

การประเมินวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสและไบเฟนทริน



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

การประเมินวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสและไบเฟนทริน



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF TERBUFOS AND BIFENTHRIN



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง การประเมินวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสและไบเฟนทริน
โดย นายพิชญ อนุศาสน์อมรกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ณัฐพล ฤกษ์เกษมสันต์
ปริญญาานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้รับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาานิพนธ์



ประธานกรรมการ

(ผศ.ดร.ณัฐพล ฤกษ์เกษมสันต์)

กรรมการ

(ดร.นริศรา ทองบุญชู)

กรรมการ

(ดร.ณัฐนนท์ ไพบุลย์ศิลป์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์	การประเมินวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสและไบเฟนทริน	
นักศึกษา	นายพิชญ อนุศาสน์อมรกุล	รหัสประจำตัว 58010876
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี	
ปีการศึกษา	2561	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ณัฐพล ฤกษ์เกษมสันต์	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ คุณภาพของระบบนิเวศ ภาวะโลกร้อน และการใช้ทรัพยากรพลังงานจากยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสและไบเฟนทริน ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ จะใช้ยาฆ่าแมลงดังกล่าวในการปลูกต้นอากาเว่สีน้ำเงินที่ประเทศเม็กซิโก การประเมินผลกระทบจะใช้การประเมินทั้งหมด 2 วิธีได้แก่ ILCD 2011 และ IMPACT 2002 และจะประเมินตั้งแต่แหล่งที่มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง และการย่อยสลาย พบว่ายาฆ่าแมลงไบเฟนทรินส่งผลกระทบต่อทั้ง 4 ด้านมากกว่ายาฆ่าแมลงเทอร์บูพอส ในการปลูกต้น อากาเว่ 1 เฮกเตอร์ ยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ 7.48×10^{-3} DALY ต่อปี คุณภาพของระบบนิเวศ 5.24×10^3 PDF·m²·yr ต่อปี ภาวะโลกร้อน 12,600 kg CO₂ eq ต่อปี และการใช้ทรัพยากรพลังงาน 2.27×10^5 MJ primary ต่อปี ในขณะที่ยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ 4.26×10^{-4} DALY ต่อปี คุณภาพของระบบนิเวศ 127 PDF·m²·yr ต่อปี ภาวะโลกร้อน 64.5 kg CO₂ eq ต่อปีและการใช้ทรัพยากรพลังงาน 1.87×10^3 MJ primary ต่อปี จากการประเมินผลกระทบทั้ง 4 ด้านของยาฆ่าแมลงทั้งสองชนิด กระบวนการที่มีผลกระทบมากที่สุดสองกระบวนการได้แก่แหล่งที่มาของวัตถุดิบและการย่อยสลาย มีผลกระทบสูงกว่ากระบวนการผลิตและขนส่งยาฆ่าแมลงทั้งสองชนิด

Thesis Title	Life cycle impact assessment of terbufos and bifenthrin		
Student	Mr. Pichaya Anusasamonkul	Student ID	58010876
Degree	Bachelor of Engineering		
Program	Chemical Engineering		
Year	2018		
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr.Nattapol Lerkkasemsan		

Abstracts

The objective of this research is to study the environmental impacts including human health ecosystem quality global warming and resource that affected by terbufos and bifenthrin used for planting blue agave. The life cycle assessment divides into four parts including raw materials production transportation and disposal using ILCD 2011 and IMPACT 2002 as an assessment method. The assessment results show that bifenthrin affects the environmental impacts more than terbufos. Bifenthrin using for planting 1 hectare of agave affects human health 7.48×10^{-3} DALY per year, ecosystem quality 5.24×10^3 PDF \cdot m² \cdot yr per year, global warming 12600 kg CO₂ eq per year and resource 2.27×10^5 MJ primary per year. Terbufos using for planting 1 hectare of agave affects human health 4.26×10^{-4} DALY per year, ecosystem quality 127 PDF \cdot m² \cdot yr per year, global warming 64.5 kg CO₂ eq per year and resource 1.87×10^3 MJ primary per year. However, assessment results of these two pesticides show that raw materials and disposal affect the environmental more than production and transportation.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือของอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ณัฐพล ฤกษ์เกษมสันต์ ที่คอยให้คำแนะนำตลอดการทำโครงการครั้งนี้ ท่านได้ให้คำแนะนำ สำหรับขั้นตอนต่างๆในการทำโครงการครั้งนี้ และยังคงคอยให้คำแนะนำสำหรับการก้าวผ่านปัญหา หลากๆ อย่างในโครงการนี้มาได้

ขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเคมี ที่ได้ให้โอกาสศึกษาหาความรู้ในการทำโครงการได้อย่างประสบความสำเร็จ

ขอบคุณเพื่อนทั้งในภาควิชาเคมีและเพื่อนภาคอื่นๆ ที่คอยรับฟังและคอยเป็นคนให้ คำปรึกษาเมื่อข้าพเจ้ามีปัญหาหรือความกังวลในการทำโครงการนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาใน ภาควิชาวิศวกรรมเคมีแห่งนี้ ตลอดจนคอยช่วยเหลือ สนับสนุนและให้กำลังใจผู้เรียนเสมอมา ส่งผลให้ โครงการนี้ประสบความสำเร็จ บรรลุปเป้าหมาย

ผู้จัดทำ

พิชญ์ อนุศาสน์อมรกุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
Abstracts.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VII
สารบัญตาราง.....	XI
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	XIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment).....	4
2.1.2 ต้นอากาเว่สีน้ำเงิน (Blue agave).....	5
2.1.3 ยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส (Terbufos).....	5
2.1.4 ยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน.....	9
2.1.5 สมการ Bernoulli.....	21
2.1.6 โปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์.....	22
2.1.7 วิธีการประเมินผลกระทบ ILCD 2011.....	23
2.1.8 วิธีการประเมินผลกระทบ IMPACT 2002.....	26
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.1	เงื่อนไขและเปอร์เซ็นต์การแปลงผันของกระบวนการผลิตในวัฏจักรชีวิตของ ยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอส	31
2.2.2	เงื่อนไขและเปอร์เซ็นต์การแปลงผันของกระบวนการผลิตในวัฏจักรชีวิตของ ยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน	33
2.2.3	อัตราการไหลในท่อ	36
2.2.4	ประสิทธิภาพของปั๊ม	37
2.2.5	การกระจายตัวของยาฆ่าแมลงหลังออกมาจากเครื่องฉีด	37
2.2.6	การย่อยสลายของยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสในดิน	37
2.2.7	การย่อยสลายของยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินในดิน	37
2.2.8	ความแตกต่างและวิธีการเปรียบเทียบข้ามวิธีการประเมินผลกระทบระหว่างวิธีการ ประเมินผลกระทบชั้นกลางของ ILDC 2011 และ IMPACT 2002	38
2.2.9	การประเมินผลกระทบด้านความเป็นกรดโดยใช้วิธีการประเมิน Proton equivalents/acidity constant (K_a)	44
บทที่ 3	ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต	45
3.1	การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition)	45
3.2	การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Inventory Analysis)	45
3.2.1	ข้อมูลการใช้วัตถุดิบในการผลิตสารต่างๆ ภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลง เทอร์บูพอสและไบเฟนทริน	45
3.2.2	ข้อมูลการใช้พลังงานในการผลิตสารต่างๆ	45
3.2.3	ข้อมูลการขนส่งทั้งหมด	46
3.2.4	ข้อมูลการย่อยสลาย	46
3.3	การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment : LCIA)	47
3.4	การแปลผลการศึกษา (Life Cycle Interpretation)	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลลัพธ์จากการประเมินวัฏจักรชีวิต.....	48
4.1 ผลการคำนวณต่างๆ ภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส	48
4.1.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition)	48
4.1.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Inventory analysis)	49
4.2 ผลการคำนวณต่างๆ ภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน	53
4.2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition)	53
4.2.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Inventory analysis)	53
4.3 ผลลัพธ์จากการประเมินผลกระทบโดยใช้โปรแกรม SimaPro	60
4.3.1 การเปรียบเทียบผลกระทบระหว่างวิธีการประเมินผลกระทบชั้นกลางของ ILCD 2011 IMPACT 2002 และ Proton equivalents/acidity constant (K_a).....	60
4.3.2 การเปรียบเทียบผลกระทบระหว่างวิธีการประเมินผลกระทบชั้นปลายของ ILCD 2011 และ IMPACT 2002	62
4.3.3 การเปรียบเทียบผลกระทบระหว่างยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสและไบเฟนทรินที่ ใช้ในการปลูกต้นอากาศเวสิ่นน้ำเงิน.....	63
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	70
เอกสารอ้างอิง	71
ภาคผนวก ก.....	76
ภาคผนวก ข.....	104

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

2.1	โครงสร้างโมเลกุลของยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอส	5
2.2	แผนภูมิต้นไม้การประเมินวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอส	7
2.3	โครงสร้างโมเลกุลของยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน	9
2.4	แผนภูมิต้นไม้การประเมินวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน ส่วนที่ 1	11
2.5	แผนภูมิต้นไม้การประเมินวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน ส่วนที่ 2	12
4.1	ระยะทางการขนส่งภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอส	52
4.2	ระยะทางขนส่งในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินส่วนที่ 1	58
4.3	ระยะทางขนส่งในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินส่วนที่ 2	59
4.4	กราฟแท่งสเกลลือกเปรียบเทียบผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์ระหว่างยาฆ่าแมลง เทอร์บูพอสและ ไบเฟนทรินโดยการใช้วิธีการประเมิน ILCD 2011	64
4.5	กระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์มากที่สุดภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลง ไบเฟนทริน	65
4.6	กระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์มากที่สุดภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลง เทอร์บูพอส	66
4.7	กราฟแท่งสเกลลือกเปรียบเทียบผลกระทบด้านคุณภาพของระบบนิเวศระหว่างยาฆ่าแมลง เทอร์บูพอสและไบเฟนทรินโดยการใช้วิธีการประเมิน IMPACT 2002	67
4.8	กราฟแท่งสเกลลือกเปรียบเทียบผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนระหว่างยาฆ่าแมลง เทอร์บูพอสและไบเฟนทรินโดยการใช้วิธีการประเมิน ILCD 2011	68
4.9	กราฟแท่งสเกลลือกเปรียบเทียบผลกระทบด้านการใช้ทรัพยากรพลังงานระหว่าง ยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสและไบเฟนทรินโดยการใช้วิธีการประเมิน IMPACT 2002	69
ก.1	การขนส่งจากโรงงานยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสไปที่ปลุกอากาศเวสีน้ำเงินส่วนที่ 1	76
ก.2	การขนส่งจากโรงงานยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสไปที่ปลุกอากาศเวสีน้ำเงินส่วนที่ 2	77
ก.3	การขนส่งจากโรงงานยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสไปที่ปลุกอากาศเวสีน้ำเงินส่วนที่ 3	77
ก.4	การขนส่งจากโรงงานยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสไปที่ปลุกอากาศเวสีน้ำเงินส่วนที่ 4	78
ก.5	การขนส่งจากโรงงาน Tert-butyl mercaptan ไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอส	78
ก.6	การขนส่งจากโรงงาน Diethyl dithiophosphoric ไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอส	79

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

ก.7 การขนส่งจากโรงงานฟอร์มาลดีไฮด์ไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส	79
ก.8 การขนส่งจากโรงงานไฮโดรเจนซัลไฟด์ไปที่โรงงาน Tert-butyl mercaptan	80
ก.9 การขนส่งจากโรงงานไอโซบิวทิลีนไปที่โรงงาน Tert-butyl mercaptan	80
ก.10 การขนส่งจากโรงงานเอทานอลไปที่โรงงาน Diethyl dithiophosphoric	81
ก.11 การขนส่งจากโรงงาน Phosphorus pentasulfide ไปที่โรงงาน Diethyldithiophosphoric	81
ก.12 การขนส่งจากโรงงานกำมะถันไปที่โรงงาน Phosphorus pentasulfide	82
ก.13 การขนส่งจากโรงงานฟอสฟอรัสไปที่โรงงาน Phosphorus pentasulfide	82
ก.14 การขนส่งจากโรงงานยาฆ่าแมลงโบเฟนทรินไปที่ปลุกอากาศเว็สน้ำเงินส่วนที่ 1	83
ก.15 การขนส่งจากโรงงานยาฆ่าแมลงโบเฟนทรินไปที่ปลุกอากาศเว็สน้ำเงินส่วนที่ 2	83
ก.16 การขนส่งจากโรงงานยาฆ่าแมลงโบเฟนทรินไปที่ปลุกอากาศเว็สน้ำเงินส่วนที่ 3	84
ก.17 การขนส่งจากโรงงานโซเดียมไทโอซัลเฟตไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงโบเฟนทริน	85
ก.18 การขนส่งจากโรงงานคลอโรฟอร์มไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงโบเฟนทริน	85
ก.19 การขนส่งจากโรงงานโพแทสเซียมไอโอไดด์ไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงโบเฟนทริน	86
ก.20 การขนส่งจากโรงงานโพรีดีนไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงโบเฟนทริน	86
ก.21 การขนส่งจากโรงงานอะซีโตนไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงโบเฟนทริน	87
ก.22 การขนส่งจากโรงงานผงทองแดงไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงโบเฟนทริน	87
ก.23 การขนส่งจากโรงงานกรดซัลฟิวริกไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงโบเฟนทริน	88
ก.24 การขนส่งจากโรงงานโซเดียมไนไตรท์ไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงโบเฟนทริน	88
ก.25 การขนส่งจากโรงงานเอทานอลที่โรงงานยาฆ่าแมลงโบเฟนทริน	89
ก.26 การขนส่งจากโรงงานผงเหล็กไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงโบเฟนทริน	89
ก.27 การขนส่งจากโรงงานไฮโดรคลอริกเข้มข้นไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงโบเฟนทริน	90
ก.28 การขนส่งจากโรงงานซัลเฟอร์ไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงโซเดียมไทโอซัลเฟต	90
ก.29 การขนส่งจากโรงงานโซเดียมไฮดรอกไซด์ไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงโซเดียมไทโอซัลเฟต	91
ก.30 การขนส่งจากโรงงานอะเซตัลดีไฮด์ไปที่โรงงานคลอโรฟอร์ม	91
ก.31 การขนส่งจากโรงงานคลอรีนไปที่โรงงานคลอโรฟอร์ม	92
ก.32 การขนส่งจากโรงงานเตตระไฮโดรฟูแรนไปที่โรงงาน 2-Methyl-3-nitrobenzyl alcohol	92

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

ก.33 การขนส่งจากโรงงานโซเดียมโบโรไฮไดรด์ไปที่โรงงาน 2-Methyl-3-nitrobenzyl alcohol.....	93
ก.34 การขนส่งจากโรงงาน 2-Methyl-3-nitrobenzoic acidไปที่โรงงาน 2-Methyl-3-nitrobenzyl alcohol.....	93
ก.35 การขนส่งจากโรงงานโซเดียมไฮไดรด์ไปที่โรงงานโซเดียมโบโรไฮไดรด์ส่วนที่ 1.....	94
ก.36 การขนส่งจากโรงงานโซเดียมไฮไดรด์ไปที่โรงงานโซเดียมโบโรไฮไดรด์ส่วนที่ 2.....	94
ก.37 การขนส่งจากโรงงานโซเดียมไฮไดรด์ไปที่โรงงานโซเดียมโบโรไฮไดรด์ส่วนที่ 3.....	95
ก.38 การขนส่งจากโรงงานไดบอเรนไปที่โรงงานโซเดียมโบโรไฮไดรด์ส่วนที่ 1.....	95
ก.39 การขนส่งจากโรงงานไดบอเรนไปที่โรงงานโซเดียมโบโรไฮไดรด์ส่วนที่ 2.....	96
ก.40 การขนส่งจากโรงงานไดบอเรนไปที่โรงงานโซเดียมโบโรไฮไดรด์ส่วนที่ 3.....	96
ก.41 การขนส่งจากโรงงานคาร์บอนไปที่โรงงานโซเดียมไฮไดรด์.....	97
ก.42 การขนส่งจากโรงงานโซเดียมไฮดรอกไซด์ไปที่โรงงานโซเดียมไฮไดรด์.....	97
ก.43 การขนส่งจากโรงงาน 3-Nitro-o-xylene ไปที่โรงงาน 2-Methyl-3-nitrobenzoic acid ส่วนที่ 1.....	98
ก.44 การขนส่งจากโรงงาน 3-Nitro-o-xylene ไปที่โรงงาน 2-Methyl-3-nitrobenzoic acid ส่วนที่ 2.....	98
ก.45 การขนส่งจากโรงงาน 3-Nitro-o-xylene ไปที่โรงงาน 2-Methyl-3-nitrobenzoic acid ส่วนที่ 3.....	99
ก.46 การขนส่งจากโรงงานกรดไนตริกไปที่โรงงาน 3-Nitro-o-xylene.....	99
ก.47 การขนส่งจากโรงงาน O-xylene ไปที่โรงงาน 3-Nitro-o-xylene.....	100
ก.48 การขนส่งจากโรงงาน Oxygen ไปที่โรงงาน 2-Methyl-3-nitrobenzoic acid.....	100
ก.49 การขนส่งจากโรงงานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไปที่โรงงาน Methanesulfonic acid.....	101
ก.50 การขนส่งจากโรงงาน Methyl mercaptan ไปที่โรงงาน Methanesulfonic acid ส่วนที่ 1.....	101
ก.51 การขนส่งจากโรงงาน Methyl mercaptan ไปที่โรงงาน Methanesulfonic acid ส่วนที่ 2.....	102
ก.52 การขนส่งจากโรงงาน Methyl mercaptan ไปที่โรงงาน Methanesulfonic acid ส่วนที่ 3.....	102
ก.53 การขนส่งจากโรงงานไฮโดรเจนซัลไฟด์ไปที่โรงงาน Methyl mercaptan.....	103

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

ก.54 การขนส่งจากโรงงานเมทานอลไปที่โรงงาน Methyl mercaptan.....103



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1 ปริมาณวัตถุบที่ใช้ในการผลิตยาฆ่าแมลงไบเพนทริน	33
2.2 อัตราการไหลในท่อ.....	36
2.3 ตัวคูณสำหรับเปลี่ยนหน่วยเพื่อเปรียบเทียบผลกระทบจากวิธีการประเมินผลกระทบแบบต่างๆ	39
2.4 ค่าคงที่ที่ใช้ประเมินผลกระทบด้านความเป็นกรด.....	44
4.1 วัตถุบที่ใช้ในกระบวนการผลิตของสารเคมีในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส.....	49
4.2 พลังงานความร้อนภายในกระบวนการผลิตในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส	50
4.3 พลังงานในการขนถ่ายวัตถุบโดยใช้ปั้มในกระบวนการผลิตในวัฏจักรชีวิตของเทอร์บูฟอส.....	50
4.4 พลังงานปั้มที่ใช้ในการดำเนินกระบวนการผลิตภายในกระบวนการผลิตในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส	51
4.5 ปริมาณวัตถุบที่ใช้ในการผลิตยาฆ่าแมลงไบเพนทริน 1 กิโลกรัม.....	54
4.6 วัตถุบที่ใช้ในกระบวนการผลิตของสารเคมีในวัฏจักรชีวิตของ Sodium thiosulfate Chloroform Potassium iodide cis-3- (2-Chloro-3,3,3-trifluoroprop-1-en-1-yl)-2,2-dimethylcyclopropanecarboxylic acid และ 2-Methyl-3-nitrobenzyl alcohol.....	55
4.7 พลังงานความร้อนภายในกระบวนการผลิตในวัฏจักรชีวิตของไบเพนทริน.....	56
4.8 พลังงานในการขนถ่ายวัตถุบโดยใช้ปั้มในกระบวนการผลิตในวัฏจักรชีวิตของไบเพนทริน.....	57
4.9 ผลกระทบจากการใช้ยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสซึ่งประเมินจากการใช้วิธีการประเมินผลกระทบชั้นกลางของ ILCD 2011 และ IMPACT 2002.....	60
4.10 ผลกระทบจากการใช้ยาฆ่าแมลงไบเพนทรินซึ่งจากการใช้วิธีการประเมินผลกระทบชั้นกลางของ ILCD 2011 และ IMPACT 2002.....	61
4.11 ผลการประเมินด้านความเป็นกรดของพื้นดินโดยใช้วิธีการประเมิน Proton equivalents/acidity constant (Ka).....	61
4.12 ผลกระทบจากการใช้ยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสซึ่งประเมินจากการใช้วิธีการประเมินผลกระทบชั้นปลายของ ILCD 2011 และ IMPACT 2002.....	62
4.13 ผลกระทบจากการใช้ยาฆ่าแมลงไบเพนทรินซึ่งประเมินจากวิธีการประเมินผลกระทบชั้นปลายของ ILCD 2011 และ IMPACT 2002.....	62
ข.1 ผลกระทบจากการใช้ยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสในการปลูกต้นไม้เงินในพื้นที่ 1 เฮกเตอร์ ภายใน 1 ปี โดยใช้วิธีการ ILCD 2011 Midpoint	104

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

ข.2 ผลกระทบจากการใช้ยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินในการปลูกต้นอากาเว่สีน้ำเงินใน พื้นที่ 1 เฮกเตอร์ ภายใน 1 ปี โดยใช้วิธีการ ILCD 2011 Midpoint.....	105
ข.3 ผลกระทบจาก 1 กิโลกรัมของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสโดยใช้วิธีการ ILCD 2011 Midpoint....	106
ข.4 ผลกระทบจาก 1 กิโลกรัมของยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินโดยใช้วิธีการ ILCD 2011 Midpoint....	107
ข.5 ผลกระทบจากการใช้ยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสในการปลูกต้นอากาเว่สีน้ำเงินใน พื้นที่ 1 เฮกเตอร์ ภายใน 1 ปี โดยใช้วิธีการ Impact 2002 Midpoint.....	108
ข.6 ผลกระทบจากการใช้ยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินในการปลูกต้นอากาเว่สีน้ำเงินใน พื้นที่ 1 เฮกเตอร์ ภายใน 1 ปี โดยใช้วิธีการ Impact 2002 Midpoint.....	109
ข.7 ผลกระทบจาก 1 กิโลกรัมของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสโดยใช้วิธีการ Impact 2002 Midpoint.....	110
ข.8 ผลกระทบจาก 1 กิโลกรัมของยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินโดยใช้วิธีการ Impact 2002 Midpoint.....	111
ข.9 ผลกระทบด้านความเป็นกรดของพื้นดินภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส.....	112
ข.10 ผลกระทบด้านความเป็นกรดของน้ำภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส.....	112
ข.11 ผลกระทบด้านความเป็นกรดของอากาศภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส.....	113
ข.12 ผลกระทบด้านความเป็นกรดของพื้นดินภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน.....	114
ข.13 ผลกระทบด้านความเป็นกรดของน้ำภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน.....	114
ข.14 ผลกระทบด้านความเป็นกรดของอากาศภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน.....	115

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์และคำย่อ	ความหมาย	หน่วย
CDCPL	Cis-3- (2-chloro-3,3,3- trifluoro-1-propenyl)-2,2-dimethylcyclopropanecarbonyl chloride	-
CDCPC	Cis-3- (2-chloro-3,3,3- trifluoro-1-propenyl)-2,2-dimethylcyclopropanecarboxylic	-



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment: LCA) คือวิธีการประเมินผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม มนุษย์ และเศรษฐศาสตร์ [1] นิยมใช้เพื่อหาร่องรอยการใช้ น้ำ การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความเป็นอันตรายต่อมนุษย์ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่มีผลมาจากวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ การประเมินวัฏจักรได้ถูกใช้ในงานวิจัยที่หลากหลาย เช่น Mekonnen และคณะ [2] ได้ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เพื่อทำการวิจัยเกี่ยวกับการใช้น้ำในการทำเกษตรและขนส่งสินค้าสำหรับการเกษตรทั่วไป Roberta [3] ได้ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตกาแฟเพื่อปรับปรุงพัฒนากระบวนการผลิตของบริษัทให้มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์มีขั้นตอนทั้งหมด 4 ขั้นตอนได้แก่ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต การวิเคราะห์บัญชีรายการ การประเมินผลกระทบ และการแปลผลการศึกษา [4] ขั้นตอนที่หนึ่ง กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์โดยขอบเขตของการประเมินมีทั้งหมดสี่รูปแบบคือ Cradle to gate Cradle to grave Cradle to cradle และ Gate to gate ตัวอย่างการกำหนดขอบเขตการประเมิน เช่นในงานของ Deborahm และคณะ [5] วิจัยเกี่ยวกับการเปรียบเทียบผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ทั้งสี่วิธี ซึ่งมีขอบเขตของการประเมินอยู่ในกระบวนการผลิต ซึ่งนับเป็นการกำหนดขอบเขตแบบ Gate to gate ในขั้นตอนที่สองเป็นการวิเคราะห์บัญชีรายการ ซึ่งคือการรวบรวมข้อมูลภายในวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อผลกระทบที่สนใจ เช่น แหล่งที่มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง และการกำจัด ขั้นตอนที่สามคือการประเมินผลกระทบเป็นการนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากขั้นตอนที่สองมาคำนวณหาผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยเลือกวิธีการประเมินที่มีความเหมาะสมและสามารถคำนวณผลกระทบด้านที่สนใจ ยกตัวอย่างเช่น Laurentและคณะ [6] วิจัยเกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซลโดยใช้วิธีการประเมิน CML เนื่องจากวิธีการประเมินดังกล่าวเป็นวิธีที่สามารถประเมินผลกระทบด้านที่งานวิจัยมุ่งเน้นที่จะศึกษา ขั้นตอนสุดท้ายคือการแปลผลการศึกษา วิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นว่ามีสาเหตุมาจากอะไรหรือผลกระทบมีค่ามากหรือน้อยกว่าผลิตภัณฑ์อื่นอย่างไร เช่น Laurent และคณะได้สรุปว่ากระบวนการสกัดน้ำมันแบบเปียกเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานมากที่สุดในวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้จะทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส (Terbufos) และ ไบเฟนทริน (Bifenthrin) เนื่องจากผู้วิจัยพบว่ายาฆ่าแมลงทั้งสองชนิดนี้มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆสูง ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Chapman และคณะ [7] สรุปไว้ว่ายาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสที่อยู่ในดินสามารถเกิดปฏิกิริยากลายเป็นสารที่มีความเป็นพิษต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตบนบกสูง และงานวิจัยของ Meiqing และคณะ [8] ได้สรุปไว้ว่าการใช้ยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินส่งผลกระทบต่อสุขภาพและวิถีชีวิตของปลาหลายทั้งหมดที่อยู่ในระบบนิเวศ นอกจากนี้ยังพบว่าไม่มีงานวิจัยที่ประเมินวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงทั้งสองชนิดนี้ และผลจากการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตของต้นอากาศเวสีน้ำเงินเพื่อปรับเปลี่ยนการใช้ยาฆ่าแมลงให้ส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

เทอร์บูฟอสเป็นยาฆ่าแมลงในหมู่อร์แกโนฟอสเฟตซึ่งใช้ในการปลูกพืชทั่วไปเช่น แครอท กัญชง และถั่ว มีจุดมุ่งหมายในการใช้งานเพื่อกำจัดตัวอ่อนของด้วงคลิก ด้วง และแมลงวัน ในระหว่างปีคริสต์ศักราช 1987 ถึงปี 1996 มีการใช้ยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสในการทำเกษตรจำนวน 7.5 ล้านปอนด์ต่อปี [9] ในทางกลับกันองค์การอนามัยโลกจัดยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสเป็นสารพิษที่อันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ เห็นได้จากข้อมูลความเป็นพิษเฉียบพลันของสารที่ใช้ในการทดลอง (Acute Toxicity) ยกตัวอย่าง เช่น จากงานวิจัยขององค์การอนามัยโลก [10] สุนัขพันธุ์บีเกิลเพศเมียจากกลุ่มทดลองจะเสียชีวิตครึ่งหนึ่งหลังจากที่ได้รับสารเทอร์บูฟอสเป็นปริมาณ 6.3 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสุนัขหนึ่งกิโลกรัม อีกทั้งในงานวิจัยของ Somasundaram และคณะ [11] ได้สรุปว่าหลังจากที่ใส่ยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสลงในดินเป็นระยะเวลาหนึ่งปี ยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสจะทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ที่อยู่ในดินเกิดเป็นเทอร์บูฟอสซัลฟอกไซด์ (Terbufos sulfoxide) ซึ่งคิดเป็น 46 เปอร์เซ็นต์จากยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสที่ใส่ในตอนเริ่มต้น งานวิจัยยังแสดงความเป็นพิษเฉียบพลันของสารดังกล่าวไว้ว่า หนูเพศเมียจากกลุ่มทดลองจะเสียชีวิตครึ่งหนึ่งหลังจากที่ได้รับสารเทอร์บูฟอสซัลฟอกไซด์เป็นปริมาณ 3.4 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักหนึ่งกิโลกรัมของหนูเพศเมีย จากความเป็นอันตรายดังกล่าวยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสจึงถูกห้ามใช้ในประเทศที่พัฒนา ตัวอย่างเช่น ประเทศในทวีปยุโรป

ไบเฟนทรินเป็นยาฆ่าแมลงในกลุ่มไพรีทรอยด์ซึ่งใช้ในการปลูกข้าวโพด ฮีบ และราสเบอร์รี่ มีจุดมุ่งหมายในการใช้งานเพื่อกำจัดมดคันไฟอิวคิต้า (*Red imported fire ant*) นอกจากนี้ยังสามารถใช้เพื่อกำจัดแมลงชนิดอื่นๆ ยกตัวอย่างเช่น เพลี้ย ไร เติอน ไร และ แมลงเม่า [12] ในปีคริสต์ศักราช 2015 มีการใช้ยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินในการทำเกษตรประมาณ 1 ล้านปอนด์และมีแนวโน้มที่จะใช้เพิ่มขึ้นในทุกๆ ปี [13] เอกสารข้อมูลความปลอดภัยที่จัดทำโดยสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อม (Environmental Protection Agency) ได้สรุปเรื่องความเป็นพิษของยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินไว้ว่ายาฆ่าแมลงชนิดนี้เป็นพิษต่อสัตว์บกและสัตว์ปีกเล็กน้อยแต่เป็นพิษอย่างมากต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งมีชีวิตในน้ำ [14] ยกตัวอย่างความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ เช่น จากงานวิจัยของบริษัท NPIC [15] ปลาเทราต์สายรุ้งจากกลุ่มทดลองจะเสียชีวิตครึ่งหนึ่งหลังจากที่ดำรงชีวิต 96 ชั่วโมงในน้ำที่มีส่วนผสมของสารไบเฟนทรินความเข้มข้น 0.14 ppb

การประเมินวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสและไบเฟนทรินสามารถประเมินผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ คุณภาพของระบบนิเวศ ภาวะโลกร้อน และการใช้ทรัพยากรพลังงาน ที่เกิดจากวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงทั้งสองชนิด ผลการประเมินนี้สามารถนำมาวิเคราะห์หาแหล่งที่มาของผลกระทบที่มีค่ามากเพื่อทำการปรับปรุงกระบวนการในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงทั้งสองชนิดให้ส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมน้อยลงและมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ คุณภาพของระบบนิเวศ ภาวะโลกร้อน และการใช้ทรัพยากรพลังงาน ที่ส่งผลจากการใช้วัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง และการย่อยสลายของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสและยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน
2. เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลกระทบทั้ง 4 ด้านระหว่างยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสและไบเฟนทรินที่ใช้ในการปลูกต้นอากาเว่สีน้ำเงินพื้นที่ 1 เฮกเตอร์ ในระยะเวลา 1 ปี

