้เป็นสารช่วยในกระบวนการสิ่งทอ ได้แก่ การศึกษาการใช้ไคโตซานเป็นทั้งตัวประสาน (binder) และสารให้ความหนืดข้นในแป้งพิมพ์ (thickener) ในการพิมพ์ผ้า polyester ซึ่งพบว่าคุณภาพงานพิมพ์บนผืนผ้ามีความคมชัดและมีความสม่ำเสมอ คงทนต่อการซักได้ดีและสามารถทำความสะอาดสกรีนได้ง่าย นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงผสมร่วมกับสารที่ใช้ในการตกแต่งกันยับคือ 4,5-dihydroxy-1,3-dimethyl-2-imidazolidinone (DHDMI) และตัวเร่งปฏิกิริยามีผลทำให้ผ้าฝ้ายสามารถรับสีไดเร็กท์และสีแอซิดได้ดีขึ้น

ใช้เป็นสารเติมแต่งในกระบวนการผลิตกระดาษ

ไคโตซานสามารถใช้เป็น dry strength agent สำหรับกระบวนการผลิตกระดาษจากเยื่อยูคาลิปตัสได้ โดยกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยไคโตซานจะมีความแข็งแรงและเมื่อผ่านการพิมพ์ด้วยระบบ anionic printing จะมีผลทำให้ได้งานพิมพ์ที่มีความคมชัด

- ด้านอาหาร

จากการศึกษาทดลองในสัตว์ พบว่าสัตว์แต่ละชนิดมีความสามารถในการย่อยไคตินและไคโตซานที่แตกต่างกันออกไป การทดลองใช้ไคโตซานในสัตว์เพื่อศึกษาความสามารถในการลดระดับคอเลสเตอรอลนั้นพบว่าให้ผลดี ส่วนงานวิจัยที่ศึกษากับมนุษย์ยังมีอยู่น้อยมาก แต่มีรายงานว่าสามารถลดระดับคอเลสเตอรอลลงได้ 5.8-42.6% ปัจจุบันไคโตซานมีการผลิตออกจำหน่ายอย่างแพร่หลายในรูปของอาหารเสริมเพื่อลดคอเลสเตอรอลและควบคุมน้ำหนัก

จากสมบัติของไคโตซานในด้านการยับยั้งเชื้อจุลชีพ เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา นับเป็นจุดเด่นที่สำคัญต่อการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการถนอมอาหาร เช่น ในการเก็บรักษาเนื้อปลา พบว่าไคโตซานจากเปลือกกุ้งที่มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติลสูงๆ เช่น 95-98% DD มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อแบคทีเรียได้ดี โดยสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้จาก 5 วันเป็น 9 วัน นอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้ในเครื่องปรุงรสอาหาร เช่น ซีอิ๊ว

ไคโตซานยังถูกนำมาใช้เป็นสารเติมแต่งในกระบวนการผลิตอาหารและเครื่องดื่มหลายชนิด มีการศึกษาใช้ไคโตซานเป็นตัวดูดซับสารประเภท phenolic ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดสีน้ำตาล (browning) ของไวน์ขาว โดยพบว่าไคโตซานให้ประสิทธิภาพดีเทียบเท่ากับสารดูดซับที่ใช้อยู่เดิมในกระบวนการผลิต นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถใช้เป็นตัวควบคุมความเป็นกรดในน้ำผลไม้ได้อีกด้วย

เนื่องจากไคตินและไคโตซานสามารถนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้จึงมีการผลิตเพื่อนำมาใช้เป็นฟิล์มห่อหุ้มเพื่อถนอมอาหาร โดยพบว่าฟิล์มไคโตซานที่มีคุณภาพเหมาะสมต่อการนำมาใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์ สำหรับผลิตภัณฑ์ปลาควรมีปริมาณเถ้าไม่เกิน 1.5% และ DD อยู่ในช่วง 80-90% ซึ่งกลไกของการยืดอายุการถนอมอาหารด้วยแผ่นฟิล์มนี้เกี่ยวข้องกับการควบคุมการถ่ายเทความชื้นระหว่างอาหารและภาวะแวดล้อม การควบคุมการปลดปล่อยสารเคมีบางชนิด เช่น สารที่มีฤทธิ์ยับยั้งจุลชีพ สาร antioxidant รวมถึงการควบคุมอุณหภูมิและลดอัตราเมตาบอลิซึมเป็นต้น การสร้างฟิล์มที่มีความแข็งแรงขึ้นสามารถทำได้โดยใช้ crosslinking agent เช่น glutaraldehyde หรือ สาร polyelectrolytes เข้าร่วมด้วย

- ด้านการบำบัดน้ำ

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าไคโตซานมีประสิทธิภาพในการใช้เป็นสารตกตะกอนชีวภาพ (bioflocculant) ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร พบว่าการนำเอาไคโตซานมาใช้เป็นสารตกตะกอนชีวภาพร่วมกับ CMC เพื่อแยกโปรตีนและไขมันออกจากน้ำเสียของ

อุตสาหกรรมการผลิตนมนั้นให้ผลดีคือนอกจากจะเป็นระบบการบำบัดด้วยสารจากธรรมชาติแล้ว ยังทำให้น้ำเสียสามารถนำไปบำบัดต่อได้ง่ายขึ้น ลดปริมาณการใช้สารเคมีเพื่อปรับ pH และ sludge ที่ตกตะกอนแยกออกมาและยังสามารถนำไปใช้เป็นสารเติมแต่งในอาหารได้

นอกจากนี้เมื่อนำไคโตซานไปใช้เป็นสารตกตะกอนชีวภาพในบ่อเลี้ยงกุ้ง ยังพบว่าสามารถลดความขุ่น ปริมาณตะกอนแขวนลอย ตลอดจนค่า BOD และ COD ลงได้ ทำให้น้ำในบ่อมีคุณภาพดีขึ้นและส่งผลให้ได้ผลผลิตกุ้งปริมาณมากขึ้นและมีน้ำหนักเฉลี่ยสูงขึ้น

สำหรับการศึกษาเพื่อใช้ประโยชน์ไคติน-ไคโตซานในการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอนั้น ได้เตรียม adsorbant สำหรับดูดซับสีย้อมจากน้ำทิ้งโดยเตรียมขึ้นจากการผสมระหว่างไคโตซานกับเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งพบว่าเส้นใยไคโตซาน-เซลลูโลสสามารถดูดซับสีรีแอคทีฟและสีแอซิดได้ ส่วนการใช้ cross-linked chitosan bead ในการดูดซับสีรีแอคทีฟในน้ำสี โดยพบว่าสามารถกำจัดสีได้ 63% นอกจากนี้ chitosan bead ที่ desorp สีออกไปแล้ว ยังสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่โดยมีกำลังในการดูดซับสีไม่ต่างจากเดิมนอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอีกเป็นจำนวนมากที่ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้ไคติน-ไคโตซานเป็นตัวจับไอออนโลหะในน้ำทิ้ง เช่น ไอออนของปรอท ทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม เป็นต้น

- ด้านเครื่องสำอาง

ไคโตซานเป็นสารประเภท non-toxic polyelectrolyte ที่มีประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ที่เรียงรายอยู่บนโครงสร้างของไคโตซานจะมีความว่องไวต่อการจับกับผิวหนังและเส้นผมที่ประกอบด้วยสาร mucopolysaccharides โปรตีนและไขมันที่มีประจุลบได้เป็นอย่างดี ไคโตซานที่เคลือบอยู่นี้จะก่อตัวเป็นฟิล์มบางๆ พร้อมกับดูดซับความชื้นและไขมันเอาไว้จึงช่วยรักษาความชุ่มชื้นและความยืดหยุ่นให้แก่ผิวหนังและเส้นผมและนอกเหนือจากสมบัติในการช่วยยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและลดอาการระคายเคืองหรือคันศีรษะแล้ว อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง polysaccharides และโปรตีนของเส้นผมยังมีส่วนในการเพิ่มความเงางามให้แก่เส้นผมอีกด้วย การนำสารไคติน-ไคโตซานไปใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางโดยตรงยังคงมีข้อจำกัดในปัญหาด้านการละลายเนื่องจากไคตินนั้นไม่ละลายในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ส่วนใหญ่ ส่วนไคโตซานละลายได้ในสารละลายกรดเจือจางบางชนิด ดังนั้นที่ผ่านมาจึงได้มีการวิจัยและพัฒนาสารไคติน-ไคโตซานที่ละลายน้ำได้ โดยทำการดัดแปรโครงสร้างด้วยกระบวนการทางเคมี ซึ่งเตรียมได้จากการทำปฏิกิริยากับ levulinic acid สามารถละลายน้ำและสารละลายผสมระหว่างน้ำกับเอธานอลได้โดยไม่ต้องเติมกรดใดๆ สารละลายดังกล่าวจะแสดงสมบัติในการ

สร้างฟิล์ม ให้ความหนืดข้น ให้ความชุ่มชื้นและช่วยรักษาเสถียรภาพของอีมัลชัน มีการพัฒนาสาร N-carboxymethyl chitosan และ carboxymethyl chitin ที่สามารถละลายน้ำและเสถียรต่อ pH ในช่วงกว้าง

อนุพันธ์ของสารไคติน-ไคโตซานเหล่านี้มีสมบัติในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ให้กับผิวทั่วไปและผิวที่แพ้ง่าย รวมทั้งช่วยลดการเกิดริ้วรอย นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาโครงสร้างไคโตซานให้มีหมู่ hydrophobic และ hydrophilic เพื่อช่วยสร้างเสถียรภาพให้กับสารอีมัลชันและทำให้ส่วนผสมของเครื่องสำอางสามารถผสมเข้ากันได้ดี โดยการเตรียมสาร N-lauryl-N-methylene phosphonic chitosan โดยใช้วิธีเติมสายโซ่อัลคิลเข้าไปใน N-methylene phosphonic chitosan (NMPC) เป็นต้น

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่มีส่วนผสมของสารไคติน-ไคโตซาน ได้แก่ ครีมและโลชั่นบำรุงผิว แชมพู โลชั่น บำรุงผม แป้งแต่งหน้า ยาทาเล็บ ยาสีฟัน และมอยส์เจอไรเซอร์ เป็นต้น

- ด้านการแพทย์และเภสัชกรรม

ไคติน-ไคโตซานเป็นสารธรรมชาติที่มีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อและเซลล์ของร่างกาย สามารถรับประทานได้และย่อยสลายได้ตามธรรมชาติโดยไม่เป็นพิษต่อร่างกาย จึงมีงานวิจัยจำนวนมากที่ให้ความสนใจกับการนำสารไคติน-ไคโตซานมาประยุกต์ใช้ทางด้านการแพทย์และเภสัชกรรมดังตัวอย่างต่อไปนี้

ใช้ในวัสดุทดแทน

เตรียม hydroxyapatite (HA)-chitin โดยใช้ HA กระจายตัวอยู่ในไคติน จากการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า เมื่อเติม HA ในปริมาณสูงจะมีผลทำให้วัสดุมีความแข็งแรงลดลงแต่ยังคงแสดง plastic properties อยู่ มีรายงานถึงการศึกษาการใช้ phosphoryl chitin (P-chitin) ร่วมกับ monocalcium phosphate และ calcium oxide เพื่อผลิตวัสดุทดแทนกระดูกที่เซ็ตตัวได้รวดเร็วและมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น เพื่อใช้เป็น phosphate cement และมีการเตรียม HA-chitosan microspheres เพื่อใช้เป็น filling ในกระดูกและฟัน โดยใช้วิธีผสมผง HA กับสารละลายไคโตซานตามด้วย paraffin oil, hexane และ surfactant แล้วทำการ crosslink ด้วย glutaraldehyde ซึ่งพบว่าสามารถเตรียม microspheres ที่มีขนาดในช่วง 125-1,000 ไมครอน

ใช้ทางด้าน Tissue Engineering

ได้มีการศึกษาการเตรียม porous chitin matrixes โดยเริ่มจากการเตรียม chitin gels จากสารละลายไคติน จากนั้นจึงใช้วิธี lyophilization เพื่อทำให้เกิดเป็น porous matrixes พบว่ารูพรุนที่เกิดขึ้นมีขนาดอยู่ในช่วง 100-500 ไมครอน และเมื่อทดลองนำไปฝังไว้กับ fibroblast cell ของหนูและมนุษย์พบว่า เซลล์เหล่านี้สามารถเจริญเติบโตปกคลุม porous matrixes ได้ นอกจากนี้ยังมีการเตรียม macroporous chitosan/calcium phosphate scaffold โดยไคโตซานทำหน้าที่เป็น scaffold ในขณะที่ calcium phosphate ซึ่งมีความว่องไวทางชีวภาพจะช่วยเสริมการเกาะติดของ osteoblast และให้ความแข็งแรงแก่ scaffold

2.6 กระบวนการผลิตไคโตซาน[9]

จากหัวข้อที่แล้วมาจะเห็นว่าการผลิตไคโตซานนั้นมีการนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายอย่าง ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้เลือกทำการผลิตไคโตซานโดยวิธีทางเคมี ซึ่งทำการศึกษาสามวัตถุดิบแตกต่างกันเป็นทางเลือกการผลิตที่ในอุตสาหกรรมใช้กันทั่วไปนั้นคือผลิตจากสารตั้งต้นที่เป็นเปลือกกุ้ง กระดองปู และแกนปลาหมึก

2.6.1 การผลิตไคติน

กระบวนการผลิตไคตินจากเปลือกของสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง (Crustacean shell waste) มีขั้นตอนพื้นฐานอยู่ 3 ขั้นตอน ดังนี้: ขั้นตอนที่ 1 การแยกแร่ธาตุ (demineralization); ขั้นตอนที่ 2 การแยกโปรตีน (deproteinization) และขั้นตอนที่ 3 การแยกเม็ดสี (decoloration) ซึ่งขั้นตอนที่ 1 และ 2 สามารถสลับลำดับก่อนหลังได้ อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตไคตินที่ต้องการนำโปรตีนที่สกัดได้กลับมาใช้ประโยชน์ จำเป็นจะต้องเริ่มจากขั้นตอนการแยกโปรตีนออกจากเปลือกของสัตว์เหล่านี้ก่อนขั้นตอนการแยกแร่ธาตุ เนื่องจากโปรตีนที่ได้จะมีปริมาณและคุณภาพที่ดีกว่า

ขั้นตอนการแยกแร่ธาตุ (Demineralization)

การแยกแร่ธาตุออกจากวัตถุดิบมักใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจางที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งหากมีการกวนอย่างทั่วถึงจะใช้เวลาเพียง 2-3 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้ตั้งแต่ 30 นาที จนถึง 2 วัน ขึ้นอยู่กับ วิธีการแยก นอกจากนี้การยืดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจะมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการดึงแร่ธาตุออกจากไคติน หากเปรียบเทียบวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไคตินระหว่างกระดองปูและเปลือกกุ้ง พบว่า การแยกแร่ธาตุ

ออกจากกระดองปูจะกระทำได้ยากกว่าเปลือกกุ้ง และความเข้มข้น HCl ที่ใช้ในการแยกแร่ธาตุไม่ควรน้อยกว่า 0.7 โมลาร์ อย่างไรก็ตามการใช้กรดมากเกินไปจะทำให้น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานลดลง

ขั้นตอนการแยกโปรตีน (Deproteination)

ซึ่งขั้นตอน การแยกโปรตีนนี้มักใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และอุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 55-100°C นอกจากนี้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (reaction time) ขึ้นอยู่กับวิธีและสภาวะที่ใช้ในการสกัดโปรตีน อย่างไรก็ตามหากปล่อยให้กากเหล่านี้ทำปฏิกิริยานานเกินไปในสภาวะรุนแรงจะทำให้สายโซ่ของไคตินถูกตัด (depolymerization) และยังเกิดปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิทิลด้วย แต่ต้องอาศัยการกวนอย่างสม่ำเสมอพบว่าการเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา deproteinization และความเข้มข้นของ NaOH ไม่ทำให้ปริมาณโปรตีนที่เหลือแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามหากนำวัตถุดิบมาแช่ในสารละลายผสมระหว่างคลอโรฟอร์มและเมทานอล (2:1) ก่อนการแยกโปรตีน จะทำให้ปริมาณโปรตีนในไคตินลดน้อยลงถึง 0.5% นอกจากนี้ยังพบว่า ขนาดของวัตถุดิบไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณโปรตีน แต่จะมีผลต่อการเพิ่มอัตราเร็วในการแยกโปรตีน ซึ่งหากลดขนาดของวัตถุดิบจะทำให้อัตราในการแยกโปรตีนเร็วขึ้น

การแยกสี (Decoloration)

การผลิตไคตินจากขั้นตอนดังได้กล่าวไว้ข้างต้นนั้น พบว่าไคตินที่ได้มักจะยังคงมีสี ดังนั้นหากต้องการไคตินฟอกขาวจะต้องนำไคตินมาผ่านกระบวนการแยกสีโดยใช้สารฟอกขาว ได้แก่ เอธานอล โซเดียมไฮโปรคลอไรท์ อะซิโตน และ 3% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น

ในกระบวนการผลิตไคตินด้วยวิธีทางเคมีนั้น สามารถลดปริมาณการใช้สารเคมีในช่วงการแยกโปรตีน แยกแร่ธาตุ และลดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา โดยการใช้เทคนิคต่างๆ อาทิ การบด (crushing) การกด (pressing) การอบแห้ง การล้าง ด้วยน้ำที่มี pH เป็นกรด การต้มและการหมัก ดังนั้นกากของเหลือที่ผ่านการทำพรีทรีทเมนต์แล้ว สามารถนำมาสกัดไคตินโดยใช้ NaOH และ HCl ที่ความเข้มข้นเพียง 2.5% ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเพียง 6 ชั่วโมง

2.6.2 การผลิตไคโตซาน

การสกัดไคโตซานจากไคตินสามารถทำได้โดยการแช่ไคตินในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น (40-50%) ที่อุณหภูมิ 100°C หรือสูงกว่า ทำให้หมู่อะซิทิลบางส่วนหรือทั้งหมดจะถูกดึงออกจากโพลิเมอร์

2.7 ทางเลือกของการผลิตไคโตซานที่ใช้ในการศึกษา

2.7.1 การผลิตไคโตซานจากสารตั้งต้นที่เป็นเปลือกกุ้ง: แบบที่ 1[15]

การผลิตไคโตซานจากสารตั้งต้นที่เป็นเปลือกกุ้งโดยชนิดของวัตถุดิบที่ใช้และลำดับขั้นตอนการผลิตมีดังนี้

