การประเมินศักยภาพของปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตสับปะรดนางแล

โดย
นายภาณุพัฒน์ อุนเกษม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การประเมินศักยภาพของปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตสับปะรดนางแล

โดย
นายภาณุพัฒน์ อุนเกษม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ASSESSMENT OF THE POTENTIAL OF COMPOST FROM PINEAPPLE LEAVES TO REDUCE LIFE CYCLE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF NANGLAE PINEAPPLE PRODUCTION

By

MR. Phanuphat OONKASEM

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Science (ENVIRONMENTAL SCIENCE)

Department of ENVIRONMENTAL SCIENCE

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2019

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	การประเมินศักยภาพของปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตสับปะรดนางแล
โดย	ภาณุพัฒน์ อุนเกษม
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ดร. ภานุพงศ์ พรหมมารัตน์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดิเรกฤทธิ์ บัวเวช)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ดร.ภานุพงศ์ พรหมมารัตน์)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ดร.กฤตวิชญ์ สุขอึ้ง)

60311304 : วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : การประมินวัฏจักรชีวิต สับปะรดนางแล ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

ในภาคเหนือของประเทศไทยสับปะรดนางแลถือได้ว่าเป็นพันธุ์ที่มีชื่อเสียง ซึ่งส่วนใหญ่ปลูกในพื้นที่ตำบลนางแล อำเภอเมืองจังหวัดเชียงราย และได้รับการขึ้นทะเบียนเป็นสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ที่มีรสชาติดีและมีเอกลักษณ์เฉพาะสำหรับพืชท้องถิ่น นอกเหนือจากความสำคัญทางเศรษฐกิจ การเพาะปลูกสับปะรดมีความเกี่ยวข้องกับผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการใช้ปัจจัยการผลิต เช่น การใช้สารเคมี สารกำจัดศัตรูพืช ปุ๋ย น้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น รวมไปถึงการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรทางธรรมชาติ ทั้งน้ำ ดิน และอากาศ ปัจจัยดังกล่าวจึงทำให้การปลูกสับปะรดเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรง และทางอ้อม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมและประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการปลูกสับปะรดนางแล โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต และประเมินศักยภาพของปุ๋ยหมักจากใบสับปะรด โดยมีขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบ “Cradle-to-farm-gate” คือเริ่มตั้งแต่กระบวนการเตรียมพื้นที่เพาะปลูกจนถึงกระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิต ด้วยวิธีการประเมินผลกระทบ ReCiPe Endpoint ซึ่งจำแนกประเภทของตัวบ่งชี้ที่สองระดับ ได้แก่ 17 ตัวชี้วัดระดับกลางและ 3 ประเภทความเสียหายปลายทาง โดยแบ่งสถานการณ์เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อม ออกเป็น 6 สถานการณ์ ได้แก่ สถานการณ์พื้นฐาน สถานการณ์ที่มีธาตุอาหารทดแทนจากการใช้ปุ๋ยหมัก (สถานการณ์ที่ 1 ถึง 4) และสถานการณ์การเผาไหม้ใบสับปะรดหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต (สถานการณ์ที่ 5) ผลการศึกษาพบว่าการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนหรือปุ๋ยยูเรียในกระบวนการเพาะปลูกสับปะรดนางแลก่อให้เกิดผลกระทบสูงสุดในทุกประเภทผลกระทบ จะเห็นได้ว่า ปุ๋ยหมักในชุดทดลองที่ 3 มีศักยภาพสูงสุดเมื่อเทียบกับชุดทดลองอื่นที่จะนำไปใช้เป็นปุ๋ยหมักเพื่อทดแทนธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมี และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

60311304 : Major (ENVIRONMENTAL SCIENCE)
Keyword : Life cycle assessment Nang Lae pineapple Environmental impact

MR. PHANUPHAT OONKASEM : ASSESSMENT OF THE POTENTIAL OF COMPOST FROM PINEAPPLE LEAVES TO REDUCE LIFE CYCLE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF NANGLAE PINEAPPLE PRODUCTION THESIS ADVISOR : BHANUPONG PHROMMARAT

In the northern region of Thailand, Nang Lae pineapple is considered to be a famous variety which is mainly cultivated locally in Nang Lae Subdistrict, Muang District, Chiang Rai province and has been registered to be geographical indication with good taste and specific identity for local plant. Apart from its economic value, pineapple production, like other agricultural activities, is normally associated with different environmental impacts arising from agricultural inputs such as chemicals, pesticides, fertilizers and fuels, and the use of natural resources including water and soil. These factors lead to direct and indirect impacts on the environment. Therefore, this study aims to focus on assessing environmental impacts from different stages of Nang Lae pineapple production by using the life cycle assessment (LCA), an environmental management tool that used to analyze and evaluate the environmental impacts associated with a product or service in all relevant stages in its life cycle. The objective of the study is to assess the impacts of growing Nang Lae pineapple on the environment throughout its life cycle under a "cradle-to-farm-gate" system boundary or considering from raw material extraction, cultivating process and harvesting process. 17 midpoint impact categories and 3 endpoint damage impacts were assessed based on the impact assessment method, ReCiPe Endpoint (Hierarchist; H). The results found that the use of nitrogen fertilizer or urea fertilizer in Nang Lae pineapple cultivation caused the greatest impact on all categories. Residue compost in the scenario 3 showed the highest potential in substituting nutrients from chemical fertilizer and reducing environmental impacts.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากรที่สนับสนุนทุนผู้ช่วยวิจัยสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม รวมถึงเกษตรกรผู้ปลูกสับปะรด ในพื้นที่บ้านร่องปลาค้าว ตำบลนางแล อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงรายที่ได้ให้ข้อมูลในการทำวิจัยครั้งนี้ และสุดท้ายวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ดีเพราะได้ความกรุณาจาก อาจารย์ ดร.ภานุพงศ์ พรหมมารัตน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้ความช่วยเหลือ ผศ. ดร.ดิเรกฤทธิ์ บัวเวช ประธานกรรมการ และอาจารย์ ดร. กฤตวิชญ์ สุขอึ้ง กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้วิจัย ส่งผลให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้ถูกต้องและสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาของทุกท่านเป็นอย่างสูง

ภาณุพัฒน์ อุนเกษม

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฏ
สารบัญภาพ ..... ฐ
บทที่ 1 1
บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 4
1.3 สมมติฐานของการศึกษา 4
1.4 ขอบเขตการศึกษา 4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4
บทที่ 2 5
ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 ปุ๋ยหมัก (Compost) 5
2.1.1 ความหมายของปุ๋ยหมัก 5
2.1.2 กระบวนการทำปุ๋ยหมัก 5
2.1.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการหมัก 6
2.1.3.1 ค่าความเป็นกรดด่างหรือค่าพีเอช (pH) 6
2.1.3.2 ความชื้น (Moisture) 7

2.1.3.3 สัดส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน (C:N ratio) 7
2.1.3.4 อุณหภูมิ (Temperature) 8
2.1.3.5 ออกซิเจน (Oxygen) 9
2.1.3.6 ลักษณะของวัสดุหมัก 9
2.1.4 ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก 11
2.1.4.1 ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน 11
2.1.4.2 ปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดิน 11
2.1.4.3 ปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดิน 12
2.1.4.4 ปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน 12
2.1.5 ข้อดีและข้อจำกัดของปุ๋ยหมัก 12
2.2 มาตรฐานคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ 14
2.3 สับปะรด 15
2.3.1 ความเป็นมาของสับปะรดพันธุ์นางแล 16
2.3.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของสับปะรดพันธุ์นางแล 16
2.3.3 การปลูกและดูแลรักษาสับปะรดพันธุ์นางแล 17
2.3.3.1 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม 17
2.3.3.2 การเตรียมดินและระยะปลูกที่เหมาะสม 17
2.3.3.3 การปลูก 17
2.3.3.4 การดูแลรักษา 18
2.3.3.5 แมลง โรคที่สำคัญและการป้องกันกำจัด 18
2.4 การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA) 18
2.4.1 ประวัติความเป็นมาของการประเมินวัฏจักรชีวิต 18
2.4.1.1 วิวัฒนาการของการประเมินวัฏจักรชีวิต 18
2.4.1.2 ประวัติของการศึกษา LCA ในประเทศไทย 20

2.4.2 หลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิต 21
2.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอนุกรมมาตรฐาน ISO 14000 กับ การประเมินวัฏจักรชีวิต 22
2.4.4 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต 24
2.4.4.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition) 24
2.4.4.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory; LCI) 27
2.4.4.3 การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment; LCIA) 28
2.4.4.4 การแปลผลการศึกษา (Interpretation) 31
2.4.5 จุดเด่นและข้อจำกัดของการประเมินวัฏจักรชีวิต 31
2.5 กลุ่มผลกระทบที่สนใจ 32
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 34
บทที่ 3 39
วิธีการดำเนินงานวิจัย 39
3.1 วิธีการศึกษา 39
..... 39
..... 39
3.2 สถานที่เก็บข้อมูลและตัวอย่างใบสับปะรด 40
3.3 สถานที่ดำเนินการศึกษา 41
3.4 ชุดทดลอง 41
3.5 เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 42
3.6 การวิเคราะห์ปุ๋ยหมัก 44
3.6.1 การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 44
3.6.2 การวิเคราะห์การนำไฟฟ้า 44
3.6.3 การวิเคราะห์อินทรียวัตถุและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 45
3.6.4 การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) 46

3.6.5 การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus) 49
3.6.6 การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total Potassium) 52
3.7 การวิเคราะห์โดยการใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต 53
3.7.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition) 53
3.7.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory; LCI) 54
3.7.3 การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment; LCIA) 56
บทที่ 4 57
ผลการศึกษาและอภิปรายผลการศึกษา 57
4.1 ผลการเก็บข้อมูล 57
4.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมัก 57
4.3 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิต 64
4.3.1 ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการวัฏจักรชีวิต 64
4.3.2 ผลการประเมินผลกระทบของตัวชี้วัดผลกระทบสิ่งแวดล้อม 66
4.3.3 ผลการประเมินผลกระทบโดยภาพรวม 73
บทที่ 5 76
สรุปผลและข้อเสนอแนะ 76
5.1 สรุปผล 76
5.1.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมัก 76
5.1.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการวัฏจักรชีวิต 78
5.1.3 การประเมินผลกระทบของตัวชี้วัดผลกระทบสิ่งแวดล้อม 78
5.1.4 การประเมินผลกระทบโดยภาพรวม 79
5.2 ข้อเสนอแนะ 80
รายการอ้างอิง 81
ประวัติผู้เขียน 87

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายชนิดต่าง ๆ 10
ตารางที่ 2 คุณสมบัติของวัสดุอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากชนิดต่าง ๆ 10
ตารางที่ 3 ข้อดีและข้อจำกัดของปุ๋ยหมัก 13
ตารางที่ 4 รายละเอียดมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์โดยกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2548 14
ตารางที่ 5 ตัวอย่างกลุ่มผลกระทบที่ใช้ในการประเมินผลกระทบด้วยวิธีการ CML Baseline 29
ตารางที่ 6 จุดเด่นและของจำกัดของการประเมินวัฏจักรชีวิต 32
ตารางที่ 7 กรณีศึกษาในประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของการปลูกสับปะรด .. 36
ตารางที่ 8 กรณีศึกษาของต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของการปลูกสับปะรด 37
ตารางที่ 9 กรณีศึกษาของต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากการปลูกสับปะรดมาผลิตเป็นปุ๋ยหมัก 38
ตารางที่ 10 ชุดทดลองปุ๋ยหมัก 42
ตารางที่ 11 รายการเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง และบริษัทผู้ผลิต 43
ตารางที่ 12 รายการสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง และบริษัทผู้ผลิต 43
ตารางที่ 13 บัญชีรายการข้อมูลของการผลิตสับปะรดนางแลในแต่ละกระบวนการ 55
ตารางที่ 14 ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม 57
ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างและค่าการนำไฟฟ้า 58
ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 60
ตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร 62
ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการวัฏจักรชีวิตทั้ง 6 สถานการณ์ 64
ตารางที่ 19 ผลการประเมินผลกระทบของตัวชี้วัดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการเปรียบเทียบสถานการณ์ทั้ง 6 สถานการณ์ 67
ตารางที่ 20 ผลการประเมินผลกระทบโดยภาพรวมหรือผลกระทบปลายทางทั้ง 6 สถานการณ์ 75

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 มูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์จากสับปะรดในปี พ.ศ. 2557-2561 2

ภาพที่ 2 การจัดแบ่งกลุ่มจุลินทรีย์โดยอาศัยช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการเจริญเติบโต..... 8

ภาพที่ 3 การประเมินวัฏจักรชีวิตตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave)..... 22

ภาพที่ 4 แผนภูมิแสดงมาตรฐานในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14000..... 22

ภาพที่ 5 กรอบการดำเนินงาน LCA ตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040..... 24

ภาพที่ 6 ขอบเขตแบบ Cradle-to-Grave..... 26

ภาพที่ 7 ขอบเขตแบบ Cradle-to-Grave..... 26

ภาพที่ 8 ขั้นตอนการศึกษา..... 39

ภาพที่ 9 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2559 ของตำบลนางแล อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย และตำแหน่งเก็บตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา..... 41

ภาพที่ 10 ขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบ “Cradle-to-farm-gate”..... 54

ภาพที่ 11 การเปรียบเทียบผลกระทบของตัวชี้วัดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของสถานการณ์ทั้ง 6 สถานการณ์..... 68

ภาพที่ 12 ผลของมลสารขาเข้าที่มีความสามารถในการกอให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดลอมของสถานการณ์พื้นฐาน..... 69

ภาพที่ 13 ผลของมลสารขาเข้าที่มีความสามารถในการกอให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดลอมของสถานการณ์ที่ 1..... 69

ภาพที่ 14 ผลของมลสารขาเข้าที่มีความสามารถในการกอให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดลอมของสถานการณ์ที่ 2..... 70

ภาพที่ 15 ผลของมลสารขาเข้าที่มีความสามารถในการกอให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดลอมของสถานการณ์ที่ 3..... 70

ภาพที่ 16 ผลของมลสารขาเข้าที่มีความสามารถในการกอให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดลอมของสถานการณ์ที่ 4..... 71

ภาพที่ 17 ผลของมลสารขาเข้าที่มีความสามารถในการกอให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสถานการณ์ที่ 5 71

ภาพที่ 18 ผลการประเมินผลกระทบของกลุ่มผลกระทบทั้ง 3 ด้านจากการเปรียบเทียบสถานการณ์ทั้ง 6 สถานการณ์ 75

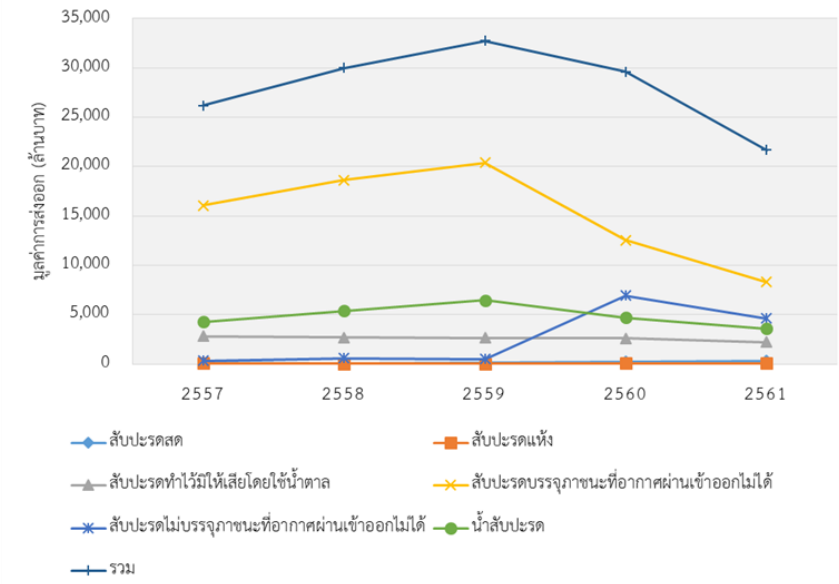
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สับปะรด (*Ananas comosus* L. Merr) เป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ประเทศไทยมีการส่งออกสับปะรดและผลิตภัณฑ์สับปะรดในหลายรูปแบบ เช่น สับปะรดสด สับปะรดแช่แข็ง สับปะรดแห้ง สับปะรดกวน สับปะรดกระป๋อง และน้ำสับปะรดเข้มข้น เป็นต้น ในปี พ.ศ. 2557-2561 มีมูลค่าการส่งออกรวมผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 127,328 ล้านบาท โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2559 มีปริมาณการส่งออกรวมผลิตภัณฑ์ทั้งหมดสูงที่สุดประมาณ 32,723 ล้านบาท ซึ่งสับปะรดกระป๋องและน้ำสับปะรดมีมูลค่าการส่งออกมากที่สุดประมาณ 20,395 และ 6,465 ล้านบาท ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการส่งออกอันดับต้น ๆ ของประเทศไทย แต่อย่างไรก็ตามในปี พ.ศ. 2560-2561 มูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์จากสับปะรดมีแนวโน้มลดลง ดังภาพที่ 1 อาจจะเป็นผลเนื่องมาจากความต้องการสินค้าในประเทศที่นำเข้าและภาวะเศรษฐกิจของประเทศนั้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561)

สับปะรดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดี จึงสามารถทำการเพาะปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทย จังหวัดเชียงรายซึ่งเป็นแหล่งผลิตสับปะรดคุณภาพสูงและเป็นที่ต้องการของท้องตลาดที่สำคัญจังหวัดหนึ่ง พันธุ์ที่ปลูกมาก ได้แก่ พันธุ์นางแล และพันธุ์ภูแล ซึ่งเป็นผลิตผลทางการเกษตรของตำบลนางแล อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย ที่ได้รับการขึ้นทะเบียนเป็นสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indications; GI) ด้วยรสชาติที่ดีและเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวของพืชประจำถิ่น ทำให้เป็นที่นิยมและมีความต้องการในตลาดทั้งในและต่างประเทศ (ดำรงพล คำแหงวงศ์ และแดน อุตรพงษ์, 2555) อย่างไรก็ตามผู้ผลิตสับปะรดในจังหวัดเชียงรายประสบปัญหาในหลายด้าน ทั้งในด้านสังคม-เศรษฐกิจ เช่น ปัญหาในการปลูกสับปะรดในจังหวัดเชียงราย คือ ได้ผลผลิตต่อไร่ค่อนข้างต่ำ และคุณภาพของสับปะรดไม่ได้มาตรฐาน รวมถึงการขาดการวางแผนการปลูกที่ดี ปัญหาด้านคุณภาพของสับปะรด ปัญหาราคาตกต่ำ ต้นทุนการผลิตมีราคาสูง และหนี้สินของเกษตรกร เป็นต้น ซึ่งได้มีหน่วยงานภาครัฐ เช่น สำนักงานเกษตรจังหวัด สถาบันการศึกษา ได้เข้ามาหนุนเสริมและแนะแนวทางในการแก้ไขปัญหา รวมถึงแนะนำการใช้เทคโนโลยีการปลูก การดูแล

รักษา การให้ปุ๋ย และการบังคับให้ออกดอก ทำให้เกษตรกรมีความเข้าใจถูกต้องมากขึ้น นอกเหนือจากปัญหาด้านสังคมและเศรษฐกิจแล้ว การปลูกสับปะรดยังนำมาซึ่งปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมในหลากหลายรูปแบบ เช่น การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก การพังทลายของดิน การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำจากการชะล้างของปุ๋ยเคมี และการกำจัดวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอย่างไม่ถูกวิธี เช่น การเผา เป็นต้น เป็นผลมาจากเกษตรกรยังขาดความรู้ความเข้าใจ และไม่สามารถควบคุมการใช้ทรัพยากรให้เหมาะสมกับผลผลิตที่ได้ ซึ่งการเพาะปลูกจะต้องมีปัจจัยการผลิต เช่น การใช้สารเคมี สารกำจัดศัตรูพืช ปุ๋ย และน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น รวมถึงการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรทางธรรมชาติในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งน้ำ ดิน และอากาศ ปัจจัยดังกล่าวจึงทำให้การปลูกสับปะรดเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อม



ภาพที่ 1 *มูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์จากสับปะรดในปี พ.ศ. 2557-2561*

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2561)

ปัจจุบันเกษตรกรไทยในแต่ละพื้นที่สามารถผลิตพืชผลทางการเกษตรได้มากมายหลายชนิด นอกเหนือจากผลผลิตที่ได้ยังมีสิ่งที่ตกค้างหรือผลพลอยได้จากการผลิตพืชนั้น ๆ เป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นซากของต้นพืชและเศษพืชที่ถูกเก็บเกี่ยวผลผลิตออกแล้ว เช่น ต้นข้าวโพด ข้าว หรือส่วนของผลผลิตที่ผ่านการตัดแต่งให้มีคุณภาพ และเกรดตรงตามมาตรฐานการจำหน่าย เช่น เศษใบพืชซังข้าวโพด เปลือกถั่ว และใบสับปะรด เป็นต้น เกษตรกรส่วนใหญ่มีการกำจัดเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเหล่านี้อย่างไม่เหมาะสม เช่น ปล่อยกองทิ้งหรือเผาทำลายวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

เป็นต้น ซึ่งการทิ้งหรือเผาทำลายวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่าง ๆ เป็นการทำลายสภาพแวดล้อมอย่างมาก เนื่องจากก่อให้เกิดมลพิษทั้งทางดิน น้ำ และอากาศ (อมลณัฐ ฉัตรตระกูล, 2555) โดยทั่วไปแล้วเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสามารถใช้ประโยชน์เพื่อเป็นวัตถุดิบได้อย่างหลากหลาย เช่น ใช้เป็นวัสดุบำรุงดินและพืช เช่น การไถกลบตอซังข้าว ถั่วและพืชเศรษฐกิจอื่นลงดินเพื่อบำรุงดิน เป็นต้น ใช้ผลิตพลังงานชีวมวลและผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น แกลบดิบนำมาเผาถ่าน และผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น อีกทั้งใช้ในการผลิตเป็นปุ๋ยหมักเพื่อปรับปรุงดินและบำรุงพืชที่ปลูก ซึ่งมีการศึกษาถึงการใช้วัสดุเหลือใช้ต่าง ๆ มาผลิตเป็นปุ๋ยหมัก เช่น การใช้ปุ๋ยหมักฟางข้าวกับผัก (สมถวิล รุ่งศิรินันท์พร, 2545) ใช้กากตะกอนน้ำเสีย กากละหุ่ง ฮิวมัส และปุ๋ยหมักฟางข้าว เป็นแหล่งปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับปลูกข้าว (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์ และสุเทพ ทองแพ, 2545) เป็นต้น อย่างไรก็ตามในประเทศไทยยังไม่พบรายงานการใช้ประโยชน์ของวัสดุเหลือใช้ของใบสับปะรดในรูปแบบของการผลิตปุ๋ยหมัก

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยได้เห็นถึงความสำคัญของการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ จึงมองเห็นศักยภาพในการนำใบสับปะรดพันธุ์นางแลมาผลิตเป็นปุ๋ยหมัก เนื่องจากใบของสับปะรดพันธุ์นางแลมีลักษณะเรียบไม่มีหนาม จะมีหนามที่ปลายใบเล็กน้อย และสับปะรดพันธุ์นางแลเป็นสับปะรดพันธุ์เศรษฐกิจที่มีคุณภาพสูง และได้รับความนิยมจากผู้บริโภค โดยมีแหล่งผลิตอยู่ที่ตำบลนางแล อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การใช้ทรัพยากรต่าง ๆ รวมถึงการปล่อยของเสียจากการปลูกสับปะรด โดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA) ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับการจัดการสิ่งแวดล้อมที่สามารถประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ในภาพรวม โดยสามารถกำหนดขอบเขตของการประเมินจากตัวนำเข้า (Input) และตัวส่งออก (Output) รวมไปถึงการปลดปล่อย (Emission) ที่เกิดขึ้นในระบบตลอดวัฏจักรชีวิต ซึ่งผลจากการประเมินตลอดวัฏจักรชีวิตจะสามารถแสดงให้เห็นถึงต้นเหตุของการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญในแต่ละกระบวนการ และเพื่อประเมินศักยภาพของปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร คือ ใบสับปะรด ในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการปลูกสับปะรด และนำผลการศึกษามาเสนอแนะแนวทางเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต ช่วยลดต้นทุนในการเพาะปลูก รวมไปถึงการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในการควบคุมมลภาวะทางอากาศ ทางดินและทางน้ำของการปลูกสับปะรดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการปลูกสับปะรดนางแล

1.2.2 เพื่อประเมินและวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของสับปะรดนางแลเน้นขั้นตอนในการเพาะปลูก โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต

1.2.3 เพื่อประเมินศักยภาพของปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุเหลือใช้จากการเพาะปลูก คือ ใบสับปะรด ในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการปลูกสับปะรดนางแล

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดมีศักยภาพในการลดกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการปลูกสับปะรดได้

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1.4.1 เก็บข้อมูลปฐมภูมิเกี่ยวข้องกับปัจจัยการผลิต ตัวอย่างใบสับปะรดและดินที่ใช้ในการศึกษาได้มาจากไร่สับปะรดในพื้นที่ศึกษา ตั้งอยู่ที่ตำบลนางแล อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย ช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง ในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561 และสร้างชุดการทดลองการทำปุ๋ยหมักจากตัวอย่างใบสับปะรด และวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นและปริมาณธาตุอาหาร ดำเนินการณ ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

1.4.2 วิเคราะห์คุณสมบัติเคมีของปุ๋ยหมัก โดยวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดและสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด และการประเมินและวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยใช้โปรแกรม open LCA ร่วมกับฐานข้อมูลบัญชีวัฏจักรชีวิต (LCI database) Ecoinvent

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละกระบวนการตลอดวัฏจักรชีวิตของการปลูกสับปะรดนางแล

1.5.2 ทราบถึงศักยภาพของปุ๋ยหมักจากใบสับปะรด ในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการปลูกสับปะรดนางแล

1.5.3 เสนอแนะแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต และช่วยลดต้นทุนในการเพาะปลูกสับปะรดนางแล

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปุ๋ยหมัก (Compost)

2.1.1 ความหมายของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมัก หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการนำวัสดุอินทรีย์ พวกเศษซากพืช ซากสัตว์ และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ชื้น สับ บด ร่อน และผ่านการหมักอย่างสมบูรณ์ จนแปรสภาพไปจากเดิม กระบวนการหมักเป็นการย่อยสลายทางชีววิทยาโดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์บางชนิดภายใต้สภาวะที่เหมาะสม (นรีลักษณ์ ชูวรเวช, 2548) ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพต้องระบุชนิดวัสดุอินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตและผ่านกระบวนการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ทำให้ได้เนื้อปุ๋ยหมักที่มีลักษณะนุ่มยุ่ย ขาดจากกันได้ง่าย มีสีดำคล้ำหรือสีน้ำตาลปนดำ ไม่มีกลิ่น มีอุณหภูมิไม่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศ และมีลักษณะที่สามารถตรวจสอบได้ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่องมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 (สาลี่ ชินสถิต และหฤหัย แก่นลา, 2548) โดยสามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน ทำให้ดินโปร่งเพิ่มความพรุนให้แก่ดิน เกิดการระบายน้ำและอากาศในดินดีขึ้น ช่วยให้ดินอุ้มน้ำและดูดซับธาตุอาหารพืชดีขึ้น เพิ่มปริมาณธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีพของพืช ทำให้พืชและจุลินทรีย์เจริญเติบโตและส่งเสริมกิจกรรมต่าง ๆ ได้ดีขึ้น (ทิพวรรณ สิทธิรังค์สรรค์, 2547)

2.1.2 กระบวนการทำปุ๋ยหมัก

กระบวนการทำปุ๋ยหมักเป็นกระบวนการทางชีวเคมีของจุลินทรีย์ ในการย่อยสลายอินทรียวัตถุ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในด้านความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน รวมทั้งอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน ให้ได้ผลผลิตที่เป็นอินทรียวัตถุที่ย่อยสลายแล้วซึ่งมีคุณค่าในการปรับปรุงคุณภาพดิน (สุธรรม ประทุมสวัสดิ์, 2545) กระบวนการทำปุ๋ยหมักสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี (ฉัตรชัย จันทร์เด่นดวง, 2550) ดังนี้

1) การทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศ (Aerobic Composition)

การทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศ อาศัยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนช่วยในการย่อยวัตถุอินทรีย์ โดยต้องมีสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานดังนี้ (1) อากาศมีออกซิเจน (2) วัตถุอินทรีย์จะต้องมีอัตราส่วนของไนโตรเจน 1 ส่วนต่อคาร์บอน 30-70 ส่วน (3) จะต้องน้ำมีอยู่ประมาณ 40-60 เปอร์เซ็นต์ (4) มีออกซิเจนให้จุลินทรีย์ใช้อย่างเพียงพอ ถ้าขาดสิ่งใดสิ่งหนึ่งใน 4 สิ่งนี้การทำปุ๋ยหมัก

แบบใช้อากาศก็ไม่เกิดขึ้น ผลผลิตที่ได้จากการทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศ คือ ไอน้ำ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สอื่น ๆ เช่น แอมโมเนีย (NH_3) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และวัตถุอินทรีย์ที่ย่อยสลายแล้วที่เรียกว่า ฮิวมัส (Humus) ดังปฏิกิริยาที่ 1

$$\text{Organic Matter (CHONS)} + \text{Nutrients} + O_2 \xrightarrow{\text{Aerobic bacteria}} \text{Resistant Organic Matter} + H_2O + CO_2 + NH_3 + SO_2 + \text{New Cell} + \text{Heat} \quad (1)$$

2) การทำปุ๋ยหมักแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Composition)

การทำปุ๋ยหมักแบบไม่ใช้อากาศ อาศัยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนในอากาศ 2 กลุ่ม คือ จุลินทรีย์สร้างกรด (Acid forming Anaerobic Bacteria) และจุลินทรีย์สร้างมีเทน (Methanogenic Anaerobic Bacteria) และสามารถย่อยวัตถุอินทรีย์ที่มีอัตราส่วนไนโตรเจนสูงกว่าและอัตราส่วนคาร์บอนต่ำกว่าการทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศ และการย่อยสามารถเกิดขึ้นได้ที่ความชื้นสูงกว่า โดยมีอัตราการสลายตัวอย่างช้า ๆ และใช้เวลานาน ผลผลิตที่ได้จากการทำปุ๋ยหมักแบบไม่ใช้อากาศ คือ แก๊สมีเทน (CH_4) และวัตถุอินทรีย์ที่ย่อยสลายแล้ว ดังปฏิกิริยาที่ 2

$$\text{Organic Matter (CHONS)} + \text{Nutrients} + C_2H \xrightarrow{\text{Anaerobic bacteria}} \text{Resistant Organic Matter} + CO_2 + CH_4 + NH_3 + H_2S + \text{New Cell} + \text{Heat} \quad (2)$$