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ คุณภาพของระบบนิเวศ ภาวะโลกร้อน และการใช้ทรัพยากรพลังงาน ที่เกิดจากวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสและไบเฟนทรินที่ใช้ในการปลูกต้นอากาเว่สีน้ำเงินที่รัฐฮาลิสโก ประเทศเม็กซิโก
2. ประเมินผลกระทบโดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
3. ขอบเขตการประเมินผลกระทบจะประเมินตั้งแต่จุดเริ่มต้นจนถึงจุดสิ้นสุด (Cradle to grave) ของวัฏจักรชีวิต

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment)

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment: LCA) เป็นวิธีการประเมินผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หนึ่งซึ่งค่าของผลกระทบสามารถคำนวณได้จากปริมาณการปลดปล่อยสารเคมีที่เกิดขึ้นจาก การใช้วัตถุดิบ การใช้พลังงาน การขนส่ง และการกำจัด

หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์มีขั้นตอนทั้งหมด 4 ขั้นตอนได้แก่

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and scope definition) คือ การกำหนดขอบเขตของการวิเคราะห์ (System boundary) และหน่วยการทำงาน (Functional unit) ซึ่งหน่วยการทำงานนี้จะต้องสัมพันธ์กับปริมาณผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปใช้หรือจำหน่าย ในการเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดจากการใช้ผลิตภัณฑ์หนึ่งกับผลิตภัณฑ์อื่นๆ หน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์จะต้องเหมือนกัน เช่น ในการเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดจากการใช้แก้วน้ำพลาสติกและแก้วน้ำกระดาษ จะกำหนดหน่วยการทำงานเท่ากับจำนวนแก้วน้ำที่ถูกใช้ไปทั้งหมดภายในระยะเวลา 1 ปี เป็นต้น
2. การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Inventory analysis) คือ การรวบรวมข้อมูล ได้แก่ ปริมาณการใช้วัตถุดิบ พลังงาน การขนส่งและการกำจัดผลิตภัณฑ์ เพื่อนำมาประเมินผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม
3. การประเมินผลกระทบ (Life cycle impact assessment: LCIA) คือ การประเมินผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ข้อมูลที่รวบรวมมาในขั้นตอนที่สองจะถูกนำไปคำนวณผ่านวิธีการประเมินผลกระทบที่เลือกไว้ ซึ่งจะได้ผลการคำนวณออกมาเป็นปริมาณผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการใช้ผลิตภัณฑ์นั้นๆ
4. การแปลผลการศึกษา (Life cycle interpretation) คือ การนำผลการประเมินที่ได้มาวิเคราะห์หาแนวทางการแก้ไข ซึ่งจะต้องสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตที่กำหนดไว้ในขั้นตอนแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ของการประเมินวัฏจักรชีวิต

1. นำมาใช้เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์อื่น เพื่อจะใช้ในการเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด
2. นำมาใช้วิเคราะห์หาแหล่งที่มาของผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมที่มีค่ามากเพื่อแก้ไขให้ลดผลกระทบลง [16]

2.1.2 ต้นอากาเว่สีน้ำเงิน (Blue agave)

Agave tequilana หรือต้นอากาเว่สีน้ำเงิน (Blue agave) เป็นต้นไม้ประเภทไม้อวบน้ำ (Succulent) คือมีน้ำลำเลียงภายในเนื้อเยื่ออยู่เป็นจำนวนมาก มักโตในพื้นที่ที่เป็นดินทรายและสูงกว่าระดับน้ำทะเล 1,500 เมตร เมื่อต้นอากาเว่สีน้ำเงินโตเต็มที่ ใบจะมีลักษณะเป็นหนามและใบจะมีความสูงประมาณ 2 เมตร ต้นอากาเว่สีน้ำเงินเป็นต้นไม้เศรษฐกิจของรัฐฮาลิสโก ประเทศเม็กซิโก เนื่องจากภายในแก่นของต้นอากาเว่สีน้ำเงินมีน้ำตาลฟรุกโตสเป็นจำนวนมากทำให้เหมาะสมที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ซึ่งมีชื่อว่าเตกีลา (Tequila) [17]

2.1.3 ยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส (Terbufos)

1) ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส

เทอร์บูฟอส (Terbufos) เป็นยาฆ่าแมลงที่ใช้ในการปลูกพืชทั่วไปเช่น แครอท กล้วย และถั่ว ซึ่งมักใช้ในการกำจัดตัวอ่อนของด้วงคลิก ด้วง และแมลงวัน [18] โครงสร้างโมเลกุลของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสมีลักษณะดังนี้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส

เทอร์บูฟอสเป็นยาฆ่าแมลงที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศกำลังพัฒนา แต่สำหรับประเทศพัฒนาแล้วมีการบังคับไม่ให้ใช้ยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส เนื่องจากเทอร์บูฟอสเป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม สัตว์ปีก สัตว์น้ำและสัตว์เลี้ยงลูกน [19] จากเอกสารข้อมูลความปลอดภัยสารเคมี (Material Safety Data Sheet) ของ UNIVERSAL Crop Protection Part., Ltd [10] ได้มีการเขียนถึงค่าความเป็นพิษของเทอร์บูฟอสต่อสัตว์ชนิดต่างๆ ไว้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นก : เป็นพิษต่อนกอย่างร้ายแรง
 LC_{50} การกินเข้าไปของนกกระทาบ็อบไวท์ 28.6 มิลลิกรัมเทอร์บูพอส /กิโลกรัมน้ำหนักสัตว์
 LC_{50} การหายใจของนกกระทาบ็อบไวท์ 143 ถึง 157 ppm
- ปลา : เป็นพิษต่อปลาอย่างร้ายแรง
 LD_{50} ปลาน้ำจืด 0.77 ถึง 20 ppb
- สัตว์ชนิดอื่นๆ : เทอร์บูพอสเป็นพิษอย่างร้ายแรงต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม สัตว์เลี้ยงคลาน และสัตว์ป่า (wildlife)

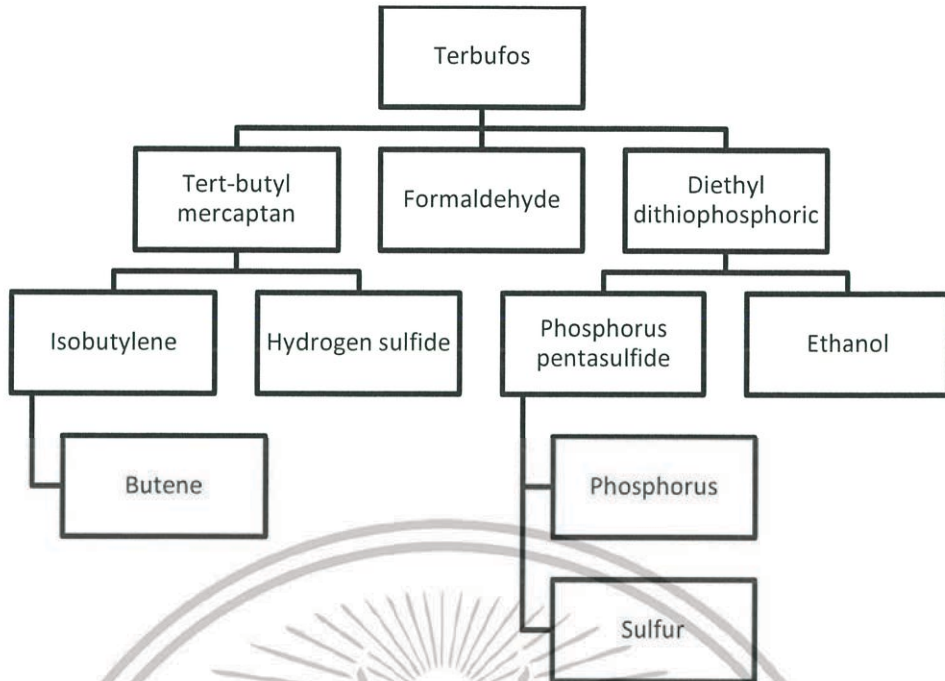
2.) แผนภูมิต้นไม้การประเมินวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอส

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ต้องมีการรวบรวมข้อมูลผลกระทบที่เกิดจากการใช้วัตถุอันตรายต่างๆ ภายในวัฏจักรชีวิต แต่ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลผลกระทบจากการใช้วัตถุอันตรายบางชนิด จะต้องประเมินผลกระทบจากการใช้วัตถุอันตรายนั้นด้วยตนเอง โดยการศึกษากระบวนการผลิตและการขนส่งของวัตถุอันตราย และนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไปประเมินผลด้วยโปรแกรม SimaPro

วัตถุอันตรายที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสซึ่งไม่มีข้อมูลของผลกระทบจากการถูกใช้มีทั้งหมด 4 สารดังต่อไปนี้

1. Tert-butyl mercaptan
2. Diethyl dithiophosphoric
3. Isobutylene
4. Phosphorus pentasulfide

เมื่อนำสารเคมีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสมาเชื่อมโยงกันจะได้แผนภูมิต้นไม้ดังต่อไปนี้

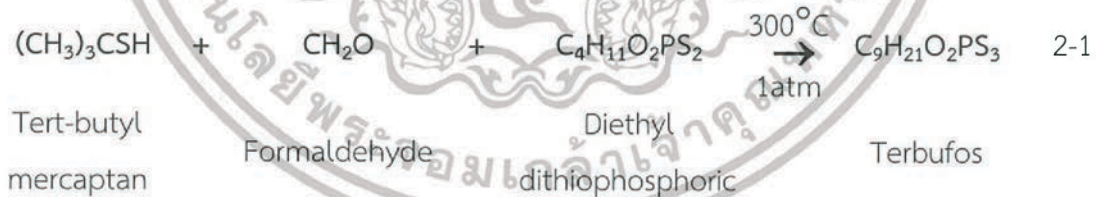


รูปที่ 2.2 แผนภูมิต้นไม้การประเมินวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส

3.) สมการเคมีที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส

สมการเคมีที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสมีทั้งหมด 5 สมการดังนี้

สมการเคมีสำหรับการผลิตยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสซึ่งใช้ Tert-butyl mercaptan ฟอรัลดีไฮด์ และ Diethyl dithiophosphoric เป็นวัตถุดิบโดยการทำปฏิกิริยาที่สภาวะ 300 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 atm



สมการเคมีสำหรับการผลิต Tert-butyl mercaptan ซึ่งใช้ Isobutylene และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นวัตถุดิบโดยการทำปฏิกิริยาที่สภาวะ 120 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 7.8 atm

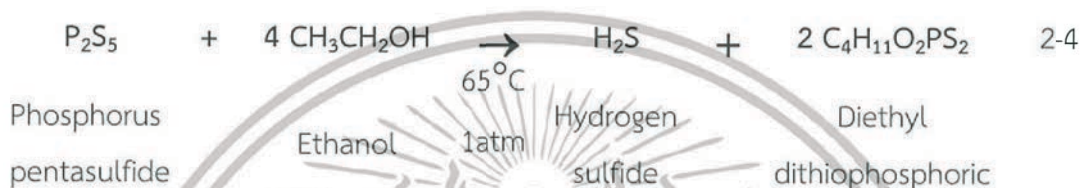


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการเคมีสำหรับการผลิต Isobutylene ซึ่งใช้ Butene เป็นวัตถุดิบโดยการทำปฏิกิริยาที่สภาวะ 400 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 atm



สมการเคมีสำหรับการผลิต Diethyl dithiophosphoric ซึ่งใช้ Phosphorus pentasulfide และเอทานอลเป็นวัตถุดิบโดยการทำปฏิกิริยาที่สภาวะ 65 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 atm



สมการเคมีสำหรับการผลิต Phosphorus pentasulfide ซึ่งใช้ฟอสฟอรัสและซัลเฟอร์เป็นวัตถุดิบโดยการทำปฏิกิริยาที่สภาวะ 250 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 atm

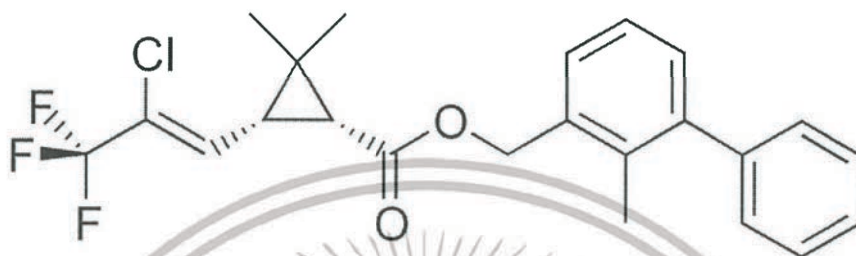


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน

1) ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน

ไบเฟนทรินเป็นยาฆ่าแมลงในกลุ่มไพรีทรอยด์ (สารเคมีสังเคราะห์ที่มีสูตรโครงสร้างคล้ายสารไพรีทรินส์ที่สกัดมาจากดอกเบญจมาศ ตระกูล *Chrysanthemum*) โครงสร้างโมเลกุลของยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินมีลักษณะดังนี้



รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน

ยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินออกฤทธิ์โดยการรบกวนระบบประสาทของแมลง จากรายงาน MSDS ของสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อม (Environmental Protection Agency) ได้สรุปไว้ว่ายาฆ่าแมลงไบเฟนทรินมีความเป็นพิษต่อเลี้ยงลูกด้วยนม สัตว์ปีกและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม น้อยแต่เป็นพิษอย่างมากต่อสัตว์น้ำ [20]

2.) แผนภูมิต้นไม้การประเมินวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน

วัตถุดิบที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินซึ่งไม่มีข้อมูลของผลกระทบจากการถูกใช้มีทั้งหมด 11 สารดังต่อไปนี้

1. Sodium Thiosulfate
2. Chloroform
3. Potassium iodide
4. CDCPL
5. Sodium borohydride
6. Sodium hydride
7. 2-methyl-3-nitrobenzyl alcohol
8. 2-Methyl-3-nitro benzoic acid
9. 3-nitro-o-xylene
10. Methanesulfonic Acid

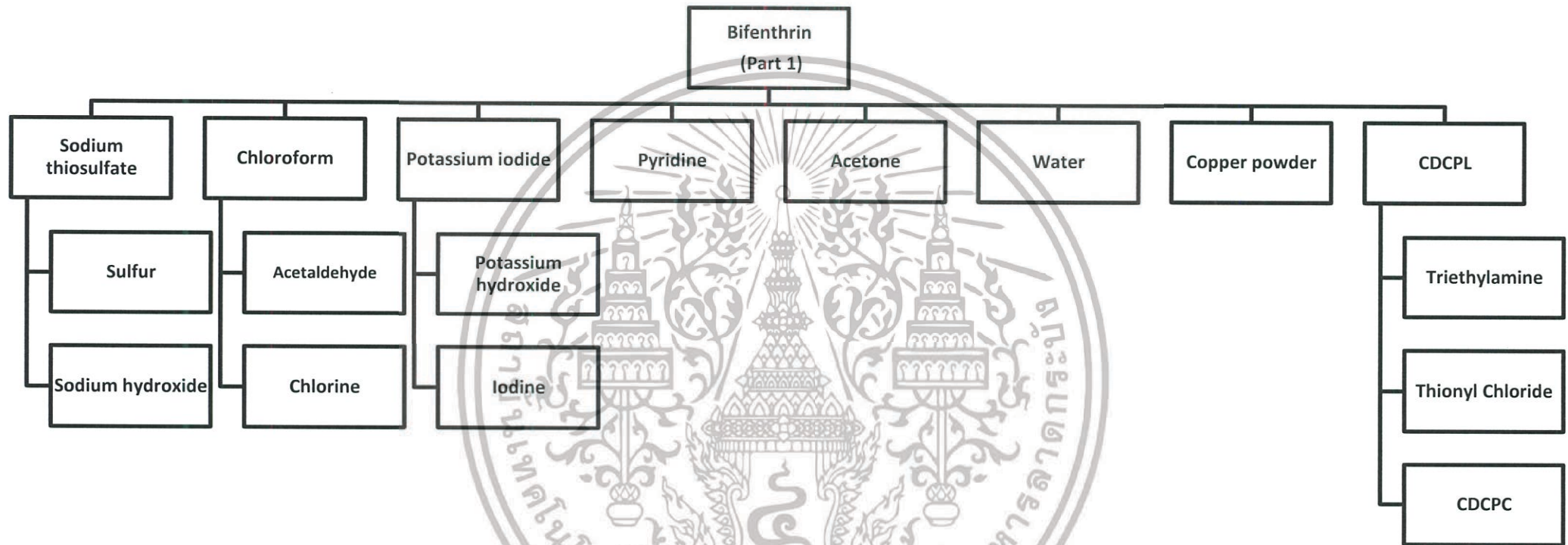
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. Methyl mercaptan

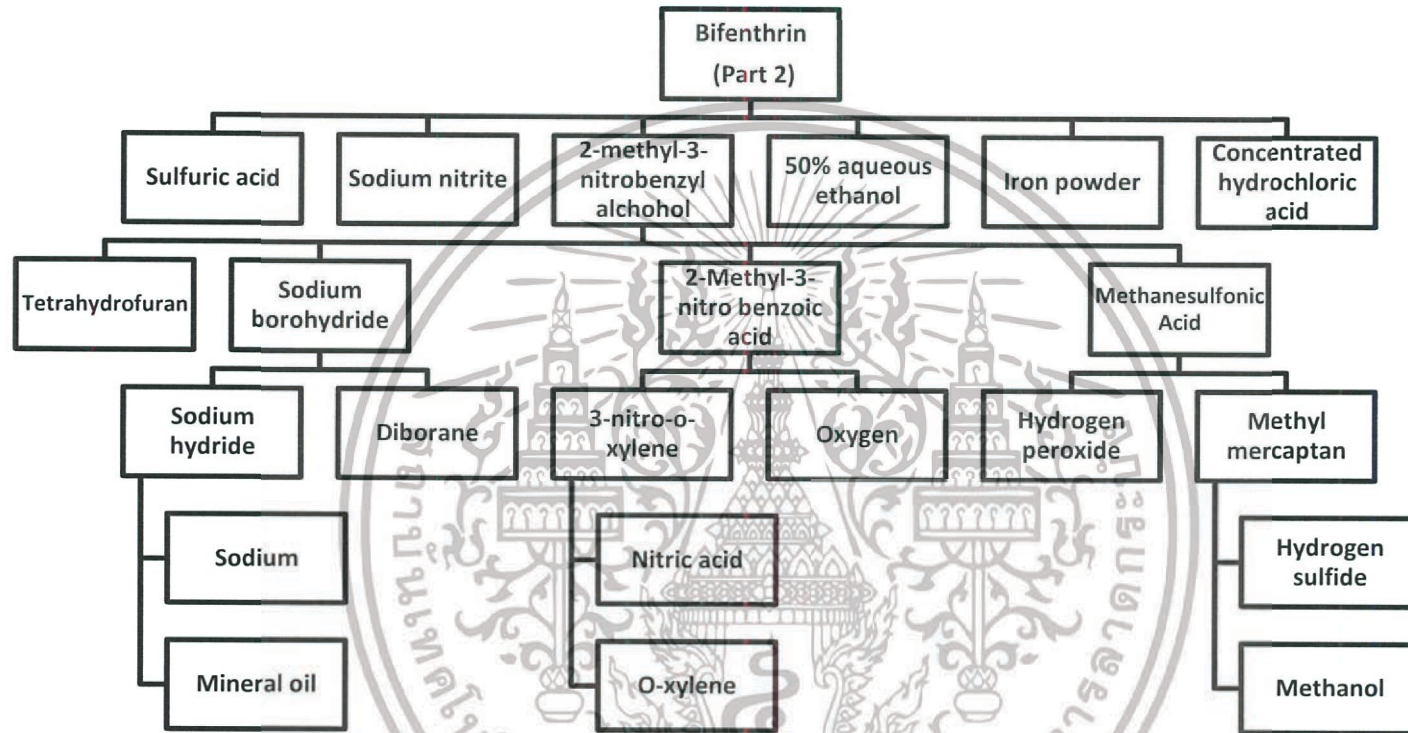
เมื่อนำสารที่เกี่ยวข้องกับยาฆ่าแมลงโบเฟนทรินไปเขียนเป็นแผนภูมิต้นไม้ ซึ่งมีความซับซ้อน และมีขนาดค่อนข้างใหญ่ จึงตัดแผนภูมิต้นไม้ออกเป็น 2 ส่วน โดยจะได้เป็นแผนภูมิต้นไม้ดังต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แผนภูมิต้นไม้การประเมินวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน ส่วนที่ 1



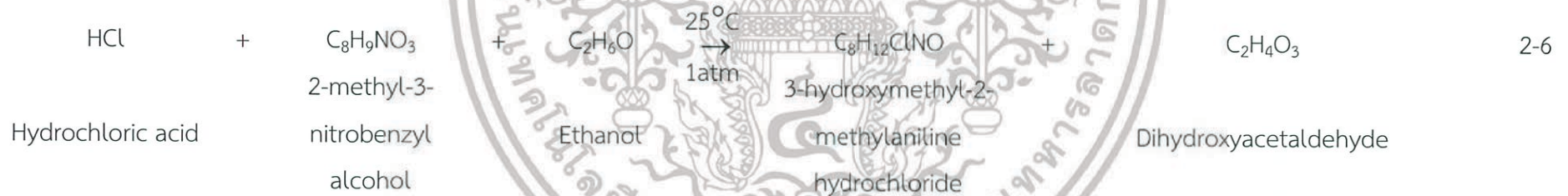
รูปที่ 2.5 แผนภูมิต้นไม้การประเมินวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน ส่วนที่ 2

3.) สมการเคมีที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน

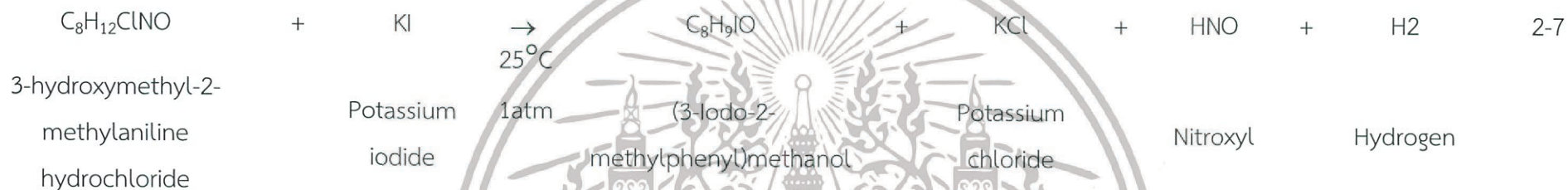
สมการเคมีที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิตของไบเฟนทรินมีทั้งหมด 15 สมการดังนี้

ในกระบวนการผลิตไบเฟนทรินประกอบไปด้วยสมการเคมี 4 สมการ คือสมการที่ 2-6 ไปจนถึง 2-9 โดยสมการ 2-6 ถึง 2-8 เป็นสมการเคมีที่ก่อให้เกิดสารมัธยันตร์ (intermediate) และสมการ 2-9 เป็นสมการสารมัธยันตร์เกิดปฏิกิริยากลายเป็นไบเฟนทริน

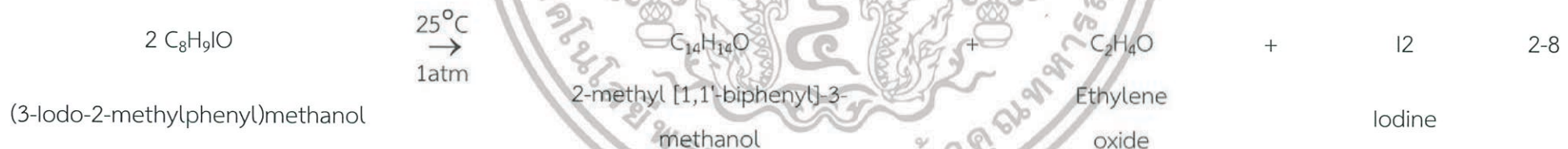
สมการที่ 2-6 มีผลิตภัณฑ์หลักคือ 3-hydroxymethyl-2-methylaniline hydrochloride ซึ่งเป็นสารมัธยันตร์ในการผลิตยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินโดยการใช้ กรดไฮโดรคลอริก 2-Methyl-3-nitrobenzyl alcohol และเอทานอลเป็นวัตถุดิบ การทำปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นที่สภาวะ 25 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 atm



สมการ 2-7 มีผลิตภัณฑ์หลักคือ (3-Iodo-2-methylphenyl)methanol ซึ่งเป็นสารมัธยันตร์ตัวต่อมาที่ใช้ในการผลิตยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินโดยใช้ 3-hydroxymethyl-2-methylaniline hydrochloride ที่ได้จากสมการที่ 2-6 และโพแทสเซียมไอโอไดด์เป็นวัตถุดิบ การทำปฏิกิริยาจะเกิดที่สภาวะ 25 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 atm



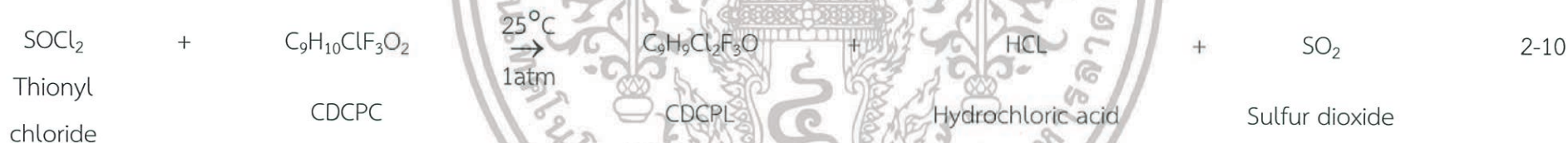
สมการที่ 3 สมการ 2-8 สมการนี้มีผลิตภัณฑ์หลักคือ 2-methyl [1,1'-biphenyl]-3-methanol ซึ่งเป็นสารมัธยันตร์ตัวสุดท้ายก่อนที่จะผลิตยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินซึ่งใช้ (3-Iodo-2-methylphenyl)methanol ที่ได้จากสมการที่ 2-7 เป็นวัตถุดิบ การทำปฏิกิริยาจะเกิดที่สภาวะ 25 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 atm



สมการสุดท้ายที่ใช้ในการผลิตยาฆ่าแมลง หลังจากได้ 2-methyl [1,1'-biphenyl]-3-methanol จากการเกิดปฏิกิริยาในสมการที่ 2-8 นำสารตัวกลางตัวสุดท้ายนี้ผสมกับ CDCPL การทำปฏิกิริยาจะเกิดที่สภาวะ 25 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 atm ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์หลักที่ต้องการคือยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินและผลิตภัณฑ์รองคือกรดไฮโดรคลอริก



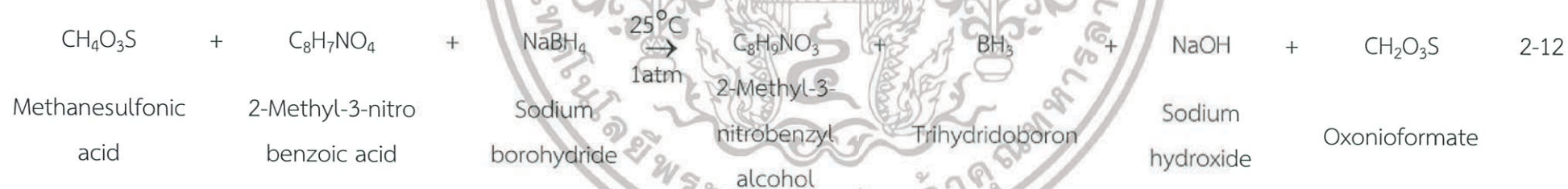
สมการเคมีสำหรับการผลิต CDCPL ซึ่งใช้ Thionyl chloride และ CDCPC เป็นวัตถุดิบ การทำปฏิกิริยาจะเกิดที่สภาวะ 25 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 atm



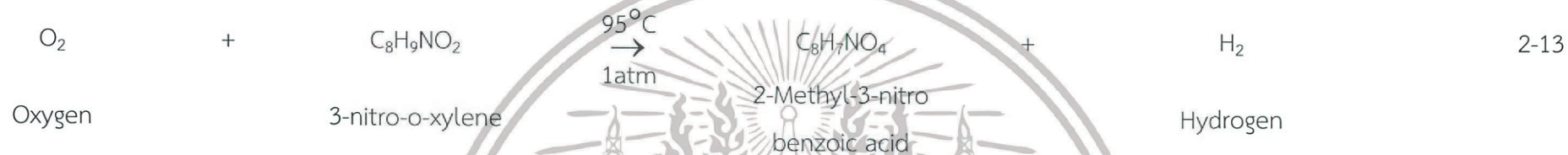
สมการเคมีสำหรับการผลิตโพแทสเซียมไอโอไดด์ซึ่งใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอโอไดด์เป็นวัตถุดิบ การทำปฏิกิริยาจะเกิดที่สภาวะ 25 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 atm



สมการเคมีสำหรับการผลิต 2-Methyl-3-nitrobenzyl alcohol ซึ่งใช้ Methanesulfonic acid 2-Methyl-3-nitro benzoic acid และ Sodium borohydride เป็นวัตถุดิบ การทำปฏิกิริยาจะเกิดที่สภาวะ 25 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 atm



สมการเคมีสำหรับการผลิต 2-Methyl-3-nitro benzoic acid ซึ่งใช้ออกซิเจนและ 3-nitro-o-xylene เป็นวัตถุดิบ การทำปฏิกิริยาจะเกิดที่สภาวะ 95 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 atm



สมการเคมีสำหรับการผลิต 3-nitro-o-xylene ซึ่งใช้กรดไนตริกและ O-xylene เป็นวัตถุดิบ การทำปฏิกิริยาจะเกิดที่สภาวะ 25 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 atm



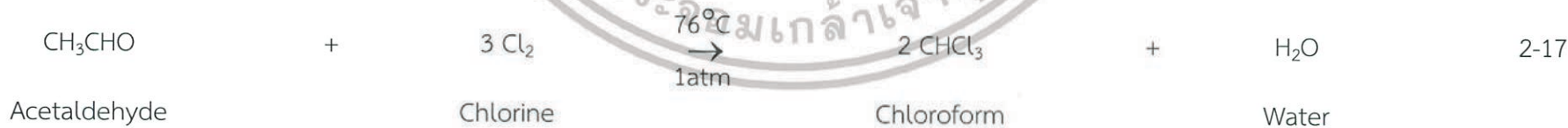
สมการเคมีสำหรับการผลิต Sodium borohydride ซึ่งใช้ Sodium hydride และ Diborane เป็นวัตถุดิบ การทำปฏิกิริยาจะเกิดที่สภาวะ 25 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 atm



สมการเคมีสำหรับการผลิต Sodium hydride ซึ่งใช้โซเดียมและหมู่แอลเคนเป็นวัตถุดิบ การทำปฏิกิริยาจะเกิดที่สภาวะ 312 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 atm