- **ขั้นตอนการผลิตไคโตซานจากเปลือกกุ้ง**

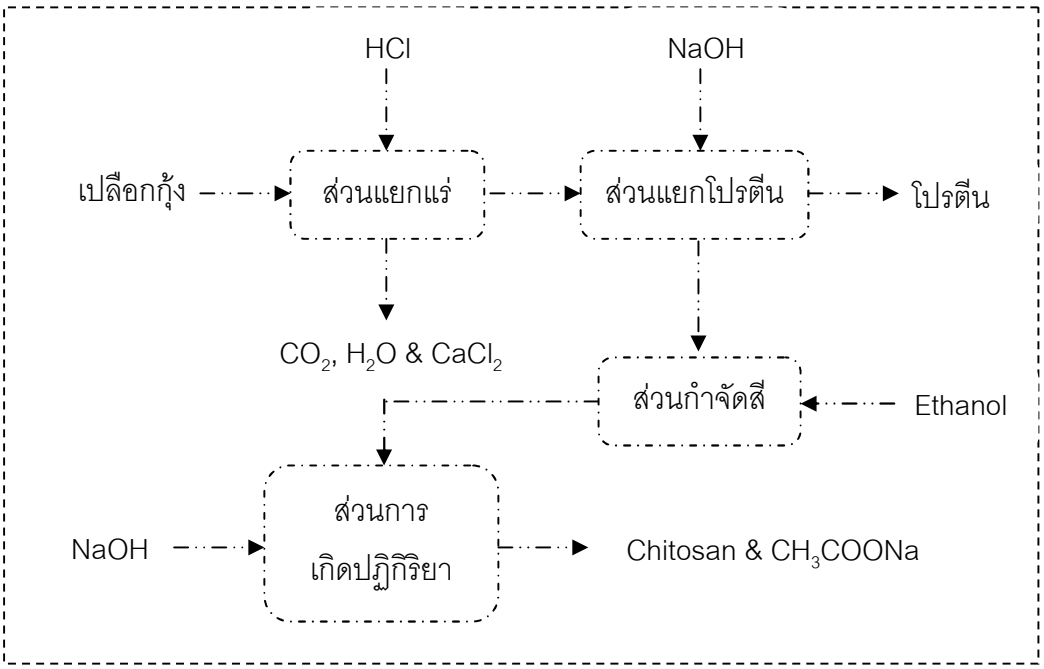
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลียนแบบกระบวนการผลิตไคโตซานโดยใช้โปรแกรม Hysys Plant version 3.1 ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการจำลองกระบวนการผลิตนั้นได้มาจากสิทธิบัตรและวารสารที่เกี่ยวข้อง จากข้อมูลเหล่านี้ทำให้แบ่งการผลิตไคโตซานได้เป็น 4 ส่วนหลักโดยได้แสดงภาพรวมดังรูปที่ 2.5

2.7.1.1 ส่วนการแยกแร่

2.7.1.2 ส่วนการแยกโปรตีน

2.7.1.3 ส่วนการกำจัดสี

2.7.1.4 ส่วนการเกิดปฏิกิริยา



รูปที่ 2.5 แผนผังของการผลิตไคโตซานจากเปลือกกุ้ง

การผลิตไคโตซานจากสารตั้งต้นที่เป็นเปลือกกุ้ง แผนผังแสดงดังรูปที่ 2.5 สารเคมีที่ใช้ประกอบด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดไฮโดรคลอริกและเอธานอล โดยเริ่มจากเปลือกกุ้งเข้าสู่หน่วยแยกแร่ โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้าไปทำปฏิกิริยาเพื่อกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนต โดยหน่วยนี้มีสารที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมคือ คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและแคลเซียมคลอไรด์ แล้วส่งต่อไปยังหน่วยแยกโปรตีนซึ่งในเปลือกกุ้งจะมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ หน่วยนี้จะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการแยกโปรตีนซึ่งหน่วยนี้จะทำให้ได้ไคตินและจากนั้นนำไคตินส่งต่อไปยังหน่วยการกำจัดสีและส่งต่อไปยังหน่วยการเกิดปฏิกิริยาดีอะเซธิลเลชันได้เป็นไคโตซานที่เป็นผลิตภัณฑ์หลักและโซเดียมเอธาโนเอทเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ โดยได้มีการจำลองกระบวนการผลิตแบบที่ 1 แสดงดังรูปที่ 2.6

2.7.1.1 ส่วนการแยกแร่

เปลือกกุ้งจะเข้าสู่กระบวนการแยกแร่เพื่อกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนต โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ โดยปฏิกิริยาเกิดดังสมการที่ 1

$$CaCO_3 + 2HCl \longrightarrow CO_2 + CaCl_2 + H_2O \qquad ...(1)$$

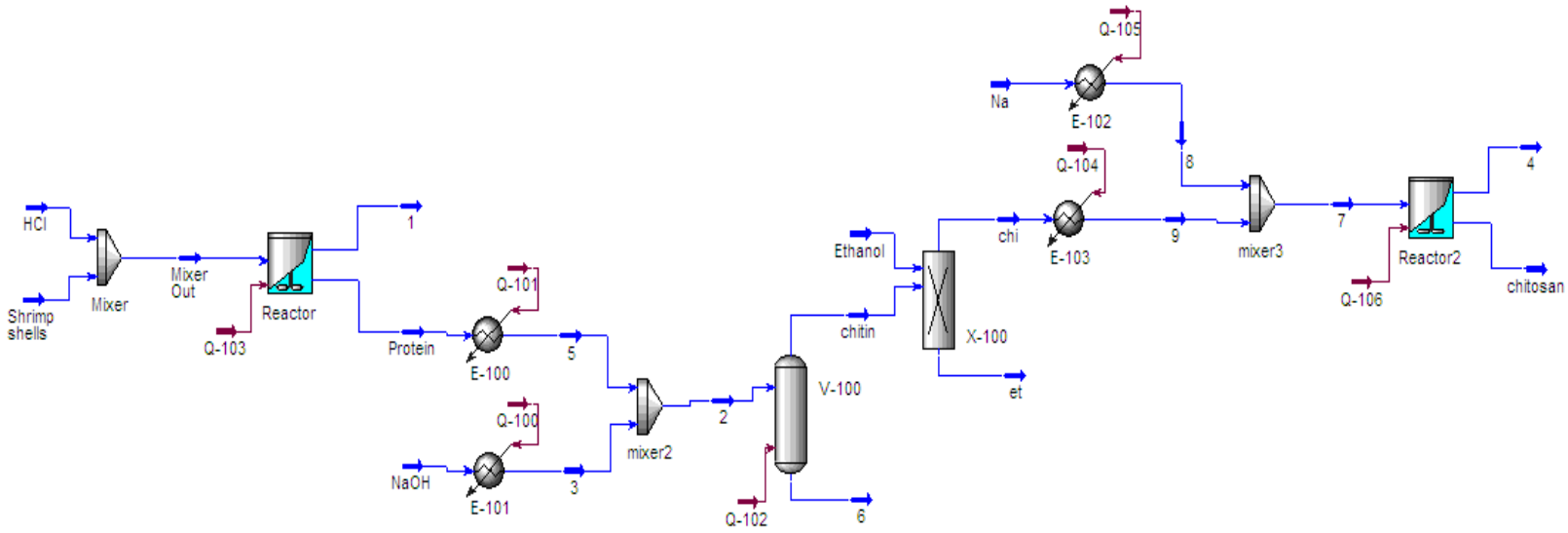
โดยอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 25 $^{\circ}$ C ความดัน 1 บรรยากาศ เวลาในการทำปฏิกิริยาคือ 1 ชั่วโมง

2.7.1.2 ส่วนการแยกโปรตีน

ในส่วนนี้เกิดการแยกโปรตีนออกจากเปลือกกุ้งโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลาร์ โดยอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 55 $^{\circ}$ C ความดัน 1 บรรยากาศ เวลาในการทำปฏิกิริยาคือ 2 ชั่วโมง

2.7.1.3 ส่วนการกำจัดสี

สารที่ออกจากกระบวนการแยกโปรตีน คือ ไคติน จะเข้าสู่กระบวนการกำจัดสีโดยใช้เอธานอล 95% อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 25 $^{\circ}$C ความดัน 1 บรรยากาศ เวลาในการทำปฏิกิริยาคือ 2 ชั่วโมง



รูปที่ 2.6 แผนผังจำลองกระบวนการผลิตแบบที่ 1

2.7.1.4 ส่วนการเกิดปฏิกิริยา

สารที่ออกจากกระบวนการกำจัดสีจะเข้าสู่ส่วนการเกิดปฏิกิริยา โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 140 °C ความดัน 1 บรรยากาศ เวลาในการทำปฏิกิริยาคือ 4 ชั่วโมง สารที่ออกจากหน่วยนี้คือ ไคโตซานและโซเดียมเอธาโนเอท

จากรูปที่ 2.6 แสดงแผนผังจำลองกระบวนการผลิตแบบที่ 1 ในส่วนแรกเป็นส่วนการแยกแร่ มีการป้อนเปลือกกุ้งและกรดไฮโดรคลอริกเข้าไปผสมกันเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 25 °C ในถังปฏิกรณ์ที่ 1และกำหนดสารที่ออกสายที่ 1 คือ กรดไฮโดรคลอริกที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา แคลเซียมคลอไรด์ น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น และอีกสายคือโปรตีน จากนั้นนำสายโปรตีนต่อเข้ากับส่วนที่สอง คือส่วนการแยกโปรตีน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารสกัดโปรตีนออกมาทั้งสองสายจะถูกให้ความร้อนก่อนส่งเข้าเครื่องแยกที่อุณหภูมิ 55 °C และกำหนดสารที่ออกจากสาย 6 คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือ น้ำและโปรตีน และอีกสายคือไคติน นำสายไคตินต่อเข้ากับส่วนที่สาม คือ ส่วนการกำจัดสี โดยใช้เอธานอลในการกำจัดสี จะได้สาย Chi คือ ไคตินที่ผ่านการกำจัดสีแล้วและสาย et คือเอธานอลที่ใช้ในการกำจัดสี จากนั้นต่อสาย Chi เข้ากับส่วนที่สี่ คือส่วนการเกิดปฏิกิริยา โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการทำปฏิกิริยา โดยทั้งสองสายจะถูกให้ความร้อนก่อนส่งเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 2 ที่อุณหภูมิ 140 °C และกำหนดสารที่ออกสาย 4 คือโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา โซเดียมเอธาโนเอทที่เกิดขึ้นและอีกสายคือไคโตซาน

2.7.2 การผลิตไคโตซานจากสารตั้งต้นที่เป็นกระดองปู: แบบที่ 2[16]

การผลิตไคโตซานจากสารตั้งต้นที่เป็นกระดองปูโดยชนิดของวัตถุดิบที่ใช้และลำดับขั้นตอนการผลิตไคโตซานมีดังนี้

- **ขั้นตอนการผลิตไคโตซานจากกระดองปู**

การผลิตไคโตซานจากสารตั้งต้นที่เป็นกระดองปู มีลักษณะกระบวนการผลิตเหมือนกับการผลิตจากสารตั้งต้นที่เป็นเปลือกกุ้งแต่แตกต่างกันที่สภาวะที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นภาพรวมการผลิตแสดงดังรูปที่ 2.7 โดยได้มีการจำลองกระบวนการผลิตแบบที่ 2 แสดงดังรูปที่ 2.8

2.7.2.1 ส่วนการแยกแร่

2.7.2.2 ส่วนการแยกโปรตีน

2.7.2.3 ส่วนการกำจัดสี

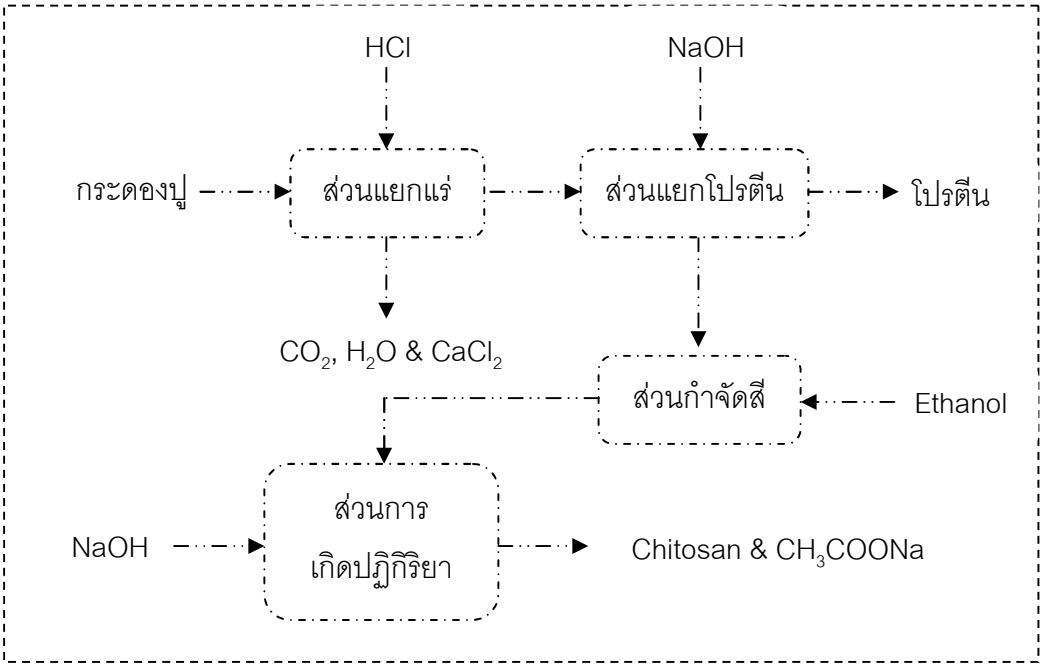
2.7.2.4 ส่วนการเกิดปฏิกิริยา

2.7.2.1 ส่วนการแยกแร่

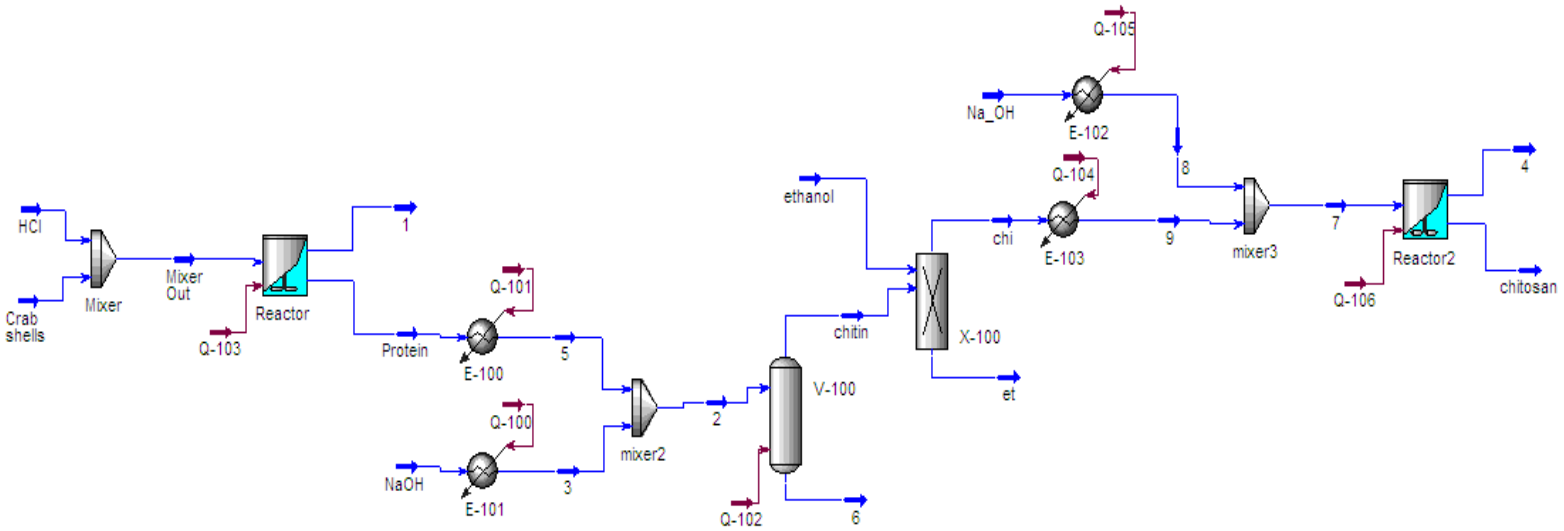
สารจะเข้าสู่กระบวนการแยกแร่เพื่อกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนตที่อยู่ในกระดองปูโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ โดยปฏิกิริยาเกิดดังสมการที่ 1 ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 25 $^{\circ}$C ความดัน 1 บรรยากาศ เวลาในการทำปฏิกิริยาคือ 6 ชั่วโมง

2.7.2.2 ส่วนการแยกโปรตีน

ในส่วนนี้ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลาร์ เพื่อแยกโปรตีนออกจากกระดองปู โดยอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 100 $^{\circ}$C ความดัน 1 บรรยากาศ เวลาในการทำปฏิกิริยาคือ 3 ชั่วโมง



รูปที่ 2.7 แผนผังของการผลิตไคโตซานจากกระดองปู



รูปที่ 2.8 แผนผังจำลองกระบวนการผลิตแบบที่ 2

2.7.2.3 ส่วนการกำจัดสี

สารที่ออกจากกระบวนการแยกโปรตีน คือ ไคติน จะเข้าสู่กระบวนการกำจัดสี โดยใช้เอธานอล 95% อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 25 °C ความดัน 1 บรรยากาศ เวลาในการทำปฏิกิริยาคือ 2 ชั่วโมง

2.7.2.4 ส่วนการเกิดปฏิกิริยา

สารที่ออกจากกระบวนการกำจัดสีจะเข้าสู่การเกิดปฏิกิริยา โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 105 °C ความดัน 1 บรรยากาศ เวลาในการทำปฏิกิริยาคือ 2 ชั่วโมง สารที่ออกจากหน่วยนี้คือ ไคโตซานและโซเดียมเอธาโนเอท

จากรูปที่ 2.8 แสดงแผนผังจำลองกระบวนการผลิตแบบที่ 2 โดยในส่วนแรกเป็นส่วนการแยกแร่ มีการป้อนกระดองปูและกรดไฮโดรคลอริกเข้าไปผสมกันเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 25 °C ในถังปฏิกรณ์ที่ 1และกำหนดสารที่ออกสายที่ 1 คือ กรดไฮโดรคลอริกที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาแคลเซียมคลอไรด์ น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น และอีกสายคือโปรตีน นำสายโปรตีนต่อเข้ากับส่วนที่สอง คือส่วนการแยกโปรตีน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารสกัดโปรตีนออกมา ซึ่งทั้งสองสายจะถูกให้ความร้อนก่อนส่งเข้าเครื่องแยกที่อุณหภูมิ 100 °C และกำหนดสารที่ออกจากสาย 6 คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือจากการสกัด น้ำและโปรตีน และอีกสายคือไคติน จากนั้นต่อสายไคตินเข้ากับส่วนที่สาม คือ ส่วนการกำจัดสี โดยใช้เอธานอล ได้สาย Chi คือ ไคตินที่ผ่านการกำจัดสีแล้วและสาย et คือเอธานอลที่ใช้แล้ว จากนั้นนำสาย Chi ต่อเข้ากับส่วนที่สี่ คือส่วนการเกิดปฏิกิริยา โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการทำปฏิกิริยา โดยทั้งสองสายจะถูกให้ความร้อนก่อนส่งเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 2 ที่อุณหภูมิ 105 °C และกำหนดสารที่ออกสาย 4 คือโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา โซเดียมเอธาโนเอทที่เกิดขึ้นและอีกสายคือไคโตซาน

2.7.3 การผลิตไคโตซานจากสารตั้งต้นที่เป็นแกนปลาหมึก: แบบที่ 3[17]

การผลิตไคโตซานโดยใช้แกนปลาหมึกเป็นสารตั้งต้นมีวัตถุดิบที่ใช้และขั้นตอนการผลิตไคโตซานดังนี้