2.1.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการหมัก

กระบวนการย่อยภายในกองปุ๋ยหมักเกิดขึ้นโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ประสิทธิภาพของการย่อยสลายขึ้นอยู่กับปัจจัยของสภาพแวดล้อมในกองปุ๋ยหมักหลายประการ ปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายนั้นอาจจะส่งเสริมหรือลดอัตราการย่อยสลายของวัสดุได้ ดังนั้นสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ภายในกองปุ๋ยหมักจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์และมีผลถึงอัตราการย่อยสลายด้วย ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการหมัก แบ่งออกได้ดังนี้

2.1.3.1 ค่าความเป็นกรดด่างหรือค่าพีเอช (pH)

ค่าความเป็นกรดด่าง เป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการย่อยสลายของวัสดุในกระบวนการของปุ๋ยหมัก เนื่องจากจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายมีความสามารถที่จะเจริญเติบโตที่ความเป็นกรดด่างที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปค่าความเป็นกรดด่างที่เป็นกลาง (pH=7) จะเกิดการสลายสารอินทรีย์ได้เร็วกว่าค่าความเป็นกรดด่างที่สูง ซึ่งค่าความเป็นกรดด่างที่ต่ำกว่า 4.5

หรือสูงกว่า 9.0 มีผลยับยั้งการย่อยสลายสารอินทรีย์ (ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) การที่ค่าความเป็นกรดด่างของกองปุ๋ยหมักอยู่ในสภาวะที่เป็นกลางแสดงว่าปุ๋ยหมักนั้นเจริญเต็มที่ (Charest & Beauchamp, 2002; Aparna, Saritha, Himabindu & Anjaneyulu, 2008) เมื่ออินทรียวัตถุถูกย่อยสลายจะมีลักษณะเป็นสารที่ต้านทานการเปลี่ยนแปลงระดับค่าความเป็นกรดด่างที่ดี และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้มากขึ้น ซึ่งเป็นผลดีต่อการนำไปใช้เป็นสารปรับปรุงดิน (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2548) โดยกรมวิชาการเกษตร (2548) ได้กำหนดค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมอยู่ที่ช่วง 5.5-8.5

2.1.3.2 ความชื้น (Moisture)

ความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการทำปุ๋ยหมักจะแตกต่างกันไปตามวัตถุดิบตั้งต้นของปุ๋ยหมัก โดยทั่วไปอยู่ในช่วงร้อยละ 50-60 ถ้าความชื้นของปุ๋ยหมักมากเกินไปจะทำให้อัตราการไหลผ่านของอากาศเป็นไปได้ยากซึ่งอาจทำให้เกิดการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน แต่ถ้าหากความชื้นต่ำเกินไปจะทำให้อัตราการไหลผ่านของอากาศไม่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาได้อย่างทั่วถึง (ประกาศิต อินทรสำอางค์, 2549) จากนั้นความชื้นจะค่อย ๆ ลดต่ำลงจากการระเหยของน้ำและการนำไปใช้ของจุลินทรีย์ ปุ๋ยหมักที่เจริญเต็มที่ควรมีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 35 ตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (2548) ดังนั้นจึงต้องควบคุมให้มีความชื้นระยะแรกและระยะต่อมาประมาณร้อยละ 60 แล้วปล่อยให้ลดลงทีละน้อย จนได้ปุ๋ยหมักที่มีความชื้นร้อยละ 40 ซึ่งกระบวนการในการหมักปุ๋ยของวัสดุจะเข้าสู่สภาวะสิ้นสุดการหมัก และพบว่ากระบวนการหมักปุ๋ยจะไม่เกิดการหมักต่อไปเมื่อความชื้นมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 11.2 (ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร, 2551)

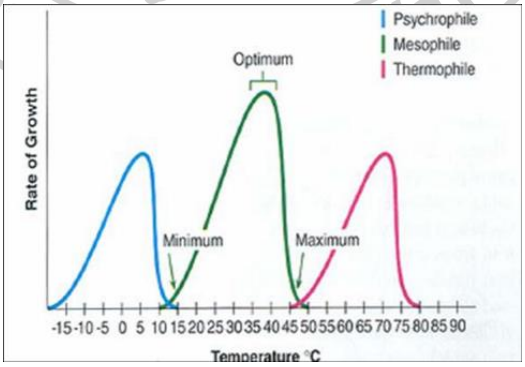
2.1.3.3 สัดส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน (C:N ratio)

สัดส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน บ่งบอกถึงการย่อยสลายสารอินทรียวัตถุเหล่านั้นว่าจะมีไนโตรเจนเพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์หรือไม่ และทำให้การย่อยสลายอินทรียวัตถุดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2551) อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่จัดว่าเพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์อยู่ในช่วง 20-30 (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2548) และเมื่อผ่านกระบวนการย่อยสลายแล้วอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนควรมีค่าไม่เกิน 20 ตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (2548) และปริมาณอินทรียวัตถุที่เหลืออยู่ต้องมีเพียงพอในการปรับปรุงคุณภาพดินโดยต้องมีไม่ต่ำกว่าร้อยละ 30 ของน้ำหนัก หากมี

ไนโตรเจนน้อยจะทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ลดลง และการย่อยสลายเกิดได้ช้า แต่ถ้าค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมจะเกิดการสูญเสียไนโตรเจนไปในรูปของแก๊สแอมโมเนีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใต้สภาพอุณหภูมิและค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูง (ภาวนา ลิกขนานนท์, 2544) เนื่องจากวัสดุอินทรีย์แต่ละชนิดมีสัดส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนแตกต่างกัน ดังนั้นในการผลิตปุ๋ยหมักควรใช้วัสดุที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมหรือหากสูงเกินไปควรมีการเติมสารประกอบไนโตรเจนในรูปต่าง ๆ เช่น ยูเรีย เพื่อให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำลง

2.1.3.4 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิ เป็นปัจจัยสำคัญที่บ่งบอกถึงความสามารถในการย่อยสลายวัสดุของจุลินทรีย์โดยปฏิกิริยาการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ภายในกองปุ๋ยจะให้ความร้อนออกมา อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะอยู่ในช่วง 45-70 องศาเซลเซียส (Fourti, Jedidi, & Hassen, 2010; Zeng et al., 2009) โดยในระยะแรกอุณหภูมิจะค่อย ๆ สูงขึ้นจนถึง 50-60 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายวัสดุในช่วงนี้ คือ จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูง (Thermophile) แต่ในกรณีที่อุณหภูมิสูงเกินไปจะมีผลไปยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้การย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์และกิจกรรมของจุลินทรีย์ลดลง ส่งผลให้อุณหภูมิลดลงจนถึงจุดที่จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ หลังจากนั้นอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงจนถึงระดับที่จุลินทรีย์ชอบอุณหภูมิปานกลาง (Mesophilic stage) จนสิ้นสุดการย่อยสลาย ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การจัดแบ่งกลุ่มจุลินทรีย์โดยอาศัยช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการเจริญเติบโต
ที่มา: ศูนย์ข้อมูลเครือข่ายอาหาร (2561)

2.1.3.5 ออกซิเจน (Oxygen)

ออกซิเจน เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน เพื่อใช้รับอิเล็กตรอนที่ส่งถ่ายในเซลล์ของจุลินทรีย์และใช้ในกระบวนการเมทาบอลิซึม จุลินทรีย์ร้อยละ 90 ที่นำมาใช้ในการย่อยสลายเป็นพวกที่ต้องการอากาศ ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต ดังนั้นจึงจำเป็นต้องระบายอากาศเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโต ถ้าจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดีจุลินทรีย์เหล่านั้นจะสามารถสร้างเอนไซม์ออกมาเพื่อย่อยสลายได้มากขึ้นตามไปด้วย แต่ถ้าหากออกซิเจนถูกจำกัดหรือมีออกซิเจนน้อยเกินไป ดังเช่นในการหมักปุ๋ยที่อยู่ในสภาวะไร้อากาศจะทำให้การหมักช้าลงและเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในระหว่างกระบวนการหมัก ดังนั้นจึงควรกลับกองปุ๋ยหมักเป็นระยะเพื่อให้จุลินทรีย์ได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอ ซึ่งจะช่วยเร่งกระบวนการหมักปุ๋ยให้เร็วขึ้น (ปรัชญา ธัญญาดี, พิทยากร ลิ่มทอง และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, 2537)

2.1.3.6 ลักษณะของวัสดุหมัก

วัสดุหมักเป็นส่วนประกอบของวัสดุอินทรีย์มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการหมักปุ๋ย วัสดุอินทรีย์ที่นำมาทำปุ๋ยหมักไม่ควรมีสารที่เป็นพิษเป็นส่วนประกอบ เช่น ปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในวัสดุหมักมีมากเกินไปจนเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ จึงส่งผลให้กระบวนการเป็นปุ๋ยหมักช้าลง ขนาดของวัสดุหมักที่มีขนาดเล็กจะช่วยให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้เร็วขึ้น ขนาดที่เป็นที่ต้องการที่สุดสำหรับการทำปุ๋ยหมัก คือ น้อยกว่า 5 เซนติเมตร ในกรณีของกระบวนการเป็นปุ๋ยหมักแบบมีอากาศ ขนาดของวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมักควรจะมีขนาดเล็กเท่าที่จะเป็นได้ เพื่อให้เกิดการถ่ายเทอากาศที่พอเพียง และเพื่อง่ายต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ (ภาวนา ลิกขนานนท์, 2544) โดยวัสดุอินทรีย์ที่ใช้ทำปุ๋ยหมักแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ วัสดุที่ย่อยสลายง่ายกับวัสดุที่ย่อยสลายยาก ซึ่งวัสดุทั้ง 2 ประเภทนี้มีองค์ประกอบที่เป็นธาตุอาหารพืชหลัก ดังแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายชนิดต่าง ๆ

ชนิดของวัสดุ	N %	P_2O_5%	K_2O %	C %	C/N	pH
ฟางข้าว	0.55	0.09	2.39	48.82	89	8.20
ผักตบชวา	1.27	0.71	1.84	43.56	34	7.80
หญ้าขน	1.38	0.34	3.69	48.66	35	7.10
มันสำปะหลัง						
เปลือก (เปียก)	0.60	0.22	0.67	48.85	81	3.60
เปลือก (แห้ง)	0.59	0.19	0.77	31.52	53	4.45
เหง้า	1.48	0.48	1.01	54.49	37	4.70
สับปะรด						
เปลือก (โรงงาน)	1.79	0.85	5.46	46.80	26	7.60
ใบ (สด)	1.12	0.48	2.64	53.84	48	6.05
เศษ (สด)	0.82	-	-	49.95	61	9.05

ที่มา: ปรับปรุงจาก การปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ, โดย กรมพัฒนาที่ดิน (2540)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของวัสดุอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากชนิดต่าง ๆ

ชนิดของวัสดุ	N %	P_2O_5 %	K_2O %	C %	C/N	pH
ขี้เลื่อย						
ไม้เบญจพรรณ	0.32	0.16	2.45	62.70	196	5.40
ไม้ยางเก่า	0.25	0.15	0.53	56.37	225	7.40
ไม้ยางใหม่	0.19	0.36	0.40	58.41	307	7.50
อ้อย						
ใบอ้อย	0.49	0.21	0.58	51.52	105	6.20
กากอ้อย	0.40	0.15	0.44	57.69	146	6.05
อื่น ๆ						
ขุยมะพร้าว	0.36	0.05	2.94	60.13	167	6.15
แกลบ	0.36	0.09	1.08	54.72	152	6.18

ที่มา: ปรับปรุงจาก การปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ, โดย กรมพัฒนาที่ดิน (2540)

ความแตกต่างกันของวัสดุทั้งสองประเภท คือ ค่าเฉลี่ยไนโตรเจนและคาร์บอน วัสดุที่ย่อยสลายง่าย นอกจากมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเฉลี่ยน้อยกว่าวัสดุที่ย่อยสลายมากแล้วยังมีค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนมากกว่าอีกด้วย การที่วัสดุย่อยสลายยากมีปริมาณคาร์บอนอยู่สูง อาจเป็นเพราะมีส่วนที่เป็นเยื่อใยแข็งเป็นองค์ประกอบในเนื้อเยื่อพืชมากกว่า ผลที่ตามมา คือ ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ช้าลง เพราะโครงสร้างสารประกอบเหล่านี้ซับซ้อนมาก การสลายตัวให้เป็นชิ้นเล็กลง จำเป็นต้องใช้พลังงานจากจุลินทรีย์มาก ดังนั้นจุลินทรีย์จึงต้องเพิ่มการใช้ไนโตรเจนเพื่อเพิ่มจำนวนประชากรให้มีกิจกรรมมากขึ้น ถ้าจะให้การย่อยสลายใช้เวลาน้อยลง ต้องเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนลงไปให้เหมาะสม การทำปุ๋ยหมักจะได้ผลเร็วขึ้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540)

2.1.4 ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก

ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก แบ่งออกได้ 4 ข้อ ดังนี้

2.1.4.1 ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน

ดินที่มีอินทรียวัตถุสูง (มากกว่าร้อยละ 3) จะมีสมบัติทางกายภาพที่ดี คือ โครงสร้างดินมีเสถียรภาพ ความหนาแน่นรวมต่ำ การแทรกซึมน้ำของดินสะดวก การระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศดี ดังนั้นการใส่ปุ๋ยหมักในดินที่มีอินทรียวัตถุต่ำหรือปานกลาง จะทำให้สมบัติดินทางกายภาพดังที่กล่าวข้างต้นดีขึ้น ซึ่งช่วยส่งเสริมให้ระบบรากพืชพัฒนาและกระจายออกไปได้กว้างและลึก จึงมีโอกาสดูดธาตุอาหารและน้ำมาใช้ประโยชน์ได้มากกว่าเดิม ดินเนื้อละเอียด เช่น ดินเหนียวและดินร่วนเหนียวที่มีอินทรียวัตถุต่ำ จะมีความหนาแน่นรวมสูง รวมทั้งการระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศช้า การใส่ปุ๋ยหมักเพื่อเพิ่มอินทรียวัตถุ จะทำให้สมบัติดังกล่าวของดินดีขึ้น (Fullen & Catt, 2004) การใช้ปุ๋ยหมักในดินเนื้อหยาบที่มีอินทรียวัตถุต่ำหรือปานกลาง จะช่วยพัฒนาโครงสร้างของดินให้ดีขึ้น เนื่องจากฮิวมัสในปุ๋ยหมักเป็นสารเชื่อมที่ดีทำให้อนุภาคดินเกาะกลุ่มเป็นเม็ดดินและก้อนดิน ตามลำดับ จนได้โครงสร้างดินที่มีเสถียรภาพและทนต่อการกร่อน อย่างไรก็ตามการพัฒนาโครงสร้างดินต้องอาศัยเวลาและการใช้ปุ๋ยหมักอย่างต่อเนื่อง (Tisdall & Oades, 1982)

2.1.4.2 ปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดิน

การใส่ปุ๋ยหมักในดินที่มีอินทรียวัตถุต่ำ จะช่วยเพิ่มชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ดิน รวมทั้งมีกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตมากขึ้น สำหรับสัตว์ในดิน เช่น ไส้เดือนก็มีจำนวนเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกิจกรรมของไส้เดือนในการสร้างโพรงที่ต่อเนื่อง ช่วยในการระบายน้ำและถ่ายเทอากาศ ส่งผลให้รากเจริญเติบโตดีขึ้น (ยงยุทธ โอสภสภา และคณะ, 2551)

2.1.4.3 ปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดิน

ปุ๋ยหมักมีความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation Exchange Capacity; CEC) สูง เมื่อใส่ในดินจึงช่วยเพิ่ม CEC ตามสัดส่วนของอัตราปุ๋ยที่ใส่ด้วย การที่ดินมี CEC สูงขึ้นมีผลดี 2 ประการ คือ เพิ่มปริมาณแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ จึงลดการสูญเสียของธาตุอาหารรูปแคตไอออนไปกับการชะล้าง และดินมีความจุบัฟเฟอร์ (Buffering Capacity) สูงขึ้น จึงต้านทานต่อการเปลี่ยน pH กล่าวคือ เมื่อมีกรดหรือด่างเพิ่มขึ้นในดินเพียงเล็กน้อย pH ของดินก็จะไม่เปลี่ยนแปลง (บัญชา รัตนีทู และศิราณี วงศ์กระจ่าง, 2556)

2.1.4.4 ปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ปุ๋ยหมักเป็นแหล่งธาตุอาหารที่จะปลดปล่อยออกมาให้แก่ต้นพืชอย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอ โดยทั่วไปแล้วปุ๋ยหมักจะมีธาตุอาหารพืชที่สำคัญ คือ ไนโตรเจนซึ่งมีทั้งหมดประมาณ 0.4 ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ประมาณ 0.2 ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียมในรูปที่ละลายน้ำได้ประมาณ 0.5 ถึง 1.8 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณธาตุอาหารดังกล่าวจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของเศษพืชที่นำมาหมักและวัสดุอื่น ๆ ที่ใส่ลงไปในกองปุ๋ย (ธงชัย มาลา, 2546) นอกจากธาตุอาหาร 3 ธาตุที่กล่าวมาแล้ว ปุ๋ยหมักยังมีธาตุอาหารพืชชนิดอื่น ๆ เช่น แคลเซียม กำมะถัน แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี แมงกานีส และทองแดง เป็นต้น ซึ่งปกติแล้วปุ๋ยเคมีจะไม่มีธาตุอาหารดังกล่าวหรือมีเพียงบางธาตุเท่านั้น ธาตุเหล่านี้มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชเช่นเดียวกับธาตุอาหารหลัก เพียงแต่ต้องการในปริมาณน้อยเท่านั้น

นอกจากจะเพิ่มปริมาณธาตุอาหารพืชแล้ว ปุ๋ยหมักยังมีคุณค่าในแง่การปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินมีหลายประการ เช่น ช่วยทำให้ธาตุอาหารพืชในดินแปรสภาพไปอยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดซึมได้ง่าย และช่วยดูดซับธาตุอาหารพืชเอาไว้ไม่ให้ถูกน้ำฝนหรือน้ำชลประทานชะล้างสูญหายไปได้ง่าย ซึ่งเป็นการช่วยถนอมแร่ธาตุอาหารหรือความอุดมสมบูรณ์ของดินไว้อีกทางหนึ่ง แม้ปุ๋ยหมักจะมีปริมาณแร่ธาตุอาหารในปุ๋ยไม่เข้มข้นเหมือนปุ๋ยเคมี แต่สามารถปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินได้เป็นอย่างดี (ธงชัย มาลา, 2546)

2.1.5 ข้อดีและข้อจำกัดของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักมีประโยชน์ต่อการปรับปรุงบำรุงดินหลายด้าน ทั้งทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี ดังที่อธิบายมาแล้วข้างต้นซึ่งจะมีผลต่อการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตของพืช เป็นแหล่งธาตุอาหารพืช ปุ๋ยหมักเป็นผลิตผลจากสิ่งมีชีวิตจึงมีธาตุอาหารต่าง ๆ ที่พืชหรือสัตว์ใช้ในการเจริญเติบโต

ค่อนข้างครบถ้วน เมื่อถูกย่อยสลายธาตุอาหารต่าง ๆ เหล่านั้นจะถูกปลดปล่อยออกมาอย่างช้า ๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืช ทำให้ลดการสูญเสียธาตุอาหารอันเกิดจากการชะล้าง และพืชสามารถดูดใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามปุ๋ยหมักยังมีข้อดีและข้อจำกัดเมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมีหลายประการ โดยสรุปดังตารางที่ 3 (นรีลักษณ์ ชูวรเวช, 2548)

ตารางที่ 3 ข้อดีและข้อจำกัดของปุ๋ยหมัก

ข้อดี	ข้อจำกัด
1) ปุ๋ยหมักมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) สูง เมื่อมีการใช้ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยเคมี สารฮิวมัสในปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งมีประจุลบ ดูดยึดอนุภาคของธาตุอาหารพืชที่มีประจุบวกได้ ทำให้ลดการสูญเสียธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมี 2) เพิ่มความต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างของดิน ทำให้การเปลี่ยนแปลงไม่รวดเร็วจนเป็นอันตรายต่อพืช 3) ช่วยลดความเป็นพิษของธาตุอาหารบางชนิด เช่น อลูมิเนียม แมงกานีส และโซเดียม 4) ทำให้โครงสร้างของดินดีขึ้น เพิ่มช่องว่างระหว่างเม็ดดิน เพิ่มปริมาณก๊าซออกซิเจนในดิน ทำให้รากดูดน้ำและธาตุอาหารได้มากขึ้น 5) เพิ่มแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ เพิ่มปริมาณและกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งจะเป็นตัวย่อยสลายอินทรียวัตถุ ทำให้ธาตุอาหารพืชถูกปลดปล่อยออกมา	1) ปุ๋ยหมักมีธาตุอาหารพืชน้อยกว่าปุ๋ยเคมีในน้ำหนักปุ๋ยเท่ากัน และถูกปลดปล่อยออกมาอย่างช้า ๆ การใส่ปุ๋ยหมักจึงเห็นผลช้ากว่าปุ๋ยเคมีและควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชให้ตรงตามต้องการได้ยาก 2) การใช้ต้องใช้ในปริมาณมากจึงจะให้ธาตุอาหารเพียงพอแก่พืช จะมีปัญหาเรื่องค่าขนส่ง เพราะทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น 3) ไม่สามารถปรับแต่งปุ๋ยหมักให้เหมาะสมกับดินและพืชได้ เนื่องจากปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยที่ได้จากซากพืชและสัตว์ ทำให้มีสัดส่วนระหว่างธาตุอาหารพืชชนิดต่าง ๆ ผันแปรในช่วงที่แคบมากเมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมี ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้ปรับสมดุลของธาตุอาหารในดินได้ 4) อาจมีธาตุโลหะหนักและสารพิษอื่น ๆ เช่น ปุ๋ยหมักที่ทำจากขยะอาจมีธาตุโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว ปรอท ติดมาเป็นจำนวนมากได้ หากขยะที่นำมาหมักเป็นปุ๋ยที่มีธาตุโลหะดังกล่าวปะปนอยู่

ที่มา: ปรับปรุงจาก เอกสารวิชาการเรื่องควรรู้เกี่ยวกับปุ๋ยอินทรีย์, โดย นรีลักษณ์ ชูวรเวช (2548)

2.2 มาตรฐานคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยหมักที่มีการผลิตขึ้นจะมีลักษณะและสมบัติที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและแหล่งที่มาของวัสดุที่ใช้ในการหมัก ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดระดับของพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้และไม่ส่งผลกระทบต่อพืช กรมวิชาการเกษตร (2548) ได้กำหนดมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์โดยเป็นสภาพน้ำหนักปุ๋ยในสภาพชื้น ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รายละเอียดมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์โดยกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2548

ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
1	ขนาดของปุ๋ย (มิลลิเมตร)	ไม่เกิน 12.5 x 12.5
2	ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ (%โดยน้ำหนัก)	ไม่เกิน 35
3	หินและกรวด ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร (%โดยน้ำหนัก)	ไม่เกิน 5%
4	พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่นๆ	ต้องไม่มี
5	อินทรียวัตถุ (%โดยน้ำหนัก)	ไม่ต่ำกว่า 20
6	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.5-8.5
7	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	ไม่เกิน 20:1
8	ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมนต์ต่อเมตร)	ไม่เกิน 10
9	ธาตุอาหารหลัก (%โดยน้ำหนัก) - ไนโตรเจน (total N) - ฟอสฟอรัส (total P_2O_5) - โพแทสเซียม (total K_2O)	 ไม่น้อยกว่า 1.0 ไม่น้อยกว่า 0.5 ไม่น้อยกว่า 0.5
10	การย่อยสลายที่สมบูรณ์ (%โดยน้ำหนัก)	มากกว่า 80
11	สารหนู (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) แคดเมียม (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) โครเมียม (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ทองแดง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ตะกั่ว (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ปรอท (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	ไม่เกิน 50 ไม่เกิน 5 ไม่เกิน 300 ไม่เกิน 500 ไม่เกิน 500 ไม่เกิน 2

ที่มา: ปรับปรุงจาก เอกสารวิชาการเรื่องควรรู้เกี่ยวกับปุ๋ยอินทรีย์, โดยกรมวิชาเกษตร (2548)

2.3 สับปะรด

สับปะรดมีชื่อสามัญว่า Pineapple จัดอยู่ในวงศ์ (Family) Bromeliaceae หรือเรียกว่า Bromeliad Family ในวงศ์นี้มีพืชอยู่ประมาณ 45 สกุล (Genera) และ 2,000 ชนิด (Species) สับปะรดจัดอยู่ในสกุล *Ananas* และที่ปลูกเป็นการค้าในปัจจุบันจัดเป็นชนิด *comosus* พืชในวงศ์นี้เป็นพืชเขตร้อนมีแหล่งกำเนิดอยู่ในเขตร้อนของทวีปอเมริกา สับปะรดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจำพวกไม้เนื้ออ่อนอายุหลายปี (Herbaceous Perennial) จัดเป็นไม้ที่เจริญเติบโตแบบมีรากบนดิน (Terrestrials) แต่ยังมีลักษณะพิเศษของพวกไม้อากาศ (Epiphyte) อยู่บ้าง เช่น เก็บน้ำไว้ในซอกใบได้ สับปะรดที่ปลูกกันทั่วโลกมีมากมายหลายชนิดแต่สามารถจำแนกเป็นกลุ่มพันธุ์ตามเกณฑ์การพิจารณาจากลักษณะทางด้านรูปร่าง รูปทรง คุณภาพ และรสชาติ ได้เป็น 5 กลุ่มพันธุ์ ได้แก่ กลุ่ม Smooth cayenne กลุ่ม Queen กลุ่ม Spanish กลุ่ม Maipure และกลุ่ม Abacaxi ในประเทศไทยพันธุ์ที่นิยมปลูกมี 6 พันธุ์ และสามารถจำแนกสับปะรดได้เป็น 3 กลุ่มพันธุ์ ได้แก่ กลุ่ม Smooth cayenne โดยสับปะรดในกลุ่มนี้มีรสชาติหวานอมเปรี้ยว ได้แก่ พันธุ์ปัตตาเวีย และพันธุ์นางแล กลุ่ม Queen โดยสับปะรดในกลุ่มนี้มีรสชาติดีมีกลิ่นหอม เนื้อกรอบมีสีทองปนส้ม ได้แก่ พันธุ์ภูเก็ตหรือสวี และพันธุ์ภูแล กลุ่ม Spanish โดยสับปะรดในกลุ่มนี้มีรสเปรี้ยว ได้แก่ พันธุ์อินทรชิตแดง และพันธุ์อินทรชิตขาว (จารุพันธ์ ทองแถม, 2526) แหล่งปลูกสับปะรดที่สำคัญของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดเพชรบุรี จังหวัดระยอง จังหวัดจันทบุรี จังหวัดฉะเชิงเทรา จังหวัดลำปาง จังหวัดชุมพร และจังหวัดภูเก็ต เป็นต้น

จังหวัดเชียงรายเป็นอีกจังหวัดหนึ่งที่มีชื่อเสียงในการปลูกสับปะรด พันธุ์ที่ปลูกมาก ได้แก่ พันธุ์นางแล และพันธุ์ภูแล มีพื้นที่การปลูกสับปะรดในจังหวัดเชียงรายประมาณ 28,972 ไร่ โดยกระจายอยู่ในพื้นที่ 9 อำเภอ ซึ่งพบมากในอำเภอเมืองเชียงรายโดยมีพื้นที่ในการเพาะปลูกสับปะรดถึง 14,177 ไร่ (สำนักงานเกษตรจังหวัดเชียงราย, 2555) ส่วนในตำบลนางแล อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย มีพื้นที่ในการเพาะปลูกสับปะรดถึง 4,232 ไร่ (ข้อมูลจากการสำรวจข้อมูลพื้นฐานของหมู่บ้าน ตำบลนางแล ในปีพ.ศ. 2556) (คณะกรรมการสนับสนุนการจัดแผนพัฒนา, 2556) ความเป็นมาของสับปะรดพันธุ์ภูแล ยังไม่มีการศึกษากันอย่างชัดเจน แต่เชื่อกันว่าเริ่มแรกมีผู้นำพันธุ์สับปะรดภูเก็ตมาปลูกที่ตำบลนางแล จังหวัดเชียงราย ผสมกับพันธุ์ดั้งเดิม จึงเรียกว่า “สับปะรดภูแล” เรียกชื่อกันตามแหล่งที่ปลูกครั้งแรก คุณลักษณะของสับปะรดภูแล คือ ผลมีขนาดเล็ก เนื้อแห้ง กรอบสีเหลืองทอง รสชาติหอมหวาน สามารถรับประทานได้ทั้งแกน ส่วนสับปะรดพันธุ์นางแล เชื่อกันว่าเป็นพันธุ์ที่นำเข้ามาจากสิงคโปร์ นำมาปลูกแพร่หลายที่ตำบลนางแล และผลจากสภาพภูมิประเทศ

และภูมิอากาศที่แตกต่างกันทำให้สับปะรดพันธุ์นางแลมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากสายพันธุ์อื่นในกลุ่มเดียวกัน คือ ผลมีขนาดกะทัดรัด ผิวบางจึงให้เนื้อมาก ตาสวยไม่ถี่ เนื้อฉ่ำและละเอียด รสชาติหวานมากและมีกลิ่นหอม จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า สับปะรดพันธุ์น้ำผึ้ง (ดำรงพล คำแหงวงศ์ และแดน อุตรพงษ์, 2555) โดยงานวิจัยนี้สนใจสับปะรดพันธุ์นางแลเป็นพันธุ์กรณีศึกษา เพื่อประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการปลูกสับปะรดนางแล และนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากการปลูกสับปะรด คือ ใบสับปะรดนางแล มาผลิตเป็นปุ๋ยหมัก สับปะรดพันธุ์นางแลมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 ความเป็นมาของสับปะรดพันธุ์นางแล

สับปะรดพันธุ์นางแลหรือสับปะรดพันธุ์น้ำผึ้ง เป็นสับปะรดในกลุ่มสายพันธุ์ยาเคน (Cayenne) เป็นพันธุ์ย่อยของพันธุ์ปัตตาเวีย เพราะมีลักษณะต้น ใบและดอกคล้ายกัน ผู้ที่นำสับปะรดนางแลมาปลูกในตำบลนางแลครั้งแรก ชื่อ นายเข่ง แซ่อุย เป็นชาวจีนไหหลำอพยพมาจากประเทศจีน เดิมอาศัยอยู่ที่บ้านปากกอง อำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่ แล้วอพยพมาตั้งถิ่นฐานอยู่ที่บ้านป่าซางวิวัฒน์ หมู่ที่ 17 ตำบลนางแล อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย นายเข่งได้กลับไปเยี่ยมญาติ และได้นำสับปะรดพันธุ์นี้มาจากประเทศสิงคโปร์ประมาณปี พ.ศ. 2480 ประมาณ 30 หน่อ โดยมี 3 พันธุ์ คือ (1) พันธุ์ใบอ่อน มีหนาม ขนาดผลเล็ก เนื้อกรอบ หวานหอม (2) พันธุ์ใบแข็ง มีหนาม ขนาดผลใหญ่กว่าพันธุ์ใบอ่อน ตาตื้น เนื้อฉ่ำ หวานหอม (3) พันธุ์ไม่มีหนามหรือมีหนามที่ปลายใบเล็กน้อย ขนาดผลใหญ่ ตาโปนยื่นออกมา หวานหอม โดยนำมาปลูกหลังโบสถ์คริสตจักรบ้านป่าซางวิวัฒน์เป็นครั้งแรก ปรากฏว่าในปีแรกสับปะรดทั้ง 3 พันธุ์มีเนื้อขาว หวาน กรอบ แต่ปีต่อ ๆ มา สีเนื้อได้เปลี่ยนเป็นสีน้ำผึ้ง หวานฉ่ำ กลิ่นหอม เหมือนน้ำผึ้ง นายเข่ง แซ่อุย หรือโกเข่ง เป็นคนที่หวงพันธุ์มาก จึงทำให้สับประรดพันธุ์นี้ขยายพันธุ์ช้า ต่อมาในปี พ.ศ. 2505 กำนันคำลือ เขื่อนเพชร ซึ่งเป็นกำนันเก่าตำบลนางแล ได้ซื้อหน่อสับปะรดจากสวนนายเข่ง แซ่อุย มาปลูกและไม่หวงพันธุ์สับปะรดพันธุ์นี้ จึงได้ขยายพันธุ์ต่อไป และเป็นที่นิยมของผู้บริโภคทั่วไป (อังคณา สุวรรณกูฏ, ม.ป.ป.)