สมการเคมีสำหรับการผลิต Chloroform ซึ่งใช้ Acetaldehyde และคลอรีนเป็นวัตถุดิบ การทำปฏิกิริยาจะเกิดที่สภาวะ 76 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 atm



สมการเคมีสำหรับการผลิต Methyl mercaptan ซึ่งใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์และเมทานอลเป็นวัตถุดิบ การทำปฏิกิริยาจะเกิดที่สภาวะ 25 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 atm



2.1.5 สมการ Bernoulli

สมการ Bernoulli [21] คือสมการที่เกิดจากการดุลพลังงานของไหลภายในท่อจนออกมาเป็นความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของไหลในจุดที่ 1 กับจุดที่ 2 ซึ่งสมการ Bernoulli จะมีรูปแบบทั่วไปคือสมการที่ประกอบไปด้วยตัวแปรความดัน ความเร็วและความสูง ดังนี้

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad 2-21$$

ในงานวิจัยนี้ สมการ Bernoulli จะถูกใช้เพื่อคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในการดำเนินการผลิตสารที่ต้องการศึกษาซึ่งมีการใช้พลังงานในการปั๊มสารเพื่อการดำเนินการผลิต เมื่อเพิ่มตัวแปรที่เป็นกำลังปั๊ม (W_{pump}) สมการ Bernoulli จะมีลักษณะสมการดังต่อไปนี้

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 + \frac{W_{pump}}{Q} = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad 2-22$$

โดยที่ P_1, P_2 คือความดันของของไหล ณ ตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 2 หน่วยคือ Pascal

ρ คือความหนาแน่นของๆ ไหล หน่วยคือ kg/m^3

v_1, v_2 คือความเร็วของๆไหล ณ ตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 2 หน่วยคือ m/s

g คือความเร่งที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ 9.81 m/s^2

h_1, h_2 คือความสูง ณ ตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 2 หน่วยคือ m

W_{pump} คือกำลังไฟฟ้าที่ปั๊มใส่ให้ระบบ หน่วยคือ กิโลวัตต์

Q คืออัตราการไหลเชิงปริมาตร หน่วยคือ m^3/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 โปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสและไบเฟนทรินมีการใช้โปรแกรมทั้งหมด 2 โปรแกรมได้แก่ โปรแกรม SimaPro ใช้เพื่อประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้น และโปรแกรม Aspen ใช้เพื่อคำนวณปริมาณการใช้วัตถุดิบและพลังงานในกระบวนการผลิต

1.) โปรแกรม SimaPro

โปรแกรม SimaPro ใช้ในการประเมินผลกระทบจากวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ผู้ใช้จะต้องศึกษาข้อมูลจากกระบวนการผลิต การขนส่ง การกำจัด ฯลฯ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินโดยใช้วิธีการประเมินผลกระทบที่เหมาะสม ซึ่งจะได้ผลการประเมินออกมาเป็นผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการเหล่านั้น [22]

ข้อดีของการใช้โปรแกรม SimaPro ประเมินผลกระทบของวัฏจักรชีวิต มีดังนี้

1. เป็นแหล่งข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เช่น ข้อมูลผลกระทบที่เกิดจากการใช้วัตถุดิบ พลังงาน และการกำจัดผลิตภัณฑ์
2. ผลลัพธ์จากโปรแกรม SimaPro ง่ายต่อการเปรียบเทียบและการทำความเข้าใจ เนื่องจากผลลัพธ์แสดงอยู่ในรูปของกราฟแท่งและตาราง
3. ช่วยลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นจากการคำนวณด้วยตนเอง [23]

2.) โปรแกรม Aspen plus

โปรแกรม Aspen plus ใช้ในการจำลองกระบวนการผลิตซึ่งนิยมใช้ในวิศวกรรมเคมี หลักการของวิศวกรรมเคมีที่ใช้โปรแกรมจะประกอบไปด้วย สมดุลมวล สมดุลพลังงาน ความสมดุลของแก๊สและของเหลว การถ่ายโอนความร้อน การถ่ายโอนมวล จลนศาสตร์เคมี การกลั่น และความดันตกคร่อม โปรแกรม Aspen plus สามารถคำนวณหาผลผลิต หรือแม้กระทั่งพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการผลิต

ในงานวิจัยนี้ โปรแกรม Aspen plus ถูกใช้เพื่อคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิและความดันภายในกระบวนการผลิต [24]

2.1.7 วิธีการประเมินผลกระทบ ILCD 2011

ILCD ย่อมาจาก International Data Life Cycle Data System เป็นระบบที่จัดทำโดย คณะกรรมาธิการยุโรปซึ่งเป็นองค์กรฝ่ายบริหารของสหภาพยุโรป วิธีการประเมินผลกระทบ ILCD 2011 เกิดจากการคัดเลือกวิธีการประเมินผลกระทบที่น่าเชื่อถือเพื่อเป็นมาตรฐานสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ภายในทวีปยุโรป [25]

วิธีประเมินผลกระทบสามารถแบ่งออกเป็นสองชั้น ได้แก่ ชั้นปลาย (Endpoint) และชั้นกลาง (Midpoint) การประเมินผลกระทบชั้นปลายเป็นผลกระทบที่เข้าใจได้ง่ายเนื่องจากมีหน่วยที่สามารถเห็นเป็นรูปธรรมซึ่งเป็นการประเมินผลกระทบทั้งหมด 4 ด้าน ได้แก่ สุขภาพมนุษย์ คุณภาพของระบบนิเวศ ภาวะโลกร้อน และการใช้ทรัพยากรพลังงาน การประเมินผลกระทบแบบชั้นกลางจะประเมินในส่วนที่ไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลทางสถิติ เช่น การกระจายตัวของสาร ความเป็นพิษของฝุ่นละอองที่มีผลต่อมนุษย์ ฯลฯ ทำให้ค่าของผลกระทบที่ออกมามีความแม่นยำสูงแต่เข้าใจได้ยากเนื่องจากไม่ได้อยู่ในหน่วยที่สามารถเห็นเป็นรูปธรรม เช่น ผลกระทบด้านการลดลงของโอโซนมีหน่วยของผลกระทบคือ kg CFC-11 eq [26]

วิธีการประเมินผลกระทบ ILCD 2011 มีเพียงการประเมินผลกระทบชั้นกลางซึ่งสามารถประเมินผลกระทบได้ทั้งหมด 16 ด้าน ดังต่อไปนี้

1. ภาวะโลกร้อน (Climate change)

ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนคำนวณจากวิธีการ IPCC 2007 โดยมีหน่วยของผลกระทบคือ kg CO₂ eq ซึ่งมีความหมายว่าผลกระทบที่ประเมินออกมาส่งผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนเทียบเท่ากับการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ 1 กิโลกรัมสู่บรรยากาศ

2. การลดลงของโอโซน (Ozone depletion)

ผลกระทบด้านการลดลงของโอโซนคำนวณจากวิธีการประเมินของ World Meteorological Organisation (WMO) โดยมีหน่วยของผลกระทบคือ kg CFC-11 eq ซึ่งมีความหมายว่าผลกระทบที่ประเมินออกมาส่งผลกระทบด้านการลดลงของโอโซนเทียบเท่ากับการปล่อยแก๊สเรือนกระจกคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน (Chlorofluorocarbon) 1 กิโลกรัมสู่บรรยากาศ ซึ่งคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนเป็นสารเคมีหลักที่ลดปริมาณชั้นโอโซนลง

3. ความเป็นพิษต่อมนุษย์โดยไม่คำนึงถึงมะเร็ง (Human toxicity, non-cancer effect)

ผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์โดยไม่คำนึงถึงมะเร็งคำนวณจากวิธีการของ USEtox โดยมีหน่วยของผลกระทบคือ CTUh ซึ่งมีความหมายว่าจะมีจำนวนคนที่จะเจ็บป่วยที่เพิ่มขึ้นจากการทำสิ่งนั้นๆ โดยผู้ป่วยส่วนนี้จะไม่รวมคนที่เกิดโรคมะเร็ง

4. ความเป็นพิษต่อมนุษย์โดยโรคมะเร็ง (Human toxicity, cancer effect)

ผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์โดยโรคมะเร็งคำนวณจากวิธีการของ USEtox โดยมีหน่วยของผลกระทบคือ CTUh ซึ่งมีความหมายว่าจะมีจำนวนคนที่จะเจ็บป่วยเป็นโรคมะเร็งที่เพิ่มขึ้น

5. ปริมาณฝุ่นละออง (Particulate matter)

ผลกระทบด้านปริมาณฝุ่นละอองคำนวณจากวิธีการประเมินของ Rabl and Spadaro 2004 โดยมีหน่วยของผลกระทบคือ PM2.5 ซึ่งมีความหมายว่าผลกระทบที่ประเมินออกมาส่งผลกระทบต่อปริมาณฝุ่นละอองเทียบได้กับการปล่อยละออง PM 2.5 น้ำหนัก 1 กิโลกรัมสู่บรรยากาศ

6. การแผ่รังสีไอออไนซ์ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Ionizing radiation HH)

ผลกระทบด้านการแผ่รังสีไอออไนซ์ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์คำนวณจากวิธีการ Frischknecht et al 2000 โดยมีหน่วยของผลกระทบคือ kBq U235 eq ซึ่งมีความหมายว่าผลกระทบประเมินที่ออกมาส่งผลกระทบต่อมนุษย์เทียบเท่ากับการแผ่รังสีของ U235 น้ำหนัก 1 กิโลกรัม

7. การแผ่รังสีไอออไนซ์ที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ (Ionizing radiation E (interim))

ผลกระทบด้านการแผ่รังสีไอออไนซ์ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์คำนวณจากวิธีการ GarnierLaplace et al 2009 โดยมีหน่วยของผลกระทบคือ CTUe ซึ่งมีค่าเท่ากับสัดส่วนของสัตว์ที่ได้รับผลกระทบ (PAF) คูณกับช่วงเวลาและปริมาตรของระบบนิเวศที่ได้รับผลกระทบ ($PAF \cdot m^3 \cdot day$)

8. การเกิดปฏิกิริยาโดยมีแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยากับโอโซน (Photochemical ozone formation)

ผลกระทบด้านการเกิดปฏิกิริยาโดยมีแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยากับโอโซนคำนวณจากวิธีการของ Van Zelm et al. (2008) โดยมีหน่วยของผลกระทบคือ kg NMVOC eq ซึ่งมีความหมายว่าจะมีการเกิดปฏิกิริยาเทียบเท่ากับ 1 กิโลกรัมของสารจำพวกไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. การเกิดภาวะฝนกรด (Acidification)

ผลกระทบด้านการเกิดปฏิกิริยาโดยมีแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยากับโอโซนคำนวณจากวิธีการของ Posch et al (2008) โดยมีหน่วยของผลกระทบคือ $\text{molc H}^+ \text{eq}$ ซึ่งมีความหมายว่าจะมีการเกิดภาวะฝนกรดเทียบเท่ากับ 1 โมลของไฮโดรเจนไอออน

10. การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในพื้นที่ดิน (Terrestrial eutrophication)

ผลกระทบด้านการเกิดปฏิกิริยาโดยมีแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยากับโอโซนคำนวณจากวิธีการของ Seppala et al 2006, Posch et al (2008) โดยมีหน่วยของผลกระทบคือ molc N eq ซึ่งมีความหมายว่าจะมีผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในพื้นที่ดินเทียบเท่ากับ 1 โมลของไนโตรเจน

11. การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำสะอาด (Freshwater eutrophication)

ผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำสะอาดมีหน่วยของผลกระทบคือ kg P eq ซึ่งมีความหมายว่าผลกระทบที่ประเมินออกมาส่งผลกระทบต่อ การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำสะอาดเทียบเท่ากับ 1 กิโลกรัมของฟอสฟอรัสซึ่งฟอสฟอรัสเป็นปัจจัยหลักในการเกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำสะอาด

12. การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำทะเล (Marine eutrophication)

ผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำทะเลมีหน่วยของผลกระทบคือ kg N eq ซึ่งมีความหมายว่าผลกระทบที่ประเมินออกมาส่งผลกระทบต่อ การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำทะเลเทียบเท่ากับ 1 กิโลกรัมของไนโตรเจนโดยที่ไนโตรเจนเป็นปัจจัยหลักในการเกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำทะเล

13. ความเป็นพิษในน้ำสะอาด (Freshwater ecotoxicity)

ผลกระทบด้านความเป็นพิษในน้ำสะอาดคำนวณจากวิธีการของ USEtox โดยมีหน่วยของผลกระทบคือ CTUe ซึ่งมีค่าเท่ากับพื้นที่คูณกับระยะเวลาปีที่เกิดความเป็นพิษในน้ำสะอาด ($\text{m}^3 \cdot \text{annual}$)

14. การใช้พื้นที่ดิน (Land use)

ผลกระทบด้านการใช้พื้นที่ดินคำนวณจากวิธีการของ Canals et al (2007) โดยมีหน่วยของผลกระทบคือ kg C deficit ซึ่งมีค่าเท่ากับน้ำหนัก 1 กิโลกรัมของคาร์บอนในดินที่ถูกใช้ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. การลดลงของทรัพยากรน้ำ (Water resource depletion)

ผลกระทบด้านการลดลงของทรัพยากรทางน้ำมีหน่วยของผลกระทบคือ m^3 water eq ซึ่งมีค่าเท่ากับปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตรของน้ำที่ถูกใช้ไป

16. การลดลงของทรัพยากรแร่ธาตุ ซากดึกดำบรรพ์และทรัพยากรทดแทน (Mineral, fossil & renewable resource depletion)

ผลกระทบด้านการลดลงของทรัพยากรแร่ธาตุ ซากดึกดำบรรพ์และทรัพยากรทดแทนคำนวณจากวิธีการของ Van Oers et al (2002) โดยมีหน่วยของผลกระทบคือ kg Sb eq ซึ่งผลกระทบที่ประเมินออกมาส่งผลกระทบต่อ การลดลงของทรัพยากรเทียบเท่ากับการลดลงของพลวง 1 กิโลกรัม

2.1.8 วิธีการประเมินผลกระทบ IMPACT 2002

วิธีการประเมินผลกระทบ IMPACT 2002 ถูกพัฒนาขึ้นโดยองค์กร Quantis ซึ่งเป็นองค์กรชั้นนำในการวางแผนและดำเนินงานต่างๆที่เกี่ยวกับการพัฒนาความมั่นคงของสิ่งแวดล้อม ผลกระทบที่ประเมินจากวิธีการประเมินผลกระทบ IMPACT 2002 มีทั้งหมดสองระดับขั้นคือขั้นกลางและขั้นปลาย

วิธีการประเมินผลกระทบขั้นกลางของ IMPACT 2002 มีลักษณะของการประเมินผลกระทบทั้งหมด 15 ผลกระทบดังต่อไปนี้

1. ความเป็นพิษต่อมนุษย์ที่เกิดจากโรคมะเร็ง (Carcinogens)

ผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์ที่เกิดจากโรคมะเร็งมีหน่วยของผลกระทบคือ kg C_2H_3Cl eq ซึ่งมีความหมายว่าผลกระทบที่ประเมินออกมาส่งผลกระทบต่อ การเกิดโรคมะเร็งของมนุษย์เทียบเท่ากับการปลดปล่อย 1 กิโลกรัมของไวนิลคลอไรด์ซึ่งไวนิลคลอไรด์เป็นสารอันตรายที่ต่อมนุษย์ไม่ว่าจะเกิดจากการ กิน สูดหายใจ หรือการสัมผัสทางผิวหนังก็ตาม

2. ความเป็นพิษต่อมนุษย์ที่เกิดจากโรคที่ไม่ใช่มะเร็ง (Non-carcinogens)

ผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์ที่เกิดจากโรคที่ไม่ใช่มะเร็งมีหน่วยของผลกระทบคือ kg C_2H_3Cl eq เช่นเดียวกับความเป็นพิษต่อมนุษย์ที่เกิดจากโรคมะเร็ง เนื่องจากไวนิลคลอไรด์มีความเป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์ในด้านที่ไม่เกี่ยวข้องกับโรคมะเร็งด้วยเช่น ผิวพุพอง อาการมีเนมา และความเป็นอันตรายต่อตับ

3. การเพิ่มขึ้นของสารอนินทรีย์ที่ทำให้ระบบทางเดินหายใจขัดข้อง (Respiratory inorganics)

ผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของสารอนินทรีย์ที่ทำให้ระบบทางเดินหายใจขัดข้องมีหน่วยของผลกระทบคือ kg PM_{2.5} eq ซึ่งมีความหมายว่าผลกระทบที่ประเมินออกมาส่งผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของสารอนินทรีย์ที่ทำให้ระบบทางเดินหายใจขัดข้องเทียบเท่ากับการปล่อยละออง PM 2.5 น้ำหนัก 1 กิโลกรัมสู่บรรยากาศ

4. การแผ่รังสีไอออไนซ์ (Ionizing radiation)

ผลกระทบด้านการแผ่รังสีไอออไนซ์มีหน่วยของผลกระทบคือ Bq C-14 eq ซึ่งมีความหมายว่าผลกระทบที่ประเมินออกมาส่งผลกระทบด้านการแผ่รังสีไอออไนซ์มีค่าเทียบเท่ากับได้กับการปล่อยรังสีของคาร์บอน 14 น้ำหนัก 1 กิโลกรัม

5. การลดลงของชั้นโอโซน (Ozone layer depletion)

ผลกระทบด้านการลดลงของโอโซนมีหน่วยของผลกระทบคือ kg CFC-11 eq ซึ่งมีความหมายว่าผลกระทบที่ประเมินออกมาส่งผลกระทบด้านการลดลงของโอโซนเทียบเท่ากับการปล่อยแก๊สเรือนกระจกคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน 1 กิโลกรัมออกสู่บรรยากาศ ซึ่งคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนเป็นสารเคมีหลักที่ทำปฏิกิริยากับโอโซนลงทำให้ชั้นโอโซนลงน้อยลง

6. การเพิ่มขึ้นของสารอินทรีย์ที่ทำให้ระบบทางเดินหายใจขัดข้อง (Respiratory organics)

ผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของสารอินทรีย์ที่ทำให้ระบบทางเดินหายใจขัดข้องมีหน่วยของผลกระทบคือ kg C₂H₄ eq ซึ่งมีความหมายว่าผลกระทบที่ประเมินออกมาส่งผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของสารอินทรีย์ที่ทำให้ระบบทางเดินหายใจขัดข้องเทียบเท่ากับการปล่อยแก๊สเอทิลีนน้ำหนัก 1 กิโลกรัมโดยที่แก๊สเอทิลีนเป็นสารที่ทำให้มนุษย์หายใจไม่ออกเมื่อสูดดมเข้าไปในร่างกาย

7. ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (Aquatic ecotoxicity)

ผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ มีหน่วยของผลกระทบคือ kg TEG water ซึ่งมีความหมายว่าผลกระทบที่ประเมินออกมาส่งผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำเทียบเท่ากับการปล่อยไตรเอทิลีนไกลคอลน้ำหนัก 1 กิโลกรัมลงสู่แหล่งน้ำ

8. ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตบนพื้นดิน (Terrestrial ecotoxicity)

ผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตบนพื้นดินมีหน่วยของผลกระทบคือ kg TEG soil ซึ่งมีความหมายว่าผลกระทบที่ประเมินออกมาส่งผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตบนพื้นดินเทียบเท่ากับการปล่อยไตรเอทิลีนไกลคอลน้ำหนัก 1 กิโลกรัมลงสู่ดิน

9. การเกินของกรดและแร่ธาตุในพื้นดิน (Terrestrial acid/nutr)

ผลกระทบด้านการเกินของกรดและแร่ธาตุในพื้นดินมีหน่วยของผลกระทบคือ kg SO₂ eq ซึ่งมีความหมายว่าผลกระทบที่ประเมินออกมาส่งผลกระทบด้านการเกินของกรดและแร่ธาตุในพื้นดินเทียบเท่ากับการปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลงสู่ดินเป็นจำนวน 1 กิโลกรัม

10. การใช้พื้นที่เพาะปลูก (Land occupation)

ผลกระทบด้านการใช้พื้นที่เพาะปลูก มีหน่วยของผลกระทบคือ m² org.arable ซึ่งมีความหมายว่าผลกระทบที่ประเมินออกมาส่งผลกระทบด้านการใช้พื้นที่เพาะปลูกเทียบเท่ากับ 1 หน่วยของการใช้พื้นที่เพาะปลูกหน่วยลูกบาศก์เมตรคูณกับระยะเวลาหน่วยปี (m² Organic arable land_{eq} · y)

11. ความเป็นกรดในน้ำ (Aquatic acidification)

ผลกระทบด้านความเป็นกรดในน้ำมีหน่วยของผลกระทบคือ kg SO₂ eq ซึ่งมีความหมายว่าผลกระทบที่ประเมินออกมาส่งผลกระทบด้านความเป็นกรดในน้ำเทียบเท่ากับการปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลงแหล่งน้ำจำนวน 1 กิโลกรัม

12. การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำ (Aquatic eutrophication)

ผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำมีหน่วยของผลกระทบคือ kg PO₄ P-lim ซึ่งมีความหมายว่าผลกระทบที่ประเมินออกมาส่งผลกระทบด้านความเป็นกรดในน้ำเทียบเท่ากับการปล่อยฟอสเฟตลงแหล่งน้ำจำนวน 1 กิโลกรัมโดยที่ฟอสเฟตเป็นสารเคมีสำคัญที่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำบนพื้นดิน

13. ภาวะโลกร้อน (Global warming)

ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนมีหน่วยของผลกระทบมีหน่วยของผลกระทบคือ kg CO₂ eq ซึ่งมีความหมายว่าผลกระทบที่ประเมินออกมาส่งผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนเทียบได้กับเท่าของ 1 กิโลกรัมของการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์

14. การลดลงของพลังงานที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Non-renewable energy)

ผลกระทบด้านการลดลงของพลังงานที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้มีหน่วยของผลกระทบคือ MJ primary ซึ่งมีความหมายว่ามีการสูญเสียพลังงานที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 1 เมกะจูล

15. การลดลงของแร่ธาตุ (Mineral extraction)

ผลกระทบด้านการลดลงของแร่ธาตุคือ MJ surplus ซึ่งมีความหมายว่าผลกระทบที่ประเมินออกมาส่งผลกระทบด้านการลดลงของแร่ธาตุเทียบเท่ากับการใช้พลังงานในการขุดเจาะแร่ธาตุ 1 เมกะจูล [27]

วิธีการประเมินผลกระทบชั้นปลายของ IMPACT 2002 มีลักษณะของการประเมินผลกระทบทั้งหมด 4 ผลกระทบดังนี้

1. สุขภาพมนุษย์ (Human health)

ผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์มีหน่วยของผลกระทบคือ DALY ซึ่งมีความหมายว่ามีจำนวนปีที่มีสุขภาพที่ดีหายไป 1 ปี โดยคำนวณได้จากผลรวมของความเป็นพิษต่อมนุษย์ที่เกิดจากโรคมะเร็งคุณกับ 2.8×10^{-6} ความเป็นพิษต่อมนุษย์ที่ไม่ได้เกิดจากโรคมะเร็งคุณกับ 2.8×10^{-6} การเพิ่มขึ้นของสารอินทรีย์ที่ทำให้ระบบทางเดินหายใจขัดข้องคุณกับ 7×10^{-4} การแผ่รังสีไออินซึคุณกับ 2.1×10^{-10} การลดลงของชั้นโอโซนคุณกับ 1.05×10^{-3} และการเพิ่มขึ้นของสารอินทรีย์ที่ทำให้ระบบทางเดินหายใจขัดข้องคุณกับ 2.13×10^{-6}

2. คุณภาพของระบบนิเวศ (Ecosystem quality)

ผลกระทบด้านคุณภาพของระบบนิเวศมีหน่วยของผลกระทบคือ PDF*m²*yr ซึ่งมีความหมายว่าสิ่งมีชีวิตที่เสียชีวิตไปในพื้นที่บนดิน 1 ตารางเมตรตลอดเวลา 1 ปี โดยคำนวณได้จากผลรวมของความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำคุณกับ 5.02×10^{-5} ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตบนพื้นดินคุณกับ 7.91×10^{-3} การเกินของกรดและแร่ธาตุในพื้นดินคุณกับ 1.04 และการใช้พื้นที่เพาะปลูกคุณกับ 1.09

3. ภาวะโลกร้อน (Climate change)

ผลกระทบด้านคุณภาพของภาวะโลกร้อนมีหน่วยของผลกระทบคือ kg CO₂ eq ซึ่งมีความหมายว่าเกิดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนเท่ากับการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1 กิโลกรัม โดยจะมีค่าเท่ากับผลกระทบภาวะโลกร้อนในการประเมินชั้นกลาง

4. การใช้ทรัพยากรพลังงาน (Resources)

ด้านการใช้ทรัพยากรพลังงานมีหน่วยของผลกระทบคือ MJ primary ซึ่งมีความหมายว่ามีการสูญเสียพลังงานที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 1 เมกะจูล โดยคำนวณได้จากผลรวมของการลดลงของพลังงานที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้และการลดลงของแร่ธาตุ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 เงื่อนไขและเปอร์เซ็นต์การแปลงผันของกระบวนการผลิตในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอส

1.) เงื่อนไขและเปอร์เซ็นต์การแปลงผันของกระบวนการผลิตยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอส

จากเอกสารสิทธิบัตรของ Edwin และคณะ [28] ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตและความเข้มข้นของยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสที่ใช้ในการกำจัดเพลี้ยสีดำ (Black bean aphid) โดยในส่วนของกระบวนการผลิตยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอส ในสิทธิบัตรได้เขียนไว้ว่าการผลิตยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสต้องใช้สารเคมี 3 ชนิดได้แก่ Tert-butyl mercaptan Diethyl dithiophosphoric และสารเคมีกลุ่มแอลดีไฮด์ สารเคมีกลุ่มแอลดีไฮด์ที่มักจะใช้กันคือฟอร์มัลดีไฮด์ซึ่งจะทำให้ผลผลิตรองออกมาเป็นน้ำตามสมการเคมี 2-1 ปฏิกริยาดังกล่าวจะทำปฏิกริยาในอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสและความดันบรรยากาศ เปอร์เซ็นต์การแปลงผันที่ได้คือ 83 เปอร์เซ็นต์

2.) เงื่อนไขและเปอร์เซ็นต์การแปลงผันของกระบวนการผลิต Tert-butyl mercaptan

จากงานวิจัยของ Walten และคณะ [29] ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกริยาที่เหมาะสมสำหรับการผลิต Tertiary alkyl mercaptan ต่างๆ งานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 6 ส่วนได้แก่ ตัวแปรการเกิดปฏิกริยา ผลการทดลองโดยใช้ตัวเร่งที่เป็นของแข็ง สารปนเปื้อนในสารตั้งต้น การศึกษาตัวเร่งปฏิกริยา การออกแบบและสร้างโรงงาน และผลผลิต Mercaptan

ในส่วนผลการทดลองโดยใช้ตัวเร่งที่เป็นของแข็งได้มีการเขียนสภาวะและเปอร์เซ็นต์การแปลงผันของการผลิต Tert-butyl mercaptan สมการการเกิดปฏิกริยาจะเป็นตามสมการ 2-2 สภาวะการเกิดปฏิกริยาที่บันทึกไว้ในรายงานคือที่อุณหภูมิ 80 ถึง 250 องศาฟาเรนไฮต์ ความดันเกจ 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และเปอร์เซ็นต์การแปลงผัน 100 เปอร์เซ็นต์

3.) เงื่อนไขและเปอร์เซ็นต์การแปลงผันของกระบวนการผลิตไอโซบิวทิลีน

จากงานวิจัยของ Vasant และคณะ [30] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับตัวเร่งปฏิกริยาที่ใช้ในการผลิตไอโซบิวทิลีนจากบิวทิน สมการเคมีในการผลิตผลิตไอโซบิวทิลีนจากบิวทินมีลักษณะตามสมการเคมี 2-3 ในตารางสรุปผลการทดลอง การทดลองที่มีเปอร์เซ็นต์การแปลงผันคือการทดลองที่ใช้ Fluorinated γ -alumina ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ โดยเปอร์เซ็นต์การแปลงผันของปฏิกริยาเท่ากับ 33.5 เปอร์เซ็นต์

4.) เงื่อนไขและเปอร์เซ็นต์การแปลงผันของกระบวนการผลิต Diethyl dithiophosphoric

จากงานวิจัยของ Lefferts และคณะ [31] ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตสารประกอบ Dithiophosphate Esters โดยภายในรายงานจะมีการเขียนกับการทดลองหลากหลายการทดลองที่ทำปฏิกิริยาการผลิตสารประกอบ Dithiophosphate Esters โดยการทดลองที่ผลิต Diethyl dithiophosphoric เกิดปฏิกิริยาตามสมการเคมี 2-4 โดยทำการทดลองที่ 65 องศาเซลเซียสและความดันบรรยากาศ เปอร์เซ็นต์การแปลงผันที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์

5.) เงื่อนไขและเปอร์เซ็นต์การแปลงผันของกระบวนการผลิตฟอสฟอรัสเพนตะซัลไฟด์

จากเอกสารสิทธิบัตรของ Taylor [32] ได้มีการบันทึกวิธีการผลิตฟอสฟอรัสเพนตะซัลไฟด์ในสิทธิบัตรเขียนเกี่ยวกับการผลิตฟอสฟอรัสเพนตะซัลไฟด์จากฟอสฟอรัสและซัลเฟอร์ตามสมการเคมี 2-5 โดยปฏิกิริยาจะเกิดในสภาวะของเหลวที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียสและความดันบรรยากาศ เปอร์เซ็นต์การแปลงผันที่ได้จากการผลิตเท่ากับ 74.5 เปอร์เซ็นต์



2.2.2 เจือไนและเปอร์เซ็นต์การแปลงผันของกระบวนการผลิตในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน

1.) เจือไนและเปอร์เซ็นต์การแปลงผันของกระบวนการผลิตยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน

จากเอกสารสิทธิบัตรของ John [33] ได้มีการบันทึกเกี่ยวกับการทดลองเพื่อสังเคราะห์ยาฆ่าแมลงจำพวก Biphenylmethyl perhaloalkylvinylcyclopropanecarboxylates ซึ่งตัวอย่างการสังเคราะห์ที่ 20 เป็นการสังเคราะห์ยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินซึ่งมีขั้นตอนในการสังเคราะห์ทั้งหมดสี่ขั้นตอน สามขั้นตอนแรกจะเป็นการสังเคราะห์สารที่เป็นตัวกลางในการผลิตยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน และขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นปฏิกิริยาที่ผลิตยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน การสังเคราะห์ทั้งหมดทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและความดันบรรยากาศ ข้อมูลการใช้สารและปริมาณสารที่สังเคราะห์ได้ของทั้งสี่ขั้นตอนถูกสรุปลงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน

สารที่เกิดจากปฏิกิริยา	จำนวนวัตถุดิบที่ใช้
3-hydroxymethyl-2-methylaniline hydrochloride	Concentrated hydrochloric acid 5.2 มล.
	Iron powder 8.5 ก.
	2-Methyl-3-nitrobenzyl alcohol 41.8 ก.
	50% Ethanol 15.5 มล.
(3-Iodo-2-methylphenyl)methanol 15.2 ก.	3-hydroxymethyl-2-methylaniline hydrochloride ที่ได้จากปฏิกิริยาด้านบน
	Sodium nitrite 17.2 มล.
	Sulfuric acid 8 มล.
	Copper powder 0.1 ก.
2-Methyl [1,1'-biphenyl]-3-methanol 24 ก.	Potassium iodide 41.8 ก.
	(3-Iodo-2-methylphenyl)methanol 5 ก.
	Water 20 มล.
	Chloroform 20 มล.
	Acetone 20 มล.
Bifenthrin 0.15 ก.	Sodium thiosulfate 5 ก.
	2-methyl [1,1'-biphenyl]-3-methanol 1.7 ก.
	CDCPL 1.7 ก.
	Pyridine 0.55 มล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) เจือไนและเปอร์เซ็นต์การแปลงผันของกระบวนการผลิต Sodium borohydride

จากเอกสารสิทธิบัตรของ Joseph และคณะ [34] ได้มีการบันทึกเกี่ยวกับการผลิต Sodium borohydride จาก Sodium hydride และ Diborane ดังสมการเคมี 2-15 โดยการผลิต Sodium borohydride ที่บันทึกในสิทธิบัตรได้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและความดันบรรยากาศ เปอร์เซ็นต์การแปลงผันที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์

3.) เจือไนและเปอร์เซ็นต์การแปลงผันของกระบวนการผลิต 2-Methyl-3-nitro benzoic acid

จากเอกสารสิทธิบัตรของ Bao [35] ได้มีการบันทึกเกี่ยวกับการผลิต 2-Methyl-3-nitro benzoic acid จาก 3-nitro-o-xylene และออกซิเจนดังสมการเคมี 2-13 โดยการผลิต 2-Methyl-3-nitro benzoic acid ที่บันทึกในสิทธิบัตรได้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสและความดันบรรยากาศ เปอร์เซ็นต์การแปลงผันที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์

4.) เจือไนและเปอร์เซ็นต์การแปลงผันของกระบวนการผลิต 3-nitro-o-xylene

จากเอกสารสิทธิบัตรของ Francis และคณะ [36] ได้มีการบันทึกเกี่ยวกับการผลิต 3-nitro-o-xylene โดยใช้ O-xylene และกรดไนตริกเป็นวัตถุดิบดังสมการเคมี 2-14 โดยการผลิต 3-nitro-o-xylene ที่บันทึกในสิทธิบัตรได้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและความดันบรรยากาศ เปอร์เซ็นต์การแปลงผันที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 43 เปอร์เซ็นต์

5.) เจือไนและเปอร์เซ็นต์การแปลงผันของกระบวนการผลิตคลอโรฟอร์ม

จากเอกสารสิทธิบัตรของ Edward และคณะ [37] ได้มีการบันทึกเกี่ยวกับการผลิตคลอโรฟอร์มโดยใช้ Acetaldehyde และคลอรีนเป็นวัตถุดิบดังสมการเคมี 2-17 โดยการผลิตคลอโรฟอร์มที่บันทึกในสิทธิบัตรได้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความดันบรรยากาศ เปอร์เซ็นต์การแปลงผันที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 71 เปอร์เซ็นต์

6.) เจือไนและเปอร์เซ็นต์การแปลงผันของกระบวนการผลิต Sodium thiosulfate

จากเอกสารสิทธิบัตรของ Glen และคณะ [38] ได้มีการบันทึกเกี่ยวกับการผลิต Sodium thiosulfate โดยใช้กำมะถันและโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นวัตถุดิบดังสมการเคมี 2-18 โดยการผลิต Sodium thiosulfate ที่บันทึกในสิทธิบัตรได้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสและความดันบรรยากาศ เปอร์เซ็นต์การแปลงผันที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.) เงื่อนไขและเปอร์เซ็นต์การแปลงผันของกระบวนการผลิตโพแทสเซียมไอโอไดด์

จากเอกสารสิทธิบัตรของ Zhuang [39] ได้มีการบันทึกเกี่ยวกับการผลิตโพแทสเซียมไอโอไดด์โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอโอดีนเป็นวัตถุดิบตั้งสมการเคมี 2-11 โดยการผลิตโพแทสเซียมไอโอไดด์ที่บันทึกในสิทธิบัตรได้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและความดันบรรยากาศ เปอร์เซ็นต์การแปลงผันที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์

8.) เงื่อนไขและเปอร์เซ็นต์การแปลงผันของกระบวนการผลิต CDCPL

จากเอกสารสิทธิบัตรของ Stephen และคณะ [40] ได้มีการบันทึกเกี่ยวกับการผลิตส่วนประกอบที่ใช้ในการผลิตยาฆ่าแมลงประเภทไพรีทรอยด์ ตัวอย่างการทดลองที่ 10 เป็นการผลิต CDCPL โดยใช้ Thionyl chloride และ CDCPC เป็นวัตถุดิบตั้งสมการเคมี 2-10 โดยการผลิต CDCPL ที่บันทึกในสิทธิบัตรได้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและความดันบรรยากาศ เปอร์เซ็นต์การแปลงผันที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์

9.) เงื่อนไขและเปอร์เซ็นต์การแปลงผันของกระบวนการผลิต Methanesulfonic acid

จากเอกสารสิทธิบัตรของ Donald [41] ได้มีการบันทึกเกี่ยวกับการผลิต Methanesulfonic acid โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ Methyl mercaptan เป็นวัตถุดิบตั้งสมการเคมี 2-19 โดยการผลิต Methanesulfonic acid ที่บันทึกในสิทธิบัตรได้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและความดันบรรยากาศ เปอร์เซ็นต์การแปลงผันที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์

10.) เงื่อนไขและเปอร์เซ็นต์การแปลงผันของกระบวนการผลิต Methyl mercaptan

จากเอกสารสิทธิบัตรของ John และคณะ [42] ได้มีการบันทึกเกี่ยวกับการผลิต Methyl mercaptan โดยใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์และเมทานอลเป็นวัตถุดิบตั้งสมการเคมี 2-20 โดยการผลิต Methyl mercaptan ที่บันทึกในสิทธิบัตรได้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและความดันบรรยากาศ เปอร์เซ็นต์การแปลงผันที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 54 เปอร์เซ็นต์

11.) เงื่อนไขและเปอร์เซ็นต์การแปลงผันของกระบวนการผลิตโซเดียมไฮไดรด์

จากเอกสารสิทธิบัตรของ Jorg และคณะ [43] ได้มีการบันทึกเกี่ยวกับการผลิตและการทำให้สารโซเดียมไฮไดรด์บริสุทธิ์ โดยใช้โซเดียมและน้ำมันแร่เป็นวัตถุดิบตั้งสมการเคมี 2-16 โดยการผลิตโซเดียมไฮไดรด์ที่บันทึกในสิทธิบัตรได้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 312 องศาเซลเซียสและความดันบรรยากาศ สิทธิบัตรบันทึกว่าการผลิตโซเดียมไฮไดรด์ 4.02 กิโลกรัมใช้โซเดียม 0.38 กิโลกรัมผสมกับน้ำมันแร่ 13.33 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12.) เ็ื่อนไซและเปอร์เซ็นต์การแปลงผันของกระบวนการผลิต 2-Methyl-3-nitrobenzyl alcohol

จากเอกสารสิทธิบัตรของ Rohit และคณะ [44] ได้มีการบันทึกเกี่ยวกับการผลิตสารประกอบจำพวก Indolone ตัวอย่างการทดลองที่ 1 เป็นตัวอย่างที่ผลิต 2-Methyl-3-nitrobenzyl alcohol โดยใช้ 2-Methyl-3-nitro benzoic acid Methanesulfonic Acid และ Sodium borohydride เป็นวัตถุดิบตั้งสมการเคมี 2-12 การทดลองเริ่มจากการผสม Tetrahydrofuran 500 มิลลิลิตร และ Sodium borohydride 76.5 กรัม กวนผสมเป็นเวลา 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง ต่อมานำ 2-Methyl-3-nitro benzoic acid จำนวน 250 กรัมใส่เข้าไปผสมกับสารละลายตอนแรกและกวนต่อไปอีกครั้ง ชั่วโมง ต่อมานำ Methanesulfonic Acid จำนวน 90 มิลลิลิตรผสมและกวนต่อจนปฏิกิริยาสิ้นสุด จะออกมาเป็นสารละลายที่มี 2-Methyl-3-nitrobenzyl alcohol จำนวน 210 กรัม ซึ่งเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและความดันบรรยากาศ

2.2.3 อัตราการไหลในท่อ

รายงาน Pipe Flow - A Practical and Comprehensive Guide (2012) [45] มีการกำหนดมาตรฐานของอัตราการไหลในท่อซึ่งรายละเอียดของอัตราการไหลในท่อมักมีค่าดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 อัตราการไหลในท่อ

สถานะของของไหล	สำหรับ	อัตราการไหลพื้นฐาน (เมตร/วินาที)
ของเหลว	ฝั่งดูดของปั๊ม	
	ของเหลวระเหยง่าย	0.6-1.5
	ของเหลวเย็น	0.9-1.8
	ฝั่งออกจากปั๊ม	
	ของเหลวระเหยง่าย	6
	ของเหลวเย็น	7
	น้ำหล่อเย็น	1.5-3
แก๊ส	ปกติ	$122/\rho^{0.5}$
	ไอน้ำ	25-60

* ρ คือความหนาแน่น หน่วย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ประสิทธิภาพของปั๊ม

บริษัทผลิตปั๊ม PUMPS & SYSTEMS [46] ได้มีการเขียนรายละเอียดของปั๊มหยอโขงว่าเป็นปั๊มที่นิยมใช้ในกระบวนการผลิตทั่วไปโดยมีขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพราวๆ 75 ถึง 93 เปอร์เซ็นต์

2.2.5 การกระจายตัวของยาฆ่าแมลงหลังจากออกมาจากเครื่องฉีด

รายงานของ Scholtz และคณะ [47] ได้มีการใช้โมเดลในการประเมินการกระจายตัวของยาฆ่าแมลงที่ใช้ในการทำเกษตร มีการสรุปไว้ว่าการฉีดยาฆ่าแมลงระหว่างการปลูกจะทำให้ยาฆ่าแมลงกระจายไปสู่อากาศประมาณ 44% ส่วนที่เหลือจะลงไปในดิน

2.2.6 การย่อยสลายของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสในดิน

รายงานของ Somasundaram และคณะ [11] ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการย่อยสลายของยาฆ่าแมลงภายในดินที่ใช้ปุ๋ยคอกปริมาณแตกต่างกัน ในส่วนเนื้อหาของการย่อยสลายยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส ปริมาณปุ๋ยคอกที่ใช้ในการปลูกต้นอากาศเวส์น้ำเงินตรงกับเงื่อนไขที่หนึ่งคือไม่มีการใช้ปุ๋ยคอกในการปลูก จากเงื่อนไขนั้นมีการบันทึกปริมาณสารที่หลงเหลือในดินเมื่อผ่านไประยะเวลา 1 ปีเมื่อเทียบกับปริมาณยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสที่ใส่ในดินตอนแรกซึ่งมีการจดบันทึกไว้ดังนี้

- Terbufos 0.58%
- Terbufos sulfoxide 45.99%
- Terbufos sulfone 18.22%
- Carbon dioxide 12.04%

2.2.7 การย่อยสลายของยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินในดิน

รายงานของ Andrew [48] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินซึ่งมีหัวข้อทั้งหมดสองหัวข้อคือข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินและการประเมินการย่อยสลายในสภาพแวดล้อมต่างๆ ของยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน

ในส่วนของการย่อยสลายในดินของยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน ปริมาณสารที่หลงเหลือเมื่อผ่านไประยะเวลา 1 ปีเทียบกับปริมาณยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินที่ใส่ในดินตอนแรกมีการจดบันทึกไว้ดังนี้

- Bifenthrin 46.9%
- 2-methyl-3-phenylbenzoic acid 6.8%
- 2-methyl-3-phenylbenzyl alcohol 1.2%
- 4'-hydroxy bifenthrin 9.6%

2.2.8 ความแตกต่างและวิธีการเปรียบเทียบข้ามวิธีการประเมินผลกระทบระหว่างวิธีการประเมินผลกระทบชั้นกลางของ ILDC 2011 และ IMPACT 2002

รายงานของ Owsianiak และคณะ [49] ได้มีการเปรียบเทียบวิธีการประเมินผลกระทบ IMPACT 2002+ ReCiPe 2008 และ ILCD 2011 ซึ่งมีการคำนวณหาตัวคูณสำหรับการเปลี่ยนหน่วยจากวิธีการประเมินผลกระทบแบบหนึ่งไปเป็นวิธีการประเมินผลกระทบแบบอื่นๆ รวมทั้งในรายงานยังมีการวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างวิธีประเมินต่างๆ

ในส่วนของการเปรียบเทียบข้ามวิธีการประเมินผลกระทบ ต้องนำผลของการประเมินแบบที่หนึ่งคูณกับตัวแปลงหน่วยเพื่อให้หน่วยของผลกระทบเหมือนกับหน่วยของผลกระทบที่ได้จากการประเมินแบบอื่น เมื่อหน่วยของผลกระทบเหมือนกันจะทำให้สามารถเปรียบเทียบกันได้ โดยค่าที่นำมาคูณเพื่อเปลี่ยนหน่วยต่างๆ ถูกสรุปลงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3 ตัวคูณสำหรับเปลี่ยนหน่วยเพื่อเปรียบเทียบผลกระทบจากวิธีการประเมินผลกระทบแบบต่างๆ

วิธีการประเมินผลกระทบและลักษณะผลกระทบ (หน่วย i)			สัดส่วนการเปลี่ยนหน่วยจากหน่วย i เป็น j			หน่วยอ้างอิง j
ILCD 2009	ReCiPe 2008	IMPACT 2002+	ILCD 2011	ReCiPe 2008	IMPACT 2002	
Climate change [kg CO ₂ eq]		Global warming 500yr [kg CO ₂ eq to air]	1	1	1	kg CO ₂ eq
Ozone depletion [kg CFC-11 eq]		Ozone layer depletion [kg CFC-11 eq to air]	1	1	1	kg CFC11eq
Photochemical ozone formation [kg NMVOC]		Photochemical oxidation [kg C ₂ H ₄ eq to air]		1	1.66	kg NMVOC eq
Acidification [AE]	Terrestrial acidification [kg SO ₂ eq]	Terrestrial acidification/ nitrification [kg SO ₂ eq to air]	3.31×10 ⁻¹	4.08×10 ⁻¹	6.69×10 ²	kg NH ₃ eq
Eutrophication, terrestrial [AE]	NA		7.42×10 ⁻²	NA		kg NH ₃ eq
Freshwater eutrophication [kg P eq]		Aquatic eutrophication [kg PO ₄ ³⁻ eq to water]	3.03	3.03	1	kg PO ₄ eq
Marine eutrophication [kg N eq]			4.21×10 ⁻¹	4.21×10 ⁻¹		kg PO ₄ eq

ตารางที่ 2.3 ตัวคูณสำหรับเปลี่ยนหน่วยเพื่อเปรียบเทียบผลกระทบจากวิธีการประเมินผลกระทบแบบต่างๆ (ต่อ)

วิธีการประเมินผลกระทบและลักษณะผลกระทบ (หน่วย i)			สัดส่วนการเปลี่ยนหน่วยจากหน่วย i เป็น j			หน่วยอ้างอิง j
ILCD 2009	ReCiPe 2008	IMPACT 2002+	ILCD 2011	ReCiPe 2008	IMPACT 2002	
Ecotoxicity, freshwater [CTU _e]	Ecotoxicity, freshwater [kg 1,4-DB eq]	Aquatic ecotoxicity [kg TEG eq to water]	1.02×10^{-3}	1	2.05×10^{-5}	kg 1,4 DB eq (freshwater)
NA	Ecotoxicity, marine [kg 1,4-DB eq]		NA	4.69		kg 1,4 DB eq (freshwater)
Ionizing radiation, human health [kBq U235 eq]		Ionising radiation, human health [kBq U235 eq]	1	1	1×10^{-1}	kBq U235 eq
Particulate matter/ respiratory inorganics [kg PM _{2.5} eq to air]	Particulate matter formation [kg PM ₁₀ eq]	Particulate matter formation [kg PM ₁₀ eq]	1	1	1	kg PM _{2.5} eq
Human toxicity, cancer effects [CTU _h]	Human toxicity [kg 1,4-DB eq]	Carcinogens [kg C ₂ H ₃ Cl eq to air]	4.65×10^6	1	5.41×10^2	kg 1,4-DB eq
Human toxicity, non-cancer effects [CTU _h]		Non-carcinogens [kg C ₂ H ₃ Cl eq to air]	1.56×10^7		1.74×10^2	kg 1,4-DB eq

ตารางที่ 2.3 ตัวคูณสำหรับเปลี่ยนหน่วยเพื่อเปรียบเทียบผลกระทบจากวิธีการประเมินผลกระทบแบบต่างๆ (ต่อ)

วิธีการประเมินผลกระทบและลักษณะผลกระทบ (หน่วย i)			สัดส่วนการเปลี่ยนหน่วยจากหน่วย i เป็น j			หน่วยอ้างอิง j
ILCD 2009	ReCiPe 2008	IMPACT 2002+	ILCD 2011	ReCiPe 2008	IMPACT 2002	
Land use [kg C·yr]	Urban land occupation [m ² ·yr]	Land occupation [m ² ·yr-org. arable eq]	1.03×10 ⁻¹	1	1	m ² ·yr-org. arable eq
	Agricultural land occupation [m ² ·yr]			1		
	Natural land transformation [m ²]	NA		NA	NA	
Resource depletion (mineral, fossils) [kg Sb eq]	Metal depletion [kg oil eq]	Mineral extraction [MJ surplus]	NA	1	1.96×10 ¹	kg Fe eq
	Fossil depletion [kg oil eq]	Non-renewable energy [MJ]	NA	1	2.39×10 ⁻²	kg oil eq

ในส่วนของการวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างวิธีประเมินแบบต่างๆ ซึ่งผลกระทบที่สามารถเปลี่ยนหน่วยได้มีทั้งหมด 8 ด้าน ได้แก่ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ การเพิ่มขึ้นของสารอินทรีย์ที่ทำให้ระบบทางเดินหายใจขัดข้อง การแผ่รังสีไอออน การลดลงของชั้นโอโซน การเกินของกรดและแร่ธาตุในพื้นที่เพาะปลูก การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำ และภาวะโลกร้อน รายงานบันทึกความแตกต่างระหว่างการประเมินผลกระทบวิธีต่างๆ ไว้ดังต่อไปนี้

1. ความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Carcinogens และ Non-carcinogens)

การประเมินผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์โดยวิธีการประเมินผลกระทบ ILCD 2011 จะมีค่าที่น้อยกว่าเนื่องจากสาร 2,3,7,8 - TCDD และ Aluminum (III) ที่เป็นสารที่ก่อให้เกิดผลกระทบมากในวิธีการประเมินผลกระทบ IMPACT 2002 ไม่มีค่าในการประเมินผลกระทบ ILCD 2011

2. การเพิ่มขึ้นของสารอินทรีย์ที่ทำให้ระบบทางเดินหายใจขัดข้อง (Respiratory inorganics)

การประเมินผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของสารอินทรีย์ที่ทำให้ระบบทางเดินหายใจขัดข้องโดยวิธีการประเมินผลกระทบ ILCD 2011 จะมีค่าสูงกว่าวิธีการประเมินผลกระทบ IMPACT 2002 เนื่องจากสาร Dust(25) ในวิธีการประเมินผลกระทบ ILCD 2011 มีค่าในการเกิดผลกระทบมากกว่าวิธีการประเมินผลกระทบ IMPACT 2002

3. การแผ่รังสีไอออน (Ionizing radiation)

การประเมินผลกระทบด้านการแผ่รังสีไอออนโดยวิธีการประเมินผลกระทบ ILCD 2011 จะมีค่าผลกระทบของสาร ^{14}C สูงกว่าวิธีการประเมินผลกระทบ IMPACT 2002 แต่ค่าผลกระทบของสาร ^{222}R ในวิธีการประเมินผลกระทบ IMPACT 2002 มีค่าสูงกว่าวิธีการประเมินผลกระทบ ILCD 2011

4. การลดลงของชั้นโอโซน (Ozone layer depletion)

การประเมินผลกระทบด้านการแผ่รังสีไอออนโดยวิธีการประเมินผลกระทบ ILCD 2011 จะมีค่าผลกระทบของสารประเภท NO_x สูงกว่าวิธีการประเมินผลกระทบ IMPACT 2002 แต่ค่าผลกระทบของสารประเภท Non-methane ในวิธีการประเมินผลกระทบ IMPACT 2002 มีค่าสูงกว่าวิธีการประเมินผลกระทบ ILCD 2011

5. การเกินของกรดและแร่ธาตุในพื้นที่ดิน (Terrestrial acid/nutr)

การประเมินผลกระทบด้านการเกินของกรดและแร่ธาตุในพื้นที่ดินโดยวิธีการประเมินผลกระทบ ILCD 2011 จะมีค่าผลกระทบสูงกว่าวิธีการประเมินผลกระทบ IMPACT 2002 เนื่องจากวิธีการคำนวณของวิธีการประเมินผลกระทบ ILCD 2011 เป็นการคำนวณที่มีค่าเกินกว่าจุดวิกฤตของการสะสมแร่ธาตุในดิน ต่างจากวิธีการประเมินผลกระทบ IMPACT 2002 ที่คำนวณถึงแค่จุดวิกฤต

6. การใช้พื้นที่เพาะปลูก (Land occupation)

การประเมินผลกระทบด้านการใช้พื้นที่เพาะปลูกโดยวิธีการประเมินผลกระทบ ILCD 2011 จะมีค่าผลกระทบใกล้เคียงกับวิธีการประเมินผลกระทบ IMPACT 2002 แต่จำนวนสารที่มีการจัดอันดับที่มีจำนวนที่ไม่เท่ากัน

7. การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำ (Aquatic eutrophication)

การประเมินผลกระทบด้าน Aquatic eutrophication โดยวิธีการประเมินผลกระทบ ILCD 2011 จะมีค่าผลกระทบที่แตกต่างไปจากวิธีการประเมินผลกระทบ IMPACT 2002 เนื่องจากวิธีการคำนวณของวิธีการประเมินผลกระทบ ILCD 2011 คำนึงถึงจุดอ้อมตัวในการละลายของสารต่างๆไว้ไม่เท่ากันตามคุณสมบัติของแต่ละสาร แต่วิธีการประเมินผลกระทบ IMPACT 2002 คำนวณโดยอนุมานให้ค่าอ้อมตัวในการละลายของแต่ละสารมีค่าเท่ากัน

8. ภาวะโลกร้อน (Global warming)

การประเมินผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนโดยวิธีการประเมินผลกระทบ ILCD 2011 จะมีค่าผลกระทบที่ใกล้เคียงกับวิธีการประเมินผลกระทบ IMPACT 2002 เนื่องจากทั้ง 2 วิธีใช้วิธีการประเมินแบบเดียวกันแต่จำนวนสารที่มีการจัดอันดับที่มีจำนวนที่ไม่เท่ากัน

2.2.9 การประเมินผลกระทบด้านความเป็นกรดโดยใช้วิธีการประเมิน Proton equivalents/acidity constant (K_a)

งานวิจัยของ Andrae [50] ได้มีการสร้างวิธีการประเมินผลกระทบด้านความเป็นกรดรูปแบบใหม่โดยคำนึงถึงความแรงของกรด (Acid strength) ซึ่งโดยทั่วไป การประเมินผลกระทบด้านความเป็นกรดจะไม่มีคำนึงถึงความแรงของกรด ผลการประเมินที่ได้จากงานวิจัยนี้มีหน่วยของการประเมินคือ mmol proton eq

ในงานวิจัยนี้ผลกระทบด้านความเป็นกรดจะคำนึงถึงก๊าซที่ปล่อยสู่อากาศทั้งหมดที่สกัดได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนคลอไรด์ ไฮโดรเจนไซยาไนด์ ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณผลกระทบด้านความเป็นกรดรูปถูกสรุปลงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างของค่าคงที่ที่ใช้ประเมินผลกระทบด้านความเป็นกรด

สารที่ปล่อยสู่อากาศ	ค่าคงที่หน่วย mmol protons eq /g ของสารที่ปล่อย
Carbon dioxide	2.00×10^{-5}
Hydrogen chloride	3.57×10^7
Hydrogen cyanide	8.88×10^2
hydrogen fluoride	3.30×10^2
Nitrogen dioxide	5.21×10^2
Sulfur dioxide	1.56×10^4

บทที่ 3

ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต

ขั้นตอนในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA) มีทั้งหมด 4 ขั้นตอนได้แก่ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต การวิเคราะห์บัญชีรายการ การประเมินผลกระทบและการแปลผล การศึกษา

3.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition)

กำหนดเป้าหมาย ขอบเขตและหน่วยการทำงานของ การประเมินวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสและไบเฟนทริน

3.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Inventory Analysis)

รวบรวมข้อมูลที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มของข้อมูลได้ทั้งหมด 4 กลุ่ม ได้แก่ การใช้วัตถุดิบในการผลิตสารต่างๆ ภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสและไบเฟนทริน การใช้พลังงานในกระบวนการผลิต การขนส่งทั้งหมด และการย่อยสลายของ ยาฆ่าแมลงทั้งสองชนิดนี้

3.2.1 ข้อมูลการใช้วัตถุดิบในการผลิตสารต่างๆ ภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสและไบเฟนทริน

ข้อมูลการใช้วัตถุดิบสามารถคำนวณได้จากโปรแกรม Aspen plus ประกอบกับข้อมูลของกระบวนการผลิตที่สืบค้นมาในหัวข้อที่ 2.2.1 กับ 2.2.2 การจำลองกระบวนการผลิตจะตั้งรากฐานของการคำนวณอยู่ที่ 1 กิโลกรัมของผลิตภัณฑ์เพื่อให้ง่ายต่อการนำข้อมูลไปใส่ในโปรแกรม SimaPro

3.2.2 ข้อมูลการใช้พลังงานในการผลิตสารต่างๆ

พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบ่งเป็น 3 ส่วนได้แก่ พลังงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิ พลังงานที่ใช้ในการเพิ่มความดัน และพลังงานบีบที่ใช้ในการดำเนินการผลิต

1.) พลังงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิ

พลังงานที่ใช้ในการทำความร้อนคำนวณได้จากพลังงานความร้อนที่ใส่เข้าไปในสารตั้งต้นเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารตั้งต้นให้เหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยาหักลบกับพลังงานที่ได้จากการทำปฏิกิริยา

2.) พลังงานที่ใช้ในการเพิ่มความดัน

คำนวณได้จากพลังงานที่ใส่เข้าไปในสารตั้งต้นเพื่อเพิ่มความดันสารตั้งต้นให้ถึงความดันในการเกิดปฏิกิริยา

3.) พลังงานในการขนถ่ายวัตถุดิบโดยใช้ปั๊ม

คำนวณจากการตั้งสมการ 2-21 และคำนวณพลังงานที่ต้องใช้ในการเพิ่มความเร็วยวๆ ไหลจากที่ไม่มีการไหลเพิ่มให้เป็นความเร็วในกระบวนการผลิต

3.2.3 ข้อมูลการขนส่งทั้งหมด

กำหนดตำแหน่งของพื้นที่เพาะปลูกต้นอากาศเวสน้ำเงินและโรงงานที่ผลิตสารต่างจากเว็บไซต์ World of chemical ต่อมานำข้อมูลโรงงานที่หาได้มาประเมินระยะทางการขนส่งทางรถและทางเรือเพื่อหาโรงงานที่เหมาะสมและระยะทางการขนส่งที่สั้นที่สุด

3.2.4 ข้อมูลการย่อยสลาย

ศึกษาอัตราส่วนของยาฆ่าแมลงและสารเคมีอื่นๆ ที่ตกค้างในดิน น้ำ และอากาศหลังจากการใช้และการย่อยสลายที่เกิดขึ้นในดิน

โดยลำดับการคำนวณสารที่ตกค้างในธรรมชาติมีลำดับขั้นตอนทั้งหมด 2 ขั้นตอนคือการกระจายตัวของยาฆ่าแมลงที่เกิดจากการใช้เครื่องฉีดยาฆ่าแมลง และการย่อยสลายของยาฆ่าแมลงในพื้นดิน

1.) การกระจายตัวของยาฆ่าแมลงที่เกิดจากการใช้เครื่องฉีดยาฆ่าแมลง

การคำนวณในส่วนนี้อ้างอิงข้อมูลจากหัวข้อ 2.2.5 เรื่องการกระจายตัวของยาฆ่าแมลงหลังจากออกมาจากเครื่องฉีดเพื่อคำนวณหาปริมาณยาฆ่าแมลงที่กระจายตัวสู่อากาศและปริมาณยาฆ่าแมลงที่ตกลงสู่ดิน

2.) การย่อยสลายของยาฆ่าแมลงในพื้นดิน

การย่อยสลายของยาฆ่าแมลงในพื้นดินสามารถคำนวณจากข้อมูลการสลายตัวของยาฆ่าแมลงทั้ง 2 ชนิด ในหัวข้อที่ 2.2.6 และ 2.2.7

3.3 การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment : LCIA)

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการมาเชื่อมโยงกันให้เป็นแผนภูมิต้นไม้และใช้วิธีการประเมินผลกระทบชั้นกลางของ ILCD 2011 และ IMPACT 2002 ในการประเมิน เนื่องจากวิธีการประเมินผลกระทบทั้งสองวิธีนี้เป็นวิธีการประเมินผลกระทบที่นิยมใช้ในทวีปยุโรป ตรงกับแหล่งเพาะปลูกของต้นอากาศเวสีน้ำเงิน ทำให้วิธีการประเมินผลกระทบทั้งสองวิธีนี้เหมาะสมกับการทำวิจัยครั้งนี้ซึ่งผลกระทบในด้านต่างๆ สามารถคำนวณได้จากการนำปริมาณสารที่ปลดปล่อยสู่ธรรมชาติคูณกับสัดส่วนของผลกระทบที่เกิดจากการปลดปล่อยสารนั้นๆ ซึ่งบันทึกไว้ในโปรแกรม SimaPro ในส่วนของวิธีการประเมินผลกระทบ ILCD 2011 และ IMPACT 2002

ต่อมานำผลกระทบที่ได้จากวิธีการประเมินชั้นกลางของ ILCD 2011 มาเปลี่ยนหน่วยโดยคูณกับค่าในตารางที่ 2.3 ตัวคูณสำหรับเปลี่ยนหน่วยเพื่อเปรียบเทียบผลกระทบจากวิธีการประเมินผลกระทบแบบต่างๆ ทำให้หน่วยของผลกระทบตรงกับผลที่ได้จากการใช้วิธีการประเมิน IMPACT 2002 นำผลที่ได้จากการประเมินทั้งสองวิธีมาคำนวณหาผลกระทบชั้นปลายจากการใช้สูตรการคำนวณของวิธีการประเมินผลกระทบ IMPACT 2002

สุดท้ายนำผลกระทบชั้นปลายที่ได้จากวิธีการประเมินทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบกันเพื่อเลือกวิธีการประเมินผลกระทบที่เหมาะสมในการประเมินกระทบที่เกิดจากยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสและไบเฟนทริน

3.4 การแปลผลการศึกษา (Life Cycle Interpretation)

นำผลกระทบที่เกิดจากการปลูกต้นอากาศเวสีน้ำเงินของยาฆ่าแมลงทั้งสองชนิดมาเปรียบเทียบกัน และวิเคราะห์หาแหล่งที่มาของผลกระทบต่างๆ ว่ามีสาเหตุหลักเกิดจากกระบวนการไหนในวัฏจักรชีวิตและเกิดจากการปลดปล่อยสารอะไร

บทที่ 4

ผลลัพธ์จากการประเมินวัฏจักรชีวิต

การแสดงผลลัพธ์จากการดำเนินงานจะเรียงไปตามขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ มีทั้งหมด 4 ขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition)
2. การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Inventory Analysis)
3. การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment : LCIA)
4. การแปลผลการศึกษา (Life Cycle Interpretation)

4.1 ผลการคำนวณต่างๆ ภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส

4.1.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition)

- เป้าหมาย : ศึกษาผลกระทบจากการใช้ยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสในการปลูกต้นอากาเวสีน้ำเงิน
- ขอบเขตการศึกษา : ประเมินผลกระทบตั้งแต่จุดเริ่มต้นจนถึงจุดสิ้นสุด (Cradle to grave) คือจากแหล่งวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสจนถึงการย่อยสลายในพื้นที่เพาะปลูกต้นอากาเวสีน้ำเงิน
- หน่วยการทำงาน (functional unit) : การปลูกอากาเวสีน้ำเงินในพื้นที่ 1 เฮกเตอร์ จะใช้ยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสทั้งหมด 7 ถึง 8 กิโลกรัมต่อปี หน่วยการทำงานที่เหมาะสมจึงเป็น 7.5 กิโลกรัม เพื่อหาผลกระทบที่เกิดขึ้นในพื้นที่ 1 เฮกเตอร์ ระยะเวลา 1 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Inventory analysis)

1.) ข้อมูลการใช้วัตถุดิบในการผลิตสารต่างๆ ภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส

ปริมาณการใช้วัตถุดิบสามารถคำนวณได้จากการนำสมการเคมีและข้อมูลกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสมาใส่ลงในโปรแกรม Aspen plus เพื่อจำลองกระบวนการผลิตซึ่งควบคุมน้ำหนักของสารผลิตภัณฑ์ให้มีอัตราการไหลเชิงมวลเท่ากับ 1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ปริมาณวัตถุดิบที่ต้องใช้ในกระบวนการผลิตถูกสรุปลงในตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตของสารเคมีในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส

ผลิตภัณฑ์ (1 กก.)	วัตถุดิบและจำนวนที่ใช้ในกระบวนการผลิต	% การแปลงผัน	อ้างอิง
Terbufos	Tert-butyl mercaptan 0.63 กก.	83%	[28]
	Formaldehyde 0.21 กก.		
	Diethylthiophosphoric 1.29 กก.		
Tert-butyl mercaptan	Hydrogen sulfide 0.38 กก.	100%	[30]
	Isobutylene 0.63 กก.		
Isobutylene	Butene 1.99 กก.	33.5%	[31]
Diethyl dithiophosphoric	Phosphorus pentasulfide 0.63 กก.	95%	[32]
	Ethanol 0.52 กก.		
Phosphorus pentasulfide	Phosphorus 0.37 กก.	74.5%	[33]
	Sulfur 1.55 กก.		

2.) พลังงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิภายในกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส

พลังงานความร้อนสามารถคำนวณได้จากการใช้โปรแกรม Aspen plus โดยการติดตั้งเครื่องให้ความร้อนก่อนเข้าถังปฏิกรณ์ บางปฏิกิริยาที่เป็นปฏิกิริยาคายความร้อนสามารถนำสารตั้งต้นมารับความร้อนจากการทำปฏิกิริยาเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการให้ความร้อน จากการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัมต่อชั่วโมงของสารแต่ละชนิด พลังงานความร้อนที่ต้องให้กับกระบวนการผลิตและพลังงานความร้อนที่ได้จากเกิดปฏิกิริยาถูกสรุปลงในตารางต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 พลังงานความร้อนภายในกระบวนการผลิตในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส

ผลิตภัณฑ์ (1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	พลังงานความร้อนที่ใช้ (กิโลวัตต์)	ความร้อนที่ได้จากการกระบวนการผลิต (กิโลวัตต์)	พลังงานสุทธิที่ต้องใช้ (กิโลวัตต์)	อ้างอิง
Terbufos	406	107	299	[28]
Tert-butyl mercaptan	97	347	0	[30]
Isobutylene	693	81	612	[31]
Diethyl dithiophosphoric	21	1798	0	[32]
Phosphorus pentasulfide	161	2436	0	[33]

3.) พลังงานที่ใช้เพิ่มความดันภายในกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส

ในโปรแกรม Aspen plus สามารถหาพลังงานที่ใช้ในการเพิ่มความดันได้จากการต่อตัวปรับความดันในสายวัตถุดิบให้ความดันเท่ากับเงื่อนไขในหัวข้อที่ 2.1 พลังงานที่ใช้ในการปรับความดันที่อยู่ในกระบวนการผลิตต่างๆ สามารถใส่ลงในตารางออกมาเป็นดังนี้

ตารางที่ 4.3 พลังงานในการขนถ่ายวัตถุดิบโดยใช้ปั๊มในกระบวนการผลิตในวัฏจักรชีวิตของเทอร์บูฟอส

ผลิตภัณฑ์ (1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้เปลี่ยนความดัน (กิโลวัตต์)	อ้างอิง
Terbufos	0	[28]
Tert-butyl mercaptan	127	[30]
Isobutylene	0	[31]
Diethyl dithiophosphoric	0	[32]
Phosphorus pentasulfide	0	[33]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.) พลังงานในการขนถ่ายวัตถุดิบโดยใช้ปั๊มในกระบวนการผลิตในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส

พลังงานของปั๊มสามารถคำนวณได้จากสมการ 2-21 โดยการสมมติให้ความดันและความสูงทั้งสองข้างของสมการเท่ากันเนื่องจากไม่มีข้อมูลแผนภูมิการผลิต ความเร็วที่ถึงเก็บสาร (v_1) เท่ากับ 0 เมื่อตัดตัวแปรออกจะเหลือสมการดังนี้

$$W_{pump} = \frac{1}{2} m v_2^2 \quad 4-1$$

นำข้อมูลอัตราการไหลเชิงมวลของวัตถุดิบต่างๆ (\dot{m}) ในหน่วย kg/s จากโปรแกรม Aspen plus และอัตราการไหล (v) ในหน่วย m/s เมื่อนำข้อมูลต่างๆ ที่กล่าวมาใส่ลงในสมการด้านบนก็จะสามารถคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในการดำเนินการผลิตต่างๆ ในทางทฤษฎีได้ เมื่อนำไปหารค่าประสิทธิภาพของปั๊มหอยโข่งที่มีค่าเฉลี่ยที่ 84 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถคำนวณหาพลังงานที่ใส่ไปในปั๊มได้ ซึ่งพลังงานที่ใช้ในการดำเนินการผลิตถูกสรุปลงในตารางดังต่อไปนี้

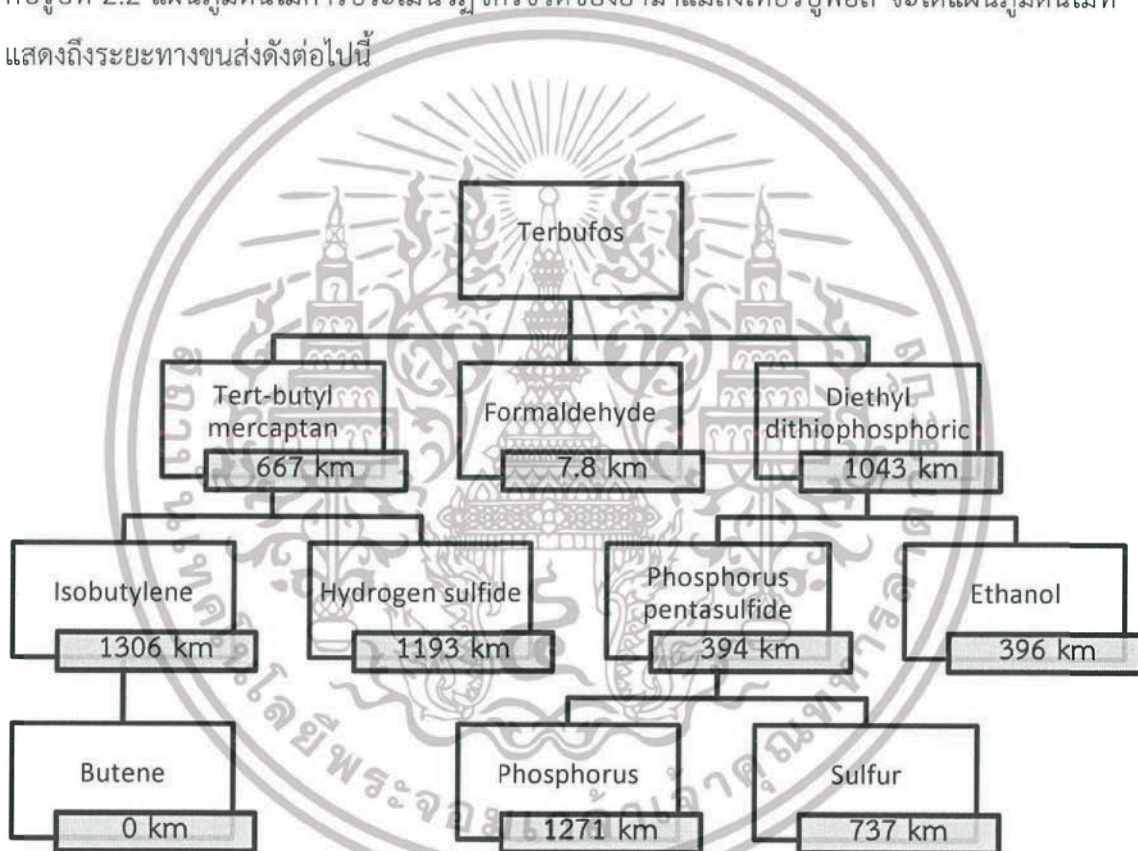
ตารางที่ 4.4 พลังงานปั๊มที่ใช้ในการดำเนินการผลิตภายในกระบวนการผลิตในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส

ผลิตภัณฑ์ (1 กิโลกรัม)	พลังงานปั๊มต่อการผลิต (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)	อ้างอิง
Terbufos	0.65	[28]
Tert-butyl mercaptan	25.15	[30]
Isobutylene	0.02	[31]
Diethyl dithiophosphoric	0.32	[32]
Phosphorus pentasulfide	0.01	[33]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.) ข้อมูลการขนส่งทั้งหมดภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส

ในการวิจัยนี้ยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสจะถูกนำไปใช้ในการปลูกต้นอากาเว่สีน้ำเงินที่ประเทศเม็กซิโก จึงต้องเลือกโรงงานผลิตยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสที่อยู่ใกล้กับที่เพาะปลูกมากที่สุด จากการศึกษาพบว่าโรงงาน Coromandel International Limited ที่ประเทศอินเดียเป็นโรงงานที่ใช้ระยะขนส่งน้อยที่สุด ต่อมาจึงหาโรงงานที่ผลิตสารอื่นๆ ที่อยู่ใกล้กับโรงงานที่ผลิตสารขั้นต่อไปมากที่สุดโดยใช้ Google map และ SEA-DISTANCES เมื่อนำข้อมูลระยะทางการขนส่งที่หามาได้รวมกับรูปที่ 2.2 แผนภูมิต้นไม้การประเมินวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส จะได้แผนภูมิต้นไม้ที่แสดงถึงระยะทางขนส่งดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 ระยะทางการขนส่งภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส

ตัวเลขที่อยู่ทางด้านล่างขวาของแต่ละกล่องคือระยะทางที่สารนั้นใช้ขนส่งจากโรงงานที่ผลิตสารนั้นจนถึงโรงงานที่ผลิตสารต่อไป (กล่องถัดไปด้านบน) ระยะทางที่กำกับไว้ในกล่องทั้งหมดเป็นการขนส่งโดยรถเนื่องจากโรงงานที่ผลิตสารทั้งหมดอยู่ภายในประเทศอินเดีย

การส่งยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสไปสถานที่ปลูกต้นอากาเว่สีน้ำเงินมีระยะทางการขนส่งทางรถ 1,476 กิโลเมตร และการขนส่งทางเรือ 19,998 กิโลเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการคำนวณต่างๆ ภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน

4.2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition)

- เป้าหมาย : ศึกษาผลกระทบจากการใช้ยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินในการปลูกต้นอากาเว่สีน้ำเงิน
- ขอบเขตการศึกษา : ประเมินผลกระทบตั้งแต่จุดเริ่มต้นจนถึงจุดสิ้นสุด (Cradle to grave) คือจากแหล่งวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินจนถึงการย่อยสลายในพื้นที่เพาะปลูกต้นอากาเว่สีน้ำเงิน
- หน่วยการทำงาน (functional หน่วย) : การปลูกอากาเว่สีน้ำเงินในพื้นที่ 1 เฮกเตอร์ จะใช้ยาฆ่าแมลงทั้งหมด 20 ถึง 30 กิโลกรัมต่อปี หน่วยการทำงานที่เหมาะสมจึงเป็น 25 กิโลกรัม เพื่อหาผลกระทบที่เกิดขึ้นในพื้นที่ 1 เฮกเตอร์ ระยะเวลา 1 ปี

4.2.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Inventory analysis)

- 1.) ข้อมูลการใช้วัตถุดิบในการผลิตสารต่างๆภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน

ข้อมูลต่อไปนี้ได้จากการนำข้อมูลในหัวข้อที่ 2.2.2 เสีนไซและเปอร์เซ็นต์การแปลงผันของกระบวนการผลิตในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน [33] มาคำนวณปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสารต่างๆ ที่อยู่ในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน

ตารางที่ 4.5 ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตยาฆ่าแมลงไอบเฟนทริน 1 กิโลกรัม

ชื่อวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไอบเฟนทริน	ปริมาณวัตถุดิบ (กก.) ที่ใช้ในการผลิตไอบเฟนทริน (1 กก.)
Pyridine	3.59
CDCPL	11.33
Sodium thiosulfate	2.36
Acetone	7.48
Chloroform	13.96
Water	9.41
Potassium iodide	7.74
Copper powder	0.0155
Sulfuric acid	12.27
Sodium nitrite	5.87
50% aqueous ethanol	13.95
2-methyl-3-nitrobenzyl alcohol	6.49
Iron powder	1.32
Concentrated hydrochloric acid	0.96

ถัดมาคำนวณหาปริมาณสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวัตถุดิบต่างๆที่ใช้ในการผลิตยาฆ่าแมลงไอบเฟนทรินจากข้อมูลกระบวนการผลิตอื่นๆ ที่อยู่ในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงไอบเฟนทรินออกมาเป็นตารางที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตของสารเคมีในวัฏจักรชีวิตของ Sodium thiosulfate Chloroform Potassium iodide cis-3-(2-Chloro-3,3,3-trifluoroprop-1-en-1-yl)-2,2-dimethylcyclopropanecarboxylic acid และ 2-Methyl-3-nitrobenzyl alcohol

ผลิตภัณฑ์ (1 กก.)	วัตถุดิบชนิดที่ 1	วัตถุดิบชนิดที่ 2	วัตถุดิบชนิดที่ 3	วัตถุดิบชนิดที่ 4	%การแปลงผัน	อ้างอิง
Sodium borohydride	Sodium hydride 0.63 กก.	Diborane 0.45 กก.			100%	[35]
2-Methyl-3-nitro benzoic acid	3-nitro-o-xylene 0.83 กก.	Oxygen 0.26 กก.			100%	[36]
3-nitro-o-xylene	Nitric acid 0.42 กก.	O-xylene 0.7 กก.			43%	[37]
Chloroform	Acetaldehyde 0.22 กก.	Chlorine 1.33 กก.			71%	[38]
Sodium thiosulfate	Sodium 0.95 กก.	Mineral oil 3.31 กก.			100%	[39]
Potassium iodide	Potassium hydroxide 0.41 กก.	Iodine 0.92 กก.			100%	[40]
CDCPL	CDCPC 0.95 กก.	Triethylamine 0.0022 กก.	Thionyl chloride 0.66 กก.		100%	[41]
Methanesulfonic acid	Hydrogen peroxide 1.12 กก.	Methyl mercaptan 0.53 กก.			95%	[42]
Methyl mercaptan	Hydrogen sulfide 1.32 กก.	Methanol 1.24 กก.			54%	[43]
Sodium hydride	Carbon 0.5 กก.	Sodium hydroxide 43.87 กก.			-	[44]
2-Methyl-3-nitrobenzyl alcohol	Tetrahydrofuran 5.25 กก.	Sodium borohydride 0.36 กก.	2-Methyl-3-nitro benzoic acid 1.19 กก.	Methanesulfonic Acid 0.63 กก.	-	[45]

2.) พลังงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิภายในกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับยาฆ่าแมลง ไบเฟนทริน

กระบวนการผลิตในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินหลายกระบวนการไม่มีการใช้พลังงานความร้อนในการผลิต รายงานนี้จึงเขียนเฉพาะกระบวนการที่มีการใช้พลังงานความร้อนเท่านั้น ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 พลังงานความร้อนภายในกระบวนการผลิตในวัฏจักรชีวิตของไบเฟนทริน

ผลิตภัณฑ์ (1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	พลังงานความร้อนที่ใช้ (กิโลวัตต์)	อ้างอิง
2-Methyl-3-nitro benzoic acid	0.06	[36]
Chloroform	0.013	[38]
Sodium thiosulfate	0.01	[39]
Sodium hydride	20.22	[44]

3.) พลังงานที่ใช้ในการเพิ่มความดันภายในกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับยาฆ่าแมลง ไบเฟนทริน

สำหรับพลังงานในการเพิ่มความดันของกระบวนการผลิตในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลง ไบเฟนทรินมีค่าเท่ากับศูนย์ทุกกระบวนการผลิตเนื่องจากทุกกระบวนการผลิตเกิดปฏิกิริยาที่ความดันบรรยากาศ (1 atm)

4.) พลังงานในการขนถ่ายวัตถุดิบโดยใช้ปั๊มในกระบวนการผลิตในวัฏจักรชีวิตของ ไบเฟนทริน

ต่อไปนี้จะแสดงตารางที่แสดงพลังงานปั๊มที่ใช้ในการดำเนินกระบวนการผลิตต่างๆ ภายในวัฏจักรชีวิตของไบเฟนทริน

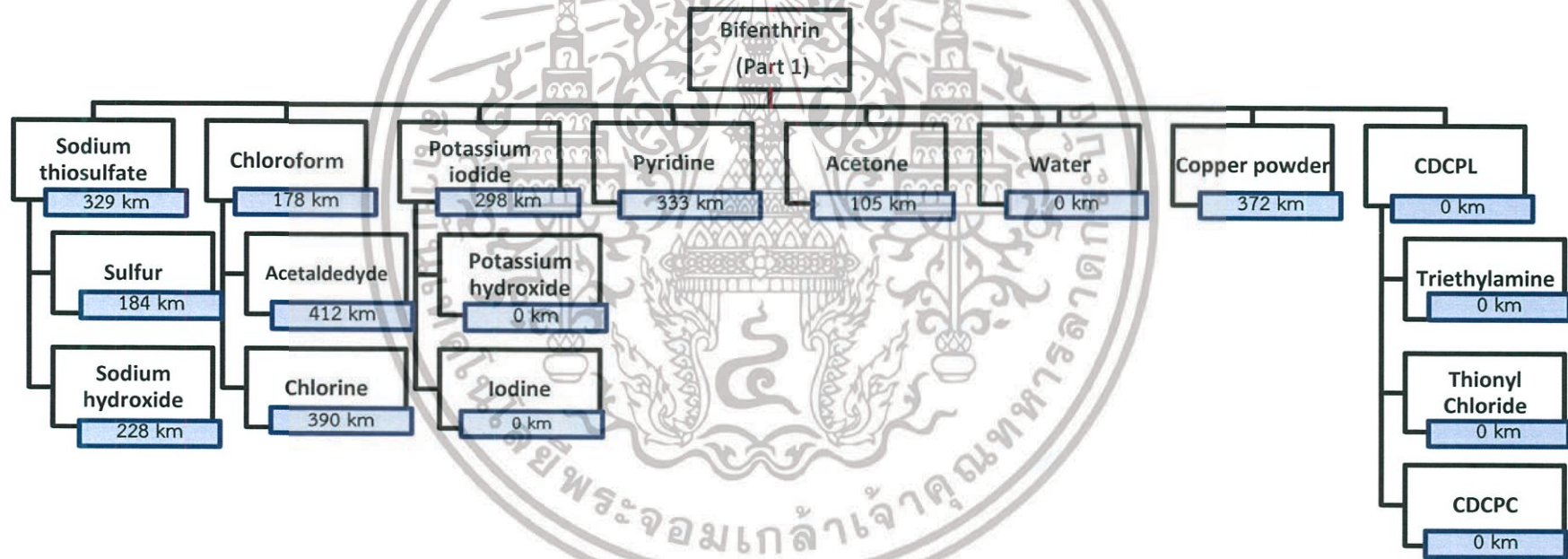
ตารางที่ 4.8 พลังงานในการขนถ่ายวัตถุดิบโดยใช้ปั๊มในกระบวนการผลิตในวัฏจักรชีวิตของไบโเพนทรีน

ผลิตภัณฑ์ (1 กิโลกรัม)	พลังงานปั๊มต่อการผลิต (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)	อ้างอิง
Sodium hydride	0.00	[35]
2-Methyl-3-nitro benzoic acid	0.02	[36]
3-nitro-o-xylene	0.02	[37]
Chloroform	0.03	[38]
Sodium thiosulfate	0.02	[39]
Potassium iodide	0.03	[40]
CDCPL	0.03	[41]
Methanesulfonic acid	0.04	[42]
Methyl mercaptan	0.05	[43]
Sodium borohydride	0.02	[44]
2-Methyl-3-nitrobenzyl alcohol	0.15	[45]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.) ข้อมูลการขนส่งทั้งหมดภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน

ในงานวิจัยนี้การหาระยะทางการขนส่งจะหาได้จากการนำเอาตำแหน่งของแหล่งผลิตวัตถุดิบไปยังโรงงานเพื่อการผลิต การหาตำแหน่งของแหล่งผลิตและโรงงานสามารถหาได้จากเว็บไซต์ World of chemical [51] จากนั้นใช้หาระยะทางการขนส่งโดยใช้ google map และ SEA-DISTANCES [52] ซึ่งสามารถนำระยะทางการขนส่งที่หาได้มารวมกับรูปแผนภูมิการผลิตที่ 2.4 และ 2.5 ได้เป็น รูปที่ 4.2 และ 4.3 ซึ่งตัวเลขสีดำคือระยะทางการขนส่งทางบกจากโรงงานที่ผลิตสารสารนั้นไปยังโรงงานที่ต้องใช้สารนั้น ส่วนตัวเลขสีแดงคือระยะทางการขนส่งทางเรือ



รูปที่ 4.2 ระยะทางขนส่งในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินส่วนที่ 1



รูปที่ 4.3 ระยะทางขนส่งในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินส่วนที่ 2

4.3 ผลลัพธ์จากการประเมินผลกระทบโดยใช้โปรแกรม SimaPro

4.3.1 การเปรียบเทียบผลกระทบระหว่างวิธีการประเมินผลกระทบชั้นกลางของ ILCD 2011 IMPACT 2002 และ Proton equivalents/acidity constant (K_a)

นำผลกระทบของยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสและไบเฟนทรีนที่ประเมินโดยวิธีการ ILCD 2011 ในตารางที่ ข.1 กับ ข.2 มาเปลี่ยนหน่วยโดยการใช้ตัวคูณในหัวข้อ 2.2.8 เพื่อให้ได้ค่าผลกระทบอยู่ในหน่วยเดียวกันกับ IMPACT 2002 และนำค่าของผลกระทบที่ได้มาเปรียบเทียบกัน ผลกระทบของยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสและ ไบเฟนทรีนที่ประเมินโดยการใช้วิธีการประเมินผลกระทบ ILCD 2011 และ IMPACT 2002 ถูกเปรียบเทียบกันภายในตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.9 ผลกระทบจากการใช้ยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสซึ่งประเมินจากการใช้วิธีการประเมินผลกระทบชั้นกลางของ ILCD 2011 และ IMPACT 2002

ประเภทของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	ILCD 2011	IMPACT 2002	หน่วย
Carcinogens	0.03	2.55	kg C ₂ H ₃ Cl eq
Non-carcinogens	139.86	0.86	kg C ₂ H ₃ Cl eq
Respiratory inorganics	0.05	0.09	kg PM _{2.5} eq
Ionizing radiation	68.70	700	Bq C-14 eq
Ozone layer depletion	5.26x10 ⁻⁹	5.26x10 ⁻⁶	kg CFC-11 eq
Terrestrial acid/nutrient	2.64	1.11	kg SO ₂ eq
Land occupation	10.51	1.47	m ² org.arable
Aquatic eutrophication	0.10	0.02	kg PO ₄ P-lim
Global warming	64.5	62.4	kg CO ₂ eq

ตารางที่ 4.10 ผลกระทบจากการใช้ยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินซึ่งจากการใช้วิธีการประเมินผลกระทบชั้นกลางของ ILCD 2011 และ IMPACT 2002

ประเภทของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	ILCD 2011	IMPACT 2002	หน่วย
Carcinogens	6.15	440	kg C ₂ H ₃ Cl eq
Non-carcinogens	310.21	9.27×10 ³	kg C ₂ H ₃ Cl eq
Respiratory inorganics	9.42	14.3	kg PM2.5 eq
Ionizing radiation	7.26×10 ³	7.39×10 ⁴	Bq C-14 eq
Ozone layer depletion	1.12×10 ⁻³	1.13×10 ⁻³	kg CFC-11 eq
Terrestrial acid/nutr	502.06	195	kg SO ₂ eq
Land occupation	1.26×10 ³	150	m ² org.arable
Aquatic eutrophication	22.67	2.96	kg PO ₄ P-lim
Global warming	1.26×10 ⁴	1.17×10 ⁴	kg CO ₂ eq

ในงานวิจัยนี้ ผลกระทบด้านความเป็นกรดประเมินโดยใช้วิธีการประเมินผลกระทบ Proton equivalents/acidity constant (Ka) เนื่องจากเป็นวิธีการประเมินที่คำนึงถึงความแรงของกรดซึ่งการประเมินวิธีอื่นๆ ไม่ได้คำนึงถึง ทำให้วิธีการประเมินนี้เหมาะสมที่จะใช้ประเมินผลกระทบด้าน Proton equivalents/acidity constant (Ka) มากกว่าวิธีการอื่นๆ ผลกระทบด้านความเป็นกรดจากการใช้ยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสและไบเฟนทรินสามารถแบ่งออกเป็นสามด้านได้แก่ ความเป็นกรดในดิน น้ำ และอากาศ ข้อมูลการคำนวณเขียนอยู่ในตารางที่ ข.9 ถึง ข.14 ผลการประเมินที่ใช้วิธีการประเมินผลกระทบ Proton equivalents/acidity constant (Ka) ถูกเขียนลงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.11 ผลการประเมินด้านความเป็นกรดโดยใช้วิธีการประเมิน Proton equivalents/acidity constant (Ka)

ผลกระทบ	เทอร์บูฟอส	ไบเฟนทริน	หน่วย
ความเป็นกรดในดิน	1.08×10 ⁻³	1.32×10 ²	mmol proton equivalents
ความเป็นกรดในน้ำ	4.17×10 ⁵	1.04×10 ⁸	
ความเป็นกรดในอากาศ	1.99×10 ⁸	5.27×10 ¹⁰	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การเปรียบเทียบผลกระทบระหว่างวิธีการประเมินผลกระทบชั้นปลายของ ILCD 2011 และ IMPACT 2002

นำผลกระทบในตารางที่ 4.9 และ 4.10 มาคำนวณให้อยู่ในรูปของการประเมินผลกระทบชั้นปลายโดยผลกระทบชั้นปลายที่สามารถคำนวณได้จากผลประเมิน ILCD 2011 มี 2 ผลกระทบได้แก่ สุขภาพมนุษย์ และภาวะโลกร้อน

ตารางที่ 4.12 ผลกระทบจากการใช้ยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสซึ่งประเมินจากการใช้วิธีการประเมินผลกระทบชั้นปลายของ ILCD 2011 และ IMPACT 2002

ประเภทของผลกระทบทาง สิ่งแวดล้อมชั้นปลาย	ILCD 2011	IMPACT 2002	หน่วย
Human health	4.26×10^{-4}	7.14×10^{-5}	DALY
Ecosystem quality	-	127	PDF*m ² *yr
Climate change	64.5	62.4	kg CO ₂ eq
Resource	-	1870	MJ

ตารางที่ 4.13 ผลกระทบจากการใช้ยาฆ่าแมลงโบเฟนทรินซึ่งประเมินจากวิธีการประเมินผลกระทบชั้นปลายของ ILCD 2011 และ IMPACT 2002

ประเภทของผลกระทบทาง สิ่งแวดล้อมชั้นปลาย	ILCD 2011	IMPACT 2002	หน่วย
Human health	7.48×10^{-3}	0.0254	DALY
Ecosystem quality	-	5.24×10^3	PDF*m ² *yr
Climate change	1.26×10^4	1.17×10^4	kg CO ₂ eq
Resource	-	2.27×10^5	MJ

จากการเปรียบเทียบจะเห็นว่าผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์จะมีแนวโน้มที่ไม่เหมือนกันคือ ในการประเมินผลกระทบของยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอส วิธีการประเมิน ILCD 2011 มีค่าผลกระทบมากกว่าการประเมินโดย IMPACT 2002 แต่ตรงกันข้ามกับผลกระทบจากยาฆ่าแมลงโบเฟนทรินที่วิธีการประเมิน ILCD 2011 มีค่าผลกระทบน้อยกว่าการประเมินโดย IMPACT 2002 สาเหตุที่ค่าของผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์มีแนวโน้มที่ไม่เหมือนกัน เนื่องมาจากผลกระทบด้าน Non-carcinogens ของยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับยาฆ่าแมลงโบเฟนทริน การเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