- **ขั้นตอนการผลิตไคโตซานจากแกนปลาหมึก**

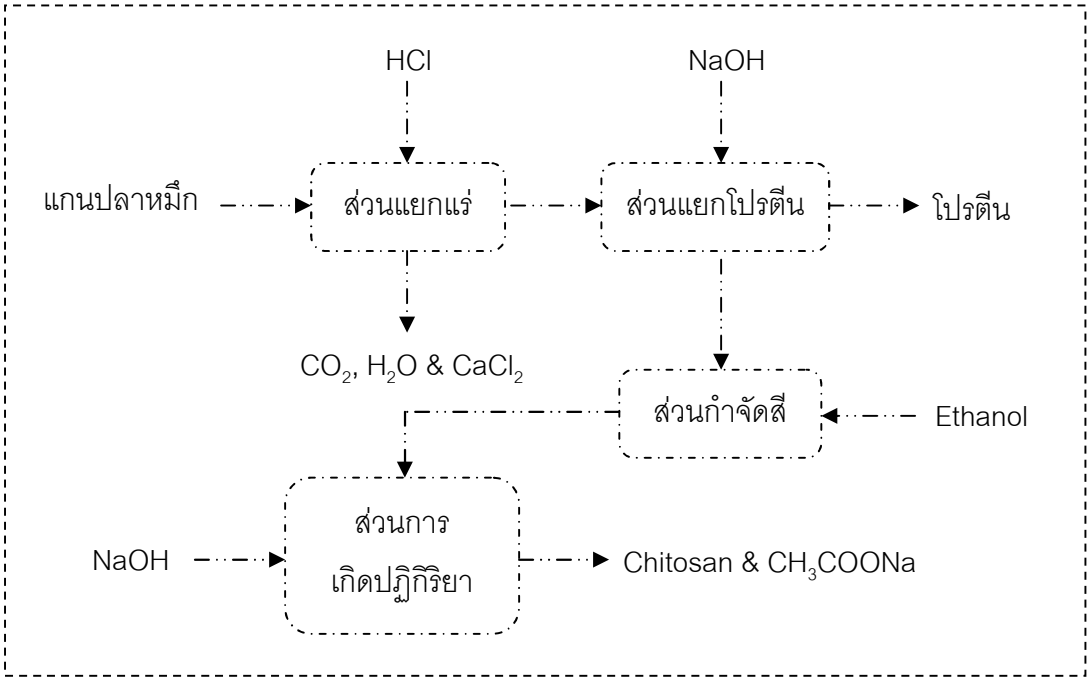
การผลิตไคโตซานจากสารตั้งต้นที่เป็นแกนปลาหมึก มีลักษณะกระบวนการผลิตเหมือนกับการผลิตจากสารตั้งต้นที่เป็นเปลือกกุ้งและกระดองปูแต่แตกต่างกันที่สภาวะที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นภาพรวมการผลิตแสดงดังรูปที่ 2.7 โดยรูปที่ได้จากการจำลองกระบวนการผลิตแบบที่ 3 แสดงดังภาคผนวก ก ซึ่งแบ่งเป็น 4 ส่วนหลักคือ

2.7.3.1 ส่วนแยกแร่

2.7.3.2 ส่วนแยกโปรตีน

2.7.3.3 ส่วนกำจัดสี

2.7.3.4 ส่วนการเกิดปฏิกิริยา



รูปที่ 2.9 แผนผังของการผลิตไคโตซานจากแกนปลาหมึก

2.7.3.1 ส่วนการแยกแร่

สารจะเข้าสู่กระบวนการแยกแร่เพื่อกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนตที่อยู่ในแกนปลาหมึกโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ โดยปฏิกิริยาเกิดดังสมการที่ 1 อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 25 °C ความดัน 1 บรรยากาศ เวลาในการทำปฏิกิริยาคือ 18 ชั่วโมง

2.7.3.2 ส่วนการแยกโปรตีน

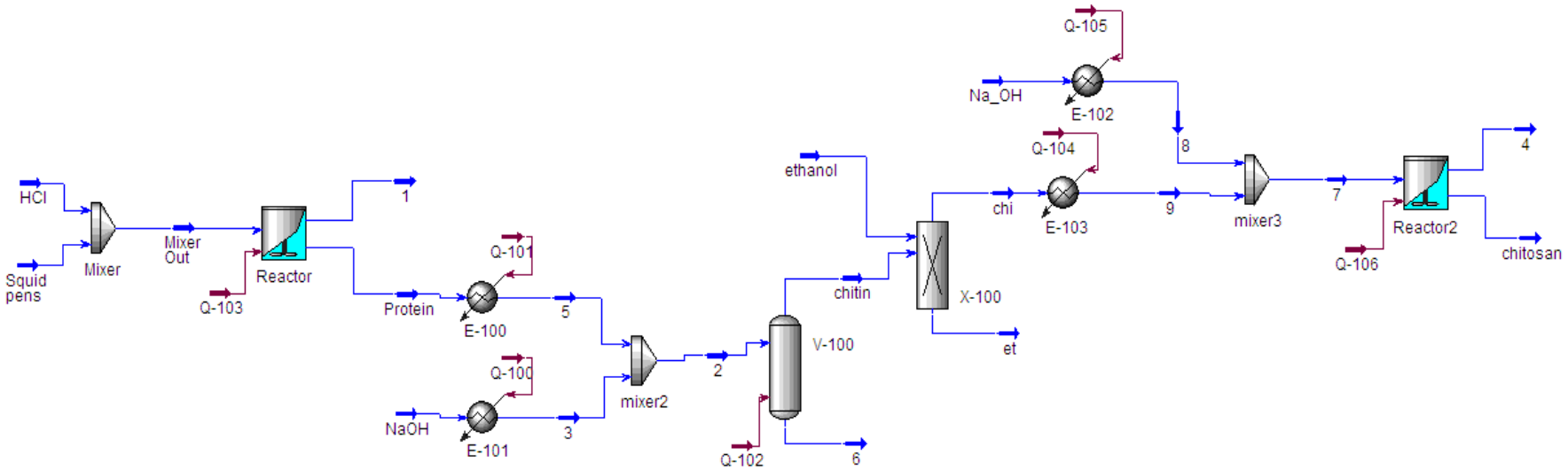
ในส่วนนี้ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลาร์ เพื่อแยกโปรตีนออกจากแกนปลาหมึก โดยอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 87 ° C ความดัน 1 บรรยากาศ เวลาในการทำปฏิกิริยาคือ 18 ชั่วโมง

2.7.3.3 ส่วนการกำจัดสี

สารที่ออกจากกระบวนการแยกโปรตีน คือ ไคตินจะเข้าสู่กระบวนการกำจัดสีโดยใช้เอธานอล 95% อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 25 °C ความดัน 1 บรรยากาศ เวลาในการทำปฏิกิริยาคือ 4 ชั่วโมง

2.7.3.4 ส่วนการเกิดปฏิกิริยา

สารที่ออกจากกระบวนการกำจัดสีจะเข้าสู่การเกิดปฏิกิริยา โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 87 °C ความดัน 1 บรรยากาศ เวลาในการทำปฏิกิริยาคือ 12 ชั่วโมง 15 นาที สารที่ออกจากหน่วยนี้คือ ไคโตซานและโซเดียมเอธาโนเอท



รูปที่ 2.10 แผนผังจำลองกระบวนการผลิตแบบที่ 3

จากรูปที่ 2.10 แสดงแผนผังจำลองกระบวนการผลิตแบบที่ 3 โดยในส่วนแรกเป็นส่วนการแยกแร่ มีการป้อนแกนปลาหมึกและกรดไฮโดรคลอริกเข้าไปผสมกันเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 25 °C ในถังปฏิกรณ์ที่ 1และกำหนดสารที่ออกจากสายที่ 1 คือ กรดไฮโดรคลอริกที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา แคลเซียมคลอไรด์ น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น และอีกสายคือโปรตีน จากนั้นต่อสายโปรตีนเข้ากับส่วนที่สอง คือส่วนการแยกโปรตีน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารสกัดโปรตีนออกมา ทั้งสองสายจะถูกให้ความร้อนก่อนส่งเข้าเครื่องแยก ที่อุณหภูมิ 87 °C และกำหนดสารที่ออกจากสาย 6 คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือ น้ำและโปรตีน และอีกสายคือไคติน นำสายไคตินต่อเข้ากับส่วนที่สาม คือ ส่วนการกำจัดสี โดยใช้เอธานอล ได้สาย Chi คือ ไคตินที่ผ่านการกำจัดสีแล้วและสาย et คือเอธานอลที่ใช้แล้ว จากนั้นต่อสาย Chi เข้ากับส่วนที่สี่ คือส่วนการเกิดปฏิกิริยา โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการทำปฏิกิริยา ซึ่งทั้งสองสายจะถูกให้ความร้อนก่อนส่งเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 2 ที่อุณหภูมิ 87 °C และกำหนดสารที่ออกสาย 4 คือโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา โซเดียมเอธาโนเอทที่เกิดขึ้นและอีกสายคือไคโตซาน

ตารางที่ 2.8 น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานในแต่ละแบบการผลิต

กระบวนการผลิต	น้ำหนักโมเลกุล (Da)
แบบที่ 1	1070689
แบบที่ 2	960833
แบบที่ 3	883000

น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานที่ได้ในแต่ละแบบการผลิตนั้นมีค่าไม่เท่ากัน แต่เนื่องจากไคโตซานที่ได้มีแหล่งวัตถุดิบมาจากแหล่งเดียวกันคือ สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังประเภทข้อปล้อง และมีองค์ประกอบภายในเหมือนกัน คือ แคลเซียมคาร์บอเนต น้ำและโปรตีน และเมื่อพิจารณาจากการนำไปใช้งานดังตารางที่ 2.9 พบว่า ไคโตซานที่ได้ในแต่ละแบบการผลิตสามารถนำไปใช้งานได้ในแบบเดียวกัน ดังนั้นจึงสามารถนำไคโตซานที่ได้ในแต่ละแบบการผลิตมาเปรียบเทียบหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้เหมือนกัน

ตารางที่ 2.9 น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานสำหรับการนำไปใช้งาน **[18]**

น้ำหนักโมเลกุล (Da)	การนำไปใช้งาน
200-2000	Chitosan Oligosaccharide
20000	ใช้เป็นแผ่นกรองแยกในระดับอัลตราฟิวเตชัน ใช้ทางด้านสิ่งทอ
30000-40000	ใช้ในด้านการเกษตร ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย
45000	ใช้เป็นสารยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย
60000-130000	ใช้ในการผลิตอาหารเสริม
300000-500000	ใช้ในทางวิศวกรรม
700000-1200000	ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ใช้ในทางการแพทย์

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เยาวภา ไหวพริบ**[15]** ได้ทำการศึกษาการเตรียมไคตินและไคโตซานจากเปลือกกุ้งที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรม โดยใช้วิธีทางเคมีและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยใช้เครื่องอินฟราเรด และเปรียบเทียบเพื่อหาสภาวะของแต่ละขั้นตอนในการผลิตที่ดีที่สุด ซึ่งพบว่าคุณภาพของไคโตซานจากเปลือกกุ้งที่ได้นั้นจะขึ้นกับชนิดของสารละลายด่าง ความเข้มข้นของสารละลายด่าง อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา เวลาในการเกิดปฏิกิริยา เป็นต้น

A. Azapagic และคณะ**[19]** ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยศึกษาถึงขั้นตอนการเลือกและการออกแบบกระบวนการผลิตที่มีความเหมาะสมที่สุด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตของเหลวคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน ซึ่งในกระบวนการผลิตนั้นมีการปล่อย SO_2, NO_x และ VOCs ออกมา ทำให้ต้องใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตเข้ามาเป็นเครื่องมือในการเลือกกระบวนการผลิตที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยในงานวิจัยจะจำแนกวิธีที่ใช้ในการกำจัด SO_2, NO_x และ VOCs ซึ่งในการกำจัดสารแต่ละตัวจะมีวิธีและกระบวนการกำจัดที่แตกต่างกัน

ออกไปตามความเหมาะสม จากนั้นจึงใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตเข้ามาช่วยในการตัดสินใจ นอกจากนี้ยังมีการแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานของการประเมินวัฏจักรชีวิตออกเป็นขั้นตอนย่อย ๆ จากโครงงานด้านสิ่งแวดล้อมของสหประชาชาติ

A. Tolaimate และคณะ[17] ทำการศึกษาการสกัดไคโตซานจากแกนปลาหมึกโดยทำให้เกิดปฏิกิริยาดีอะเซธิลเลชันเพื่อให้ได้ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลสูง ปฏิกิริยาดีอะเซธิลเลชันเพื่อให้เกิดไคโตซานทำจากสองสภาวะ คือสภาวะของ Kurita และ Broussignac และเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของไคโตซานที่ได้ (ระดับการเกิดปฏิกิริยาและน้ำหนักโมเลกุล) และศึกษาถึงอิทธิพลที่มีต่อสภาวะการเกิดปฏิกิริยาโดยอธิบายให้สัมพันธ์กับลักษณะทางกายภาพของไคโตซาน เพื่อสามารถตัดสินเลือกกระบวนการผลิตที่ดีที่สุด

Arnold Tukker[20] ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม 2 วิธี คือ การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment: EIA) การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) พบว่าการทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมนั้นเป็นการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเฉพาะในส่วนของโรงงานว่ามีผลกระทบทางตรงและทางอ้อมต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร ส่วนการทำการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นเป็นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงอายุของผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งเป็น 3 ด้านคือ ด้านผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ด้านผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาและด้านการนำทรัพยากรธรรมชาติไปใช้ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่สามารถนำไปเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการได้

Hubert Halleux[21] ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต โดยใช้ดัชนี Eco-Indicator 99 , CML และ Impact 2002+ ของกระบวนการบำบัดน้ำเสีย โดยในวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือจะทำการเปรียบเทียบผลกระทบระหว่างมีการบำบัดน้ำเสียกับไม่มีการบำบัดน้ำเสีย โดยงานวิจัยนี้ได้เน้นการประเมินผลกระทบที่มีการใช้ดัชนีที่ต่างกันในการประเมิน ซึ่งผลจากการประเมินพบว่ากรณีที่ไม่มีการบำบัดน้ำเสียในวิธีการประเมินของ Eco-Indicator 99 ,CML และ Impact 2002+ ให้ผลการประเมินที่เหมือนกันทั้งสามวิธี และทางเลือกที่มีการบำบัดน้ำเสียเป็นวิธีการที่มีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมดีกว่าทางเลือกที่ไม่มีการบำบัดน้ำเสีย จากการประเมินผลกระทบระบบบำบัดน้ำเสียมีผลกระทบหลักคือผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์และผลกระทบด้านการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน

Ming Tsung Yen และคณะ[16] ได้ทำการศึกษาการเตรียมไคโตซานจากไคตินที่ได้จากกระดองปู โดยวิธีทางเคมีให้เกิดปฏิกิริยาดีอะเซธิลเลชันที่เวลา 60, 90 และ 120 นาที ซึ่งพบว่าที่เวลา 120 นาทีนั้น ให้ปริมาณไคโตซานสูงที่สุดประมาณ 30-32 % และพบว่าระดับการเกิดปฏิกิริยาดีอะเซธิลเลชันของไคโตซานมีค่าเพิ่มขึ้น (อยู่ในช่วง 83.3-93.9 %) แต่ทำให้น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยมีค่าลดลง (อยู่ในช่วง 483-526 kDa) และทำการวิเคราะห์ปริมาณสารในไคโตซานที่เตรียมได้ พบว่ามีไนโตรเจนอยู่ 8.9-9.5 % ปริมาณคาร์บอน 42.2-45.2 % และไฮโดรเจน 7.9-8.6 % และยังได้มีการศึกษาลักษณะโครงสร้างทางจุลภาพและด้านสัณฐานวิทยาของไคโตซานที่เตรียมได้ด้วย

R.Shepherd และคณะ[22] ทำการศึกษาการเตรียมไคโตซานจากแกนปลาหมึกและคุณสมบัติของไคโตซานที่ได้ โดยศึกษาองค์ประกอบของไคโตซาน สมบัติการไหล การจับตัวกันและการเกิดฟิล์ม พบว่าไคโตซานที่เตรียมได้มีสมบัติการจับตัวน้อย แต่ก็พบว่าสมบัติการจับตัวกันสามารถเพิ่มขึ้นได้เมื่อระดับการเกิดปฏิกิริยาดีอะเซธิลเลชันมีค่าลดลง ฟิล์มที่ได้จากไคโตซานแกนปลาหมึกจะมีความยืดหยุ่นสูง ไคโตซานที่เตรียมได้นี้มีคุณภาพสูงสามารถนำไปใช้ในทางการแพทย์ได้

S. Renou และคณะ[23]. ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) เพื่อประเมินผลกระทบของกระบวนการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้โปรแกรมซิกมาโปรและวิธีที่ใช้คำนวณผลกระทบทั้งหมด 5 วิธี คือ CML 2000, Eco-Indicator 99, EDIP 96, EPS และ Eco-points 97 โดยเป้าหมายของงานวิจัยนี้คือศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการประเมินค่าผลกระทบเมื่อมีการใช้วิธีที่ต่างกันในการหาค่าผลกระทบ โดย functional unit ที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้คือ ปริมาณน้ำเสียที่เก็บตัวอย่างน้ำในระยะเวลา 1 ปี และประเภทผลกระทบที่พิจารณาคือ ด้านสภาวะความเป็นกรด ด้านการเจริญเติบโตของพืชน้ำที่มากเกินไป ผลกระทบด้านสภาวะโลกร้อน, การลดลงของทรัพยากรธรรมชาติและความเป็นพิษต่อมนุษย์ จากการประเมินผลกระทบของการบำบัดน้ำเสีย พบว่าการใช้วิธีที่ต่างกันประเมินค่าผลกระทบนั้นไม่มีความต่างในผลกระทบที่ระดับ global เช่น ผลกระทบด้านสภาวะโลกร้อน การลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันและผลกระทบด้านสภาวะความเป็นกรด แต่ผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์ พบว่าการประเมินผลกระทบแต่ละวิธีนั้นให้ค่าการประเมินที่ต่างกันมาก แต่ว่าสามารถยอมรับได้เพราะว่ากระบวนการที่ศึกษาคือการบำบัดน้ำเสียซึ่งผลกระทบนี้ไม่มีความสำคัญต่อระบบนี้มากเท่าไหร่นัก

Wei Zhao[24] ได้ทำการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบกำจัดของเสียหลายองค์ประกอบ (MSW) ในประเทศจีน ซึ่งในประเทศจีนนั้นมีปริมาณ MSW มากขึ้นเรื่อยๆ แต่ว่ามีโรงงานกำจัดของเสียนี้ไม่มากนัก โดยในงานวิจัยนี้ได้สนใจผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการปล่อยแก๊สเรือนกระจก(greenhouse gas;GHG) ซึ่งในงานวิจัยได้ศึกษาทางเลือกที่จะเป็นไปได้ในการลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกของระบบกำจัด MSW โดยใช้เครื่องมือการประเมินวัฏจักรชีวิต(Life cycle assessment;LCA)ในการตัดสินทางเลือก ซึ่งแบ่งเทคโนโลยีที่ใช้ในระบบกำจัดของเสียนี้เป็น 7 ทางเลือกคือ

SO ทางเลือกนี้จะแบ่งโดย ร้อยละ 48.9 จะบำบัดโดยการนำไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า และ ร้อยละ 49.5 จะนำไปทำฝังกลบโดยไม่มีเครื่องกำจัดแก๊สที่เกิดจากการฝังกลบ

S1 จะคล้ายกับทางเลือก SO แต่จะต่างกันที่มีเครื่องมือกำจัดแก๊สที่เกิดจากการฝังกลบ

S2 กำจัดขยะโดยเตาเผาขยะโดยจะตั้งข้อสมมติฐานว่าของเสียทั้งหมดจะเข้าสู่เตาเผาแล้วได้กระแสไฟฟ้า

S3 มีการนำขยะบางส่วนกลับมาใช้ใหม่ (recycle)

S4 จะแยกขยะประเภท kitchen waste มาหมักเป็นปุ๋ยหมัก โดยนำขยะประเภทนี้มาร้อยละ50 เพื่อนำมาหมักแล้วใช้เป็นปุ๋ยและขยะประเภทอื่นนำมากำจัดตามแบบทางเลือกที่ SO