2.3.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของสับปะรดพันธุ์นางแล

ทรงพุ่ม ลักษณะทรงพุ่มของสับปะรดพันธุ์นางแลจะเล็กกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย

ใบ ขอบใบเรียบไม่มีหนาม จะมีหนามที่ปลายใบเล็กน้อย

ตา ตานูนโปนยื่นออกมา ตาสวยไม่ถี่ ปอกด้วยมีดเพียงบาง ๆ ก็จะถึงเนื้อในไม่มีส่วนของตาเหลืออยู่ ทำให้ไม่เสียเนื้อใน ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของสับปะรดพันธุ์นางแล

เปลือก เปลือกบางจึงให้เนื้อมาก ไม่เหมาะสำหรับการขนส่งทางไกล เพราะจะทำให้ช้ำได้ง่าย

ขนาดผล มีขนาดผลตั้งแต่ 0.5-2.5 กิโลกรัม เฉลี่ยน้ำหนักผล 1.0-1.5 กิโลกรัม

เนื้อ เนื้อฉ่ำและละเอียด สีเหลืองเข้มออกสีน้ำผึ้ง รสชาติหวานมากและมีกลิ่นหอม จึงเรียกสับปะรดพันธุ์นางแลอีกชื่อหนึ่งว่า สับปะรดพันธุ์น้ำผึ้ง

2.3.3 การปลูกและดูแลรักษาสับปะรดพันธุ์นางแล

สับปะรดพันธุ์นางแลนิยมปลูกในช่วงเดือนสิงหาคมและเดือนกันยายน เพราะช่วงนี้เป็นช่วงที่สับปะรดให้หน่อมาก และสามารถแยกมาปลูกได้เป็นจำนวนมาก แต่ช่วงฤดูปลูกที่เหมาะสมที่สุด คือ ช่วงเดือนพฤษภาคม เนื่องจากมีสภาวะอากาศเหมาะสม ทำให้สับปะรดเจริญเติบโตได้ดี แต่ในช่วงนี้สับปะรดจะแตกหน่อน้อยมาก จึงยากต่อการแยกหน่อปลูก (กรมส่งเสริมการเกษตร, ม.ป.ป.)

2.3.3.1 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

พื้นที่เพาะปลูกควรเป็นพื้นที่ราบมีความลาดเอียงประมาณ 1-3 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่ควรเกิน 5-10 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีน้ำท่วมขัง ดินควรเป็นดินร่วนหรือร่วนปนทราย มีอินทรียวัตถุไม่ต่ำกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ ค่าความเป็นกรดด่างระหว่าง 4.5-6.0 การระบายน้ำและถ่ายเทอากาศดี สภาพภูมิอากาศ ควรมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตประมาณ 24-30 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนกระจายสม่ำเสมอประมาณ 1,000-1,500 มิลลิเมตรต่อปี และมีแหล่งน้ำเพียงพอสำหรับใช้เมื่อจำเป็น ต้องเป็นน้ำสะอาดปราศจากสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ที่มีพิษปนเปื้อน (กรมส่งเสริมการเกษตร, ม.ป.ป.)

2.3.3.2 การเตรียมดินและระยะปลูกที่เหมาะสม

การเตรียมดินและระยะปลูกที่เมาะสมต้องมีการไถ 1 ครั้ง ตากดิน 7-10 วัน พรวน 1-2 ครั้ง ยกแปลงสูงประมาณ 15 เซนติเมตร ขุดหลุมปลูกโดยขุดลึกประมาณ 15 เซนติเมตร แล้วทำแนวปลูกสับปะรด ระยะปลูกที่เหมาะสมในการปลูกคือ ระหว่างต้น 40 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างแถว 100-150 เซนติเมตร ใช้ระยะปลูกให้สม่ำเสมอในแต่ละแปลง อัตราปลูกที่ใช้ไม่น้อยกว่า 6,000 ต้นต่อไร่ แต่ไม่ควรเกิน 12,000 ต้นต่อไร่ (กรมส่งเสริมการเกษตร, ม.ป.ป.)

2.3.3.3 การปลูก

การปลูกต้องปรับดินให้เรียบเสมอกัน ใช้เชือกขึงให้เป็นแถว เอาหน่อพันธุ์ที่เตรียมไว้ปลูกลงในหลุม การวางหน่อพันธุ์จะตั้งตรงหรือเอียงประมาณ 45 องศาแล้วกลบดินบริเวณโคนต้นให้แน่น อย่าให้ดินกลบยอดหรือดินเข้าไปในยอดซึ่งจะทำให้ยอดเน่าได้ ก่อนปลูกต้องชุบหน่อพันธุ์ด้วยสารเมตาแลกซิล (Metalaxyl 25% wg) อัตรา 20-40 กรัม หรือสารฟอสเอทิลอะลูมิเนียม

(Fosetyl-aluminium 80% wg) อัตรา 80-100 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร เพื่อป้องกันโรครากเน่าหรือต้นเน่า (กรมส่งเสริมการเกษตร, ม.ป.ป.)

2.3.3.4 การดูแลรักษา

เมื่อปลูกสับปะรดได้ประมาณ 1 เดือน ให้ใส่ปุ๋ยยูเรียสูตร 46-0-0 อัตรา 10 กรัมต่อต้น (ประมาณ 1 ช้อนโต๊ะ) หลังจากนั้นประมาณ 6 เดือนหรือเริ่มเข้าฤดูฝน (พฤษภาคม) ใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 อัตรา 10 กรัมต่อต้น หลังจากนั้นประมาณ 3 เดือนหรือก่อนหมดฤดูฝน (สิงหาคม) ใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 อัตราส่วน 10 กรัมต่อต้นอีกครั้ง ช่วงเดือนกันยายนถึงตุลาคม ให้ใส่ปุ๋ยเร่งดอก เร่งผลผลิต โดยใช้ปุ๋ยอีทีฟอน อัตราส่วน 10 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร หลังจากนั้นให้ผลผลิตได้ประมาณ 4 เดือน ให้หักส่วนบนของผล (ส่วนที่เป็นใบ) ทิ้งไปแล้วใช้ใบที่อยู่ด้านล่างห่อผลไว้ ก่อนห่อผลสับปะรดให้ใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 เพื่อเพิ่มความหวาน หลังจากที่ห่อผลสับปะรดได้ประมาณ 2 เดือนก็สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ (กรมส่งเสริมการเกษตร, ม.ป.ป.)

2.3.3.5 แมลง โรคที่สำคัญและการป้องกันกำจัด

1) เพลี้ยแป้ง มีรูปร่างเป็นรูปไข่ค่อนข้างกลม ลำตัวยาวประมาณ 2.3-3.0 มิลลิเมตร ผนังลำตัวปกคลุมด้วยไขแป้งสีขาว ตัวอ่อนและตัวเต็มวัยดูดกินน้ำเลี้ยงจากราก ต้น ใบ และผลสับปะรด โดยมีมดเป็นพาหะฝนการแพร่กระจายเพลี้ยแป้ง การป้องกันกำจัดทำได้โดยใช้ไฮดราเมทิลนอน (แอมโดร) 0.73% อัตรา 275 กรัมต่อไร โรยหรือหว่านในแปลงปลูกสับปะรดก่อนปลูกและหลังปลูก 6 เดือน (กรมส่งเสริมการเกษตร, ม.ป.ป.)

2) โรครากเน่าหรือต้นเน่า เกิดจากเชื้อรา ทำให้ส่วนยอดของสับปะรดเปลี่ยนเป็นสีแดงและสีเหลืองซีด ใบยอดล้มพับและหลุดง่าย บริเวณฐานใบมีรอยเน่าช้ำสีเหลืองอ่อนขอบแผลสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ การป้องกันกำจัดทำได้โดยปรับพื้นที่แปลงปลูกให้มีการระบายน้ำได้ดี จุ่มหน่อหรือจุกพันธุ์ก่อนปลูก และพ่นด้วยสารป้องกันกำจัดโรคพืชทุก 2 เดือน เก็บต้นที่เป็นโรคเผาทำลาย (กรมส่งเสริมการเกษตร, ม.ป.ป.)

2.4 การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA)

2.4.1 ประวัติความเป็นมาของการประเมินวัฏจักรชีวิต

2.4.1.1 วิวัฒนาการของการประเมินวัฏจักรชีวิต

จากการเติบโตแบบรวดเร็วด้านเศรษฐกิจ และอุตสาหกรรมที่ใช้ทรัพยากรอย่างฟุ่มเฟือยโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมตั้งแต่ช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่สองเป็นต้นมา จนถึงในช่วงปี ค.ศ. 1980 ผลกระทบจากการพัฒนาเหล่านั้นมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น

ตามลำดับ ส่งผลกระทบทั้งในระดับชุมชนขนาดเล็กไปจนถึงระดับประเทศ องค์กรระหว่างประเทศหลายองค์กรจึงมีการตื่นตัวที่จะลดผลกระทบดังกล่าว เกิดแนวคิด แนวปฏิบัติที่จะสร้างความสมดุลระหว่างการเติบโตด้านเศรษฐกิจ คุณภาพสิ่งแวดล้อมและสังคมขึ้น ซึ่งหนึ่งในนั้น คือ การพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development) ซึ่งเสนอโดยนายกรัฐมนตรีหญิงแห่งนอร์เวย์ Gro Harlem Brundtland ในการประชุม the Word Commission on Environment and Development (WCED) ในปี ค.ศ. 1987 ซึ่งถือว่าเป็นกรอบแนวคิดที่สำคัญต่อการวางทิศทางการพัฒนาของโลกมาจนถึงปัจจุบัน (ภานุพงศ์ พรหมมารัตน์, 2560)

สืบเนื่องมาจนถึงในปี ค.ศ.1992 ในการประชุม the United Nations Conference on Environment and Development หรือที่รู้จักกันใน Earth Summit ณ นครริโอ เดอ จาเนโร ประเทศบราซิล ซึ่งมีภาคีสมาชิกเข้าร่วมกว่า 180 ประเทศ ได้มีข้อตกลงให้รัฐสมาชิกสนับสนุนและยอมรับแนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน โดยคำนึงถึงการลดผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม (ผลจากการร่วมลงนามดังกล่าว เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ประเทศไทยเริ่มมีการบังคับใช้กฎหมาย ข้อบังคับเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ในปี พ.ศ. 2535) ซึ่งในการประชุมดังกล่าว สภาธุรกิจเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Business Council for Sustainable Development; BCSD) ได้มีข้อสรุปเบื้องต้นว่า สังคมธุรกิจระหว่างประเทศจะมีมาตรการในการควบคุมกิจกรรมและต้องพัฒนามาตรฐานสากลว่าด้วยการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อม (International Standards on Environmental Performance) เพื่อให้แน่ใจว่าผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการดำเนินการทางธุรกิจในบริษัทต่าง ๆ ทั่วโลกจะอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ ต่อมาในปี ค.ศ. 1993 International Standard Organisation (ISO) ได้จัดตั้งคณะกรรมการ (ISO/TC207) เพื่อพัฒนามาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อมขึ้น ซึ่งต่อมาได้พัฒนามาเป็นอนุกรมมาตรฐาน ISO 14000 (ISO 14000 series) ที่ใช้กันในปัจจุบัน ตามลำดับ (ภานุพงศ์ พรหมมารัตน์, 2560)

การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือในการจัดการสิ่งแวดล้อมประเภทหนึ่งที่พัฒนาภายใต้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14000 โดยเน้นการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ หลังจากมีการพัฒนาวิธีการในการดำเนินการให้เป็นมาตรฐานระดับหนึ่งแล้ว ภาครัฐของประเทศต่าง ๆ เริ่มนำผลการศึกษา LCA ไปใช้มากขึ้น และมีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณผลกระทบของผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง สำหรับเปรียบเทียบความรุนแรงของปัญหาที่ต่างประเภทกัน เช่น การทำให้โลกร้อนขึ้น และการลดลงของทรัพยากร เป็นต้น ทำให้การศึกษาด้าน LCA เริ่มเป็นที่สนใจมากขึ้นและมีการใช้อย่างแพร่หลาย ในปัจจุบัน LCA ได้รับความสนใจมากขึ้นเนื่องจากถูก

นำมาใช้ในการกำหนดกลยุทธ์หรือนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมระดับชาติ เช่น โครงการด้านสิ่งแวดล้อมของสหประชาชาติ (United Nations Environment Programmer; UNEP) มีการส่งเสริมการใช้ LCA ภายใต้โครงการ Life Cycle Initiative นอกจากนี้บริษัทผู้ประกอบการในยุโรปกลุ่มหนึ่งได้ร่วมกันจัดตั้งองค์กรเอกชนในนามของ Society for the Promotion of Life Cycle Development (SPOLD) เพื่อส่งเสริมการนำแนวคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยพิจารณาถึงผลกระทบตลอดทั้งวัฏจักรชีวิต และยังมีองค์กรระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization; ISO) ได้ออกอนุกรมมาตรฐานการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ คือ ISO 14040 เพื่อกำหนดรูปแบบ วิธีการ และขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อเป็นมาตรฐานให้นักวิจัยด้าน LCA ไปใช้ในการศึกษา และประยุกต์ใช้ต่อไป (เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล, 2559)

2.4.1.2 ประวัติของการศึกษา LCA ในประเทศไทย

ในปี พ.ศ. 2540 สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย และกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ทำการเผยแพร่ LCA เข้าสู่ภาคอุตสาหกรรม เนื่องมาจาก LCA เป็นชุดมาตรฐานในอนุกรมด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม (ISO 14000 series) ซึ่งการเผยแพร่ LCA ในประเทศไทยเริ่มจากการสัมมนาหรือการประชุมเชิงปฏิบัติการผ่านกลุ่มของคณะกรรมการนักธุรกิจเพื่อสิ่งแวดล้อม (Thailand Business Council for Sustainable Development; TBCSD) องค์กรเอกชน หน่วยงานของรัฐสถาบันการศึกษาและกลุ่มนักวิชาการ จนกระทั่งปี พ.ศ. 2545 ได้มีการรวมกลุ่มผู้สนใจด้าน LCA ของประเทศไทย (Thai LCA Network) โดยเป็นศูนย์กลางในการแลกเปลี่ยนข้อมูลความรู้ด้าน LCA ผ่านเว็บไซต์ www.thailca.net

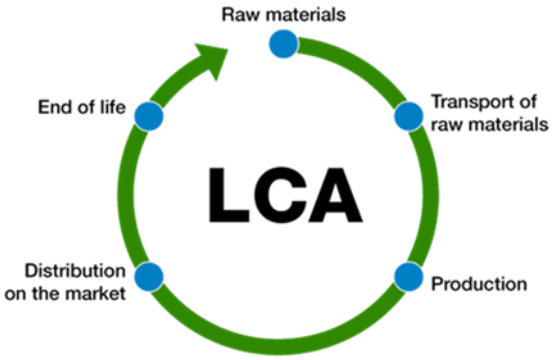
อย่างไรก็ตามการประยุกต์งานด้าน LCA ยังคืบหน้าไปไม่มากนัก โดยพบว่าส่วนใหญ่ความสนใจและความรู้ด้าน LCA นั้นยังถูกใช้ในวงจำกัดเฉพาะบางกลุ่ม โดยเฉพาะสถาบันการศึกษา เช่น สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และมหาวิทยาลัยศิลปากร เป็นต้น บางสถาบันได้มีการนำองค์ความรู้ LCA เข้าไปบรรจุในหลักสูตรการเรียนการสอน งานวิจัยและวิทยานิพนธ์ของนักศึกษา ส่วนองค์กรเอกชนและกลุ่มนักวิจัย สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (สสท.) ได้ให้ความสำคัญและผลักดันองค์ความรู้ด้าน LCA โดยผ่านกิจกรรมการอบรม สัมมนา และการทำโครงการวิจัยเรื่อง LCA ส่วนสำนักงานสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) มีบทบาทสำคัญต่อการผลักดัน LCA ในประเทศไทย

เช่น อบรมให้ความรู้แก่นักวิจัยและบุคลากรรวมถึงให้ทุนสนับสนุนการวิจัยด้าน LCA แก่มหาวิทยาลัยและองค์กรเอกชนต่าง ๆ เป็นต้น (เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล, 2559)

2.4.2 หลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิต

ผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อมมีความสัมพันธ์กัน ตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันส่งผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยการประเมินวัฏจักรชีวิตถูกนำมาใช้ทั่วโลกโดยรัฐบาลและองค์กรอุตสาหกรรม เพื่อให้ได้รู้ถึงความเป็นมาของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละกระบวนการที่เกี่ยวข้อง ปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้นและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ซึ่งหลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นการวิเคราะห์ตั้งแต่แหล่งกำเนิดของทรัพยากรธรรมชาติที่นำมาใช้ไปจนกระทั่งการกำจัดซากหลังหมดอายุการใช้งาน โดยพิจารณาถึงผลการศึกษาทั้งผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อมในทุกประเด็นที่เกิดขึ้น การรวบรวมและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์บริการ การใช้งาน หรือกระบวนการที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำผลที่ได้ไปปรับปรุงพัฒนา วิเคราะห์จุดอ่อนและจุดแข็งได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้น ตลอดจนก่อให้เกิดการจัดการขึ้นอย่างเป็นระบบ (เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล, 2559)

การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวเนื่องกับผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิตในเชิงปริมาณ (Quantitative) การใช้ทรัพยากรมลพิษที่เกิดขึ้นและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากการผลิตผลิตภัณฑ์หรือบริการหนึ่ง ๆ โดยพิจารณาตลอดวัฏจักรชีวิตซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งานผลิตภัณฑ์ การแปรรูป รวมถึงการใช้ซ้ำ (Reuse) การหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) และการกำจัดทิ้งหลังหมดอายุการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า พิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) ดังภาพที่ 3 โดยมีการอ้างอิงถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้และมลพิษที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมทั้งทางอากาศ น้ำ และดิน รวมถึงการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ครอบคลุมทั้งระบบนิเวศ สุขอนามัยและคุณภาพชีวิต นอกจากนี้องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ (ISO) ได้อธิบายหลักการและกรอบแนวคิดการประเมินวัฏจักรชีวิตไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040:2006 ว่า “เป็นการเก็บรวบรวม และการประเมินค่าขององค์ประกอบที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการ (Input) และสิ่งที่ได้ออกมา (Output) รวมถึงผลกระทบต่าง ๆ ที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักร”

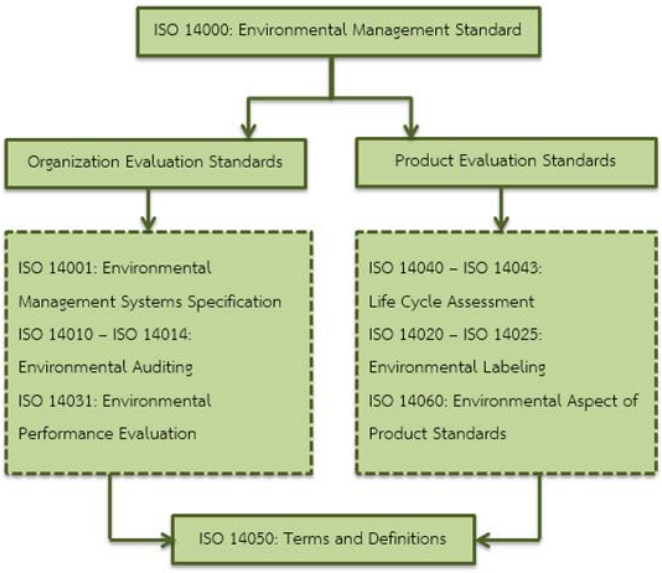


ภาพที่ 3 การประเมินวัฏจักรชีวิตตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave)

ที่มา: Valsir (2018)

2.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอนุกรมมาตรฐาน ISO 14000 กับ การประเมินวัฏจักรชีวิต

อนุกรมมาตรฐาน ISO 14000 เป็นอนุกรมมาตรฐานที่ประกอบไปด้วยหลายมาตรฐาน โดยแต่ละมาตรฐานเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการจัดการสิ่งแวดล้อมทั้งสิ้น ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ มาตรฐานที่เกี่ยวกับองค์กร (Organization Evaluation Standards) มาตรฐานที่เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ (Product Evaluation Standards) และคำศัพท์และคำนิยาม (Terms and Definitions) ดังภาพที่ 4 โดยสองมาตรฐานแรกจะช่วยให้องค์กรสามารถใช้ในการวางแผนและการตัดสินใจสำหรับการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม พร้อมทั้งยังสามารถใช้สื่อสารนโยบายต่าง ๆ ด้านสิ่งแวดล้อมขององค์กรไปสู่ลูกค้า และองค์กรอื่น ๆ ได้อีกด้วย



ภาพที่ 4 แผนภูมิแสดงมาตรฐานในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14000

ที่มา: ปรับปรุงจาก เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล (2559)

การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นการศึกษาถึงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือของกระบวนการผลิตหรือของการบริการนั้น ๆ ซึ่ง LCA ถูกบรรจุอยู่ในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14000 ว่าด้วยเรื่องเกี่ยวกับมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental Management Standard) และมีกรอบการดำเนินงานตามอนุกรมมาตรฐาน 14040 โดยในช่วงเริ่มต้น (ค.ศ. 1997-2005) ได้มีมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับ LCA ดังนี้ (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2551)

1) ISO 14040 - Life Cycle Assessment - Principles and Framework เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงหลักการนิยามศัพท์ และกรอบการดำเนินการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

2) ISO 14041 - Life Cycle assessment - Goal and Scope Definition and Life Cycle Inventory Analysis (LCI) เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการกำหนดวัตถุประสงค์ขอบเขตการวิเคราะห์และจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

3) ISO 14042 - Life cycle assessment - Life Cycle Impact Assessment (LCIA) เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

4) ISO 14043 - Life Cycle Assessment - Life Cycle Interpretation เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการแปลผลข้อมูลที่ได้จากการทำ LCI และ LCIA

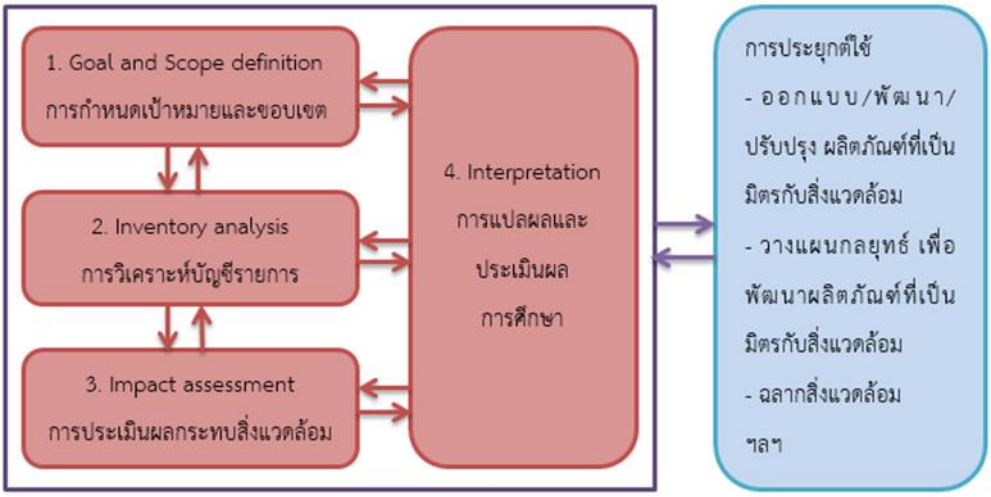
5) ISO 14044 - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines เป็นมาตรฐานเกี่ยวกับการกำหนดความต้องการและขั้นตอนที่จำเป็นในการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการทำ LCA การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ การประเมินค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อม (LCIA) และการตีความผลการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างขั้นตอนต่างๆ และข้อจำกัดของการทำ LCA รวมทั้งคุณภาพและลักษณะของข้อมูลต่างๆ ที่ได้มีการจัดเก็บรวบรวมด้วย ต่อมาในปี ค.ศ. 2006 ได้มีการปรับปรุงเนื้อหาในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ให้เหลือเพียง 2 มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง คือ

1) ISO 14040 : 2006 – The principle and Framework of LCA อธิบายเนื้อหาวิธีการและขั้นตอนรวมเอาทุกขั้นตอนไว้ในมาตรฐานเดียว

2) ISO 14044 : 2006 – Requirements and Guidelines for LCA ข้อกำหนดและแนวทางของแต่ละขั้นตอน

2.4.4 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 : 2006 เป็นกระบวนการคิดอย่างเป็นระบบ โดยกรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิต แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กรอบการดำเนินงาน LCA ตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040

ที่มา: ปรับปรุงจาก International Organization for Standardization (2006)

การดำเนินงานของการประเมินวัฏจักรชีวิตทั้ง 4 ขั้นตอน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (ปัญจ์ปพัชรภร บุญพร้อม และเพชราวลัย ถิระวณัฐพงศ์, 2556; เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล, 2559)

2.4.4.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition)

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาเป็นขั้นตอนแรกของการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งจะประกอบด้วยประเด็นที่สำคัญ คือ

1) การกำหนดเป้าหมายของการศึกษา (Goal) เป็นขั้นตอนที่สำคัญสำหรับการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต เนื่องจากจะมีผลต่อแนวทางและขอบเขตของการศึกษา สำหรับการตั้งเป้าหมายนั้นจะต้องชัดเจนโดยรวมถึงเหตุผลของการศึกษา ผลของการศึกษา การนำผลการศึกษาไปใช้ และผู้ใช้ผลการศึกษา

2) การกำหนดขอบเขตของการศึกษา (Scope) เป็นการระบุสิ่งที่ต้องการประเมินและรายละเอียดภายในระบบซึ่งรวมถึงวิธีในการประเมิน โดยการกำหนดขอบเขตต้องครอบคลุมถึง หน้าที่ของระบบ หน่วยหน้าที่ ระบบที่ต้องการศึกษา ขอบเขตของระบบ วิธีการลงบัญชีข้อมูลที่ต้องการ สมมติฐานที่ใช้ ข้อจำกัดของการศึกษา คุณภาพของข้อมูลเบื้องต้น การกำหนด

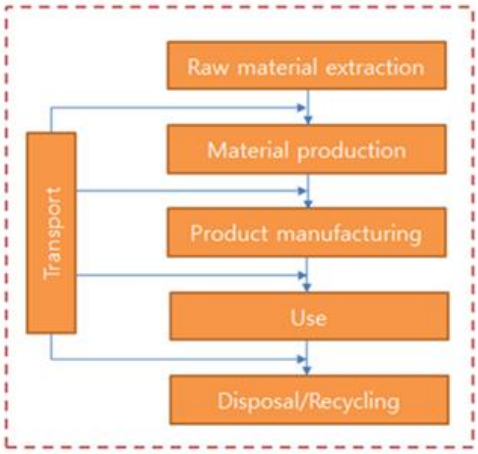
ขอบเขตของการศึกษาควรอธิบายหรือมีการกำหนดอย่างเพียงพอ เพื่อให้แน่ใจว่ารายละเอียดการศึกษามีความเกี่ยวข้องและเพียงพอต่อเป้าหมายที่ตั้งไว้

3) การกำหนดหน่วยหน้าที่ (Functional Unit) โดยถูกใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการจัดเก็บสารขาเข้าและสารขาออกของระบบ มีความสำคัญสำหรับใช้ในการเปรียบเทียบผลของการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ต่างกันระหว่างผลิตภัณฑ์ หรือหลายผลิตภัณฑ์ที่รวมเป็นผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ข้อมูลปริมาณสารที่เข้าและออกจากระบบตั้งอยู่บนพื้นฐานเดียวกัน ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการกำหนดหน่วยหน้าที่ ประกอบด้วย ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ ความคงทนของผลิตภัณฑ์ และคุณสมบัติพื้นฐาน

4) ขอบเขตของระบบ (System Boundaries) หมายถึง ขอบเขตระหว่างระบบผลิตภัณฑ์ (Product System) กับสิ่งแวดล้อมหรือกับระบบผลิตภัณฑ์อื่น ในระบบผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย กระบวนการย่อย ผังการไหลของทรัพยากร วัตถุดิบหรือพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ระบบ และผังการไหลออกของผลิตภัณฑ์หรือของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการต่าง ๆ ออกสู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นขอบเขตที่กำหนดขึ้นในการศึกษาวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์แสดงให้เห็นถึงขอบเขตของการศึกษาระบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการย่อยต่าง ๆ รวมถึงสารขาเข้าและสารขาออกที่เกี่ยวข้องในการศึกษา โดยการกำหนดขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิตมีหลายรูปแบบ แต่การกำหนดขอบเขตที่นิยมใช้ คือ Cradle-to-Grave และ Cradle-to-Gate

4.1) การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle-to-Grave

การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle-to-Grave เป็นการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบสมบูรณ์โดยเริ่มตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบที่ใช้สำหรับการผลิต การขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงาน กระบวนการผลิต การนำไปใช้งาน ตลอดจนการกำจัดซากหลังหมดอายุการใช้งาน หรือกล่าวได้ว่าเริ่มพิจารณาตั้งแต่เกิดจนถึงตาย ดังภาพที่ 6

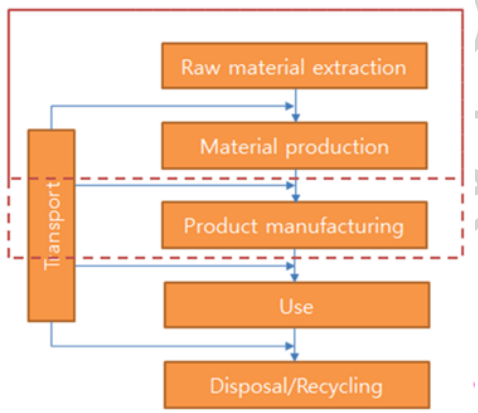


ภาพที่ 6 ขอบเขตแบบ Cradle-to-Grave

ที่มา: ภานุพงศ์ พรหมมารัตน์ (2560)

4.2) การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle-to-Gate

การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle-to-Gate จะพิจารณาตั้งแต่การสกัดวัตถุดิบจนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์มาแต่จะไม่รวมขั้นตอนการใช้งานหรือกำจัดซากหลังหมดอายุการใช้งาน ดังภาพที่ 7 ซึ่งการพิจารณารูปแบบนี้เหมาะสำหรับใช้ในการทำเอกสารการรับรองผลิตภัณฑ์ หรือใช้เพื่อปรับปรุงกระบวนการที่เน้นการผลิต