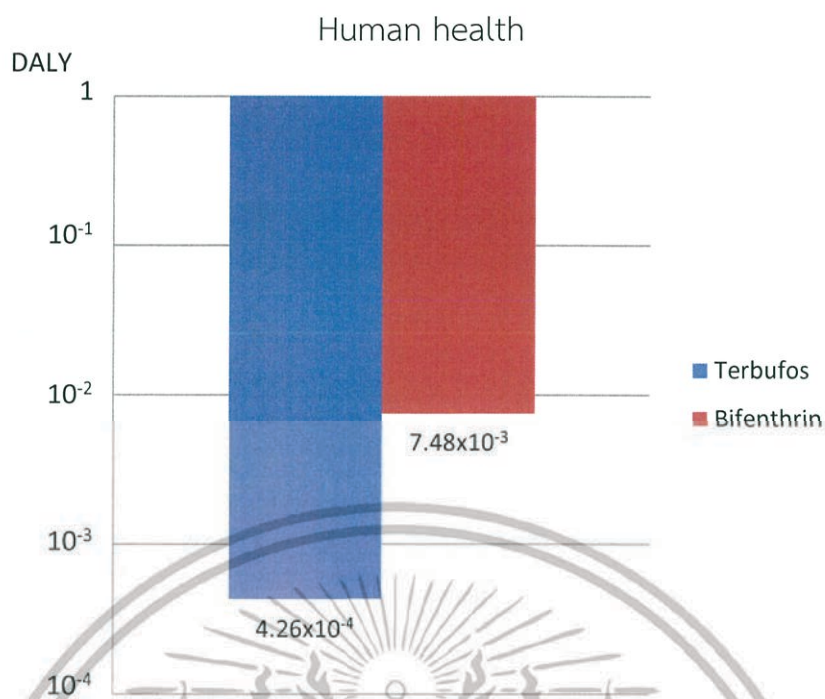
ประเมินผลกระทบของยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินมีค่าผลกระทบที่เกิดจากการปลดปล่อยยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินออกสู่ธรรมชาติ แต่การประเมินผลกระทบด้าน Non-carcinogens ของการปลดปล่อยยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสออกสู่ธรรมชาติไม่มีการจัดบันทึกไว้ ทำให้ผลกระทบที่ประเมินออกมาค่าน้อยกว่าความเป็นจริง จึงสรุปได้ว่าควรประเมินผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์โดยใช้วิธีการประเมินผลกระทบ ILCD 2011

ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนที่ออกมาจากวิธี ILCD 2011 และ IMPACT 2002 มีค่าที่ใกล้เคียงกันแต่ค่าผลกระทบที่ออกมาจาก ILCD 2011 มีการประเมินผลกระทบจากการปลดปล่อย Dinitrogen monoxide และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากสิ่งมีชีวิต (Carbon dioxide, biogenic) แตกต่างจากวิธีการประเมินผลกระทบ IMPACT 2002 ที่ไม่มีการประเมินผลกระทบจากสารเหล่านี้ ทำให้ผลกระทบที่ประเมินจาก ILCD 2011 มีค่าแม่นยำกว่า IMPACT 2002 จึงสรุปได้ว่าควรประเมินผลกระทบภาวะโลกร้อนโดยใช้วิธี ILCD 2011

ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการประเมินผลกระทบ IMPACT 2002 ในการประเมินผลกระทบด้านคุณภาพของระบบนิเวศและการใช้ทรัพยากรพลังงาน เนื่องจากผลกระทบทั้งสองด้านนี้ไม่สามารถประเมินโดยใช้วิธีการประเมินผลกระทบ ILCD 2011

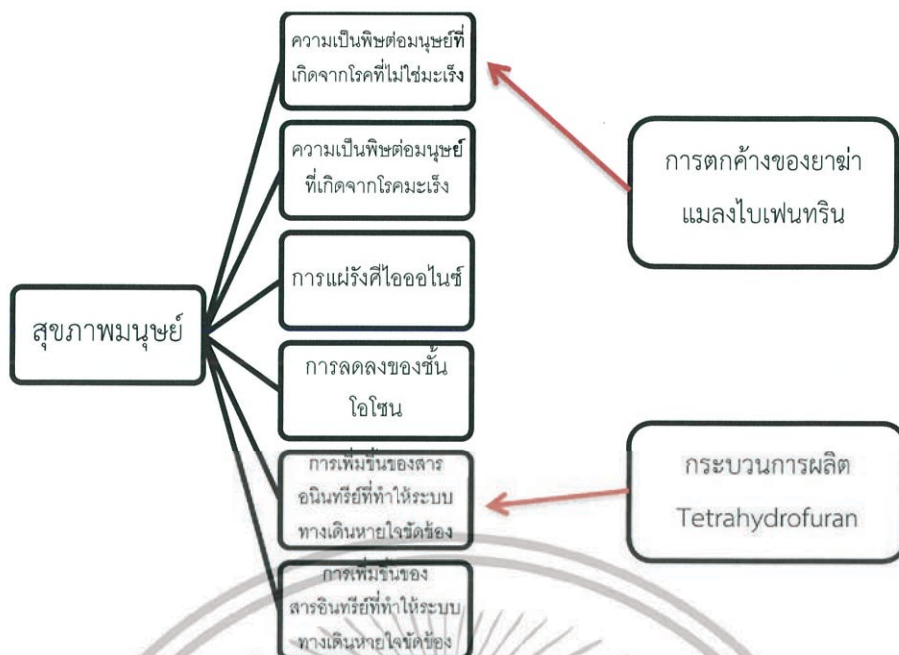
4.3.3 การเปรียบเทียบผลกระทบระหว่างยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสและไบเฟนทรินที่ใช้ในการปลูกต้นอากาเว่สีน้ำเงิน

นำผลการประเมินผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์ คุณภาพของระบบนิเวศ ภาวะโลกร้อน และการใช้ทรัพยากรพลังงานของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสและไบเฟนทรินที่ใช้ในการปลูกต้นอากาเว่สีน้ำเงินในพื้นที่ 1 เฮกเตอร์ ภายในระยะเวลา 1 ปี มาเปรียบเทียบกัน ผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์และภาวะโลกร้อนจะใช้วิธีการประเมิน ILCD 2011 ส่วนคุณภาพของระบบนิเวศและการใช้ทรัพยากรพลังงานใช้วิธีการประเมินผลกระทบ IMPACT 2002 จะได้ผลการเปรียบเทียบดังต่อไปนี้



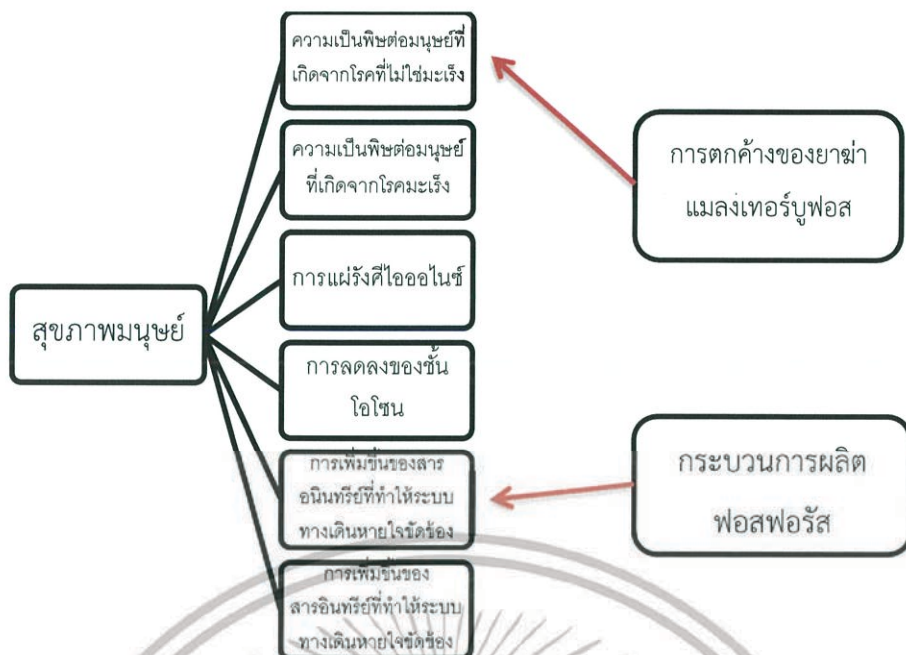
รูปที่ 4.4 กราฟแท่งสเกลล็อกเปรียบเทียบผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์ระหว่างยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสและไบเฟนทรินโดยการใช้วิธีการประเมิน ILCD 2011

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์ที่เกิดจากยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินมีค่ามากกว่ายาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสประมาณ 17.6 เท่า ต่อไปจะวิเคราะห์หาแหล่งที่มาที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์มากที่สุด



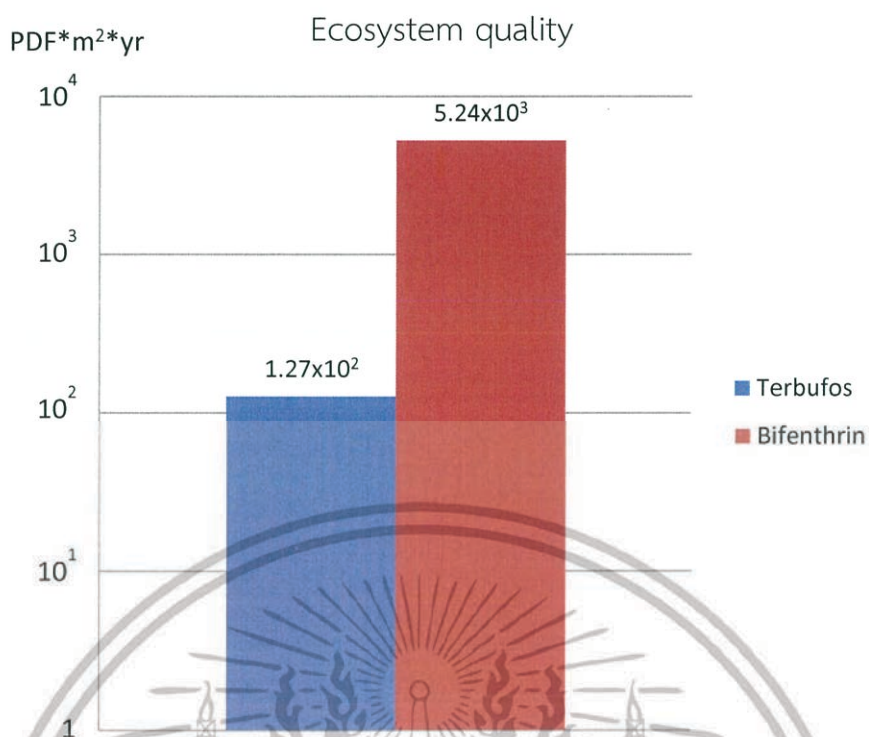
รูปที่ 4.5 กระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์มากที่สุดภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงไบเฟนทรีน

ในส่วนของผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์ที่เกิดจากยาฆ่าแมลงไบเฟนทรีน ผลกระทบส่วนใหญ่เกิดจากการตกค้างของยาฆ่าแมลงไบเฟนทรีนและกระบวนการผลิต Tetrahydrofuran ยาฆ่าแมลงไบเฟนทรีนที่ตกค้างอยู่ในบริเวณเพาะปลูกสามารถส่งผลกระทบต่อมนุษย์ทำให้เกิดอาการแพ้ที่เฉียบ อาการเจ็บคอ คลื่นไส้ ปวดท้อง และอาเจียน [53] ในกระบวนการผลิตของสาร Tetrahydrofuran มีการปล่อยฝุ่น PM 2.5 จำนวนมาก ทำให้คนที่หายใจเอาฝุ่นเข้าไปมีอาการหายใจขัดข้อง ถ้าอยู่ในบริเวณที่มีฝุ่น PM 2.5 จำนวนมากสามารถทำให้เกิดอาการหายใจขัดข้องจนสลบและอาจถึงขั้นเสียชีวิตได้



รูปที่ 4.6 กระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์มากที่สุดในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอส

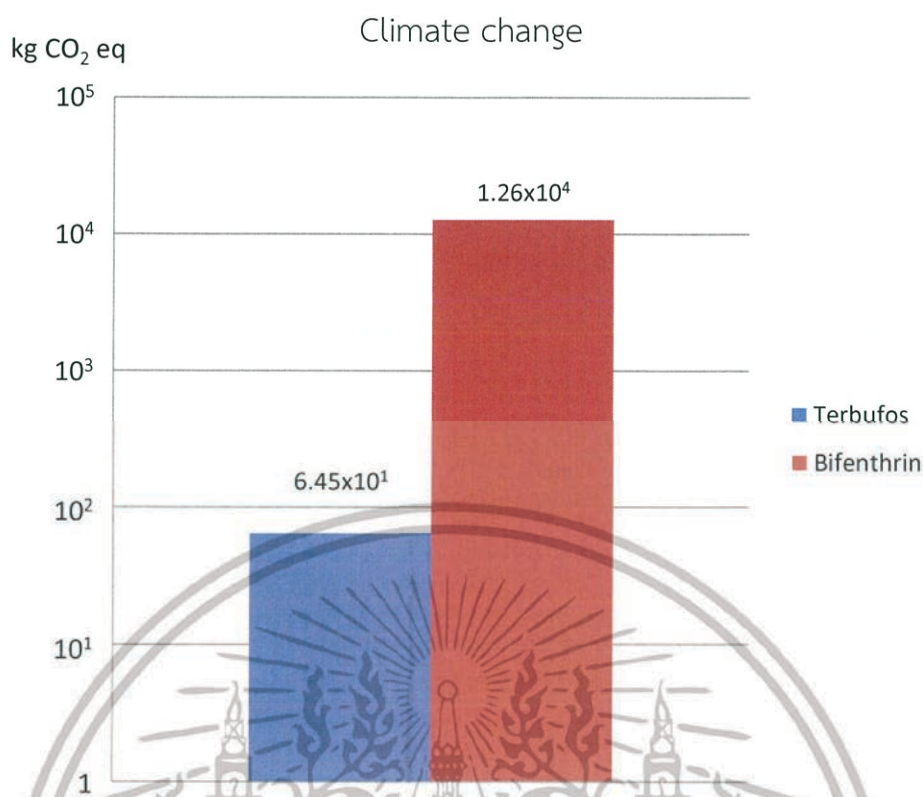
สำหรับผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์ที่เกิดจากยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอส ผลกระทบส่วนใหญ่เกิดจากการตกค้างของยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสและกระบวนการผลิตฟอสฟอรัส ยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสที่ตกค้างในบริเวณเพาะปลูกสามารถส่งผลกระทบต่อมนุษย์ ทำให้เกิดอาการคิดช้าลง ลืมเลือน และอาการระคายเคือง [53] กระบวนการผลิตฟอสฟอรัสมีการปล่อยฝุ่น PM 2.5 จำนวนมากก่อให้เกิดอาการหายใจขัดข้อง



รูปที่ 4.7 กราฟแท่งสเกลลอ็กเปรียบเทียบผลกระทบด้านคุณภาพของระบบนิเวศระหว่างยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสและไบเฟนทรินโดยการใช้วิธีการประเมิน IMPACT 2002

สำหรับผลกระทบด้านการลดลงของคุณภาพของระบบนิเวศ ผลกระทบที่เกิดจากยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินมีค่ามากกว่าเทอร์บูฟอส แหล่งที่มาของผลกระทบที่สำคัญคือการตกค้างของยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินในธรรมชาติ เนื่องจากการใช้ยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินจำนวนมากทำให้ปริมาณยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินที่หลงเหลือในธรรมชาติมีจำนวนมากไปด้วย การตกค้างของยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินส่งผลกระทบต่อความเป็นพิษของสัตว์น้ำและความเป็นพิษต่อสัตว์บนพื้นดินจำนวนมาก

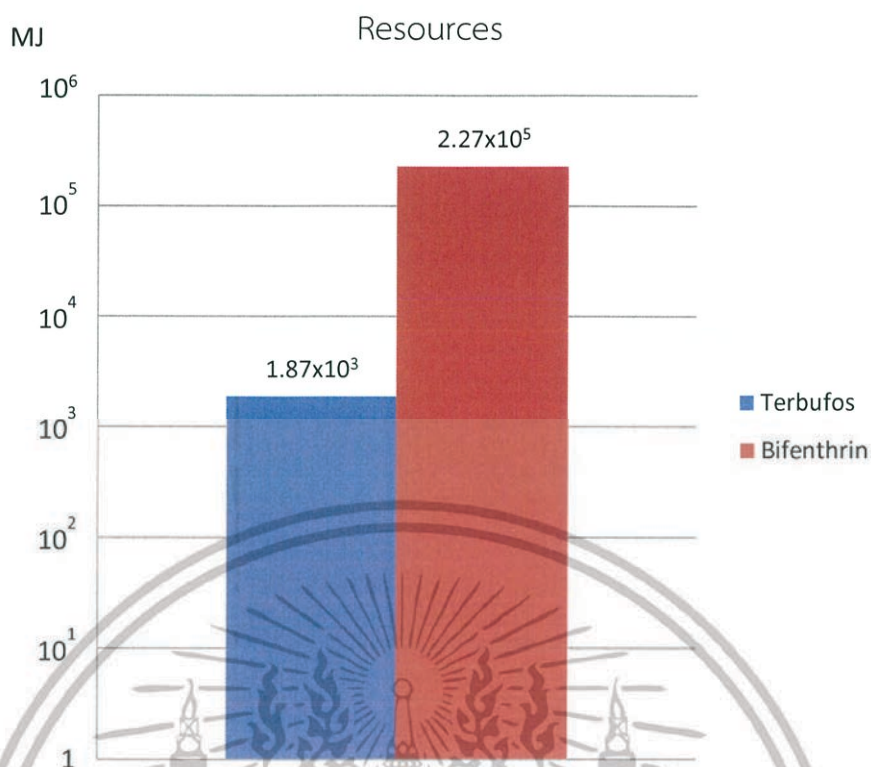
สำหรับผลกระทบที่เกิดจกยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส ผลกระทบเกือบทั้งหมดเกิดจากการตกค้างของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส ซึ่งยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสเป็นพิษอย่างมากต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม สัตว์เลื้อยคลาย และสัตว์ปีก



รูปที่ 4.8 กราฟแท่งสเกลล็อกเปรียบเทียบผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนระหว่างยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสและไบเฟนทรินโดยการใช้วิธีการประเมิน ILCD 2011

จากรูปที่ 4.8 สังเกตได้ว่าผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนที่เกิดจากยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินมีค่ามากกว่ายาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส สาเหตุหลักของผลกระทบที่เกิดจากยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินคือการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ (Carbon dioxide, fossil) ซึ่งผลรวมของผลกระทบที่เกิดจากการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์นี้มีค่าเท่ากับ 1.04×10^4 กิโลกรัม รองลงมาคือการปล่อยแก๊สมีเทนที่เกิดจากการเผาเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ (Methane, fossil) โรงงานที่มีการสร้างผลกระทบด้านนี้ยังมีนัยสำคัญคือโรงงาน Tetrahydrofuran และไอโอดีน

สำหรับผลกระทบที่เกิดจากยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสส่วนใหญ่เกิดจากการใช้วัตถุพิษฟอสฟอรัส ซึ่งการผลิตฟอสฟอรัสมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์



รูปที่ 4.9 กราฟแท่งสเกลล็อกเปรียบเทียบผลกระทบด้านการใช้ทรัพยากรพลังงานระหว่างยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสและไบเฟนทรินโดยใช้วิธีการประเมิน IMPACT 2002

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าผลกระทบด้านการใช้ทรัพยากรพลังงานของยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินมีค่ามากกว่าเทอร์บูฟอส ซึ่งผลกระทบส่วนใหญ่ของยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินเกิดจากการผลิต Tetrahydrofuran คิดเป็นผลกระทบ 1.01×10^5 MJ รองลงมาจะเป็นวัตถุดิบไพรดีนที่ใช้ คิดเป็นค่าผลกระทบเท่ากับ 1.77×10^4 MJ

ผลกระทบส่วนใหญ่ของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสเกิดจากการผลิตบิวไทลีน เนื่องจากบิวไทลีนกลั่นได้จากน้ำมันโดยกระบวนการกลั่นน้ำมันมีการใช้พลังงานในการให้ความร้อนในหอกถันต่างๆ ทำให้ต้องใช้พลังงานจำนวนมาก

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ประเมินผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์ คุณภาพของระบบนิเวศ ภาวะโลกร้อน และ การใช้ทรัพยากรพลังงาน ที่เกิดจากการใช้ยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสและไบเฟนทรินในการปลูกต้นอากาเว่ สิ้นน้ำเงิน การประเมินผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์และภาวะโลกร้อนประเมินโดยใช้วิธีการประเมินผลกระทบ ILCD 2011 ส่วนการประเมินผลกระทบด้านคุณภาพของระบบนิเวศและการใช้ทรัพยากรพลังงานประเมินโดยใช้วิธีการประเมินผลกระทบ IMPACT 2002

จากการประเมินผลกระทบด้านต่างๆ ที่เกิดจากการใช้ยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสในการปลูกต้นอากาเว่ สิ้นน้ำเงินสามารถสรุปได้ว่า ภายในพื้นที่ปลูก 1 เฮกเตอร์ การใช้ยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสส่งผลกระทบต่อด้านสุขภาพคิดเป็น 4.26×10^4 ปีของสุขภาพที่แข็งแรงที่หายไปต่อปี (DALY/yr) ส่งผลกระทบต่อด้านคุณภาพของระบบนิเวศคิดเป็น 1.27×10^2 PDF \cdot m 2 \cdot yr ต่อปี ส่งผลกระทบต่อด้านภาวะโลกร้อนเทียบเท่ากับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 64.5 กิโลกรัมออกสู่บรรยากาศต่อปี (kg CO $_2$ eq/yr) และส่งผลกระทบต่อด้านการใช้ทรัพยากรพลังงานเท่ากับ 1.87×10^3 เมกะจูลต่อปี (MJ/yr)

ส่วนการประเมินผลกระทบด้านต่างๆ ที่เกิดจากการใช้ยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินในการปลูกต้นอากาเว่ สิ้นน้ำเงินสามารถสรุปได้ว่า ภายในพื้นที่ปลูก 1 เฮกเตอร์ การใช้ยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินส่งผลกระทบต่อด้านสุขภาพคิดเป็น 7.48×10^3 ปีของสุขภาพที่แข็งแรงที่หายไปต่อปี ส่งผลกระทบต่อด้านคุณภาพของระบบนิเวศคิดเป็น 5.24×10^3 PDF \cdot m 2 \cdot yr ต่อปี ส่งผลกระทบต่อด้านภาวะโลกร้อนเทียบเท่ากับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1.26×10^4 กิโลกรัมออกสู่บรรยากาศต่อปี และส่งผลกระทบต่อด้านการใช้ทรัพยากรพลังงานเท่ากับ 2.27×10^5 เมกะจูลต่อปี

เมื่อนำผลการประเมินของยาฆ่าแมลงทั้งสองชนิดมาเปรียบเทียบกัน จะเห็นได้ในการปลูกต้นอากาเว่ สิ้นน้ำเงิน ยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมมากกว่ายาฆ่าแมลงเทอร์บูพอส ซึ่งผลกระทบส่วนใหญ่ของการใช้ยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินเกิดจากการตกค้างของยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินและกระบวนการผลิต Tetrahydrofuran ส่วนผลกระทบส่วนใหญ่ของการใช้ยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสเกิดจากการตกค้างของยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสและกระบวนการผลิตฟอสฟอรัส

เอกสารอ้างอิง

- [1] ICCA. 2010. How to Know If and When it's Time to Commission a Life Cycle Assessment An Executive Guide. International council of chemical associations.
- [2] M. M. Mekonnen and A. Y. Hoekstra. 2011. "The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products," *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 15, no. 5, pp. 1577–1600.
- [3] R. Salomone. 2003. "Life Cycle Assessment applied to coffee production: investigating environmental impacts to aid decision making for improvements at company level," *Food, Agriculture & Environment* Vol.1(2) : 295-300.
- [4] M. Goedkoop, M. Oele, J. Leijting, T. Ponsioen, and E. Meijer. 2016. "Introduction to LCA with SimaPro Title: Introduction to LCA with SimaPro," SimaPro.
- [5] D. N. Huntzinger and T. D. Eatmon. 2009. "A life-cycle assessment of Portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative technologies," *J. Clean. Prod.*, vol. 17, no. 7 : 668–675.
- [6] L. Lardon, A. Hélias, B. Sialve, J.-P. Steyer, and O. Bernard. 2009. "Life-Cycle Assessment of Biodiesel Production from Microalgae," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 43, no. 17, pp. 6475–6481.
- [7] R. A. Chapman and C. R. Harris. 1980. "Insecticidal Activity and Persistence of Terbufos, Terbufos Sulfoxide and Terbufos Sulfone in Soil," *J. Econ. Entomol.*, vol. 73, no. 4 : 536–543.
- [8] M. Jin, X. Zhang, L. Wang, C. Huang, Y. Zhang, and M. Zhao. 2009. "Developmental toxicity of bifenthrin in embryo-larval stages of zebrafish," *Aquat. Toxicol.*, vol. 95, no. 4, pp. 347–354.
- [9] European Commission. 1998. **Reports of the Scientific Committee for Food (Thirty-ninth series).** FOOD SCIENCE AND TECHNIQUES.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] B. Trauma. 1998. UNIVERSAL Crop Protection (Pty) Ltd UNIVERSAL TERBUFOS GR MATERIAL SAFETY DATA SHEET. UNIVERSAL Crop Protection (Pty) Ltd.
- [11] L. Somasundaram, K. D. Racke, and J. R. Coats. 1987. "Effect of manuring on the persistence and degradation of soil insecticides," *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, vol. 39, no. 4 : 579–586.
- [12] A. M. Pranschke, L. M. Hooper-Bùi, and B. Moser. 2003. "Efficacy of Bifenthrin Treatment Zones Against Red Imported Fire Ant," *J. Econ. Entomol.*, vol. 96, no. 1 : 98–105.
- [13] USGS. 2011. "Pesticide Use Maps," [Online]. Available: https://water.usgs.gov/nawqa/pnsp/usage/maps/show_map.php?year=02&map=BIFENTHRIN&hilo=L&disp=Bifenthrin.
- [14] NPIC. 2011. "National Pesticide Information Center: Bifenthrin Technical Information Fact Sheet," [Online]. Available: <http://npic.orst.edu/factsheets/biftech.pdf>.
- [15] NPIC. 2009. "Bifenthrin Technical Fact Sheet," [Online]. Available: <http://npic.orst.edu/factsheets/archive/biftech.html#endo>.
- [16] Thai National Life Cycle Inventory Database. 2008. "ความหมายและขอบเขตของ LCA," LCI. [Online]. Available: <http://www.thailcidatabase.net/index.php/history-life-cycle-assessment-lca/menu-meaning-of-lca>.
- [17] Melissa Petruzzello. 2019. "Agave | plant | Britannica," [Online]. Available: <https://www.britannica.com/plant/Agave>.
- [18] James Minn, "Process for producing dialkyl dithiophosphoric acid esters," U.S patent no. 4283335A, February 1980.
- [19] Y. Liang, F. Tong, L. Zhang, W. Li, W. Huang, and Y. Zhou. 2018. "Fatal poisoning by terbufos following occupational exposure," *Clin. Toxicol.*, vol. 56, no. 2 : 140–142.
- [20] J. M. Wagner. 2015. "US EPA, Pesticide Product Label, SHARDA BIFENTHRIN," U.S. Environmental Protection Agency.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [21] ITACA. 2017. “Part 7: Pumps and Turbines – The Bernoulli Equation | ITACA.” [Online]. Available: <https://www.itacanet.org/fluid-mechanics-for-gravity-flow-water-systems-and-pumps/part-7-pumps-and-turbines-the-bernoulli-equation/>.
- [22] SimaPro. 2011. “About SimaPro - SimaPro,” [Online]. Available: <https://simapro.com/about/>. [Accessed: 30-May-2019].
- [23] Alex Loijos. 2019. “How to Conduct a Life Cycle Analysis Cheaply or FREE | LinkCycle,” [Online]. Available: <http://www.linkcycle.com/how-to-conduct-a-life-cycle-analysis-cheaply-or-free/>. [Accessed: 30-May-2019].
- [24] Bor-Yih Yu. 2014. “Introduction to Aspen Plus,” [Online]. Available: <http://www.aspentech.com/products/aspen-plus.cfm>.
- [25] MyEcoCost. 2014. “Impact Analysis ILCD 2011,” [Online]. Available: http://adm-global.org/productionsupporttools/Impact_Analysis_ILCD2011.html.
- [26] Ellen Brilhuis-Meijer. 2014. “Consider Your Audience When Doing Impact Assessment | PRé Sustainability,” [Online]. Available: <https://www.pre-sustainability.com/news/consider-your-audience-when-doing-lca>.
- [27] S. Humbert, A. De Schryver, X. Bengoa, M. Margni, and O. Jolliet. 2012. “IMPACT 2002+: User Guide,” Quantis.
- [28] E. O. Hook and P. H. Moss, “Dithiophosphate esters as insecticides,” U.S. patent no. 2596076A, May 1952.
- [29] W. A. Schulze, J. P. Lyon, and G. H. Short. 1948. “Synthesis of tertiary alkyl mercaptans,” *Ind. Eng. Chem.*, vol. 40, no. 12 : 2308–2313.
- [30] V. R. Choudhary and L. K. Doraiswamy. 1971. “Isomerization of n-butene to isobutene: I. Selection of catalyst by group screening,” *Journal of Catalysis.*, vol. 23, no. 1 : 54–60.
- [31] J. L. Lefferts, K. C. Molloy, J. J. Zuckerman, I. Haiduc, C. Guta, and D. Ruse. 1980. “Oxy and thio phosphorus acid derivatives of tin. 1. Triorganotin (IV) dithiophosphate esters,” *Inorg. Chem.*, vol. 19, no. 6 : 1662–1670.
- [32] J. A. Taylor, “Method of producing phosphorus pentasulfide.” U.S. patent no. 3183062A, May 1965.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [33] J. F. Engel, "Insecticidal biphenylmethyl perhaloalkylvinylcyclopropanecarboxylates." U.S patent no. 4238505A, Dec 1980.
- [34] J. S. Logan and J. A. Zaslowsky, "Process for the preparation of sodium borohydride." U.S patent no. 3152861A, October 1964.
- [35] F. R. Bao Quanxing, Cheng Jiagang, "New 2-methyl-3-nitrobenzoic acid preparation method," CN patent no. 105130820A. August 2015.
- [36] F. C. Rauch, A. J. Fanelli, and G. M. Blank, "Process for the mononitration of ortho-xylene." Google Patents, 30-Dec-1975.
- [37] E. T. Miquel, J. M. S. Gimenez, A. C. Arroyo, X. L. S. Gomez, and A. A. Martin, "Process for the manufacture of chloroform." U.S patent no. 1975727A, May 1993.
- [38] G. C. Smith and F. W. Sanders, "Process for production of sodium thiosulfate and sodium hydroxide." U.S patent no. 3929916A, July 1979.
- [39] Z. Zhaohui, "Preparation method of potassium iodide," CN patent no. 102101683A, December 2010.
- [40] S. M. Brown and B. D. Gott, "Process for the preparation of enantiomerically pure pyrethroid insecticides." U.S patent no. 6875885B2, April 2005.
- [41] D. R. Nielsen, "Alkanesulfonic acid preparation," U.S patent no. 3509206A, April 1970.
- [42] J. F. Olin and R. H. Goshorn, "Process for preparation of methyl mercaptan." U.S patent no. 3070632A, December 1962.
- [43] D. V. Jorg Heller, Hans-Peter GerlachHans, "Process for the production and purification of sodium hydride," U.S patent no. 3535078A. July 2002.
- [44] R. R. Soni, H. H. Acharya, H. R. Shah, T. R. Shah, and B. R. Reddy, "Process for the preparation of indolone derivative." CA patent no. 2597791A1, November 2009.
- [45] D. C. Rennels and H. M. Hudson. 2012. PIPE FLOW A Practical and Comprehensive Guide. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

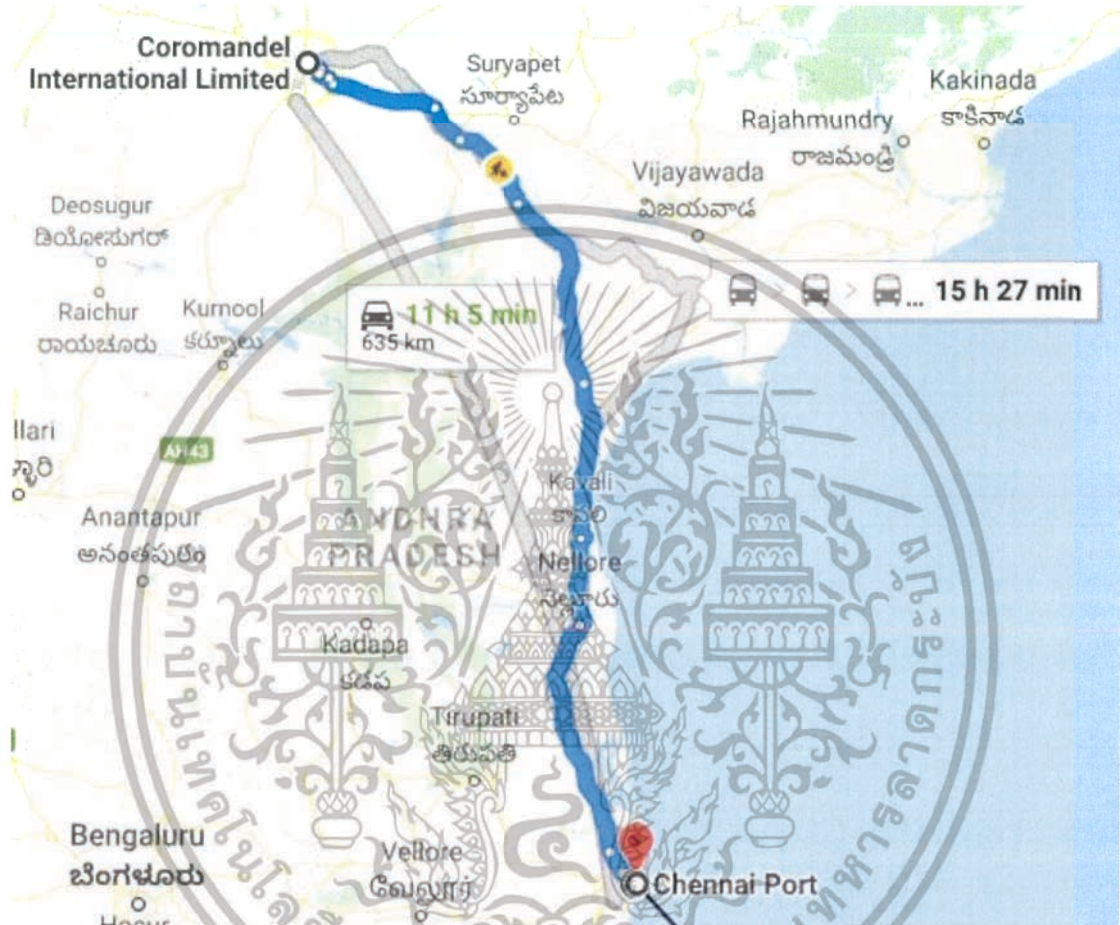
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [46] Pumps & Systems. 2015. "Pump Efficiency—What Is Efficiency?" [Online]. Available: <https://www.pumpsandsystems.com/topics/pumps/pumps/centrifugal-pump-efficiency-what-efficiency>.
- [47] M. T. Scholtz and B. Van Heyst. 2000. "A Modeling Assessment of the Impact of Pesticide Application Methods and Tilling Practices on Emissions to the Atmosphere," Canadian Global Emissions Interpretation Centre.
- [48] A. Fecko. 1999. "ENVIRONMENTAL FATE OF BIFENTHRIN," [Online]. Available: <https://www.cdpr.ca.gov/docs/emon/pubs/fatememo/bifentn.pdf>. [Accessed: 10-May-2019].
- [49] M. Owsianiak, A. Laurent, A. Bjørn, and M. Z. Hauschild. 2014. "IMPACT 2002+, ReCiPe 2008 and ILCD's recommended practice for characterization modelling in life cycle impact assessment: a case study-based comparison," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 19, no. 5 : 1007–1021.
- [50] A. Andrae. 2019. "Alternate Mid-Point Terrestrial Acidification Characterization Factors Considering Acid Strength," *Int. J. Green Technol.*, vol. 5, no. 1 : 1–8.
- [51] World of Chemicals. 2016. "World of Chemicals – online chemical directory, chemistry portal, articles, news." [Online]. Available: <https://www.worldofchemicals.com/>.
- [52] SEA DISTANCES. 2019. "SEA-DISTANCES.ORG - Distances." [Online]. Available: <https://sea-distances.org/>.
- [53] I. Mukherjee, R. Singh, and J. N. Govil. 2010. "Risk Assessment of a Synthetic Pyrethroid, Bifenthrin on Pulses," *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, vol. 84, no. 3 : 294–300.

ภาคผนวก ก

ภาพการขนส่งต่างๆ โดยการใช้ Google map

ระยะทางการขนส่งต่างๆ ภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอส

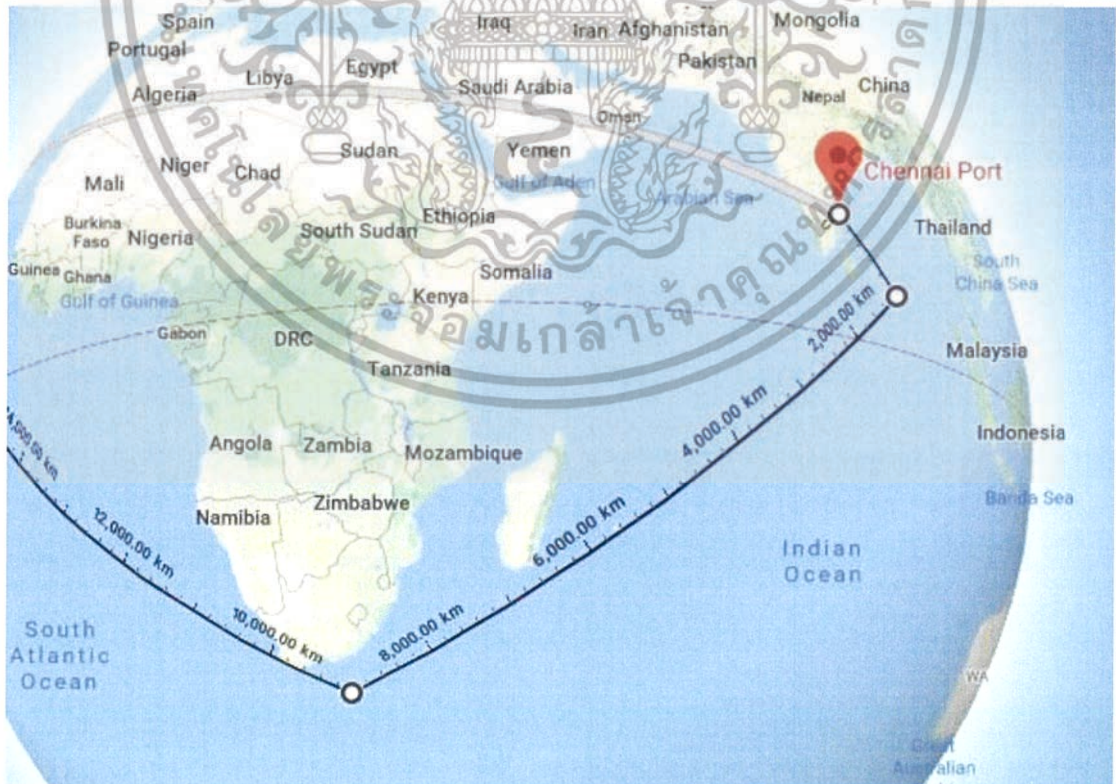


รูปที่ ก.1 การขนส่งจากโรงงานยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสไปที่ปลุกอากาศเว็สน้ำเงินส่วนที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

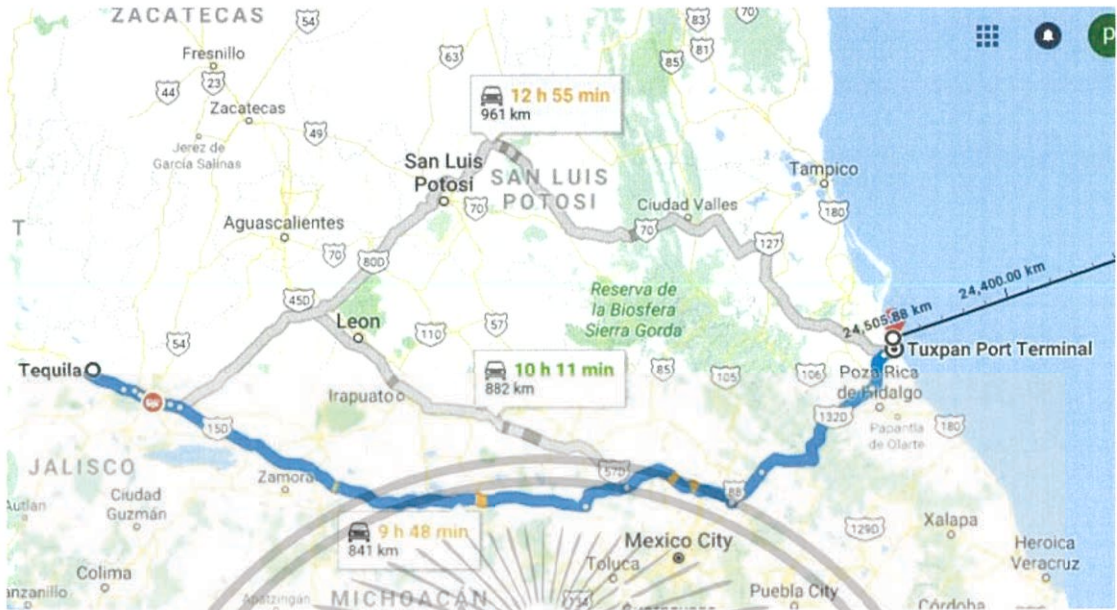


รูปที่ ก.2 การขนส่งจากโรงงานยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสไปที่ปลุกอากาศเว็สน้ำเงินส่วนที่ 2

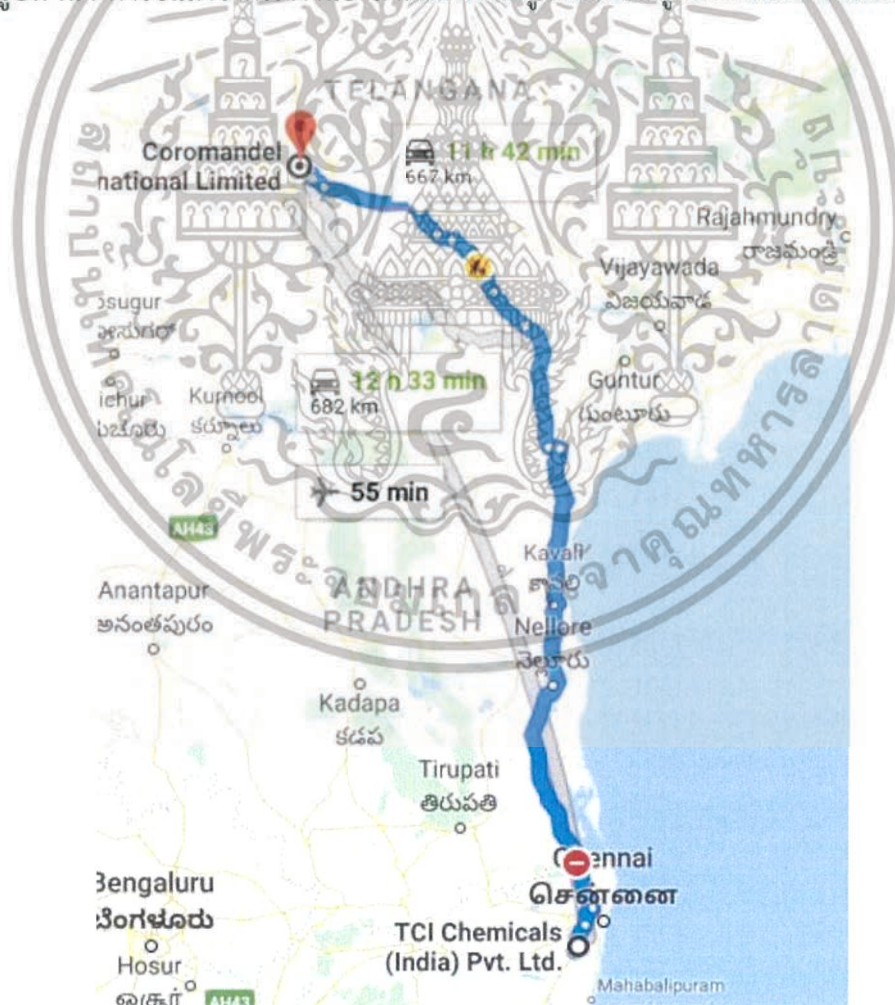


รูปที่ ก.3 การขนส่งจากโรงงานยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสไปที่ปลุกอากาศเว็สน้ำเงินส่วนที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

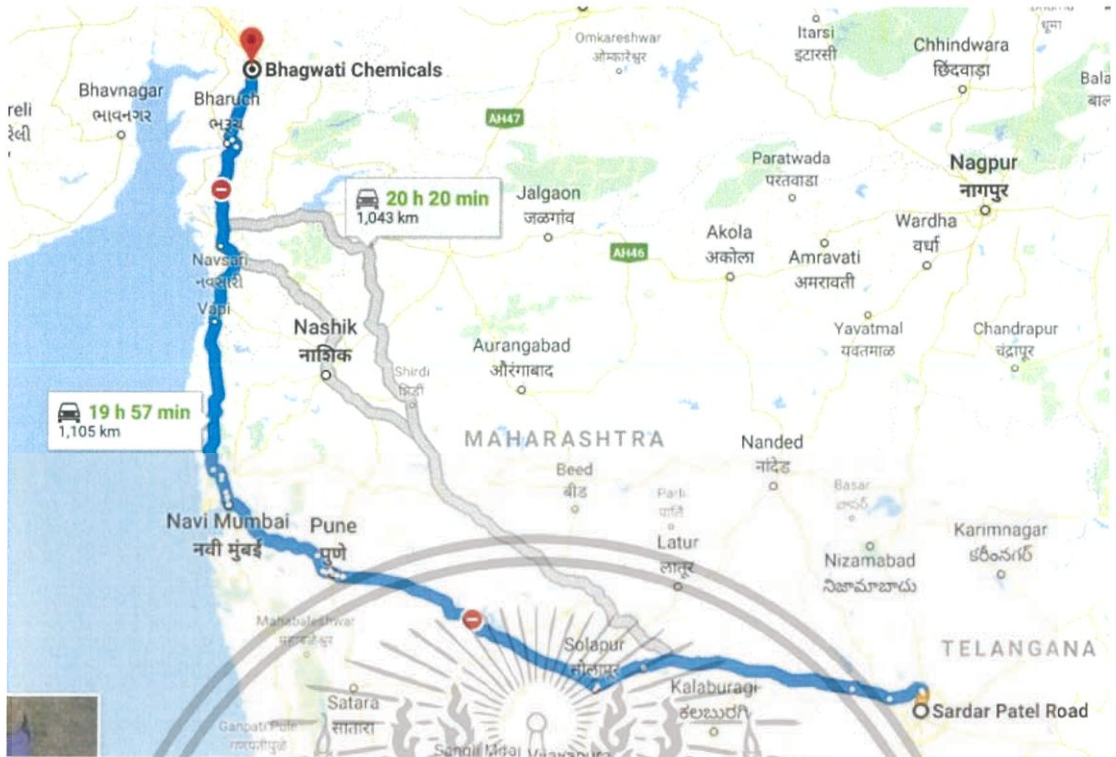


รูปที่ ก.4 การขนส่งจากโรงงานยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสไปที่ปลุกอากาศเวสีน้ำเงินส่วนที่ 4



รูปที่ ก.5 การขนส่งจากโรงงาน Tert-butyl mercaptan ไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.6 การขนส่งจากโรงงาน Diethyl dithiophosphoric ไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส



รูปที่ ก.7 การขนส่งจากโรงงานฟอร์มาลดีไฮด์ไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.8 การขนส่งจากโรงงานไฮโดรเจนซัลไฟด์ไปที่โรงงาน Tert-butyl mercaptan

รูปที่ ก.9 การขนส่งจากโรงงานไอโซบิวทิลีนไปที่โรงงาน Tert-butyl mercaptan

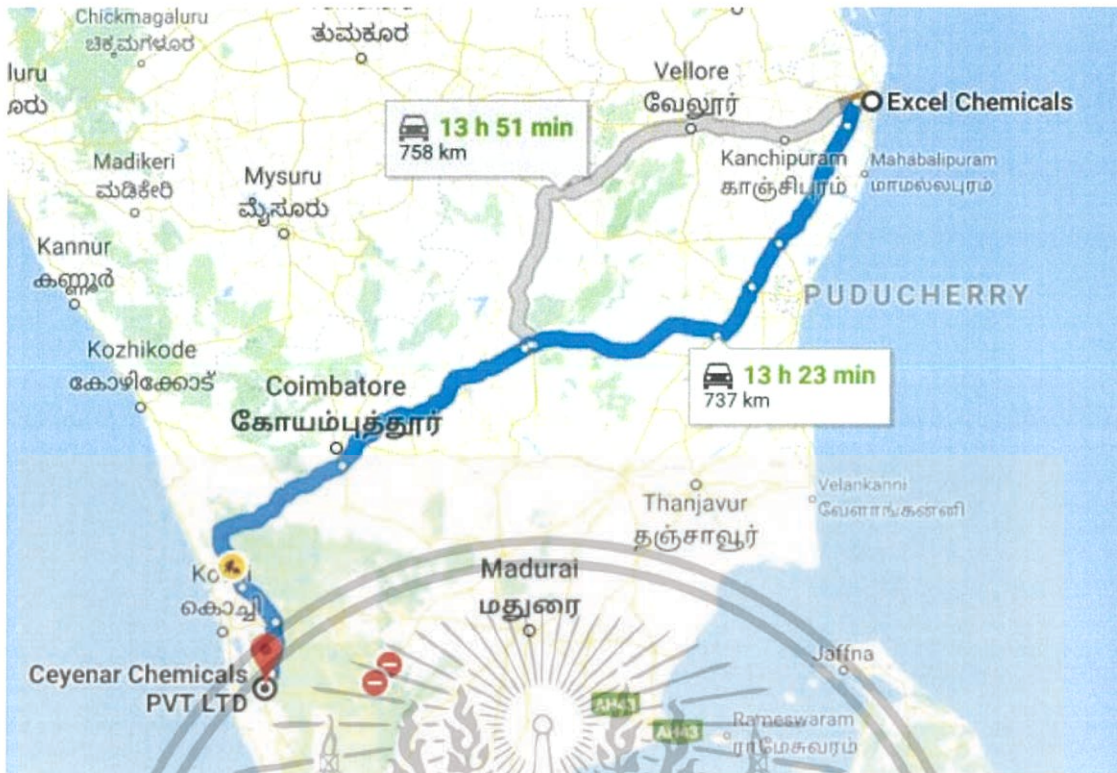
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



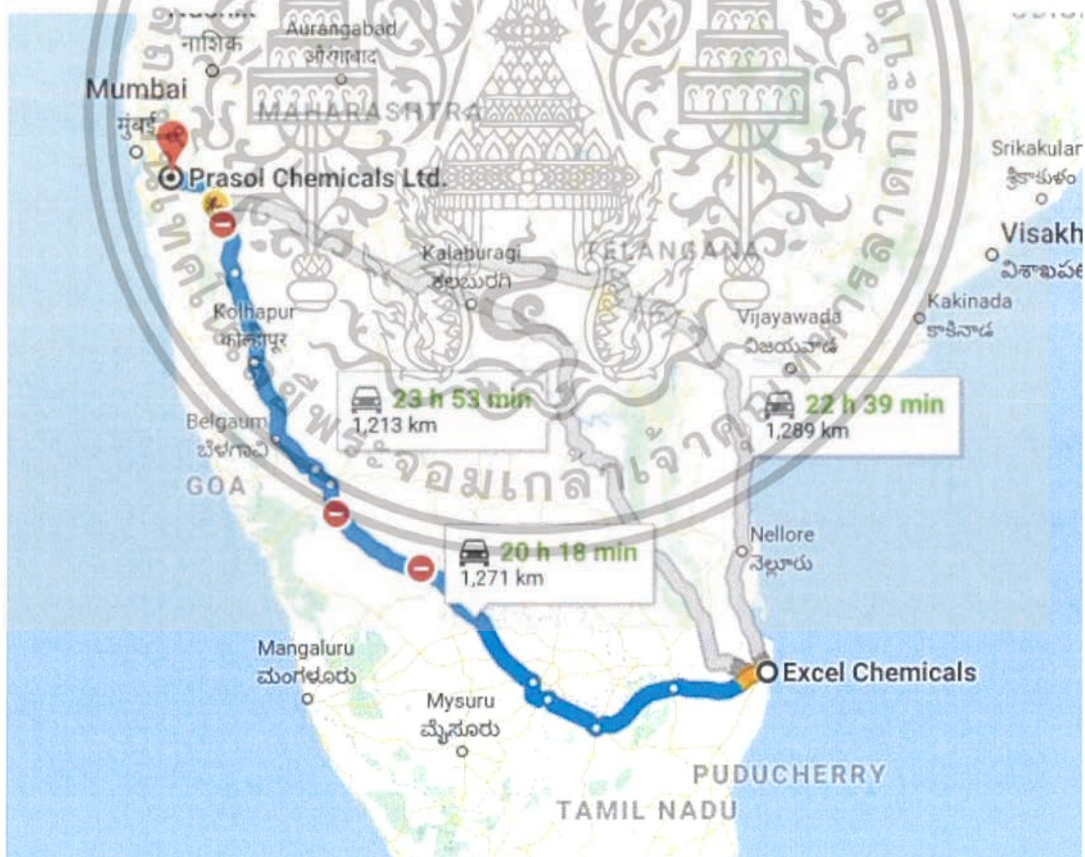
รูปที่ ก.10 การขนส่งจากโรงงานเอทานอลไปที่โรงงาน Diethyl dithiophosphoric

รูปที่ ก.11 การขนส่งจากโรงงาน Phosphorus pentasulfide ไปที่โรงงาน Diethyl dithiophosphoric

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.12 การขนส่งจากโรงงานท่ามะกัณฑ์ไปโรงงาน Phosphorus pentasulfide



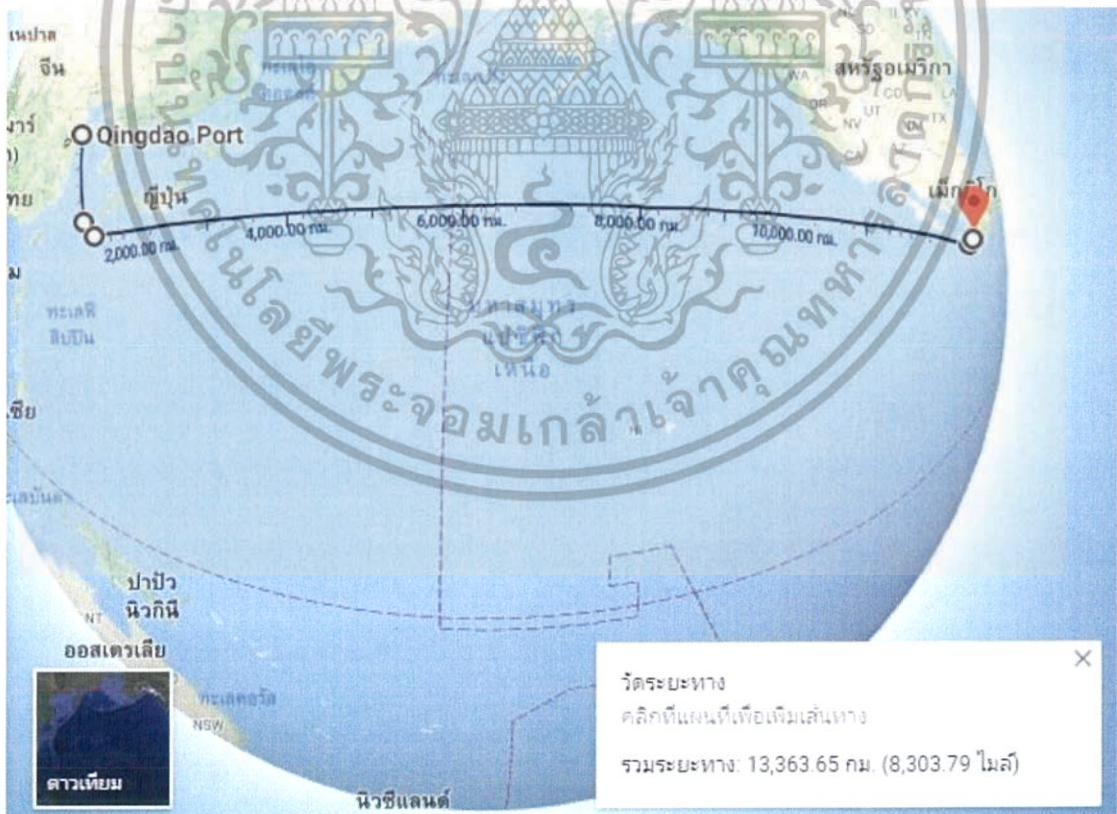
รูปที่ ก.13 การขนส่งจากโรงงานฟอสฟอรัสไปโรงงาน Phosphorus pentasulfide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะทางการขนส่งต่างๆ ภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน



รูปที่ ก.14 การขนส่งจากโรงงานยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินไปที่ปลุกอากาศเว่สีน้ำเงินส่วนที่ 1



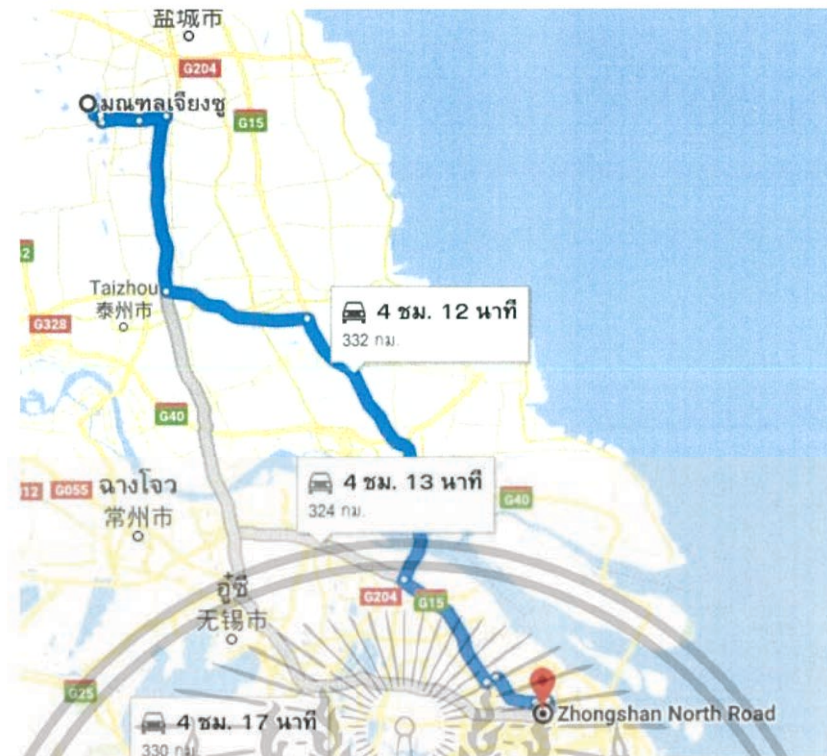
รูปที่ ก.15 การขนส่งจากโรงงานยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินไปที่ปลุกอากาศเว่สีน้ำเงินส่วนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.16 การขนส่งจากโรงงานยาฆ่าแมลงโบเพนทรีนไปที่ปลูกอากาศเวสีน้ำเงินส่วนที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.17 การขนส่งจากโรงงานโซเดียมไทโอซัลเฟตไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงไบเฟนทรีน



รูปที่ ก.18 การขนส่งจากโรงงานคลอโรฟอร์มไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงไบเฟนทรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.19 การขนส่งจากโรงงานไฟแทสเซียมไอโอโอดีไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน

รูปที่ ก.20 การขนส่งจากโรงงานไฟริตตินไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.21 การขนส่งจากโรงงานอะซีโตนไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน

รูปที่ ก.22 การขนส่งจากโรงงานผงทองแดงไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.23 การขนส่งจากโรงงานกรดซัลฟิวริกไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงไบเฟนทรีน

รูปที่ ก.24 การขนส่งจากโรงงานโซเดียมไนไตรท์ไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงไบเฟนทรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.25 การขนส่งจากโรงงานเอทานอลที่โรงงานยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน

รูปที่ ก.26 การขนส่งจากโรงงานผงเหล็กไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.27 การขนส่งจากโรงงานไฮโดรคลอริกเข้มข้นไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงโบเฟนทริน

รูปที่ ก.28 การขนส่งจากโรงงานซัลเฟอร์ไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงโซเดียมไทโอซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.29 การขนส่งจากโรงงานโซเดียมไฮดรอกไซด์ไปที่โรงงานยาฆ่าแมลงโซเดียมไทโอซัลเฟต



รูปที่ ก.30 การขนส่งจากโรงงานอะเซตลดีไฮด์ไปที่โรงงานคลอโรฟอร์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.31 การขนส่งจากโรงงานคลอรีนไปที่โรงงานคลอโรฟอร์ม



รูปที่ ก.32 การขนส่งจากโรงงานเตตระไฮโดรฟูแรนไปที่โรงงาน 2-Methyl-3-nitrobenzyl alcohol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.33 การขนส่งจากโรงงานโซเดียมโบโรไฮไดรด์ไปที่โรงงาน 2-Methyl-3-nitrobenzyl alcohol

รูปที่ ก.34 การขนส่งจากโรงงาน 2-Methyl-3-nitrobenzoic acidไปที่โรงงาน 2-Methyl-3-nitrobenzyl alcohol

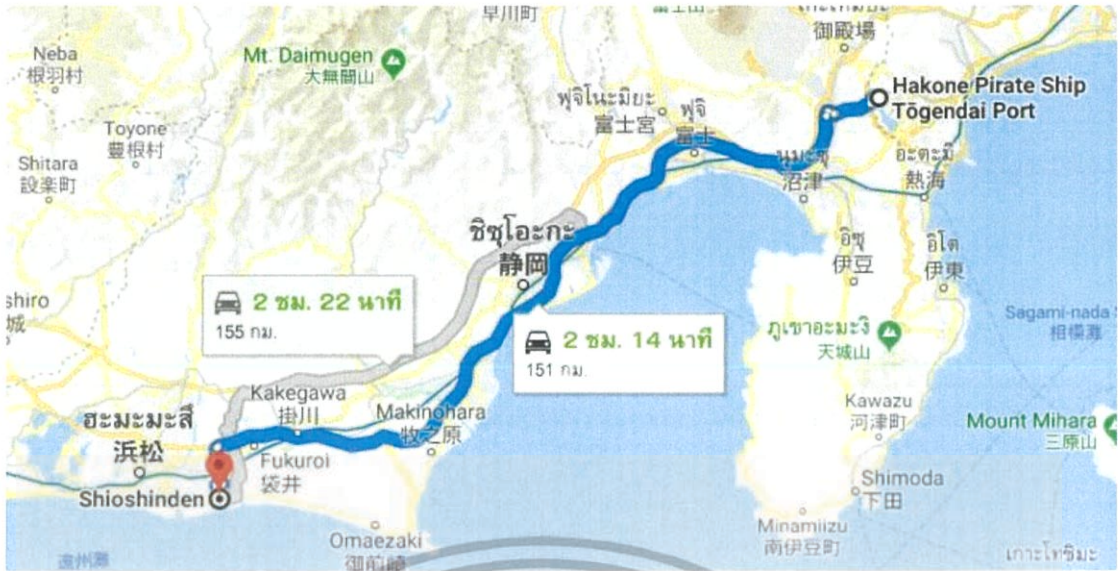
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.35 การขนส่งจากโรงงานโซเดียมไฮไดรด์ไปที่โรงงานโซเดียมโบโรไฮไดรด์ส่วนที่ 1

รูปที่ ก.36 การขนส่งจากโรงงานโซเดียมไฮไดรด์ไปที่โรงงานโซเดียมโบโรไฮไดรด์ส่วนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.37 การขนส่งจากโรงงานโซเดียมไฮโดรด์ไปที่โรงงานโซเดียมโบโรไฮโดรด์ส่วนที่ 3

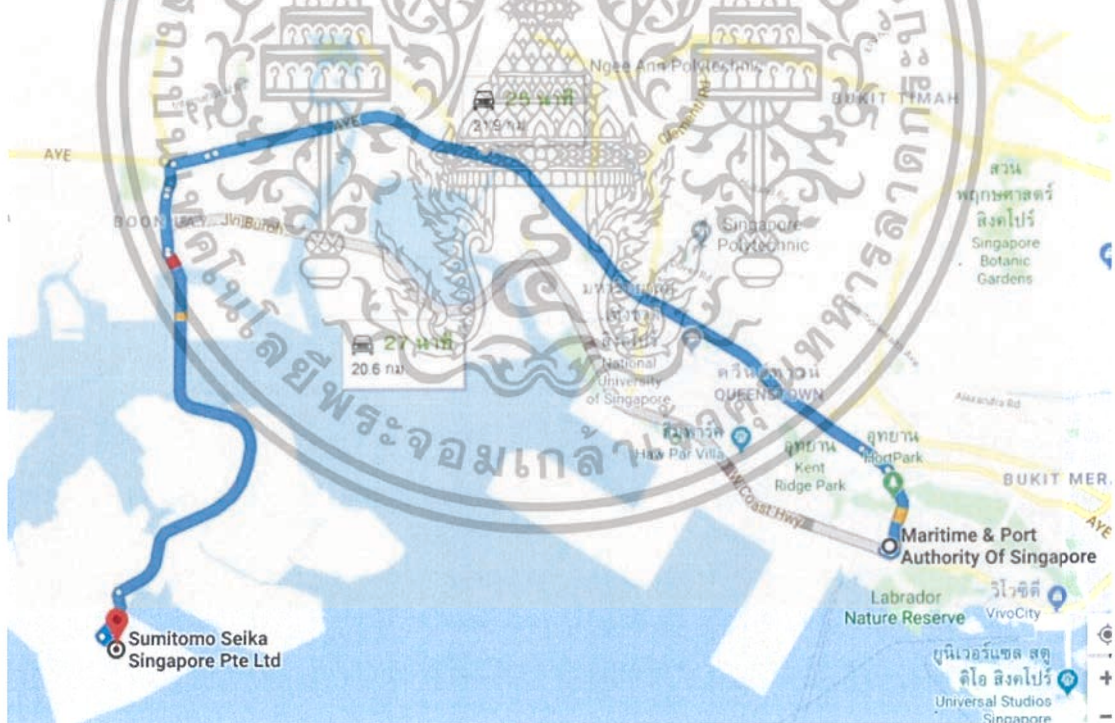


รูปที่ ก.38 การขนส่งจากโรงงานไดบอเรนไปที่โรงงานโซเดียมโบโรไฮโดรด์ส่วนที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

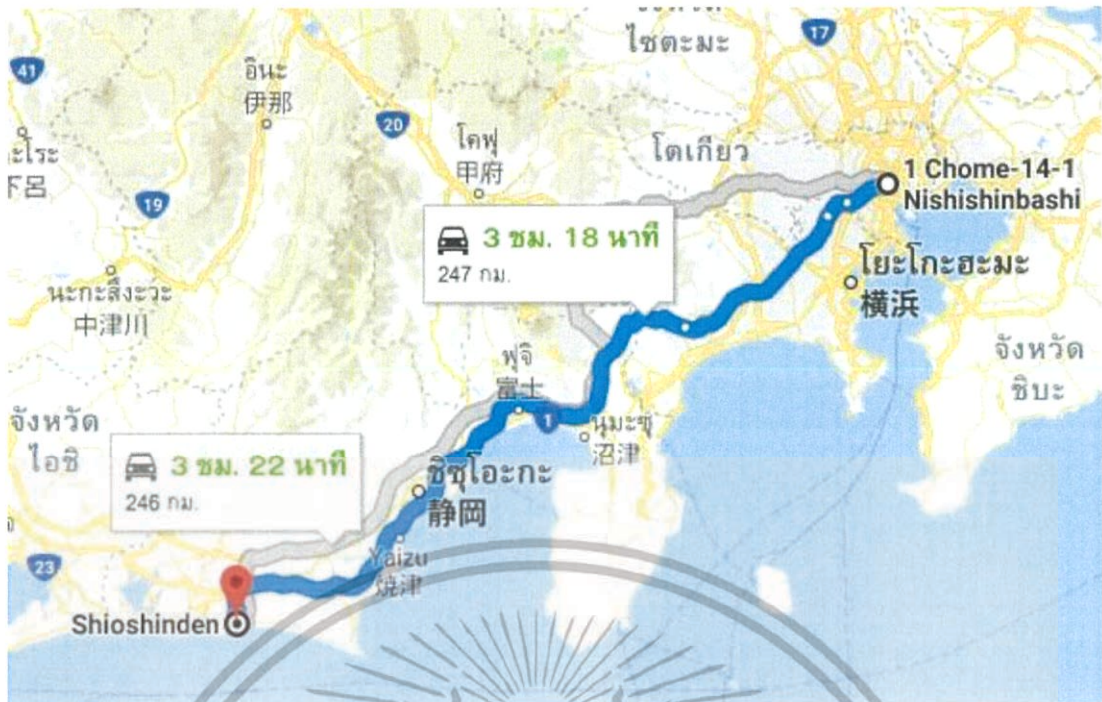


รูปที่ ก.39 การขนส่งจากโรงงานไดบอเรนไปที่โรงงานโซเดียมโบโรไฮไดรด์ส่วนที่ 2



รูปที่ ก.40 การขนส่งจากโรงงานไดบอเรนไปที่โรงงานโซเดียมโบโรไฮไดรด์ส่วนที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.41 การขนส่งจากโรงงานคาร์บอนไปที่โรงงานโซเดียมไฮโดรด์



รูปที่ ก.42 การขนส่งจากโรงงานโซเดียมไฮดรอกไซด์ไปที่โรงงานโซเดียมไฮโดรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

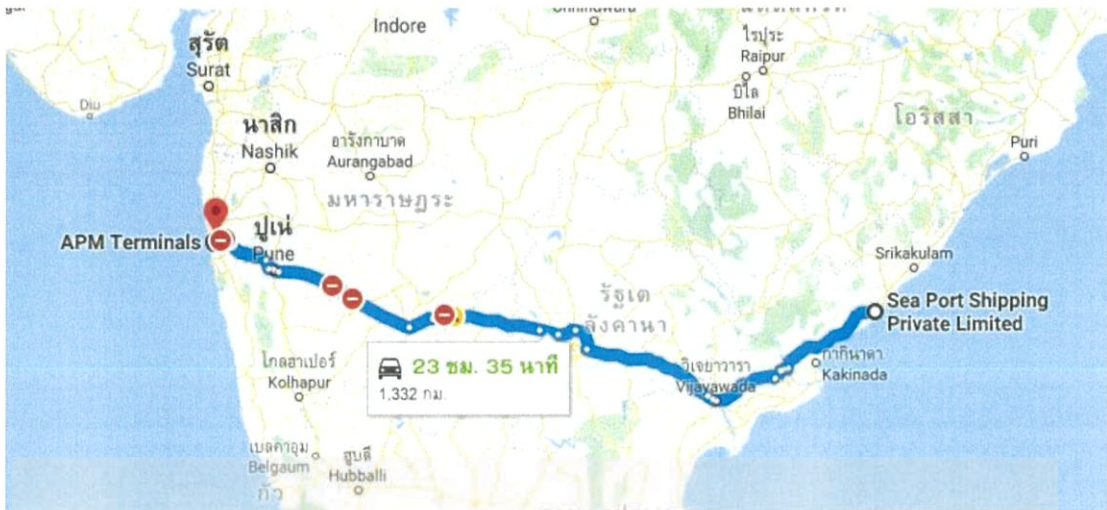


รูปที่ ก.43 การขนส่งจากโรงงาน 3-Nitro-o-xylene ไปที่โรงงาน 2-Methyl-3-nitrobenzoic acid ส่วนที่ 1



รูปที่ ก.44 การขนส่งจากโรงงาน 3-Nitro-o-xylene ไปที่โรงงาน 2-Methyl-3-nitrobenzoic acid ส่วนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.45 การขนส่งจากโรงงาน 3-Nitro-o-xylene ไปที่โรงงาน 2-Methyl-3-nitrobenzoic acid



รูปที่ ก.46 การขนส่งจากโรงงานกรดไนตริกไปที่โรงงาน 3-Nitro-o-xylene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.49 การขนส่งจากโรงงานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไปที่โรงงาน Methanesulfonic acid

รูปที่ ก.50 การขนส่งจากโรงงาน Methyl mercaptan ไปที่โรงงาน Methanesulfonic acid ส่วนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.51 การขนส่งจากโรงงาน Methyl mercaptan ไปที่โรงงาน Methanesulfonic acid ส่วนที่

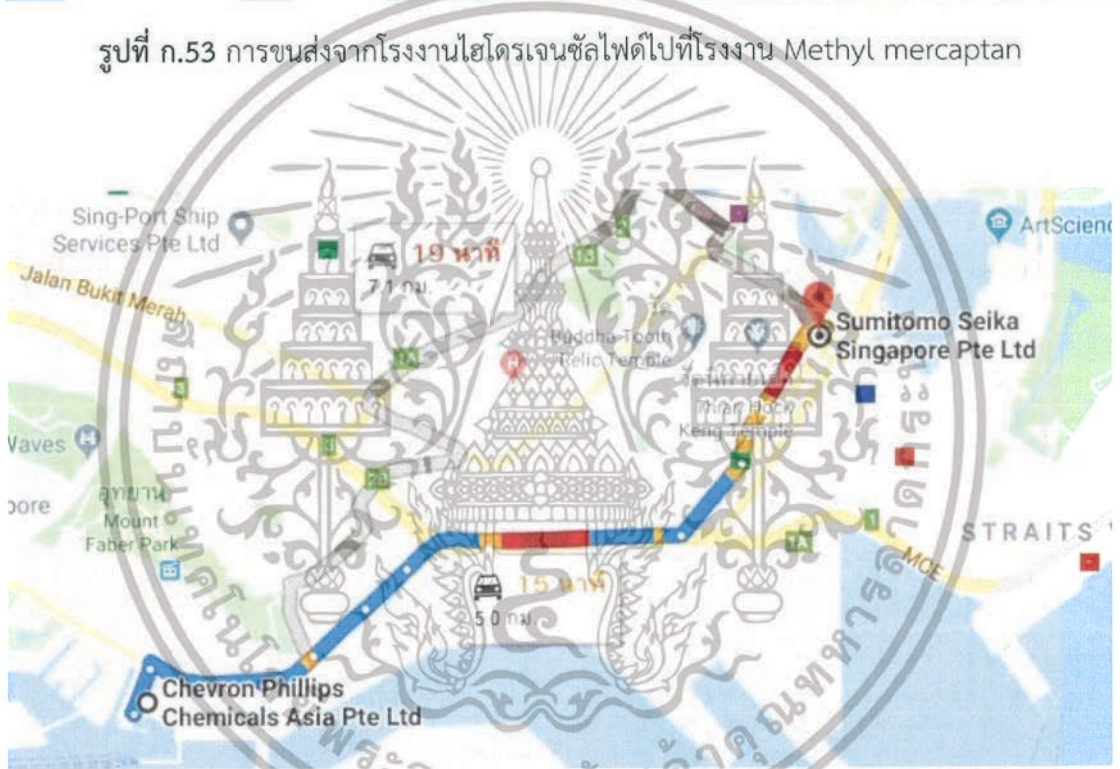


รูปที่ ก.52 การขนส่งจากโรงงาน Methyl mercaptan ไปที่โรงงาน Methanesulfonic acid ส่วนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.53 การขนส่งจากโรงงานไฮโดรเจนซัลไฟด์ไปที่โรงงาน Methyl mercaptan



รูปที่ ก.54 การขนส่งจากโรงงานเมทานอลไปที่โรงงาน Methyl mercaptan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางผลการประเมินผลกระทบต่างๆ

ตารางที่ ข.1 ผลกระทบจากการใช้ยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสในการปลูกต้นอากาเวสีน้ำเงินในพื้นที่ 1 เฮกเตอร์ ภายใน 1 ปี โดยใช้วิธีการ ILCD 2011 Midpoint

ประเภทของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	ค่าของผลกระทบ	หน่วย
Climate change	64.5	kg CO ₂ eq
Ozone depletion	5.26x10 ⁻⁶	kg CFC-11 eq
Human toxicity, non-cancer effect	1.56x10 ⁻³	CTUh
Human toxicity, cancer effect	3.02x10 ⁻⁶	CTUh
Particulate matter	0.0485	kg PM _{2.5} eq
Ionizing radiation HH	6.87	kBq U235 eq
Ionizing radiation E (interim)	2.28x10 ⁻⁵	CTUe
Photochemical ozone formation	0.238	kg NMVOC eq
Acidification	0.371	molc H ⁺ eq
Terrestrial eutrophication	0.721	molc N eq
Freshwater eutrophication	0.0247	kg P eq
Marine eutrophication	0.0699	kg N eq
Freshwater ecotoxicity	1.00x10 ⁶	CTUe
Land use	102	kg C deficit
Water resource depletion	0.0423	m ³ water eq
Mineral, fossil & renewable resource depletion	1.81x10 ⁻³	kg Sb eq

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ผลกระทบจากการใช้ยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินในการปลูกต้นอากาเวสีน้ำเงินในพื้นที่ 1
เฮกเตอร์ ภายใน 1 ปี โดยใช้วิธีการ ILCD 2011 Midpoint

ประเภทของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	ค่าของผลกระทบ	หน่วย
Climate change	1.26×10^4	kg CO ₂ eq
Ozone depletion	1.12×10^{-3}	kg CFC-11 eq
Human toxicity, non-cancer effect	3.46×10^{-3}	CTUh
Human toxicity, cancer effect	7.16×10^{-4}	CTUh
Particulate matter	9.42	kg PM _{2.5} eq
Ionizing radiation HH	726	kBq U235 eq
Ionizing radiation E (interim)	6.79×10^{-3}	CTUe
Photochemical ozone formation	38.9	kg NMVOC eq
Acidification	73.9	molc H ⁺ eq
Terrestrial eutrophication	123	molc N eq
Freshwater eutrophication	3.87	kg P eq
Marine eutrophication	25.8	kg N eq
Freshwater ecotoxicity	9.42×10^6	CTUe
Land use	1.22×10^4	kg C deficit
Water resource depletion	34.4	m ³ water eq
Mineral, fossil & renewable resource depletion	1.3	kg Sb eq

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ผลกระทบจาก 1 กิโลกรัมของยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสโดยใช้วิธีการ ILCD 2011 Midpoint

ลักษณะผลกระทบ	วัตถุดิบ	กระบวนการผลิต	การขนส่ง	การย่อยสลาย	ทั้งหมด	หน่วย
Climate change	7.87	0.45	0.28	0	8.6	kg CO2 eq
Ozone depletion	6.47×10^{-7}	5×10^{-9}	4.933×10^{-8}	0	7.01×10^{-7}	kg CFC-11 eq
Human toxicity, non-cancer effect	1.38×10^{-6}	1.10×10^{-7}	4.333×10^{-8}	2.06×10^{-4}	2.08×10^{-4}	CTUh
Human toxicity, cancer effect	3.64×10^{-7}	3.00×10^{-8}	8.66×10^{-9}	0	4.03×10^{-7}	CTUh
Particulate matter	5.86×10^{-3}	3.10×10^{-4}	2.97×10^{-4}	0	6.47×10^{-3}	kg PM2.5 eq
Ionizing radiation HH	0.877	0.016	0.023	0	0.92	kBq U235 eq
Ionizing radiation E (interim)	2.86×10^{-6}	4.00×10^{-8}	1.4×10^{-7}	0	3.04×10^{-6}	CTUe
Photochemical ozone formation	0.0285	1.00×10^{-3}	2.23×10^{-3}	0	0.03	kg NMVOC eq
Acidification	0.0426	2.10×10^{-3}	4.77×10^{-3}	0	0.05	molc H+ eq
Terrestrial eutrophication	0.0843	3.70×10^{-3}	8.13×10^{-3}	0	0.10	molc N eq
Freshwater eutrophication	3.01×10^{-3}	2.50×10^{-4}	3.33×10^{-5}	0	3.29×10^{-3}	kg P eq
Marine eutrophication	8.21×10^{-3}	3.80×10^{-4}	7.30×10^{-4}	0	9.32×10^{-3}	kg N eq
Freshwater ecotoxicity	42.9	5.1	1.07	1.33×10^5	1.33×10^5	CTUe
Land use	12.4	0.3	0.9	0	13.6	kg C deficit
Water resource depletion	4.87×10^{-3}	7.30×10^{-4}	4×10^{-5}	0	5.64×10^{-3}	m3 water eq
Mineral, fossil & renewable resource depletion	2.33×10^{-4}	2×10^{-6}	6.33×10^{-6}	0	2.41×10^{-4}	kg Sb eq

ตารางที่ ข.4 ผลกระทบจาก 1 กิโลกรัมของยาฆ่าแมลงไบเฟนทรินโดยใช้วิธีการ ILCD 2011 Midpoint

ลักษณะผลกระทบ	วัตถุดิบ	กระบวนการผลิต	การขนส่ง	การย่อยสลาย	ทั้งหมด	หน่วย
Climate change	504	3.00×10^{-3}	-2.88×10^{-3}	0	504	kg CO2 eq
Ozone depletion	4.48×10^{-5}	3.33×10^{-11}	-3.20×10^{-11}	0	4.48×10^{-5}	kg CFC-11 eq
Human toxicity, non-cancer effect	1.30×10^{-4}	7.33×10^{-10}	-7.33×10^{-10}	8.40×10^{-6}	1.38×10^{-4}	CTUh
Human toxicity, cancer effect	2.86×10^{-5}	2×10^{-10}	3.98×10^{-8}	0	2.86×10^{-5}	CTUh
Particulate matter	0.376	2.07×10^{-6}	7.98×10^{-4}	0	0.38	kg PM2.5 eq
Ionizing radiation HH	29	1.07×10^{-4}	0.04	0	29.04	kBq U235 eq
Ionizing radiation E (interim)	2.72×10^{-4}	2.67×10^{-10}	-4.00×10^{-7}	0	2.72×10^{-4}	CTUe
Photochemical ozone formation	1.56	6.67×10^{-6}	-4.01×10^{-3}	0	1.56	kg NMVOC eq
Acidification	2.95	1.40×10^{-5}	5.99×10^{-3}	0	2.96	molc H+ eq
Terrestrial eutrophication	4.92	2.47×10^{-5}	-2.47×10^{-5}	0	4.92	molc N eq
Freshwater eutrophication	0.155	1.67×10^{-6}	-2.02×10^{-4}	0	0.15	kg P eq
Marine eutrophication	1.03	2.53×10^{-6}	2.00×10^{-3}	0	1.03	kg N eq
Freshwater ecotoxicity	3.16×10^3	0.034	3.97	3.74×10^5	3.77×10^5	CTUe
Land use	488	2.00×10^{-3}	-2.00×10^{-3}	0	488	kg C deficit
Water resource depletion	1.4	4.87×10^{-6}	-0.02	0	1.38	m3 water eq
Mineral, fossil & renewable resource depletion	0.0519	1.33×10^{-8}	1.00×10^{-4}	0	0.05	kg Sb eq

ตารางที่ ข.5 ผลกระทบจากการใช้ยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอสในการปลูกต้นอากาเวสีน้ำเงินในพื้นที่ 1
เฮกเตอร์ ภายใน 1 ปี โดยใช้วิธีการ IMPACT 2002 Midpoint

ประเภทของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	ค่าของผลกระทบ	หน่วย
Carcinogens	2.55	kg C ₂ H ₃ Cl eq
Non-carcinogens	0.86	kg C ₂ H ₃ Cl eq
Respiratory inorganics	0.09	kg PM _{2.5} eq
Ionizing radiation	700	Bq C-14 eq
Ozone layer depletion	5.26x10 ⁻⁶	kg CFC-11 eq
Respiratory organics	0.04	kg C ₂ H ₄ eq
Aquatic ecotoxicity	4.37x10 ⁴	kg TEG water
Terrestrial ecotoxicity	1.54x10 ⁴	kg TEG soil
Terrestrial acid/nutr	1.11	kg SO ₂ eq
Land occupation	1.47	m ² org.arable
Aquatic acidification	0.31	kg SO ₂ eq
Aquatic eutrophication	0.02	kg PO ₄ P-lim
Global warming	62.40	kg CO ₂ eq
Non-renewable energy	1.87x10 ³	MJ primary
Mineral extraction	0.93	MJ surplus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 ผลกระทบจากการใช้ยาฆ่าแมลงโบเฟนทรินในการปลูกต้นอากาศเวสีน้ำเงินในพื้นที่ 1 เฮกเตอร์ ภายใน 1 ปี โดยใช้วิธีการ IMPACT 2002 Midpoint

ประเภทของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	ค่าของผลกระทบ	หน่วย
Carcinogens	440	kg C ₂ H ₃ Cl eq
Non-carcinogens	9.27x10 ³	kg C ₂ H ₃ Cl eq
Respiratory inorganics	14.3	kg PM2.5 eq
Ionizing radiation	7.39x10 ⁴	Bq C-14 eq
Ozone layer depletion	1.13x10 ⁻³	kg CFC-11 eq
Respiratory organics	7.68	kg C ₂ H ₄ eq
Aquatic ecotoxicity	1.56x10 ⁶	kg TEG water
Terrestrial ecotoxicity	6.06x10 ⁵	kg TEG soil
Terrestrial acid/nutr	195	kg SO ₂ eq
Land occupation	150	m ² org.arable
Aquatic acidification	61.2	kg SO ₂ eq
Aquatic eutrophication	2.96	kg PO ₄ P-lim
Global warming	1.17x10 ⁴	kg CO ₂ eq
Non-renewable energy	2.26x10 ⁵	MJ primary
Mineral extraction	500	MJ surplus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ผลกระทบจาก 1 กิโลกรัมของยาฆ่าแมลงเทอร์บูฟอสโดยใช้วิธีการ IMPACT 2002 Midpoint

ลักษณะผลกระทบ	วัตถุดิบ	กระบวนการผลิต	การขนส่ง	การย่อยสลาย	ทั้งหมด	หน่วย
Carcinogens	0.34	1.99×10^{-3}	1.64×10^{-3}	0	0.34	kg C ₂ H ₃ Cl eq
Non-carcinogens	0.10	8.66×10^{-3}	4.59×10^{-3}	0	0.11	kg C ₂ H ₃ Cl eq
Respiratory inorganics	0	8.53×10^{-3}	6.08×10^{-4}	0	0.01	kg PM _{2.5} eq
Ionizing radiation	90.91	0.55	1.88	0	93.33	Bq C-14 eq
Ozone layer depletion	0	4.79×10^{-9}	4.89×10^{-8}	0	7.01×10^{-7}	kg CFC-11 eq
Respiratory organics	0	3.58×10^{-3}	1.48×10^{-4}	0	4.68×10^{-3}	kg C ₂ H ₄ eq
Aquatic ecotoxicity	424.60	20.80	21.27	5.36×10^3	5.83×10^3	kg TEG water
Terrestrial ecotoxicity	123.17	4.75	15.41	1.91×10^3	2.05×10^3	kg TEG soil
Terrestrial acid/nutr	0.13	5.76×10^{-3}	0.013	0	0.15	kg SO ₂ eq
Land occupation	0.18	3.87×10^{-3}	0.011	0	0.20	m ² org.arable
Aquatic acidification	0.04	1.75×10^{-3}	3.97×10^{-3}	0	0.04	kg SO ₂ eq
Aquatic eutrophication	0	9.57×10^{-5}	1.85×10^{-4}	0	2.73×10^{-3}	kg PO ₄ P-lim
Global warming	7.35	0.43	0.28	0.26	8.32	kg CO ₂ eq
Non-renewable energy	239.58	5.24	4.51	0	249.33	MJ primary
Mineral extraction	0.10	4.53×10^{-3}	0.021	0	0.12	MJ surplus

ตารางที่ ข.8 ผลกระทบจาก 1 กิโลกรัมของยาฆ่าแมลงไบนเฟนทรินโดยใช้วิธีการ IMPACT 2002 Midpoint

ลักษณะผลกระทบ	วัตถุดิบ	กระบวนการผลิต	การขนส่ง	การย่อยสลาย	ทั้งหมด	หน่วย
Carcinogens	17.59	1.33×10^{-5}	9.15×10^{-3}	0	17.6	kg C ₂ H ₃ Cl eq
Non-carcinogens	8.00	5.77×10^{-5}	4.76×10^{-3}	362.8	370.8	kg C ₂ H ₃ Cl eq
Respiratory inorganics	0.57	5.69×10^{-5}	3.57×10^{-4}	0	0.57	kg PM _{2.5} eq
Ionizing radiation	2.95×10^3	3.65×10^{-3}	1.25	0	2956	Bq C-14 eq
Ozone layer depletion	4.52×10^{-5}	3.19×10^{-11}	4.72×10^{-8}	0	4.52×10^{-5}	kg CFC-11 eq
Respiratory organics	0.31	2.39×10^{-7}	1.30×10^{-4}	0	0.31	kg C ₂ H ₄ eq
Aquatic ecotoxicity	3.25×10^4	0.14	20.6	2.99×10^4	6.24×10^4	kg TEG water
Terrestrial ecotoxicity	7.47×10^3	0.03	10.26	1.68×10^4	2.42×10^4	kg TEG soil
Terrestrial acid/nutr	7.79	3.84×10^{-5}	7.92×10^{-3}	0	7.8	kg SO ₂ eq
Land occupation	5.99	2.58×10^{-5}	7.19×10^{-3}	0	6	m ² org.arable
Aquatic acidification	2.45	1.17×10^{-5}	1.99×10^{-3}	0	2.45	kg SO ₂ eq
Aquatic eutrophication	0.12	6.38×10^{-7}	2.28×10^{-5}	0	0.12	kg PO ₄ P-lim
Global warming	467.66	2.87×10^{-3}	0.34	0	468	kg CO ₂ eq
Non-renewable energy	9.03×10^3	0.03	5.76	0	9.04×10^3	MJ primary
Mineral extraction	20	3.02×10^{-5}	2.58×10^{-3}	0	20	MJ surplus

ตารางที่ ข.9 ผลกระทบด้านความเป็นกรดของพื้นดินภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอส

สาร	การปลดปล่อย (กรัม)	mmol protons/g	Acidity constant	ค่าความเป็นกรดของพื้นดินหน่วย mmol proton equivalents
Carbon dioxide	2.22	45.45	4.40×10^{-7}	1.08×10^{-3}
Sulfuric acid	1.02×10^{-7}	10.20	1.00×10^3	

ตารางที่ ข.10 ผลกระทบด้านความเป็นกรดของน้ำภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงเทอร์บูพอส

สาร	การปลดปล่อย (กรัม)	mmol protons/g	Acidity constant	ค่าความเป็นกรดของน้ำหน่วย mmol proton equivalents
Hydrogen chloride	0.0117	27.43	1.30×10^6	4.17×10^5
Acetic acid	8.20×10^{-4}	16.65	1.75×10^{-5}	
Formic acid	8.26×10^{-5}	21.72	1.77×10^{-4}	

ตารางที่ ข.11 ผลกระทบด้านความเป็นกรดของอากาศภายในวัฏจักรชีวิตของยาม่าแมลงเทอร์บูพอส

สาร	การปลดปล่อย (กรัม)	mmol protons /g	Acidity constant	ค่าความเป็นกรดของอากาศหน่วย mmol proton equivalents
Carbon dioxide	5.98×10^4	45.45	4.40×10^{-7}	1.99 $\times 10^8$
Hydrogen chloride	5.58	27.43	1.30×10^6	
hydrogen fluoride	0.765	50	6.60×10^{-4}	
Nitrogen dioxide	0.163	21.71	24	
Sulfur dioxide	18.7	31.22	5.00×10^2	
Acetic acid	0.05	16.65	1.75×10^{-5}	
Formic acid	8.11×10^3	21.72	1.77×10^4	
Sulfuric acid	4.55×10^{-7}	10.20	1.00×10^3	

ตารางที่ ข.12 ผลกระทบด้านความเป็นกรดของพื้นดินภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงโบเฟนทริน

สาร	การปลดปล่อย (กรัม)	mmol protons /g	Acidity constant	ค่าความเป็นกรดของพื้นดินหน่วย mmol proton equivalents
Carbon dioxide	24.2	45.45	4.40×10^{-7}	132
Sulfuric acid	0.01	10.20	1.00×10^{-3}	

ตารางที่ ข.13 ผลกระทบด้านความเป็นกรดของน้ำภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงโบเฟนทริน

สาร	การปลดปล่อย (กรัม)	mmol protons /g	Acidity constant	ค่าความเป็นกรดของน้ำหน่วย mmol proton equivalents
Hydrogen chloride	2.92	27.43	1.30×10^6	1.04×10^8
hydrogen fluoride	0.765	50	6.60×10^{-4}	
Acetic acid	0.25	16.65	1.75×10^{-5}	
Formic acid	1.11×10^{-8}	21.72	1.77×10^{-4}	

ตารางที่ ข.14 ผลกระทบด้านความเป็นกรดของอากาศภายในวัฏจักรชีวิตของยาฆ่าแมลงไบเฟนทริน

สาร	การปลดปล่อย (กรัม)	mmol protons /g	Acidity constant	ค่าความเป็นกรดของอากาศหน่วย mmol proton equivalents
Carbon dioxide	9.03×10^5	45.45	4.40×10^{-7}	5.27x10 ¹⁰
Hydrogen chloride	1.46×10^3	27.43	1.30×10^6	
hydrogen fluoride	192	50	6.60×10^{-4}	
Nitrogen dioxide	2.52×10^4	21.71	24	
Sulfur dioxide	3.93×10^4	31.22	500	
Acetic acid	11.20	16.65	1.75×10^{-5}	
Formic acid	0.09	21.72	1.77×10^{-4}	
Sulfuric acid	0.35	10.20	1.00×10^3	