S5 จะคล้ายกับทางเลือก S4 แต่จะต่างกันที่การนำมาย่อยนั้นจะย่อยโดย anaerobic

S6 ทางเลือกนี้จะนำหลายๆทางเลือกมาร่วมกันเพื่อบำบัดของเสียเพื่อให้มีการปล่อยแก๊สเรือนกระจกน้อยที่สุด โดยจะแยกพวกโลหะ แก้ว กระดาษ และพลาสติกนำกลับมาใช้ใหม่ที่เปอร์เซ็นการ recycle ร้อยละ 30 และร้อยละ 50 ของขยะประเภท kitchen waste จะนำมาหมักโดยวิธี anaerobic และขยะบางส่วนจะนำไปที่โรงาน MSW-to-energy plant และที่เหลือจะนำไปฝังกลบโดยมีเครื่องกำจัดแก๊สที่เกิดจากการฝังกลบ

นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังได้มีการศึกษาเพิ่มเติมคือ การวิเคราะห์ sensitivity analysis ด้วยคือศึกษาอัตราการ recycle MSW นำกลับมาใช้ใหม่ เช่น แก้ว กระดาษ ว่าอัตราการ recycle MSW นั้นมีผลต่อการปล่อยแก๊สเรือนกระจกอย่างไร และยังศึกษา sensitivity ของการใช้การ allocation ที่ต่างกันด้วย และศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องกำจัดแก๊สที่เกิดจากการฝังกลบ

ผลลัพธ์ในการประเมินวัฏจักรชีวิตก็คือ ในการปล่อยแก๊สเรือนกระจกของระบบการกำจัดของเสียในไต้หวันนั้นทำให้มีค่าผลกระทบเท่ากับ 467.34 Mg CO_2 eq.per year และผลของการศึกษาด้าน sensitivity analysis ของอัตราการ recycle MSW พบว่าถ้าอัตราการ recycle MSW มากจะทำให้ลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกลง ซึ่งมีความสัมพันธ์กันเป็นส่วนกลับกันแบบเส้นตรง และศึกษาผลของประสิทธิภาพของเครื่องกำจัดแก๊ส พบว่าถ้าประสิทธิภาพของเครื่องมากขึ้นก็จะทำให้มีผลกระทบเนื่องจากการปล่อยแก๊สเรือนกระจกลดลง และผลของการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของวิธีที่ต่างกันในการบำบัดของเสีย พบว่าทางเลือกที่ S6 นั้นมีผลกระทบด้านการปล่อยแก๊สเรือนกระจกน้อยที่สุดหรือกล่าวได้ว่าเป็นวิธีที่มีศักยภาพที่ดีในการลดผลกระทบจากการปล่อยแก๊สเรือนกระจก

W.R. Johns , A. Kokossis b, F. Thompson**[25]** วัตถุประสงค์ของการประเมินวัฏจักรชีวิตคือเพื่อที่จะตรวจสอบผลกระทบที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์ปัญหาของการผลิตที่มีหลายสาขา รวมถึงกระบวนการผลิตที่มีหลายผลิตภัณฑ์และการ reuse หรือการ recycle ในอุตสาหกรรมทั่วไป การจะมีความแตกต่างระหว่างการ recycle และการ reuse โดยการ recycle จะหมายถึงการนำมาใช้ในในกระบวนการเดียวกัน ส่วนการ reuse คือการใช้ของเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตแห่งหนึ่งมาใช้อีกกระบวนการหนึ่งที่แตกต่างกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้สนใจทำการศึกษาว่าในการพัฒนากระบวนการผลิตระหว่างการ reuse และการ recycle นั้นทางเลือกไหนที่จะให้ผลดีต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือในการศึกษา

C. Peniche และคณะ**[26]** ศึกษาถึงกระบวนการหลักในการผลิตไคตินและการเตรียมไคโตซานจากการเกิดปฏิกิริยาของไคติน โดยไคตินเป็นสารธรรมชาติได้มาจากแหล่งที่สามารถสร้างขึ้นใหม่ได้ โดยแหล่งวัตถุดิบหลักของไคตินคือของเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทะเล และมีการอธิบายถึงระดับการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิทิลและน้ำหนักโมเลกุล โครงสร้างผลึกและคุณสมบัติ การรวมตัวของไคตินหรือไคโตซานกับไอออนของโลหะ ความสามารถของไคโตซานในการรวมตัวเป็น polyelectrolyte complex ด้วย polyanions รวมไปถึงการนำไปใช้งานของไคตินและไคโตซาน เช่นในทางการแพทย์ เภสัชกรรม การเกษตร อุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอาง ฯลฯ

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

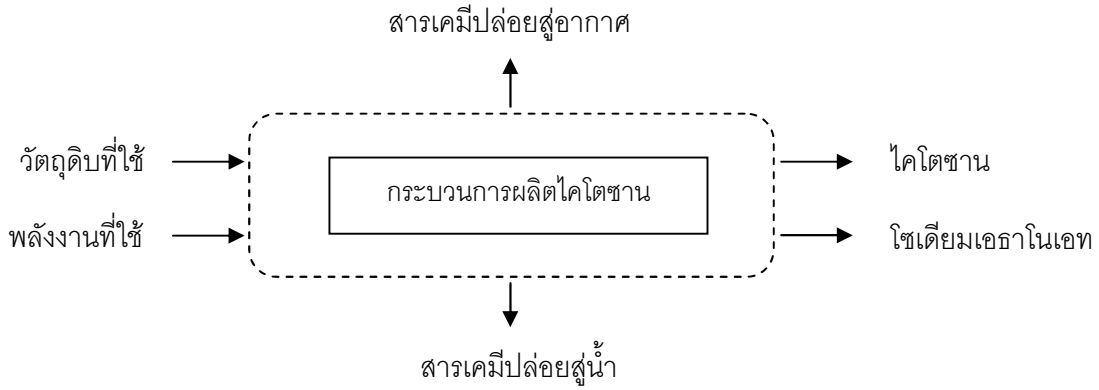
การดำเนินงานวิจัยสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตกระบวนการผลิตไคโตซาน และศึกษาผลกระทบของการผลิตไคโตซานจากกระบวนการผลิตที่มีการใช้สารตั้งต้นที่ต่างกัน โดยมีขั้นตอนการทำงานวิจัยดังนี้

3.1.1 เป้าหมายและขอบเขตของงานวิจัย (Goal and scope definition)

3.1.1.1 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย (Objective and purpose)

ศึกษาการออกแบบจำลองกระบวนการผลิตไคโตซาน เพื่อนำไปประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตและเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตที่มีการผลิตที่สภาวะแตกต่างกัน โดยกระบวนการผลิตที่ทำการศึกษาแบ่งเป็น 3 แบบ

โดยขอบเขตที่ใช้ศึกษากระบวนการผลิตไคโตซานในงานวิจัยนี้คือ ศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบและขั้นตอนการผลิตไคโตซาน แต่การศึกษาจะไม่ได้รวมถึงการศึกษาที่เกิดจากขั้นตอนของการขนส่งวัตถุดิบและการนำไปใช้ การนำกลับมาใช้ใหม่ และการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้น โดยขอบเขตที่ศึกษาในงานวิจัยนี้แสดงดังรูป



รูปที่ 3.1 ขอบเขตของงานวิจัยที่ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตของไคโตซาน

3.1.1.2 **หน่วยหน้าที่** (Functional unit)

หน่วยหน้าที่ (Functional unit) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เพื่อใช้เปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไคโตซานที่ต่างกัน หน่วยหน้าที่ที่ใช้ คือ 1 กิโลกรัมของปริมาณการผลิตไคโตซาน เพื่อให้ข้อมูลปริมาณสารที่เข้าและออกจากระบบอยู่บนพื้นฐานเดียวกัน

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

ขั้นตอนที่สองของการประเมินวัฏจักรชีวิตคือ การทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมโดยขั้นตอนนี้เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณสารขาเข้า ปริมาณสารขาออกและพลังงานที่ใช้ของขอบเขตที่ได้ทำการศึกษา ซึ่งขอบเขตของงานวิจัยนี้คือศึกษาผลกระทบของกระบวนการผลิตไคโตซาน ดังนั้นการประเมินวัฏจักรชีวิตในขั้นนี้จะต้องได้ข้อมูลปริมาณสารขาเข้า ปริมาณสารขาออกและพลังงานที่ใช้ของระบบ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบจำลองกระบวนการผลิตไคโตซาน โดยใช้โปรแกรม Hysys. plant Version 3.1 เพื่อที่จะให้ได้ข้อมูลพลังงานที่ใช้

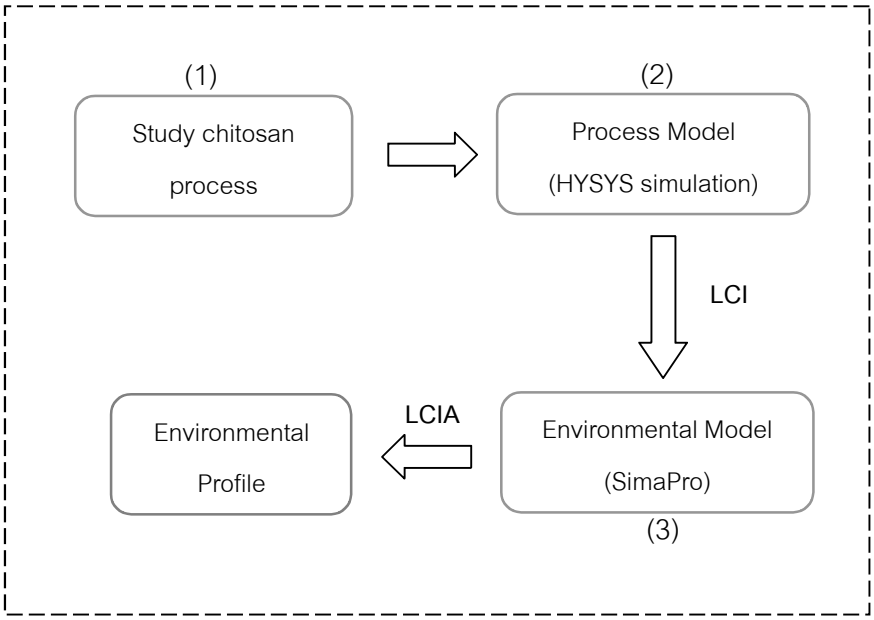
3.1.3 **การประเมินผลกระทบ** (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)

ขั้นตอนที่สามของการประเมินวัฏจักรชีวิตคือ การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยขั้นนี้จะเปลี่ยนหน่วยของปริมาณที่ได้จากการทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในหน่วยของผลกระทบ ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับกระบวนการผลิตไคโตซานของงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.1 และใช้วิธี Eco-indicator 99 เป็นดัชนีที่ใช้คำนวณผลกระทบ

โดยวิธีที่ใช้คำนวณผลกระทบของ Eco-indicator 99 นั้น มีขั้นตอน คือ การทำ characterization เพื่อเปลี่ยนปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกที่เป็นหน่วยกิโลกรัม ให้เป็นหน่วยของผลกระทบ ที่เกิดขึ้นในด้านต่างๆ ทั้ง 11 ผลกระทบและการทำให้น้ำหนักผลกระทบ (weighting) มีคะแนนเดี่ยว (single score) ซึ่งค่าแฟกเตอร์ (factor) สำหรับนำมาคูณกับข้อมูลที่ได้เก็บรวมรวมเพื่อประเมินผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี Eco-Indicator 99 ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข

3.1.4 **การแปลผล** (Life Cycle Interpretation)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการประเมินวัฏจักรชีวิต คือ นำผลที่ได้จากการประเมินผลกระทบคือขั้นการประเมินผลกระทบมาแปลผล เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไคโตซาน



รูปที่ 3.2 ภาพรวมขั้นตอนการทำงานวิจัยในขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิต

จากรูปที่ 3.2 สามารถสรุปภาพรวมการทำงานวิจัยได้ คือ ทำการศึกษากระบวนการผลิต (1) เพื่อสร้างแบบจำลองของกระบวนการผลิตทุกทางเลือกที่ได้ทำการศึกษา ขั้นที่ (2) นำข้อมูลด้านกระบวนการผลิตมาสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิต โดยการสร้างแบบจำลองจะทำให้ได้ข้อมูลพลังงาน คือขั้นการทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมจากข้อมูลการทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมที่ได้จากการสร้างแบบจำลองจะนำไปใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คือขั้นที่ (3) โดยใช้โปรแกรม SimaPro 7.1 จากนั้นนำค่าผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมไปแปลผลเพื่อสรุปเป็นข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้านสิ่งแวดล้อม

3.2 **ข้อสมมุติฐานและข้อจำกัด** (Limitation and assumption)

การออกแบบและจำลองกระบวนการผลิตที่ใช้ในการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม ในงานวิจัยนี้ได้เก็บรวบรวมมาจากบทความเอกสารทางวิชาการระดับนานาชาติ สิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องและวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์ในประเทศไทย และทำการจำลองกระบวนการผลิตด้วยโปรแกรม HYSYS และใช้ฐานข้อมูลผลิตภัณฑ์จากโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.1

3.3 **โปรแกรมสำหรับการทำวิจัย**

3.3.1 โปรแกรม Microsoft Office XP สำหรับการจัดทำรายงาน

3.3.2 โปรแกรม HYSYS Plant Version 3.1 สำหรับการจำลองกระบวนการผลิต

3.3.3 โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.1 สำหรับการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไคโตซานของแต่ละแบบการผลิต

เนื้อหาในบทนี้นำเสนอผลการวิจัยและวิจารณ์จากการประเมินวัฏจักรชีวิตต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไคโตซานจากสารตั้งต้นที่ต่างกัน คือ กระบวนการผลิตแบบที่ 1 ใช้เปลือกกุ้งเป็นสารตั้งต้นในการผลิต กระบวนการผลิตแบบที่ 2 ใช้กระดองปูเป็นสารตั้งต้นในการผลิต กระบวนการผลิตแบบที่ 3 ใช้แกนปลาหมึกเป็นสารตั้งต้นในการผลิต โดยการประเมินวัฏจักรชีวิตของแต่ละกระบวนการผลิตนั้นจะต้องมีการกำหนดหน่วยการทำงาน (function unit) ซึ่งในงานวิจัยนี้คือหน่วยหน้าที่ที่ใช้คือ การผลิตไคโตซาน 1 กิโลกรัม เพื่อให้ข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบตั้งอยู่บนพื้นฐานเดียวกัน และสามารถเปรียบเทียบผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของแต่ละกระบวนการผลิตได้ โดยใช้ Eco-indicator 99 ในการประเมินค่าผลกระทบซึ่งมีผลการวิจัยดังนี้

4.1.1 การทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory)

ในการประเมินวัฏจักรชีวิตสำหรับผลิตภัณฑ์ต่างๆ จะต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับมวลสาร พลังงานและของเสียที่ปลดปล่อยออกจากกระบวนการต่างๆ ตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ งานวิจัยนี้ได้ใช้การสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตไคโตซานทั้งสามแบบกระบวนการผลิต โดยใช้โปรแกรม HYSYS ซึ่งมีขอบเขตของระบบเฉพาะขั้นตอนการผลิตไคโตซาน โดยผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตทั้งสามแบบกระบวนการผลิตแสดงดังตารางที่ 4.1-4.9

ตารางที่ 4.1 ปริมาณวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ในการผลิตไคโตซานของกระบวนการผลิตแบบที่ 1

สาร	วัตถุดิบที่ใช้ (kg/hr)
เปลือกกุ้ง	
ประกอบด้วย	
แคลเซียมคาร์บอเนต	0.32
โปรตีน	0.55
น้ำ	0.13
โซเดียมไฮดรอกไซด์	0.55
กรดไฮโดรคลอริก	0.35
เอธานอล	0.60
	พลังงานที่ใช้ (kJ/hr)
พลังงานความร้อน	207.25

ตารางที่ 4.2 ปริมาณวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ในการผลิตไคโตซานของกระบวนการผลิตแบบที่ 2

สาร	วัตถุดิบที่ใช้ (kg/hr)
กระดองปู	
ประกอบด้วย	
แคลเซียมคาร์บอเนต	0.29
โปรตีน	0.63
น้ำ	0.08
โซเดียมไฮดรอกไซด์	0.55
กรดไฮโดรคลอริก	0.35
เอธานอล	0.60
	พลังงานที่ใช้ (kJ/hr)
พลังงานความร้อน	291.55

ตารางที่ 4.3 ปริมาณวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ในการผลิตไคโตซานของกระบวนการผลิตแบบที่ 3

สาร	วัตถุดิบที่ใช้ (kg/hr)
แกนปลาหมึก	
ประกอบด้วย	
แคลเซียมคาร์บอเนต	0.36
โปรตีน	0.48
น้ำ	0.16
โซเดียมไฮดรอกไซด์	0.55
กรดไฮโดรคลอริก	0.35
เอธานอล	0.60
	พลังงานที่ใช้ (kJ/hr)
พลังงานความร้อน	261.29

ตารางที่ 4.4 ปริมาณผลิตภัณฑ์หลักและผลิตภัณฑ์พลอยได้ของกระบวนการผลิตแบบที่ 1

สาร	ผลิตภัณฑ์หลัก (kg/hr)
ไคโตซาน	0.28
	ผลิตภัณฑ์พลอยได้ (kg/hr)
โซเดียมเอธาโนเอท	0.15

ตารางที่ 4.5 ปริมาณผลิตภัณฑ์หลักและผลิตภัณฑ์พลอยได้ของกระบวนการผลิตแบบที่ 2

สาร	ผลิตภัณฑ์หลัก (kg/hr)
ไคโตซาน	0.32
	ผลิตภัณฑ์พลอยได้ (kg/hr)
โซเดียมเอธาโนเอท	0.16

ตารางที่ 4.6 ปริมาณผลิตภัณฑ์หลักและผลิตภัณฑ์พลอยได้ของกระบวนการผลิตแบบที่ 3

สาร	ผลิตภัณฑ์หลัก (kg/hr)
ไคโตซาน	0.10
	ผลิตภัณฑ์พลอยได้ (kg/hr)
โซเดียมเอธาโนเอท	0.04

ตารางที่ 4.7 ปริมาณสารและพลังงานที่ปล่อยออกของกระบวนการผลิตแบบที่ 1

สาร	สารที่ปล่อยออกสู่น้ำ (kg/hr)
น้ำ	0.21
โปรตีน	0.24
แคลเซียมคลอไรด์	0.35
โซเดียมไฮดรอกไซด์	0.41
กรดไฮโดรคลอริก	0.12
เอธานอล	0.60
	สารที่ปล่อยออกสู่อากาศ (kg/hr)
คาร์บอนไดออกไซด์	0.14
	พลังงานที่ปล่อยออกสู่อากาศ (kJ/hr)
พลังงานความร้อน	23.10

ตารางที่ 4.8 ปริมาณสารและพลังงานที่ปล่อยออกของกระบวนการผลิตแบบที่ 2

สาร	สารที่ปล่อยออกสู่น้ำ (kg/hr)
น้ำ	0.16
โปรตีน	0.23
แคลเซียมคลอไรด์	0.32
โซเดียมไฮดรอกไซด์	0.44
กรดไฮโดรคลอริก	0.14
เอธานอล	0.60
	สารที่ปล่อยออกสู่อากาศ (kg/hr)
คาร์บอนไดออกไซด์	0.13
	พลังงานที่ปล่อยออกสู่อากาศ (kJ/hr)
พลังงานความร้อน	22.79

ตารางที่ 4.9 ปริมาณสารและพลังงานที่ปล่อยออกของกระบวนการผลิตแบบที่ 3

สาร	สารที่ปล่อยออกสู่น้ำ (kg/hr)
น้ำ	0.29
โปรตีน	0.38
แคลเซียมคลอไรด์	0.40
โซเดียมไฮดรอกไซด์	0.51
กรดไฮโดรคลอริก	0.09
เอธานอล	0.60
	สารที่ปล่อยออกสู่อากาศ (kg/hr)
คาร์บอนไดออกไซด์	0.16
	พลังงานที่ปล่อยออกสู่อากาศ (kJ/hr)
พลังงานความร้อน	18.07