ภาพที่ 7 ขอบเขตแบบ Cradle-to-Grave

ที่มา: ภานุพงศ์ พรหมมารัตน์ (2560)

5) การระบุคุณภาพของข้อมูล (Data Quality Identification) และข้อจำกัด (Limitation) ต้องมีการกำหนดคุณภาพของข้อมูลที่ต้องการใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อใช้เป็นข้อมูลที่เหมาะสม สำหรับใช้ในการศึกษาซึ่งข้อมูลที่มีคุณภาพนั้นย่อมส่งผลต่อคุณภาพของบทสรุปของการประเมินวัฏจักรชีวิตของสิ่งที่กำลังทำการศึกษา คุณภาพของข้อมูลสามารถอธิบายและประเมินได้ภายใต้ประเด็นดังต่อไปนี้ คุณภาพของข้อมูลในบัญชีรายการ ช่วงเวลาในการศึกษา

ระดับพื้นที่ของการศึกษา เช่น ระดับโลก ระดับภูมิภาค เป็นต้น เทคโนโลยีของการศึกษา แหล่งที่มาของข้อมูล วิธีในการได้มาของข้อมูล ความถูกต้องและสมบูรณ์ของข้อมูล รวมถึงการเป็นตัวแทนของข้อมูล และข้อมูลที่นำมาใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตมีข้อจำกัด ดังนี้

5.1) เวลา โดยข้อมูลที่นำมาใช้ในการคำนวณให้ใช้ค่าเฉลี่ยของทั้งปี หากไม่สามารถเก็บข้อมูล 1 ปีย้อนหลังได้ ต้องมีการระบุเหตุผลให้ชัดเจน อาจใช้การเฉลี่ยข้อมูลจากช่วงเวลาที่กระบวนการผลิตดำเนินอย่างคงที่แทนหรือกรณีที่เป็นการผลิตแบบกะ ให้ใช้ข้อมูลเฉลี่ยจาก 4-5 ครั้ง

5.2) แหล่งที่มาของข้อมูล ต้องมีความน่าเชื่อถือ และสามารถอธิบายที่มาได้ ไม่ว่าจะเป็นแหล่งข้อมูลปฐมภูมิหรือทุติยภูมิ

5.3) ความครบถ้วน พิจารณาความสมบูรณ์ของสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการผลิต ซึ่งอาจตรวจสอบได้จากการทำสมดุลมวลสารและสมดุลพลังงาน

5.4) ความไม่แน่นอนของข้อมูล ควรมีการพิจารณาตัวแปรที่สามารถทำให้ข้อมูลคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้ เช่น การตั้งสมมติฐาน การปันส่วน และเกณฑ์การตัดออก เป็นต้น

2.4.4.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory; LCI)

การวิเคราะห์บัญชีรายการหรือการจัดทำบัญชีรายการเป็นขั้นตอนที่สองของการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งประกอบด้วยประเด็นที่สำคัญ คือ

1) การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection) ซึ่งนำมาใช้ในส่วนของการใช้วัตถุดิบ ของเสียของมลภาวะต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทั้งหมดของวัฏจักรชีวิต โดยข้อมูลต้องคัดเลือกจากทุกกระบวนการ ข้อมูลเหล่านี้สามารถให้รายละเอียดทั้งคุณภาพและปริมาณโดยข้อมูลเชิงปริมาณมีประโยชน์ในการเปรียบเทียบกระบวนการหรือวัตถุดิบต่าง ๆ แต่บ่อยครั้งที่ข้อมูลเชิงปริมาณนี้จะไม่สามารถให้รายละเอียดในส่วนคุณภาพได้ดีนัก

2) การกลั่นกรองขอบเขตของระบบ (Refining System Boundaries) โดยขอบเขตของระบบจะถูกกลั่นกรองหลังจากการเก็บข้อมูลชุดแรก ตัวอย่างของผลในการกลั่นกรองข้อมูล เช่น การตัดสินใจในการเลือกหรือจัดกระบวนการใดออกไป การตัดวัตถุดิบบางส่วนออกไป การเพิ่มหน่วยการผลิตซึ่งแสดงว่ามีส่วนสำคัญในการวิเคราะห์ผล โดยการคำนวณผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม สามารถทำได้หลายวิธีโดยอาศัยซอฟท์แวร์ในการจัดการข้อมูลในรูปของ

ตาราง ซอฟท์แวร์ด้าน LCA หรือโปรแกรม (ซอฟท์แวร์) สำเร็จรูปอื่น ๆ การเลือกโปรแกรมให้เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของข้อมูล

3) การได้ข้อมูลที่ถูกต้อง (Validation of Data) โดยการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ต้องดำเนินการระหว่างการเก็บรวบรวมหรือคัดเลือกข้อมูล เพื่อปรับปรุงคุณภาพของข้อมูล การตรวจสอบข้อมูลอย่างมีหลักเกณฑ์แสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงข้อมูลหรือข้อมูลนั้นมีความใกล้เคียงกันกับกระบวนการอื่น ๆ

4) การเชื่อมโยงข้อมูล (Relating Data) หมายถึง ความสามารถที่ทำให้เห็นถึงความสอดคล้องและเชื่อมโยงของข้อมูลที่ได้ บ่อยครั้งข้อมูลที่ได้จากโรงงานเป็นหน่วยที่กำหนดเอง เช่น พลังงานที่ได้จากโรงงานในหน่วยเมกกะจูลต่อเครื่องจักรต่อสัปดาห์ หรือของเสียต่อระบบการจัดการของเสีย เช่น น้ำหนักของโลหะต่อปริมาตรน้ำเสีย ซึ่งไม่ค่อยมีความสัมพันธ์กับกระบวนการผลิตที่กำลังศึกษา

5) การจัดสรรข้อมูล (Allocation) เมื่อต้องทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบที่มีความซับซ้อน จึงเป็นไปไม่ได้ที่จะจัดการให้ครอบคลุมผลกระทบและผลที่ได้จากขอบเขตของระบบได้ทั้งหมด การแก้ปัญหานี้สามารถทำได้ 2 วิธี คือ (1) การเพิ่มขอบเขตของระบบ และ (2) การจัดสรรผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ตรงปัญหากับการศึกษา อย่างไรก็ตามการจัดสรรนิยมถูกเลือกมาใช้มากกว่าการเพิ่มขอบเขตของระบบ เนื่องจากเป็นการลดปัญหาความซับซ้อนของระบบและเป็นวิธีที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริง วิธีการที่นิยมใช้ คือ การปันส่วนโดยใช้ปริมาณเชิงกายภาพ (Physical Allocation) และการปันส่วนโดยใช้มูลค่าทางเศรษฐกิจ (Economic Allocation)

2.4.4.3 การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment; LCIA)

การประเมินผลกระทบมีวัตถุประสงค์เพื่อแปลงข้อมูลบัญชีรายการที่ได้จากการรวบรวมสารขาเข้าและสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์ จากการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในรูปตัวชี้วัดผลกระทบสิ่งแวดล้อม เพื่อบ่งชี้ค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยขั้นตอนการประเมินผลกระทบจะประกอบด้วยขั้นตอนหลัก ดังนี้

1) การเลือกชนิดและประเภทของผลกระทบ (Selection of Impact Categories) โดยจำแนกว่าระบบผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านใดบ้างและเกิดขึ้นในกระบวนการใดบ้าง โดยการนำเอาข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการมาใช้วิเคราะห์และจำแนกผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสารขาเข้าและสารขาออกทั้งหมดอย่างเป็นหมวดหมู่

2) การจัดกลุ่มผลกระทบ (Classification) โดยในขั้นตอนนี้จะต้องนำข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการมาจำแนกตามกลุ่มผลกระทบที่ได้คัดเลือกไว้อย่างเป็นหมวดหมู่ เช่น มีเทน (CH_4) ถูกจัดอยู่ในผลกระทบประเภทการทำให้เกิดโลกร้อนขึ้น โดยที่ในกลุ่มผลกระทบหนึ่งอาจมีสารขาเข้าหรือสารขาออกมากกว่า 1 ตัวที่เป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตัวอย่างกลุ่มผลกระทบที่ใช้ในการประเมินผลกระทบด้วยวิธีการ CML Baseline

กลุ่มผลกระทบ	**หน่วยของสัมประสิทธิ์การแปลงข้อมูล**	**คำอธิบาย**
ศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential)	กรัม CO_2 เทียบเท่า/กรัม (g CO_2 eq./g)	การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน
ศักยภาพในการก่อให้เกิดฝนกรด (Acidification Potential)	กรัม SO_2 เทียบเท่า/กรัม (g SO_2 eq./g)	การเกิดฝนที่มีสภาวะเป็นกรด
ศักยภาพที่ทำให้ทรัยพากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปลดลง (Abiotic Depletion Potential)	กรัม Sb เทียบเท่า/กรัม (g Sb eq./g)	เป็นการได้มาซึ่งวัตถุดิบประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้หรือใช้แล้วหมดไป
ศักยภาพที่การทำให้ปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง (Ozone Depletion Potential)	กรัม CFC-11 เทียบเท่า/กรัม (g CFC-11 eq./g)	การลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ stratosphere ที่ทำให้รังสีอินฟราเรดส่องผ่านมายังโลกมากขึ้น
ศักยภาพการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicity Potential)	1,4 DB เทียบเท่า/กรัม (1,4 DB eq./g)	การสัมผัสกับสารมลพิษทางน้ำ อากาศ และดิน ที่ส่งผลต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์
ศักยภาพการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำ (Eutrophication Potential)	กรัม PO_4 เทียบเท่า/กรัม (g PO_4 eq./g)	การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำที่ทำให้แพลงตอนพืชเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว นำไปสู่การลดลงของออกซิเจน

ที่มา: ปรับปรุงจาก สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (2551)

3) การกำหนดบทบาท (Characterization) เป็นขั้นตอนในการนำข้อมูลปริมาณสารต่าง ๆ ที่ได้จากการทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมมาประเมินผลกระทบเชิงปริมาณตามกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการประเมินทำได้โดยการแปลงค่าสารแต่ละตัวในกลุ่มผลกระทบเดียวกันให้อยู่ในรูปตัวเลขที่บอกค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสารแต่ละตัวมีศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับที่แตกต่างกันจึงต้องนำมาเทียบอ้างอิงกับสารพื้นฐาน โดยพิจารณาความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบ (Potential Environmental Impact) และใช้ค่า Factor (Characterization Factor) ในการคูณ เพื่อเปลี่ยนจากปริมาณน้ำหนักเป็นค่าบ่งชี้ของผลกระทบและทำการรวมค่าทั้งหมดของแต่ละผลกระทบ ตามสมการที่ 1

$$EP_j = \sum(Q_j \times EF_{ij}) \qquad \text{สมการที่ 1}$$

EP_j = Environmental Impact Potential คือ ค่าศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับผลกระทบประเภท j ใด ๆ (kg Substance Equivalent)

Q_j = Quantity of Substance คือ ปริมาณมลภาวะสาร j ที่ปล่อยออกมา (kg Substance j)

EF_{ij} = Equivalency Factor คือ ค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j (kg Substance Equivalent/kg Substance j)

4) การเทียบหน่วย (Normalization) เป็นขั้นตอนในการแสดงขนาดของผลกระทบของผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่มีต่อสิ่งแวดล้อมโดยมองเป็นภาพรวมทั้งหมด โดยจะทำการเทียบหาค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ต่ออายุการใช้งานและสัดส่วนของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมนั้น ๆ ต่อคนต่อปีในขอบเขตพื้นที่ที่พิจารณา เช่น ศึกษาปริมาณการปล่อย CO_2 ที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษาเมื่อเทียบกับการปล่อย CO_2 ในระดับทวีปเอเชีย ตามสมการที่ 2

$$NP_j(product) = EP_j/(T \times ER_j) \qquad \text{สมการที่ 2}$$

NP_j (product) = Normalized Environment Impact Potential คือ ค่าปกติทางศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ ของผลิตภัณฑ์ (Person)

T = Lifetime of Product คือ อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (Year)

ER_j = Normalization Reference คือ ค่าอ้างอิงปกติของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ j ใดๆ ที่เกิดจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปี (kg Substance Equivalent/ Person/Year)

5) ให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) เป็นการให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยจะทำการเปรียบเทียบว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใดสำคัญที่สุด ซึ่งลักษณะของผลกระทบแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ สุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศและการใช้ทรัพยากร ตามสมการที่ 3

$$WP_j = WF_j \times NP_j \qquad \text{สมการที่ 3}$$

WP_j = Weighted Environmental Impact Potential คือ ค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ หลังการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญแล้ว (Person for Target Year; Pt)

WFj = (Weighting Factor) คือ ค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้

6) การจัดกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Grouping) เป็นการจัดกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมออกเป็นหมวดหมู่โดยรวมกลุ่มผลกระทบแยกตามประเภท คือ ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ และการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติและแหล่งพลังงาน ซึ่งสามารถแบ่งระดับของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้หลายระดับ เช่น ระดับท้องถิ่น และระดับโลก เป็นต้น

2.4.4.4 การแปลผลการศึกษา (Interpretation)

การนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขผลกระทบที่เกิดขึ้น จะเป็นขั้นตอนในการวิเคราะห์ผลจากข้อมูลที่ได้และนำเสนอแนวทางในการแก้ไขหรือปรับปรุงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดตลอดวัฏจักรชีวิตให้มีปริมาณและความรุนแรงโดยรวมลดลงในประเด็นที่สนใจ โดยการแปลผลการศึกษาเป็นการวิเคราะห์ผลลัพธ์ สรุปผล อธิบายข้อจำกัด การจัดเตรียมข้อเสนอแนะ ที่มาจากผลลัพธ์ของการทำการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือจากการทำบัญชีรายการ การทำรายงานและการแปลผลการศึกษาให้สามารถเข้าใจได้ง่ายและสมบูรณ์ โดยสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา การแปลผลการศึกษามีการวิเคราะห์ประเด็นสำคัญที่มาจากผลลัพธ์ของขั้นตอนการวิเคราะห์การทำบัญชีรายการ และการวิเคราะห์บัญชีรายการของการประเมินวัฏจักรชีวิต นอกจากนั้นมีการประเมินค่าเพื่อการตรวจสอบความสมบูรณ์ความอ่อนไหวของผลการศึกษา และความสอดคล้องของข้อมูลนำมาซึ่งการจัดทำบทสรุป ข้อเสนอแนะ และรายงานผลการศึกษา

2.4.5 จุดเด่นและข้อจำกัดของการประเมินวัฏจักรชีวิต

ปัจจุบันหลายภาคส่วนได้มีการนำการประเมินวัฏจักรชีวิตมาประยุกต์ใช้ เช่น ภาครัฐใช้เป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์ ภาคอุตสาหกรรมนำไปออกแบบและปรับปรุงกระบวนการผลิต

องค์กรเอกชนใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนสำหรับการประชุมหรือสัมมนาในเวทีสาธารณะและเป็นข้อมูลเพื่อเผยแพร่ต่อผู้บริโภค ส่วนผู้บริโภคใช้ข้อมูลเพื่อประกอบการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์และสร้างจิตสำนึกต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการดำเนินการตามแนวทางของการประเมินวัฏจักรชีวิต มีจุดเด่นและข้อจำกัดหลายประการ (ศุภณี เรียบเลิศหิรัญ และแววบุญ แย้มแสงสังข์, 2555) ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 จุดเด่นและของจำกัดของการประเมินวัฏจักรชีวิต

จุดเด่น	ข้อจำกัด
1) เป็นกระบวนการวิเคราะห์ที่มองภาพรวมของผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นทั้งหมดในทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง 2) สามารถบ่งชี้ประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงสุดและแหล่งที่มาของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่แท้จริง 3) การคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเชิงปริมาณต่อหน่วยหน้าที่การทำงานของผลิตภัณฑ์ ทำให้สามารถเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์สองอย่างที่ทำหน้าที่เหมือนกัน และยังสามารถใช้ในการเปรียบเทียบทางเลือกในการจัดการสิ่งแวดล้อม 4) ตัดปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากการบริหารจัดการทรัพยากรอย่างไม่มีประสิทธิภาพ 5) เป็นฐานข้อมูลสำคัญที่สามารถนำไปใช้ในการออกแบบเชิงนิเวศต่อไปได้	1) ค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลานาน 2) ข้อมูลบัญชีรายการทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพไม่เพียงพอ เพราะการทำ LCA ต้องใช้ข้อมูลมาก 3) ความไม่แน่นอนของวิธีการวิเคราะห์บัญชีรายการและการประเมินผลกระทบ 4) ความแตกต่างของปัญหาเกิดจากผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างเนื่องจากความแตกต่างของวิธีการ 5) การทำ LCA เรื่องเดียวกัน เมื่อเวลาผ่านไปและนำมาทำ LCA ใหม่ อาจให้ผลไม่เหมือนกันหรือขัดแย้งกัน

ที่มา: ปรับปรุงจาก ศุภณี เรียบเลิศหิรัญ และแววบุญ แย้มแสงสังข์ (2555)

2.5 กลุ่มผลกระทบที่สนใจ

Haas, Wetterich and Geier (2000) ได้เสนอกลุ่มผลกระทบและตัวชี้วัดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ใช้สำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตทางการเกษตรมีดังนี้ (1) การใช้ทรัพยากร (Resource Consumption) เช่น พลังงาน และแร่ธาตุ เป็นต้น สามารถชี้วัดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการใช้

พลังงาน และการใช้ปุ๋ยเคมีที่มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม (2) ศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential) สามารถชี้วัดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และก๊าซไนตรัสออกไซด์ เป็นต้น (3) การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำ (Eutrophication) และการก่อให้เกิดฝนกรด (Acidificaion) สามารถชี้วัดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการสะสมของโลหะหนัก และการปลดปล่อยก๊าซพิษ เช่น ก๊าซแอมโมเนีย ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ เป็นต้น (4) การชะล้างของไนเตรตและการเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสในน้ำ สามารถชี้วัดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและปุ๋ยฟอสฟอรัส (5) ความเป็นพิษต่อมนุษย์และระบบนิเวศ (Human and Ecotoxicity) สามารถชี้วัดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการใช้สารกำจัดวัชพืชและยาปฏิชีวนะ และการปลดปล่อยก๊าซแอมโมเนีย (6) ความหลากหลายทางชีวภาพ (Biodiversity) สามารถชี้วัดจากความหลากหลาย ความหนาแน่นของพุ่มไม้ และการดูแลรักษาทุ่งหญ้า (7) ภูมิทัศน์ด้านสุนทรียภาพ (Landscape Image) สามารถชี้วัดจากภาพลักษณ์ของทุ่งหญ้า พุ่มไม้ และสัตว์เลี้ยงที่อยู่ในพื้นที่เพาะปลูก (มองจากด้านบน) และ (8) การเลี้ยงสัตว์ (Animal Husbandry) สามารถชี้วัดจากการจัดหาที่พักอาศัย และการดูแลสัตว์

ขั้นตอนการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCIA) ซึ่งเป็นการแปลข้อมูลที่ได้จากการจัดทำบัญชีรายการมาอยู่ในรูปของผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการของ ReCiPe เป็นวิธีการที่รวมวิธีการ CML และวิธีการ Eco-Indicator’ 99 ไว้ด้วยกัน และเป็นวิธีที่ยอมรับอย่างกว้างขวางในหลายประเทศทั่วโลก (Goedkoop et al., 2009) และสามารถวิเคราะห์ผลกระทบในประเด็นด้านสุขภาพอนามัยของมนุษย์ (Human Health) ด้านระบบนิเวศ (Ecological System) และด้านการร่อยหรอของทรัพยากร (Resource Depletion) ทั้งแบบ Characterization, Normalization และ Weighting ซึ่งกลุ่มผลกระทบส่วนใหญ่สอดคล้องกับ Haas, Wetterich and Geier (2000) แต่มีบางกลุ่มผลกระทบ เช่น ความหลากหลายทางชีวภาพ ภูมิทัศน์ด้านสุนทรียภาพ การเลี้ยงสัตว์ที่ไม่สามารถประเมินด้วยวิธีการ ReCiPe นี้ได้ โดยผลกระทบที่สนใจในการศึกษาครั้งนี้สามารถจำแนกกลุ่มของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับมลสารจากกระบวนการต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาดังนี้

1. ศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential) เป็นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน

2. ศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปลดลง (Abiotic Depletion Potential) เป็นการได้มาซึ่งวัตถุดิบประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้หรือใช้แล้วหมดไป

3. ศักยภาพในการก่อให้เกิดฝนกรด (Acidification Potential) เนื่องจากก๊าซออกไซด์ของซัลเฟอร์และออกไซด์ของไนโตรเจนที่ถูกปล่อยออกจากแหล่งกาเนิดเข้าสู่บรรยากาศ จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดซัลฟูริคและกรดไนตริกด้วยปฏิกิริยากับออกซิเจนและความชื้นแล้วตกกลับสู่พื้นดิน

4. ศักยภาพการทำให้ปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง (Ozone Depletion Potential) เป็นการลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ stratosphere ที่ทำให้รังสีอินฟราเรดส่องผ่านมายังโลกมากขึ้น ซึ่งจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ

5. ศักยภาพการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำ (Eutrophication Potential) เป็นการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำที่ทำให้แพลงตอนพืชเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว นำไปสู่การลดลงของออกซิเจน และทำให้เกิดความไม่สมดุลของสารอาหารของพืชระหว่างในน้ำและในดิน

6. ศักยภาพการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicity Potential) เป็นการสัมผัสกับสารมลพิษทางน้ำ อากาศ และดิน ที่ส่งผลต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาโดยสรุปของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของการปลูกสับปะรด และผลิตภัณฑ์แปรรูปจากสับปะรด รวมถึงแนวทางและมาตรการในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม ซึ่งกรณีศึกษาในประเทศไทยแสดงดังตารางที่ 7 และกรณีศึกษาของต่างประเทศแสดงดังตารางที่ 8 ในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากการปลูกสับปะรดมาผลิตเป็นปุ๋ยหมักแสดงดังตารางที่ 9

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของสับปะรดที่ทำการศึกษา ในประเทศไทยยังมีค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอื่นๆ เช่น ข้าว มันสำปะหลัง อ้อย เป็นต้น และมีเพียงกรณีศึกษาเดียวที่มีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยรวมทุกประเภทผลกระทบ และนำผลที่ได้ไปปรับปรุงหรือแก้ไขในกระบวนการแปรรูปมากกว่ากระบวนการเพาะปลูก และจากการค้นคว้ากรณีศึกษาของต่างประเทศพบการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตที่เน้นเฉพาะกระบวนการเพาะปลูก หรือขอบเขตแบบ cradle-to-farm-gate ซึ่งเป็นขอบเขตที่ผู้วิจัยสนใจในการนำไปใช้ในการกำหนดขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิตของการปลูกสับปะรดในพื้นที่ศึกษา และสามารถใช้เป็นแนวทางในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลกระทบได้ ส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากการปลูกสับปะรดมาผลิตเป็นปุ๋ยหมัก พบว่า ใบสับปะรดมี

ศักยภาพในการผลิตปุ๋ยหมักเนื่องจากมีธาตุอาหารฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่ค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามยังไม่พบมีการศึกษาในประเทศไทย แต่พบกรณีศึกษาของต่างประเทศซึ่งได้นำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากการปลูกสับปะรด (ใบสับปะรด) มาผลิตเป็นปุ๋ยหมัก ผู้วิจัยจึงมองเห็นศักยภาพในการนำใบสับปะรดมาผลิตเป็นปุ๋ยหมัก เพื่อทดแทนสารอาหารจากการใช้ปุ๋ยเคมีและสามารถลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการปลูกสับปะรด

ตารางที่ 7 กรณีศึกษาในประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของการปลูกสับปะรด

ผู้วิจัยและหัวข้องานวิจัย	ขอบเขตการศึกษา	ประเภทผลกระทบที่สนใจ	ผลการศึกษา	แนวทางและมาตรการในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม
ผกาพร ธนปริสุทธิ (2553) ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของน้ำสับปะรด และน้ำส้มในประเทศไทย	ตั้งแต่การเพาะปลูก กระบวนการผลิตน้ำผลไม้ การกระจายสินค้า การจำหน่าย การบริโภค และการจัดการของเสียตลอดจนการขนส่งที่เกี่ยวข้องในทุกขั้นตอน	การก่อให้เกิดสภาวะเป็นกรด การก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำ การก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์และระบบนิเวศ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน	- น้ำส้มมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทุกกลุ่มผลกระทบสูงกว่าน้ำสับปะรด 1.2-2.4 เท่า - ภาชนะบรรจุขนาด 200 มิลลิลิตร มีค่าผลกระทบในทุกกลุ่มสูงกว่าภาชนะบรรจุขนาด 1,000 มิลลิลิตรหรือ 1 ลิตรประมาณ 2 เท่า โดยมีสาเหตุมาจากการใช้วัตถุดิบและพลังงานในการผลิตภาชนะบรรจุสูงกว่า	แนวทางการปรับปรุงสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ อาจทำได้โดยพิจารณาการเปลี่ยนเชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตไอน้ำจากน้ำมันเตาเป็นก๊าซธรรมชาติที่มีศักยภาพในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลง 15-93 %
ปริณ ไพสุนทรสุข (2553) ศึกษาการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการผลิตสับปะรดกระป๋องและน้ำสับปะรดเข้มข้น	ตั้งแต่ขั้นตอนการปลูกสับปะรดไปจนถึงการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สับปะรดกระป๋องและน้ำสับปะรดเข้มข้น	การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยประเมินเป็นค่าผลกระทบเปรียบเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาหรือหน่วยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2e$)	- การผลิตน้ำสับปะรดเข้มข้นและการผลิตสับปะรดกระป๋อง มีค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 1,235.46 และ 1,089.40 $kgCO_2e$ ตามลำดับ - การใช้พลังงานของโรงงานตัวอย่างมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานถึงร้อยละ 44 ถือเป็นปัญหาที่ควรได้รับการแก้ไขมากที่สุด	นำเทคโนโลยีสะอาดมาใช้ 4 มาตรการ ได้แก่ มาตรการลดความชื้นถ่านหิน มาตรการหุ้มฉนวนท่อไอน้ำ มาตรการลดแรงดันไอน้ำ มาตรการซ่อมแซมกับดักไอน้ำ พบว่า มาตรการลดความชื้นถ่านหินเป็นโครงการที่เหมาะสมจะดำเนินการมากที่สุด

ตารางที่ 8 กรณีศึกษาของต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของการปลูกสับปะรด

ผู้วิจัยและหัวข้องานวิจัย	ขอบเขตการศึกษา	ประเภทผลกระทบที่สนใจ	ผลการศึกษา	แนวทางและมาตรการในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม
Ingwersen (2012) ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของสับปะรดสดจากพื้นที่เพาะปลูกในประเทศคอสตาริกาสู่ชั้นวางขายปลีกในประเทศสหรัฐอเมริกา	ตั้งแต่กระบวนการการเพาะปลูกจนถึงกระบวนการจำหน่ายให้ร้านค้าปลีก	การใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป การปล่อยก๊าซเรือนกระจก การพังทลายของดิน รอยเท้าน้ำ ความเป็นพิษของมนุษย์และน้ำจืด การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำ ศักยภาพในการก่อตัวของโอโซน การทำให้เกิดฝนกรด และการเกิดหมอกควัน	- การปล่อยก๊าซเรือนกระจก การทำให้เกิดฝนกรด การเกิดหมอกควัน และการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำ เกิดจากการผลิตปุ๋ยและการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในการเพาะปลูก - การทำให้ปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง และการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป เกิดจากการใช้น้ำมันดีเซลในการเพาะปลูก - ความเป็นพิษของมนุษย์และน้ำจืด เกิดจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืชในการเพาะปลูก - รอยเท้าน้ำ เกิดจากการใช้น้ำในการเพาะปลูก และการเก็บเกี่ยว	ผลกระทบที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มาจากการเพาะปลูก จึงได้เสนอแนวทางในการลดการเกิดผลกระทบ ดังนี้ - การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนลดลง - ลดการใช้เชื้อเพลิงของอุปกรณ์เครื่องจักรกลทางการเกษตร - การเลือกพื้นที่สำหรับการเพาะปลูกควรหลีกเลี่ยงพื้นที่ที่มีความลาดชัน เนื่องจากมีอิทธิพลต่อการพังทลายของดินส่งผลให้การเกิดชะล้างสารเคมีและยาฆ่าแมลงเพิ่มขึ้นในแหล่งน้ำ
West Africa Fair Fruit (2011) ศึกษาการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสับปะรดสดที่ผลิตใน	ตั้งแต่กระบวนการเพาะปลูกจนถึงการบริโภค (การเก็บและ	การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยประเมินเป็นค่าผลกระทบเปรียบเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่	- การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 0.954 kg CO_2e ต่อ 1 กิโลกรัมของผลไม้ทั้งหมดที่ซื้อโดยผู้บริโภค	แนวทางลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น ลดการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนลง 50% ในฤดูการเพาะปลูกโดยไม่มีผลกระทบต่อการลดลงของผลผลิต

ประเทศกานาไปจนถึงคลังสินค้าของผู้นำเข้าในประเทศเนเธอร์แลนด์	กำจัดของผลไม้ในบ้านของผู้บริโภค)	ปล่อยออกมาหรือหน่วยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2e$)	- กระบวนการผลิตในพื้นที่เพาะปลูกในประเทศกานา มีสัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด ซึ่งมาจากการผลิตปุ๋ยและการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน	ลดใช้เชื้อเพลิงในพื้นที่เพาะปลูก เช่น การบำรุงรักษารถแทรกเตอร์อย่างสม่ำเสมอ เป็นต้น

ตารางที่ 9 กรณีศึกษาของต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากการปลูกสับปะรดมาผลิตเป็นปุ๋ยหมัก

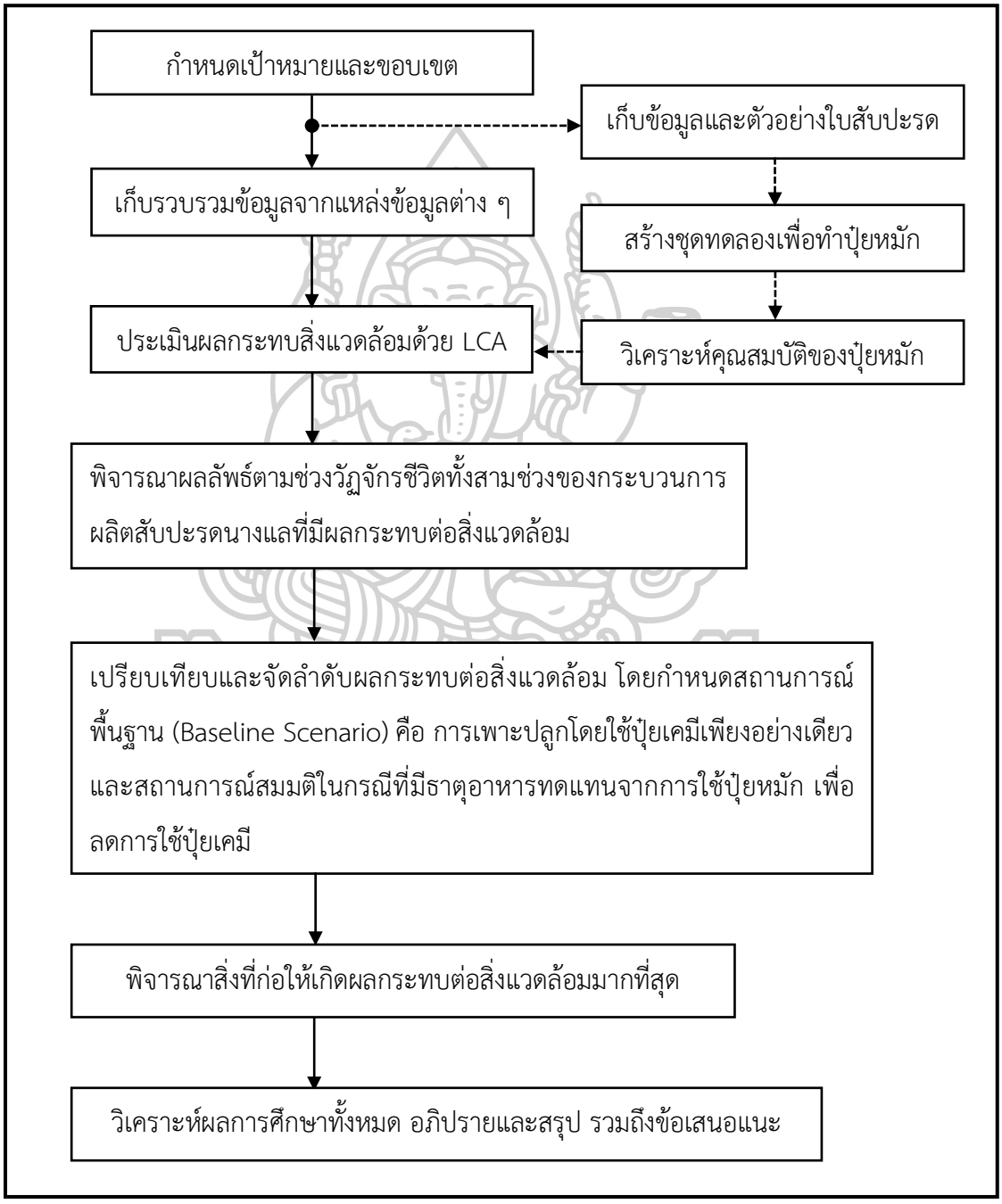
ผู้วิจัยและหัวข้องานวิจัย	ชุดการทดลอง	ผลการศึกษา
Ch'ng, Ahmed, Kassim and Majid (2013) ศึกษากระบวนการหมักปุ๋ยร่วมกันของใบสับปะรดและมูลไก่	- ใบสับปะรดปั่น 3.5 กิโลกรัมผสมกับมูลไก่ 350 กรัมในน้ำ 2.8 ลิตร และกากน้ำตาล 175 กรัม - หมักในกล่องพลาสติกโพลีสไตรีน จำนวน 4 กล่อง ที่มีขนาด 36x38x32 เซนติเมตร มีการเจาะรูด้านข้างกล่อง 8 รู แต่ละรูมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร - มีการวัดอุณหภูมิทุกวัน วันละ 3 ครั้ง (7:00, 13:00 และ 19:00) ระหว่างการหมัก 57 วัน	- ความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาณคาร์บอนลดลงตลอดการทำปุ๋ยหมัก - ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) เพิ่มขึ้นจาก 32.5 เป็น 65.6 cmol/kg ซึ่งบ่งชี้ว่ามีสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดความชื้น - ปริมาณกรดฮิวมิกและเถ้าเพิ่มขึ้นจาก 11.3% เป็น 24.0% และ 6.7% เป็น 15.8% ตามลำดับ - ค่า pH ของปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นจาก 6.14 เป็น 7.89 - เมื่อสิ้นสุดกระบวนการพบว่า ปุ๋ยหมักไม่มีกลิ่น มีปริมาณโลหะหนักต่ำ และมีปริมาณสารอาหารเพียงพอ
Liu, Liu, Fan and Kuang (2013) ศึกษาอิทธิพลของสารตกค้างของสับปะรดที่หมักแล้วต่อคุณสมบัติของ	- ใบสับปะรดปั่น 2 กิโลกรัมผสมกับน้ำหมักชีวภาพปริมาตร 200 มิลลิลิตร	- สามารถลดความหนาแน่นของดินอย่างเห็นได้ชัด - เพิ่มปริมาณของฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ที่มีอยู่

ดินและการเจริญเติบโตของพืช และผลผลิตของสับปะรด	- มีการควบคุมความชื้นในการผสมครั้งแรกที่ 65% และรักษาความชื้น 60% ระหว่างการหมัก 60 วัน - มีการวัดอุณหภูมิทุกวันและควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 60-65 ℃ กระบวนการหมักจะสิ้นสุดลงเมื่ออุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 30 ℃	- เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของแบคทีเรียและแอคติโนมัยซีส และกิจกรรมของเอนไซม์ catalase, acid phosphatase และ invertase ในดินนั้นสูงขึ้น - ปริมาณของคลอโรฟิลล์ น้ำตาลที่ละลายน้ำได้ และโปรตีนที่ละลายน้ำได้ รวมถึงความแข็งแรงของรากพืชเพิ่มขึ้น - เพิ่มขนาด น้ำหนัก และผลผลิตของสับปะรด

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วิธีการศึกษา

การศึกษานี้มีลำดับขั้นตอนการศึกษา ดังภาพที่ 8

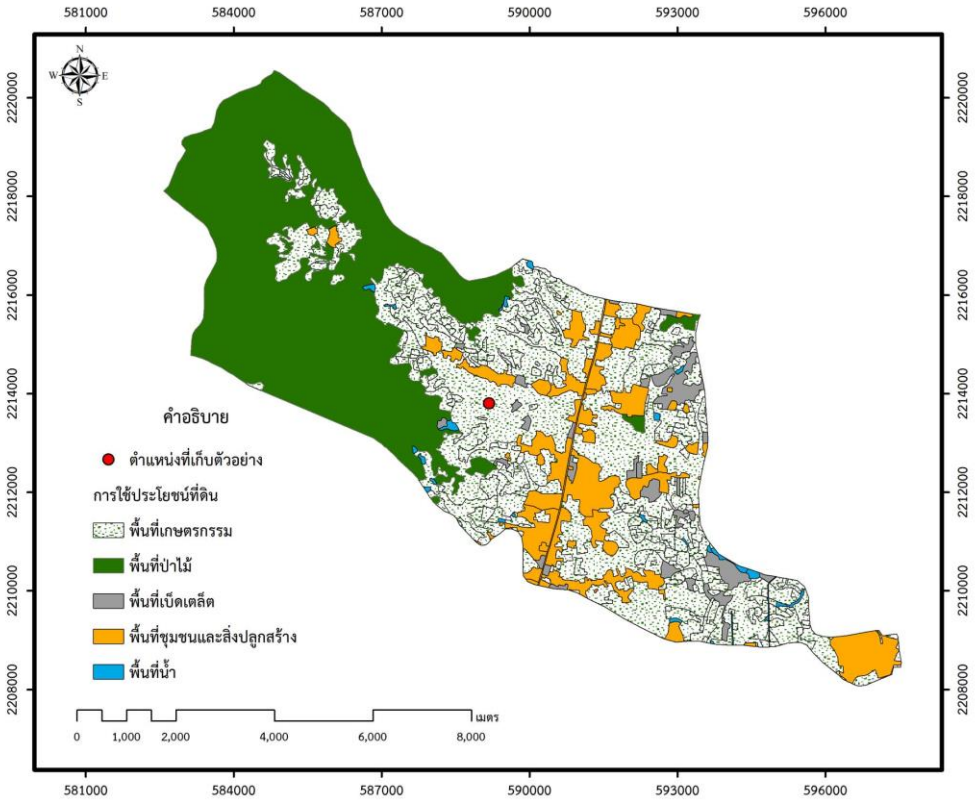


ภาพที่ 8 ขั้นตอนการศึกษา

3.2 สถานที่เก็บข้อมูลและตัวอย่างใบสับปะรด

ตำบลนางแล เป็นตำบลหนึ่งใน 15 ตำบลของอำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย มีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 55 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 34,375 ไร่ พื้นที่ทางทิศตะวันออกมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบลุ่ม ใช้เป็นที่เพาะปลูกพืชไร่ ที่ตั้งชุมชน และพื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ทางด้านทิศตะวันตกถึงทิศตะวันออกมีลักษณะภูมิประเทศเป็นป่าสงวน และมีที่ตั้งชุมชนชาวไทยภูเขาเผ่าอาข่า ในส่วนของพื้นที่เกษตรกรรมนั้นแบ่งเป็น พื้นที่ทำนาทั้งหมด 5,043 ไร่ พื้นที่ทำสวนทั้งหมด 2,065 ไร่ พืชที่ผลิต ได้แก่ มันเทศ มะม่วง ชมพู่ ลำไย ลิ้นจี่ ถั่วเหลือง ยางพารา และแก้วมังกร และพื้นที่ทำไร่ทั้งหมด 4,232 ไร่ พืชที่ผลิต ได้แก่ สับปะรด ข้าวโพด และไม้ยืนต้น (ข้อมูลจากการสำรวจข้อมูลพื้นฐานของหมู่บ้าน ตำบลนางแล ณ เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2556) ซึ่งมีลักษณะภูมิอากาศ 3 ฤดู คือ ฤดูร้อน ฤดูหนาว ฤดูฝน และบางพื้นที่ที่เป็นที่ราบสูงจะมีอากาศหนาวเย็น และมีฝนตกบ่อยครั้ง โดยเฉพาะในช่วงเดือนกรกฎาคม - กันยายนของทุกปี จะประสบอุทกภัยจากฝนตกและน้ำป่าไหลหลาก และในช่วงฤดูแล้งจะมีหมอกควันปกคลุมมาจากการเผาป่าหรือไฟป่า

สถานที่เก็บข้อมูลและตัวอย่างใบสับปะรดในการศึกษาครั้งนี้ คือ ไร่สับปะรดในพื้นที่บ้านร่องปลาค้าว ตำบลนางแล อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย ซึ่งข้อมูลที่เก็บเป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับกระบวนการต่าง ๆ เริ่มตั้งแต่การเตรียมพื้นที่เพาะปลูกจนกระทั่งการเก็บเกี่ยวผลผลิต ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์และเครื่องจักรกลทางการเกษตรที่ใช้ สารเคมีทางเกษตรที่ใช้ และปริมาณผลผลิตทั้งหมด เป็นต้น ช่วงเวลาที่เก็บข้อมูลและตัวอย่าง คือ เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561 โดยแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2559 ของตำบลนางแล อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย และตำแหน่งเก็บตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา แสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2559 ของตำบลนางแล อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย และตำแหน่งเก็บตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา

ที่มา : ปรับปรุงจาก กฤตวิชญ์ สุขอึ้ง (2562)

3.3 สถานที่ดำเนินการศึกษา

สถานที่ดำเนินการศึกษาในการสร้างชุดทดลองและวิเคราะห์สมบัติของปุ๋ยหมัก คือ เรือนโปร่งแสงและห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม

3.4 ชุดทดลอง

การสร้างชุดทดลองทำได้โดยนำใบสับปะรดมาทำให้แห้งและสร้างชุดทดลองเพื่อทำปุ๋ยหมัก แบ่งออกเป็น 4 ชุดทดลอง ดังตารางที่ 10 ซึ่งขั้นตอนการทำปุ๋ยหมัก เริ่มจากนำใบสับปะรด (ที่ผ่านการทำให้แห้งและปั่นแล้ว) และส่วนผสมต่าง ๆ ตามปริมาณที่กำหนด ใส่ลงในภาชนะขนาด 12.5 × 25 × 20 เซนติเมตร (กว้าง × ยาว × สูง) ทำการคลุกเคล้าส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันดี จากนั้นรดน้ำให้ส่วนผสมปุ๋ยหมักมีความชื้นสม่ำเสมอ ไม่ให้เปียกหรือแฉะจนเกินไป เพื่อควบคุมความชื้นในกองปุ๋ยหมัก โดยทุกชุดทดลองมีการควบคุมความชื้นในการผสมครั้งแรกที่ 65% และรักษาความชื้นระหว่าง

ช่วงเวลาการทดลอง 60 วันที่ระดับความชื้น 60% ซึ่งดำเนินการหมักปุ๋ยระหว่างเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2561

ตารางที่ 10 ชุดทดลองปุ๋ยหมัก

ส่วนผสม	ปริมาณ	แหล่งที่มา
ชุดทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม)		
- ใบสับปะรดปั่น	500 กรัม	-
ชุดทดลองที่ 2		
- ใบสับปะรดปั่น	500 กรัม	Liu et al. (2013)
- น้ำหมักชีวภาพ	5 มิลลิลิตร	
ชุดทดลองที่ 3		
- ใบสับปะรดปั่น	500 กรัม	กรมวิชาการเกษตร (2548)
- มูลไก่ปั่น	100 กรัม	
- ปุ๋ยยูเรีย	5 กรัม	
ชุดทดลองที่ 4		
- ใบสับปะรดปั่น	500 กรัม	
- มูลไก่ปั่น	50 กรัม	Ch'ng et al. (2013)
- น้ำ	500 มิลลิลิตร	
- กากน้ำตาล	50 กรัม	

3.5 เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ปุ๋ยหมักแสดงดังตารางที่ 11 โดยมีการระบุถึงยี่ห้อ รุ่น และบริษัทผู้ผลิตของเครื่องมือแต่ละชนิด และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปุ๋ยหมักแสดงดังตารางที่ 12 โดยมีการระบุถึงบริษัทผู้ผลิตของสารเคมีแต่ละชนิด

ตารางที่ 11 รายการเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง และบริษัทผู้ผลิต

เครื่องมือที่ใช้	**ยี่ห้อ/รุ่น/บริษัท**
เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter)	รุ่น AB150 ของบริษัท Fisher Scientific
เครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้า (Conductivity meter)	ยี่ห้อ Hanna รุ่น HI9835
เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Spectrophotometer)	รุ่น V-530 ของบริษัท Jasco
เครื่องวัดการเปล่งแสงโดยเปลวไฟ (Flame Photometer)	รุ่น 410 ของบริษัท Sherwood
เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง	รุ่น XS204 ของบริษัท Mettler Toledo
เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง	รุ่น PB3002 ของบริษัท Mettler Toledo
ตู้ควบคุมความชื้น (Desiccator)	ยี่ห้อ Sanpla dry keeper
ตู้อบ (Hot air oven)	ยี่ห้อ Binder รุ่น FD 115
เตาให้ความร้อน (Hot plate)	ยี่ห้อ Thermo Scientific รุ่น Type 2200

ตารางที่ 12 รายการสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง และบริษัทผู้ผลิต

สารเคมีที่ใช้	**บริษัท**
Ammonium molybdate [$(NH_4)_6Mo_7O_{24}\cdot 4H_2O$]	Univar
Ammonium metavanadate (NH_4VO_3)	Univar
Ferrous sulphate ($FeSO_4\cdot 7H_2O$)	Univar
Sodium hydroxide (NaOH)	Merck
Calcium carbonate ($CaCO_3$)	Merck
Nitric acid (HNO_3)/ Sulfuric acid (H_2SO_4)/ Perchloric acid ($HClO_4$)	Merck
Salicylic acid (HOC_6H_4COOH)	Merck
O-phenanthroline ferrous sulfate	Univar
Potassium dihydrogen orthophosphate (KH_2PO_4)	Univar
Potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$)	Univar
Kjelblet ($CuSO_4$:K_2SO_4 = 1:9)	Oskon

3.6 การวิเคราะห์ปุ๋ยหมัก

การวิเคราะห์ปุ๋ยหมักของตัวอย่างทั้ง 4 ชุดทดลอง ทำการวิเคราะห์ตามวิธีการของกรมวิชาการเกษตร ซึ่งวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรียวัตถุ อินทรีย์คาร์บอนและสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ โดยมีวิธีการวิเคราะห์ (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ดังต่อไปนี้

3.6.1 การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

วิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่าง ของสารละลายปุ๋ยหมัก ด้วย pH meter

สารเคมี

1. Saturated 3 M KCl electrolyte สำหรับเติมใน glass electrode
2. Standard buffer pH 4, pH 7 และ pH 10 สำหรับ calibrate เครื่อง pH meter
3. Storage solution สำหรับแช่ glass electrode

วิธีวิเคราะห์

ทำการ calibrate เครื่อง pH meter ด้วยสารละลาย
Standard buffer pH 4, pH 7 และ pH 10

↓

ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ใน Beaker ขนาด 100 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร
(อัตราส่วนตัวอย่าง : น้ำกลั่น = 1 : 10) คนด้วยแท่งแก้ว ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที

↓

ทำการวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter โดยนำ glass electrode จุ่มลงในตัวอย่าง เขย่าเบา ๆ
เมื่อตัวเลขหน้าปัดเครื่อง pH meter หยุดนิ่ง อ่านค่า pH และบันทึกผล

3.6.2 การวิเคราะห์การนำไฟฟ้า

การวัดสภาพการนำไฟฟ้า เป็นการวัดปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารที่มีประจุที่ละลายอยู่ในสารละลายของปุ๋ยหมัก

วิธีวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร
เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่า นาน 30 นาที

↓

กรองผ่านกระดาษกรอง เบอร์ 1 ใส่ใน Beaker ขนาด 50 มิลลิลิตร

↓

นำสารละลายที่ได้ไปวัดสภาพการนำไฟฟ้าด้วยเครื่อง Conductivity meter
อ่านค่า และบันทึกผล

3.6.3 การวิเคราะห์อินทรียวัตถุและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

ประยุกต์ใช้วิธีของ Walkley and Black โดยย่อยตัวอย่างปุ๋ยหมักด้วยกรดซัลฟิวริก แล้วทำการออกซิไดซ์อินทรียคาร์บอนในปุ๋ยด้วยกรดโครมิกที่มากเกินพอ จากนั้นไตเตรตกรดโครมิกที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาด้วยสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต

สารเคมีและการเตรียมสาร

1. สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมท (Potassium dichromate, $K_2Cr_2O_7$) 1.0 N

ชั่ง $K_2Cr_2O_7$ จำนวน 49.0247 กรัม (ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นใน Desiccator) ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันและปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

2. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) ร้อยละ 98

3. สารละลายมาตรฐานเฟอรัสซัลเฟต (Ferrous sulfate, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$) 0.5 N

ชั่ง $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ จำนวน 139.0085 กรัม ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 600 มิลลิลิตร เขย่าให้ละลายจนหมด เติม 98 % H_2SO_4 20 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็นและปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

4. สารละลาย O-phenanthroline ferrous sulfate (indicator)

ชั่ง O-phenanthroline จำนวน 0.74 กรัม และเฟอร์รัสซัลเฟต จำนวน 0.35 กรัม ใส่ใน Beaker ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

วิธีวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่าง 0.1xxx กรัม (ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 75°C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง)

ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร

↓

เติม 1 N $K_2Cr_2O_7$ 10 มิลลิลิตร + เติม conc. H_2SO_4 10 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ข้ามคืน

↓

เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร + หยด O-phenanthroline (indicator) 10 หยด

↓

ไตเตรทด้วย 0.5 N $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ จนได้สารละลายสีเขียว

และเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลปนแดง (เมื่อถึงจุดยุติ)

↓

ทำชุดทดลองเปรียบเทียบหรือ Blank (โดยไม่ใส่ตัวอย่าง) โดยใช้ 1 N $K_2Cr_2O_7$ 10 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นปริมาตรเดียวกับที่เติมลงในตัวอย่าง และดำเนินการเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\%\ Organic\ Carbon\ (OC) = \frac{0.3896 \times N \times B(C - D)}{AC}$$

โดยที่

A = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

B = ปริมาตรของ K_2CrO_7 ที่เติมลงในตัวอย่าง และ Blank (มิลลิลิตร)

C = ปริมาตรของ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ที่ไตเตรทพอดีกับ K_2CrO_7 ใน Blank (มิลลิลิตร)

D = ปริมาตรของ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ที่ไตเตรทพอดีกับ K_2CrO_7 ในตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นเป็น Normal ของสารละลายมาตรฐาน K_2CrO_7

$$\%\ Organic\ Matter\ (OM) = \%\ OC \times 1.7241$$

$$C/N\ ratio = (\%\ OC)/(\%\ Total\ Nitrogen)$$

3.6.4 การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)

ใช้ Kjeldhal method โดยการย่อยตัวอย่างปุ๋ยด้วย H_2SO_4 เข้มข้น และ Salicylic acid มี Potassium sulfate และ Copper sulfate เป็นสารเร่งปฏิกิริยา ทำให้สารละลายเป็นด่าง

ด้วย Sodium hydroxide แล้วนำไปกลั่น ดักจับ Ammonia ที่เกิดขึ้นด้วยกรดบอริก ทำการไตเตรทสารละลายที่ได้จากการกลั่นด้วยสารละลายมาตรฐาน HCl แล้วนำปริมาณของสารละลายมาตรฐาน HCl ที่ใช้ไตเตรทมาคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

สารเคมีและการเตรียมสาร

1. สารผสมเร่งปฏิกิริยา (Catalyst mixture)

ในที่นี้ใช้ Kjelblet tablets ของบริษัท OSKON โดยมีอัตราส่วนระหว่าง K_2SO_4 : $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ เท่ากับ 9 : 1 (2 เม็ดต่อ 1 ตัวอย่าง)

2. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) ร้อยละ 98

3. สารละลายด่าง (Alkali solution) 12.5 N

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จำนวน 500 กรัม ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร (ควรเตรียมในตู้ดูดควันและวางบีกเกอร์ในอ่างน้ำเย็น เพราะสารละลายที่ได้จะร้อนมาก) เก็บสารละลายที่ได้ในขวดพลาสติกจุกเกลียว

4. สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator)

ละลายเมทิลเรด (Methyl red) จำนวน 0.125 กรัม และเมทิลีนบลู (Methylene blue) จำนวน 0.083 กรัม ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 ใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร (สารละลายนี้ต้องเตรียมใหม่ทุก 2 เดือน)

5. สารละลายกรดบอริก (Boric acid, H_3BO_3)

ชั่ง H_3BO_3 50 กรัม ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นตั้งบน Hot plate stirrer เพื่อให้ความร้อนจนสารละลายหมด ปล่อยให้เย็นจนมีอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิห้อง และปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

6. สารละลายเมทิลเรดอินดิเคเตอร์ (Methyl red indicator)

ละลายเมทิลเรด (Methyl red) จำนวน 0.1 กรัม ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 ใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

7. สารละลายกรดซัลฟิวริก 0.1 N

ปิเปต conc. H_2SO_4 จำนวน 2.7 มิลลิลิตร ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 1,000 มิลลิลิตรที่มีน้ำกลั่นอยู่ และปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

สารละลายนี้ต้องหาความเข้มข้นที่แน่นอนทุกครั้งก่อนนำไปใช้ โดยการชั่งโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 0.008 – 0.040 กรัม (ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เขย่าจนสารละลายหมด หยด Methyl red indicator จำนวน 6 หยด จากนั้นนำไปไตเตรทกับสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีแดง และนำขวดรูปชมพู่ไปต้มให้สารละลายเดือดเป็นเวลา 2 นาที สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีเหลือง ใช้น้ำหล่อเย็นด้านนอกของขวดรูปชมพู่ จนสารละลายมีอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิห้อง จึงนำไปไตเตรทต่อจนได้สารละลายสีแดง

โดยสามารถคำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดซัลฟิวริกจากสูตรต่อไปนี้ โดยใช้น้ำหนักสมมูล (Equivalent weight) ของโซเดียมคาร์บอเนต เท่ากับ 53.0 g Na_2CO_3/eq.

$$N_{Sulfuric\ acid} = \frac{A g Na_2CO_3}{B ml\ H_2SO_4} \times \frac{eq}{53 g Na_2CO_3} \times \frac{1000\ ml}{L}$$

โดยที่

$N_{Sulfuric\ acid}$ = ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดซัลฟิวริก (นอร์แมล)

A = น้ำหนักของโซเดียมคาร์บอเนต (กรัม)

B = ปริมาตรของสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ใช้ไตเตรท (มิลลิลิตร)

วิธีวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่าง 1.0xxx กรัม ใส่ในขวดเจดาห์ลสำหรับย่อยตัวอย่าง

↓

เติม Salicylic acid 2 กรัม + 98 % H_2SO_4 40 มิลลิลิตร + Sodium thiosulfate 5 กรัม

↓

นำไปตั้งเตาสำหรับย่อยตัวอย่าง (ใช้ไฟปานกลาง) ย่อยจนได้สารละลายสีน้ำตาล ปิดเตา และตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

↓

ใส่สารผสมเร่งปฏิกิริยา (Kjelblet) 2 เม็ด + เม็ดแก้ว 5 เม็ด และทำการย่อยอีกครั้งจนได้สารละลายสีเขียวใส ปิดเตา และตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

↓

เติมน้ำกลั่น 350 มิลลิลิตร + สารละลาย NaOH 100 มิลลิลิตร + Zinc granular 5 กรัม

วิธิวิเคราะห์ (ต่อ)

ต่อขวดเจดาห์ลเข้ากับชุดกลั่น โดยให้ปลายเครื่องกลั่นจุ่มในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลายกรดบอริก 100 มิลลิลิตร และ Mixed indicator 4-5 หยด

↓

ทำการกลั่นจนได้ปริมาตรของสารละลายในขวดรูปชมพู่ 350 มิลลิลิตร

↓

นำไปไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐาน 0.2 N HCl จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพู (เมื่อถึงจุดยุติ)

↓

ทำชุดทดลองเปรียบเทียบหรือ Blank (โดยไม่ใส่ตัวอย่าง) และดำเนินการเช่นเดียวกับการย่อยตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\%\, Nitrogen = \frac{N \times A \times 0.014 \times 100}{C}$$

โดยที่

N = ความเข้มข้นที่แน่นอนของ HCl ที่ใช้ไทเทรต (นอร์มอล)

A = ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

C = น้ำหนักของตัวอย่างดิน (กรัม)

3.6.5 การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)

วิเคราะห์โดย Spectrophotometric molybdovanadophosphate method ใช้กรดผสม (HNO_3 : $HClO_4$ = 1:1) ในการย่อยตัวอย่างเพื่อให้ฟอสฟอรัสในตัวอย่างปุ๋ยอยู่ในรูปสารละลายฟอสเฟต จากนั้นทำให้เกิดสีกับ Molybdovanadate reagent วัดหาปริมาณฟอสฟอรัสด้วย Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 400-420 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส

สารเคมีและการเตรียมสาร

1. กรดเข้มข้นผสม (HNO_3 : $HClO_4$ = 1:1)

เตรียม conc. HNO_3 และ conc. $HClO_4$ อัตรา 1:1 โดยปริมาตร ผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปบรรจุไว้ในขวดแก้วสีชา และเก็บไว้ที่มืด

2. Molybdovanadate reagent

- ชั่ง Ammonium molybdate [$(NH_4)_6Mo_7O_{24}\cdot 4H_2O$] จำนวน 40 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำร้อน 300 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

- ชั่ง Ammonium metavanadate (NH_4VO_3) จำนวน 2 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำร้อน 300 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น และเติม conc. $HClO_4$ จำนวน 125 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนสารละลายให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

- ค่อยๆ รินสารละลาย Ammonium molybdate ที่เตรียมไว้ลงในสารละลาย Ammonium metavanadate ใน Volumetric flask ขนาด 2,000 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 2,000 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายสีเหลืองอ่อน เก็บไว้ในขวดแก้วสีชา

3. สารละลายสต็อกฟอสฟอรัส (1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรฟอสฟอรัส)

ชั่ง KH_2PO_4 จำนวน 4.3936 กรัม (ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น เขย่าจนสารละลายหมด และปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

4. สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (100 มิลลิกรัมต่อลิตรฟอสฟอรัส)

ปิเปตสารละลายสต็อกฟอสฟอรัส (1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรฟอสฟอรัส) จำนวน 10 มิลลิลิตร ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

5. Working Standard solution (0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตรฟอสฟอรัส)

ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (100 มิลลิกรัมต่อลิตรฟอสฟอรัส) จำนวน 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น (เตรียมไว้รอดำเนินการเช่นเดียวกับตัวอย่าง)

วิธีวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่าง 0.3xxx กรัม (ที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่อง 2 มิลลิเมตร)

ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร

↓

เติมกรดผสม (HNO_3 : $HClO_4$ = 1:1) 20 มิลลิลิตร (เพื่อย่อยตัวอย่าง)

นำไปวางบน Hot plate (ที่อุณหภูมิ 220°C) เป็นเวลา 2-4 ชั่วโมง

วิธีวิเคราะห์ (ต่อ)

ย่อยตัวอย่างจนมีควันสีขาวเกิดขึ้นเหนือสารละลาย
จากนั้นยกลงจาก Hot plate และตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

↓

นำสารละลายที่ย่อยแล้ว ถ่ายใส่ Volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร
ปรับปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น และกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

↓

ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 2 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

↓

เติม Molybdovanadate reagent 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที

↓

สำหรับสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 0 1 2 3 4 และ 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมที่เตรียมไว้
ดำเนินการ develop สีเช่นเดียวกัน พร้อมกับสารละลายตัวอย่าง

↓

นำไปตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร

↓

นำค่าที่วัดได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปริมาณฟอสฟอรัส และ %A
อ่านค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตัวอย่างได้จากกราฟ Standard curve

การคำนวณ

$$\%\,\mathrm{P} = \frac{A \times V_1 \times V_2 \times 100}{B \times V_3 \times 10^6}$$

โดยที่

A = ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่อ่านได้จากกราฟ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

B = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

V_1 = ปริมาตรของสารละลายก่อนปรับด้วยน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)

V_2 = ปริมาตรของสารละลายหลังปรับด้วยน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)

V_3 = ปริมาตรของสารละลายที่ปิเปต (มิลลิลิตร)

$$\%\ P_2O_5 = \frac{\%P \times (2 \times equivalent\ wt.of\ P) + (5 \times equivalent\ wt.of\ P)}{2 \times equivalent\ wt.of\ P}$$

3.6.6 การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total Potassium)

วิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมด้วย Flame photometric method โดยวัดความเข้มข้นของแสงที่ปล่อยออกมา (Intensive of emission) ของตัวอย่างปุ๋ยที่ผ่านการย่อยด้วยกรดผสม เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม

สารเคมีและการเตรียมสาร

1. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc. HCl)

2. กรดเข้มข้นผสม (HNO_3 : $HClO_4$ = 1:1)

เตรียม conc. HNO_3 และ conc. $HClO_4$ อัตรา 1:1 โดยปริมาตร ผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปบรรจุไว้ในขวดแก้วสีชา และเก็บไว้ที่มืด

3. สารละลาย Suppressor

ชั่งแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) จำนวน 12.5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 200 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นเล็กน้อย ค่อยๆ เติม conc. HCl จำนวน 105 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดบน Hot plate ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นใน Volumetric flask ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

4. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม (1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรโพแทสเซียม)

วิธีวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่าง 0.5xxx กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร

↓

เติมกรดผสม (HNO_3 : $HClO_4$ = 1:1) 20 มิลลิลิตร (เพื่อย่อยตัวอย่าง) นำไปวางบน Hot plate ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส จนเกิดควันสีขาว ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

↓

นำสารละลายที่ย่อยแล้ว ถ่ายใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน และกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

↓

ปิเปตสารละลายตัวอย่างให้มีความเข้มข้นอยู่ในช่วงสารละลายมาตรฐานที่เตรียมไว้ (0-25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์ (ต่อ)

เติมสารละลาย Suppressor 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

↓

นำไปตวจวัดด้วยเครื่อง Flame Photometer เปรียบเทียบความเข้มข้นกับสารละลายมาตรฐานที่เตรียมไว้ (0-25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

การคำนวณ

$$\%K_2O = 1.2046 \times A \times B \times 100$$

โดยที่

A = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่อ่านได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

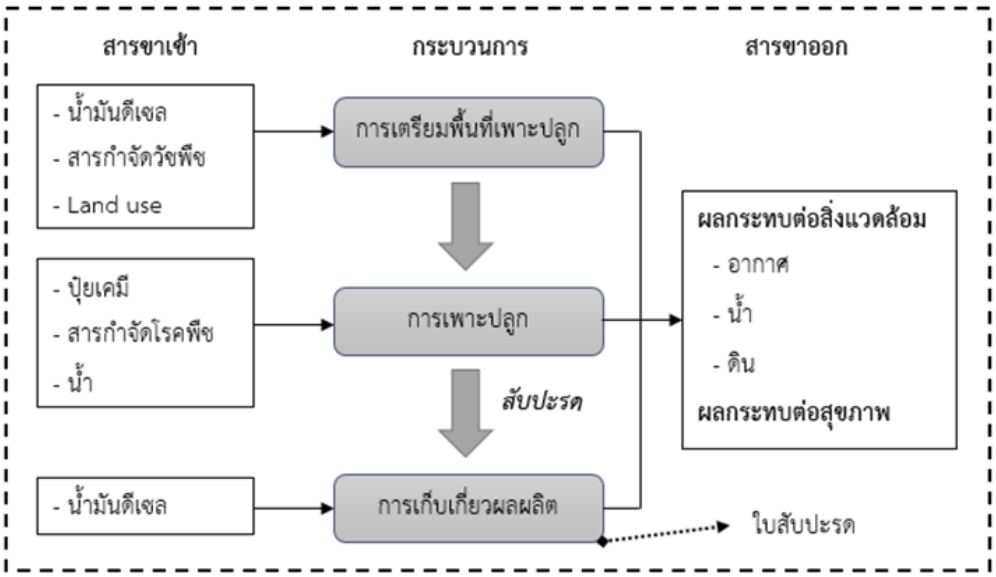
B = dilution factor

3.7 การวิเคราะห์โดยการใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินผลการศึกษาได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อใช้ในการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการปลูกสับปะรดนางแลในพื้นที่ศึกษาที่มีต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้โปรแกรม Open LCA เวอร์ชัน 1.8 ซึ่งพัฒนาโดย GreenDelta เป็นบริษัทซอฟท์แวร์ ตั้งอยู่ที่กรุงเบอร์ลิน ประเทศเยอรมนี ก่อตั้งขึ้นในปี พ.ศ. 2547 ซึ่ง GreenDelta ได้พัฒนาโปรแกรม Open LCA ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 เป็นต้นมา (GreenDelta, 2018) ร่วมกับฐานข้อมูลบัญชีวัฏจักรชีวิต (LCI Database) Ecoinvent เวอร์ชัน 3.3 สามารถแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 4 ขั้นตอน ตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ดังนี้

3.7.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition)

การศึกษาครั้งนี้จัดทำขึ้นเพื่อประเมินและวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการปลูกสับปะรดนางแล รวมทั้งหาแนวทางการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นอย่างเหมาะสม โดยมีขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบ “Cradle-to-farm-gate” ซึ่งประกอบด้วย กระบวนการเตรียมพื้นที่เพาะปลูก กระบวนการเพาะปลูก และกระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิต ดังภาพที่ 10 และมีหน่วยการทำงาน คือ ผลผลิตสับปะรดนางแลสด 1 กิโลกรัมที่เก็บเกี่ยวในพื้นที่เพาะปลูก



ภาพที่ 10 *ขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบ "Cradle-to-farm-gate"*

3.7.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory; LCI)

เป็นการเก็บข้อมูลและจัดทำบัญชีรายการ การใช้ทรัพยากร การใช้พลังงาน และของเสียต่าง ๆ หรือสารขาเข้าและสารขาออกที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของสับปะรดนางแลตั้งแต่การเตรียมพื้นที่เพาะปลูก การเพาะปลูก และการเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยข้อมูลที่เก็บรวบรวมแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) เป็นข้อมูลที่ได้จากการสำรวจและเก็บข้อมูลโดยการใช้แบบสอบถาม จากผู้ผลิตสับปะรดรายใหญ่ 3 รายในตำบลนางแล อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย โดยมีพื้นที่การปลูกสับปะรดนางแลทั้งหมด 30 ไร่ ซึ่งข้อมูลที่เก็บเป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับปัจจัยการผลิตในกระบวนการต่าง ๆ เช่น อุปกรณ์และเครื่องจักรกลทางการเกษตรที่ใช้ สารเคมีทางเกษตรที่ใช้ และปริมาณผลผลิตทั้งหมด เป็นต้น และข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) เป็นข้อมูลที่ได้จากฐานข้อมูลบัญชีวัฏจักรชีวิต (LCI Database) คือ Ecoinvent เวอร์ชัน 3.3 และข้อมูลที่ได้จากการค้นคว้ารายงานวิจัยจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ เช่น มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย และข้อมูลการปลูกสับปะรดจากหน่วยงานต่าง ๆ เป็นต้น โดยข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามสามารถจัดทำบัญชีรายการตามการจำแนกกระบวนการได้ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 บัญชีรายการข้อมูลของการผลิตสับปะรดนางแลในแต่ละกระบวนการ

กระบวนการ	รายการ	ปริมาณที่ใช้	ปริมาณเฉลี่ย	หน่วย
การเตรียมพื้นที่เพาะปลูก	เครื่องจักรกลทางการเกษตร			
	- การไถพรวนดิน	1	1	ไร่
	- การตัดหญ้า	1	1	ไร่
	สารกำจัดศัตรูพืช (Glyphosate)	192	192	กรัม
การเพาะปลูก	ปุ๋ยเคมี (N-P-K)			
	- ไนโตรเจน (N)	70-31	49	กิโลกรัม
	- ฟอสฟอรัส (P)	10	3.33	กิโลกรัม
	- โพแทสเซียม (K)	0	0	กิโลกรัม
	สารกำจัดโรคพืช (Fosetyl-Al)	80	80	กรัม
การเก็บเกี่ยวผลผลิต	การขนส่งผลผลิต	10	10	กิโลเมตร
	สับปะรด (ผล)	2,050-2,215	2,145	กิโลกรัม

การได้มาซึ่งข้อมูลและข้อสมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับแต่ละกระบวนการของวัฏจักรชีวิตอธิบายไว้ดังนี้

(1) การเตรียมพื้นที่เพาะปลูก

การเตรียมพื้นที่เพาะปลูกมีการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงของเครื่องจักรกลทางการเกษตรในการเตรียมดินหรือไถพรวนดิน และการตัดหญ้าเพื่อเตรียมพื้นที่ในการเพาะปลูก และมีการใช้สารกำจัดวัชพืช คือ ไกลโฟเซต (Glyphosate) ในขั้นตอนการเตรียมดินก่อนปลูกสับปะรดเพื่อทำลายวัชพืชยืนต้น เช่น หญ้าคา ไมยราบยักษ์ และแห้วหมู เป็นต้น ทำให้มีสารขาออกเป็นมลพิษที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลในเครื่องจักรกลทางการเกษตร และการใช้สารกำจัดวัชพืช

(2) การเพาะปลูก

การเพาะปลูกมีการใช้น้ำ โดยน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกส่วนใหญ่เป็นน้ำฝน เนื่องจากการปลูกสับปะรดนางแลนิยมปลูกในช่วงฤดูฝน ดังนั้นจึงไม่พิจารณาปริมาณการใช้น้ำในขั้นตอนนี้ ปัจจัยการผลิตที่พิจารณา คือ ปุ๋ยเคมีและสารกำจัดโรคพืชที่ใช้ในการเพาะปลูกและบำรุงรักษา โดยปุ๋ยเคมีที่ใช้ ได้แก่ ปุ๋ยสูตร 46-0-0 (ปุ๋ยยูเรีย) และปุ๋ยสูตร 16-20-0 เพื่อเป็นธาตุอาหารให้แก่หน่อพันธุ์หรือต้นอ่อนของสับปะรด และสารกำจัดโรคพืชที่ใช้ คือ ฟอสอีทิล-อะลูมิเนียม

(Fosetyl-aluminium) เพื่อป้องกันโรคยอดเน่าหรือต้นเน่า ทำให้มีสารขาออกเป็นมลพิษที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยเคมี และสารกำจัดโรคพืช

(3) การเก็บเกี่ยวผลผลิต

การเก็บเกี่ยวผลผลิตหรือสับปะรดที่สุกแล้วได้ใช้แรงงานมนุษย์ในการเก็บเกี่ยว ดังนั้นจึงสันนิษฐานว่าไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนนี้ อย่างไรก็ตามหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตถูกส่งไปยังผู้ซื้อในพื้นที่โดยรถบรรทุกขนาดเล็กหรือรถปิคอัพ ระยะทางประมาณ 10 กิโลเมตร ทำให้มีสารขาออกเป็นมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์รถปิคอัพ

3.7.3 การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment; LCIA)

เป็นการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการปลูกสับปะรดนางแล จากข้อมูลการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ และการปล่อยของเสียหรือสารขาเข้าและขาออกในแต่ละกระบวนการที่ได้มาจากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการ โดยวิธีการที่ใช้ในการประเมินผลกระทบของการศึกษานี้ คือ ReCiPe ซึ่งประกอบด้วยการจำแนกกลุ่มผลกระทบ (Classification) และการตีค่าผลกระทบของแต่ละกลุ่ม (Characterization) อาจรวมถึงการเทียบหนวย (Normalization) และการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) เพื่อให้ได้คาคะแนนเชิงเดี่ยว (Single Score) โดยมีการจำแนกประเภทของตัวชี้วัดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Indicators) เป็น 2 ระดับ ได้แก่ ผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นกลาง (Midpoint Impact) ประกอบด้วยตัวชี้วัด 17 จุด (midpoint) และผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นปลาย (Endpoint Impact) สามารถแบ่งกลุ่มความรุนแรงของผลกระทบได้เป็น 3 ด้าน คือ ความรุนแรงต่อระบบนิเวศ (Ecosystems) ความรุนแรงต่อสุขภาพของมนุษย์ (Human health) และความรุนแรงต่อการใช้ทรัพยากร (Resources) และทำการเทียบขนาดผลกระทบ (Normalization) ซึ่งเป็นการแสดงค่าผลกระทบที่ประเมินได้โดยเทียบกับขนาดอ้างอิง โดยขนาดอ้างอิงที่ใช้ คือ ผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั่วโลกโดยเฉลี่ยสำหรับปี 2000 (World ReCiPe H/H, 2000)

บทที่ 4
ผลการศึกษาและอภิปรายผลการศึกษา

4.1 ผลการเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถามจากผู้ผลิตสับปะรดรายใหญ่ 3 รายในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ Producer 1 (P1) Producer 2 (P2) และ Producer 3 (P3) ซึ่งเป็นเกษตรกรผู้ปลูกสับปะรดนางแล ในตำบลนางแล อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามแสดงดังตารางที่ 14 และนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์โดยการประเมินวัฏจักรชีวิตต่อไป

ตารางที่ 14 *ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม*

ข้อมูล	หน่วย (ต่อไร่)	P1	P2	P3
	Inputs			
พื้นที่ปลูก	ไร่	50	10	30
- พันธุ์นางแล		15	5	10
- พันธุ์ภูแล		35	5	20
ปุ๋ย N	กิโลกรัม	69	31	70
P		0	10	0
K		0	0	0
ยาฆ่าหญ้า (Glyphosate)	กรัม	192	192	192
รถไถพรวน (น้ำมันดีเซล)	ลิตร	3.6	3.6	3.6
การขนส่งปัจจัยการผลิต	กิโลเมตร	10	10	10
	Outputs			
ผลผลิตที่ได้	กิโลกรัม	2,215	2,050	2,170

4.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักทั้ง 4 ชุดทดลองได้ทำการตรวจวัดความชื้นและอุณหภูมิของปุ๋ยหมัก ระหว่างช่วงเวลาการทดลอง 60 วัน พบว่า มีความชื้นอยู่ในช่วง 56.3 - 63.7 เปอร์เซ็นต์ และมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 32.2 – 32.7 องศาเซลเซียส ส่วนผลจากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักทั้ง 4 ชุดทดลอง ซึ่งวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรียวัตถุ อินทรีย์คาร์บอนและสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณ

ฟอสฟอรัสทั้งหมด และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ โดยผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าการนำไฟฟ้า แสดงดังตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุอินทรีย์คาร์บอนและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน แสดงดังตารางที่ 16 และผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร แสดงดังตารางที่ 17

ตารางที่ 15 *ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างและค่าการนำไฟฟ้า*

ชุดทดลอง	**ครั้งที่**	**พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์**	
		ค่าความเป็นกรด-ด่าง	**ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)**
ชุดทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม)	1	8.10	3.03
	2	8.06	3.07
	3	8.04	2.97
	ค่าเฉลี่ย	**8.07**	**3.02**
ชุดทดลองที่ 2	1	8.17	3.11
	2	8.20	3.18
	3	8.17	3.23
	ค่าเฉลี่ย	**8.18**	**3.17**
ชุดทดลองที่ 3	1	7.76	4.93
	2	7.79	4.86
	3	7.76	4.89
	ค่าเฉลี่ย	**7.77**	**4.89**
ชุดทดลองที่ 4	1	7.78	4.15
	2	7.79	3.99
	3	7.82	3.91
	ค่าเฉลี่ย	**7.80**	**4.02**

จากตารางที่ 15 พบว่า ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของชุดทดลองทั้ง 4 ชุดทดลอง มีค่าเท่ากับ 8.07, 8.18, 7.77 และ 7.80 ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (5.5-8.5) ค่าความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อการดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งจะส่งผลต่อการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ โดยทั่วไปค่าความเป็นกรด-ด่างที่เป็นกลาง (pH=7) การสลายตัวของวัสดุอินทรีย์เกิดขึ้นได้เร็วกว่าในช่วงที่เป็นกรดหรือด่างมากเกินไป (ต่ำกว่า 4.5 หรือสูงกว่า 9.0) (ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) จะเห็นได้ว่า ชุดทดลองที่ 3 มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่าชุดทดลองอื่น ๆ เนื่องจากมีการใส่ปุ๋ยยูเรียเป็นส่วนผสมในการหมักปุ๋ย ซึ่งในกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) เป็นการเปลี่ยนยูเรียให้กลายเป็นแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) จากนั้นแอมโมเนียมไอออนจะถูกเปลี่ยนให้เป็นไนเตรทไอออน (NO_3^-) ด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) ซึ่งมีการปล่อยไฮโดรเจนไอออน (H^+) ออกมา (Davidson, 1987) ทำให้ชุดทดลองที่ 3 มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่าชุดทดลองอื่น ๆ ส่วนค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของชุดทดลองทั้ง 4 ชุดทดลอง มีค่าเท่ากับ 3.02, 3.17, 4.89 และ 4.02 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร (dS/m) ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (ไม่เกิน 10 dS/m) ค่าการนำไฟฟ้าเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเค็มหรือเกลือที่ละลายน้ำได้ในปุ๋ย อย่างไรก็ตามค่าความเป็นกรด-ด่างไม่ได้ส่งผลโดยตรงต่อการนำไฟฟ้า อาจจะส่งผลทางอ้อมต่อความสามารถในการละลายของเกลือและความชื้นของปุ๋ย จะเห็นได้ว่า ชุดทดลองที่ 3 มีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าชุดทดลองอื่น ๆ เนื่องจากปุ๋ยที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำทำให้มีปริมาณเกลือละลายน้ำได้สูง และมีค่าการนำไฟฟ้าสูงด้วย (Mohd-Aizat, Mohamad-Roslan, Sulaiman & Karam, 2014)

ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

ชุดทดลอง	ครั้งที่	พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์		
		อินทรียคาร์บอน (เปอร์เซ็นต์)	อินทรียวัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน
ชุดทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม)	1	37.54	64.72	34.06
	2	37.58	64.79	34.28
	3	36.37	64.48	32.90
	ค่าเฉลี่ย	**37.40**	**64.66**	**33.75**
ชุดทดลองที่ 2	1	35.46	61.14	34.74
	2	35.53	61.26	33.66
	3	34.41	61.33	33.51
	ค่าเฉลี่ย	**35.57**	**61.24**	**33.97**
ชุดทดลองที่ 3	1	30.42	52.45	19.79
	2	29.37	52.34	19.82
	3	30.36	52.10	19.23
	ค่าเฉลี่ย	**30.22**	**52.30**	**19.61**
ชุดทดลองที่ 4	1	33.87	56.46	44.46
	2	32.75	56.36	41.75
	3	32.69	56.15	44.21
	ค่าเฉลี่ย	**32.57**	**56.32**	**43.47**

จากตารางที่ 16 พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณร้อยละอินทรีย์คาร์บอนของชุดทดลองทั้ง 4 ชุดทดลอง มีค่าเท่ากับ 37.40, 35.57, 30.22 และ 32.57 ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยปริมาณร้อยละอินทรียวัตถุของชุดทดลองทั้ง 4 ชุดทดลอง มีค่าเท่ากับ 64.66, 61.24, 52.30 และ 56.32 ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก) โดยอินทรีย์คาร์บอนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของอินทรียวัตถุ และนำมาใช้ในการประเมินกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นกับอินทรียวัตถุ ค่าคาร์บอนที่มีอยู่ในสารอินทรีย์มีความสำคัญต่อจุลินทรีย์โดยจะย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อนำเอาคาร์บอนไปใช้สร้างองค์ประกอบของเซลล์ในการเจริญเติบโต (ฐนียา รังสีสุริยะชัย และกุลยา สาริชีวิน, 2560) จะเห็นได้ว่า ชุดทดลองที่ 3 มีปริมาณร้อยละอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุต่ำกว่าชุดลองอื่น ๆ อาจเป็นเพราะจุลินทรีย์มี

กระบวนการย่อยสลายที่มากกว่าชุดทดลองอื่น ๆ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนซึ่งมีค่าเท่ากับ 19.61 ถือว่าเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมต่อกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ และมีค่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (ไม่เกิน 20:1) อย่างไรก็ตาม Pace, Mille and Farrel-Poe (1995) ได้เสนอว่า หากอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเกินกว่า 30 จะทำให้อัตราการย่อยสลายของปุ๋ยหมักลดลง และอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดควรต่ำกว่า 25 โดยอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนบ่งบอกถึงความยากง่ายในการย่อยสลายในวัสดุที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง ทำให้อัตราการย่อยสลายต่ำ นอกจากนี้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนยังเป็นตัวบ่งชี้ถึงความอุดมสมบูรณ์ของการหมักปุ๋ยอีกด้วย ถ้าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง แสดงว่า สารประกอบต่าง ๆ เช่น เซลลูโลส ลิกนิน ยังย่อยสลายไม่หมด ดังนั้นในการผลิตปุ๋ยหมักควรใช้วัสดุที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมหรือหากสูงเกินไปควรมีการเติมสารประกอบไนโตรเจนในรูปต่าง ๆ เช่น ยูเรีย เพื่อให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำลง จะเห็นได้ว่า ชุดทดลองที่ 3 มีค่าอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่าชุดทดลองอื่น ๆ เนื่องจากมีการใส่ปุ๋ยยูเรียเป็นส่วนผสมในการหมักปุ๋ย จึงทำให้อัตราการย่อยสลายของปุ๋ยหมักนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่าชุดทดลองอื่น ๆ ส่วนชุดทดลองที่ 4 มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ เนื่องจากมีการใส่กากน้ำตาลเป็นส่วนผสมในการหมักปุ๋ย กากน้ำตาลเป็นวัสดุอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากที่มีปริมาณคาร์บอน 57.67 % ไนโตรเจน 0.40 % และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 146 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540) เมื่อนำไปใช้เป็นส่วนผสมในปุ๋ยหมักทำให้มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง ส่งผลให้อัตราการย่อยสลายของปุ๋ยหมักลดลง

ตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร

ชุดทดลอง	ครั้งที่	พารามิเตอร์วิเคราะห์		
		ไนโตรเจนทั้งหมด (ร้อยละ)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (ร้อยละ)	โพแทสเซียมทั้งหมด (ร้อยละ)
ชุดทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม)	1	1.90	0.25	1.50
	2	1.89	0.26	1.66
	3	1.96	0.25	1.58
	ค่าเฉลี่ย	**1.92**	**0.25**	**1.58**
ชุดทดลองที่ 2	1	1.76	0.28	1.72
	2	1.82	0.30	1.74
	3	1.83	0.28	1.72
	ค่าเฉลี่ย	**1.80**	**0.29**	**1.72**
ชุดทดลองที่ 3	1	2.65	0.51	1.76
	2	2.64	0.50	1.68
	3	2.71	0.53	1.76
	ค่าเฉลี่ย	**2.67**	**0.51**	**1.73**
ชุดทดลองที่ 4	1	1.27	0.40	1.69
	2	1.35	0.43	1.71
	3	1.27	0.44	1.76
	ค่าเฉลี่ย	**1.30**	**0.42**	**1.72**

จากตารางที่ 17 พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณร้อยละไนโตรเจนทั้งหมดของชุดทดลองทั้ง 4 ชุดทดลอง มีค่าเท่ากับ 1.92, 1.80, 2.67 และ 1.30 ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (ไม่น้อยว่าร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก) ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่จุลินทรีย์ต้องการในปริมาณมากเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต เนื่องจากส่วนประกอบของเซลล์จุลินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นพวกโปรตีนและกรดนิวคลีอีกซึ่งมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ในกระบวนการที่จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ มีความต้องการใช้ปริมาณธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบเพื่อช่วยในการย่อยสลายด้วย (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2551) จะเห็นได้ว่า ชุดทดลองที่ 3 มีปริมาณร้อยละไนโตรเจนทั้งหมดมากกว่าชุดทดลองอื่น ๆ เนื่องจากมีการใส่ปุ๋ยยูเรียเป็นส่วนผสมในการหมักปุ๋ย ซึ่ง

ปุ๋ยยูเรียมีธาตุไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบสำคัญโดยมีอัตราส่วนอยู่ที่ร้อยละ 46 ของน้ำหนัก ทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตและสามารถย่อยสารอินทรีย์ได้ดี ส่วนค่าเฉลี่ยปริมาณร้อยละฟอสฟอรัสทั้งหมดของชุดทดลองทั้ง 4 ชุดทดลอง มีค่าเท่ากับ 0.25, 0.29, 0.51 และ 0.42 ตามลำดับ ฟอสฟอรัสในสารอินทรีย์มีความสำคัญต่อกระบวนการหมักเช่นเดียวกับไนโตรเจน ฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารที่จุลินทรีย์ใช้ในกระบวนการหมักปุ๋ย ซึ่งใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ปริมาณฟอสฟอรัสของกองปุ๋ยหมักจะอยู่ในรูปของไดฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ (P_2O_5) (ธเรศ ศรีสถิต, 2558) จะเห็นได้ว่า ชุดทดลองที่ 3 มีปริมาณร้อยละฟอสฟอรัสทั้งหมดมากกว่าชุดทดลองอื่น ๆ และมีค่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (ไม่น้อยว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก) เนื่องจากจุลินทรีย์มีการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารเพื่อช่วยในการเจริญเติบโต นอกจากนั้นมูลของสัตว์ปีกยังมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่าสัตว์ประเภทอื่น จากการศึกษาของ อุดมพงศ์ อนุกูลการกุศล (2525) พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในมูลไก่กับมูลควาย มีค่าเท่ากับ 4.04 % และ 0.52 % ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ชุดทดลองที่ 3 และชุดทดลองที่ 4 มีค่าปริมาณร้อยละฟอสฟอรัสทั้งหมดใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีการใช้มูลไก่เป็นส่วนผสมในการหมักปุ๋ย ทำให้มีปริมาณร้อยละฟอสฟอรัสทั้งหมดมากกว่าชุดทดลองที่ 1 และชุดทดลองที่ 2 ค่าเฉลี่ยปริมาณร้อยละโพแทสเซียมทั้งหมดของชุดทดลองทั้ง 4 ชุดทดลอง มีค่าเท่ากับ 1.58, 1.72, 1.73 และ 1.72 ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (ไม่น้อยว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก) จะเห็นได้ว่า ชุดทดลองทั้ง 4 ชุดทดลองมีค่าปริมาณร้อยละโพแทสเซียมทั้งหมดใกล้เคียงกัน เนื่องจากใบสับปะรดเป็นวัสดุอินทรีย์ที่ปริมาณโพแทสเซียมค่อนข้างสูง (2.64 %) เมื่อเทียบกับวัสดุอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เช่น ผักตบชวา (1.84 %) แกลบ (1.08 %) เปลือกมันสำปะหลังแห้ง (0.67 %) และใบอ้อย (0.58 %) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu et al. (2013) ที่ใช้ใบสับปะรดหมักร่วมกับน้ำหมักชีวภาพ พบว่า มีปริมาณของไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ซึ่งทำให้ธาตุอาหารในดินเพิ่มขึ้น เท่ากับ 10 % 59.8 % และ 145.1 % ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ปุ๋ยหมักจากใบสับปะรดค่อนข้างมีปริมาณโพแทสเซียมสูงกว่าธาตุอาหารอื่น

4.3 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตของการปลูกสับปะรดนางแล 1 ไร่ จากการเตรียมพื้นที่เพาะปลูกจนถึงการเก็บเกี่ยว ด้วยวิธี ReCiPe Endpoint (Hierarchist; H) ซึ่งผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการวัฏจักรชีวิต ผลการประเมินผลกระทบของตัวชี้วัดผลกระทบสิ่งแวดล้อมหรือผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint impact) และผลการประเมินผลกระทบโดยภาพรวมหรือผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint impact) โดยแบ่งสถานการณ์เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อม ออกเป็น 6 สถานการณ์ ได้แก่ สถานการณ์พื้นฐาน สถานการณ์ที่มีธาตุอาหารทดแทนจากการใช้ปุ๋ยหมัก (สถานการณ์ที่ 1 ถึง 4) และสถานการณ์การเผาไหม้ใบสับปะรดหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต (สถานการณ์ที่ 5)

4.3.1 ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการวัฏจักรชีวิต

การวิเคราะห์บัญชีรายการวัฏจักรชีวิตเป็นการเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา โดยพิจารณาถึงวัตถุดิบต่าง ๆ เช่น ปุ๋ยเคมีสูตรต่าง ๆ สารกำจัดวัชพืช และสารกำจัดโรคพืช รวมไปถึงน้ำมันดีเซลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องจักรทางการเกษตรและการขนส่งผลผลิต ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการวัฏจักรชีวิตทั้ง 6 สถานการณ์ แสดงดังตารางที่ 18 ในสถานการณ์พื้นฐานกระบวนการเตรียมพื้นที่เพาะปลูกมีการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงของเครื่องจักรกลทางการเกษตรในการเตรียมดินหรือไถพรวนดิน (Tillage) และการตัดหญ้า (Mowing) เพื่อเตรียมพื้นที่ในการเพาะปลูก และมีการใช้สารกำจัดวัชพืช คือ ไกลโฟเซต (Glyphosate) ในขั้นตอนการเตรียมดินก่อนปลูกสับปะรดเพื่อทำลายวัชพืชยืนต้น กระบวนการเพาะปลูกปุ๋ยเคมีที่ใช้ ได้แก่ ปุ๋ยสูตร 46-0-0 (ปุ๋ยยูเรีย) และปุ๋ยสูตร 16-20-0 เพื่อเป็นธาตุอาหารให้แก่หน่อพันธุ์หรือต้นอ่อนของสับปะรด และสารกำจัดโรคพืชที่ใช้ คือ ฟอสอีทิล-อะลูมิเนียม (Fosetyl-aluminium) เพื่อป้องกันโรคยอดเน่าหรือต้นเน่า กระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิตหรือสับปะรดที่สุกแล้ว ผลผลิตถูกขนส่ง (Transportation) ไปยังผู้ซื้อในพื้นที่โดยรถบรรทุกขนาดเล็กหรือรถปิคอัพ ระยะทางประมาณ 10 กิโลเมตร ส่วนในสถานการณ์ที่ 1-4 เป็นสถานการณ์ที่มีธาตุอาหารทดแทนจากการใช้ปุ๋ยหมัก (ชุดทดลองที่ 1-4) มีการใช้ส่วนผสมที่แตกต่างกันในแต่ละชุดทดลอง (รายละเอียดดังที่กล่าวไว้ตามตารางที่ 10) และในสถานการณ์ที่ 5 เป็นการเผาไหม้ใบสับปะรดหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต ทำให้มีสารขาออกเป็นมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ ซึ่งสารมลพิษที่ทำการพิจารณา ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$)

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการวัฏจักรชีวิตทั้ง 6 สถานการณ์

Flow	Units (unit/ha/crop)	สถานการณ์พื้นฐาน	สถานการณ์ที่ 1	สถานการณ์ที่ 2	สถานการณ์ที่ 3	สถานการณ์ที่ 4	สถานการณ์ที่ 5
INPUTS							
Tillage	ha	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Mowing	ha	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Glyphosate	g	192	192	192	192	192	192
Fosetyl-Al	g	80	80	80	80	80	80
Transportation	km	10	10	10	10	10	10
Fertilisers							
N-Fertiliser	kg N	49	45.65	45.86	44.35	46.73	49
P-Fertiliser	kg P_2O_5	3.33	2.89	2.84	2.48	2.60	3.33
K-Fertiliser	kg K_2O	0	0	0	0	0	0
EM	L	0	0	174.33	0	0	0
Manure	kg	0	0	0	34.87	17.43	0
Urea	kg	0	0	0	1.74	0	0
Molasses	kg	0	0	0	0	17.43	0

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการวัฏจักรชีวิตทั้ง 6 สถานการณ์ (ต่อ)

Flow	Units (unit/ha/crop)	สถานการณ์พื้นฐาน	สถานการณ์ที่ 1	สถานการณ์ที่ 2	สถานการณ์ที่ 3	สถานการณ์ที่ 4	สถานการณ์ที่ 5
OUTPUTS							
Fresh pineapple	kg	2,145	2,145	2,145	2,145	2,145	2,145
Residual	kg	174.33	0	0	0	0	0
CO_2 emission	mg/g	0	0	0	0	0	164.89
CO emission	mg/g	0	0	0	0	0	0.96
SO_2 emission	mg/g	0	0	0	0	0	0.06
PM 2.5	mg/g	0	0	0	0	0	8.24