4.1.2 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไคโตซาน

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไคโตซานจากกระบวนการผลิตทั้งสามแบบ แสดงดังรูป 4.1-4.3 โดยผลที่ได้จะแสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตและผลกระทบที่เกิดจากการปล่อยสารออกจากกระบวนการผลิตไคโตซาน โดยใช้วัตถุดิบต่างกันคือเปลือกกุ้ง กระดองปูและแกนปลาหมึกแต่ว่าทั้งสามแบบใช้สารเคมีเหมือนกันโดยจะต่างกันที่ปริมาณการใช้เพราะมีสภาวะการเกิดปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ต่างกันโดยการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไคโตซาน ทำให้ทราบว่าในการผลิตไคโตซาน 1 กิโลกรัมนั้นมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านใดบ้างใน 11 ประเภทผลกระทบ

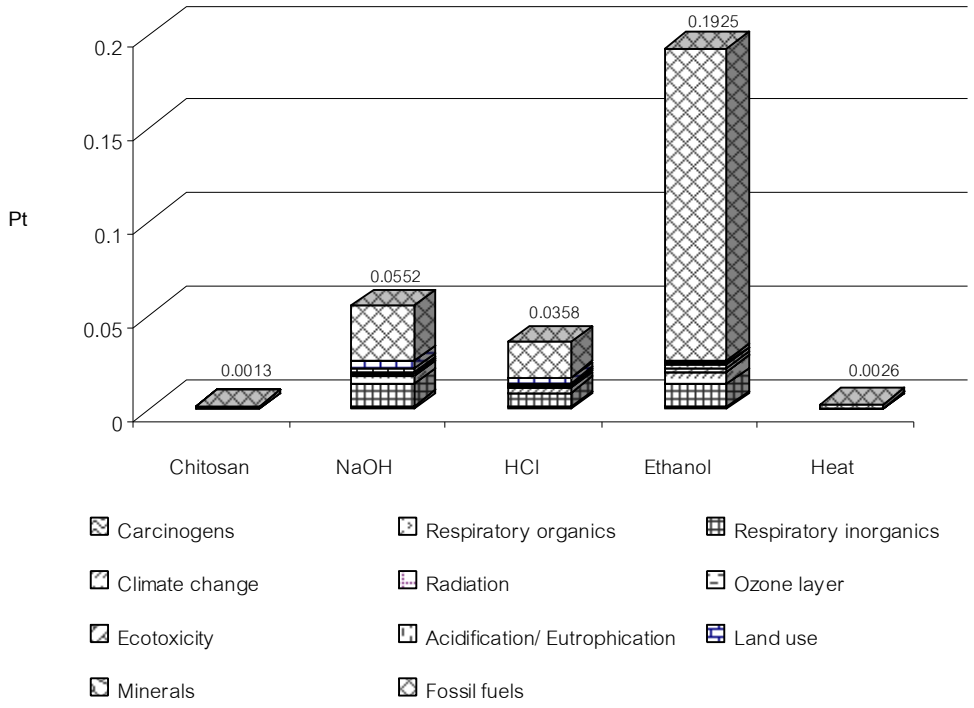
การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไคโตซานนั้นกลุ่มผลกระทบที่ทำการศึกษาประกอบด้วย 11 กลุ่มผลกระทบ แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 กลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไคโตซาน

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

4.1.2.1 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไคโตซานจากเปลือกกุ้ง (กระบวนการผลิตแบบที่ 1)

ในการผลิตไคโตซานโดยใช้เปลือกกุ้งในการผลิต มีสารเคมีประกอบด้วย กรดไฮโดรคลอริก โซเดียมไฮดรอกไซด์และเอธานอล และพลังงานที่ใช้ในการผลิตคือพลังงานความร้อนที่ใช้ในเครื่องปฏิกรณ์และเพิ่มอุณหภูมิให้เหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยา โดยผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้แสดงดังรูปที่ 4.1



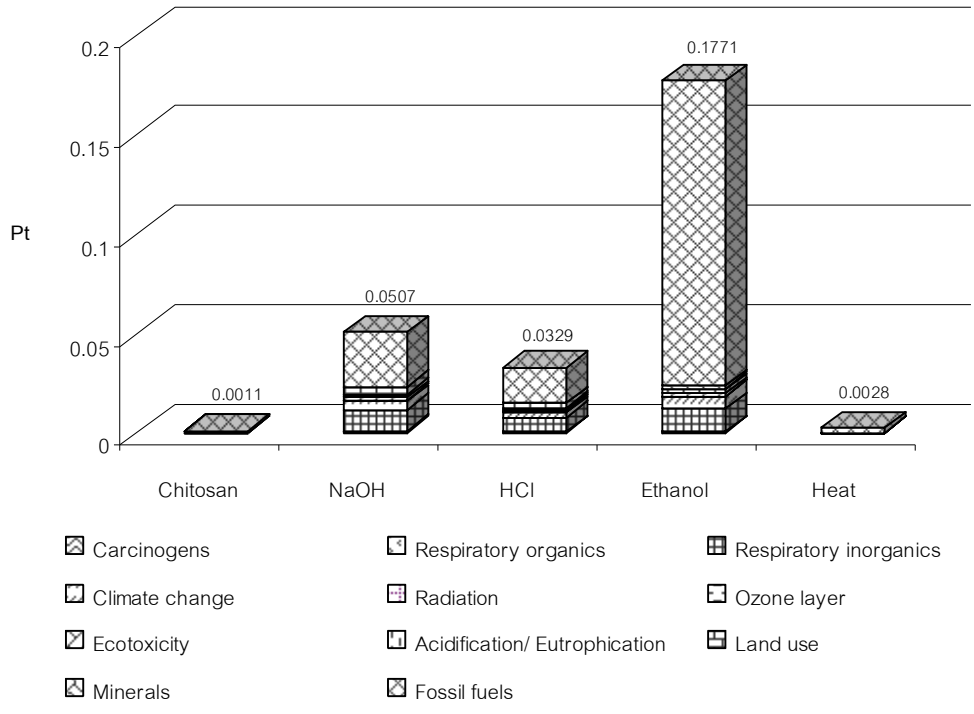
รูปที่ 4.1 ผลกระทบของการผลิตไคโตซานโดยใช้เปลือกกุ้งเป็นวัตถุดิบ(กระบวนการผลิตแบบที่ 1)

การผลิตไคโตซานจากสารตั้งต้นที่เป็นเปลือกกุ้ง(กระบวนการผลิตแบบที่1) พบว่าในขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบนั้นมีผลกระทบหลักมาจากการใช้สารเคมี (ประกอบด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดไฮโดรคลอริกและเอธานอล) โดยสารเคมีที่มีผลกระทบมากที่สุดคือ เอธานอล ซึ่งมีค่าผลกระทบเท่ากับ 0.1925 Pt และผลกระทบรองลงมาคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งมีผลกระทบเท่ากับ 0.0552 และ 0.0358 Pt ตามลำดับ และพบว่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดของกระบวนการผลิตแบบที่ 1 คือ การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล มีค่าผลกระทบ

เท่ากับ 0.2175 Pt รองลงมาคือผลกระทบด้านการหายใจจากสารอนินทรีย์ มีค่าผลกระทบเท่ากับ 0.0318 Pt และในขั้นตอนการผลิตไคโตซานนั้นมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ มีค่าเท่ากับ 0.0013 Pt โดยผลกระทบทั้งหมดที่เกิดจากกระบวนการผลิตแบบที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.2874 Pt

4.1.2.2 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไคโตซานจากกระดองปู (กระบวนการผลิตแบบที่ 2)

ในการผลิตไคโตซานจากการใช้กระดองปูเป็นวัตถุดิบ (กระบวนการผลิตแบบที่ 2) นั้น ชนิดของสารเคมีและพลังงานที่ใช้ในการผลิตจะเหมือนกับกระบวนการผลิตแบบที่ 1 แต่ปริมาณการใช้จะแตกต่างกัน โดยผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ผลกระทบของการผลิตไคโตซานโดยใช้กระดองปูเป็นวัตถุดิบ(กระบวนการผลิตแบบที่ 2)

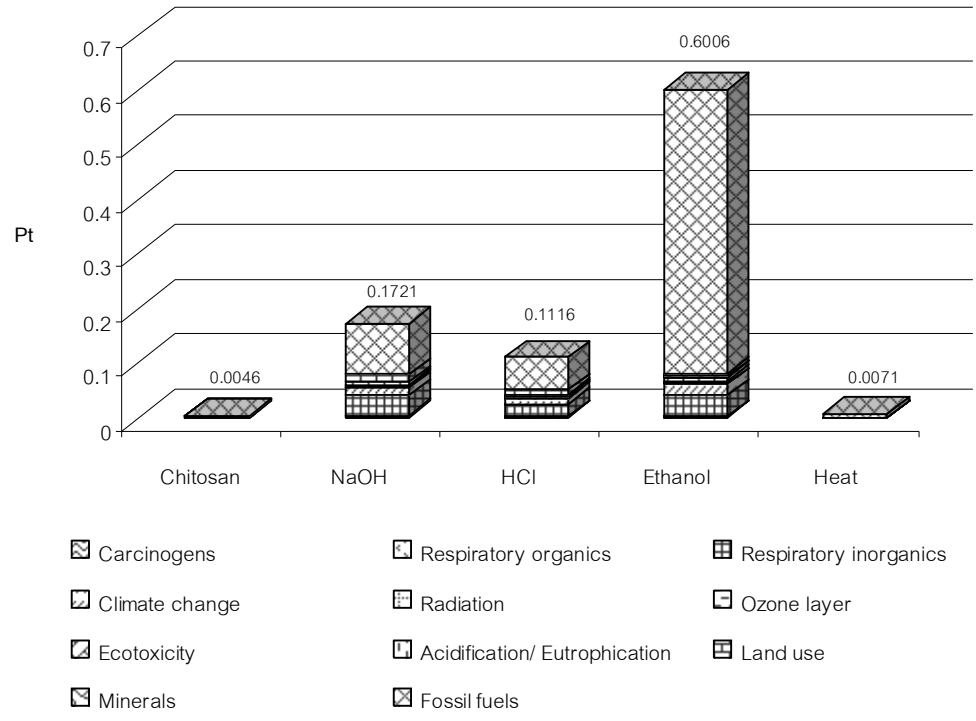
การผลิตไคโตซานของกระบวนการผลิตแบบที่ 2 พบว่าผลกระทบทั้งหมดที่เกิดจากกระบวนการผลิตแบบที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.2647 Pt และผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดของ

กระบวนการผลิตแบบที่ 2 คือ การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล มีค่าผลกระทบเท่ากับ 0.2004 Pt รองลงมาคือผลกระทบด้านการหายใจจากสารอนินทรีย์ มีค่าผลกระทบเท่ากับ 0.0293 Pt ซึ่งเป็นผลเช่นเดียวกับกระบวนการผลิตแบบที่ 1 โดยในขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบนั้น พบว่ามีผลกระทบหลักมาจากการใช้สารเคมี ซึ่งเอธานอลมีค่าผลกระทบสูงสุดเท่ากับ 0.1771 Pt และผลกระทบรองลงมาคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งมีผลกระทบเท่ากับ 0.0507 และ 0.0329 Pt ตามลำดับ และในขั้นตอนการผลิตไคโตซานนั้นมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ มีค่าเท่ากับ 0.0011 Pt

โดยสาเหตุที่การผลิตในกระบวนการแบบที่ 2 มีค่าผลกระทบน้อยกว่ากระบวนการผลิตแบบที่ 1 เนื่องจากปริมาณการผลิตไคโตซานของกระบวนการผลิตแบบที่ 2 มีค่ามากกว่ากระบวนการผลิตแบบที่ 1 เมื่อใช้ปริมาณสารตั้งต้นที่เท่ากัน คือ 1 กิโลกรัม ดังนั้นการที่กระบวนการผลิตแบบที่ 1 จะให้ได้ปริมาณการผลิตไคโตซานเท่ากันกับกระบวนการผลิตแบบที่ 2 นั้นจะต้องใช้ปริมาณวัตถุดิบที่มากกว่า ดังนั้นจึงทำให้ต้องเพิ่มปริมาณสารเคมีในแต่ละหน่วยการผลิตให้มากขึ้น ส่งผลให้กระบวนการผลิตแบบที่ 1 มีผลกระทบมากกว่ากระบวนการผลิตแบบที่ 2

4.1.2.3 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไคโตซานจากแกนปลาหมึก (กระบวนการผลิตแบบที่ 3)

การผลิตไคโตซานจากสารตั้งต้นที่เป็นแกนปลาหมึก (กระบวนการผลิตแบบที่ 3) นั้น สารเคมีที่ใช้ในการผลิตจะเหมือนกับกระบวนการผลิตแบบที่ 1และ 2 แต่จะต่างกันที่ปริมาณการใช้ โดยการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตไคโตซานกระบวนการผลิตแบบที่ 3 แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ผลกระทบของการผลิตไคโตซานโดยใช้แกนปลาหมึกเป็นวัตถุดิบ (กระบวนการผลิตแบบที่ 3)

การผลิตไคโตซานของกระบวนการผลิตแบบที่ 3 พบว่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดของกระบวนการผลิตแบบที่ 3 คือ การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล มีค่าผลกระทบ เท่ากับ 0.6775 Pt รองลงมาคือผลกระทบด้านการหายใจจากสารอนินทรีย์ มีค่าผลกระทบ เท่ากับ 0.0992 โดยผลกระทบทั้งหมดที่เกิดจากกระบวนการผลิตแบบที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.8960 Pt และในขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบพบว่าผลกระทบหลักมาจากสารเคมีที่ใช้ โดยสารเคมีที่มีผลกระทบมากสุดคือ เอธานอล ซึ่งมีค่าผลกระทบเท่ากับ 0.6006 Pt และผลกระทบรองลงมาคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งมีผลกระทบเท่ากับ 0.1721 และ 0.1116 Pt ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลเช่นเดียวกับกระบวนการผลิตแบบที่ 1 และ 2 และในขั้นตอนการผลิตไคโตซานนั้นมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ มีค่าเท่ากับ 0.0046 Pt

โดยสาเหตุที่การผลิตในกระบวนการแบบที่ 3 มีค่าผลกระทบมากที่สุด เนื่องจากปริมาณการผลิตไคโตซานของกระบวนการผลิตแบบที่ 3 มีค่าน้อยที่สุด เมื่อใช้ปริมาณสารตั้งต้นที่เท่ากัน ดังนั้นจะทำให้ได้ปริมาณการผลิตไคโตซานเท่ากันกับกระบวนการผลิตแบบที่ 1 และ 2 นั้นจะต้อง

ใช้ปริมาณวัตถุดิบที่มากกว่า ดังนั้นจึงทำให้ต้องเพิ่มปริมาณสารเคมีและพลังงานในแต่ละหน่วยการผลิตให้มากขึ้น ส่งผลให้กระบวนการผลิตแบบที่ 3 มีผลกระทบทั้งหมดมากที่สุด

จากหัวข้อ 4.1.2 ทำให้เราทราบว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตไคโตซานมีผลกระทบหลักมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ส่วนขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบนั้นให้ค่าผลกระทบหลักมาจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยเอธานอลให้ค่าผลกระทบมากที่สุด ดังนั้นกระบวนการผลิตไคโตซานมีผลกระทบมาจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบมากกว่าขั้นการผลิตไคโตซาน

จากงานวิจัยของ Se-Kwon Kim และ Niranjan Rajapaksa[27] มีการสังเคราะห์ไคโตซานโดยวิธีทางชีวภาพ กล่าวว่าการผลิตทางชีวภาพมีความปลอดภัย ไม่มีสารพิษตกค้างและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากเป็นการใช้เอนไซม์ในการสังเคราะห์ไคโตซาน แต่วิธีทางเคมีนั้น ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากมีการใช้สารเคมีในการผลิตไคโตซาน จากการศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตไคโตซานโดยวิธีทางเคมี ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการวิเคราะห์ของ Se-Kwon Kim และ Niranjan Rajapaksa ที่ว่าการผลิตทางเคมีส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสารเคมีที่ใช้

4.2 ผลการประเมินเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิตไคโตซาน

จากการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของแต่ละแบบของการผลิตในหัวข้อ 4.1.2.1 - 4.1.2.3 จะทำให้ทราบว่าในแต่ละแบบของกระบวนการผลิตนั้นมีผลกระทบหลักมาจากวัตถุดิบตัวใดและผลกระทบมาจากขั้นตอนใดของการผลิตไคโตซาน แต่ในหัวข้อนี้จะเสนอผลของการเปรียบเทียบในแต่ละแบบของกระบวนการผลิตเพื่อที่จะสามารถตัดสินใจได้ว่าทางเลือกใดที่จะมีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดโดยการประเมินผลเพื่อเปรียบเทียบนั้นในงานวิจัยนี้ได้แบ่งขอบเขตของผลกระทบที่ศึกษาเป็นสามขอบเขตของการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตไคโตซานดังนี้

4.2.1.ผลกระทบที่เกิดจากการผลิตวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไคโตซาน

4.2.2.ผลกระทบที่เกิดจากขั้นตอนการผลิต/หรือสารที่ปล่อยออกจากกระบวนการผลิตไคโตซาน

4.2.3.ผลกระทบตั้งแต่การผลิตวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนการผลิตไคโตซาน (รวมผลกระทบจากขอบเขต 1 และ 2) หรือเรียกว่า cradle-to-gate

กราฟที่จะนำมาเสนอเพื่อเปรียบเทียบค่าผลกระทบของทั้งสามแบบการผลิตจะเป็นกราฟที่อธิบายแต่ละกลุ่มผลกระทบหลัก ประกอบด้วยผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์(Human health) อธิบายในหน่วย DALY ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ (Ecosystem quality) อธิบายในหน่วย PDF* m^2 yr และผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ (Resource) อธิบายในหน่วยผลกระทบเป็น MJ surplus ซึ่งเป็นหน่วยของผลกระทบของสามกลุ่มผลกระทบดังนี้

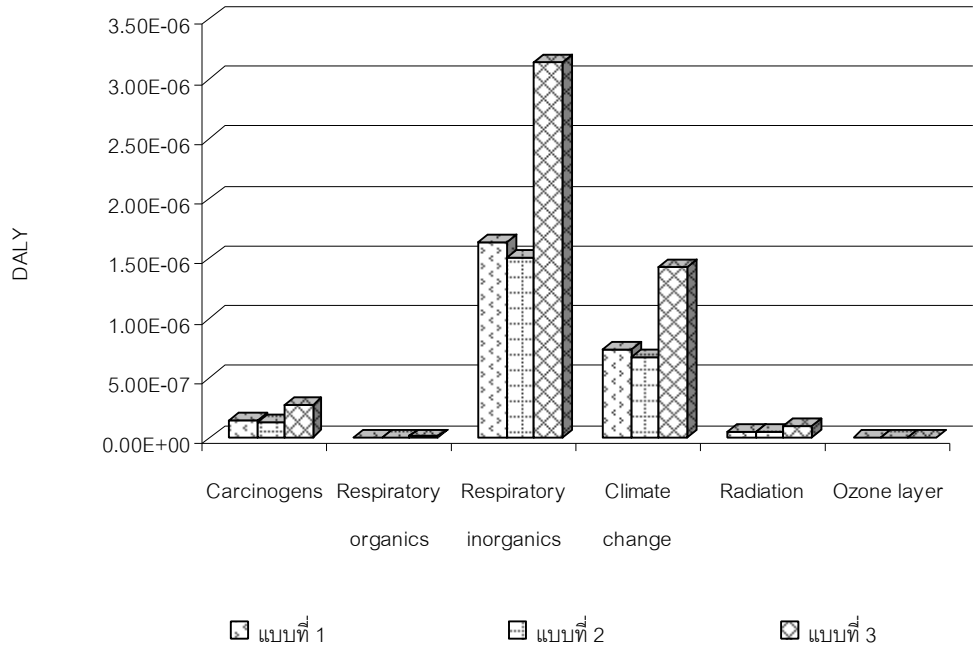
ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human health) อธิบายในหน่วย DALY ย่อมาจาก Disability Adjusted Life Years หมายถึงจำนวนปีที่ต้องเจ็บป่วยและตายก่อนวัยอันควร โดยมีสาเหตุมาจากประเภทผลกระทบดังนี้ สารก่อมะเร็ง (Carcinogenic) ผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร (Respiration of organic substance) ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร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

ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ (Ecosystem quality) อธิบายในหน่วย PDF m^2 yr ย่อมาจาก Potentially Disappeared Fraction ซึ่งหมายถึงสัดส่วนของสิ่งมีชีวิตที่หายไปบนพื้นที่ 1 ตารางเมตรในระยะเวลา 1 ปี โดยมีสาเหตุมาจากประเภทผลกระทบต่างๆ ดังนี้คือ ภาวะความเป็นกรด/ภาวะยูโทรฟิเคชัน (Acidification/Eutrophication) ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicity) และการใช้พื้นที่ (Land use)

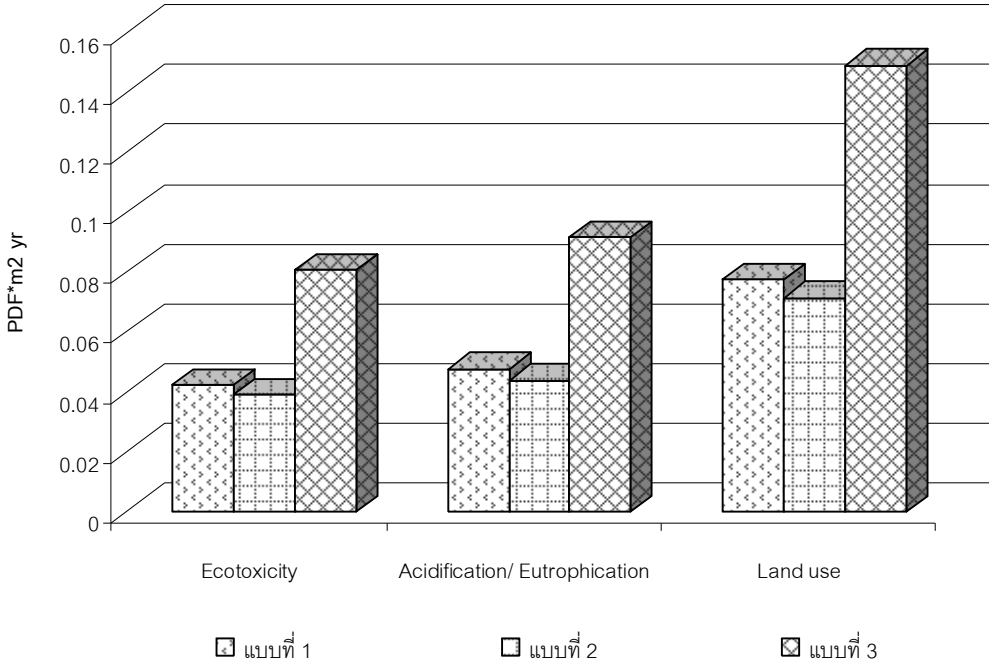
กลุ่มผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ (Resource) อธิบายในหน่วย MJ surplus ซึ่งเป็นหน่วยของพลังงานที่ใช้ในการสกัดแร่ในอนาคต โดยมีสาเหตุมาจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (fossil fuels) และการใช้สินแร่ (Mineral)

4.2.1 เปรียบเทียบผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไคโตซาน

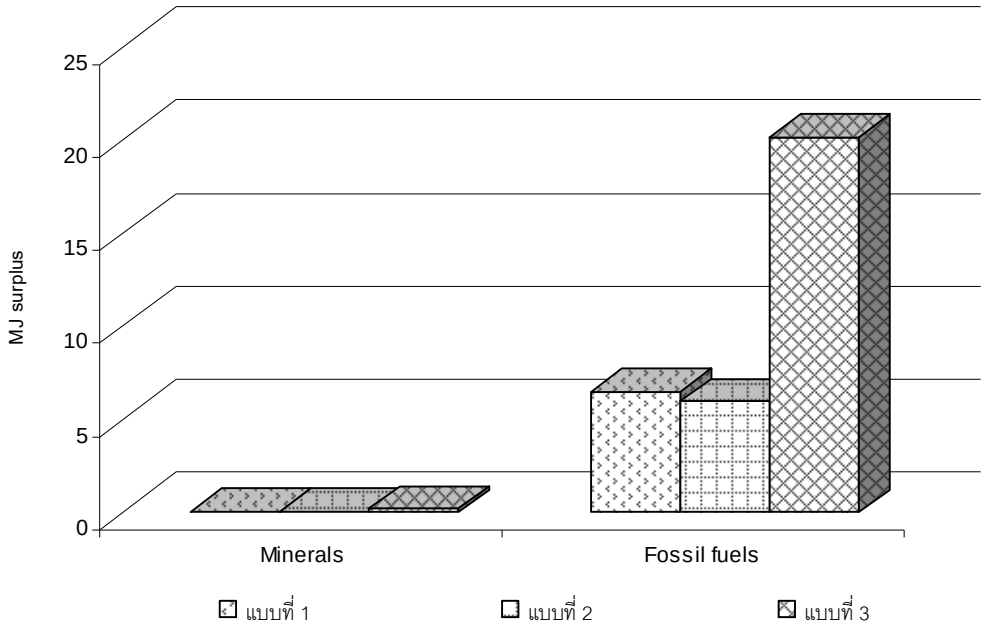
ผลการเปรียบเทียบของขอบเขตของผลกระทบที่มาจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไคโตซานของทั้งสามกลุ่มผลกระทบหลัก คือ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human health) ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ (Ecosystem quality) และผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ (Resource) ได้แสดงดังรูปที่ 4.4 - 4.6



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบของการผลิตไคโตซานทั้งสามแบบการผลิต : กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบของการผลิตไคโตซานทั้งสามแบบ: กลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบของการผลิตไคโตซานทั้งสามแบบ: กลุ่มผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ

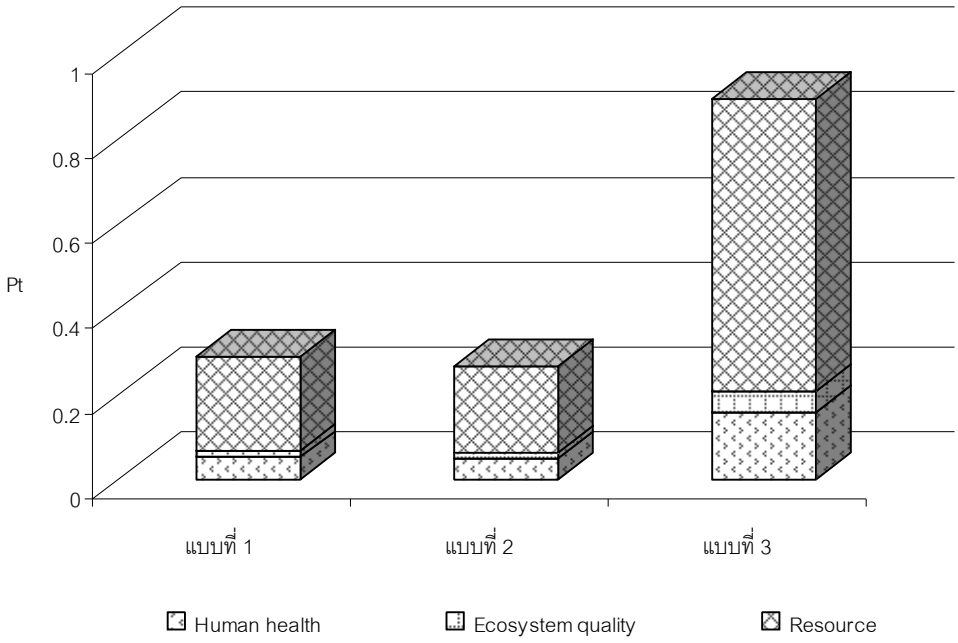
จากรูปที่ 4.4 - 4.6 จะเห็นว่าผลกระทบที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบไม่ว่าจะใช้กระบวนการผลิตแบบใดในการผลิตจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลักเหมือนกันในทั้งสามกลุ่มผลกระทบ

จากรูปที่ 4.4 พบว่าผลกระทบที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบจากกระบวนการผลิตทั้งสามแบบนั้นส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ มีผลกระทบทั้งหมดคือ สารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง ผลกระทบต่อทางเดินหายใจเนื่องจากสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สารแผ่รังสีและการลดลงของชั้นโอโซน

จากรูปที่ 4.5 พบว่าผลกระทบที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบที่มีผลต่อระบบนิเวศน์นั้นมีผลกระทบทั้งหมด คือ ด้านสภาวะความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ ด้านสภาวะความเป็นกรด/และการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันและด้านการใช้พื้นที่

จากรูปที่ 4.6 พบว่าผลกระทบต่อการลดลงของพลังงานโดยมีผลกระทบหลักมาจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล

เมื่อเปรียบเทียบทั้งสามแบบการผลิต พบว่ากระบวนการผลิตแบบที่ 3 เป็นกระบวนการผลิตที่มีค่าผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบมากกว่าแบบอื่นทุกประเภทผลกระทบ เนื่องจากเป็นกระบวนการผลิตที่มีการใช้ปริมาณวัตถุดิบในการผลิตที่มากกว่าแบบอื่นเพื่อให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เท่ากัน ดังนั้นจึงทำให้กระบวนการผลิตแบบที่ 3 มีผลกระทบมากที่สุด ส่วนกระบวนการผลิตที่มีค่าผลกระทบจากวัตถุดิบน้อยที่สุดคือกระบวนการผลิตแบบที่ 2 เนื่องจากกระบวนการผลิตแบบที่ 2 ใช้วัตถุดิบในการผลิตน้อยที่สุด

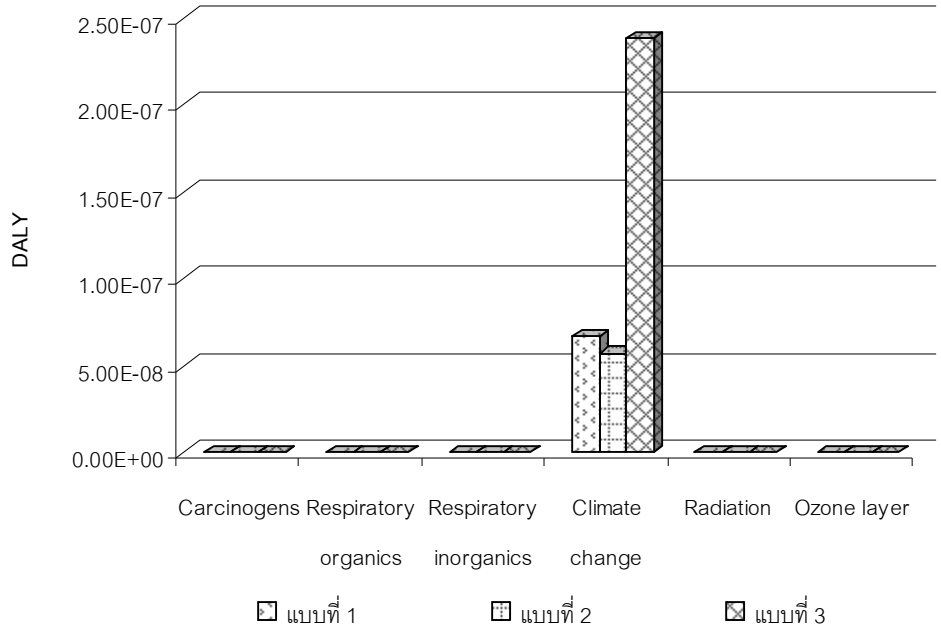


รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ: ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหน่วย Pt (กราฟคะแนนเดียว)

จากกราฟที่ 4.7 เป็นกราฟที่รวมกลุ่มผลกระทบทั้ง 3 ประเภทที่ถูกทำให้เป็นหน่วยเดียวกัน คือหน่วย Point; Pt ซึ่งพบว่าผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบทั้งสามแบบกระบวนการผลิตแบบที่มีผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบมากที่สุดคือกระบวนการผลิตแบบที่ 3 ส่วนกระบวนการผลิตแบบที่ 2 เป็นแบบที่มีผลกระทบในขั้นการผลิตวัตถุดิบน้อยสุด โดยทั้งสามแบบการผลิตมีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ(Resources)มากสุด รองลงมาคือต่อสุขภาพมนุษย์ (Human health) และสุดท้ายคือผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ (Ecosystem Quality) สาเหตุที่ทั้งสามแบบการผลิตมีค่าผลกระทบด้านการลดลงของทรัพยากรมากเป็นเพราะว่าการผลิตสารตั้งต้นแต่ละตัวนั้นมีผลกระทบต่อการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมากกว่าผลกระทบทางด้านอื่นซึ่งการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมากก็จะส่งผลกระทบถึงการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ(Resources) จึงทำให้ผลกระทบจากวัตถุดิบที่ใช้ส่วนใหญ่คือผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ (Resources)

4.2.2 เปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตไคโตซาน

ผลการเปรียบเทียบในขอบเขตผลกระทบที่มาจากขั้นตอนการผลิตไคโตซานในสามกลุ่มผลกระทบหลัก คือ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ และผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ จากการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตไคโตซานหรือสารที่ปล่อยออกจากกระบวนการผลิตนี้ไม่มีผลกระทบต่อระบบนิเวศน์และการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ซึ่งในขอบเขตนี้ทำให้เกิดผลกระทบต่อมนุษย์เท่านั้น ซึ่งได้แสดงดังรูปที่ 4.8

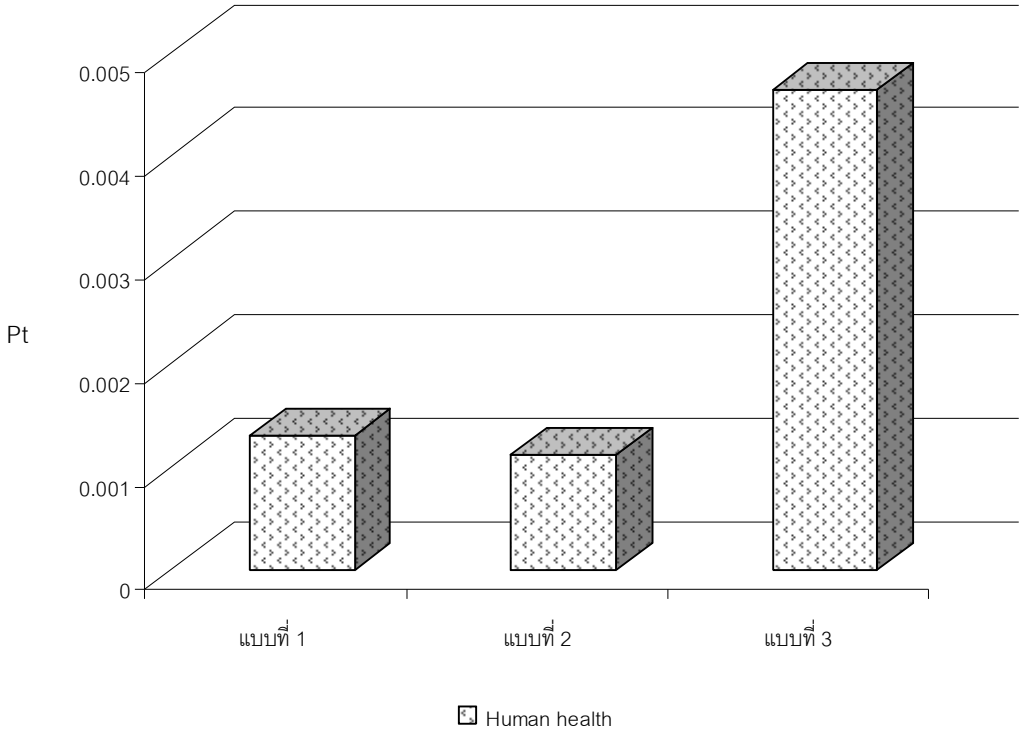


รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตไคโตซานของทั้งสามแบบ
: กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์

ผลกระทบที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตไคโตซานไม่ว่าจะใช้กระบวนการผลิตแบบใดในการผลิตจะทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลักเหมือนกันทั้งสามกลุ่มผลกระทบดังรูปที่ 4.8

กระบวนการผลิตแบบที่ 1 และ 3 มีผลกระทบมากกว่ากระบวนการผลิตแบบที่ 2 โดยมีสาเหตุมาจากปริมาณสารเคมีที่ใช้และปริมาณสารพิษที่ปล่อยออกมามากกว่ากระบวนการผลิตแบบที่ 2 โดยมีผลกระทบคือ ผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยสาเหตุมาจากขั้นตอนการผลิตมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่สิ่งแวดล้อม

จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลกระทบแบบคะแนนเดียว แสดงดังรูปที่ 4.9

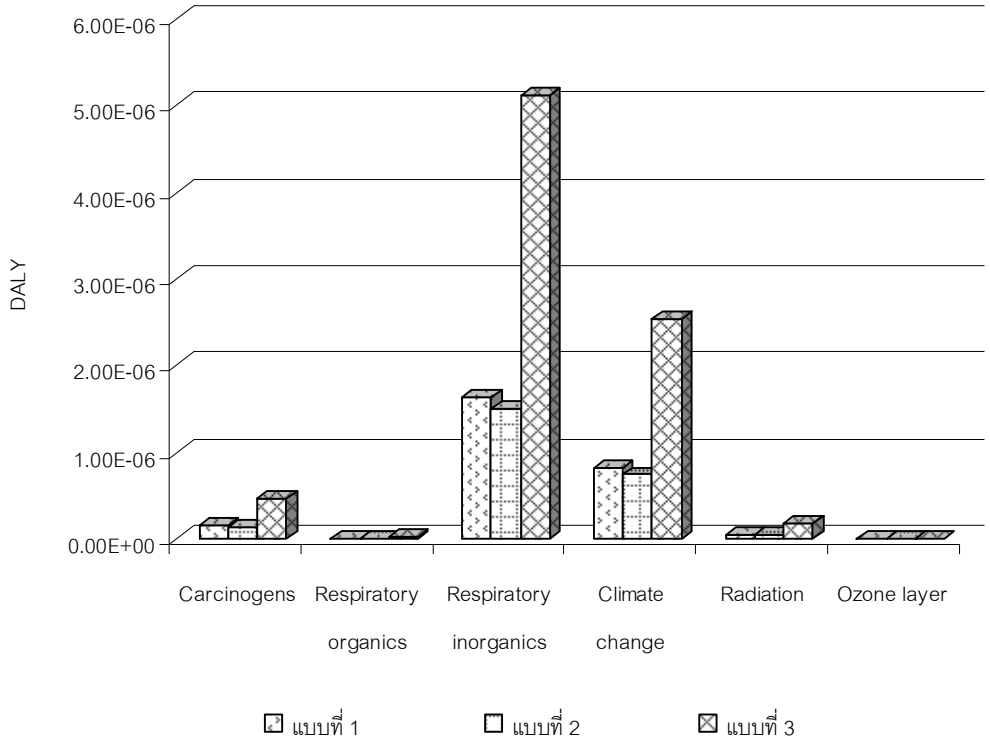


รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตไคโตซาน: กลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หน่วย Pt (กราฟคะแนนเดียว)

จากรูปที่ 4.9 เป็นกราฟผลกระทบแบบคะแนนเดียวของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตไคโตซาน จากรูปสามารถบอกได้ว่า กระบวนการผลิตที่มีค่าผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตไคโตซานมากที่สุดคือกระบวนการผลิตแบบที่ 3 และทางเลือกที่มีผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตน้อยที่สุดคือกระบวนการผลิตแบบที่ 2 โดยมีค่าผลกระทบเท่ากับ 0.0046 Pt และ 0.0011 Pt ตามลำดับ และเนื่องจากในขั้นตอนการผลิตไคโตซานมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน จึงเป็นเหตุให้ในขั้นตอนของการผลิตไคโตซานจึงจัดอยู่ในกลุ่มของผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์เท่านั้น

4.2.3 เปรียบเทียบผลกระทบตั้งแต่การผลิตวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจนถึงขั้นตอนการผลิตไคโตซาน (cradle-to-gate)

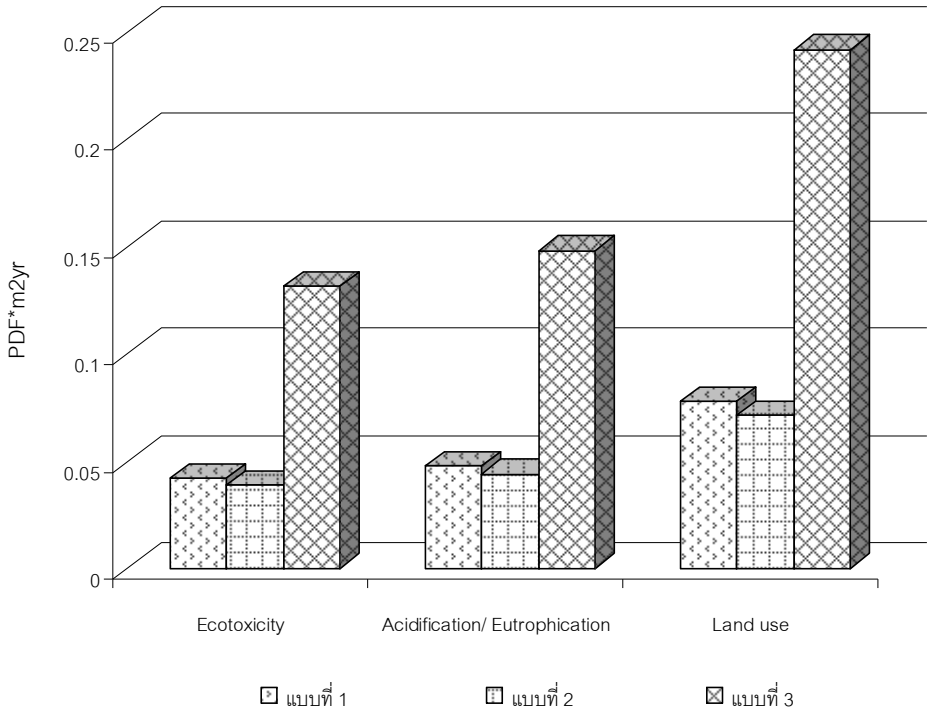
ผลการเปรียบเทียบในขอบเขตการประเมินผลกระทบตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงขั้นการผลิตไคโตซาน (Cradle-to-gate) ในสามกลุ่มผลกระทบหลัก คือ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ และผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ แสดงดังรูปที่ 4.10 - 4.12



รูปที่ 4.10 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนการผลิตไคโตซาน (cradle-to-gate): กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์

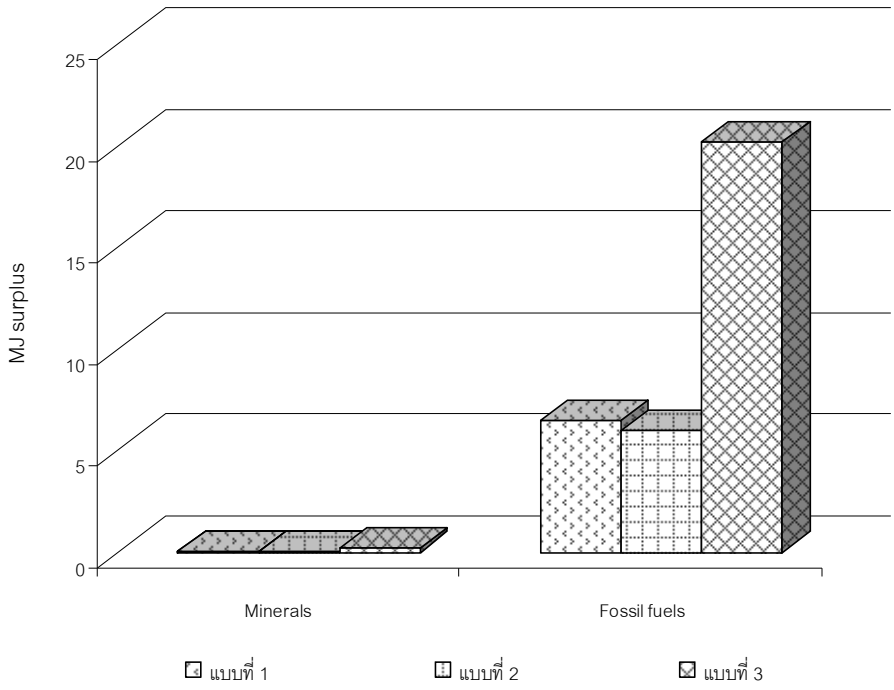
ในกลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ แสดงดังรูปที่ 4.10 ทั้งสามกระบวนการผลิตมีค่าผลกระทบหลักเหมือนกัน จากรูปจะเห็นว่าการผลิตในขอบเขต Cradle-to-gate ที่มีผลกระทบต่อมนุษย์โดยมีสาเหตุหลักคือ ด้านระบบทางเดินหายใจเนื่องจากสารอนินทรีย์ ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และสารก่อมะเร็ง ซึ่งพบว่ากระบวนการผลิตแบบที่ 3 มีผลกระทบมากที่สุดใน

ทุกประเภทผลกระทบ ส่วนกระบวนการผลิตแบบที่ 2 มีผลกระทบน้อยที่สุดในทุกประเภทผลกระทบ



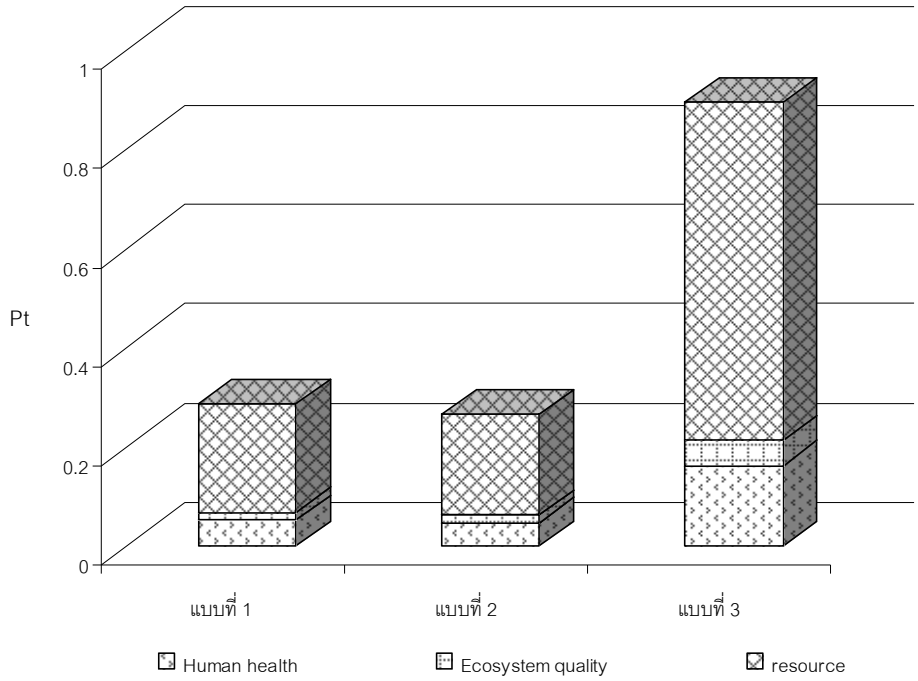
รูปที่ 4.11 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนการผลิตไคโตซาน (cradle-to-gate) โดยเป็นกลุ่มผลกระทบต่อการลดลงของระบบนิเวศน์

ในกลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ของค่าผลกระทบตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงขั้นการผลิตไคโตซาน (Cradle-to-gate) แสดงดังรูปที่ 4.11 จะเห็นว่าผลกระทบในขั้น cradle-to-gate นั้น แสดงผลกระทบทั้งหมดคือ มีความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ ด้านความเป็นกรด/ยูโทรฟิเคชันและการใช้พื้นที่ โดยมีผลกระทบหลักคือ การใช้พื้นที่ ซึ่งจากการประเมินผลกระทบของการผลิตวัตถุดิบและขั้นการผลิตไคโตซานในหัวข้อ 4.2.1-4.2.2 ทำให้ทราบว่าผลกระทบด้านการใช้พื้นที่ของผลกระทบขั้น cradle-to-gate มาจากผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบไม่ได้มาจากขั้นตอนการผลิตไคโตซาน โดยกระบวนการผลิตแบบที่ 3 มีผลกระทบในกลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์มากกว่ากระบวนการผลิตแบบอื่นในทุกประเภทผลกระทบย่อย ส่วนกระบวนการผลิตแบบที่ 2 เป็นกระบวนการผลิตที่มีค่าผลกระทบน้อยที่สุดทุกประเภทผลกระทบ



รูปที่ 4.12 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนการผลิตไคโตซาน (cradle-to-gate): กลุ่มผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ

ในกลุ่มผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติของค่าผลกระทบตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงขั้นการผลิตไคโตซาน (cradle-to-gate) แสดงดังรูปที่ 4.12 จากรูปพบว่ามีค่าผลกระทบหลักคือผลกระทบด้านการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมากที่สุด ส่วนผลกระทบจากการใช้สินแร่พบว่าในการผลิตไคโตซานมีค่าผลกระทบไม่มากนัก เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในการผลิตเป็นแหล่งพลังงานจากฟอสซิล โดยกระบวนการผลิตแบบที่ 3 มีค่าผลกระทบมากที่สุดจากขอบเขตการผลิตวัตถุดิบดังนั้นเมื่อพิจารณาทั้งสองขอบเขตคือผลกระทบตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงขั้นการผลิตไคโตซาน (cradle-to-gate) ทำให้กระบวนการผลิตแบบที่ 3 มีผลกระทบในขอบเขตนี้มากที่สุด ส่วนกระบวนการผลิตแบบที่ 2 มีผลกระทบด้านทรัพยากรธรรมชาติน้อยที่สุด



รูปที่ 4.13 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนการผลิตไคโตซาน (cradle-to-gate): กลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหน่วย Pt (กราฟคะแนนเดียว)

เมื่อดูผลกราฟที่รวมเป็นกราฟคะแนนเดียวของผลกระทบจากการผลิตวัตถุดิบและขั้นตอนการผลิตไคโตซาน (cradle-to-gate) จะทำให้ทราบได้ว่าทางเลือกใดที่มีผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด นั้นคือกระบวนการผลิตแบบที่ 2 คือใช้กระดองปูเป็นสารตั้งต้นในการผลิตไคโตซาน รองลงมาก็คือ กระบวนการผลิตแบบที่ 1 คือใช้เปลือกกุ้งเป็นสารตั้งต้นในการผลิตไคโตซาน และกระบวนการผลิตแบบที่ 3 คือใช้แกนปลาหมึกเป็นสารตั้งต้นในการผลิตไคโตซานมีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยมีค่าผลกระทบเรียงลำดับดังนี้ 0.0822, 0.2605 และ 1.1055 Pt ตามลำดับ โดยการผลิตไคโตซานพบว่ามีผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากรมากที่สุด

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA) เป็นเครื่องมือที่มีความเหมาะสมสำหรับการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ เนื่องจากสามารถบ่งชี้และระบุปริมาณของภาระทางสิ่งแวดล้อม (environmental loads) ในทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องหรือที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ นอกจากนี้ยังสามารถประเมินและหาค่าของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้น พร้อมทั้งสามารถประเมินหาโอกาสในการปรับปรุงทางสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นองค์ประกอบในการตัดสินใจอันเป็นเป้าหมายของอุตสาหกรรมในการลดการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ รวมถึงของเสียที่ถูกปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไคโตซาน เนื่องจากไคโตซานเป็นสารที่มีประโยชน์ทางอุตสาหกรรมหลายด้าน เช่น ด้านการเกษตร ด้านเครื่องสำอาง ด้านการแพทย์และเภสัชกรรมเป็นต้น จากความหลากหลายของการนำไปประยุกต์ใช้จึงทำให้มีความต้องการในปริมาณที่สูงขึ้น

ในงานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตไคโตซานที่มีการใช้วัตถุดิบการผลิตที่แตกต่างกัน คือ เปลือกกุ้ง กระดองปูและแกนปลาหมึก เพื่อที่จะศึกษาว่ากระบวนการผลิตแบบใดที่มีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยใช้โปรแกรม SimaPro 7.1 ในการวิเคราะห์ผลกระทบ เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่ทำการวิเคราะห์ผลตามมาตรฐาน ISO และสามารถรายงานผลเป็นรูปภาพและตาราง ทำให้ง่ายต่อความเข้าใจ

สามารถสรุปผลการประเมินวัฏจักรของกระบวนการผลิตไคโตซานโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.1 โดยใช้ดัชนีของ Eco-indicator 99 เพื่อใช้เป็นดัชนีวัดผลกระทบซึ่งสรุปผลได้ดังนี้

1) **ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไคโตซาน**

กระบวนการผลิตไคโตซานจากสารตั้งต้นที่เป็นกระดองปู (กระบวนการผลิตแบบที่ 2) พบว่าผลกระทบในขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบมีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่ากระบวนการผลิตไคโตซานจากสารตั้งต้นที่เป็นเปลือกกุ้งและแกนปลาหมึก (กระบวนการผลิตแบบที่ 1และ 3 ตามลำดับ) โดยพบว่าค่าผลกระทบน้อยกว่าทุกกลุ่มผลกระทบหลักซึ่งประกอบด้วยผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ต่อระบบนิเวศน์และต่อทรัพยากรธรรมชาติ

2) **ผลกระทบในขั้นตอนการผลิตไคโตซาน**

ผลกระทบในขั้นตอนการผลิตไคโตซาน พบว่ามีเฉพาะกลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์เท่านั้น ในส่วนของการก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change) เนื่องจากในขั้นตอนนี้มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาในกระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตที่ให้ค่าผลกระทบสูงที่สุดคือกระบวนการผลิตที่ใช้แกนปลาหมึกเป็นสารตั้งต้น ส่วนกระบวนการผลิตที่ใช้กระดองปูเป็นสารตั้งต้นนั้น พบว่าให้ค่าผลกระทบต่ำที่สุด

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

3.1) จากการพิจารณาแต่ละประเภทผลกระทบ พบว่าการผลิตไคโตซานจากสารตั้งต้นที่เป็นแกนปลาหมึก มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทั้งสามกลุ่มผลกระทบ คือ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ต่อระบบนิเวศน์และต่อทรัพยากรธรรมชาติสูงที่สุด รองลงมาคือกระบวนการผลิตที่ใช้เปลือกกุ้งเป็นสารตั้งต้นและค่าผลกระทบต่ำที่สุดคือกระบวนการผลิตที่ใช้กระดองปูเป็นสารตั้งต้น

3.2) จากการรวมผลกระทบเป็นคะแนนเดียวคือหน่วย point ;Pt เพื่อที่จะเปรียบเทียบว่าเมื่อรวมทุกกลุ่มผลกระทบแล้ว (ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ต่อระบบนิเวศน์และต่อทรัพยากรธรรมชาติ) กระบวนการผลิตแบบใดที่มีค่าผลกระทบน้อยที่สุด ซึ่งผลพบว่ากระบวนการผลิตที่ใช้กระดองปูเป็นสารตั้งต้นให้ค่าผลกระทบน้อยที่สุด และ

กระบวนการผลิตที่ให้ผลกระทบมากที่สุดคือการผลิตไคโตซานจากสารตั้งต้นที่เป็นแกนปลาหมึก

3.3) เมื่อจัดกลุ่มผลกระทบ 11 ประเภท ออกเป็น 3 กลุ่มผลกระทบ พบว่ากลุ่มผลกระทบที่มีปริมาณสูงที่สุดคือผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ รองลงมาคือผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และน้อยที่สุดคือผลกระทบต่อระบบนิเวศน์

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตไคโตซานทั้งสามแบบกระบวนการผลิตเป็นข้อมูลที่ได้รวบรวมจากบทความเอกสารทางวิชาการระดับนานาชาติจึงอาจขาดความสมบูรณ์และความถูกต้องเมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรวมรวมข้อมูลจากโรงงานจริง

2. เพื่อให้การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นควรมีการขยายขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยทำการพิจารณาเพิ่มในด้านการขนส่ง การใช้งานของผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่และการจัดการกับเศษซากหรือเรียกว่าการพิจารณาแบบ Cradle-to-Grave ของทั้งกระบวนการผลิต

3. ในกระบวนการผลิตควรพิจารณาในด้านของเศรษฐศาสตร์ร่วมด้วยเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจำเป็นต้องมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ จึงควรนำมาพิจารณาประกอบการตัดสินใจ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ที่จะลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

รายการอ้างอิง

[1] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. วัตถุดิบสำหรับการผลิตไคตินและไคโตซาน. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

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

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

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

[5] สิทธิกร ผลพอตน. การประเมินวัฏจักรชีวิตด้านสิ่งแวดล้อมของการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2549.

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

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

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

[9] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. การผลิตไคตินและไคโตซาน. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

[10] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. การประยุกต์ใช้ไคตินและไคโตซาน. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

[11] Hargona., et al. Utilization of chitosan prepared from shrimp shells as fat diluent. Journal of Coastal Development 7 (2003) : 31-37.

[12] Ke Liang B. Chang., et al. Heterogeneous N-deacetylation of chitin in alkaline solution. Carbohydrate Research 303 (1997) : 327-332.

[13] Majeti N.V., et al. A review of chitin and chitosan applications, Reactive & Functional Polymer 46 (2000) : 1-27.

[14] Ruth Hagen Rodde, Aslak Einbu and Kjell M. Va rum., A seasonal study of the chemical composition and chitin quality of shrimp shells obtained from northern shrimp (Pandalus borealis), Carbohydrate Polymers 71 (2008) : 388–393.

[15] เยาวภา ไหวพริบ. การผลิตไคตินและไคโตซานจากเปลือกกุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2534.

[16] Ming Tsung Yen, Joan Hwa Yang and Jeng Leun Mau., Physicochemical Characterization of chitin and chitosan from crab shells, Carbohydrate Polymers 75 (2009) : 15-21.

[17] A. Tolaimate., et al., On the influence of deacetylation process on the physicochemical characteristics of chitosan from squid chitin., Polymer 41 (2000) : 2463-2469.

[18] ศูนย์บริการความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ไคตินและไคโตซาน. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

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

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

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

[22] R. Shepherd, S. Reader and A. Falshaw. Chitosan functional properties, Glycoconjugate Journal 14 (1997) : 535-542.

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

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

[25] W.R. Johns , A. Kokossis, and F. Thompson. A flowsheeting approach to integrated life Cycle analysis. Chemical Engineering and Processing : Process Intensification 4 (2008) : 557-564

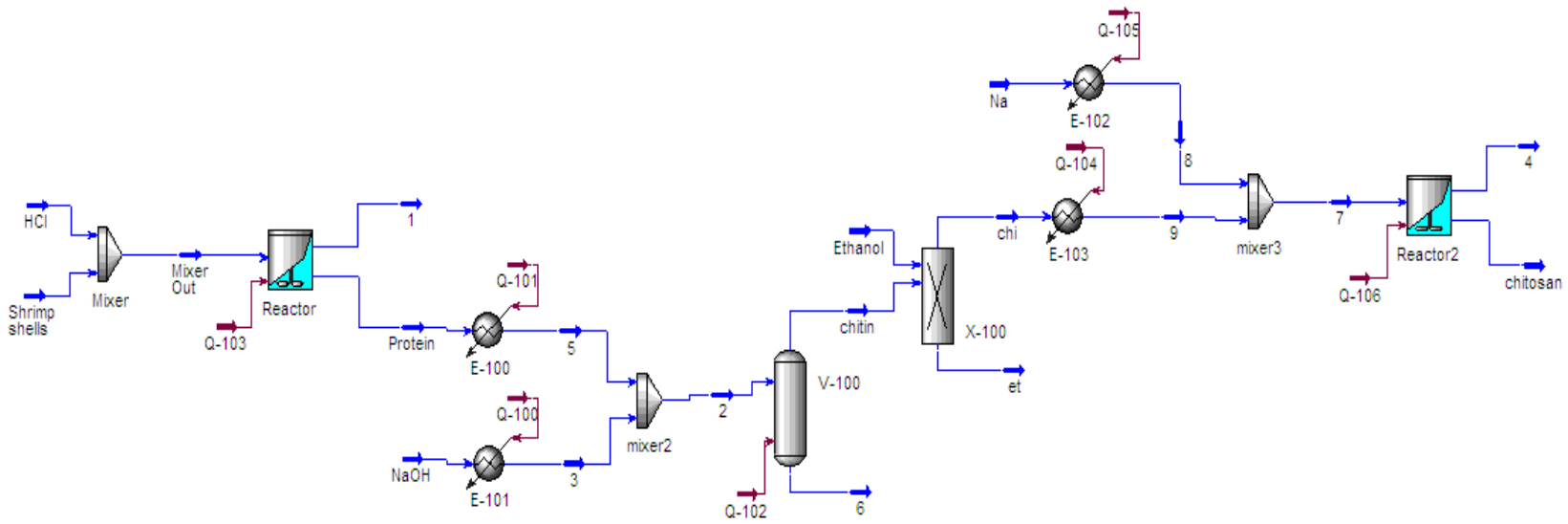
[26] C. Peniche, W. Arguelles-Monal and F.M. Goycoolea, Chitin and Chitosan: Major Sources, Properties and Applications, Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources.(2008) : 517-534.

[27] K. Se-Kwon and R. Niranjan. Enzymatic production and biological activities of chitosan oligosaccharides (COS) : review. Carbohydrate Polymers 62 (2005) : 357-368.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ก แผนผังแบบจำลองกระบวนการผลิตไคโตซานด้วยโปรแกรม HYSYS



รูปที่ ก1 แผนผังแบบจำลองกระบวนการผลิตไคโตซานโดยใช้เปลือกกุ้งเป็นสารตั้งต้น (กระบวนการผลิตแบบที่ 1)

ตารางที่ ก1 แสดงสภาวะของแต่ละสายของกระบวนการผลิตแบบที่ 1

สาย	อุณหภูมิ (^{o}C)	ความดัน (kPa)	อัตราการไหลโดยมวล (kg/hr)
HCl	25.00	101.33	0.35
Shrimp shells	25.00	101.33	1.00
Mixer out	21.57	101.33	1.35
1	18.38	101.33	0.80
Protein	18.38	101.33	0.55
5	55.00	101.33	0.55
NaOH	25.00	101.33	0.35
3	55.00	101.33	0.35
2	55.70	101.33	0.90
Chitin	66.78	101.33	0.36
6	66.78	101.33	0.54
Ethanol	25.00	101.33	0.60
et	47.34	101.33	0.60
Chi	47.34	101.33	0.36
9	140.00	101.33	0.36
Na	25.00	101.33	0.20
8	140.00	101.33	0.20
7	140.70	101.33	0.56
4	119.40	101.33	0.28
Chitosan	119.40	101.33	0.28

ตารางที่ ก2 แสดงพลังงานของแต่ละสายของกระบวนการผลิตแบบที่ 1

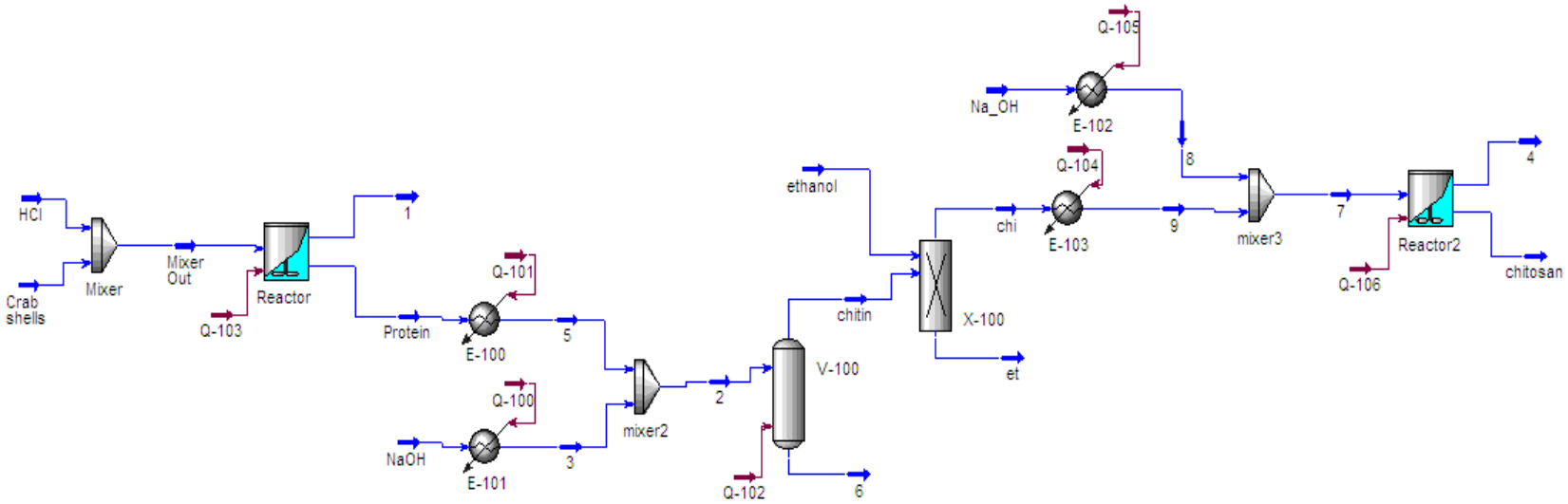
สาย	พลังงานที่เข้า (kJ/hr)	พลังงานที่ออก (kJ/hr)
Q-100	42.87	-
Q-101	41.25	-
Q-102	29.14	-
Q-103	-	5.76
Q-104	0.78	-
Q-105	93.21	-
Q-106	-	17.34
รวม	207.25	23.10

ตารางที่ ก3 แสดงองค์ประกอบของแต่ละสายของกระบวนการผลิตแบบที่ 1

สาย / องค์ประกอบ (kg/hr)	NaOH	C_2H_5OH	HCl	$CaCl_2$	$CaCO_3$	H2O	CO_2	Protein	CH_3COONa	Chitin	Chitosan
HCl	-	-	0.35	-	-	-	-	-	-	-	-
Shrimp shells	-	-	-	-	0.32	0.13	-	0.55	-	-	-
Mixer out	-	-	0.35	-	0.32	0.13	-	0.55	-	-	-
1	-	-	0.12	0.35	-	0.19	0.14	-	-	-	-
Protein	-	-	-	-	-	-	-	0.55	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	0.55	-	-	-
NaOH	0.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	0.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0.35	-	-	-	-	-	-	0.55	-	-	-
Chitin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.36	-

ตารางที่ ก3 แสดงองค์ประกอบของแต่ละสายของกระบวนการผลิตแบบที่ 1 (ต่อ)

สาย / องค์ประกอบ (kg/hr)	NaOH	C_2H_5OH	HCl	$CaCl_2$	$CaCO_3$	H2O	CO_2	Protein	CH_3COONa	Chitin	Chitosan
6	0.28	-	-	-	-	0.02	-	0.24	-	-	-
Ethanol	-	0.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Et	-	0.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.36	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.36	-
Na	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	0.36	-
4	0.13	-	-	-	-	-	-	-	0.15	-	-
Chitosan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.28



รูปที่ ก2 แผนผังแบบจำลองกระบวนการผลิตไคโตซานโดยใช้กระดองปูเป็นสารตั้งต้น (กระบวนการผลิตแบบที่ 2)

ตารางที่ ก4 แสดงสภาวะของแต่ละสายของกระบวนการผลิตแบบที่ 2

สาย	อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (kPa)	อัตราการไหลโดยมวล (kg/hr)
HCl	25.00	101.33	0.35
Crab shells	25.00	101.33	1.00
Mixer out	21.15	101.33	1.35
1	18.34	101.33	0.72
Protein	18.34	101.33	0.63
5	100.00	101.33	0.63
NaOH	25.00	101.33	0.35
3	100.00	101.33	0.35
2	103.30	101.33	0.98
Chitin	113.90	101.33	0.40
6	113.90	101.33	0.58
Ethanol	25.00	101.33	0.60
et	74.06	101.33	0.60
Chi	74.06	101.33	0.40
9	105.00	101.33	0.40
Na_OH	25.00	101.33	0.20
8	105.00	101.33	0.20
7	105.00	101.33	0.60
4	88.54	101.33	0.28
Chitosan	88.54	101.33	0.32

ตารางที่ ก5 แสดงพลังงานของแต่ละสายของกระบวนการผลิตแบบที่ 2

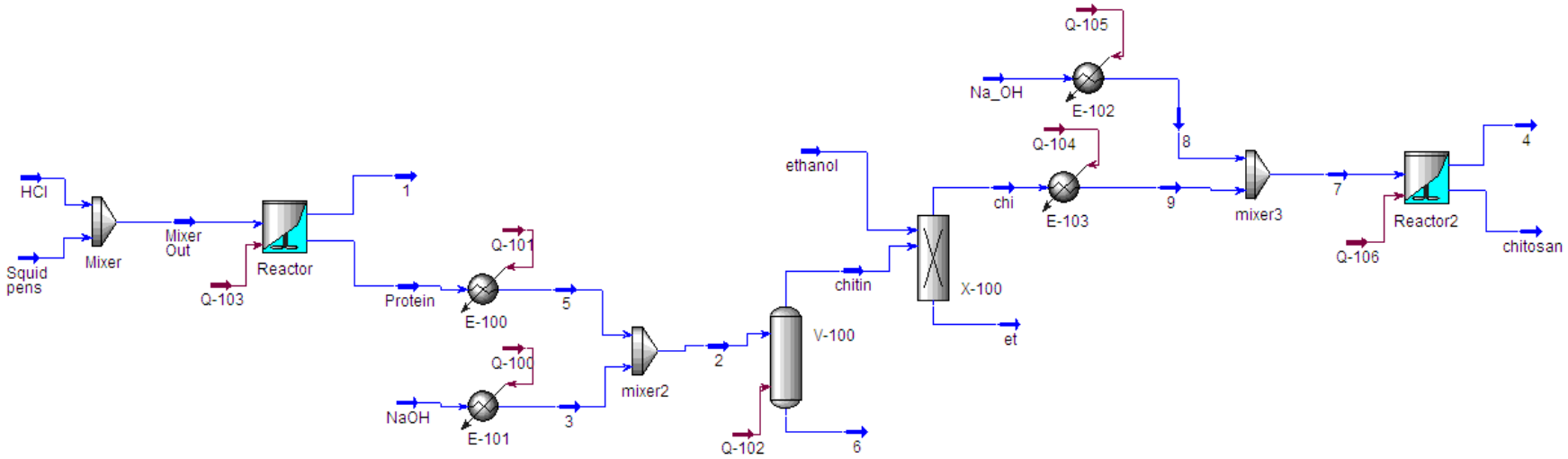
สาย	พลังงานที่เข้า (kJ/hr)	พลังงานที่ออก (kJ/hr)
Q-100	106.70	-
Q-101	88.19	-
Q-102	30.18	-
Q-103	-	4.33
Q-104	1.49	-
Q-105	64.99	-
Q-106	-	18.46
รวม	291.55	22.79

ตารางที่ ก6 แสดงองค์ประกอบของแต่ละสายของกระบวนการผลิตแบบที่ 2

สาย / องค์ประกอบ (kg/hr)	NaOH	C_2H_5OH	HCl	$CaCl_2$	$CaCO_3$	H2O	CO_2	Protein	CH_3COONa	Chitin	Chitosan
HCl	-	-	0.35	-	-	-	-	-	-	-	-
Crab shells	-	-	-	-	0.29	0.08	-	0.63	-	-	-
Mixer out	-	-	0.35	-	0.29	0.08	-	0.63	-	-	-
1	-	-	0.14	0.32	-	0.13	0.13	-	-	-	-
Protein	-	-	-	-	-	-	-	0.63	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	0.63	-	-	-
NaOH	0.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	0.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0.35	-	-	-	-	-	-	0.63	-	-	-
Chitin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.40	-

ตารางที่ ก6 แสดงองค์ประกอบของแต่ละสายของกระบวนการผลิตแบบที่ 2 (ต่อ)

สาย / องค์ประกอบ (kg/hr)	NaOH	C_2H_5OH	HCl	$CaCl_2$	$CaCO_3$	H2O	CO_2	Protein	CH_3COONa	Chitin	Chitosan
6	0.32	-	-	-	-	0.03	-	0.23	-	-	-
Ethanol	-	0.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Et	-	0.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.40	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.40	-
Na	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	0.40	-
4	0.12	-	-	-	-	-	-	-	0.16	-	-
Chitosan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.32



รูปที่ ก3 แผนผังแบบจำลองกระบวนการผลิตไคโตซานโดยใช้แกนปลาหมึกเป็นสารตั้งต้น (กระบวนการผลิตแบบที่ 3)

ตารางที่ ก7 แสดงสภาวะของแต่ละสายของกระบวนการผลิตแบบที่ 3

สาย	อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (kPa)	อัตราการไหลโดยมวล (kg/hr)
HCl	25.00	101.33	0.35
Squid pens	25.00	101.33	1.00
Mixer out	21.98	101.33	1.35
1	18.21	101.33	0.87
Protein	18.21	101.33	0.48
5	87.00	101.33	0.48
NaOH	25.00	101.33	0.35
3	87.00	101.33	0.35
2	89.09	101.33	0.83
Chitin	99.75	101.33	0.12
6	99.75	101.33	0.71
Ethanol	25.00	101.33	0.60
et	74.01	101.33	0.60
Chi	74.01	101.33	0.12
9	87.00	101.33	0.12
Na_OH	25.00	101.33	0.20
8	87.00	101.33	0.20
7	94.98	101.33	0.32
4	78.99	101.33	0.22
Chitosan	78.99	101.33	0.10

ตารางที่ ก8 แสดงพลังงานของแต่ละสายของกระบวนการผลิตแบบที่ 3

สาย	พลังงานที่เข้า (kJ/hr)	พลังงานที่ออก (kJ/hr)
Q-100	88.29	-
Q-101	92.75	-
Q-102	29.00	-
Q-103	-	7.34
Q-104	0.80	-
Q-105	50.45	-
Q-106	-	10.73
รวม	261.29	18.07

ตารางที่ ก9 แสดงองค์ประกอบของแต่ละสายของกระบวนการผลิตแบบที่ 3

สาย / องค์ประกอบ (kg/hr)	NaOH	C_2H_5OH	HCl	$CaCl_2$	$CaCO_3$	H2O	CO_2	Protein	CH_3COONa	Chitin	Chitosan
HCl	-	-	0.35	-	-	-	-	-	-	-	-
Squid pens	-	-	-	-	0.36	0.16	-	0.48	-	-	-
Mixer out	-	-	0.35	-	0.36	0.16	-	0.48	-	-	-
1	-	-	0.09	0.40	-	0.22	0.16	-	-	-	-
Protein	-	-	-	-	-	-	-	0.48	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	0.48	-	-	-
NaOH	0.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	0.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0.35	-	-	-	-	-	-	0.48	-	-	-
Chitin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.12	-

ตารางที่ ก9 แสดงองค์ประกอบของแต่ละสายของกระบวนการผลิตแบบที่ 3 (ต่อ)

สาย / องค์ประกอบ (kg/hr)	NaOH	C_2H_5OH	HCl	$CaCl_2$	$CaCO_3$	H2O	CO_2	Protein	CH_3COONa	Chitin	Chitosan
6	0.33	-	-	-	-	0.02	-	0.36	-	-	-
Ethanol	-	0.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Et	-	0.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.12	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.12	-
Na	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	0.12	-
4	0.18	-	-	-	-	-	-	-	0.04	-	-
Chitosan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.10

ภาคผนวก ข

การคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1. การกำหนดบทบาท (Characterization)

เป็นการแสดงประเภทของผลกระทบให้อยู่ในรูปของตัวบ่งชี้ (Indicator) โดยใช้ค่าแฟกเตอร์ (Characterization Factor) ในการคูณเพื่อเปลี่ยนจากปริมาณน้ำหนักเป็นค่าบ่งชี้ของผลกระทบและทำการรวมค่าทั้งหมดของผลกระทบ ดังสมการ

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

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

Q_i (Quality of Substance) คือ ปริมาณมลภาวะสาร j ที่ปล่อยออกมา

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

2. การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization)

เป็นการแสดงขนาดของผลกระทบของผลิตภัณฑ์หรือบริการ โดยเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์หรือบริการอื่นที่ต้องการอ้างอิง แสดงดังสมการ

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

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

T (Life Time of Product) คือ อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์

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

3. **การให้ค่าน้ำหนัก** (Weighting)

เป็นขั้นตอนในการให้ความสำคัญของลักษณะของผลกระทบทั้ง 3 ประเภทคือ สุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศน์ การใช้ทรัพยากรและรวมค่าของดัชนีตัววัดทั้ง 3 ประเภทให้เป็นคะแนนเดียว

$$WP_j = WF_j \times NP_j$$

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

WF_j (Weighting Factor) คือค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้

ภาคผนวก ข ค่า Damage factor ของวิธี Eco-indicator 99

ตาราง ข 1 Damage category Human Health

ตาราง ข 1.1 ประเภทผลกระทบด้านสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (carcinogen)

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

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

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

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

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

ตาราง ข 1.2 Respiratory effects on humans caused by organic substances

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

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

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

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

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

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

ตาราง ข 1.3 Respiratory effects on humans caused by inorganic substances

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

ตาราง ข 1.4 Damages to human health caused by climate change

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

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

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

ตาราง ข1.5 Human health effects caused by ionising radiation

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

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

ตาราง ข 1.6 Human health effects caused by ozone layer depletion

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

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

ตาราง ข 2 Damage category Ecosystem Quality

ตาราง ข 2.1 Damage to Ecosystem Quality caused by ecotoxic emissions

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ตาราง ข 3 Damage category Resources

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

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

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

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

ตาราง ข4 Normalization factor และ weighting factor

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

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุดารัตน์ แก้วสีลาม สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในปีการศึกษา 2549 และในปีการศึกษา 2550 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและสำเร็จการศึกษาในปี 2552