4.3.2 ผลการประเมินผลกระทบของตัวชี้วัดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

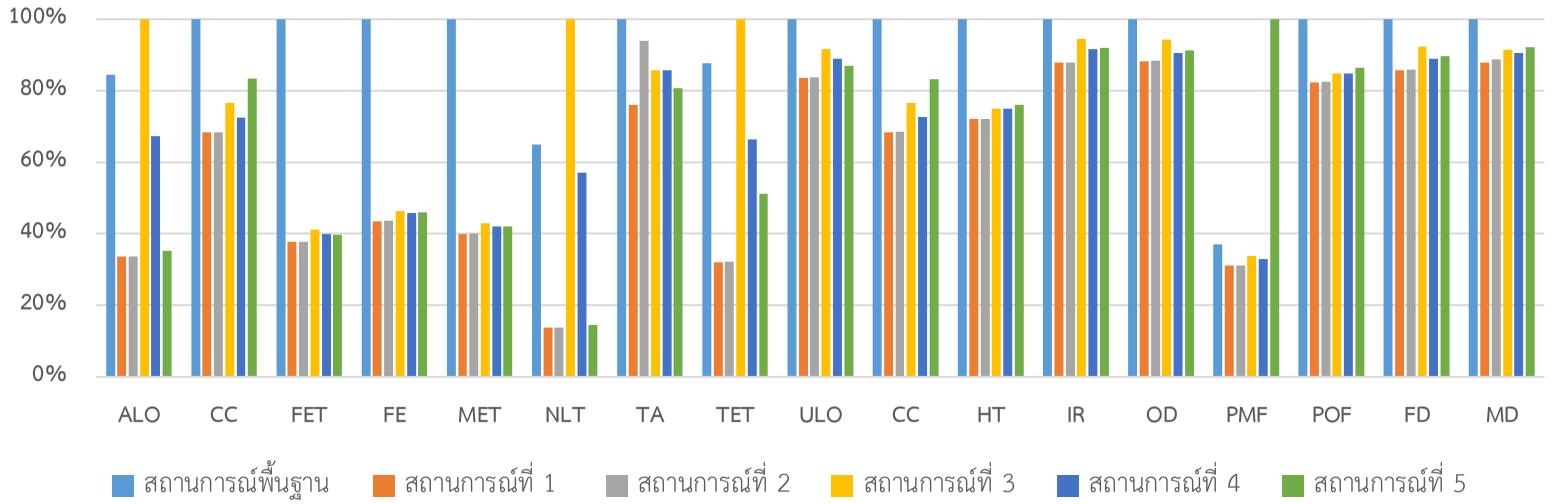
การประเมินผลของตัวชี้วัดผลกระทบหรือผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นกลาง (Midpoint impact) โดยได้ทำการประเมินผลกระทบแบ่งออกเป็นทั้งหมด 16 ด้านหลัก ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change; CC) การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำในแหล่งน้ำจืด (Freshwater eutrophication; FE) การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำจืด (Freshwater ecotoxicity; FET) การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อน้ำทะเล (Marine ecotoxicity; MET) การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดิน (Terrestrial ecotoxicity; TET) การเกิดภาวะความเป็นกรดในดิน (Terrestrial acidification; TA) การครอบครองพื้นที่ทางการเกษตร (Agricultural land occupation; ALO) การครอบครองพื้นที่ในเมือง (Urban land occupation; ULO) การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ทางธรรมชาติ (Natural land transformation; NLT) ความเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ (Human toxicity; HT) การเกิดรังสีไอออไนซ์ (Ionizing radiation; IR) การลดลงของชั้นโอโซน (Ozone depletion; OD) การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน (Particulate matter formation; PMF) การเกิดภาวะก่อตัวของสารโฟโตเคมิคอลออกซิแดนท์ (Photochemical oxidant formation; POF) การลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil depletion; FD) และการลดลงของโลหะ (Metal depletion; MD) ซึ่งผลการประเมินผลกระทบของตัวชี้วัดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการเปรียบเทียบสถานการณ์ทั้ง 6 สถานการณ์ แสดงดังตารางที่ 19 และการเปรียบเทียบผลกระทบของตัวชี้วัดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของสถานการณ์ทั้ง 6 สถานการณ์ แสดงดังภาพที่ 11 ผลของมลสารขาเข้าที่มีความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดลอมของสถานการณ์พื้นฐานแสดงดังภาพที่ 12 ผลของมลสารขาเข้าที่มีความสามารถในการกอให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสถานการณ์ที่ 1 ถึง 4 (สถานการณ์ที่มีธาตุอาหารทดแทนจากการใช้ปุ๋ยหมักของชุดทดลองที่ 1-4) แสดงดังภาพที่ 13 ถึงภาพที่ 16 ตามลำดับ และผลของมลสารขาเข้าที่มีความสามารถในการกอให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสถานการณ์ที่ 5 (สถานการณ์การเผาไหม้ใบสับปะรดหลังการเก็บเกี่ยว) แสดงดังภาพที่ 17

ตารางที่ 19 ผลการประเมินผลกระทบของตัวชี้วัดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการเปรียบเทียบสถานการณ์ทั้ง 6 สถานการณ์

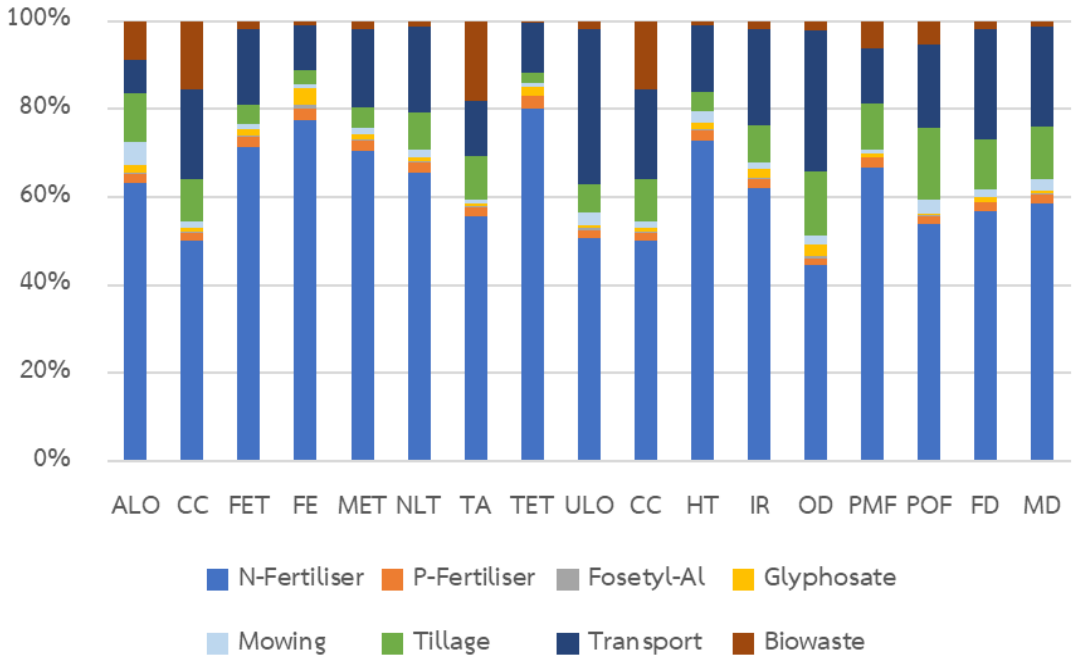
ตัวชี้วัดผลกระทบ	หน่วย	กลุ่มผลกระทบ	สถานการณ์พื้นฐาน	สถานการณ์ที่ 1	สถานการณ์ที่ 2	สถานการณ์ที่ 3	สถานการณ์ที่ 4	สถานการณ์ที่ 5
ALO	species*yr	ระบบนิเวศ	2.61E-07	1.04E-07	1.04E-07	3.09E-07	2.08E-07	1.09E-07
CC	species*yr	ระบบนิเวศ	1.93E-06	1.32E-06	1.32E-06	1.48E-06	1.40E-06	1.61E-06
FET	species*yr	ระบบนิเวศ	5.06E-09	1.91E-09	1.91E-09	2.08E-09	2.02E-09	2.01E-09
FE	species*yr	ระบบนิเวศ	8.19E-09	3.56E-09	3.57E-09	3.79E-09	3.75E-09	3.77E-09
MET	species*yr	ระบบนิเวศ	9.40E-10	3.75E-10	3.76E-10	4.04E-10	3.95E-10	3.95E-10
NLT	species*yr	ระบบนิเวศ	7.87E-07	1.66E-07	1.67E-07	1.21E-06	6.91E-07	1.75E-07
TA	species*yr	ระบบนิเวศ	8.55E-09	6.50E-09	6.52E-09	8.03E-09	7.33E-09	6.90E-09
TET	species*yr	ระบบนิเวศ	1.93E-08	7.04E-09	7.07E-09	2.20E-08	1.46E-08	7.48E-09
ULO	species*yr	ระบบนิเวศ	8.80E-08	7.36E-08	7.37E-08	8.06E-08	7.82E-08	7.65E-08
CC	DALY	สุขภาพมนุษย์	3.41E-04	2.33E-04	2.34E-04	2.61E-04	2.48E-04	2.84E-04
HT	DALY	สุขภาพมนุษย์	8.05E-05	5.80E-05	5.81E-05	6.09E-05	6.03E-05	6.12E-05
IR	DALY	สุขภาพมนุษย์	2.88E-07	2.53E-07	2.53E-07	2.72E-07	2.64E-07	2.65E-07
OD	DALY	สุขภาพมนุษย์	6.24E-08	5.51E-08	5.52E-08	5.89E-08	5.65E-08	5.70E-08
PMF	DALY	สุขภาพมนุษย์	2.07E-04	1.74E-04	1.74E-04	1.89E-04	1.84E-04	5.58E-04

ตารางที่ 19 ผลการประเมินผลกระทบของตัวชี้วัดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการเปรียบเทียบสถานการณ์ทั้ง 6 สถานการณ์ (ต่อ)

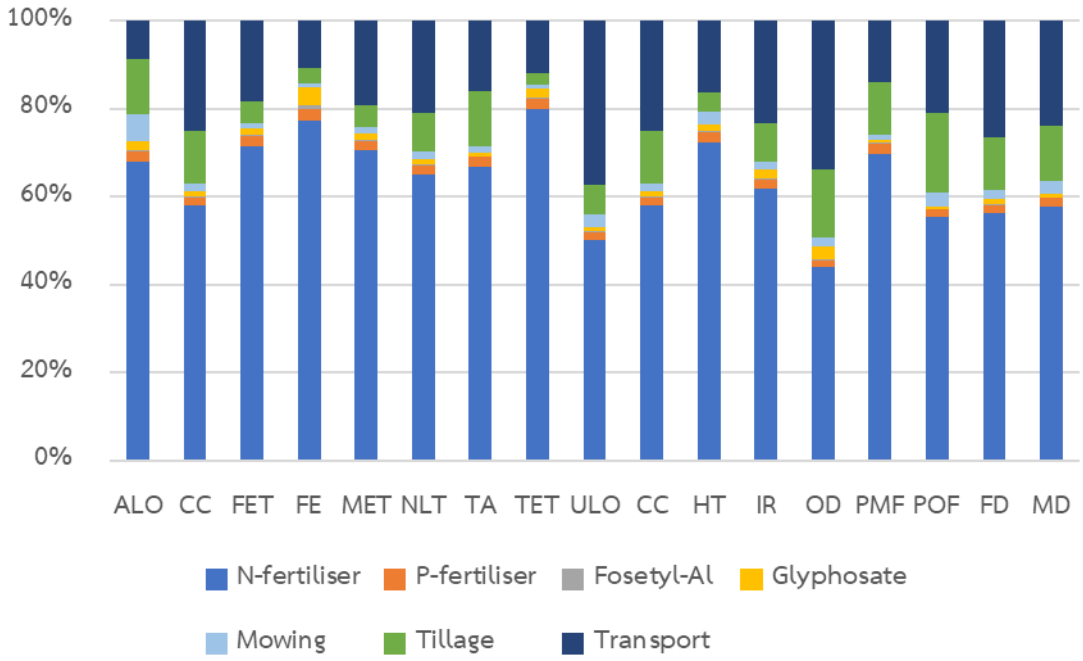
ตัวชี้วัดผลกระทบ	หน่วย	กลุ่มผลกระทบ	สถานการณ์พื้นฐาน	สถานการณ์ที่ 1	สถานการณ์ที่ 2	สถานการณ์ที่ 3	สถานการณ์ที่ 4	สถานการณ์ที่ 5
POF	DALY	สุขภาพมนุษย์	5.57E-08	4.59E-08	4.60E-08	4.73E-08	4.73E-08	4.82E-08
FD	USD	การใช้ทรัพยากร	1.04E+01	8.92E+00	8.94E+00	9.61E+00	9.26E+00	9.32E+00
MD	USD	การใช้ทรัพยากร	1.16E+00	1.02E+00	1.03E+00	1.06E+00	1.05E+00	1.07E+00



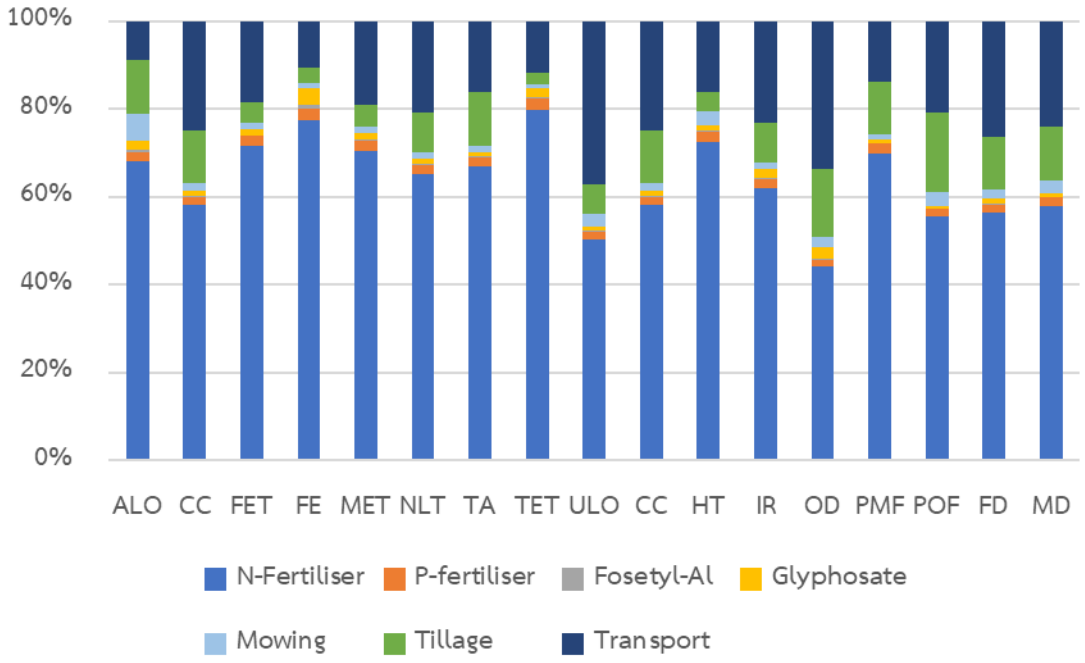
ภาพที่ 11 การเปรียบเทียบผลกระทบของตัวชี้วัดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของสถานการณ์ทั้ง 6 สถานการณ์



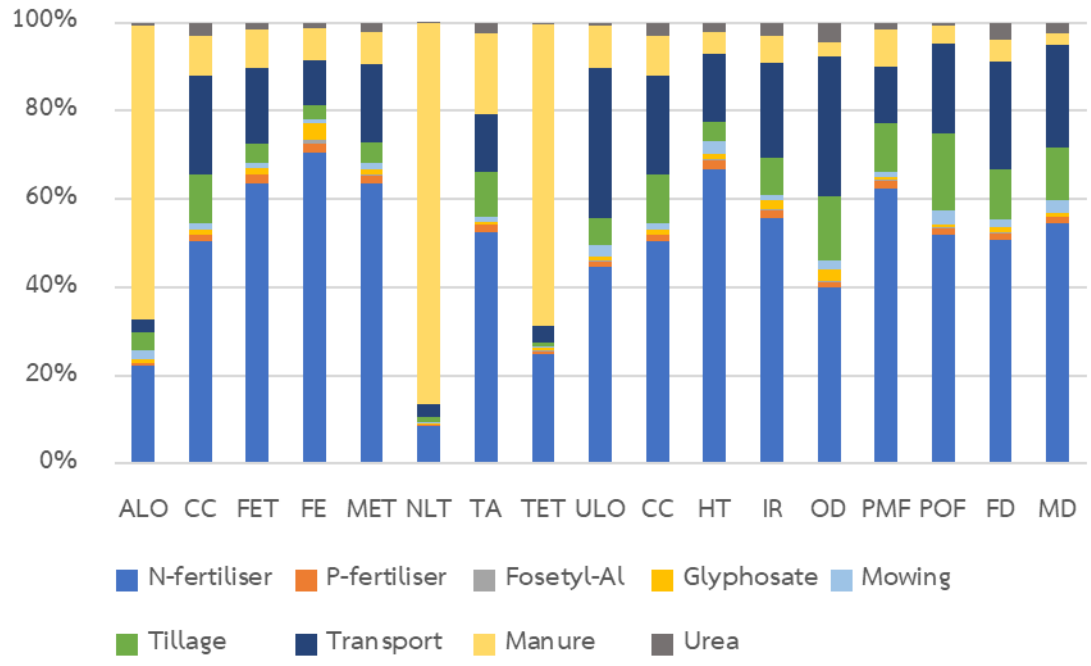
ภาพที่ 12 ผลของมลสารขาเข้าที่มีความสามารถในการกอให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสถานการณ์พื้นฐาน



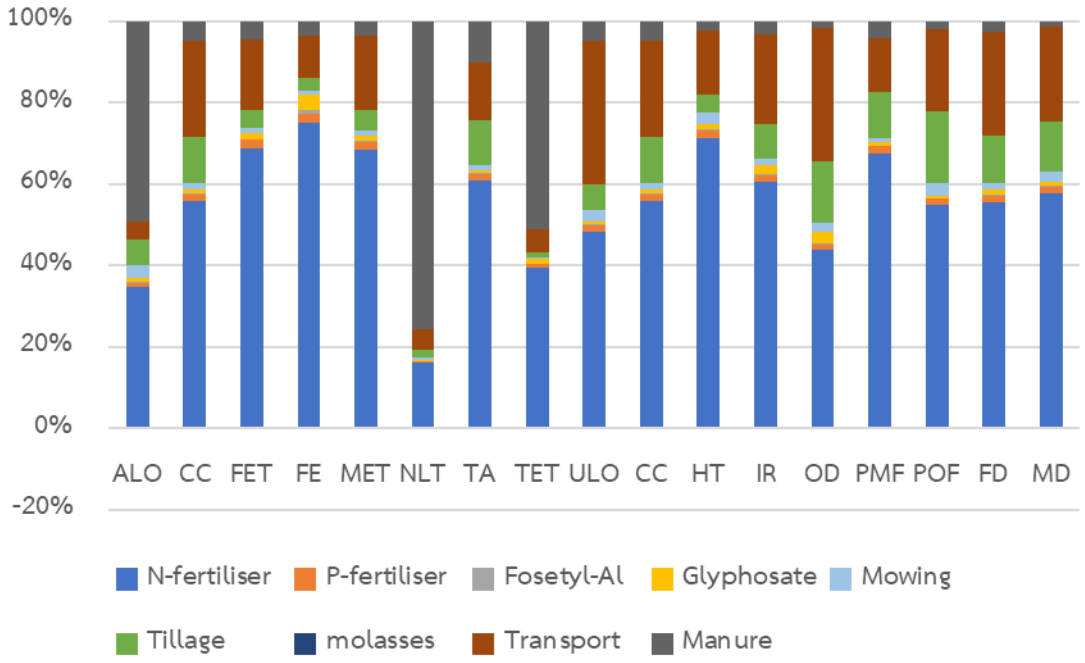
ภาพที่ 13 ผลของมลสารขาเข้าที่มีความสามารถในการกอให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสถานการณ์ที่ 1



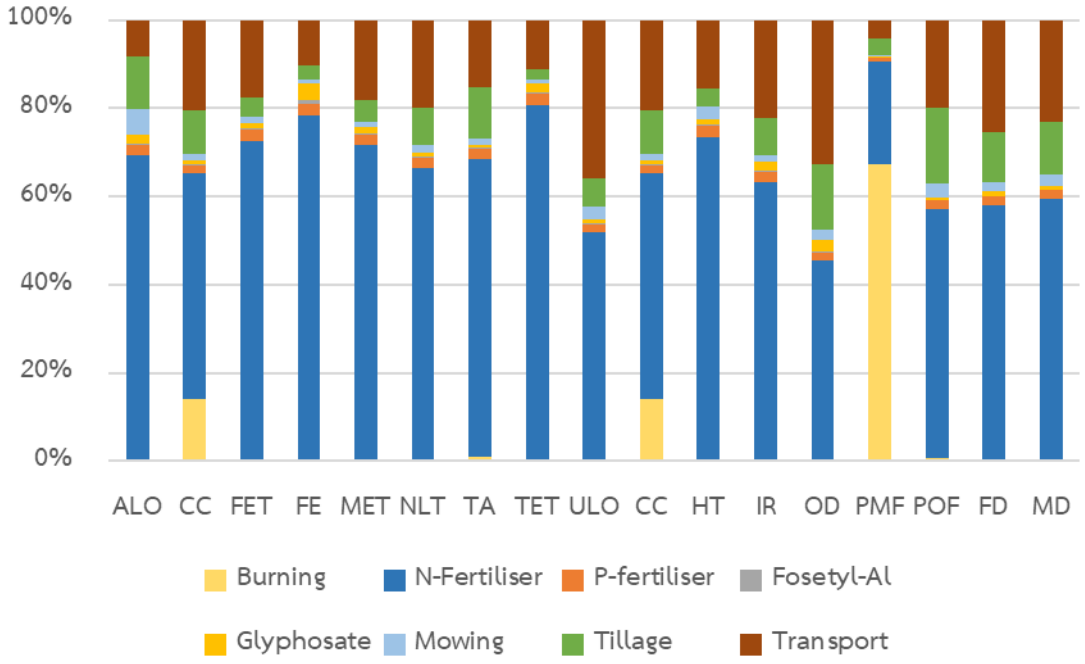
ภาพที่ 14 ผลของมลสารขาเข้าที่มีความสามารถในการกอให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสถานการณ์ที่ 2



ภาพที่ 15 ผลของมลสารขาเข้าที่มีความสามารถในการกอให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสถานการณ์ที่ 3



ภาพที่ 16 ผลของมลสารขาเข้าที่มีความสามารถในการกอให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสถานการณ์ที่ 4



ภาพที่ 17 ผลของมลสารขาเข้าที่มีความสามารถในการกอให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสถานการณ์ที่ 5

จากการเปรียบเทียบการประเมินผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint Impact) ทั้ง 6 สถานการณ์ ดังตารางที่ 18 และภาพที่ 11 พบว่า สถานการณ์พื้นฐานมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกลุ่มผลกระทบส่วนใหญ่ ยกเว้นผลกระทบการครอบครองพื้นที่ทางการเกษตร (ALO) การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ทางธรรมชาติ (NLT) การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดิน (TET) และการเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน (PMF) หากพิจารณาถึงมลสารที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมดังภาพที่ 12 พบว่าการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนหรือปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ในการเพาะปลูกสับปะรดนางแล เพื่อช่วยในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต ก่อให้ผลกระทบตอสิ่งแวดล้อมในทุกกลุ่มผลกระทบมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ingwersen (2012) ซึ่งระบุว่าปุ๋ยไนโตรเจนมีบทบาทสำคัญในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการผลิตสับปะรด นอกจากนั้นแล้วการใช้ปุ๋ยเคมีนั้นมีผลเสียอย่างรุนแรงต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการปนเปื้อนธาตุอาหารจากการเกษตรลงในแหล่งน้ำ และเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารของระบบนิเวศน้ำจืดและน้ำเค็ม และยังส่งผลเสียต่อดินทำให้โครงสร้างของดินเสื่อมลง ทำลายระบบนิเวศในดิน และส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในดิน อีกทั้งส่งผลกระทบต่อภูมิอากาศของโลกด้วย โดยเฉพาะการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) สู่บรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ ก๊าซนี้จะทำลายชั้นโอโซน ทำให้ปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง ทำให้อุณหภูมิของโลกร้อนขึ้น และส่งผลให้เกิดภาวะเรือนกระจกอีกด้วย (Natural Agriculture, 2012)

ผลกระทบรองลงมา คือ การขนส่งผลผลิต (Transportation) โดยใช้รถกระบะ และการไถพรวนดิน (Tillage) ในการเตรียมพื้นที่เพาะปลูกโดยใช้เครื่องจักรกลทางเกษตร ตามลำดับ ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล ประกอบด้วยสารมลพิษหลายอย่างที่เป็นพิษต่อมนุษย์ และเป็นสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) เป็นต้น สำหรับมลพิษหลักที่เกิดขึ้น คือ ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) เป็นมลพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ เมื่อได้รับ NO_x ในปริมาณที่สูงส่งผลทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ (Fernando, Hall, & Jha, 2006) นอกจากนี้ยังส่งผลให้เกิดหมอกควัน (Smog) ในบรรยากาศ อันเป็นต้นเหตุให้เกิดมลพิษทางอากาศ (Majewski and Khair, 2006)

สถานการณ์ทั้ง 6 สถานการณ์มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (CC) สูงที่สุดในหมวดหมู่ความเสียหายต่อระบบนิเวศ และความเสียหายต่อสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ WAFF (2011) ระบุว่ากระบวนการเพาะปลูกมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด

ในขณะที่ผลกระทบต่อการสูญเสียฟอสซิล (FD) สูงที่สุดในหมวดหมู่ความเสียหายของทรัพยากร อย่างไรก็ตามในสถานการณ์ที่ 5 มีผลกระทบต่อการเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน (PMF) ในหมวดหมู่ความเสียหายของสุขภาพมนุษย์สูงกว่าสถานการณ์อื่น ๆ หากพิจารณาถึงมลสารที่ก่อให้เกิดผลกระทบ ดังภาพที่ 17 พบว่า การเผาใบสับปะรดก่อให้เกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน (PMF) มากที่สุด เนื่องจากการเผาไหม้ของใบสับปะรดหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรก่อให้เกิดกาซตางๆ จากกระบวนการเผาไหม เช่น คารบอนมอนอกไซด (CO) คารบอนไดออกไซด (CO_2) ออกไซดของไนโตรเจน (NO_x) ซัลเฟอรไดออกไซด (SO_2) องคประกอบสารอินทรียระเหย (VOCs) รวมทั้งฝุนละอองรวม (Total Particulate Mater : TPM) เถา (Ash) ควันและเขมา (Smoke) การเผาในที่โลงแจงในบริเวณกวาง จะนำไปสูการเกิดหมอกควันในปริมาณสูง ซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย สิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ และสิ่งแวดล้อม

เมื่อเปรียบเทียบกับสถานการณ์ที่ 1 ถึงสถานการณ์ที่ 4 ซึ่งเป็นสถานการณ์ที่มีธาตุอาหารทดแทนจากการใช้ปุ๋ยหมัก เพื่อลดการใช้ปุ๋ยเคมี ดังตารางที่ 18 พบว่า ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทุกกลุ่มผลกระทบมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด ยกเว้นผลกระทบการครอบครองพื้นที่ทางการเกษตร (ALO) การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ทางธรรมชาติ (NLT) และการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดิน (TET) ซึ่งในสถานการณ์ที่ 3 จะมีค่าสูงกว่าสถานการณ์อื่น ๆ ดังภาพที่ 15 เนื่องจากสถานการณ์ที่ 3 เป็นสถานการณ์การใช้ปุ๋ยหมักของชุดทดลองที่ 3 ซึ่งมีการใส่ปุ๋ยยูเรียและมูลไก่เป็นส่วนผสมในการหมักปุ๋ย ผลกระทบของการครอบครองพื้นที่ทางการเกษตร (ALO) และการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ทางธรรมชาติ (NLT) เป็นผลกระทบที่เกิดจากการใช้พื้นที่พื้นที่ทางการเกษตรในการเลี้ยงไก่ และใช้พื้นที่ในการปลูกพืชเพื่อเป็นอาหารของไก่ เช่น ข้าวโพด ข้าวเจ้า เป็นต้น ส่วนผลกระทบการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดิน (TET) เป็นผลกระทบที่เกิดจากการใช้สารเคมี Cypermethrin สำหรับการปลูกพืช เพื่อใช้เป็นอาหารของไก่ โดยสารเคมี Cypermethrin เป็นสารกำจัดแมลงในกลุ่มไพรีทรอยด์ส (Synthetic Pyrethriods) ซึ่งเป็นสารที่สังเคราะห์ขึ้นเลียนแบบธรรมชาติ ซึ่งสกัดได้จากดอกเบญจมาศ มีความไวทางชีวภาพสูง ทำให้ไม่มีพิษสะสมในร่างกายจึงเป็นพิษต่อคนและสัตว์น้อยมาก แต่เป็นพิษต่อแมลงสูง โดยมีฤทธิ์ทำลายระบบประสาทของแมลง (ปริยานุช สายสุพรรณ, 2561)

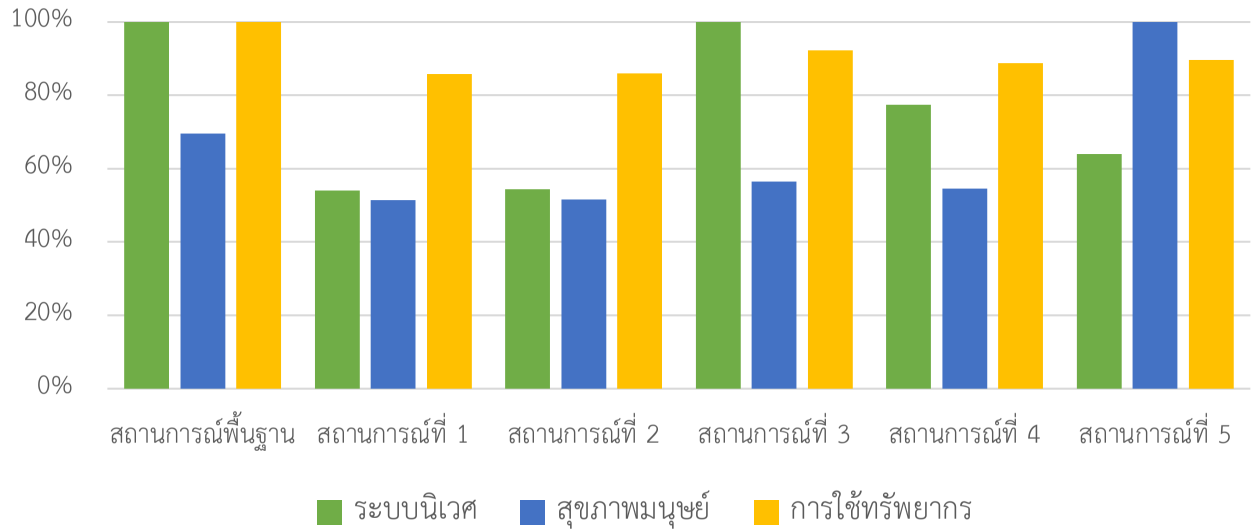
4.3.3 ผลการประเมินผลกระทบโดยภาพรวม

นอกจากทำการประเมินแยกเป็นรายผลกระทบแล้วในงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินผลกระทบโดยภาพรวม ซึ่งทุกผลกระทบถูกนำมาให้น้ำหนักและแสดงผลออกมาในหน่วย “Point: Pt” โดยสามารถแบ่งกลุ่มผลกระทบได้เป็น 3 ด้าน คือ กลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศ

(Ecosystems) กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ (Human health) และกลุ่มผลกระทบต่อการใช้ทรัพยากร (Resources) เพื่อพิจารณาว่ากลุมใดมีความสำคัญหรือรุนแรงที่สุด เนื่องจากกลุ่มผลกระทบทั้ง 3 ดานจัดเปนผลกระทบปลายทาง (Endpoint impact) ผลการประเมินผลกระทบโดยภาพรวมทั้ง 6 สถานการณ์ แสดงดังตารางที่ 20 และ ผลการประเมินผลกระทบของกลุ่มผลกระทบทั้ง 3 ด้านจากการเปรียบเทียบสถานการณ์ทั้ง 6 สถานการณ์ แสดงดังภาพที่ 17 ซึ่งจากการประเมินผลกระทบโดยภาพรวม พบว่า ค่าความเสียหายส่วนใหญ่เกิดจากความเสียหายของการใช้ทรัพยากร ซึ่งสถานการณ์พื้นฐานก่อให้เกิดความเสียหายด้านการใช้ทรัพยากรสูงที่สุด เป็นผลมาจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลรวมถึงถ่านหินน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ การใช้ประโยชน์ในการผลิตปุ๋ยไนโตรเจน และน้ำมันดีเซลที่ใช้ในการขนส่งและเครื่องจักรกลทางการเกษตร โดยมีผลกระทบของการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล (FD) เป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญ เนื่องจากกระบวนการผลิตปุ๋ยไนโตรเจนหรือปุ๋ยยูเรียเริ่มจากการดูดก๊าซไนโตรเจน (N_2) จากอากาศ และนำก๊าซธรรมชาติมาผลิตก๊าซไฮโดรเจน (H_2) (บางโรงงานผลิตจากถ่านหิน) มาผ่านกระบวนการผลิตเป็นแอมโมเนีย (NH_3) และได้ผลพลอยได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (Umweltbundesamt, 2017) ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้อุณหภูมิในบรรยากาศของโลกสูงขึ้น และเป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ความเสียหายต่อสุขภาพของมนุษย์ส่วนใหญ่มาจากสถานการณ์ที่ 5 เป็นผลมาจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้ใบสับปะรด โดยมีผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (CC) เป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญ เนื่องจากกระบวนการเผาไหม้ก่อให้เกิดเขม่าควัน เถ้า ฝุ่นละออง และก๊าซพิษต่าง ๆ เช่น คารบอนมอนอกไซด (CO) คารบอนไดออกไซด (CO_2) ออกไซดของไนโตรเจน (NO_x) ซัลเฟอรไดออกไซด (SO_2) เป็นต้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสุขภาพของมนุษย์ ความเสียหายต่อระบบนิเวศนั้นมาจากสถานการณ์พื้นฐาน และสถานการณ์ที่ 3 ซึ่งสถานการณ์พื้นฐาน เป็นผลมาจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนหรือปุ๋ยยูเรียในการเพาะปลูก ส่วนสถานการณ์ที่ 3 เป็นผลมาจากการใช้ปุ๋ยยูเรียเป็นส่วนผสมในการหมักปุ๋ย โดยมีผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (CC) เป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญ เนื่องจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนหรือปุ๋ยยูเรียส่งผลกระทบต่อภูมิอากาศของโลก โดยเฉพาะการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) สู่บรรยากาศ ก๊าซนี้จะทำลายชั้นโอโซน ทำให้ปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง และทำให้อุณหภูมิของโลกร้อนขึ้นด้วย อีกทั้งเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารของระบบนิเวศน้ำจืดและน้ำเค็ม และส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในดิน

ตารางที่ 20 ผลการประเมินผลกระทบโดยภาพรวมหรือผลกระทบปลายทางทั้ง 6 สถานการณ์

กลุ่มผลกระทบ	หน่วย	สถานการณ์พื้นฐาน	สถานการณ์ที่ 1	สถานการณ์ที่ 2	สถานการณ์ที่ 3	สถานการณ์ที่ 4	สถานการณ์ที่ 5
ระบบนิเวศ	Pt	3.11E-06	1.68E-06	1.69E-06	3.11E-06	2.41E-06	1.99E-06
สุขภาพมนุษย์	Pt	6.29E-04	4.65E-04	4.66E-04	5.10E-04	4.93E-04	9.04E-04
การใช้ทรัพยากร	Pt	1.16E+01	9.95E+00	9.97E+00	1.07E+01	1.03E+01	1.04E+01
รวม	Pt	1.16E+01	9.95E+00	9.97E+00	1.07E+01	1.03E+01	1.04E+01



ภาพที่ 18 ผลการประเมินผลกระทบของกลุ่มผลกระทบทั้ง 3 ด้านจากการเปรียบเทียบสถานการณ์ทั้ง 6 สถานการณ์

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของสับปะรดนางแลเน้นขั้นตอนในการเพาะปลูก โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต และประเมินศักยภาพของปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุเหลือใช้จากการเพาะปลูก คือ ใบสับปะรด ในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการปลูกสับปะรดนางแล สามารถสรุปผลและมีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผล

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ให้ความสนใจถึงการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตสับปะรดนางแล และเห็นถึงความสำคัญของการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ จึงมองเห็นศักยภาพในการนำใบสับปะรดนางแลมาผลิตเป็นปุ๋ยหมัก โดยสร้างชุดทดลองจากใบสับปะรด การสร้างชุดทดลองทำได้โดยนำใบสับปะรดมาทำให้แห้งและสร้างชุดทดลองเพื่อทำปุ๋ยหมัก แบ่งออกเป็น 4 ชุดทดลอง โดยทุกชุดทดลองมีการควบคุมความชื้นในการผสมครั้งแรกที่ 65% และรักษาความชื้นระหว่างช่วงเวลาการทดลอง 60 วันที่ระดับความชื้น 60% จากการตรวจวัดความชื้นและอุณหภูมิของปุ๋ยหมักทั้ง 4 ชุดทดลอง ระหว่างช่วงเวลาการทดลอง 60 วัน พบว่า มีความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 59.8 เปอร์เซ็นต์ และมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 32.5 องศาเซลเซียส โดยสามารถสรุปผลการศึกษาที่สำคัญตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาและขั้นตอนของการศึกษาที่ตั้งไว้ดังนี้

5.1.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมัก

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักทั้ง 4 ชุดทดลอง ซึ่งวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของชุดทดลองทั้ง 4 ชุดทดลอง พบว่า มีค่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (5.5-8.5) โดยเห็นได้ว่าชุดทดลองที่ 3 มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7.77 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าชุดทดลองอื่น ๆ โดยทั่วไปค่าความเป็นกรด-ด่างที่เป็นกลาง (pH=7) การสลายตัวของวัสดุอินทรีย์เกิดขึ้นได้เร็วกว่าในช่วงที่เป็นกรดหรือด่างมากเกินไป (ต่ำกว่า 4.5 หรือสูงกว่า 9.0) การวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าของชุดทดลองทั้ง 4 ชุดทดลอง มีค่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (ไม่เกิน 10 dS/m) โดยเห็นได้ว่า ชุดทดลองที่ 3 มีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าชุดทดลองอื่น ๆ เนื่องจากปุ๋ยที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ ทำให้มีปริมาณเกลือละลายน้ำได้สูง และมีค่าการนำไฟฟ้าสูงด้วย

การวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุ อินทรีย์คาร์บอน และสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน พบว่า ปริมาณร้อยละอินทรียวัตถุของชุดทดลองทั้ง 4 ชุดทดลอง มีค่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก) โดยอินทรีย์คาร์บอนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของอินทรียวัตถุ และนำมาใช้ในการประเมินกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นกับอินทรียวัตถุ โดยเห็นได้ว่า ชุดทดลองที่ 3 มีปริมาณร้อยละอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุต่ำกว่าชุดทดลองอื่น ๆ อาจเป็นเพราะจุลินทรีย์มีกระบวนการย่อยสลายที่มากกว่าชุดทดลองอื่น ๆ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนซึ่งมีค่าเท่ากับ 19.61 ถือว่าเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมต่อกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ และมีค่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (ไม่เกิน 20:1)

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) พบว่า ร้อยละไนโตรเจนทั้งหมดของชุดทดลองทั้ง 4 ชุดทดลอง มีค่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (ไม่น้อยว่าร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก) โดยเห็นได้ว่า ชุดทดลองที่ 3 มีปริมาณร้อยละไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองอื่น ๆ เนื่องจากมีการใส่ปุ๋ยยูเรียเป็นส่วนผสมในการหมักปุ๋ย ซึ่งปุ๋ยยูเรียมีธาตุไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบสำคัญโดยมีอัตราส่วนอยู่ที่ร้อยละ 46 ของน้ำหนัก ทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตและสามารถย่อยสารอินทรีย์ได้ดี ปริมาณร้อยละฟอสฟอรัสทั้งหมดของชุดทดลองทั้ง 4 ชุดทดลอง ฟอสฟอรัสในสารอินทรีย์มีความสำคัญต่อกระบวนการหมักเช่นเดียวกับไนโตรเจน โดยเห็นได้ว่า ชุดทดลองที่ 3 มีปริมาณร้อยละฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าชุดทดลองอื่น ๆ และมีค่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (ไม่น้อยว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก) เนื่องจากจุลินทรีย์มีการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารเพื่อช่วยในการเจริญเติบโต และการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละโพแทสเซียมทั้งหมดของชุดทดลองทั้ง 4 ชุดทดลอง มีค่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (ไม่น้อยว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก) โดยเห็นได้ว่า ชุดทดลองทั้ง 4 ชุดลองมีค่าปริมาณร้อยละโพแทสเซียมทั้งหมดใกล้เคียงกัน เนื่องจากใบสับปะรดเป็นวัสดุอินทรีย์ที่ปริมาณโพแทสเซียมค่อนข้างสูง (2.64 %) เมื่อเทียบกับวัสดุอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เช่น ผักตบชวา (1.84 %) แกลบ (1.08 %) เปลือกมันสำปะหลังแห้ง (0.67 %) เป็นต้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540) ผลจากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักทั้ง 4 ชุดทดลอง ผู้วิจัยมีความคิดเห็นว่า ปุ๋ยหมักชุดทดลองที่ 3 มีศักยภาพมากกว่าชุดทดลองอื่น ๆ และสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยหมักเพื่อเพิ่มและทดแทนธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมี

5.1.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการวัฏจักรชีวิต

การวิเคราะห์บัญชีรายการวัฏจักรชีวิตทั้ง 6 สถานการณ์ พบว่า สถานการณ์พื้นฐานในกระบวนการเตรียมพื้นที่เพาะปลูกมีการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงของเครื่องจักรกลทางการเกษตรในการเตรียมดินหรือไถพรวนดิน และการตัดหญ้า เพื่อเตรียมพื้นที่ในการเพาะปลูก และมีการใช้สารกำจัดวัชพืช คือ ไกลโฟเซต เพื่อทำลายวัชพืชยืนต้น กระบวนการเพาะปลูกมีการใช้ปุ๋ยปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยสูตร 46-0-0 (ปุ๋ยยูเรีย) และปุ๋ยสูตร 16-20-0 เพื่อเป็นธาตุอาหารให้แก่ต้นอ่อนของสับปะรด และมีการใช้สารกำจัดโรคพืช คือ ฟอสอีทิล-อะลูมิเนียม (Fosetyl-aluminium) เพื่อป้องกันโรคยอดเน่าหรือต้นเน่า กระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิตหรือสับปะรดที่สุกแล้ว ผลผลิตถูกขนส่งไปยังผู้ซื้อในพื้นที่โดยรถบรรทุกขนาดเล็กหรือรถปิคอัพ ระยะทางประมาณ 10 กิโลเมตร หากวิเคราะห์จากปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะปลูกสับปะรดนางแล การใช้ปุ๋ยเคมีก่อให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ส่วนในสถานการณ์ที่ 1-4 เป็นสถานการณ์ที่มีธาตุอาหารทดแทนจากการใช้ปุ๋ยหมัก (ชุดทดลองที่ 1-4) มีการใช้ส่วนผสมที่แตกต่างกันในแต่ละชุดทดลอง หากพิจารณาถึงคุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักและเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร พบว่า ปุ๋ยหมักชุดทดลองที่ 3 มีศักยภาพในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากกว่าชุดทดลองอื่น ๆ และในสถานการณ์ที่ 5 เป็นการเผาไหม้ใบสับปะรดหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต ทำให้มีสารขาออกเป็นมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เป็นต้น

5.1.3 การประเมินผลกระทบของตัวชี้วัดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

จากการประเมินผลกระทบของตัวชี้วัดผลกระทบสิ่งแวดล้อมหรือผลกระทบขั้นกลาง จะเห็นได้ว่า สถานการณ์พื้นฐานมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกลุ่มผลกระทบส่วนใหญ่ ยกเว้นผลกระทบการครอบครองพื้นที่ทางการเกษตร (ALO) การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ทางธรรมชาติ (NLT) การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดิน (TET) และการเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน (PMF) หากพิจารณาถึงมลสารที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้นมาจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนหรือปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ในการเพาะปลูกสับปะรดนางแล ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ingwersen (2012) ระบุว่าปุ๋ยไนโตรเจนมีบทบาทสำคัญในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการผลิตสับปะรด มลสารที่ก่อให้เกิดผลกระทบรองลงมาคือ การขนส่งผลผลิต (Transportation) โดยใช้รถกระบะ และการไถพรวนดิน (Tillage) ในการเตรียมพื้นที่เพาะปลูกโดยใช้เครื่องจักรกลทางเกษตร ตามลำดับ ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้

ประกอบด้วยสารมลพิษหลายอย่างที่เป็นพิษต่อมนุษย์ และเป็นสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) เป็นต้น อย่างไรก็ตามในสถานการณ์ที่ 5 มีผลกระทบต่อการเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน (PMF) ในหมวดหมู่ความเสียหายของสุขภาพมนุษย์สูงกว่าสถานการณ์อื่น ๆ หากพิจารณาถึงมลสารที่ก่อให้เกิดผลกระทบนั้นมาจากการเผาใบสับปะรดในที่โล่งแจ้งในบริเวณกว้าง ซึ่งจะนำไปสู่การเกิดหมอกควัน และฝุ่นละอองในปริมาณสูง และก่อใหเกิดกาซตาง ๆ จากกระบวนการเผาไหม เช่น คารบอนมอนอกไซด (CO) คารบอนไดออกไซด (CO_2) ออกไซดของไนโตรเจน (NO_x) ซัลเฟอรไดออกไซด (SO_2) เป็นต้น ซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย สิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม เมื่อเปรียบเทียบกับสถานการณ์ที่ 1 ถึงสถานการณ์ที่ 4 ซึ่งเป็นสถานการณ์ที่มีธาตุอาหารทดแทนจากการใช้ปุ๋ยหมัก เพื่อลดการใช้ปุ๋ยเคมี พบว่า ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทุกกลุ่มผลกระทบมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด ยกเว้นผลกระทบการครอบครองพื้นที่ทางการเกษตร (ALO) การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ทางธรรมชาติ (NLT) และการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดิน (TET) ซึ่งในสถานการณ์ที่ 3 จะมีค่าสูงกว่าสถานการณ์อื่น ๆ เนื่องจากสถานการณ์ที่ 3 เป็นสถานการณ์การใช้ปุ๋ยหมักของชุดทดลองที่ 3 ซึ่งมีการใส่ปุ๋ยยูเรียและมูลไก่เป็นส่วนผสมในการหมักปุ๋ย ผลกระทบของการครอบครองพื้นที่ทางการเกษตร (ALO) และการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ทางธรรมชาติ (NLT) เป็นผลกระทบที่เกิดจากการใช้พื้นที่พื้นที่ทางการเกษตรในการเลี้ยงไก่ และใช้พื้นที่ในการปลูกพืชเพื่อเป็นอาหารของไก่ เช่น ข้าวโพด ข้าวเจ้า เป็นต้น ส่วนผลกระทบการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดิน (TET) เป็นผลกระทบที่เกิดจากการใช้สารเคมี Cypermethrin สำหรับการปลูกพืชเพื่อใช้เป็นอาหารของไก่

5.1.4 การประเมินผลกระทบโดยภาพรวม

จากการประเมินผลกระทบโดยภาพรวมหรือผลกระทบขั้นปลาย พบว่า ค่าความเสียหายส่วนใหญ่เกิดจากความเสียหายของการใช้ทรัพยากร ซึ่งสถานการณ์พื้นฐานก่อให้เกิดความเสียหายด้านการใช้ทรัพยากรสูงที่สุด เป็นผลมาจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลรวมถึงถ่านหินน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ การใช้ประโยชน์ในการผลิตปุ๋ยไนโตรเจน และน้ำมันดีเซลที่ใช้ในการขนส่งและเครื่องจักรกลทางการเกษตร โดยมีผลกระทบของการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล (FD) เป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญ ความเสียหายต่อสุขภาพของมนุษย์ส่วนใหญ่มาจากสถานการณ์ที่ 5 เป็นผลมาจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้ใบสับปะรด โดยมีผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (CC) เป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญ ความเสียหายต่อระบบนิเวศนั้นมาจากสถานการณ์พื้นฐาน และสถานการณ์ที่ 3 ซึ่งสถานการณ์พื้นฐาน เป็นผลมาจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนหรือปุ๋ยยูเรียในการ

เพาะปลูก ส่วนสถานการณ์ที่ 3 เป็นผลมาจากการใช้ปุ๋ยยูเรียเป็นส่วนผสมในการหมักปุ๋ย โดยมีผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (CC) เป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญ

5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นของการปลูกสับปะรดในประเทศไทยโดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต ทำให้อาจมีข้อมูลบางส่วนที่คลาดเคลื่อนไปจากสถานการณ์จริงอยู่บ้าง เนื่องจากไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ และการเก็บข้อมูลและตัวอย่างการวิเคราะห์ไม่ได้ครอบคลุมการทำไร่ทั้งปี แต่อย่างไรก็ตามผลการวิจัยครั้งนี้ก็ยังสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลในการประเมินวัฏจักรชีวิตของสับปะรดครั้งต่อไปได้ ซึ่งจากงานวิจัยนี้ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของสับปะรด และการนำไปปฏิบัติเบื้องต้น เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต ช่วยลดต้นทุนในการเพาะปลูก รวมไปถึงการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในการควบคุมมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมของการปลูกสับปะรดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังต่อไปนี้

1. ลดการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนหรือใช้ในปริมาณที่เหมาะสม จะทำให้ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมถึงลดการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากดินเนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยเคมี
2. การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ใบสับปะรด มาผลิตเป็นปุ๋ยหมัก จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมัก พบว่า ชุดทดลองที่ 3 มีศักยภาพมากกว่าชุดทดลองอื่น ๆ และมีคุณสมบัติทางเคมีที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นปุ๋ยหมักเพื่อเพิ่มและทดแทนธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมี โดยชุดทดลองที่ 3 มีส่วนผสมในการหมักปุ๋ย ดังนี้ ใบสับปะรดปั่น 500 กรัม ผสมกับมูลไก่ปั่น 100 กรัม ปุ๋ยยูเรีย 5 กรัม (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ซึ่งการนำไปใช้อาจจะต้องมีการปรับอัตราส่วนให้เหมาะสมกับใช้งาน
3. การใช้เชื้อเพลิงในพื้นที่เพาะปลูกสามารถลดได้หลายวิธี เช่น การบำรุงรักษารถแทรกเตอร์อย่างสม่ำเสมอ การลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเลือกบริษัทขนส่งที่มีระบบการจัดการระบบการขนส่งที่ดี เช่น การจำกัดความเร็วของยานพาหนะ ใช้รถบรรทุกรุ่นใหม่ซึ่งมีเครื่องยนต์ที่มีประสิทธิภาพมากกว่ารถบรรทุกรุ่นเก่า เป็นต้น

รายการอ้างอิง

Acero, A. P., Rodriguez, C., & Ciroth, A. (2016). LCIA methods Impact assessment methods in Life Cycle Assessment and their impact categories. Retrieved from http://www.openlca.org/wp-content/uploads/2016/08/LCIA-METHODS-v.1.5.5.pdf

Ch'ng, H. Y., Ahmed, O. H., Kassim, S., & Majid, N. M. A. (2013). Co-composting of pineapple leaves and chicken manure slurry. *Recycling of Organic Waste in Agriculture, 2*(1), 23. doi:10.1186/2251-7715-2-23

Davidson, S. (1987). Combating soil acidity: three approaches. *Rural Research, 134,* 4-10.

Fernando, S., Hall, C. & Jha, S. (2006). NOx reduction from biodiesel fuels. Energy and Fuels, 20(1), 376-382.

Fourti, O., Jedidi, N., & Hassen, A. (2010). *Humic substances change during the co-composting process of municipal solid wastes and sewage sludge* (Vol. 26).

Fullen, M. A., & Catt, J. A. (2004). *Soil Management: Problems and Solutions* (1 ed.). London: Hodder Arnold.

GreenDelta. (2018). Software: Tools for supporting your work. Retrieved from https://www.greendelta.com/software/

Haas, G., Wetterich, F., & Geier, U. (2000). Life Cycle Assessment framework in agriculture on the farm level. *International Journal of Life Cycle Assessment, 5*(6), 345-348. doi:10.1007/BF02978669

Ingwersen, W. W. (2012). Life cycle assessment of fresh pineapple from Costa Rica. *Journal of Cleaner Production, 35*, 152-163. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.035

Liu, C. H., Liu, Y., Fan, C., & Kuang, S. Z. (2013). The effects of composted pineapple residue return on soil properties and the growth and yield of pineapple. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 13*(2), 433-444.

Majewski, W.A. & Khair, M.K. (2006). Diesel Emissions and Their Control. Warrendale: SAE International. ISBN-10 0-7680-0674-0.

Mohd-Aizat, A., Mohamad-Roslan, M. K., Sulaiman, W. N. A. & Karam, D. S. (2014). The relationship between soil pH and selected soil properties in 48 years logged-over forest. *International Journal of Environmental Sciences, 4*(6), 1129-1140. doi:10.6088/ijes.2014040600004

Natural Agriculture. (2012). *สิ่งแวดล้อม*. สืบค้นจาก http://www.thai-organic-compost.com/environment-thai.html

Pace, M. G., Mille, B. E. and Farrel-Poe, K. L. (1995). The composting process. Extension, Utah state University. AG-WM 01.8

Tisdall, J. M., & Oades, J. M. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science, 33*(2), 141-163. doi:10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x

Valsir. (2018). *Life Cycle Assessment*. Retrieved from http://www.valsir.it/en/lca/sostenibilita/life-cycle-assessment

WAFF. (2011). Summary of Studies on Environmental Performance of Fresh Pineapple Produced in Ghana for Export to Europe. Retrieved from http://www.twinn.com.au/pdf/C-footprint-of-pineapple-production-and-transport-WAFF.pdf

Zeng, G. M., Huang, H. L., Huang, D. L., Yuan, X. Z., Jiang, R. Q., Yu, M., . . . Liu, X. L. (2009). Effect of inoculating white-rot fungus during different phases on the compost maturity of agricultural wastes. *Process Biochemistry, 44*(4), 396-400. doi:https://doi.org/10.1016/j.procbio.2008.11.012

กรมพัฒนาที่ดิน. (2540). *การปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ*. กรุงเทพฯ: กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน.

กรมวิชาการเกษตร. (2548). *คู่มือปุ๋ยอินทรีย์ (ฉบับเกษตรกร)*. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.

กรมวิชาการเกษตร. (2551). *คู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์*. กรุงเทพฯ: กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร.

กรมส่งเสริมการเกษตร. (ม.ป.ป.). *การปลูกสับปะรดพันธุ์นางแลและพันธุ์ภูแล.* สืบค้นจาก https://www.servicelink.doae.go.th/webpage/book%20PDF/fruit/f043.pdf

กฤตวิชญ์ สุขอึ้ง. (2562). ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2559 ของตำบลนางแล อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย.

กุลยา สาริชีวิน และฐนียา รังสีสุริยะชัย. (2560). การศึกษาการหมักปุ๋ยจากเศษอินทรียวัตถุด้วยการเติมอากาศร่วมกับการใช้ครูดเอมไซม์. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี*. 1-12.

คณะกรรมการสนับสนุนการจัดแผนพัฒนา. (2556). *แผนพัฒนาสามปีเทศบาลตำบลนางแล (พ.ศ. 2557 –2559)*. สืบค้นจาก https://carbonn.org/uploads/tx_carbonndata/Sheet%206-1_Nanglae_Plan.PDF

จารุพันธ์ ทองแถม. (2526). *สับปะรดและอุตสาหกรรมสับปะรดในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ฉัตรชัย จันทร์เด่นดวง. (2550). *การทำปุ๋ยหมัก*. (น. 48-54). กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.

ดำรงพล คำแหงวงศ์ และแดน อุตรพงษ์. (2555). ผลของความรู้ความเข้าใจในอกลักษณ์ของสับปะรดพันธุ์ภูแลและนางแลของผู้บริโภคต่อการออกแบบบรรจุภัณฑ์เพื่อการจำหน่าย. *การประชุมวิชาการพะเยาวิจัย*. 5(3), 296-301.

ทิพวรรณ สิทธิรังค์สรรค์. (2547). *ปุ๋ยหมัก ดินหมักและปุ๋ยหมักชีวภาพ*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

ธงชัย มาลา. (2546). *ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ : เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธเรศ ศรีสถิต. (2558). *วิศวกรรมการจัดการมูลฝอยชุมชน* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.

นรีลักษณ์ ชูวรเวช. (2548). *เรื่องควรรู้เกี่ยวกับปุ๋ยหมัก* (เอกสารวิชาการ). กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.

บัญชา รัตนีทู และศิราณี วงศ์กระจ่าง. (2556). คุณค่าของปุ๋ยหมักในการเกษตร. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*. 174-183.

ประกาศิต อินทรสำอางค์. (2549). *การแปรสภาพและคุณภาพของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัสและตะกอนน้ำเสียโรงงานเยื่อกระดาษ*. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปรัชญา ธัญญาดี, พิทยากร ลิ่มทอง และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์. (2537). *การผลิตปุ๋ยหมักแบบอุตสาหกรรม*. (น. 29-45). กรุงเทพฯ: กลุ่มอินทรียวัตถุและวัสดุเหลือใช้ กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรม พัฒนาที่ดิน.

ปริณ ไพสุนทรสุข. (2553). *การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์สับปะรดกระป๋องและน้ำสับปะรดเข้มข้น*. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปริยานุช สายสุพรรณ. (2561). *อันตรายจากสารเคมีกำจัดแมลง*. กลุ่มพัฒนาการตรวจสอบพืชและปัจจัยการผลิต สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 จังหวัดขอนแก่น กรมวิชาการเกษตร.

ปัญจ์ปพัชรภร บุญพร้อม และเพชราวลัย ถิระวณัฐพงศ์. (2556). การประเมินวัฏจักรชีวิตเครื่องมือสำหรับการจัดการสิ่งแวดล้อม. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*. 23(1), 232-240.

ผกาพร ธนปริสุทธิ. (2553). *การประเมินวัฏจักรชีวิตน้ำส้มและน้ำสับปะรดในประเทศไทย*. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2541). *ปฐพีวิทยาเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภานุพงศ์ พรหมมารัตน์. (2560). *การประเมินวัฏจักรชีวิต* (เอกสารประกอบการสอน). นครปฐม: ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ภาวนา ลิกขนานนท์. (2544). *ปุ๋ยหมักและกระบวนการเป็นปุ๋ยหมัก* (เอกสารวิชาการ). (น. 358-388). กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.

มุกดา สุขสวัสดิ์. (2548). *ความอุดมสมบูรณ์ของดิน* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: บริษัท โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์ จำกัด.

ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. (2551). *ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน*. นครปฐม: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

ศุภณี เรียบเลิศหิรัญ และแววบุญ แย้มแสงสังข์. (2555). *การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA)*. สืบค้นจาก http://www.stou.ac.th/Schools/sst/main/KM/KM%20Post/LCA-NSTDA2012.pdf

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์ และสุเทพ ทองแพ. (2545). *การใช้วัสดุเหลือใช้บางชนิดเป็น ปุ๋ยพืชไร่ในชุดดินกำแพงแสน.* กรุงเทพฯ: คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. สืบค้นจาก http://pikul.lib.ku.ac.th/cgibin/agre.exe?recid=005203&database=agre&search_type=link&table=mona&back_path=/agre/mona&lang=thai&format_name=TFMON

ศูนย์ข้อมูลเครือข่ายอาหาร. (2561). *แบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิสูง (Thermophilic bacteria)*. สืบค้นจาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki.

เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล. (2559). *การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment of Products)*. เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. (2551). *คู่มือการจัดทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์*. นนทบุรี: ฝ่ายธุรกิจ และสิ่งแวดล้อม สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย

สมถวิล รุ่งศิรินันท์พร. (2545). *ผลของปุ๋ยหมักฟางข้าวชนิดต่างๆ ที่มีต่อผลผลิตของผัก*. (24 หน้า). เลย: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏเลย. สืบค้นจาก http://pikul.lib.ku.ac.th/cgibin/agre.exe?rec_id=004073&database=agre&search_type=link&table=mona&back_path=/agre/mona&lang=thai&format_name=TFMON.

สาลี่ ชินสถิต และหฤหัย แก่นลา. (2548). *คู่มือปุ๋ยอินทรีย์ฉบับเกษตรกร* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

สำนักงานเกษตรจังหวัดเชียงราย. (2555). *สถิติการปลูกพืช*. สืบค้นจาก http://www.chiangrai.doae.go.th

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2561). *สถิติการส่งออก.* สืบค้นจาก http://impexp.oae.go.th/service/export.php

สุธรรม ประทุมสวัสดิ์. (2545). เทคนิคการทำปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์ (Composting). *วารสารพัฒนาเทคนิคศึกษา. 14(43), 38-42*

อมลณัฐ ฉัตรตระกูล. (2555). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือใช้ของมะขาม* (รายงานผลการวิจัย). เพชรบูรณ์: มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.

อังคณา สุวรรณกูฏ. (ม.ป.ป.). *หมากขะนัดแบบคนนางแล*. [เว็บบล็อก]. สืบค้นจาก http://www.doa.go.th/pibai/pibai/n17/v_8-sep/ceaksong.html

อุดมพงศ์ อนุกูลการกุศล. (2525). ธาตุอาหารในมูลสัตว์. *วารสารโลกเกษตร*. 2(7). 61-62

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ภาณุพัฒน์ อุนเกษม
วัน เดือน ปี เกิด	27 มิถุนายน 2536
สถานที่เกิด	ราชบุรี
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2559 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต วิชาเอกวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร พ.ศ. 2560 ศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร