

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและปริมาณคาร์บอนสะสมของระบบพลังงานชีวภาพ
กรณีศึกษาหญ้าเนเปียร์

นางสาวภาวิณี บางประสิทธิ์



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Assessment of Greenhouse Gas Emissions and Carbon Sequestration of Bioenergy
systems: Case study Napier grass

Miss Papapin Bangprasit



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering
Department of Environmental Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2014
Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---------------------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและปริมาณคาร์บอนสะสมของระบบพลังงานชีวภาพกรณีศึกษาหมู่บ้านเป็ยร์ |
| โดย | นางสาวภาพินท์ บางประสิทธิ์ |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ |

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนาธิป ผาริโน)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.เปรมฤดี กาญจนปิยะ)

ภาควิชา บางประสิทธิ์ : การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและปริมาณคาร์บอน
 สวมของระบบพลังงานชีวภาพกรณีศึกษาหญ้าเนเปียร์ (Assessment of Greenhouse
 Gas Emissions and Carbon Sequestration of Bioenergy systems: Case study
 Napier grass) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.อรรถัย ชวาลภาฤทธิ์, 142 หน้า.

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตพลังงานชีวภาพที่
 ใช้หญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 เป็นวัตถุดิบ ด้วยเทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยเปรียบเทียบ
 ทั้งหมด 6 กรณีศึกษา ด้วยโปรแกรม SimaPro 7.3 วิธี CML 2001 ซึ่งขอบเขตการประเมินผล
 ครอบคลุม Cradle to Gate และทำการศึกษาคาร์บอนที่ถูกสะสมอยู่ในพืชและในดินที่ระดับ
 ความลึก 0-30 ซม. ในแปลงปลูกหญ้าเนเปียร์ ซึ่งมีแบ่งรูปแบบการใส่ปุ๋ยออกเป็น 3 รูปแบบ จาก
 การศึกษาคาร์บอนสะสมในดินพบว่า ปริมาณคาร์บอนสะสมในดินทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงตาม
 ระยะเวลาที่ปลูก โดยมีอัตราการสูญเสียคาร์บอนในดินระหว่าง 3,507.4 - 5,623.1 กิโลกรัม/ไร่/ปี
 และผลจากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมพบว่า กลุ่มผลกระทบที่มีความสำคัญต่อปัญหา
 สิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน สาเหตุหลักเกิดการใช้ปุ๋ยคอกและ
 ปุ๋ยเคมีในกระบวนการปลูก โดยกรณีศึกษาที่ 2 ที่ใช้หญ้าเนเปียร์จากแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยส่งผลกระทบต่อ
 ศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนต่ำที่สุดคือ 0.03313 kg CO₂ eq/MJ แต่ในแปลงปลูกหญ้าเน
 เปียร์มีการลดลงของคาร์บอนในดินสูงที่สุด ในขณะที่กรณีศึกษาที่ 5 การผลิตพลังงานไฟฟ้าจาก
 หญ้าเนเปียร์ที่ได้จากแปลงที่ใส่ทั้งปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี ส่งผลกระทบต่อศักยภาพในการก่อให้เกิด
 ภาวะโลกร้อนสูงที่สุดคือ 0.15882 kg CO₂ eq/MJ แต่ในแปลงปลูกหญ้ากลับมีผลกระทบต่อการลด
 คาร์บอนในดินต่ำที่สุด โดยเมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติพบว่าการผลิตไฟฟ้า
 จากหญ้าเนเปียร์ในกรณีที่ 2 สามารถลดศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนได้ถึงร้อยละ 78
 นอกจากนี้ยังมีแนวทางในการลดผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ได้แก่ การปรับเปลี่ยน
 วิธีการเพาะปลูกหญ้าเนเปียร์ การปรับปรุงระบบการขนส่ง และการนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
 (GIS) มาประยุกต์ใช้ในการวางแผนการดำเนินงานและออกแบบระบบการขนส่งให้มีประสิทธิภาพมาก
 ขึ้น จึงสรุปได้ว่าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ สามารถเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับการ
 พัฒนาด้านพลังงานทดแทนที่ยั่งยืนของประเทศไทยได้

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2557

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณต่อผู้ให้ความอนุเคราะห์ทุกท่าน ดังนี้

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร. อรทัย ขวาลภาฤทธิ์ ซึ่งได้สละเวลาให้คำปรึกษาให้ความรู้ คำแนะนำ และช่วยเหลือในงานวิจัยมาโดยตลอด จนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงโดยสมบูรณ์ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้วิจัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล (ประธานกรรมการ) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์ (กรรมการ) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนาธิป ผาริโน (กรรมการ) และ ดร.เปรมฤดี กาญจนปิยะ (กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย) ที่ได้กรุณาชี้แนะแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์นี้เป็นอย่างยิ่ง

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน และมอบความปรารถนาดีให้แก่ผู้วิจัย รวมถึงบุคลากรของภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

คุณสุประวีณ์ สร้อยระย้า ศูนย์วิจัยโคนม สวนจิตรลดา ที่อนุเคราะห์พื้นที่ในการทดลองปลูกหญ้าเนเปียร์และให้คำปรึกษาที่ดีเกี่ยวกับการปลูกหญ้าเนเปียร์ และศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์นครราชสีมา ที่ให้ความรู้และข้อมูลเกี่ยวกับการปลูกหญ้าเนเปียร์

สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน ที่ได้อนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆเพื่อใช้ในการเก็บตัวอย่างดิน และ ดร.ภานุวัฒน์ อุส่าห์เพียร ที่ให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาเกี่ยวกับการใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.3

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับทุนจากกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2558

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกคนเป็นอย่างมาก ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆแก่ผู้วิจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำงานในแปลงปลูกหญ้าเนเปียร์ อีกทั้งยังคอยให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้อง ที่ได้ให้การสนับสนุนและคอยผลักดัน รวมทั้งเป็นกำลังใจที่สำคัญที่ทำให้ผู้วิจัยสามารถทำงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ญ |
| สารบัญรูป..... | ฎ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย | 2 |
| 1.3 ขอบเขตงานวิจัย | 3 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 3 |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 4 |
| 2.1 สถานการณ์การผลิตพลังงานในประเทศไทย | 4 |
| 2.1.1 พลังงานทดแทนจากก๊าซชีวภาพ..... | 5 |
| 2.1.2 แนวทางการศึกษาผลกระทบจากการปลูกพืชพลังงาน..... | 6 |
| 2.1.3 วัฏจักรคาร์บอน สมดุลคาร์บอน และการสะสมของคาร์บอน..... | 7 |
| 2.2 หญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1..... | 9 |
| 2.2.1 สถานภาพของหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1..... | 9 |
| 2.2.2 ขั้นตอนการปลูกและการเก็บเกี่ยว | 10 |
| 2.2.3 ผลกระทบที่เกิดจากการปลูกหญ้า | 12 |
| 2.3 กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลหญ้า | 14 |
| 2.3.1 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากการหมักชีวมวล..... | 15 |

| | |
|--|----|
| 2.3.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม..... | 16 |
| 2.3.3 ประเภทของเทคโนโลยีระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม..... | 16 |
| 2.3.4 โรงงานผลิตพลังงานไฟฟ้าชีวภาพจากชีวมวล..... | 18 |
| 2.4 การประเมินวัฏจักรชีวิต | 21 |
| 2.4.1 ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment)..... | 21 |
| 2.4.2 การประยุกต์ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต | 23 |
| 2.4.3 อนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14040..... | 24 |
| 2.4.4 ขั้นตอนของการประเมินวัฏจักรชีวิต | 26 |
| 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 34 |
| 2.5.1 เอกสารและงานวิจัยด้านการประเมินวัฏจักรชีวิต..... | 34 |
| 2.5.2 เอกสารและงานวิจัยเกี่ยวกับการสะสมของคาร์บอน | 37 |
| 2.5.3 การนำข้อมูลมาใช้ในการวิจัยนี้ | 39 |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย | 42 |
| 3.1 การดำเนินงานวิจัย..... | 42 |
| 3.2 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต | 43 |
| 3.2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต | 45 |
| 3.2.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ | 46 |
| 3.2.3 การประเมินผลกระทบ | 47 |
| 3.2.4 การแปลผล..... | 49 |
| 3.3 การประเมินคาร์บอนสะสมและผลผลิตหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 | 49 |
| 3.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์..... | 51 |
| 3.3.2 วิธีการเก็บตัวอย่างและเตรียมตัวอย่าง..... | 52 |
| 3.3.3 วิธีการทดลอง | 53 |

| | |
|--|-----|
| บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... | 58 |
| 4.1 ผลการประเมินคาร์บอนสะสมจากการปลูกหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 | 58 |
| 4.1.1 ผลผลิตหญ้าเนเปียร์และปริมาณคาร์บอนสะสมในหญ้าเนเปียร์ | 58 |
| 4.1.2 คุณสมบัติของดินและปริมาณคาร์บอนสะสมในดิน | 65 |
| 4.1.3 สมดุลคาร์บอนในแปลง..... | 71 |
| 4.2 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 | 73 |
| 4.2.1 การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม | 74 |
| 4.2.2 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม..... | 88 |
| 4.2.3 การแปลผลการศึกษา | 89 |
| 4.2.4 เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น..... | 108 |
| 4.2.5 แนวทางในการลดผลกระทบต่อวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์.. | 110 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย..... | 115 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย..... | 115 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 117 |
| รายการอ้างอิง | 118 |
| ภาคผนวก..... | 125 |
| ภาคผนวก ก | 126 |
| ภาคผนวก ข | 130 |
| ภาคผนวก ค | 136 |
| ภาคผนวก ง..... | 137 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ | 142 |

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 2-1 เป้าหมายของการใช้พลังงานทดแทนเพื่อการผลิตไฟฟ้า..... | 5 |
| ตารางที่ 2-2 ผลผลิตก๊าซมีเทนของวัตถุดิบชนิดต่างๆจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ..... | 14 |
| ตารางที่ 2-3 โรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพในประเทศไทย | 18 |
| ตารางที่ 2-4 ข้อดีและข้อจำกัดของการประเมินวัฏจักรชีวิต | 23 |
| ตารางที่ 2-5 การประยุกต์ใช้งานของการประเมินวัฏจักรชีวิต..... | 24 |
| ตารางที่ 2-6 สรุปลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านการประเมินวัฏจักรชีวิต..... | 40 |
| ตารางที่ 3-1 ตารางสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการภาคการเกษตร | 46 |
| ตารางที่ 3-2 ความถี่ในการเก็บตัวอย่างหญ้าเนเปียร์และดิน..... | 56 |
| ตารางที่ 3-3 พารามิเตอร์และความถี่ในการวิเคราะห์ตัวอย่างหญ้าเนเปียร์และดิน..... | 56 |
| ตารางที่ 4-1 ปริมาณธาตุอาหารที่แปลงปลูกหญ้าได้รับ..... | 60 |
| ตารางที่ 4-2 ค่าเฉลี่ยของ ของแข็งทั้งหมด (TS) ของแข็งระเหยง่าย (VS) อินทรีย์คาร์บอน (OC) และไนโตรเจน (N) ของหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1..... | 64 |
| ตารางที่ 4-3 คุณสมบัติเบื้องต้นของดินในแต่ละแปลงตามความลึก 0-30 เซนติเมตร | 66 |
| ตารางที่ 4-4 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอนในดินกับงานวิจัยอื่น | 67 |
| ตารางที่ 4-5 สรุปลสมดุลคาร์บอนของดินในแปลงทดลอง | 72 |
| ตารางที่ 4-6 ผลผลิตน้ำหนักรสดของการปลูกหญ้าเนเปียร์ทั้งสามแปลง | 76 |
| ตารางที่ 4-7 บัญชีรายการมวลสารในการปลูกหญ้าเนเปียร์ต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า 1 เมกะจูล..... | 79 |
| ตารางที่ 4-8 รายละเอียดของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ | 80 |
| ตารางที่ 4-9 บัญชีรายการมวลสารในการผลิตก๊าซชีวภาพต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า 1 เมกะจูล..... | 82 |
| ตารางที่ 4-10 บัญชีรายการมวลสารในการจัดการของเสียต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า 1 เมกะจูล | 84 |
| ตารางที่ 4-11 บัญชีรายการของมวลสารในการขนส่งต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า 1 เมกะจูล | 85 |
| ตารางที่ 4-12 บัญชีรายการมวลสารในการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า 1 เมกะจูล... .. | 87 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 4-13 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ต่อไฟฟ้า 1 เมกะจูล | 91 |
| ตารางที่ 4-14 เปรียบเทียบศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน..... | 109 |



สารบัญรูป

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 2-1 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย | 4 |
| รูปที่ 2-2 ภาพรวมสมดุลของไนโตรเจนในแปลงพื้นที่ | 13 |
| รูปที่ 2-3 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมประเภทต่างๆ | 17 |
| รูปที่ 2-4 ขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพและพลังงานไฟฟ้า | 19 |
| รูปที่ 2-5 สถานที่ของโรงไฟฟ้าจากชีวมวลที่จังหวัดอุบลราชธานี | 19 |
| รูปที่ 2-6 โรงงานผลิตไฟฟ้าชีวภาพจากชีวมวลของประเทศเยอรมัน | 20 |
| รูปที่ 2-7 โรงงานผลิตไฟฟ้าชีวภาพจากชีวมวลของสาธารณรัฐเช็ก | 20 |
| รูปที่ 2-8 โรงงานผลิตไฟฟ้าชีวภาพจากชีวมวลของประเทศเบลเยียม | 21 |
| รูปที่ 2-9 การประเมินวัฏจักรชีวิต | 22 |
| รูปที่ 2-10 ความสัมพันธ์ของอนุกรมมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต | 25 |
| รูปที่ 2-11 กรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิต..... | 26 |
| รูปที่ 2-12 ขอบเขตระบบและระบบผลิตกัญชีในการวิเคราะห์การประเมินวัฏจักรชีวิต | 28 |
| รูปที่ 2-13 ขั้นตอนโดยทั่วไปของการวิเคราะห์บัญชีรายการ | 30 |
| รูปที่ 2-14 ขั้นตอนการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตามมาตรฐาน ISO 14042 | 31 |
| รูปที่ 3-1 แผนการดำเนินงานวิจัย | 42 |
| รูปที่ 3-2 รายละเอียดของขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต | 44 |
| รูปที่ 3-3 แผนผังแสดงขอบเขตของระบบผลิตพลังงานชีวภาพ..... | 45 |
| รูปที่ 3-4 แปลงปลูกหญ้าเนเปียร์ในพื้นที่โครงการสวนจิตรลดาฯ | 50 |
| รูปที่ 3-5 พื้นที่ที่ทำการทดลองปลูกหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 | 50 |
| รูปที่ 3-6 แผนการดำเนินการประเมินคาร์บอนสะสม | 51 |
| รูปที่ 3-7 อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างดิน (Sampling core)..... | 52 |
| รูปที่ 3-8 ตัวอย่างของแปลงทดลองและตำแหน่งของหลุมปลูก | 55 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 3-9 การปลูกหญ้าเนเปียร์ด้วยวิธีการปักท่อนพันธุ์..... | 55 |
| รูปที่ 4-1 แปลงปลูกหญ้าเนเปียร์ก่อนและหลังปลูกหญ้าเนเปียร์อายุ 45 วัน..... | 59 |
| รูปที่ 4-2 ค่าเฉลี่ยของผลผลิตน้ำหนักสด (กิโลกรัม/ไร่) ของหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 | 61 |
| รูปที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยของผลผลิตน้ำหนักแห้ง (กิโลกรัม/ไร่) ของหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 | 61 |
| รูปที่ 4-4 ผลผลิตน้ำหนักสด (กิโลกรัม/ไร่) ของหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 | 63 |
| รูปที่ 4-5 ปริมาณคาร์บอนสะสมในหญ้าเนเปียร์ของแต่ละแปลง | 64 |
| รูปที่ 4-6 ความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอนในดินของแต่ละแปลงที่ระดับ 0-30 เซนติเมตร..... | 66 |
| รูปที่ 4-7 ปริมาณคาร์บอนในดินทั้งหมดเฉลี่ยที่ระดับ 0-30 ซม..... | 68 |
| รูปที่ 4-8 ปริมาณคาร์บอนในดินแยกตามระดับความลึก 0-10 10-20 และ 20-30 ซม..... | 70 |
| รูปที่ 4-9 สมดุลคาร์บอนในแปลงปลูกหญ้าเนเปียร์ | 71 |
| รูปที่ 4-10 แผนผังแสดงขอบเขตของระบบผลิตพลังงานชีวภาพ..... | 73 |
| รูปที่ 4-11 แปลงปลูกหญ้าเนเปียร์ | 75 |
| รูปที่ 4-12 การดำเนินงานภายในพื้นที่เพาะปลูกหญ้าเนเปียร์ | 76 |
| รูปที่ 4-13 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของการปลูกหญ้าเนเปียร์แปลงที่ 1 | 77 |
| รูปที่ 4-14 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของการปลูกหญ้าเนเปียร์แปลงที่ 2 | 78 |
| รูปที่ 4-15 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของการปลูกหญ้าเนเปียร์แปลงที่ 3 | 78 |
| รูปที่ 4-16 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ | 81 |
| รูปที่ 4-17 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์และมูลวัว..... | 82 |
| รูปที่ 4-18 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของขั้นตอนการจัดการของเสีย | 83 |
| รูปที่ 4-19 ขั้นตอนการขนส่งของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ | 85 |
| รูปที่ 4-20 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า | 86 |
| รูปที่ 4-21 เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของกรณีศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ | 90 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 4-22 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดกลุ่มและเทียบหน่วย(Normalization) | 92 |
| รูปที่ 4-23 ขนาดของพื้นที่เพาะปลูกหญ้าเนเปียร์ที่เหมาะสมของแต่ละกรณีศึกษา..... | 92 |
| รูปที่ 4-24 เปรียบเทียบศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน | 93 |
| รูปที่ 4-25 สัดส่วนของค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน..... | 94 |
| รูปที่ 4-26 ค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนสะสมในพืช | 97 |
| รูปที่ 4-27 เปรียบเทียบศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปลดลง | 97 |
| รูปที่ 4-28 สัดส่วนของค่าศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปลดลง | 99 |
| รูปที่ 4-29 เปรียบเทียบศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ..... | 100 |
| รูปที่ 4-30 สัดส่วนของค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ..... | 101 |
| รูปที่ 4-31 เปรียบเทียบศักยภาพในการก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ | 102 |
| รูปที่ 4-32 สัดส่วนของค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ | 103 |
| รูปที่ 4-33 เปรียบเทียบศักยภาพในการก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากปฏิกิริยาแสง-เคมี | 104 |
| รูปที่ 4-34 สัดส่วนของศักยภาพในการก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากปฏิกิริยาแสง-เคมี.. | 105 |
| รูปที่ 4-35 เปรียบเทียบศักยภาพในการก่อให้เกิดการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ | 106 |
| รูปที่ 4-36 สัดส่วนของค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ | 107 |
| รูปที่ 4-37 ร้อยละของก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงจากการผลิตไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ | 110 |
| รูปที่ 4-38 ปริมาณผลกระทบที่ลดลงจากการผลิตไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลวัว..... | 113 |
| รูปที่ 4-39 รูปแบบของการผลิตไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์โดยการทำการเกษตรแบบครบวงจร..... | 114 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันพลังงานทดแทนได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในประเทศต่างๆเนื่องจากประเทศเหล่านั้นมีความต้องการที่จะลดการใช้พลังงานจากฟอสซิลและลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ประเทศไทยก็เช่นกันเพราะที่ผ่านมามีประเทศไทยต้องเผชิญกับปัญหาความมั่นคงด้านพลังงานเนื่องจากต้องพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศเป็นหลัก โดยมีการนำเข้าน้ำมันมากถึงร้อยละ 80 ของปริมาณการใช้น้ำมันภายในประเทศ และนำเข้าก๊าซธรรมชาติมากกว่าร้อยละ 70 ของเชื้อเพลิงทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าของประเทศ กระทรวงพลังงานจึงได้จัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (พ.ศ.2555-2564) เพื่อกำหนดกรอบและทิศทางการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศ โดยสนับสนุนและเร่งการพัฒนาการผลิตพลังงานทดแทนให้มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็นร้อยละ 25 ภายในเวลา 10 ปี โดยแผนพัฒนานี้ได้สนับสนุนวิธีการผลิตพลังงานทดแทนหลายประเภท รวมทั้งการใช้หญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 เป็นวัตถุดิบในการผลิตไฟฟ้า ด้วยระบบหมักแบบไร้ออกซิเจนและระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2556)

การปลูกพืชหรือการทำเกษตรส่งผลให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกก๊าซเพิ่มขึ้น ข้อมูลจาก (Smith และคณะ, 2008) รายงานว่าภาคการเกษตรมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณร้อยละ 10 - 12 ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดทั่วโลกต่อปี โดยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญจากกิจกรรมทางการเกษตรมี 3 ชนิดได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนตรัสออกไซด์ และก๊าซมีเทน (Jones และคณะ, 2005) ปัจจุบันมีงานวิจัยที่ทำการศึกษผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของโครงการผลิตพลังงานทดแทนจากพืชพลังงานโดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตตั้งแต่ ขั้นตอนการปลูกพืชเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบ การเก็บเกี่ยว การขนส่ง การผลิตก๊าซชีวภาพ และการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Murphy และคณะ, 2011) โดยงานวิจัยของ (Cherubini และคณะ, 2011) ว่าการผลิตพลังงานจากระบบพลังงานชีวภาพช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีนัยสำคัญและส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานจากฟอสซิล งานวิจัยส่วนใหญ่ที่ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของพลังงานชีวภาพนี้จะศึกษาสมดุลพลังงาน สมดุลของก๊าซเรือนกระจก โดยเลือกใช้วัตถุดิบพืชที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ที่ทำการวิจัย และที่สำคัญการปลูกพืชยังก่อให้เกิดการสะสมของคาร์บอนในรูปของอินทรีย์คาร์บอนทั้งในดินและพืช โดยคาร์บอนส่วนใหญ่จะถูกกักเก็บไว้ในดิน ทั้งนี้เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์แสง กระบวนการหายใจ และการย่อยสลายของพืช (Watson และคณะ, 2000) อีกทั้งปริมาณการสะสม

ของอินทรีย์คาร์บอนในดินนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น การใช้ที่ดิน การจัดการด้านการเกษตร ภูมิประเทศ เป็นต้น (Soussana และคณะ, 2004)

ขณะนี้หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ทั้งการนำไปใช้เป็นพืชอาหารสัตว์และพืชพลังงาน เนื่องจากให้ผลผลิตชีวมวลสูงประมาณ 70-80 ตัน/ไร่/ปี มีอัตราการเติบโตสูง ทนต่อการให้น้ำและปุ๋ยดี ทนแล้งเพราะมีระบบรากที่แข็งแรง ให้ผลผลิตตลอดทั้งปี และสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นานประมาณ 6-7 ปี (สำนักพัฒนาอาหารสัตว์, 2556) โดยกระทรวงพลังงานได้สนับสนุนให้นำหญ้าชนิดนี้มาผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า และจากงานวิจัยของสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน นครพิงค์ (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์, 2555) พบว่าหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 มีค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนมากที่สุดเมื่อเทียบกับหญ้าอีก 10 ชนิดในประเทศไทย โดยหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ประมาณ 0.529 ลบ.ม./กก. ของแห้งระเหยได้ (Janejadkarn และคณะ, 2014) อย่างไรก็ตามข้อมูลต่างๆที่อยู่ในตอนนี้อย่างไม่เพียงพอต่อการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นจากการดำเนินโครงการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ในประเทศไทยได้ ทำให้ไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนว่าระบบผลิตพลังงานชีวภาพนี้จะคุ้มค่าและเหมาะสมสำหรับการพัฒนาต่อไปในอนาคต จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาและรวบรวมข้อมูลทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิตของระบบพลังงานชีวภาพดังกล่าว เพื่อนำผลการประเมินที่ได้มาวางแนวทางการผลิตพลังงานทดแทนได้อย่างเหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุดเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนด้านพลังงานของไทย

งานวิจัยนี้จึงศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิตพลังงานด้วยระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมโดยใช้วัตถุดิบคือก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ด้วยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment) โดยขอบเขตการศึกษาครอบคลุม Cradle to Gate ประกอบไปด้วยขั้นตอน การปลูกหญ้า การผลิตก๊าซชีวภาพ การจัดการเศษที่เหลือจากการหมัก การขนส่ง และการผลิตไฟฟ้า และทำการประเมินการสะสมของคาร์บอนจากการปลูกหญ้าเนเปียร์ที่เกิดขึ้นในดินและในชีวมวล

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่ใช้หญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 เป็นวัตถุดิบ ด้วยเทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต
- 1.2.2 เพื่อศึกษาปริมาณคาร์บอนที่ถูกสะสมอยู่ในดินและพืช จากการปลูกหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 และนำผลที่ได้มาใช้เป็นข้อมูลในการการประเมินวัฏจักรชีวิต

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.3.1 การศึกษาวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมโดยใช้ก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักไร้ออกซิเจนของหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 เป็นวัตถุดิบ
- 1.3.2 ใช้หลักการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment) เป็นเครื่องมือในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยมีขอบเขตการศึกษาครอบคลุม Cradle to Gate คือ พิจารณาตั้งแต่ ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การผลิต และการนำไปใช้งาน
- 1.3.3 หน่วยอ้างอิงหรือหน่วยการทำงาน (Functional Unit) คือ 1 เมกะจูล (MJ) ของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้
- 1.3.4 กระบวนผลิตไฟฟ้าที่ศึกษา คือ ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม
- 1.3.5 ศึกษาปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดินและการศึกษาปริมาณคาร์บอนที่สะสมในพืช โดยพิจารณาเฉพาะส่วนของใบ และลำต้นของพืช

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

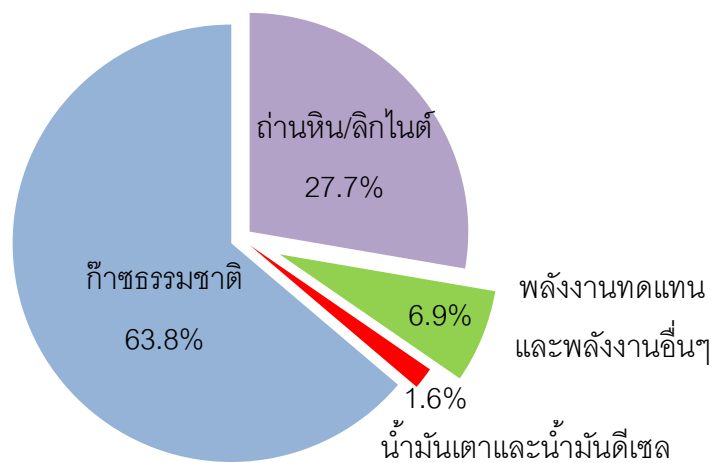
- 1.4.1 ทราบผลกระทบสิ่งแวดล้อมและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตพลังงานชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1
- 1.4.2 ทราบปริมาณผลผลิตหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 และปริมาณคาร์บอนสะสมในดินและในพืชชีวมวล
- 1.4.3 สามารถนำผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปเป็นข้อมูลในการวางแผนและตัดสินใจ เพื่อการบริหารจัดการและการพัฒนาอย่างยั่งยืนของโครงการผลิตพลังงานชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สถานการณ์การผลิตพลังงานในประเทศไทย

ปัจจุบันประเทศไทยต้องนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศเป็นหลัก เพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า การคมนาคม เป็นต้น โดยมีการนำเข้าน้ำมันมากถึงร้อยละ 80 ของปริมาณการใช้ น้ำมันภายในประเทศ และนำเข้าก๊าซธรรมชาติมากกว่าร้อยละ 70 ของเชื้อเพลิงทั้งหมดเพื่อการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย โดยการผลิตไฟฟ้าในปี 2555 พบว่ามีสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงดังรูปที่ 2-1 ซึ่งเชื้อเพลิงจากก๊าซธรรมชาติถูกนำมาใช้มากที่สุดเป็นร้อยละ 63.8 ของการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด และมีสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนน้อยที่สุดอยู่ที่ประมาณร้อยละ 6.9 เท่านั้น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555)



รูปที่ 2-1 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555)

จากสถานการณ์ความมั่นคงด้านพลังงานของไทยในปัจจุบัน ทำให้ภาครัฐมีมาตรการและนโยบายต่างๆ ที่สนับสนุนให้มีการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะพลังงานทดแทนที่สามารถผลิตได้เองภายในประเทศ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานชีวมวล ก๊าซชีวภาพ ขยะ และเชื้อเพลิงชีวภาพ (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2554)

2.1.1 พลังงานทดแทนจากก๊าซชีวภาพ

เนื่องจากปัญหาด้านพลังงานดังกล่าวกระทรวงพลังงานได้จัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2555-2564 (Alternative Energy Development Plan: AEDP 2012-2021) เพื่อกำหนดกรอบและทิศทางการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศและการส่งเสริมการผลิตพลังงานทดแทน โดยได้พยากรณ์ความต้องการพลังงานในอนาคตของประเทศ คาดว่าในปีพ.ศ.2564 จะมีความต้องการพลังงานประมาณ 99,838 พันตันน้ำมันดิบเทียบเท่า (ktoe) จากปัจจุบัน 71,728 พันตันน้ำมันดิบเทียบเท่า แผนพัฒนานี้จึงได้กำหนดให้สัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 25 ของการใช้พลังงานทั้งหมด และตามมติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ เมื่อวันที่ 16 กรกฎาคม 2556 ได้เสนอแนวทางนโยบายสำคัญ 7 ข้อ หนึ่งในนั้นคือการพัฒนาวิสาหกิจพลังงานทดแทนในชุมชน การผลิตพลังงานทดแทนจากหญ้าเนเปียร์ เพื่อสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานและพัฒนาพลังงานทดแทน อีกทั้งยังมีการปรับเป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนเพื่อผลิตไฟฟ้าแสดงดังตารางที่ 2-1 ซึ่งมีเป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนจากหญ้าเนเปียร์ 3,000 เมกะวัตต์ (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2556)

ตารางที่ 2-1 เป้าหมายของการใช้พลังงานทดแทนเพื่อการผลิตไฟฟ้า

| ประเภทไฟฟ้า | เป้าหมาย (MW) | |
|--------------------------|---------------|--------|
| | เดิม | ใหม่ |
| 1. พลังงานลม | 1,200 | 1,800 |
| 2. พลังงานแสงอาทิตย์ | 2,000 | 3,000 |
| 3. พลังงานน้ำ (ขนาดเล็ก) | 324 | 324 |
| พลังงานน้ำแบบสูบกลับ | 1,284 | - |
| 4. พลังงานชีวมวล | 3,630 | 4,800 |
| 5. ก๊าซชีวภาพ | 600 | 600 |
| หญ้าเนเปียร์ | - | 3,000 |
| 6. พลังงานจากขยะ | 160 | 400 |
| 7. พลังงานรูปแบบใหม่ | 3 | 3 |
| รวม | 9,201 | 13,927 |

และในขณะนี้ระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่กำลังเป็นที่นิยม คือ ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงาน ความร้อนร่วม (Combined Heat and Power) โดยการใช้ก๊าซชีวภาพที่ได้จากการย่อยสลายของชีวมวลเป็นวัตถุดิบ ซึ่งวัตถุดิบจากพืชพลังงานจำพวกหญ้าสายพันธุ์ต่างๆมีความเหมาะสมมากสำหรับประเทศไทย เนื่องจากเป็นประเทศที่มีศักยภาพสูงในการปลูกหญ้า มีภูมิประเทศและภูมิอากาศที่เหมาะสมกับการทำเกษตรกรรม หากโครงการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพืชชีวมวลนี้มีผลสัมฤทธิ์ที่ดี ก็จะทำให้เกิดการขยายตัวของพื้นที่การเกษตร และเกษตรกรจะหันมาเพาะปลูกหญ้าเนเปียร์เพิ่มมากขึ้น

2.1.2 แนวทางการศึกษาผลกระทบจากการปลูกพืชพลังงาน

การทำการเกษตรเป็นอีกกิจกรรมหนึ่งที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ รวมทั้งผลกระทบที่ก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อน จากข้อมูลของ (Smith และคณะ, 2008) รายงานว่า กิจกรรมทางการเกษตรมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกถึงร้อยละ 10 - 12 ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดทั่วโลก และปัจจุบันสำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมสหรัฐฯ หรือ Environmental Protection Agency ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและประเมินวัฏจักรชีวิตของการปลูกพืชพลังงาน เพื่อแก้ปัญหาความกังวลในเรื่องการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยมีการพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกดังต่อไปนี้ (Environmental Protection Agency, 2013)

- 1) การใช้ที่ดินและการใช้ทรัพยากรในการเพาะปลูก การใช้ที่ดินในลักษณะที่แตกต่างกันจะทำให้มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่างกัน รวมถึงการปลูกพืชแต่ละชนิดก็将会ใช้ทรัพยากรในปริมาณที่ไม่เท่ากัน
- 2) ปริมาณผลผลิตของพืช หากพืชที่ปลูกให้ผลผลิตสูงจะทำให้สามารถผลิตพลังงานได้มากขึ้น จึงเป็นผลให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตมีผลผลิตลดลง
- 3) การกระจายของฝน ระยะเวลาและปริมาณน้ำฝน มีผลต่อการชลประทานหรืออัตราการให้น้ำ ตัวอย่างเช่นในฤดูแล้งต้องมีการให้น้ำถี่และมากกว่าฤดูฝน และต้องใช้พลังงานมากกว่าด้วยเช่นกัน
- 4) อัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยอนินทรีย์ อัตราการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยทั้งคุณภาพของดินเดิม ลักษณะของพื้นที่เพาะปลูก ชนิดของพืชที่ปลูก เป็นต้น หากใส่ปุ๋ยเกินความพอดีจะทำให้มีการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ออกจากดินสูง แต่ถ้าใส่น้อยเกินไปก็จะทำให้ได้ผลผลิตพืชที่ต่ำ อีกทั้งปุ๋ยแต่ละชนิดจะส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกไม่เท่ากัน
- 5) วิธีการปลูก การจัดการด้านการเกษตร และการปรับปรุงสายพันธุ์ ถ้ามีการจัดการที่ดี วิธีการปลูกและสายพันธุ์ที่เหมาะสมจะทำให้ได้ผลผลิตพืชที่สูงขึ้น

- 6) วิธีการเก็บเกี่ยวผลผลิตพืช ขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่เพาะปลูกและลักษณะของพืชเป็นหลัก ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการใช้พลังงานจากน้ำมันดีเซลในเครื่องจักรทางการเกษตร
- 7) การใช้ยาฆ่าแมลงและยากำจัดวัชพืช การใช้สารกำจัดศัตรูพืชนอกจากจะทำให้เกิดสารพิษตกค้างแล้ว ยังต้องใช้พลังงานในการฉีดสารเคมีด้วย
- 8) การใช้ปุ๋ยขาวเพื่อปรับปรุงดิน ขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่างของดินเดิม
- 9) การใช้พลังงานจากน้ำมันดีเซล ในขั้นตอน การไถดิน การปลูก การเก็บเกี่ยว เป็นต้น
- 10) การขนส่งในส่วนต่างๆ ซึ่งส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรง
- 11) กระบวนการผลิตพลังงานชีวภาพ ประกอบไปด้วย การเตรียมวัตถุดิบ การปรับปรุงวัตถุดิบ การย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ และการผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งขั้นตอนเหล่านี้จะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการดำเนินการ

2.1.3 วัฏจักรคาร์บอน สมดุลคาร์บอน และการสะสมของคาร์บอน

การสะสมของคาร์บอนโดยทั่วไปเกิดจากการหมุนเวียนของวัฏจักรคาร์บอน ทั้งกลไกตามธรรมชาติและกลไกที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ตัวอย่างของกลไกตามธรรมชาติ เช่น การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างชั้นบรรยากาศกับมหาสมุทร กระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) และกระบวนการหายใจของสิ่งมีชีวิต เป็นต้น กระบวนการพื้นฐานเหล่านี้จะทำการเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปของสารอนินทรีย์ให้กลายเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิต

ส่วนกลไกที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงและถ่านหินเพื่อผลิตพลังงาน แม้ว่ามนุษย์จะทำให้คาร์บอนในบรรยากาศเพิ่มขึ้นเป็นปริมาณที่น้อยกว่าคาร์บอนที่เกิดโดยธรรมชาติ แต่ก็ส่งผลให้ระบบทางธรรมชาติไม่สามารถรองรับได้ทัน จนเกิดความไม่สมดุลระหว่างปริมาณการดูดซับคาร์บอนตามธรรมชาติและปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คงเหลืออยู่ในชั้นบรรยากาศ ส่งผลต่อภาวะเรือนกระจก (ปานทิพย์ อัจฉนวนานิช, 2554)

แหล่งสะสมคาร์บอนในโลกมีอยู่หลายแห่ง พบมากที่สุดในชั้นหินต่างๆ และรองลงมาคือตะกอนที่อยู่ในรูปของฟอสซิล มหาสมุทรลึก ดิน บรรยากาศ พื้นผิวของมหาสมุทร และพืชพรรณตามลำดับ (ชินยา โยโกยามา และคณะ, 2551)

การทำเกษตรเป็นทั้งจุดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและแหล่งสะสมคาร์บอนที่สำคัญ โดยพืชเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงพืชจะทำหน้าที่ในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากชั้นบรรยากาศ เพื่อใช้ในการสร้างอาหารและเพิ่มผลผลิตชีวมวล โดยพลังงานแสงจะถูกเปลี่ยนรูปให้เป็นพลังงานเคมีเก็บสะสมไว้ในสารประกอบ

คาร์บอนตามลำต้น ราก กิ่งและใบของพืช รวมถึงในดินผ่านทางรากของพืช ส่วนกระบวนการของพืชที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ ได้แก่ กระบวนการหายใจ การตายและการย่อยสลายของพืช (ภัทรารุช ศรีโพธิ์, 2554)

งานวิจัยจากหลายประเทศพบว่ามีปริมาณคาร์บอนจำนวนมากสะสมอยู่ในพื้นที่ที่มีการเพาะปลูก โดยข้อมูลจาก Watson และคณะ (2000) ระบุว่า การสะสมของคาร์บอนในพื้นที่ทุ่งหญ้าจะมีอยู่ทั้งในพืชและในดิน แต่ส่วนใหญ่จะถูกสะสมอยู่ที่พื้นดิน โดยการสะสมคาร์บอนในดินที่สำคัญนั้นเกิดมาจากเศษซากพืชที่ร่วงหล่นลงดิน และจากการที่รากพืชหมุนเวียนอินทรีย์คาร์บอนลงไปสู่ชั้นใต้ดิน (Root exudation) รวมทั้งรากพืชที่ตายแล้ว และเกิดการทับถมกัน (Soussana และคณะ, 2004) โดยคาร์บอนที่กักเก็บอยู่ในดินสามารถเก็บไว้ได้นานและคงทนกว่าการกักเก็บไว้ในมวลชีวภาพของพืชเนื่องจากคาร์บอนในดินสลายตัวได้ช้า (ภัทรารุช ศรีโพธิ์, 2554)

แต่การสะสมคาร์บอนในดินจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงค่อนข้างช้าและใช้เวลานานหลายปี และประสิทธิภาพการสะสมคาร์บอนในดินนั้นก็ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยทั้ง สภาพภูมิอากาศ ภูมิประเทศ ลักษณะของดิน ระดับความลึกของดิน ชนิดของพืชที่ปลูก และการจัดการด้านการเกษตรที่ปฏิบัติแตกต่างกัน เช่น การไถพรวน วิธีการปลูก การชลประทาน และปริมาณหรือชนิดของปุ๋ยที่ใช้ (มนต์สรวง เรืองขนาบ และคณะ, 2557) พื้นที่การเกษตรจึงเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญ โดยปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บในดินจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่าง 2 กระบวนการหลัก คือ การสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) ที่มีผลทำให้ดินเป็นแหล่งสะสมคาร์บอน และการหายใจของดิน (Soil respiration) ที่เป็นการปลดปล่อยคาร์บอนจากผิวดินในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ โดยทั่วไปคาร์บอนในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์คาร์บอน (Soil organic carbon) ได้แก่ สารประกอบฮิวมัส ซึ่งเป็นคาร์บอนที่เสถียร และส่วนน้อยที่พบในรูปสารอนินทรีย์คาร์บอน (Soil inorganic carbon) เช่น สารประกอบคาร์บอเนต และเนื่องจากอินทรีย์คาร์บอนในดินเป็นส่วนที่เกิดการเปลี่ยนรูปได้ง่ายกว่าอนินทรีย์คาร์บอน ทำให้อินทรีย์คาร์บอนเป็นเสมือนตัวควบคุมสมดุลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนในดิน

สรุปได้ว่าพื้นที่การเกษตรสามารถทำให้เกิดการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากชั้นบรรยากาศผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช มาสะสมอยู่ในรูปของอินทรีย์คาร์บอนทั้งในพืชและในดิน และในขณะเดียวกันพื้นที่การเกษตรก็ยังเป็นแหล่งปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศผ่านกระบวนการหายใจของดิน และกิจกรรมทางการเกษตรอื่นๆ อย่างไรก็ตามขณะนี้ยังไม่ข้อมูลที่แน่นอนเกี่ยวกับปริมาณคาร์บอนที่ถูกสะสมในดิน เนื่องจากการสำรวจเป็นไปได้ยากและใช้เวลานาน อีกทั้งในแต่ละพื้นที่ยังมีความสามารถในการสะสมคาร์บอนที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

2.2 หญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1

หญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum glaucum* ‘Pakchong 1’) เป็นหญ้าเนเปียร์ลูกผสมสาย ซึ่งเกิดจากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และหญ้าไข่มุก (ไกรลาส เขียวทอง, 2556) ปัจจุบันสำนักพัฒนาอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ ได้สนับสนุน ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกกันอย่างแพร่หลายทั่วประเทศไทย เพื่อใช้เป็นพืชอาหารสัตว์ และในบางพื้นที่เริ่มมีการปลูกหญ้าเนเปียร์เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานแล้ว

2.2.1 สถานภาพของหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1

ปัจจุบันกรมปศุสัตว์ได้เร่งให้เกษตรกรทำการขยายพันธุ์หญ้าพันธุ์ดี (เนเปียร์ปากช่อง 1) เพื่อทำให้เกิดความมั่นคงด้านอาหารสัตว์ขึ้น เนื่องจากหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 สามารถใช้เป็นอาหาร สำหรับเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องได้เป็นอย่างดี และเป็นพืชที่มีศักยภาพสูงทั้งในแง่การให้ผลผลิตและมี คุณค่าทางอาหาร อีกทั้งยังเป็นพืชที่ปลูกง่ายเหมาะกับทุกพื้นที่ของประเทศไทย เจริญเติบโตได้ดีใน ดินหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นดินร่วนปนทราย ดินเหนียว หรือดินลูกรัง ชอบดินที่มีการระบายน้ำดี และมีความอุดมสมบูรณ์ ดินที่เหมาะสมควรมีความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6.0 -7.5 และในการปลูก หนึ่งครั้งสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นาน 6-7 ปี โดยให้ผลผลิตตลอดทั้งปี และในแต่ละปีสามารถเก็บ เกียวได้ 6-7 ครั้ง

หญ้าชนิดนี้กำลังกลายเป็นพืชพลังงานที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยมี คุณสมบัติที่สำคัญ คือ เป็นพืชที่มีโครงสร้างที่เหมาะสมต่อการเติบโตของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมัก ไร้ออกซิเจน นอกจากนี้ยังเป็นพืชที่เจริญเติบโตเร็ว ให้ผลผลิตสูง โดยให้ผลผลิตน้ำหนัสดประมาณ 70-80 ตันต่อไร่ต่อปี (สำนักพัฒนาอาหารสัตว์, 2556) สามารถดูดซึมและตอบสนองต่อการให้น้ำและ ปุ๋ยได้ดี มีระบบรากที่แข็งแรง จึงเป็นพืชที่ทนแล้ง

จากคุณสมบัติที่ได้กล่าวมาข้างต้นของหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 ทำให้มีงานวิจัยจำนวนมาก ทำการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตพลังงานจากหญ้า เพื่อทดแทนการใช้พลังงานจากฟอสซิล และจาก ผลการวิจัยต่างๆทำให้ทราบว่าหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงาน ได้ ตัวอย่างเช่นงานวิจัยของสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2555) ศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าชนิดต่างๆในประเทศไทย โดยใช้กระบวนการหมัก แบบไร้ออกซิเจน พบว่าหญ้าที่ให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงที่สุดคือ หญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 ที่ อายุเก็บเกี่ยว 45 วัน และงานวิจัยของ Janejadkarn และคณะ (2014) พบว่าหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปาก ช่อง 1 มีอัตราการผลิตเท่ากับ 0.529 ลบ.ม./กก.ของแข็งระเหยได้

สรุปได้ว่าหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 มีความเหมาะสมสำหรับใช้เป็นพืชอาหารสัตว์และ สามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานก๊าซชีวภาพและพลังงานไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี โดยวิธีการผลิตก๊าซ

ชีวภาพจากการหมักแบบไร้ออกซิเจน และนำก๊าซชีวภาพที่ได้ไปผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม

2.2.2 ขั้นตอนการปลูกและการเก็บเกี่ยว

(ไกรลาศ เขียวทอง, 2556; สำนักพัฒนาอาหารสัตว์, 2556)

การปลูกหญ้าเนเปียร์สายพันธุ์นี้ สามารถไว้ต่อและเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ต่อเนื่องโดยไม่ต้องทำการปลูกใหม่ และสามารถปลูกได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย เจริญเติบโตได้ดีในดินหลายประเภท ชอบดินที่มีการระบายน้ำดีและมีความอุดมสมบูรณ์ ต้องการน้ำฝนประมาณ 1,000 มิลลิเมตร/ปี ควรปลูกในบริเวณพื้นที่ที่มีแสงแดดส่องเพียงพอ ถ้าปลูกไว้ในร่มเงาจะทำให้ได้ผลผลิตต่ำ ลักษณะของลำต้นเป็นกอตั้งตรงสูง 2-4 เมตร สามารถแตกกอได้ดี ไม่ติดเมล็ด ขยายพันธุ์ด้วยท่อนพันธุ์ ลักษณะของใบและลำต้นอ่อนนุ่ม ขอบใบไม่คมไม่มีขนจึงเก็บเกี่ยวได้ง่าย โดยขั้นตอนการปลูกพืชที่ได้รวบรวมมานี้เป็นข้อมูลที่ทางกรมปศุสัตว์ได้แนะนำไว้สำหรับการปลูกหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 โดยเฉพาะ

1) การเตรียมดิน

ขั้นตอนการเตรียมดินมีดังต่อไปนี้

1. ไถกำจัดวัชพืช ควรไถพรวน 2-3 ครั้ง ไถครั้งแรกขณะที่ดินมีความชื้นเหมาะสม เพื่อเปิดหน้าดินและทำลายวัชพืช จากนั้นไถพรวนอีกครั้งเพื่อย่อยดินให้มีขนาดเล็กและร่วนซุย พื้นที่ปลูกควรโล่งเตียนไม่ควรมีต้นไม้ใหญ่ขึ้นบัง เครื่องจักรที่ใช้ในการไถเตรียมดินประกอบด้วย ไถงาน ทั้งแบบ 4 งาน และ 7 งาน โดยก่อนการไถเตรียมดินควรเก็บ กรวด หิน และตอไม้ ออกจากแปลงเพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเครื่องมือ

2. ตากดินทิ้งไว้ประมาณ 5-7 วัน

3. ใส่ปุ๋ยคอกเพื่อปรับปรุงคุณภาพของดิน เป็นการเติมอินทรีย์วัตถุลงในดินช่วยให้ดินร่วนซุยมากขึ้น ซึ่งอัตราการใส่ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักที่แนะนำคือ 2,000 กิโลกรัม/ไร่ และควรใส่ปุ๋ยปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ในอัตรา 50-100 กิโลกรัม/ไร่

4. คลุกเคล้าให้ปุ๋ยเข้ากันกับดินเดิม

หญ้าเนเปียร์สายพันธุ์นี้เจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6.0 -7.5 ถ้าแปลงปลูกเคยปลูกพืชชนิดอื่นและใส่ปุ๋ยเคมีมาเป็นเวลานานอาจทำให้ดินมีสภาพเป็นกรดได้ และหากมีระดับพีเอชต่ำจะทำให้ธาตุอาหารพวกฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียม อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งทำให้หญ้าไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ในขณะที่ เหล็ก ทองแดง แมงกานีส สังกะสี และ อะลูมิเนียม จะละลายออกมาอยู่ในดินมากเกินไปจนอาจทำให้เป็นพิษต่อหญ้าที่ปลูกได้ จึงต้องปรับปรุงดินโดยการใส่ปูนขาวลงในดิน เพื่อช่วยลดระดับความเป็นกรดของดินและเพิ่มธาตุอาหาร

สำหรับพืชโดยเฉพาะแคลเซียม ในทางกลับกันดินที่มีสภาพเป็นด่างมากหรือมี pH สูงเกินไป อาจทำให้สมดุลของปริมาณจุลินทรีย์ในดินเปลี่ยนแปลงจนทำให้เกิดผลเสียต่อหญ้าที่ปลูกได้เช่นกัน ฉะนั้น ควรปรับระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม เพื่อให้หญ้าเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วและให้ผลผลิตสูง

2) การเตรียมท่อนพันธุ์

ท่อนพันธุ์ที่ดีต้องมาจากแปลงเพาะพันธุ์ที่มีความสมบูรณ์แข็งแรง ท่อนพันธุ์ควรอายุประมาณ 3-4 เดือน จากนั้นตัดเป็นท่อนๆ โดยต้องมีตาที่สมบูรณ์และมีข้อติดอยู่ไม่น้อยกว่า 2 ข้อ

3) การปลูก

วิธีการปลูกที่นิยมสามารถทำได้ 3 วิธี ได้แก่

1. ปลูกโดยใช้แรงงานคนซึ่งจะทำในพื้นที่ขนาดเล็ก โดยภายหลังจากเตรียมดินเสร็จ ควรลงมือปลูกทันทีเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นจากดิน นำท่อนพันธุ์ไปปลูกโดยใช้ระยะปลูกระหว่างแถว ประมาณ 120 เซนติเมตร ระหว่างต้นประมาณ 80 เซนติเมตร ปลูกหลุมละ 2 ท่อน ปักท่อนพันธุ์ไขว้กันเอียง 30 องศา โดยให้มี 1 ข้อจมอยู่ในดินประมาณ 1-2 นิ้ว

2. วิธีการยกร่องปลูกหรือปลูกแบบอ้อย เป็นวิธีการที่ช่วยให้การปฏิบัติงานสะดวกมากขึ้น ทั้งในการปลูกการให้น้ำและการระบายน้ำ ซึ่งช่วยให้รากพืชสามารถหยั่งลึกลงไปดินได้ดี การยกร่องควรวางแนวร่อง ขวางแนวลาดเอียงของพื้นที่ หลังจากการยกร่องเสร็จควรปลูกทันที โดยมีระยะร่องห่างกันประมาณ 85 เซนติเมตร นำต้นพันธุ์ทั้งลำวางลงในร่อง จากนั้นทำการกลบดินให้มีความหนาพอประมาณ

3. การปลูกโดยใช้เครื่องปลูกเหมาะสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถปลูกได้รวดเร็วและสม่ำเสมอ เครื่องปลูกสามารถทำงานได้หลายอย่างตั้งแต่ การเปิดร่อง การตัดต้นพันธุ์ออกเป็นท่อน การวางท่อนพันธุ์ การใส่ปุ๋ยและกลบดิน โดยภายในเวลา 1 ชั่วโมงสามารถปลูกได้ประมาณ 3-4 ไร่

อย่างไรก็ตามในแต่ละพื้นที่ย่อมมีวิธีการปลูก ระยะปลูก และอัตราปลูกที่เหมาะสมแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม พื้นที่ปลูก ความพร้อมของเกษตรกร และความสะดวกในการใช้เครื่องมือปลูก โดยหลังจากปลูกเรียบร้อยแล้วในช่วงแรกควรรดน้ำให้ชุ่มทุกวัน จะทำให้มีอัตราการงอกที่ดี แต่อย่าให้น้ำท่วมขังแปลงปลูกเพราะจะทำให้ท่อนพันธุ์เน่าและตายได้

4) การกำจัดวัชพืช

วัชพืชเป็นปัญหาที่มีความสำคัญและส่งผลกระทบต่อผลผลิตของหญ้าลาดต่ำลง จึงควรมีการกำจัดวัชพืชตั้งแต่ยังมีขนาดเล็กอยู่ โดยกำจัดวัชพืชครั้งแรกหลังจากปลูกประมาณ 2-3 สัปดาห์ อาจใช้แรงงานคนหรือเครื่องจักรกล การใช้แรงงานคน เช่น ใช้มือถอนหรือใช้จอบถากเหมาะสำหรับพื้นที่

ขนาดเล็กแต่ในพื้นที่ขนาดใหญ่อาจจะทำได้ช้า ซึ่งการปลูกในพื้นที่ขนาดใหญ่อาจใช้เครื่องจักรกล เช่น รถไถเดินตาม หรือแทรกเตอร์ขนาดใหญ่ติดเครื่องมือพรวน ส่วนใหญ่จะกำจัดวัชพืชแค่ครั้งเดียว หรือทุกครั้งหลังการเก็บเกี่ยว

5) การให้น้ำ

หญ้าเนเปียร์สายพันธุ์นี้ตอบสนองต่อการให้น้ำได้ดีมาก ถ้ามีระบบการให้น้ำในแปลงปลูกที่เพียงพอหญ้าจะมีการเจริญเติบโตที่ดีและให้ผลผลิตสูงต่อเนื่องตลอดทั้งปี การให้น้ำสามารถให้ได้หลายแบบ เช่น สปริงเกลอร์น้ำเหวี่ยง มินิสปริงเกิ้ล ท่อน้ำหยด ปล่อยไหลไปตามร่องดิน เป็นต้น

อัตราการให้น้ำแบบระบบสปริงเกิ้ลและมินิสปริงเกิ้ลควรให้ทุกๆ 3-5 วัน แต่ถ้าเป็นการปล่อยน้ำไหลไปตามร่องดินควรทำทุกๆ 7-10 วัน จึงจะเพียงพอสำหรับการผลิตหญ้าตลอดทั้งปี และถ้าหากสามารถใส่ปุ๋ยไปพร้อมกับการให้น้ำได้ จะช่วยประหยัดเวลาและทำให้การใส่ปุ๋ยได้ผลดีมาก

6) การใส่ปุ๋ย

อัตราการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมจะแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ตามคุณภาพดิน ซึ่งในเบื้องต้นมีข้อเสนอแนะการใส่ปุ๋ย คือ ในการปลูกครั้งแรกควรใส่ปุ๋ยผสมสูตร 15-15-15 อัตรา 50-100 กิโลกรัมต่อไร่ เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนปลูกและใส่ปุ๋ยคอกในอัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ เพื่อปรับปรุงบำรุงดิน และหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตทุกครั้งให้ใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยยูเรีย การใส่ปุ๋ยคอกควรใส่ลงไปที่โคนกอแล้วรีบให้น้ำทันที สำหรับการใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ควรใส่ที่อัตรา 20-25 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ กอละ 1 ช้อนโต๊ะ หลังจากการเก็บเกี่ยวประมาณ 2 สัปดาห์ ถ้าจะให้ดีเมื่อเก็บเกี่ยวไปครบ 3 รอบ ควรสลับมาใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 แทนปุ๋ยยูเรีย เพื่อรักษาความสมดุลของธาตุอาหารในแปลง

7) การเก็บเกี่ยว

ควรเก็บเกี่ยวครั้งแรกหลังปลูกประมาณ 75 วันเพื่อให้ระบบรากของหญ้ามามีการพัฒนาเจริญเติบโตและแข็งแรงเต็มที่ จากนั้นให้ตัดทุกๆ 45-60 วัน การตัดหญ้าทำได้โดยการใช้มีด เคียว เครื่องตัดหญ้าแบบสะพายไหล่ หรือเครื่องจักรกลทางการเกษตรแบบอื่นๆ การเก็บเกี่ยวหญ้าเนเปียร์สายพันธุ์นี้ต้องตัดให้ชิดดินที่สุด เพื่อให้เกิดการแตกหน่อใหม่จากใต้ดินและทำให้ลำต้นสมบูรณ์มีขนาดโตอวบอ้วน ตั้งตัวได้เร็ว และให้ผลผลิตสูง

2.2.3 ผลกระทบที่เกิดจากการปลูกหญ้า

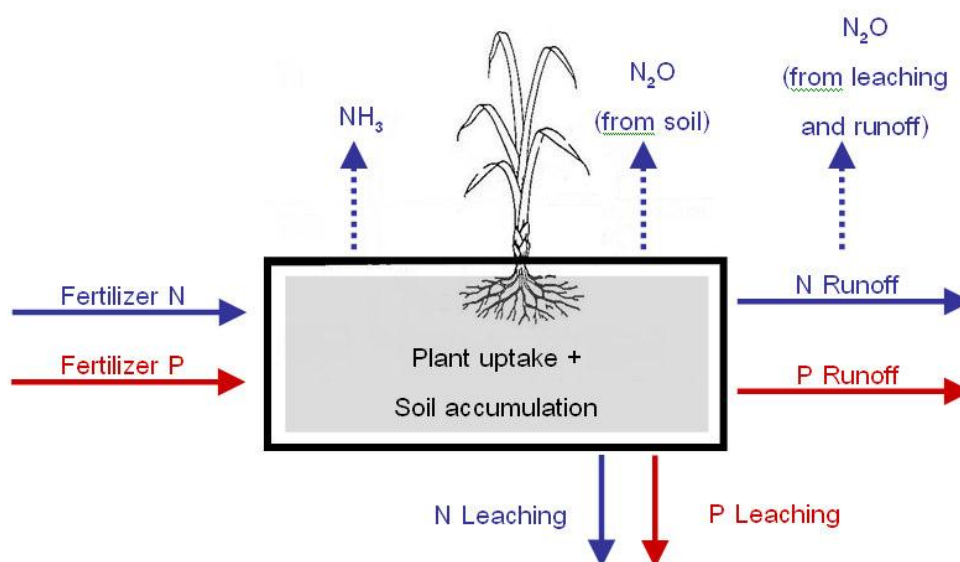
การปลูกหญ้าส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในหลายด้าน เช่น การปล่อยก๊าซเรือนกระจก การก่อให้เกิดสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ การเกิดฝุ่นขนาดเล็ก และการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำที่มากเกินไป เป็นต้น ทั้งนี้ผลกระทบหลักที่มีความสำคัญและเป็นเรื่องที่กำลังอยู่ในขณะนี้ คือ

ผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อน โดยเกิดจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญที่ถูกปล่อยจากภาคการเกษตรมี 3 ชนิด ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนตรัสออกไซด์ และก๊าซมีเทน ผลกระทบดังกล่าวอาจเกิดจากการใช้เครื่องจักรกล การใช้สารกำจัดศัตรูพืช การใช้ปุ๋ย และการเผาเศษซากของพืช โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) การใช้เชื้อเพลิงในเครื่องจักรกลการเกษตร เช่น รถไถดิน รถปลูก รถเก็บเกี่ยว การฉีดย่นสารปราบศัตรูพืช และปั้มน้ำที่ใช้ในการชลประทาน

2) การใช้ปุ๋ยในภาคการเกษตร เมื่อพิจารณาถึงสมดุลของไนโตรเจน (รูปที่ 2-2) จะพบว่า การใส่ปุ๋ยทำให้เกิดการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยทางตรงเกิดจากกระบวนการดีไนตริฟิเคชันในดิน (Denitrification) ส่วนการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ทางอ้อม เช่น การกระตุ้นให้เกิดการย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจนที่มีอยู่เดิมในดิน และการถูกชะล้าง เป็นต้น

3) การเผาซากต้นพืชในพื้นที่การเกษตรเพื่อเตรียมแปลงหลังการเก็บเกี่ยว (Agriculture residue burning) เป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลายชนิด โดยชนิดของก๊าซที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการเผาไหม้ หากเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ แต่ในความเป็นจริงการเผาไหม้ในธรรมชาติทั่วไปจะเกิดในภาวะที่มีออกซิเจนไม่พอเพียง หรือเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จึงเป็นเหตุให้เกิดก๊าซเรือนกระจกประเภทอื่นๆ เช่น ก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ เป็นต้น (มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย, 2550)



รูปที่ 2-2 ภาพรวมสมดุลของไนโตรเจนในแปลงพื้นที่
(ณภัทร จักรวัฒนา, 2553)

2.3 กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลหญ้า

กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลหญ้าสามารถจำแนกกระบวนการที่สำคัญได้ดังต่อไปนี้

1) การเผาไหม้สารชีวมวลโดยตรง และส่งต่อความร้อนที่ได้จากการเผาไปที่หม้อน้ำเพื่อผลิตไอน้ำ จากนั้นไอน้ำก็จะทำหน้าที่หมุนกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) จนเกิดเป็นพลังงานไฟฟ้า

2) การเผาไหม้ก๊าซชีวภาพที่ได้จากการย่อยสลายทางชีวภาพของสารชีวมวล ซึ่งก๊าซเหล่านี้ จะถูกใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยระบบเครื่องยนต์ก๊าซสันดาปภายในหรือระบบกังหันก๊าซ (Gas Turbine)

ซึ่งทั้งสองกระบวนการต่างก็มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไป ทั้งทางด้านศักยภาพในการผลิตและความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้และวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิต โดยหญ้าเนเปียร์มีความเหมาะสมในการนำไปผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งในรูปแบบของหญ้าสด หญ้าหมัก และหญ้าผสมมูลสัตว์

จากตารางที่ 2-2 แสดงผลผลิตก๊าซมีเทนของวัตถุดิบชนิดต่างๆ พบว่าปริมาณที่ผลิตได้จากหญ้าและหญ้าหมักนั้นมีค่าไม่ต่างกันนัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของหญ้าที่ใช้ด้วย โดยทั่วไปแล้วในต่างประเทศนิยมใช้หญ้าหมักเนื่องจากต้องการสำรองวัตถุดิบเผื่อไว้ในฤดูแล้ง เพื่อสามารถใช้วัตถุดิบได้อย่างต่อเนื่อง โดยที่วัตถุดิบนั้นยังคงคุณภาพและปริมาณอยู่ (Prochnow และคณะ, 2009) การทำหญ้าหมักจึงเป็นประโยชน์มากกว่าปล่อยให้หญ้าสดเกิดการเน่าเสีย อีกทั้งหญ้าหมักยังสามารถเก็บไว้ได้นานหลายเดือน โดยการทำให้หญ้าหมักสามารถทำได้โดยการใช้จุลินทรีย์หรือถังบรรจุสุญญากาศ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักหญ้าร่วมกับมูลวัว (Nizami และคณะ, 2009) เนื่องจากมูลวัวมีส่วนช่วยในการเพิ่มเอนไซม์และจุลินทรีย์ที่สามารถทำหน้าที่ในการย่อยสลายได้ แต่จากตารางที่ 2-2 พบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของมูลวัวยังคงต่ำกว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัตถุดิบหญ้า

ตารางที่ 2-2 ผลผลิตก๊าซมีเทนของวัตถุดิบชนิดต่างๆจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

| วัตถุดิบ | ก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ (CH ₄ m ³ /ton VS) | อ้างอิง |
|-----------------|--|---------------------------|
| หญ้าเนเปียร์สด | 529 | Janejadkarn และคณะ (2014) |
| หญ้าสด | 200-400 | Schnurer และคณะ (2010) |
| หญ้าหมัก | 350-390 | |
| มูลวัว | 90-310 | Tomori และคณะ (2012) |
| มูลวัว | 250 | Blengini และคณะ (2011) |
| หญ้าสดผสมมูลวัว | 268 | Nizami และคณะ (2009) |

2.3.1 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากการหมักชีวมวล

ปัจจุบันมีงานวิจัยที่ศึกษาการหมักพืชพลังงานด้วยกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการหมักแบบไร้ออกซิเจนเป็นกระบวนการที่สะดวก ประหยัดพลังงาน และมีระยะเวลาในการหมักที่ไม่นานจนเกินไป และได้ผลผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ ซึ่งก๊าซชีวภาพจะประกอบไปด้วยก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณร้อยละ 50-70 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณร้อยละ 30-50 และส่วนที่เหลือจะเป็น ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) ก๊าซชีวภาพที่ผ่านขั้นตอนกระบวนการบำบัดหรือการปรับปรุงคุณภาพจนมีสัดส่วนของปริมาณก๊าซมีเทนมากขึ้น (ประมาณร้อยละ 97) จะสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เพราะก๊าซชีวภาพที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้วจะมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับก๊าซธรรมชาติ

กระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ ทั้งการหมักแบบขั้นตอนเดียว และการหมักแบบหลายขั้นตอน โดยการหมักไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอนจะได้รับความนิยมมากกว่า เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพที่สูงกว่าแบบขั้นตอนเดียว ซึ่งรูปแบบหรือวิธีการหมักที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ ลักษณะของวัตถุดิบ เป็นต้น โดยระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่นิยมใช้ในการหมักพืชชีวมวลมีดังนี้ (กรมการพลังงานทหาร, 2556)

1) ระบบกวนสมบูรณ์ (CSTR) เป็นวิธีการที่นิยมนำมาใช้มากที่สุด ง่ายต่อการนำมาประยุกต์ใช้กับวัตถุดิบต่างๆ โดยภายในถังปฏิกรณ์จะมีการกวนผสมอย่างทั่วถึงเพื่อให้วัตถุดิบและจุลินทรีย์มีการสัมผัสกันมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์นั้นดีขึ้น แต่ระบบนี้ต้องใช้พลังงานมากกว่าระบบอื่น และมักมีปัญหาเรื่องการขำรดของอุปกรณ์ใบกวน

2) ระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic filter) ระบบนี้จะมีการใช้วัสดุตัวกลางในถังปฏิกรณ์ เพื่อเพิ่มพื้นที่ยึดเกาะสำหรับจุลินทรีย์ ทำให้ในถังปฏิกรณ์มีปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มสูงขึ้น ระบบมีเสถียรภาพและประสิทธิภาพสูง จึงสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงด้วยเช่นกัน

3) ระบบหมักไร้ออกซิเจนแบบแผ่นกั้น (Anaerobic baffled reactor) ลักษณะภายในของถังปฏิกรณ์จะมีแผ่นกั้นหลายแผ่นติดตั้งไว้ ทำให้วัตถุดิบหรือน้ำเสียที่เข้าจะไหลขึ้นลงสลับกันหลายครั้ง สามารถดูแลและเดินระบบได้ง่าย และมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสูง

4) ระบบยูเอเอสบี (UASB) ระบบนี้จุลินทรีย์ในระบบจะรวมตัวจับกันเป็นเม็ดมีการจมตัวที่ดี ทำให้เกิดการสะสมของจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ปริมาณมาก จึงสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ดี แต่การดูแลและการเดินระบบมีความยุ่งยากต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญ

5) ระบบแอนแอโรบิคคอนแทค (Anaerobic contact) พัฒนามาจากระบบกวนสมบูรณ์ โดยเพิ่มในส่วนของถังตกตะกอน เพื่อเวียนตะกอนกลับเข้าสู่ถังปฏิกรณ์

6) ระบบหมักไร้ออกซิเจนแบบลีชเบด (Leach bed reactor) เป็นระบบที่น้ำจะไหลผ่านวัตถุดิบที่อยู่ในรูปของของแข็งที่ถูกบรรจุไว้ในถังปฏิกรณ์ ซึ่งน้ำที่ไหลผ่านจะกลายเป็นน้ำชะที่มีค่าซีไอดีสูง ระบบนี้นิยมใช้ในการหมักขั้นต้นแรกของกระบวนการหมักไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน

7) ระบบย่อยสลายแบบราง (Plug flow reactor) มีลักษณะโดยทั่วไปเป็นทรงกระบอกวางแนวนอน กระบวนการหมักเริ่มจากการป้อนวัตถุดิบเข้าไปทางด้านหนึ่งของถังหมักและไหลล้นออกอีกด้านหนึ่ง การออกแบบและการทำงานไม่ซับซ้อน มักนิยมใช้ในฟาร์มหมู ซึ่งมีสารแขวนลอยสูง

2.3.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม (Combined Heat And Power Generation หรือ Cogeneration) คือ ระบบที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนในขณะเดียวกันจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน ใช้วัตถุดิบจากก๊าซธรรมชาติหรือก๊าซชีวภาพที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว โดยมีหลักการดังนี้

1) อัดอากาศผ่านเครื่องอัดความดันสูง (Compressor) แล้วเผาอากาศร่วมกับก๊าซชีวภาพ ทำให้ได้ก๊าซร้อนที่มีความดันและอุณหภูมิสูง ก๊าซจะขยายตัวผ่านกังหันก๊าซ (Gas Turbine) ทำให้กังหันก๊าซหมุนและขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ทำให้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้

2) ก๊าซเสียที่ผ่านกังหันก๊าซจะมีอุณหภูมิลดลงเหลือประมาณ 450–550 องศาเซลเซียส จึงสามารถนำไปใช้ให้ความร้อนแก่หม้อไอน้ำ (Boiler) เพื่อผลิตไอน้ำไปหมุนกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) และขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้อีกครั้งหนึ่ง

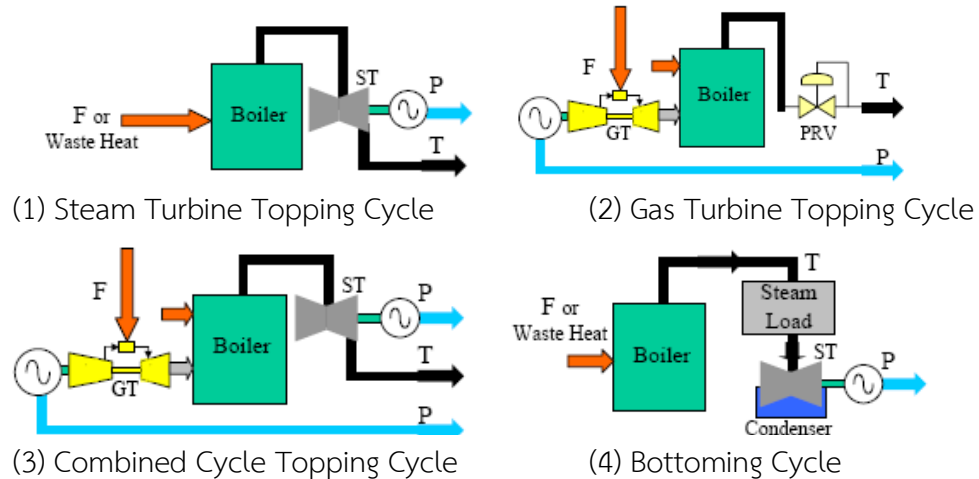
จากหลักการดังกล่าวระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจึงเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานสูงกว่ากรณีที่ผลิตกระแสไฟฟ้าหรือความร้อนเพียงอย่างเดียว (ชินยา โยโกยามา และคณะ, 2551) ระบบนี้ตอบโจทย์ทั้งในแง่ของปริมาณการผลิตพลังงานและประสิทธิภาพในการทำงานที่สูง ประมาณ ร้อยละ 42 (จิระ อาชายุทธการ และคณะ, 2550) ทั้งยังเป็นระบบที่สามารถใช้ทรัพยากรได้อย่างคุ้มค่า และลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่สิ่งแวดล้อมได้ ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจึงเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายทั้งในและต่างประเทศ

2.3.3 ประเภทของเทคโนโลยีระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ Topping Cycle และ Bottoming Cycle ลักษณะ Topping Cycle เป็นกระบวนการที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าก่อน แล้วจึงนำพลังงานความร้อนส่วนที่เหลือไปใช้ประโยชน์ ส่วน Bottoming Cycle เป็นกระบวนการที่ผลิตและใช้ประโยชน์จากความร้อนก่อนแล้วจึงนำไปผลิตพลังงานไฟฟ้า โดย Topping Cycle จะเป็นที่

นิยมมากกว่า (จิระ อาชายุทธการ และคณะ, 2550) ซึ่งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมนั้นมีอยู่หลายรูปแบบสามารถแบ่งเป็นประเภทต่างๆดังรูปที่ 2-3

ระบบ Simple Fired Boiler หรือหม้อไอน้ำ เป็นกระบวนการแปลงพลังงานโดยการเผาเชื้อเพลิง (Combustion) เพื่อไปทำให้น้ำกลายเป็นไอน้ำ แล้วนำไอน้ำออกไปใช้งาน และปกติจะติดตั้ง Pressure Reducing Valve (PRV) ไว้เพื่อลดแรงดันไอน้ำลงสู่ระดับที่ต้องการใช้งานต่อไป



รูปที่ 2-3 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมประเภทต่างๆ
(จิระ อาชายุทธการ และคณะ, 2550)

Steam Turbine Topping Cycle มีลักษณะคล้ายระบบ Simple Fired Boiler แต่จะติดตั้งกังหันไอน้ำ (ST) แทน PRV เพื่อลดแรงดันไอน้ำและผลิตพลังงานไฟฟ้า (power, P) อีกทั้งยังสามารถนำพลังงานความร้อน (thermal, T) ที่เหลือไปใช้งานต่อไป

1) Gas Turbine Topping Cycle มีลักษณะคล้ายระบบ Simple Fired Boiler เช่นกัน แต่จะมีติดตั้ง กังหันก๊าซ (GT) เพื่อผลิตไฟฟ้าก่อน และก๊าซที่เหลือซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 500°C จะถูกใช้ในหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไอน้ำไปใช้งานต่อไป

2) Combined Cycle Topping Cycle มีลักษณะที่ผสมผสานกันระหว่างสองแบบแรก คือมีทั้งการติดตั้งกังหันก๊าซ (GT) และกังหันไอน้ำ (ST) ทำให้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ถึงสองครั้ง

3) Bottoming Cycle เป็นกระบวนการที่ผลิตความร้อนก่อน แล้วจึงนำไอน้ำที่เหลือไปผลิตไฟฟ้า ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการที่ยากเพราะต้องควบคุมคุณภาพไอน้ำก่อนเข้ากังหันไอน้ำ (ST)

อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมในปัจจุบันได้ถูกพัฒนาให้มีความซับซ้อนของกระบวนการมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน ดังนั้นข้อมูลที่ได้นำเสนอนี้จึงเป็นเพียงข้อมูลพื้นฐานเพื่ออธิบายหลักการเบื้องต้นเท่านั้น

2.3.4 โรงงานผลิตพลังงานไฟฟ้าชีวภาพจากชีวมวล

ปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพขนาดเล็กหลายแห่งทั่วประเทศ โดยใช้วัตถุดิบหลักที่นำมาใช้คือมูลสัตว์และน้ำเสียจากโรงงาน ตารางที่ 2-3 แสดงข้อมูลกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพในประเทศไทย โดยโรงไฟฟ้าจากชีวมวลนั้นกำลังอยู่ในช่วงของการเริ่มต้นในการสร้างโรงงานต้นแบบที่ประกอบด้วยพื้นที่เพาะปลูกพืช ระบบผลิตก๊าซชีวภาพและระบบผลิตไฟฟ้า

ตารางที่ 2-3 โรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพในประเทศไทย

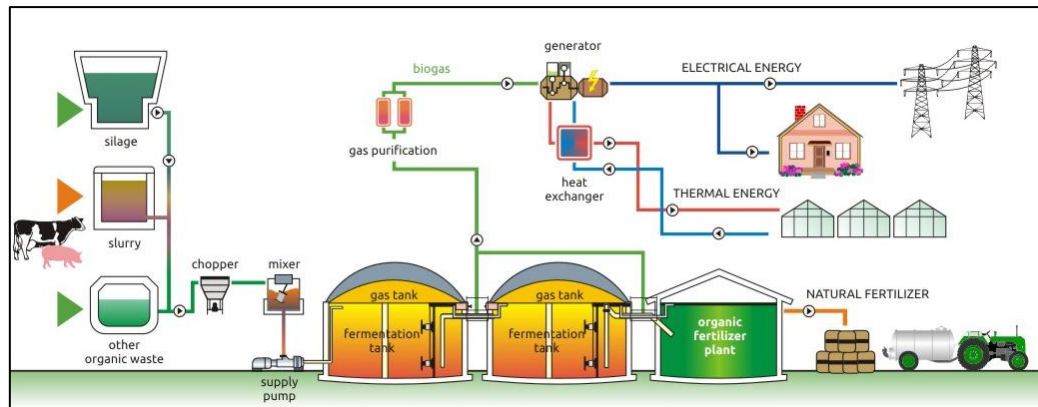
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555)

| ประเภทโรงไฟฟ้า | จำนวน (แห่ง) | กำลังผลิต (เมกะวัตต์) |
|---|--------------|-----------------------|
| โรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพในภาคเหนือ | 7 | 7 |
| โรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ | 24 | 51 |
| โรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพในภาคกลาง | 38 | 47 |
| โรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพในภาคใต้ | 31 | 50 |
| รวม | 100 | 155 |

ในส่วนของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ มีนักวิจัยของหน่วยงานต่างๆในประเทศที่ศึกษาทดลองเกี่ยวกับการใช้หญ้าเนเปียร์เป็นวัตถุดิบในการหมักแบบไร้ออกซิเจน โดยนิยมผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบกวนสมบูรณ์ (CSTR) เนื่องจากเป็นระบบที่ง่ายต่อการนำมาใช้ และมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์สูง เช่นเดียวกับในต่างประเทศที่มีการใช้ระบบ CSTR มากที่สุด ระบบนี้มีความเหมาะสมสำหรับการย่อยสลายมูลสัตว์และพืชพลังงาน ในปัจจุบันระบบหมักไร้ออกซิเจนแบบ CSTR เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายควบคู่ไปกับการทำการเกษตร และใช้มูลสัตว์หรือพืชพลังงานเป็นวัตถุดิบ (Luostarinen และคณะ, 2011)

ในส่วนของกระบวนการผลิตไฟฟ้า ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมเป็นระบบที่ได้รับความนิยมมากที่สุดสำหรับโรงงานขนาดใหญ่ เนื่องจากเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการผลิตสูง และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ดำเนินการโดยเริ่มจากการผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกังหันก๊าซก่อนแล้วส่งก๊าซที่เหลือไปผลิตไฟฟ้าที่กังหันไอน้ำต่อไป ทำให้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ถึงสองครั้ง

รูปที่ 2-4 แสดงแผนผังของขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพและพลังงานไฟฟ้า ขั้นตอนแรกคือการเตรียมวัตถุดิบ ได้แก่ มูลวัว หญ้าหมัก และขยะอินทรีย์อื่นๆ ทำการลดขนาดและนำมาผสมกัน จากนั้นส่งเข้าไปในถังหมักชีวภาพแบบไร้อากาศ เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพแล้วนำก๊าซชีวภาพที่ได้ไปผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ และส่งไปผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าหรือความร้อนต่อไป โดยเศษที่เหลือจากถังหมักชีวภาพนั้นจะเข้าสู่กระบวนการผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพ กำจัดกลิ่น และลดความเป็นพิษของเชื้อจุลินทรีย์ จนสามารถนำไปใช้ในการปลูกพืชได้



รูปที่ 2-4 ขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพและพลังงานไฟฟ้า

(Biopower S.A, 2013)

- ตัวอย่างโรงผลิตไฟฟ้าชีวภาพจากชีวมวลในประเทศไทย

โรงไฟฟ้าจากชีวมวลที่จังหวัดอุบลราชธานี ก่อสร้างโดยบริษัท Biteco Biogas ประเทศยูเครน มีกำลังการผลิตไฟฟ้า 1 เมกะวัตต์ ประกอบด้วยระบบผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 3,600 ลบ.ม. จำนวน 2 ถัง และระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม วัตถุประสงค์คือหญ้าเนเปียร์หมักในอัตรา 69 ตันต่อวัน และจะเริ่มเดินระบบได้ในปี พ.ศ. 2557 รูปที่ 2-5 แสดงสถานที่ของโรงไฟฟ้าจากชีวมวลที่จังหวัดอุบลราชธานี



รูปที่ 2-5 สถานที่ของโรงไฟฟ้าจากชีวมวลที่จังหวัดอุบลราชธานี

(Biteco Biogas, 2013)

- ตัวอย่างโรงผลิตไฟฟ้าชีวภาพจากชีวมวลในต่างประเทศ

โรงงานผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพนี้เป็นโรงงานที่ใหญ่ที่สุดแห่งหนึ่งในประเทศเยอรมัน เริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี 2009 โดยใช้ข้าวโพดหมัก หญ้า และมูลสัตว์เป็นวัตถุดิบ โดยมีทั้งระบบหมักไร้ออกซิเจน และระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม ซึ่งมีกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 50,000 เมกะวัตต์-ชั่วโมง และผลิตพลังงานความร้อนได้ 6.5 เมกะวัตต์ แสดงดังรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 โรงงานผลิตไฟฟ้าชีวภาพจากชีวมวลของประเทศเยอรมัน
(RWE Innogy, 2013)

โรงงานผลิตไฟฟ้าจากวัตถุดิบทางการเกษตรในสาธารณรัฐเช็ก ก่อตั้งขึ้นในปี 2012 วัตถุดิบส่วนใหญ่ที่ใช้ได้แก่ มูลสุกร ข้าวโพด หญ้าหมัก และมูลวัว ในกระบวนการผลิตประกอบด้วยระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบสองขั้นตอน ขนาด 4,815 ลบ.ม.ทั้งสองถัง และถังเก็บเศษที่เหลือจากการหมักอีกหนึ่ง ผลิตไฟฟ้าด้วยระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมกำลังการผลิตอยู่ที่ 1.189 เมกะวัตต์



รูปที่ 2-7 โรงงานผลิตไฟฟ้าชีวภาพจากชีวมวลของสาธารณรัฐเช็ก
(Biogas Nord, 2012)

โรงงานผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพประเทศเบลเยียม เริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี 2012 โดยใช้ข้าวโพด ขยะทางการเกษตร และมูลสุกรเป็นวัตถุดิบ ประกอบด้วยระบบหมักไร้ออกซิเจนที่ทำหน้าที่ผลิตก๊าซชีวภาพ และระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม โดยมีกำลังการผลิตอยู่ที่ 2.8 เมกะวัตต์



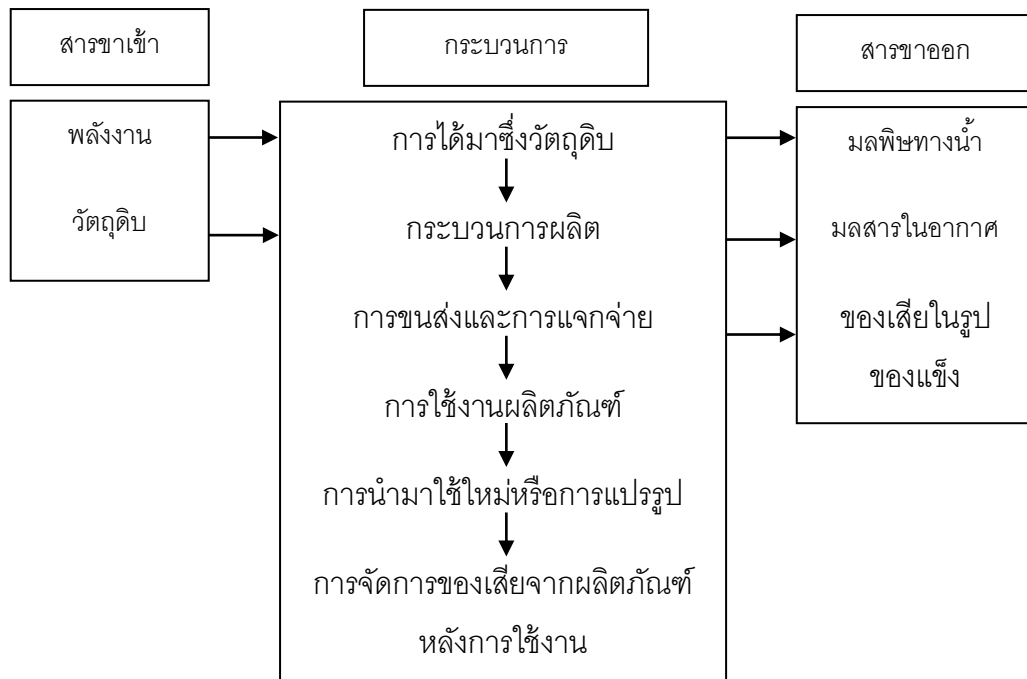
รูปที่ 2-8 โรงงานผลิตไฟฟ้าชีวภาพจากชีวมวลของประเทศเบลเยียม
(German Energy Agency, 2012)

2.4 การประเมินวัฏจักรชีวิต

2.4.1 ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment)

องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ (International Organization for Standardization: ISO) ได้นิยามความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต ไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ว่า “เป็นการเก็บรวบรวมและประเมินค่าขององค์ประกอบที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการ (Input) และสิ่งที่ได้ออกมา (Output) รวมถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต”

การประเมินวัฏจักรชีวิต คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์หรือบริการที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่หรือแปรรูป และการจัดการของเสียจากผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน กล่าวได้ว่าเป็นการพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยมีการระบุปริมาณพลังงานที่ใช้ วัตถุดิบที่ใช้ และปริมาณของเสียแต่ละชนิด ที่ถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม (รูปที่ 2-9) รวมถึงการประเมินโอกาสที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละประเภท เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด



รูปที่ 2-9 การประเมินวัฏจักรชีวิต

เทคนิคของการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นมีความแตกต่างจากเครื่องมือวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมชนิดอื่น โดยเทคนิคนี้จะประเมินค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือบริการเป็นเชิงปริมาณ ทำให้การทำการประเมินวัฏจักรชีวิตมีความซับซ้อนมากกว่าเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่น โดยจะทำการวิเคราะห์ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบไปจนถึงขั้นตอนการจัดการของเสียที่เกิดขึ้นหลังการใช้งาน และสามารถพิจารณาถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นได้ในทุกประเด็น นอกจากการประเมินวัฏจักรชีวิตจะเป็นกระบวนการศึกษาที่ละเอียดและเป็นระบบแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้ยังสามารถทำความเข้าใจได้ง่าย เป็นรูปธรรม และพิสูจน์ได้ การประเมินวัฏจักรชีวิตจึงเป็นเครื่องมือที่ดีเพื่อใช้ในการตัดสินใจ โดยมีข้อดีและข้อจำกัดสรุปได้ดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ข้อดีและข้อจำกัดของการประเมินวัฏจักรชีวิต

(ศุภณี เรียบเลิศหิรัญ และคณะ, 2555)

| ข้อดี | ข้อจำกัด |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - เป็นการวิเคราะห์ที่มองภาพรวมของผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นทั้งหมดในทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง - บ่งชี้ขั้นตอนหลักที่ก่อให้เกิดผลกระทบได้ - สามารถบ่งชี้ประเด็นปัญหาที่สำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงสุดและทำให้ทราบแหล่งที่มาของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่แท้จริง - สามารถคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเชิงปริมาณต่อหน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์ และสามารถใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์หรือเปรียบเทียบวิธีการจัดการสิ่งแวดล้อมได้ - สามารถแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากการบริหารจัดการทรัพยากรอย่างไม่มีประสิทธิภาพ - เป็นฐานข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบเชิงนิเวศได้ | <ul style="list-style-type: none"> - ค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลานาน - ขาดแคลนข้อมูลบัญชีรายการทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ เพราะต้องใช้ข้อมูลจำนวนมาก - ความไม่แน่นอนของวิธีการวิเคราะห์บัญชีรายการและการประเมินผลกระทบ - อาจเกิดความแตกต่างกันของผลการวิเคราะห์เนื่องจากมีความละเอียดในการวิเคราะห์ที่ต่างกัน - การทำการประเมินวัฏจักรชีวิตเรื่องเดียวกันแต่มีช่วงระยะเวลาต่างกัน อาจให้ผลลัพธ์ไม่เหมือนกัน หรือได้ผลขัดแย้งกัน |

2.4.2 การประยุกต์ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตทำให้ทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือบริการ รวมถึงที่มาและสาเหตุของปัญหา อีกทั้งยังสามารถเปรียบเทียบความรุนแรงของปัญหาทั้งในเฉพาะประเด็นและในภาพรวมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ที่ต่างกันได้ ซึ่งข้อมูลหรือข้อสรุปที่ได้นั้นสามารถนำไปพิจารณาประกอบกับข้อมูลในประเด็นอื่นๆ เช่น การประเมินต้นทุน ความสะดวกสบาย และความปลอดภัยของผู้บริโภค เพื่อใช้ในการตัดสินใจหรือการกำหนดแนวทางดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อมในอนาคต หรือเพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ ปรับปรุงนโยบายของภาครัฐที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม และเพื่อกระตุ้นจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อม

การประเมินวัฏจักรชีวิตสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกิจกรรมหรืองานวิจัยได้อย่างหลากหลาย โดยกลุ่มของผู้นำไปใช้งานสามารถจำแนกได้เป็น 4 กลุ่มหลัก ได้แก่ ภาคอุตสาหกรรม (บริษัทเอกชน) ภาครัฐ องค์กรเอกชน (NGOs) และผู้บริโภค โดยมีการนำไปใช้งานดังตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 การประยุกต์ใช้งานของการประเมินวัฏจักรชีวิต
(สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547)

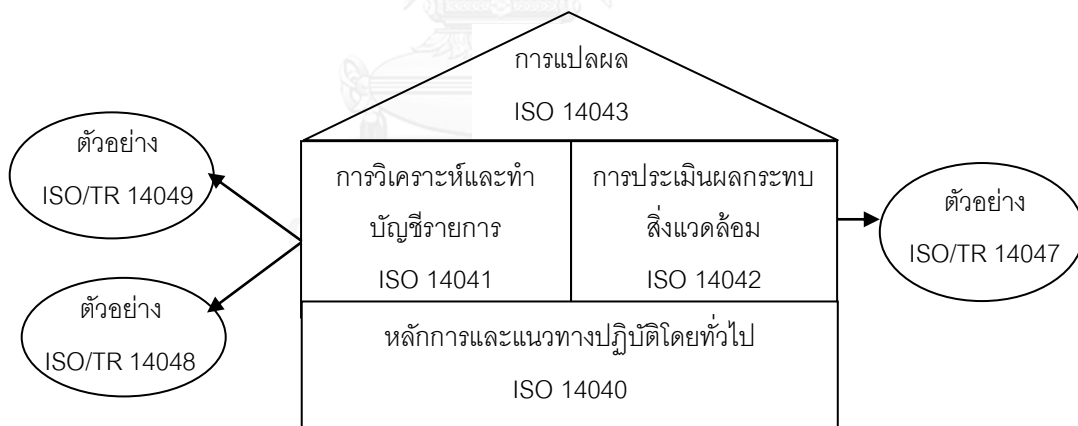
| กลุ่มผู้นำไปใช้งาน | รูปแบบของการประยุกต์ใช้งาน |
|-------------------------------|--|
| ภาคอุตสาหกรรม/ บริษัทเอกชน | <ul style="list-style-type: none"> - ใช้แสดงให้เห็นทราบถึงข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ - ใช้เป็นข้อมูลเพื่อจัดหาวัตถุดิบที่เหมาะสมและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม - พัฒนากลยุทธ์ด้านการตลาด กลยุทธ์ด้านธุรกิจ และแผนการลงทุน - พัฒนากลยุทธ์ด้านนโยบาย - การจัดทำ ฉลากสิ่งแวดล้อม (ฉลากเขียว) ของผลิตภัณฑ์ - ออกแบบและปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม - พัฒนานโยบายและกำหนดทิศทางของผลิตภัณฑ์ โดยการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ |
| ภาครัฐ | <ul style="list-style-type: none"> - เป็นเกณฑ์ในการจัดทำข้อกำหนดของฉลากสิ่งแวดล้อม - การพัฒนาและจัดทำฉลากสิ่งแวดล้อม - ใช้ประกอบการพิจารณาเพื่อสนับสนุนเงินทุนหรือการจัดทำโครงสร้างภาษีอากร - พัฒนานโยบายทั่วไปของภาครัฐ |
| องค์กรเอกชน (NGOs) | <ul style="list-style-type: none"> - เป็นข้อมูลเพื่อเผยแพร่ต่อผู้บริโภค - เป็นข้อมูลสนับสนุนสำหรับการประชุม/สัมมนาในเวทีสาธารณะ - ใช้ข้อมูลเพื่อกระตุ้นภาคเอกชนและรัฐบาลในการพัฒนาสิ่งแวดล้อม |
| ผู้บริโภค | <ul style="list-style-type: none"> - ใช้ข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ |

2.4.3 อนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14040

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เป็นอีกหนึ่งเครื่องมือด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ถูกบรรจุไว้ในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO14000 โดยมีมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับ LCA ทั้งหมด 7 ฉบับ ความสัมพันธ์ของอนุกรมมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตแสดงดังรูปที่ 2-10

- ISO 14040 – Life cycle assessment – Principles and framework : กล่าวถึงหลักการ นิยามคำศัพท์ และกรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
- ISO 14041 – Life cycle assessment – Goal and scope definition and Life Cycle Inventory (LCI) analysis : กล่าวถึงการกำหนดวัตถุประสงค์ขอบเขต การวิเคราะห์และจัดทำ บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

- ISO 14042 - Life cycle assessment – Life Cycle Impact Assessment (LCIA) : กล่าวถึงการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
- ISO 14043 - Life Cycle Assessment – Life Cycle Interpretation : การแปลผลข้อมูลที่ได้จากการทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์และการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
- ISO/TR 14047 - Life Cycle Assessment – Illustrative examples on how to apply ISO 14042 – Life cycle impact assessment : รายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14042 สำหรับวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์
- ISO/TR 14048 - Life Cycle Assessment – LCA Data Documentation Format : รายงานวิชาการแสดงตัวอย่างรูปแบบเอกสารของข้อมูลด้านการประเมินวัฏจักรชีวิต
- ISO/TR 14049 - Life Cycle Assessment – Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis : รายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14041 สำหรับจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

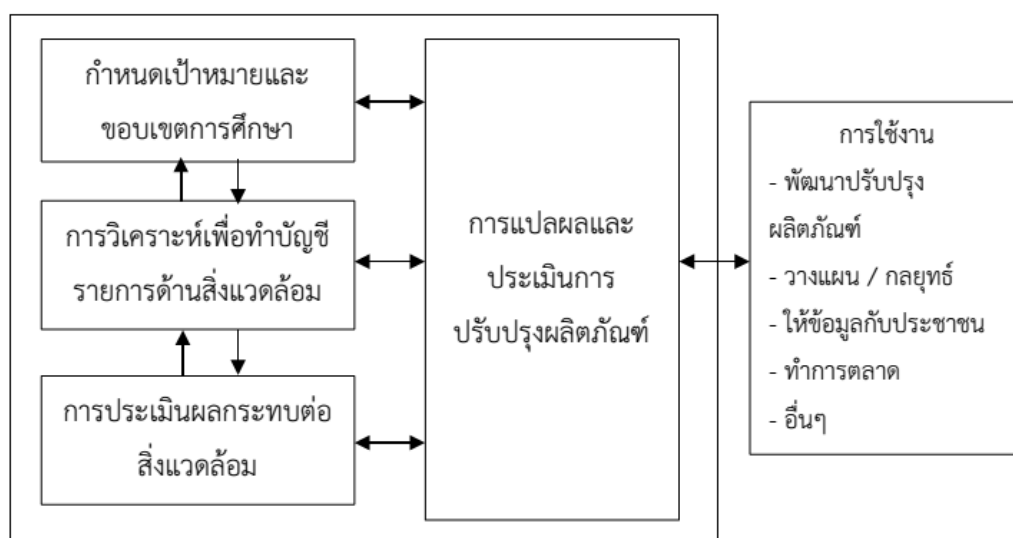


รูปที่ 2-10 ความสัมพันธ์ของอนุกรมมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต
(สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547)

2.4.4 ขั้นตอนของการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตจะพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยมีกรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิต 4 ขั้นตอน (รูปที่ 2-11)

- 1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition)
- 2) การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Inventory Analysis)
- 3) การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Impact Assessment)
- 4) การแปลผลการศึกษาและการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Interpretation)



รูปที่ 2-11 กรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิต

(สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547 อ้างถึงใน International Standard ISO 14040, 1997)

การศึกษาผลกระทบโดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตในทางปฏิบัติจริงจะต้องใช้ข้อมูลและตัวเลขที่อ้างอิงจำนวนมาก โปรแกรมฐานข้อมูลสำเร็จรูปจึงได้รับความนิยมและถูกพัฒนาขึ้นในเชิงพาณิชย์หลายโปรแกรม เช่น SimaPro™ Team™ เป็นต้น โปรแกรมเหล่านี้จะช่วยจัดการกับข้อมูลของกระบวนการต่างๆ ได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดยส่วนใหญ่อ้างอิงฐานข้อมูลจากประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น ฯลฯ สำหรับประเทศไทยขณะนี้ยังไม่มีฐานข้อมูลเฉพาะที่ใช้งานได้จริง ดังนั้นจึงต้องอาศัยข้อมูลจากต่างประเทศและจากกระบวนการที่มีลักษณะคล้ายกันที่สามารถเทียบเคียงกันได้แทน

1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตเป็นขั้นตอนที่สำคัญเพื่อทำให้เกิดความชัดเจนในวัตถุประสงค์ของการศึกษาและกำหนดขอบเขตของระบบที่จะใช้ศึกษาให้ตรงตามความต้องการ อีกทั้งยังมีอิทธิพลต่อทิศทางและความละเอียดในการศึกษา ถ้ากำหนดเป้าหมายและขอบเขตไม่ดีพอจะทำให้การประเมินสารเข้าและสารออกของระบบนั้นทำได้ยากและไม่ตรงประเด็น ขั้นตอนนี้จึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญและส่งผลโดยตรงต่อความถูกต้องแม่นยำของผลการวิเคราะห์

ขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา ประกอบด้วย การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Product function) หน่วยการทำงาน (Functional unit) ขอบเขตระบบ (System boundary) และระบบผลิตภัณฑ์ (Product system)

(1) การกำหนดเป้าหมาย

การประเมินวัฏจักรชีวิตจะต้องมีการกำหนดเป้าหมายหลักที่ชัดเจน ไม่คลุมเครือ ควรกำหนดเหตุผลในการศึกษาและจุดมุ่งหมายในการนำผลการศึกษาไปใช้งานต่อ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลและการสรุปผลที่มีความน่าเชื่อถือ อีกทั้งการกำหนดเป้าหมายการศึกษาจะสัมพันธ์กับขอบเขตการศึกษา และจะมีผลกระทบโดยตรงต่อระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการศึกษา หากการศึกษามีเป้าหมายที่ต้องการความน่าเชื่อถือของข้อมูลสูง หรือต้องการเผยแพร่ข้อมูลสู่สาธารณะ ขอบเขตการศึกษา ระยะเวลา และงบประมาณที่ใช้ในการศึกษาย่อมสูงตามไปด้วย

(2) ขอบเขตของการศึกษา

วัตถุประสงค์ของการกำหนดขอบเขตของการศึกษา คือ การกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินเพื่อที่จะเก็บรวบรวมข้อมูลได้ถูกต้องตามที่ต้องการและเป็นประโยชน์ต่อเป้าหมายที่วางไว้ ควรประกอบไปด้วย การกำหนดหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ หน่วยการทำงาน ขอบเขตของระบบ และขอบเขตของเวลาในการดำเนินการ รวมทั้งเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในระบบผลิตภัณฑ์ด้วย

หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Function)

ผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งอาจมีหลายหน้าที่ แต่จะมีเพียงหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้นที่ถูกเลือกมาเพื่อทำการประเมินวัฏจักรชีวิตและต้องสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา ดังนั้นในการกำหนดขอบเขตของการศึกษาจึงจำเป็นต้องระบุหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ที่กำลังทำการศึกษาและคุณลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ให้ชัดเจน ซึ่งหากต้องการศึกษาวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์โดยครอบคลุมทั้งหน้าที่หลักและหน้าที่รองจะทำให้การศึกษาดังกล่าวมีความซับซ้อนและยากยิ่งขึ้น

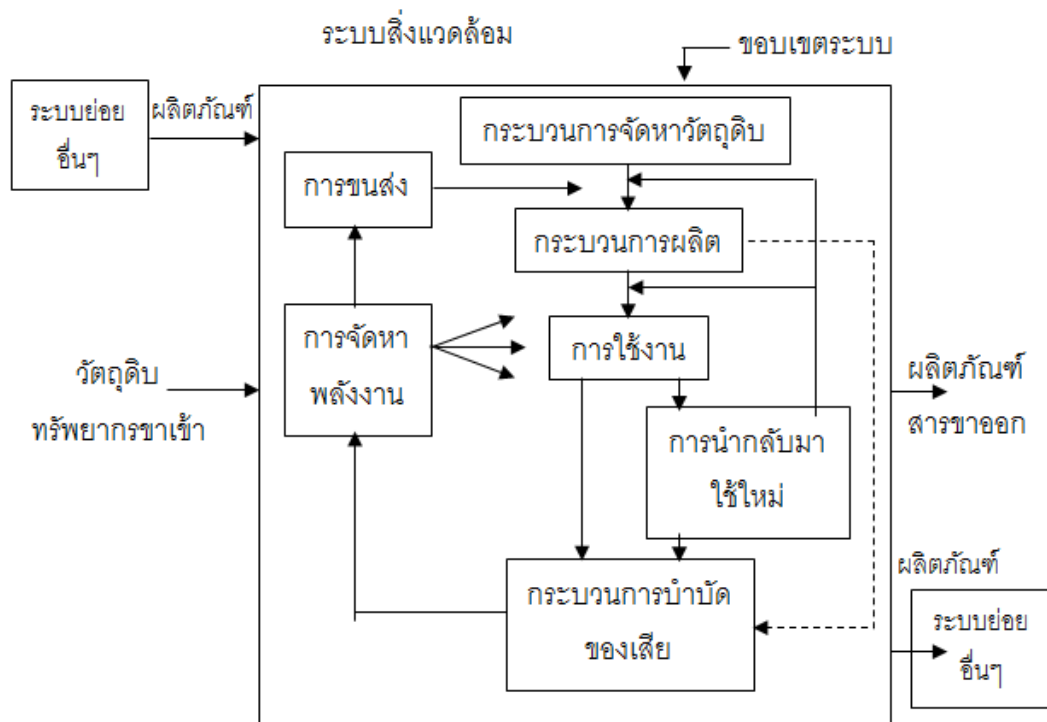
หน่วยการทำงาน (Functional Unit)

หน่วยการทำงานจะถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการเก็บข้อมูลสารเข้าและสารออกของระบบ ใช้ในการเปรียบเทียบผลของการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการต่างๆหรือระหว่างผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้ข้อมูลปริมาณสารที่เข้าและ

ออกจากระบบที่อยู่ในหน่วยพื้นฐานเดียวกัน ซึ่งหน่วยการทำงานมีได้หลายรูปแบบทั้งกำหนดตามประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ ความคงทนของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ตัวอย่างเช่นในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต้องอยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่ากับหน่วยการทำงานที่ได้กำหนดไว้

ขอบเขตของระบบ (System boundary)

ขอบเขตของระบบ หมายถึง ขอบเขตระหว่างระบบผลิตภัณฑ์กับสิ่งแวดล้อม หรือกับระบบผลิตภัณฑ์อื่น โดยระบบผลิตภัณฑ์ คือ ระบบที่จำลองขึ้นจากระบวนการย่อย (Unit process) หลายกระบวนการมาเชื่อมต่อกันด้วยการไหลของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในระบบผลิตภัณฑ์จึงประกอบด้วยกระบวนการย่อย การไหลของวัตถุดิบหรือพลังงานที่เข้าสู่ระบบ และการไหลออกของผลิตภัณฑ์หรือของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการต่างๆ (รูปที่ 2-12)



รูปที่ 2-12 ขอบเขตระบบและระบบผลิตภัณฑ์ในการวิเคราะห์การประเมินวัฏจักรชีวิต (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547 อ้างถึงใน International Standard ISO 14041, 1998)

นอกเหนือจากการจำลองระบบผลิตภัณฑ์แล้ว การจัดทำผังการไหลของกระบวนการ (Process Flow Diagram) ก็เป็นสิ่งจำเป็นและทำให้สามารถระบุสารขาเข้าและสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์ได้อย่างครบถ้วน ทำให้การวิเคราะห์สมดุลมวลสารเป็นไปอย่างถูกต้อง โดยรูปแบบการกำหนดขอบเขตมีดังนี้

- Gate to Gate คือ การประเมินผลกระทบเฉพาะกระบวนการจากทั้งวัฏจักร จึงเป็นเพียงบางส่วนของ การประเมินวัฏจักรชีวิต
- Cradle to Gate คือ การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตแต่จะไม่รวมขั้นตอนการใช้งานหรือกำจัดของเสียหลังการใช้งาน
- Cradle to Grave คือ การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่งและกระจายสินค้า การใช้งาน และการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้นหลังการใช้งาน
- Cradle to Cradle คือ การพิจารณาถึงขั้นตอนการรีไซเคิล เช่น กรณีที่ขั้นตอนการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้นหลังการใช้งานเป็นกระบวนการรีไซเคิล ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เดิมออกมา

ข้อกำหนดคุณภาพของข้อมูล

การกำหนดคุณภาพของข้อมูลที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นเป็นสิ่งสำคัญ คุณภาพของข้อมูลสามารถอธิบายและประเมินได้ เช่น ช่วงเวลาในการศึกษาและระยะเวลาการเก็บข้อมูล พื้นที่ของการศึกษา เทคโนโลยีของการศึกษา แหล่งที่มาของข้อมูล ความถูกต้องและสมบูรณ์ของข้อมูล

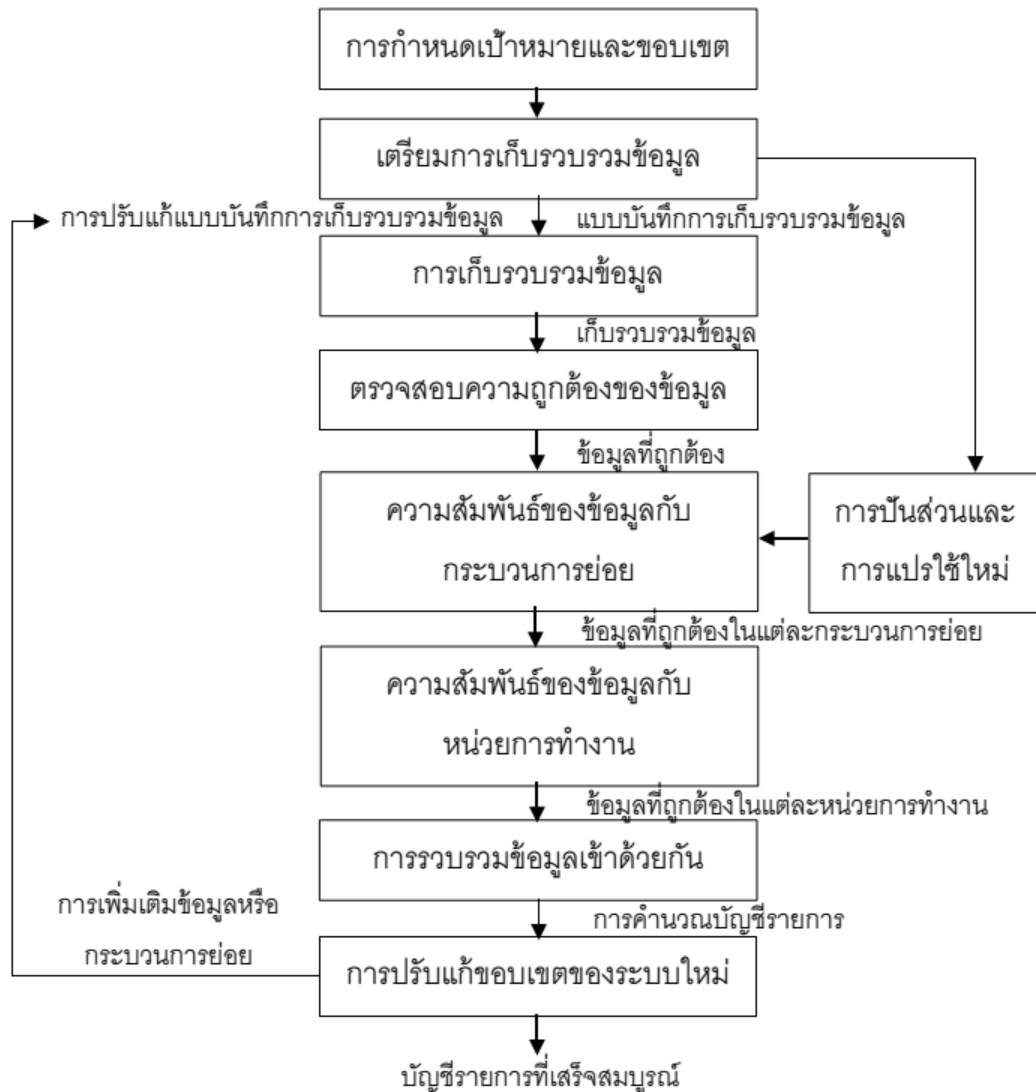
2) การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม

จุดประสงค์ของการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม คือ การเก็บรวบรวมข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต และทำการประมวลผลข้อมูล คำนวณปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์ทั้งหมด การเก็บข้อมูลควรประกอบด้วย รายละเอียดของกระบวนการผลิต ผังการไหลของกระบวนการ และลักษณะของข้อมูล เช่น คุณภาพ แหล่งที่มา ข้อจำกัดของข้อมูล เป็นต้น อย่างไรก็ตามการรวบรวมข้อมูลให้ครบถ้วนสมบูรณ์ทั้งหมดเป็นไปได้ยาก เนื่องจากต้องใช้เวลาและงบประมาณจำนวนมาก

ขั้นตอนโดยทั่วไปของการวิเคราะห์บัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย การเก็บรวบรวมข้อมูล การคำนวณ การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล การกำหนดขอบเขตของระบบ และการป้อนส่วน (รูปที่ 2-13)

การเก็บข้อมูล (Data Collection)

เมื่อทำการแยกกระบวนการย่อยต่างๆ ครบถ้วนแล้วจึงเริ่มทำการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยต้องแสดงรายละเอียดของสารขาเข้าและสารขาออก โดยหลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิตจำเป็นต้องเก็บข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกทุกตัวที่เกี่ยวข้อง แต่ในความจริงแล้วเป็นไปได้ยาก ดังนั้นอาจมีการเลือกศึกษาสารขาเข้าและสารขาออกเฉพาะที่มีความสำคัญและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง



รูปที่ 2-13 ขั้นตอนโดยทั่วไปของการวิเคราะห์บัญชีรายการ
(สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547 อ้างถึงใน International Standard ISO 14041, 1998)

โดยแหล่งของข้อมูลที่ใช้ในการจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย ข้อมูลปฐมภูมิ ข้อมูลทุติยภูมิ และข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data) คือข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดกิจกรรมการผลิตในโรงงานหรือองค์กรโดยตรงหรือรายงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต ข้อมูลปริมาณการผลิตในแต่ละวัน เป็นต้น ส่วนข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data) คือข้อมูลที่ได้จากแหล่งข้อมูลอื่น เช่น งานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง หนังสือ เอกสารหรือรายงาน เป็นต้น

การตรวจสอบความถูกต้อง (Data validation)

ควรตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในระหว่างกระบวนการการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยการคำนวณสมดุลมวลสารเพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของข้อมูล

การเชื่อมโยงข้อมูลกับหน่วยการผลิตและหน่วยการศึกษา

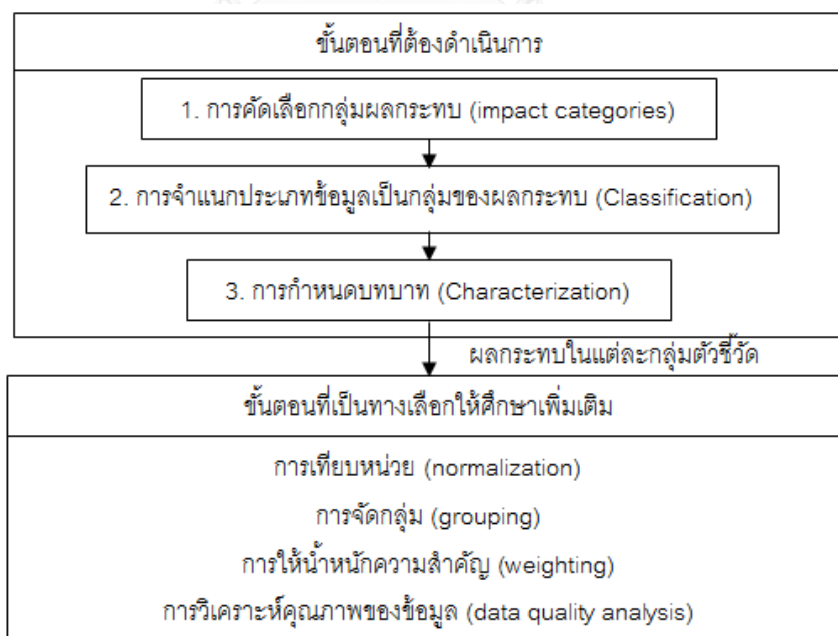
ควรมีการกำหนดปริมาณอ้างอิงในแต่ละกระบวนการย่อยของผลิตภัณฑ์ เช่น 1 กิโลกรัมของวัตถุดิบ หรือ 1 เมกะจูลของพลังงาน เพื่อคำนวณปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการย่อยให้สัมพันธ์ในหน่วยอ้างอิงเดียวกัน และสามารถนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์อื่นได้

การปันส่วน (Allocation)

หากในกระบวนการเกิดผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป และมีเพียงหนึ่งผลิตภัณฑ์ที่ถูกนำไปใช้ ส่วนที่เหลือจะถูกนำกลับไปใช้ใหม่เป็นวัตถุดิบของกระบวนการอื่นหรือถูกนำไปกำจัด จะต้องทำการปันส่วนปริมาณวัตถุดิบ พลังงาน และการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดด้วย

3) การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ คือ การนำข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกของทุกกระบวนการที่เกี่ยวข้องมาคำนวณ เพื่ออธิบายค่าความสามารถในการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยการจำแนก การกำหนดบทบาท การจัดกลุ่ม และเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้น เพื่อเตรียมข้อมูลไว้ใช้ในการแปลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป ซึ่งตามหลักการที่กำหนดในมาตรฐานสิ่งแวดล้อม ISO 14042 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมมีหลายขั้นตอนแบ่งเป็นขั้นตอนที่ต้องดำเนินการและขั้นตอนที่เป็นทางเลือกในศึกษาเพิ่มเติม ดังรูปที่ 2-14



รูปที่ 2-14 ขั้นตอนการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตามมาตรฐาน ISO 14042 (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547 อ้างถึงใน International Standard ISO 14042, 1999)

1. การคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ (Impact categories)

พิจารณากลุ่มของผลกระทบว่ามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านใดบ้างและเกิดขึ้นจากกระบวนการใด โดยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญและนิยมนำมาใช้ในการประเมินผล ได้แก่

- 1) การทำให้โลกร้อน (Global warming)
- 2) การก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ (Acidification)
- 3) การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (Eutrophication)
- 4) การสิ้นเปลืองทรัพยากร (Resource depletion)
- 5) การออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสง-เคมี (Photochemical oxidation)
- 6) การทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone depletion)
- 7) การสิ้นเปลืองพลังงาน (Energy depletion)
- 8) การก่อให้เกิดสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ
- 9) การเกิดฝุ่นขนาดเล็ก (Particulate Matter Formation)
- 10) การปล่อยกัมมันตภาพรังสี (Ionizing Radiation)

2. การจำแนกประเภทข้อมูลเป็นกลุ่มของผลกระทบ (Classification)

คือการนำข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการมาจำแนกตามกลุ่มผลกระทบที่ได้คัดเลือกไว้อย่างเป็นทางการเป็นหมวดหมู่ อาจมีสารขาเข้าหรือสารขาออกมากกว่า 1 ตัวที่เป็นปัจจัยสำคัญก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของสารที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน เป็นต้น นอกจากนี้สารเคมีบางตัวสามารถถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้มากกว่า 1 ประเภท เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นสารที่ทำให้เกิดทั้งผลกระทบต่อสุขภาพและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในลักษณะของการก่อให้เกิดความเป็นกรดด้วย

3. การกำหนดบทบาท (Characterization)

การกำหนดบทบาทเป็นขั้นตอนที่นำข้อมูลปริมาณสารต่างๆที่ได้จากการทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม มาประเมินผลกระทบเชิงปริมาณตามกลุ่มของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งในการประเมินต้องแปลงค่าสารแต่ละตัวในกลุ่มผลกระทบเดียวกันให้อยู่ในรูปของตัวบ่งชี้ (Indicator) โดยใช้ค่าแฟคเตอร์ (Characterization Factor) ในการคูณเพื่อปรับค่าจากปริมาณของมลสารที่ปล่อยออกมาให้เป็นค่าบ่งชี้ของผลกระทบ

ส่วนขั้นตอนทางเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติมจะไม่ได้เป็นขั้นตอนบังคับ เนื่องจากในขั้นตอนนี้จะมีวิธีการคำนวณที่แตกต่างกันไปในแต่ละการวิจัย ขึ้นอยู่กับผู้คำนวณ วิธีการคำนวณ สภาพภูมิประเทศ และการให้น้ำหนักความสำคัญในแต่ละกลุ่มผลกระทบของแต่ละประเทศ โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

1. การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization) คือ การแสดงขนาดของผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หรือบริการ เพื่อแสดงให้เห็นว่ากลุ่มผลกระทบแต่ละกลุ่มมีความสำคัญต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมโดยรวมอยู่ในระดับใด โดยเปรียบเทียบกับขนาดของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ต้องการอ้างอิงในช่วงเวลาที่กำหนดในระดับประเทศ ภูมิภาค และระดับโลก

2. การให้น้ำหนัก (Weighting) คือ การให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยน้ำหนักของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในแต่ละชนิดจะต่างกันขึ้นอยู่กับมุมมองของผู้ประเมิน และปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพภูมิประเทศ ประเภทและระดับความรุนแรงของผลกระทบ เป็นต้น

3. การจัดกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Grouping) คือ การจัดกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมออกเป็นหมวดหมู่แยกตามประเภท ได้แก่ ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ และผลกระทบต่อเศรษฐกิจของทรัพยากรและพลังงาน

4. การวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล (Data Quality Analysis) เป็นการวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลเพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือก่อนที่จะนำผลการประเมินไปใช้ โดยพิจารณาถึงความสอดคล้องของข้อมูล ความถูกต้องของการวัดและการคำนวณข้อมูล ความเหมาะสมของตัวแทนข้อมูล ตัวอย่างการวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล ได้แก่ การวิเคราะห์ความอ่อนไหวและการวิเคราะห์ความไม่แน่นอน

4) การแปลผลการศึกษาและการปรับปรุงผลิตภัณฑ์

วัตถุประสงค์ของการแปลผลการศึกษา คือ การนำผลการศึกษาจากการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม และการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มาเชื่อมโยงกันเพื่อการวิเคราะห์ผลลัพธ์ สรุปผล อธิบายข้อจำกัด และการจัดเตรียมข้อเสนอแนะที่ได้จากการทำการประเมิน รวมถึงการทำรายงานสรุปการศึกษาให้สามารถเข้าใจได้ง่าย ครบถ้วน และสอดคล้องกับเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ ขั้นตอนนี้จะทำให้ทราบว่ากระบวนการใดของผลิตภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด และประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมใดที่มีนัยสำคัญสูงสุด โดยขั้นตอนดังนี้

1) การจำแนกประเด็นที่สำคัญ คือ การจัดกลุ่มของข้อมูลและผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อใช้ในการเลือกประเด็นที่สำคัญที่สุดสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

2) การประเมินค่า คือ การตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลเพื่อให้แน่ใจว่าเป็นข้อมูลที่ต้องการและตรงประเด็น และตรวจสอบความสอดคล้อง คือ สมมติฐาน วิธีการ และข้อมูลมีความสอดคล้องกับเป้าหมายหรือไม่ โดยผลลัพธ์ที่ได้ควรจะต้องแสดงในรูปแบบที่สามารถเข้าใจได้ง่าย

3) การจัดทำทสรูป ข้อเสนอแนะ และรายงานผล คือ ขั้นตอนการสรุปผลการประเมิน และจัดทำข้อเสนอแนะเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการ เช่น การออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีอายุการใช้งานที่นานขึ้น การเปลี่ยนชนิดของวัตถุดิบ การเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้วัตถุดิบ การปรับปรุงกระบวนการผลิตหรือการใช้พลังงาน การปรับปรุงระบบขนส่ง การปรับปรุงวิธีการจัดการของเสีย เป็นต้น

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 เอกสารและงานวิจัยด้านการประเมินวัฏจักรชีวิต

Whiting และคณะ (2014) ได้ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากวัตถุดิบทางการเกษตร ได้แก่ เศษหญ้าและมูลสัตว์ ด้วยเทคโนโลยีการหมักแบบไร้อากาศ (AD) และการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม (CHP) และเปรียบเทียบผลการศึกษากับการผลิตไฟฟ้าจากฟอสซิล พบว่าระบบผลิตพลังงานนี้สามารถช่วยในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานจากฟอสซิล โดยสามารถลดค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) ได้มากกว่าร้อยละ 50 อย่างไรก็ตามศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ และศักยภาพในการก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำของระบบผลิตพลังงานนี้ยังคงมีค่าสูงกว่าการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติ ซึ่งผลกระทบต่อส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลจากชนิดและแหล่งที่มาของวัตถุดิบ และการจัดการเศษที่เหลือจากการหมักก๊าซชีวภาพ และถ้ามีการใช้พืชพลังงานแทนเศษหญ้าก็จะสามารถช่วยลด GWP ได้อีกเนื่องจากได้ผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงขึ้น แต่ก็จะส่งผลให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอื่นๆเพิ่มขึ้น

Lijó และคณะ (2014) ได้ประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตพลังงานจากก๊าซชีวภาพด้วยหลักการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต โดยวัตถุดิบหลักได้แก่ มูลสุกร และพืชพลังงาน (ข้าวโพดและธัญพืช) ซึ่งทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อทั้งหมด 6 ประเภท จากผลการทดลองพบว่าขั้นตอนการเพาะปลูกพืชเป็นขั้นตอนหลักที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านศักยภาพในการก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ และศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ ซึ่งเกิดจากการใช้ปุ๋ยเป็นหลัก ส่วนศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนนั้นพบว่ามีผลกระทบกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างการปลูกพืชทำให้เกิดการชดเชยปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก นอกจากนี้การใช้เศษที่เหลือจากการหมักเป็นปุ๋ยยังช่วยลดผลกระทบต่อที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยเคมีอีกด้วย

Bacenetti และคณะ (2014) ได้ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน โดยเปรียบเทียบระบบการปลูกพืชที่แตกต่างกันสองระบบระหว่างการปลูกพืชชนิดเดียว (ข้าวโพด) และการปลูกพืชสองชนิดรวมกัน (ข้าวโพดและข้าวสาลี) โดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งทั้งสองกรณีให้ผลผลิตต่างกัน และใช้วิธีการปลูกและสภาพอากาศที่แตกต่างกัน มีหน่วยการทำงานคือหนึ่งลูกบาศก์เมตรของก๊าซมีเทน จากผลการทดลองพบว่าการใช้ปุ๋ยเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการปลูกพืชทั้งสองแบบ รวมถึงการได้มาและการใช้น้ำมันดีเซล และการได้มาของสารกำจัดศัตรูพืช โดยระบบการปลูกพืชแบบสองชนิดรวมกันจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าแบบปลูกพืชชนิดเดียวเนื่องจากระบบการปลูกพืชแบบสองชนิดรวมกันต้องการปัจจัยในการผลิตที่มากกว่า ถึงแม้ว่าระบบการปลูกพืชแบบสองชนิดจะให้ปริมาณผลผลิตชีวมวลมาก แต่อย่างน้อยก็ช่วยลดส่วนของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้วัตถุดิบ

Buratti และคณะ (2013) ทำการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตก๊าซชีวภาพจากธัญพืชในอิตาลี โดยพิจารณาทุกกระบวนการที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ทั้งการเตรียมพื้นที่และการดำเนินการสำหรับการเพาะปลูก และการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิต ซึ่งปัจจัยที่สำคัญได้แก่ การปล่อยไนตรัสออกไซด์จากการใช้ปุ๋ย การปล่อยก๊าซมีเทนจากการกักเก็บเศษจากการหมัก และการใช้พลังงานในการผลิตก๊าซชีวภาพ งานวิจัยนี้ทำการเก็บข้อมูลโดยตรงจากเกษตรกร และรวบรวมข้อมูลจากโรงงานก๊าซชีวภาพที่ตั้งอยู่ในอิตาลี ผลที่ได้คือขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดร้อยละ 75.1 เนื่องจากไม่ได้ทำการปิดปกคลุมภาชนะที่กักเก็บเศษที่ได้จากการย่อยสลาย รองลงมาคือ การทำการเกษตรร้อยละ 24.6 และการขนส่งร้อยละ 0.3

Boulamanti และคณะ (2013) ได้ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ โดยใช้วัตถุดิบสองชนิด คือ ข้าวโพดและมูลสัตว์ โดยข้าวโพดนั้นให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพที่สูงกว่าแต่ในขณะเดียวกันขั้นตอนการเพาะปลูกก็ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกประมาณร้อยละ 28-42 ของการผลิตพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ในส่วนของมูลสัตว์นั้นจะให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพที่ต่ำกว่า แต่เนื่องจากมูลสัตว์เป็นของเสียจึงไม่พิจารณาในส่วนของขั้นตอนการได้มา อีกทั้งยังสามารถนำมาคิดชดเชยก๊าซเรือนกระจกในกรณีที่ไม่นำมาใช้ในการผลิตพลังงานได้อีกด้วย งานวิจัยยังพิจารณาในส่วนของวิธีการในการกักเก็บเศษที่เหลือจากการหมัก โดยพบว่าเมื่อกักเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดมิดชิดจะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันของยุโรปพบว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพสูงกว่าในทุกประเภทยกเว้นศักยภาพในการก่อให้เกิดการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ

Lansche และคณะ (2012) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ด้วยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อเปรียบเทียบการใช้วัตถุดิบที่แตกต่างกัน ได้แก่ มูลสัตว์และพืชพลังงาน โดยพิจารณาผลกระทบทั้งหมด 3 ประเภท จากผลการทดลองพบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสามารถลดลงได้จากการหมักไร้อากาศของทั้งสองวัตถุดิบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการรวบรวมก๊าซจากถังเก็บเศษที่เหลือจากการหมัก และในส่วนของศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ และศักยภาพในการก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ ถ้าใช้วัตถุดิบเป็นพืชพลังงานก็จะส่งผลกระทบมากกว่าการใช้วัตถุดิบมูลสัตว์เพียงชนิดเดียว

Hakala และคณะ (2012) ประเมินผลผลิตชีวมวลและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการปลูกพันธุ์ไม้เตี้ยและหญ้า เปรียบเทียบระหว่างการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยอนินทรีย์ ด้วยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยทำการทดลองกับพันธุ์ไม้เตี้ยสามสายพันธุ์และหญ้าสองสายพันธุ์ ซึ่งปลูกในปี 2003 และได้เก็บเกี่ยวมาแล้วเป็นเวลาสามปี (2004-2006) ผลที่ได้พบว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ให้อัตราผลผลิตชีวมวลสูงกว่า แต่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยชีวมวลสูงกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 2-3 เท่า สรุปได้ว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปลูกพืชเพื่อผลิตพลังงานเป็นแนวทางที่ยั่งยืนที่สุด

Blengini และคณะ (2011) งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานชีวภาพจากพืชพลังงาน (ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าวทริททิเคิล และ หญ้ามิสแคนทัส) และมูลสัตว์ โดยใช้กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนและโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมในการผลิตพลังงานไฟฟ้า จากผลการประเมินพบว่าระบบพลังงานชีวภาพไม่ใช้พลังงานทดแทนที่ยั่งยืนเนื่องจากระบบผลิตพลังงานนี้ทำให้เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่ชัดเจนและมีการปล่อยมลพิษมากกว่าการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติ โดยศักยภาพของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตพลังงานยังขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ โดยพบว่าขั้นตอนการผลิตพลังงานเป็นช่วงที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด และขั้นตอนการปลูกมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำที่สุด โดยการกำจัดเศษที่เหลือจากการย่อยสลายเป็นขั้นตอนหลักที่ส่งผลกระทบต่อศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ และศักยภาพในการก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ

Brandao และคณะ (2011) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์คาร์บอนในดิน และประเมินสมดุลก๊าซเรือนกระจกและคุณภาพของดินที่ใช้ในการเพาะปลูกพืชพลังงาน ทำการทดลองโดยใช้ตัวแทนพืช 4 ชนิด ได้แก่ ผักกาดก้านขาว (Oil Seed Rape) หญ้ามิสแคนทัส (*Miscanthus*) พืชพลังงานโตเร็ว (Short-Rotation Coppice willow) และเศษขยะจากป่าไม้ จุดประสงค์หลักของการทำการประเมิน คือ ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์คาร์บอนในดิน สมดุลพลังงาน การปล่อยก๊าซ

เรือนกระจก ศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ และศักยภาพในการก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ จากผลการทดลองสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนอินทรีย์ในดินส่งผลต่อการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนอินทรีย์นั้นขึ้นอยู่กับการจัดการทางการเกษตรและสถานที่เพาะปลูกเป็นหลัก

2.5.2 เอกสารและงานวิจัยเกี่ยวกับการสะสมของคาร์บอน

Ryals และคณะ (2014) ศึกษาผลกระทบของการปรับปรุงสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนและไนโตรเจนในดินของพื้นที่ทุ่งหญ้า การปรับปรุงสารอินทรีย์ได้รับการเสนอเป็นวิธีที่จะเพิ่มดินคาร์บอนสะสมในดินที่เสื่อมโทรม อย่างไรก็ตามข้อมูลยังมีอยู่น้อยเกี่ยวกับอัตราการสะสมของคาร์บอนในดินหรือการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนในดินในพื้นที่ทุ่งหญ้าซึ่งคาดว่าจะมีศักยภาพสูงในการจัดเก็บคาร์บอน งานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนในดินและวัชพืชประกอบของอินทรีย์วัตถุในดิน ในสองพื้นที่ของทุ่งหญ้าที่มีสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน (ชายฝั่งและหุบเขาห่างจากชายฝั่ง) หลังจากสามปีที่มีการปรับปรุงสารอินทรีย์พบว่าปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนในดินของทั้งสองพื้นที่มีการเพิ่มขึ้น โดยการปรับปรุงมีผลต่อการเพิ่มขึ้นไนโตรเจนในดินมากกว่าเมื่อเทียบกับคาร์บอนทำให้อัตราส่วน C:N ลดลง ดังนั้นการปรับปรุงดินในพื้นที่ทุ่งหญ้าสามารถเพิ่มคาร์บอนและไนโตรเจนที่สะสมในดินได้

Yu และคณะ (2013) ประเมินปริมาณคาร์บอนสะสมและศักยภาพในการจัดเก็บคาร์บอนที่รับผลกระทบจากการปลูกพืชในทุ่งหญ้าในจีน โดยปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินสะท้อนให้เห็นถึงความสมดุลระหว่างคาร์บอนที่ถูกใส่เข้าและอัตราการเปลี่ยนแปลงของแร่ในดิน พืชแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการดูดจับ การเก็บรักษา และการปล่อยคาร์บอนที่แตกต่างกันซึ่งทำให้ปริมาณคาร์บอนสะสมในดินมีความแตกต่างกัน ในการศึกษาทำการทดลองเปรียบเทียบมวลชีวภาพของพืชและอินทรีย์คาร์บอนในดินของพืชทั้งหมด 7 ชนิด จากการวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอนในดินถึงที่ระดับความลึก 100 ซม. พบว่าหญ้าแต่ละชนิดนั้นส่งผลต่อปริมาณคาร์บอนสะสมในดินต่างกัน และยังมี ความแตกต่างกันในแต่ละความลึกของดินอีกด้วย หญ้า *Echinochloa phyllopogon* ให้ค่าที่สูงที่สุดคือ 10.09 kg C/m² ขณะที่ *Suaeda glauca* ให้ค่าที่ต่ำที่สุดคือ 5.63 kg C/m² และมากกว่าร้อยละ 30 ของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนถูกพบในดินด้านบนที่ระดับ 0-20 ซม. ส่วนปริมาณคาร์บอนสะสมในพืชชีวมวลหญ้า *Leymus chinensis* มีปริมาณมากที่สุดที่ 2.95 kg C/m² จึงสรุปได้ว่าปริมาณคาร์บอนนั้นมีอยู่ในดินมากกว่าในพืชชีวมวล

Sarkhot และคณะ (2012) ศึกษาปริมาณและสัดส่วนของคาร์บอนในดินที่เพาะปลูกหญ้าแพรรี (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) และต้นอ้อ (*Arundo donax* L.) โดยมีวัตถุประสงค์คือ (1) เปรียบเทียบการจัดเก็บคาร์บอนรวม (TC) อินทรีย์คาร์บอน (OC) และอนินทรีย์คาร์บอน (IC) ภายใต้การปลูกหญ้าแพรรีและต้นอ้อ ตามความลึกของดิน และ (2) พิจารณาผลกระทบของพืชเหล่านี้ต่อปริมาณคาร์บอนในดินที่มีอยู่ (measured as hot water extractable carbon, HC) เป็นตัวบ่งชี้ทางอ้อมของการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในดิน ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-10 10-20 20-30 30-40 และ 40-50 ซม. จาก 125 สถานีในพื้นที่จำนวน 34.5 เฮกตาร์ โดยวิเคราะห์ TC IC HC และคำนวณหา OC ผลที่ได้คือความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอนที่สูงที่สุดอยู่ในช่วงผิวดิน ประมาณ 0-20 เซนติเมตร

Soussana และคณะ (2004) ได้ทำการศึกษาวัฏจักรคาร์บอนและการสะสมคาร์บอนของพื้นที่ทุ่งหญ้า โดยพบว่า การสะสมคาร์บอนในระบบนิเวศแบบทุ่งหญ้าส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นบริเวณด้านล่างพื้นดินโดยการสะสมคาร์บอนในดินของพื้นที่ทุ่งหญ้านั้นเกิดจากการที่รากพืชหมุนเวียนอินทรีย์คาร์บอนลงไปสู่ใต้ดิน เกิดการทับถมกัน และมีแนวโน้มว่าดินจะมีเสถียรภาพมากขึ้น และการเปลี่ยนแปลงการสะสมอินทรีย์คาร์บอนในดินอาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และการจัดดำเนินการเกษตร ในการทดลองขั้นแรกจะทำการประเมินอินทรีย์คาร์บอนในดินที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและจากการจัดการทุ่งหญ้า ขั้นที่สองพิจารณาพลั๊กของคาร์บอนในบริบทของระบบการทำฟาร์มด้วยการหมุนเวียนพันธุ์พืชและการใช้ปุ๋ยในฟาร์ม ขั้นที่สามใช้แบบจำลองระบบนิเวศทุ่งหญ้า (PaSim) ในการประเมินสมดุลก๊าซเรือนกระจกในหน่วยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และสุดท้ายพิจารณาโอกาสในการกักเก็บคาร์บอนในประเทศฝรั่งเศสที่เกิดจากการฟื้นฟูพื้นที่ทุ่งหญ้าและการเพิ่มความเข้มงวดของระบบการเลี้ยงสัตว์

Ma และคณะ (2000) ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในดินโดยการปลูกหญ้า Switch grass ในพื้นที่ที่เป็นดินร่วนปนทราย โดยทำการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลาประมาณ 2 ปี พบว่า การสะสมคาร์บอนในดินเกิดขึ้นปริมาณมากที่ผิวดินคือระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และไม่พบความแตกต่างของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินที่ปลูก Switch grass เมื่อเทียบกับดินที่ซูดควบคุมซึ่งไม่มีการปลูกพืช อีกทั้งบริเวณพื้นผิวดิน (0-15 ซม.) ยังมีความผันผวนของอินทรีย์คาร์บอนมากกว่าในดินชั้นลึก (15-30 ซม.) อาจเป็นเพราะผลกระทบจากฝนและอุณหภูมิของดิน รวมทั้งปริมาณรากพืชที่มีมืออยู่อย่างหนาแน่นในดินที่ระดับความลึก 0 - 15 ซม. และที่สำคัญปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศยังมีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในดิน

Fisher และคณะ (1994) ศึกษาการจัดเก็บคาร์บอนด้วยรากหญ้าในทุ่งหญ้า Savannas โดยงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์การสะสมคาร์บอนในพื้นที่ทุ่งหญ้าตามความลึกของรากหญ้า ทำการทดลองในพื้นที่ทุ่งหญ้าของอเมริกาใต้ โดยเลือกทำการทดลองตามความยาวของรากพืช เพราะดินบริเวณรากทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมที่สำคัญของคาร์บอน จากการทดลองพบว่าพื้นที่ทุ่งหญ้าสามารถสะสมคาร์บอนได้ 100-507 Mt carbon/yr อีกทั้งการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน เช่น การเผา อาจทำให้เพิ่มเกิดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ สรุปได้ว่าพื้นที่ทุ่งหญ้าในสามารถช่วยชดเชยผลกระทบจากการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในปัจจุบันได้

2.5.3 การนำข้อมูลมาใช้ในงานวิจัยนี้

จากข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของสามารถสรุปได้ว่า การผลิตพลังงานจากพืชชีวมวลถือว่าเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่สามารถช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิลและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก อีกทั้งการปลูกพืชยังทำให้เกิดการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาสะสมอยู่ในรูปของอินทรีย์คาร์บอนทั้งในพืชและในดินได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามยังมีข้อกังวลเกี่ยวกับผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากระบวนการผลิตพลังงานชีวภาพ โดยเฉพาะในขั้นตอนการเพาะปลูกพืชพลังงานที่มีทั้งการใช้ปุ๋ย การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องจักรกล และการใช้สารกำจัดศัตรูพืช อีกทั้งยังไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของการปลูกพืชพลังงานควบคู่ไปกับการประเมินคาร์บอนสะสมในการปลูกพืชชนิดนั้นด้วย โดยตารางที่ 2-6 ได้สรุปงานวิจัยที่สำคัญที่เกี่ยวข้องในด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตพลังงานชีวภาพ

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเน้นไปที่การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการปลูกพืชพลังงาน โดยเปรียบเทียบการปลูกหญ้าที่มีการใช้ปุ๋ยที่ต่างกัน 3 รูปแบบคือ แบบไม่ใช้ปุ๋ย (แปลงควบคุม) แบบที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพียงอย่างเดียว และแบบที่ใช้ทั้งปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยอนินทรีย์ (ตามคำแนะนำของกรมปศุสัตว์) ในขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลและประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการปลูกพืชได้อ้างอิงวิธีการจากสำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมสหรัฐฯ (Environmental Protection Agency, 2013) และอ้างอิงขอบเขตของการศึกษาจากงานวิจัยของ Blengini และคณะ (2011) ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ขั้นตอนการเกษตร การผลิตก๊าซชีวภาพ การผลิตไฟฟ้า และการกำจัดเศษซาก ส่วนการประเมินคาร์บอนสะสมนั้นจะอ้างอิงวิธีการจากงานวิจัยการของ Yu และคณะ (2013) และงานวิจัยของ Sarkhot และคณะ (2012) ในการเก็บตัวอย่างดินและหญ้าเพื่อการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนและความหนาแน่นรวมของดิน เพื่อคำนวณปริมาณคาร์บอนสะสมในพื้นที่

ตารางที่ 2-6 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านการประเมินวัฏจักรชีวิต

| งานวิจัย | รายละเอียดงานวิจัย | ขอบเขต | ผลการศึกษา |
|-------------------------|---|---|---|
| Whiting และคณะ (2014) | ศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากวัตถุดิบทางการเกษตร ได้แก่ เศษหญ้าและมูล และเปรียบเทียบกับการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิล | การเกษตร การผลิตก๊าซชีวภาพ ระบบผลิตไฟฟ้า (Cradle to gate) | ระบบผลิตพลังงานนี้สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้มากกว่าร้อยละ 50 เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานจากฟอสซิล |
| Bacenetti และคณะ (2014) | ประเมิน GHG และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวล เปรียบเทียบระหว่างการปลูกพืชชนิดเดียว (ข้าวโพด) และการปลูกพืชสองชนิดรวมกัน (ข้าวโพด ข้าวสาลี) | การเกษตร การผลิตก๊าซชีวภาพ (Cradle to gate) | ในการปลูกพืชมีการปล่อย GHG จากการใช้ปุ๋ยมากที่สุด และการปลูกพืชสองชนิดรวมกันจะส่งผลกระทบต่อมากขึ้น |
| Buratti และคณะ (2013) | ประเมิน GHG ของกระบวนการการผลิตก๊าซมีเทนด้วยระบบหมักย่อยสลายทางชีวภาพ โดยใช้ธัญพืชเป็นวัตถุดิบ | การเกษตร การขนส่ง การผลิตมีเทน การกำจัดเศษ (Cradle to grave) | ขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทน และการปรับปรุงคุณภาพ ทำให้เกิดการปล่อยGHG มากที่สุดตามด้วยการเกษตร |
| Hakala และคณะ (2012) | ประเมิน GHG และผลผลิตจากปลูกพันธุ์ไม้เตี้ยและหญ้า โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยอนินทรีย์ | การเกษตร (Cradle to gate) | การใส่ปุ๋ยอนินทรีย์ทำให้มีอัตราการผลิตสูง แต่ทำให้เกิดการปล่อย GHG สูงกว่าปุ๋ยอินทรีย์ 2-3 เท่า |
| Blengini และคณะ (2011) | ประเมิน GHG และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ของการผลิตพลังงานชีวภาพจากพืช 4 ชนิด เปรียบเทียบกับการผลิตพลังงานจากก๊าซธรรมชาติ | การเกษตร การผลิตก๊าซชีวภาพ การผลิตไฟฟ้า การกำจัดเศษซาก (Cradle to gate) | ขั้นตอนการผลิตพลังงาน ส่งผลต่อการทำให้โลกร้อน มากที่สุด และขั้นตอนการปลูกทำให้โลกร้อนต่ำที่สุด |

| | | | |
|-----------------------|--|---|--|
| Brandao และคณะ (2011) | ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในดิน ประเมิน GHG สมดุลพลังงาน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการการผลิตพลังงานจากพืช 4 ชนิด | การเกษตร การขนส่ง การจัดเก็บ (Cradle to gate) | หญ้ามีสแคนท์มีการสะสมคาร์บอนในพืชสูงกว่าพืชชนิดอื่น จึงช่วยลดผลกระทบจากการปล่อย GHG ได้มาก |
| งานวิจัยนี้ | ประเมิน GHG ของกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 ด้วยการหมักแบบไร้ออกซิเจนและผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ CHP โดยเปรียบเทียบกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติ หน่วยอ้างอิง 1 MJ | การเกษตร การขนส่ง การผลิตก๊าซชีวภาพ การผลิตไฟฟ้า การกำจัดเศษซาก (Cradle to gate) | ดำเนินการวิจัย |

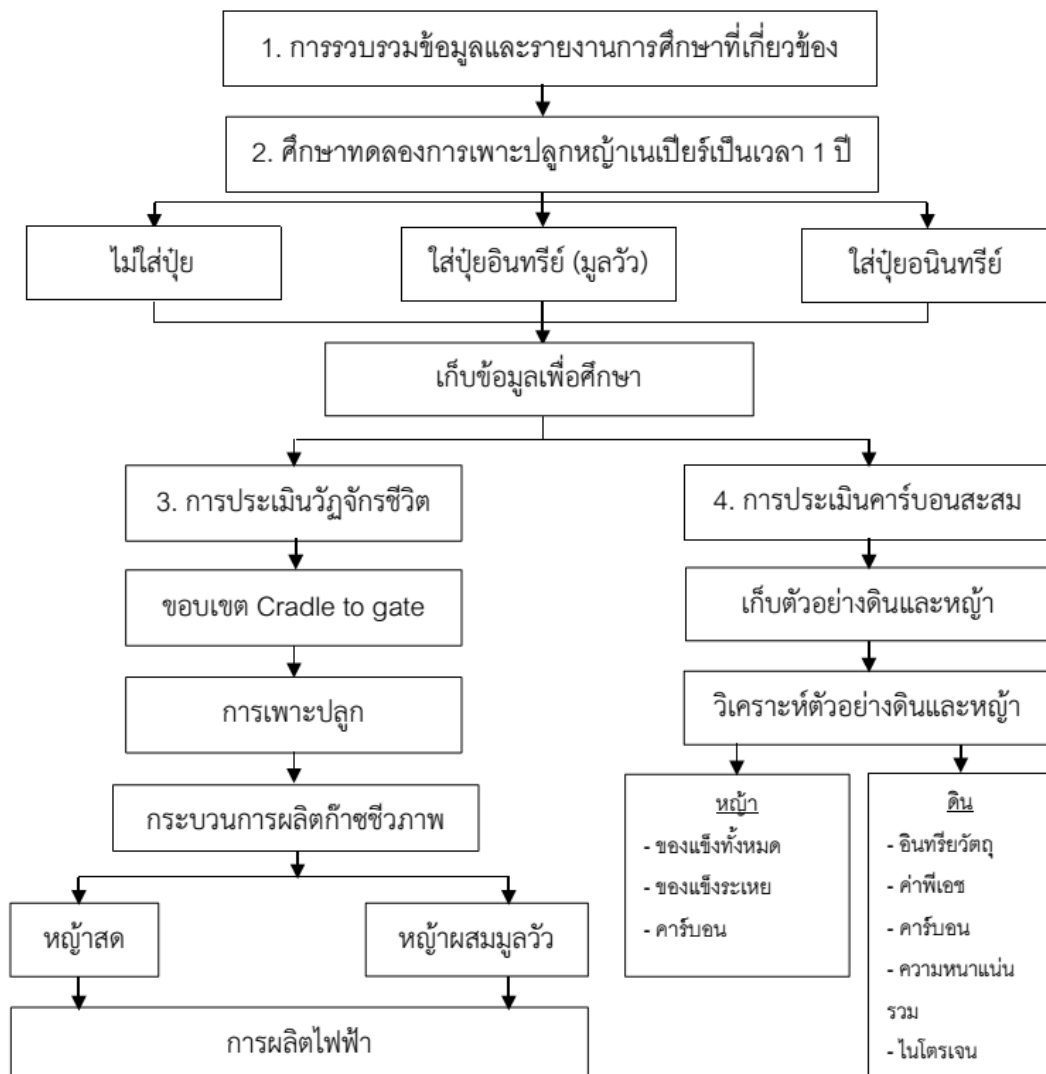
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การดำเนินงานวิจัย

การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่

- 1) การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1
- 2) การประเมินคาร์บอนสะสมจากการปลูกหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1

โดยมีแผนการดำเนินงานวิจัยดังนี้



รูปที่ 3-1 แผนการดำเนินงานวิจัย

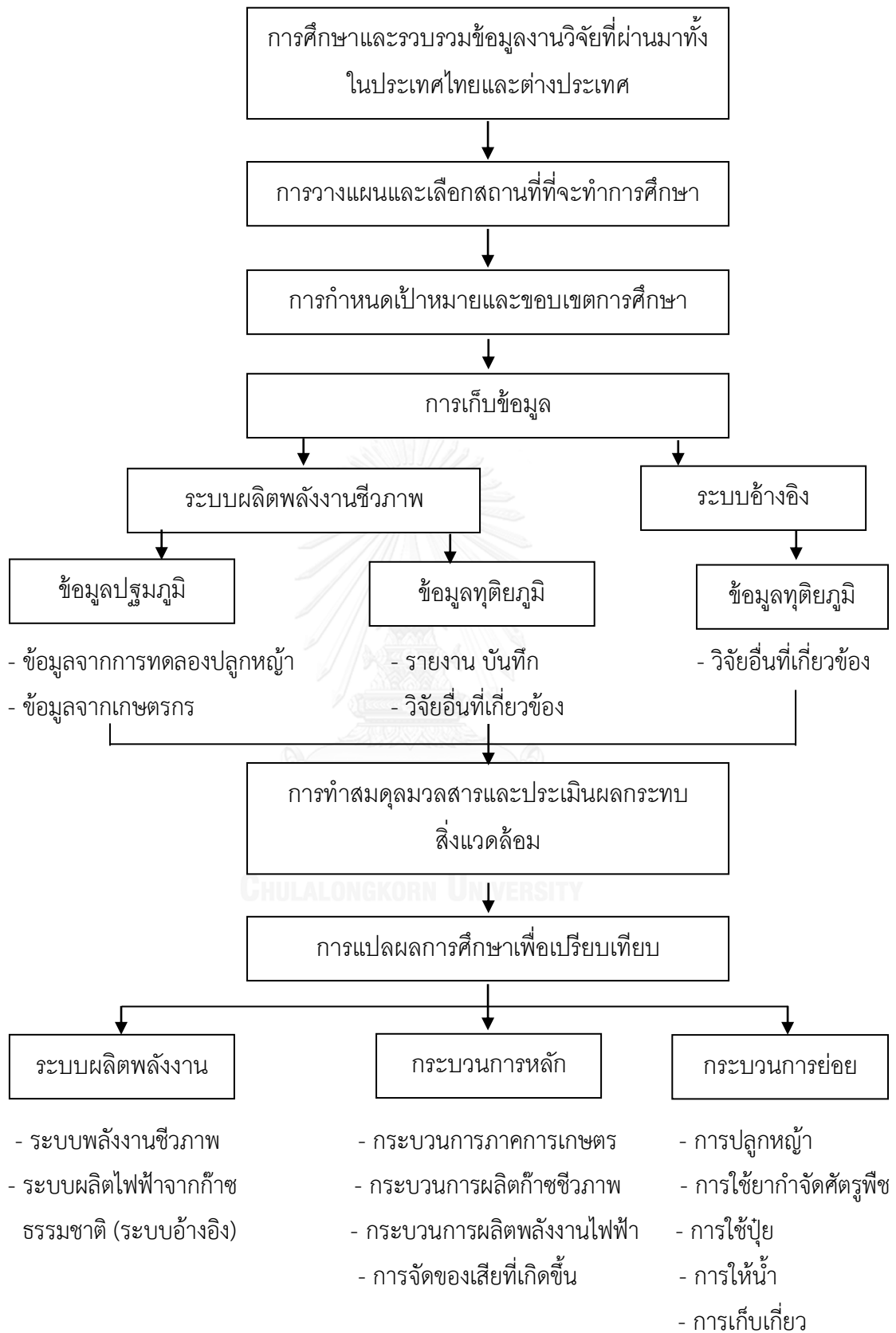
3.2 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต

ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตพลังงานชีวภาพที่ใช้หญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 เป็นวัตถุดิบ โดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์และมีขอบเขตการศึกษาครอบคลุม Cradle to Gate คือพิจารณาตั้งแต่ ขั้นตอนการได้มาของวัตถุดิบ การปลูกหญ้า กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ กระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้า การขนส่ง การนำไปใช้งาน และการจัดของเสียที่เกิดจากการหมัก งานวิจัยนี้ได้ศึกษาลงรายละเอียดในกระบวนการย่อยของกระบวนการภาคการเกษตร คือ ขั้นตอนการปลูกหญ้า ประกอบด้วย การเตรียมพื้นที่ การปลูก การใช้ยากำจัดศัตรูพืช การใส่ปุ๋ย การให้น้ำ และการเก็บเกี่ยว การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในงานวิจัยนี้มีทั้งข้อมูลปฐมภูมิที่ได้จากการสอบถามจากเกษตรกรที่ทำการเพาะปลูกหญ้าเนเปียร์โดยตรงและข้อมูลที่ได้จากการทดลองปลูกหญ้าในแปลงปลูกที่สวนจิตรลดา ส่วนข้อมูลทุติยภูมิได้จากการรวบรวมรายงานและงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ เมื่อได้ข้อมูลครบถ้วนจึงทำสมดุลมวลสารและคำนวณค่าของผลกระทบที่เกิดขึ้น เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับระบบอ้างอิง ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ใช้ระบบการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยเป็นระบบอ้างอิง รวมถึงเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละกระบวนการหลักและกระบวนการย่อยของระบบผลิตพลังงานชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์

นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบในแต่ละทางเลือก ได้แก่ รูปแบบการใช้ปุ๋ยทั้ง 3 แบบและการเลือกใช้วัตถุดิบในการผลิตไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 2 ชนิดดังรูปที่ 3-1 และรายละเอียดของขั้นตอนการประเมินแสดงดังรูปที่ 3-2

การประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตพลังงานชีวภาพจะดำเนินการตามขั้นตอนของการประเมินวัฏจักรชีวิตในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14040 ซึ่งมี 4 ขั้นตอน (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547 อ้างถึงใน International Standard ISO 14040, 1997) ได้แก่

- 1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition)
- 2) การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Inventory Analysis)
- 3) การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Impact Assessment; LCIA)
- 4) การแปลผลการศึกษาและการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Interpretation)



รูปที่ 3-2 รายละเอียดของขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต

3.2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตเป็นขั้นตอนแรกของการทำการประเมินวัฏจักรชีวิต ประกอบด้วย การระบุผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา หน้าที่ผลิตภัณฑ์ หน่วยการทำงาน เป้าหมายหลักของการศึกษา และขอบเขตของระบบ เพื่อให้เกิดความชัดเจนในวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ผลิตภัณฑ์ คือ พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากระบบผลิตพลังงานชีวภาพ

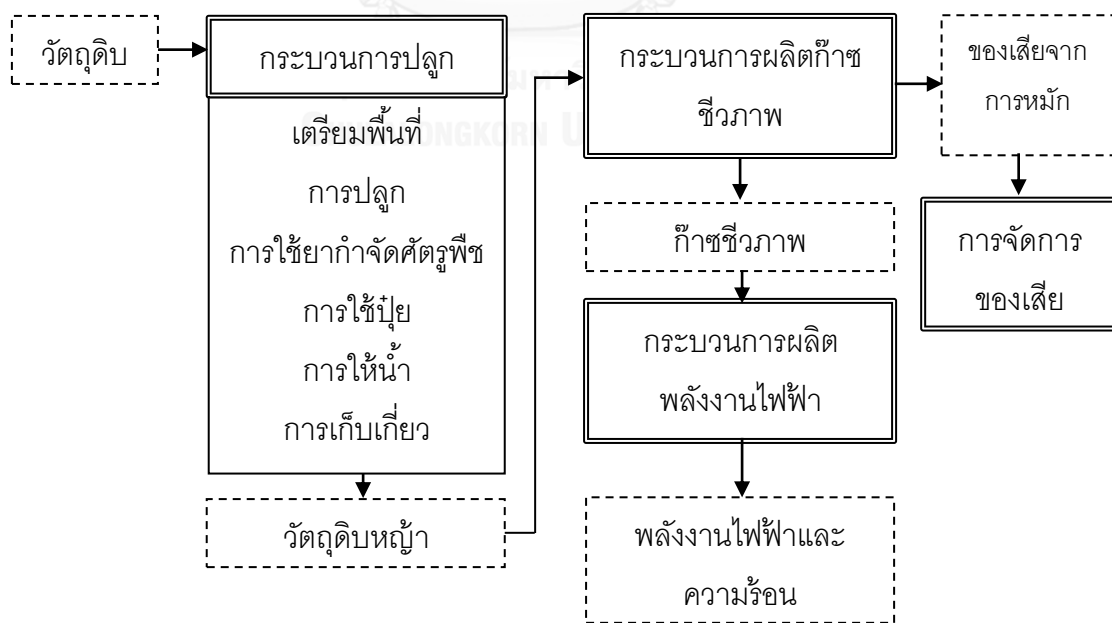
หน้าที่ผลิตภัณฑ์ คือ ใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน

หน่วยการทำงาน คือ พลังงานไฟฟ้า 1 เมกะจูล (MJ) ที่สามารถผลิตได้

เป้าหมายหลัก คือ เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากระบบผลิตพลังงาน

ชีวภาพ ภายใต้หน่วยการทำงานเดียวกัน โดยเปรียบเทียบระหว่างระบบผลิตพลังงานชีวภาพกับระบบอ้างอิง จากนั้นเปรียบเทียบกระบวนการหลักของการผลิตพลังงานชีวภาพ ได้แก่ กระบวนการภาคการเกษตร กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ (ระบบหมักแบบไร้ออกซิเจน) กระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้า (ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม, CHP) และการจัดของเสียที่เกิดขึ้นจากการหมัก และสุดท้ายคือการเปรียบเทียบกระบวนการย่อยของภาคการเกษตรในการปลูกหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 ซึ่งได้แก่ เตรียมพื้นที่ การปลูกหญ้า การใส่ยากำจัดศัตรูพืช การใส่ปุ๋ย การให้น้ำ และการเก็บเกี่ยว

ขอบเขตของระบบ คือ การพิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาของวัตถุดิบ การปลูกหญ้า การผลิตก๊าซชีวภาพ การผลิตพลังงานไฟฟ้า การขนส่งในส่วนต่างๆ การนำไปใช้งาน และการจัดของเสียที่เกิดขึ้นหลังการใช้งาน ซึ่งครอบคลุม Cradle to Gate แสดงดังรูปที่ 3-3



รูปที่ 3-3 แผนผังแสดงขอบเขตของระบบผลิตพลังงานชีวภาพ

3.2.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ

การวิเคราะห์บัญชีรายการ คือ การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดในกระบวนการต่างๆ ตามที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต และคำนวณปริมาณสารขาเข้าสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์ ให้อยู่ในหน่วยการทำงานเดียวกัน

การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ส่วนแรก กระบวนการภาคการเกษตรหรือขั้นตอนการปลูกหญ้า เป็นส่วนที่ต้องมีการเก็บข้อมูลอย่างละเอียด ซึ่งจะใช้ทั้งข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิ โดยข้อมูลปฐมภูมิจะมีการเก็บข้อมูลจากเกษตรกรที่ปลูกหญ้าโดยตรง รวมถึงการเก็บข้อมูลจากการทดลองปลูกหญ้าในแปลงปลูกที่สวนจิตรลดา เพื่อศึกษาผลผลิตหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 และการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกสะสมอยู่ในรูปของคาร์บอนทั้งในพืชและดิน และข้อมูลทุติยภูมิจะรวบรวมมาจากบทความ เอกสารทางวิชาการ งานวิจัยต่างๆ แต่จะเน้นในการอ้างอิงข้อมูลภายในประเทศเป็นหลัก โดยรายละเอียดของการเก็บข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการภาคการเกษตร แสดงดังตารางที่ 3-1 ส่วนที่สองคือขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพ การผลิตพลังงานไฟฟ้า และการจัดของเสียที่เกิดขึ้น กระบวนการหลักทั้งสามกระบวนการนี้จะอ้างอิงจากข้อมูลทุติยภูมิทั้งหมด ได้แก่ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ

เมื่อได้เก็บรวบรวมข้อมูลจนครบถ้วนแล้ว จะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล โดยการทำสมดุลมวลสาร และการเชื่อมข้อมูลที่ติดกับหน่วยการผลิตและหน่วยการทำงาน เพื่อสามารถใช้ในการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อไปได้

ตารางที่ 3-1 ตารางสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการภาคการเกษตร

| กระบวนการ | สารขาเข้า | สารขาออก | หน่วย |
|-----------------------|-----------------|----------|--------------|
| การเตรียมพื้นที่ | ดิน | | กิโลกรัม/ไร่ |
| | น้ำ | | ลิตร/ไร่ |
| | น้ำมันเบนซิน | | ลิตร/ไร่ |
| | | มลพิษ | |
| การปลูก | ท่อนพันธุ์ | | กิโลกรัม/ไร่ |
| | น้ำมันเบนซิน | | ลิตร/ไร่ |
| | | มลพิษ | |
| การใช้ยากำจัดศัตรูพืช | ยากำจัดศัตรูพืช | | กิโลกรัม/ไร่ |
| | | มลพิษ | |

| | | | |
|---------------|---------------|-------------|-----------------------|
| การใช้ปุ๋ย | ปุ๋ยอินทรีย์ | | กิโลกรัม/ไร่ |
| | ปุ๋ยอนินทรีย์ | | กิโลกรัม/ไร่ |
| | | มลพิษ | |
| การให้น้ำ | น้ำ | | ลิตร/ไร่ |
| | | มลพิษ | |
| การเก็บเกี่ยว | น้ำมันเบนซิน | | ลิตร/ไร่ |
| | | ผลผลิตหญ้า | กิโลกรัม/ไร่ |
| | | คาร์บอนสะสม | กรัมคาร์บอน/ตารางเมตร |
| | | มลพิษ | |

3.2.3 การประเมินผลกระทบ

ในขั้นตอนนี้จะทำการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยการคำนวณจากข้อมูลสารขาเข้าและขาออกที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการ เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าในการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยใช้โปรแกรม SimaPro 7.3 ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ด้วยวิธี CML 2001 ซึ่งเป็นฐานข้อมูลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เสนอโดยนักวิทยาศาสตร์ของ CML หรือ Center of Environmental Science of Leiden University ประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยวิธีการนี้จะประเมินผลกระทบชั้นกลาง (Midpoint Impact) ที่แสดงถึงปัญหาที่เกิดกับสิ่งแวดล้อม โดยเริ่มจากการจำแนกประเภทข้อมูลเป็นกลุ่มของผลกระทบทั้งหมด 6 ผลกระทบ (Classification) และการตีค่าผลกระทบของแต่ละกลุ่มหรือการกำหนดบทบาท (Characterization) เพื่อเตรียมข้อมูลไว้ใช้ในการแปลผลกระทบต่อ

งานวิจัยนี้ได้เลือกกลุ่มของผลกระทบทั้งหมด 6 ด้าน ได้แก่

- ศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปลดลง
- ศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ
- ศักยภาพในการก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ
- ศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน
- ศักยภาพในการก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากปฏิกิริยาแสง-เคมี
- ศักยภาพในการก่อให้เกิดการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ

คำนวณค่าผลกระทบจากข้อมูลทั้งหมดด้วยใช้โปรแกรม SimaPro 7.3 เพื่อประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมทั้ง 6 ด้าน โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$\text{Emission} = \text{Activity} \times \text{Emission Factor}$$

โดย Emission คือ ปริมาณมลพิษที่ถูกละปล่อยออก
 Activity คือ ปริมาณสารที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในประเภทต่างๆ
 Emission Factor คือ ค่าแฟคเตอร์ของสารต่างๆ

ค่าแฟคเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลจาก SimaPro 7.3 ซึ่งในแต่ละกระบวนการและแต่ละผลกระทบสิ่งแวดล้อมจะมีค่าแฟคเตอร์และหน่วยของค่าแฟคเตอร์ที่แตกต่างกันไป และสุดท้ายจึงทำการจัดกลุ่มและเทียบหน่วย (Normalization) เพื่อแสดงให้เห็นว่ากลุ่มผลกระทบแต่ละกลุ่มมีความสำคัญต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมโดยรวมอยู่ในระดับใด โดยรายละเอียดแสดงในหัวข้อที่ 4.2.2

อีกทั้ง IPCC ได้แนะนำวิธีการคำนวณการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงในเครื่องจักรกลการเกษตร เช่น รถไถ รถปลูก และรถเก็บเกี่ยว โดยการประเมินจากปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในเชื้อเพลิงที่ใช้ และการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในภาคการเกษตร ซึ่งก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่ถูกละปล่อยออกมา นั้นเกิดจากกระบวนการ Soil Emission (มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย, 2550)

- สมการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงในเครื่องจักรกลการเกษตร

$$\text{CO}_2 \text{ Emissions} = (\text{Fuel Cons } i \times \text{CEF } i) \times \text{Fraction oxidized} \times (44/12)$$

โดย CO₂ Emissions คือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมา (kg/ton)
 Fuel Cons คือ ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงต่อตันหญ้าที่ผลิตได้ (MJ/Ton)
 i คือ ประเภทของเชื้อเพลิง
 CEF คือ สัมประสิทธิ์ค่าปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิง i (g Carbon/MJ)
 Fraction oxidized คือ สมมติฐานให้เท่ากับ 0.99

- สมการคำนวณการปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน

$$\text{NBL} = \text{NBL}_{\text{DR}} + \text{NBL}_{\text{IDR}}$$

โดย NBL คือ ปริมาณการปล่อย N₂O จากการใช้ปุ๋ย (tCO₂e/yr)
 NBL_{DR} คือ ปริมาณการปล่อย N₂O โดยตรง (จากการคำนวณ)
 NBL_{IDR} คือ ปริมาณการปล่อย N₂O โดยอ้อม (จากการคำนวณ)

$$NBL_{DR} = [(F_{SN,i} + F_{ON,i}) \times EF_2] \times (44/28) \times GWP_{N_2O}$$

โดย $F_{SN,i}$ คือ ปริมาณไนโตรเจนจากการใช้ปุ๋ยเคมี (tN/yr)
 $F_{ON,i}$ คือ ปริมาณไนโตรเจนจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ (tN/yr)
 EF_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (0.01)
 GWP_{N_2O} คือ Global warming potential สำหรับ N_2O (298)

$$NBL_{IDR} = [N_{2O(v),i} + N_{2O(l),i}] \times (44/28) \times GWP_{N_2O}$$

โดย $N_{2O(v),i}$ คือ ปริมาณการปล่อย N_2O จากการระเหยในรูป NH_3-NO_x ของปุ๋ย (tN/yr)
 $N_{2O(l),i}$ คือ ปริมาณการปล่อย N_2O จากการชะล้างซึมผ่านผิวดินของปุ๋ย (tN/yr)

3.2.4 การแปลผล

ในขั้นตอนนี้จะทำการนำผลการศึกษจากการวิเคราะห์บัญชีรายการ และการประเมินผลกระทบ มาเชื่อมโยงกันเพื่อการวิเคราะห์ผลลัพธ์ และจัดเตรียมข้อเสนอแนะที่ได้จากผลลัพธ์ของการทำการประเมินวัฏจักรชีวิต รวมถึงการทำรายงานสรุปการแปลผลการศึกษาเพื่อให้เข้าใจได้ง่าย ครบถ้วนสมบูรณ์ และมีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาที่ได้กำหนดไว้

โดยต้องสามารถบ่งชี้ได้อย่างชัดเจนถึงกระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละกระบวนการหลักและกระบวนการย่อย แล้วจึงเปรียบเทียบกับระบบอ้างอิง ซึ่งวิธีการนี้จะช่วยหาแนวทางการพัฒนาระบบผลิตพลังงานชีวภาพที่ใช้หญ้าเนเปียร์เป็นวัตถุดิบได้ โดยคำนึงถึงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม โดยเน้นในเรื่องของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการต่างๆ

3.3 การประเมินคาร์บอนสะสมและผลผลิตหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1

ในขั้นตอนนี้มีเป้าหมายเพื่อการประเมินคาร์บอนสะสมและปริมาณของผลผลิตจากการปลูกหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 โดยการประเมินคาร์บอนสะสมจะพิจารณาทั้งคาร์บอนที่สะสมอยู่ในดิน และคาร์บอนที่สะสมอยู่ในพืช ทำการทดลองโดยปลูกหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 จำนวนสามแปลง ขนาดกว้าง 2.4 เมตร ยาว 3.6 เมตร ภายในพื้นที่ของโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา (รูปที่ 3-4 และรูปที่ 3-5) โดยมีระยะเวลาการเก็บข้อมูล 1 ปี เพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องแม่นยำและเป็นข้อมูลที่ครอบคลุมทุกฤดูกาล โดยแต่ละแปลงปลูกนั้นจะมีรูปแบบการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกัน ได้แก่ แปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย แปลงที่ใส่เฉพาะปุ๋ยอินทรีย์หรือมูลวัว และแปลงที่ใส่ทั้งปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยอนินทรีย์ตามที่กรมปศุสัตว์แนะนำสำหรับการปลูกหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 ส่วนการวัดปริมาณผลผลิตหญ้าที่เก็บ

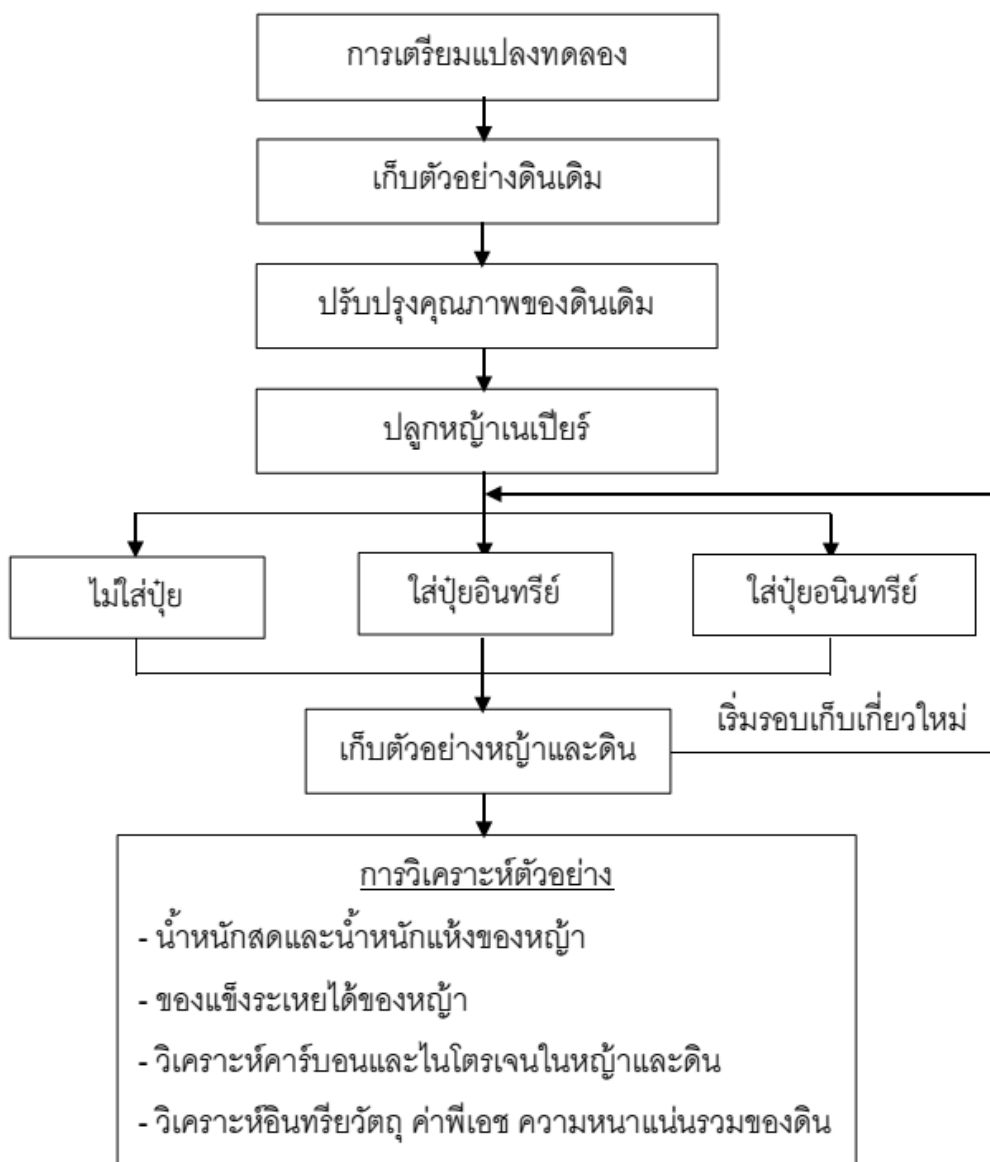
เกี่ยวได้นั้น จะเริ่มเก็บเกี่ยวครั้งแรกหลังจากปลูก 75 วัน โดยตัดชิดดินเพื่อให้หญ้ามีการเจริญเติบโตที่สม่ำเสมอ (กรมปศุสัตว์, 2554) และตัดครั้งต่อไปตามรอบอายุการเก็บเกี่ยว 45 วัน และแผนการดำเนินงานดังรูปที่ 3-6 โดยในการเก็บเกี่ยวหญ้าครั้งที่ 3 5 และครั้งสุดท้าย ต้องเก็บตัวอย่างดินด้วย เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์วัตถุ ค่าพีเอช ปริมาณคาร์บอน และค่าความหนาแน่นรวม ตามวิธีการมาตรฐาน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553ก; กรมพัฒนาที่ดิน, 2553ข)



รูปที่ 3-4 แปลงปลูกหญ้าเนเปียร์ในพื้นที่โครงการสวนจิตรลดาฯ



รูปที่ 3-5 พื้นที่ที่ทำการทดลองปลูกหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1



รูปที่ 3-6 แผนการดำเนินการประเมินคาร์บอนสะสม

3.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 103 - 105 องศาเซลเซียส
3. เตาเผาควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 550 ± 50 องศาเซลเซียส
4. เครื่องแก้วต่างๆ
5. โถดูดความชื้น
6. อุปกรณ์ในการปลูกและเก็บเกี่ยวหญ้า
7. กระบอกราดดิน และอุปกรณ์อื่นๆที่ใช้เก็บตัวอย่างดิน (รูปที่ 3-7)



รูปที่ 3-7 อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างดิน (Sampling core)

3.3.2 วิธีการเก็บตัวอย่างและเตรียมตัวอย่าง

1) การเก็บตัวอย่างและเตรียมตัวอย่างหญ้า

ในการวิจัยนี้ต้องการข้อมูลน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผลผลิตของหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 กำหนดให้มีการเก็บเกี่ยวครั้งแรกที่อายุหญ้า 75 วัน และหลังจากนั้นจะเก็บเกี่ยวทุก 45 วัน เนื่องจากหญ้าเนเปียร์ที่อายุ 45 วันให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงที่สุด (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์, 2555) มีระยะเวลาศึกษา 1 ปี สามารถเก็บเกี่ยวหญ้าได้ทั้งหมด 6 ครั้ง และการเก็บเกี่ยวในพื้นที่ขนาดเล็กเช่นนี้ควรใช้เคียวเกี่ยวหญ้าเป็นเครื่องมือในการตัดหญ้า

ทุกครั้งในการเตรียมตัวอย่างหญ้าเพื่อวิเคราะห์น้ำหนักแห้งและสัดส่วนคาร์บอนของหญ้า ต้องมีปริมาณหญ้าที่เพียงพอและเหมาะสมต่อการนำไปวิเคราะห์ เริ่มจากการลดขนาดหญ้าให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องตัดหญ้า แล้วแบ่งตัวอย่างหญ้าออกเป็น 4 ส่วน (Quartering Method) ตามวิธีมาตรฐาน คือ การนำตัวอย่างทั้งหมดมากระจายออกอย่างสม่ำเสมอในภาชนะแบน จากนั้นแบ่งเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน นำสองส่วนที่อยู่ตรงข้ามมารวมกันส่วนอีกสองส่วนที่เหลือให้ทิ้งไป แล้วนำตัวอย่างหญ้าที่รวมกันมาทำการแบ่งเช่นเดิมจนได้ตัวอย่างหญ้าประมาณ 500 กรัม ใส่ถุงพลาสติกที่ปิดสนิท หากไม่ได้วิเคราะห์ทันทีให้เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (Yu และคณะ, 2013)

2) การเก็บตัวอย่างและเตรียมตัวอย่างดิน

เพื่อทำการศึกษาคุณสมบัติของดิน ปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดิน และความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density) จึงต้องมีการเก็บตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่างที่ถูกต้อง เพื่อให้ได้มาซึ่งตัวแทนของตัวอย่างที่ดี เหมาะสมในการนำมาศึกษาวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างดินนั้นมีอยู่หลายประเภท แต่ในงานวิจัยนี้ได้ใช้จอบเพื่อขุดดิน และเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนสะสม (กรมวิชาการเกษตร, 2548) และใช้กระบอกเจาะ (Sampling core) เพื่อเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของดิน (กรมพัฒนาที่ดิน,

2553ก) โดยเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกตั้งแต่ 0-30 เซนติเมตร เนื่องจากความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอนจะมีมากที่สุดในช่วงบริเวณผิวดิน (Sarkhot และคณะ, 2012; Yu และคณะ, 2013) อีกทั้งความลึกในการเก็บตัวอย่างดินยังขึ้นอยู่กับความลึกของรากพืช ซึ่งรากที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนแร่ธาตุและดูดสารอาหารนั้นจะไม่อยู่ลึกมาก (นันทรัตน์ ศุภกานิต, 2556) จากนั้นกำหนดจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 จุด (Yu และคณะ, 2013) ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างแบบกระจายเต็มพื้นที่ (Simple random sampling) โดยเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกหนึ่งครั้ง หลังจากนั้นทำการเก็บตัวอย่างดินหลังการเก็บเกี่ยวหญ้าในครั้งที่ 2 4 และ 6 ครั้งสุดท้าย นำไปวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ปริมาณคาร์บอนในดิน และความหนาแน่นรวมของดิน เพื่อคำนวณหาปริมาณคาร์บอนสะสม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนในดินจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และการวิเคราะห์คาร์บอนสะสมมีต้นทุนสูง (Watson และคณะ, 2000) จึงไม่จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์คาร์บอนสะสมถี่

วิธีการในการเก็บตัวอย่างดิน เริ่มจากการทำความสะอาดผิวดินบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง จากนั้นใช้จอบปักลงไปดินเพื่อเก็บตัวอย่างดิน โดยให้มีความลึกในการเจาะครั้งละ 10 เซนติเมตร แล้วแยกดินที่ได้ในแต่ละความลึกไว้ในภาชนะ ทำต่อเนื่องจนถึงความลึกที่ 30 เซนติเมตร (3 ระดับความลึกได้แก่ 0-10 10-20 และ 20-30 เซนติเมตร) ทำเช่นเดียวกันในทุกจุดเก็บตัวอย่าง จากนั้นจึงนำตัวอย่างดินในแต่ละจุดมารวมกัน จะได้ตัวอย่างของแต่ละแปลง โดยมีข้อควรระวัง คือ การเก็บดินจากทุกจุดมารวมกันนั้นจะต้องมีปริมาณดินเท่าๆ และทำการคลุกเคล้าดินให้เข้ากันดี จนได้ตัวอย่างดินรวมในแต่ละระดับความลึกเพื่อใช้เป็นตัวแทนของดินทั้งแปลง

เมื่อได้ตัวอย่างดินในแต่ละความลึกของแต่ละแปลงแล้ว ให้ทำการเตรียมตัวอย่างดินตามวิธีมาตรฐานเช่นเดียวกับการเตรียมตัวอย่างหญ้า คือ แบ่งตัวอย่างดินออกเป็น 4 ส่วน (Quartering Method) นำสองส่วนที่อยู่ตรงข้ามมารวมกันส่วนอีกสองส่วนที่เหลือให้ทิ้งไป แล้วนำตัวอย่างหญ้าที่รวมกันมาทำการแบ่งเช่นเดิมจนได้ตัวอย่างหญ้าประมาณ 500 กรัม นำตัวอย่างใส่ถุงพลาสติกที่ปิดสนิท และควรเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (Yu และคณะ, 2013)

3.3.3 วิธีการทดลอง

1) เตรียมพื้นที่สำหรับแปลงทดลองปลูกหญ้าทั้งหมด 3 แปลง กำหนดให้ขอบเขตของพื้นที่แต่ละแปลงทดลองมีขนาดกว้าง 2.4 เมตร ยาว 3.6 เมตร โดยกำหนดให้แปลงที่หนึ่งไม่มีการใส่ปุ๋ย แปลงที่สองใส่เฉพาะปุ๋ยอินทรีย์ และแปลงที่สามใส่ทั้งปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยอนินทรีย์ตามที่กรมปศุสัตว์แนะนำสำหรับการปลูกหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1

2) ศึกษาลักษณะทั่วไปของดินในแปลงปลูกหญ้าที่สวนจิตรลดา ก่อนเริ่มการทดลอง ได้แก่ ลักษณะของเนื้อดิน สีของดิน ค่าพีเอชของดิน ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน ความหนาแน่นรวม

ของดิน (Bulk density) ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนในดิน โดยความหนาแน่นรวม ปริมาณคาร์บอน และไนโตรเจนในดิน จะวิเคราะห์จากตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร แบ่งเป็น 3 ระดับความลึก ได้แก่ 0-10 10-20 และ 20-30 เซนติเมตรจากพื้นดิน (Sarkhot และคณะ, 2012) การเจาะเก็บตัวอย่างดินจะใช้สว่านมือ และเครื่องมือสำหรับเก็บตัวอย่างโดยเฉพาะ ทำการเก็บตัวอย่างดินทั้งหมด 4 จุด กระจายทั่วพื้นที่ของทั้ง 3 แปลงทดลอง โดยส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ที่กรมพัฒนาที่ดิน

3) ทำการปรับปรุงดินโดยการไถพรวนเพื่อกำจัดวัชพืชและเพิ่มความร่วนซุยของดิน ต่อมาคือการใส่ปุ๋ยเพื่อปรับปรุงให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้น แบ่งออกเป็น 3 กรณี ได้แก่

- ไม่ใส่ปุ๋ยแปลงทดลอง
- ใช้ปุ๋ยคอกเป็นปุ๋ยรองพื้นในอัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่
- ใช้ทั้งปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีเป็นปุ๋ยรองพื้น มีอัตราการใส่ปุ๋ยคอก 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ปุ๋ยไนโตรเจนใช้ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ในอัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ หลังการปลูกครั้งแรกและหลังการเก็บเกี่ยวทุกครั้ง

4) เตรียมท่อนพันธุ์ของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 โดยท่อนพันธุ์ควรอายุประมาณ 3-4 เดือน ตัดเป็นท่อนยาว 20 เซนติเมตร หรือประมาณ 2 ข้อ

5) การปลูกกำหนดระยะห่างระหว่างแถวประมาณ 120 เซนติเมตร ระหว่างต้นประมาณ 80 เซนติเมตร โดยตัวอย่างของแปลงทดลองและตำแหน่งของหลุมปลูกแสดงดังรูปที่ 3-8 นำท่อนพันธุ์ลงปลูกหลุมละ 2 ท่อน ปักท่อนพันธุ์เอียงไขว้กัน 30 องศา ให้ท่อนพันธุ์จมอยู่ในดินประมาณ 1-2 นิ้ว จากนั้นทำการรดน้ำในแก้มหญ้า ดังรูปที่ 3-9

6) ทำการกำจัดวัชพืชหลังจากการปลูก 2 สัปดาห์ ด้วยการใช้มือถอนหรือใช้จอบ และต่อไปต้องกำจัดวัชพืชทุกครั้งหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งในงานวิจัยนี้จะไม่ใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช

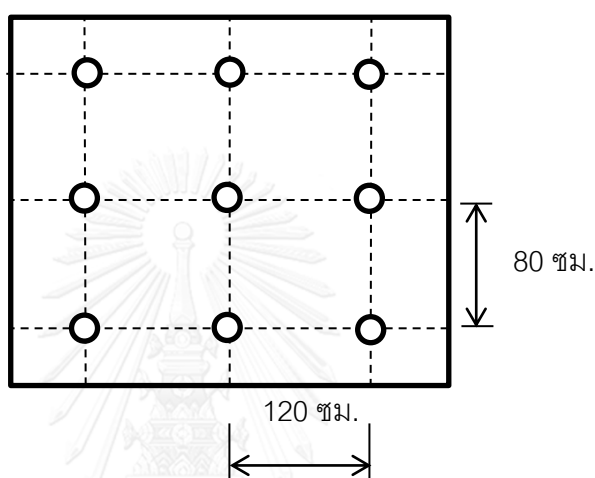
7) เริ่มเก็บเกี่ยวครั้งแรกหลังจากการปลูก 75 วัน ทำการตัดหญ้าให้ชิดดินเพื่อที่หญ้าจะได้เจริญเติบโตอย่างสม่ำเสมอ และในครั้งต่อไปตัดตามรอบทุก 45 วัน โดยตัดให้ชิดโคนเช่นกัน

8) ชั่งน้ำหนักของหญ้าสดทั้งหมดที่ได้จากการเก็บเกี่ยวในแต่ละครั้งและจดบันทึก

9) ทำการเก็บตัวอย่างดินหลังการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 3 5 และ 7 (ครั้งสุดท้าย) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน ค่าพีเอช ความหนาแน่นรวม ปริมาณคาร์บอน และไนโตรเจนในดิน ที่ 3 ระดับความลึก ได้แก่ 0-10 10-20 และ 20-30 เซนติเมตรจากพื้นดิน ในแต่ละแปลงทดลองจะทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 จุด ตามขั้นตอนการเก็บตัวอย่างดินดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ความถี่ในการเก็บตัวอย่างหญ้าเนเปียร์และดินสรุปได้ดังตารางที่ 3-2

10) หลังจากทำการเก็บตัวอย่างหญ้าและดินเรียบร้อยแล้ว จึงทำการกำจัดวัชพืช

11) เตรียมตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ตัวอย่างหญ้าและดิน โดยนำหญ้าเนเปียร์มาวิเคราะห์น้ำหนักแห้ง (Total Solids) วิเคราะห์ของแข็งระเหย (Volatile Solids) และส่งตัวอย่างหญ้าไปวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนในหญ้า (Organic Carbon) และส่งตัวอย่างดินเพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ ค่าพีเอช ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk Density) คาร์บอนในดิน (Organic Carbon) และค่าไนโตรเจนจากตัวอย่างดินในแต่ละระดับความลึกของทุกแปลงทดลอง โดยวิธีวิเคราะห์และความถี่ในการวิเคราะห์ตัวอย่างหญ้าเนเปียร์และดินแสดงดังตารางที่ 3-3



รูปที่ 3-8 ตัวอย่างของแปลงทดลองและตำแหน่งของหลุมปลูก
(○ แทนตำแหน่งของหลุมปลูก)



รูปที่ 3-9 การปลูกหญ้าเนเปียร์ด้วยวิธีการปักท่อนพันธุ์

ตารางที่ 3-2 ความถี่ในการเก็บตัวอย่างหญ้าเนเปียร์และดิน

| การเก็บตัวอย่าง | จำนวน |
|-----------------|--|
| หญ้า | 6 ครั้ง |
| ดิน | 4 ครั้ง (ก่อนการปลูก หลังการเก็บเกี่ยวหญ้าครั้งที่ 2 4 และ 6) |

ตารางที่ 3-3 พารามิเตอร์และความถี่ในการวิเคราะห์ตัวอย่างหญ้าเนเปียร์และดิน

| หญ้า | พารามิเตอร์ | วิธีวิเคราะห์ | ความถี่ในการวิเคราะห์ |
|------|--------------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| | ของแข็งทั้งหมด (Total Solids) | AOAC, 1999 (Dried 105°C) | 6 ครั้ง/ปี |
| | ของแข็งระเหย (Volatile Solids) | AOAC, 1999 (Dried 550°C) | |
| | คาร์บอน (Organic Carbon) | ส่งวิเคราะห์ | |
| | ไนโตรเจน (Total Nitrogen) | ส่งวิเคราะห์ | |
| ดิน | พารามิเตอร์ | วิธีวิเคราะห์ | ความถี่ในการวิเคราะห์ |
| | ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter) | ส่งวิเคราะห์ | 4 ครั้ง/ปี |
| | ค่าพีเอชของดิน (pH) | ส่งวิเคราะห์ | |
| | คาร์บอน (Organic Carbon) | ส่งวิเคราะห์ | |
| | ค่าความหนาแน่นรวม (Bulk Density) | ส่งวิเคราะห์ | |
| | ไนโตรเจน (Total Nitrogen) | ส่งวิเคราะห์ | |

เนื่องจากปริมาณคาร์บอนที่วิเคราะห์ได้ (Carbon Content) จะอยู่ในหน่วยของ เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงต้องมีการนำมาคำนวณเพื่อแปลงหน่วยให้ได้ตามที่ต้องการดังนี้

- การประเมินปริมาณคาร์บอนในพืชคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ (ลิขิต พลยศ, 2555)

$$C = CC \times \text{Biomass}$$

โดย C คือ ปริมาณคาร์บอนในพืช (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)
 CC คือ ปริมาณคาร์บอนในพืช (กรัมคาร์บอนต่อกรัมพืช)
 Biomass คือ น้ำหนักแห้งของพืช (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)

- ปริมาณคาร์บอนในดิน คำนวณได้จากความเข้มข้นของคาร์บอนคูณกับความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density) และความลึกของดิน (Soil depth) ดังสมการ (Yu และคณะ, 2013)

$$\text{SOC} = \text{CC} \times \text{BD} \times \text{SD}$$

| | | | |
|-----|-----|-----|---|
| โดย | SOC | คือ | ปริมาณคาร์บอนในดิน (กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตร) |
| | CC | คือ | ความเข้มข้นของคาร์บอน (กรัมคาร์บอนต่อกรัมดิน) |
| | BD | คือ | ความหนาแน่นของดิน (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร) |
| | SD | คือ | ความลึกดิน (เมตร) |



บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาเรื่องการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและปริมาณคาร์บอนสะสมของระบบพลังงานชีวภาพกรณีศึกษาหญ้าเนเปียร์ ได้แบ่งผลการศึกษออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่

ส่วนที่ 1 การประเมินคาร์บอนสะสมจากการปลูกหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1

ส่วนที่ 2 การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1

4.1 ผลการประเมินคาร์บอนสะสมจากการปลูกหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองปลูกหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 จำนวนสามแปลง ขนาดกว้าง 2.4 เมตร ยาว 3.6 เมตร ภายในพื้นที่ของโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา และทำการเก็บข้อมูลผลผลิตหญ้าและคุณสมบัติของดินเป็นระยะเวลา 1 ปี ตั้งแต่เดือนเมษายน 2557 ถึง เดือนพฤษภาคม 2558 โดยในพื้นที่โครงการจะมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยอยู่ที่ 1657 มิลลิเมตร/ปี ดินในแปลงส่วนใหญ่เป็นประเภทดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 7.6 และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ประมาณร้อยละ 3.67 และจากผลการศึกษาที่ได้สามารถนำมาใช้ในการประเมินปริมาณคาร์บอนสะสมที่เกิดขึ้นจากการปลูกหญ้าเนเปียร์ โดยแบ่งออกเป็นการสะสมคาร์บอนในพืชและการสะสมคาร์บอนในดิน รายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 ผลผลิตหญ้าเนเปียร์และปริมาณคาร์บอนสะสมในหญ้าเนเปียร์

การสังเคราะห์แสงของพืชเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศมาเก็บสะสมไว้ตามสารประกอบคาร์บอนทั้งในลำต้น ราก กิ่งและใบของพืช และส่วนหนึ่งจะถูกสะสมไว้ในดินหมุนเวียนผ่านทางรากของพืช ดังนั้นขั้นตอนแรกของการทดลองจึงเป็นการศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยคอกและปุ๋ยอินทรีย์ที่มีต่อผลผลิตหญ้าเนเปียร์และปริมาณคาร์บอนสะสมในหญ้าเนเปียร์ ซึ่งอัตราการให้ปุ๋ยจะอ้างอิงจากกรมปศุสัตว์ (ไกรลาศ เขียวทอง, 2556; สำนักพัฒนาอาหารสัตว์, 2556) โดยการทดลองจะแบ่งเป็น 3 แปลงทดลอง ดังนี้ (รูปที่ 4-1)

แปลงที่ 1 แปลงทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม) เป็นตัวแทนการเพาะปลูกระดับชุมชนขนาดเล็ก

แปลงที่ 2 ใส่ปุ๋ยคอกอัตรา 2,000 กิโลกรัม/ไร่ และใส่หลังตัดหญ้า 1000 กิโลกรัม/ไร่ 3 ครั้งเป็นตัวแทนของการปลูกหญ้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่ใส่ปุ๋ยคอกอย่างเดียวไม่มีการใช้ปุ๋ยเคมี โดยปุ๋ยคอกมีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน (N) ร้อยละ 1.92 ฟอสฟอรัส (P) ร้อยละ 0.449 และโพแทสเซียม (K) ร้อยละ 1.162 และมีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 39.8

แปลงที่ 3 ใส่ปุ๋ยคอกอัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ และทุกครั้งตัดใส่ปุ๋ยเคมี 46-0-0 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ 4 ครั้ง ปุ๋ยเคมี 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ 1 ครั้ง และปุ๋ยคอก 1000 กิโลกรัมต่อไร่ 1 ครั้ง เป็นตัวแทนของการปลูกหญ้าระดับที่เป็นการค้า หรือได้ตามมาตรฐานแนะนำจากกรมปศุสัตว์ (สำนักพัฒนาอาหารสัตว์, 2556)



รูปที่ 4-1 แปลงปลูกหญ้าเนเปียร์ก่อนและหลังปลูกหญ้าเนเปียร์อายุ 45 วัน

เนื่องจากแปลงทดลองทั้งสามแปลงอยู่ในพื้นที่ของโครงการสวนพระองค์สวนจิตรลดาที่มีการปลูกหญ้าเนเปียร์เพื่อเลี้ยงโคนม และโครงการได้นำน้ำล้างคอกโคนมหมุนเวียนกลับมาใช้ปลูกหญ้าในพื้นที่ โดยใช้ปั๊มน้ำสูบน้ำเสียโคนมจากบ่อรับน้ำทิ้งหมุนเวียนระบายลงแปลงปลูกหญ้าในพื้นที่โครงการตามจุดต่างๆ ดังนั้นพื้นที่ปลูกหญ้าในโครงการจะได้รับน้ำเสียจากโรงโคประมาณ 130 ลบ.ม./ไร่/ปี ซึ่งน้ำเสียดังกล่าวมีค่าไนโตรเจน (TKN) 25.2 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด 3.26 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC) 150 มิลลิกรัม/ลิตร หรือคิดเป็นปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 3.28 0.42 และ 19.5 กิโลกรัม/ไร่/ปี ดังนั้นจึงสามารถสรุปปริมาณธาตุอาหารที่แปลงปลูกหญ้าได้รับ ดังนี้

ตารางที่ 4-1 ปริมาณธาตุอาหารที่แปลงปลูกหญ้าได้รับ

| แปลงปลูกหญ้า | ไนโตรเจน (กิโลกรัม/ไร่/ปี) | ฟอสฟอรัส (กิโลกรัม/ไร่/ปี) | โพแทสเซียม (กิโลกรัม/ไร่/ปี) | อินทรีย์คาร์บอน (กิโลกรัม/ไร่/ปี) |
|--------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| แปลงที่ 1 | 3.28 | 0.42 | - | 19.5 |
| แปลงที่ 2 | 75.3624 | 17.28 | 43.63 | 1513.79 |
| แปลงที่ 3 | 115.03 | 33.04 | 48.68 | 916.07 |

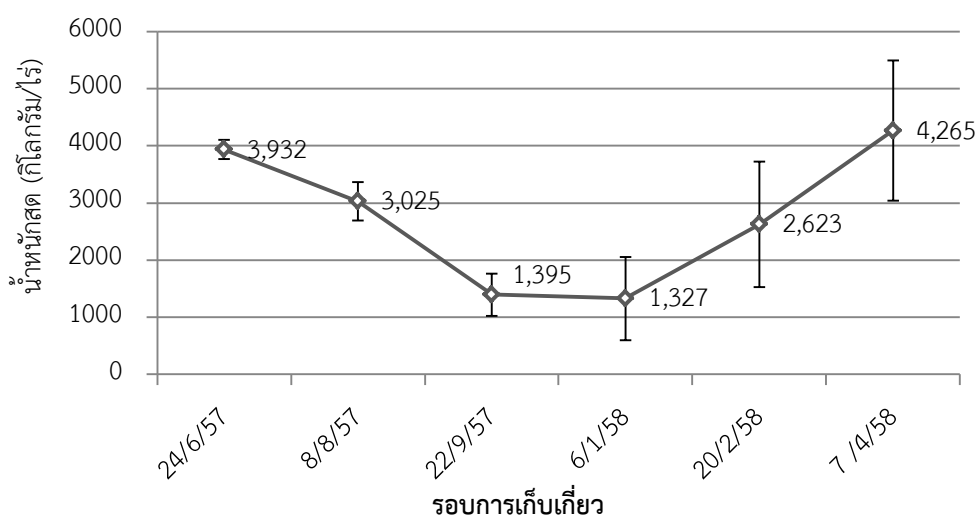
เมื่อทำการปลูกหญ้าเนเปียร์แล้วก็ได้เก็บเกี่ยวหญ้าตามกำหนดของกรมปศุสัตว์ (2554) โดยเก็บเกี่ยวครั้งแรกในวันที่ 75 หลังการปลูก แล้วหลังจากนั้นจึงเก็บเกี่ยวทุก 45 วัน แล้วนำหญ้าที่เก็บเกี่ยวได้มาหาผลผลิตน้ำหนัสดของหญ้าเพื่อใช้ประเมินหาปริมาณคาร์บอนที่สะสมในพืช ผลการศึกษามีดังนี้

1) ผลผลิตหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1

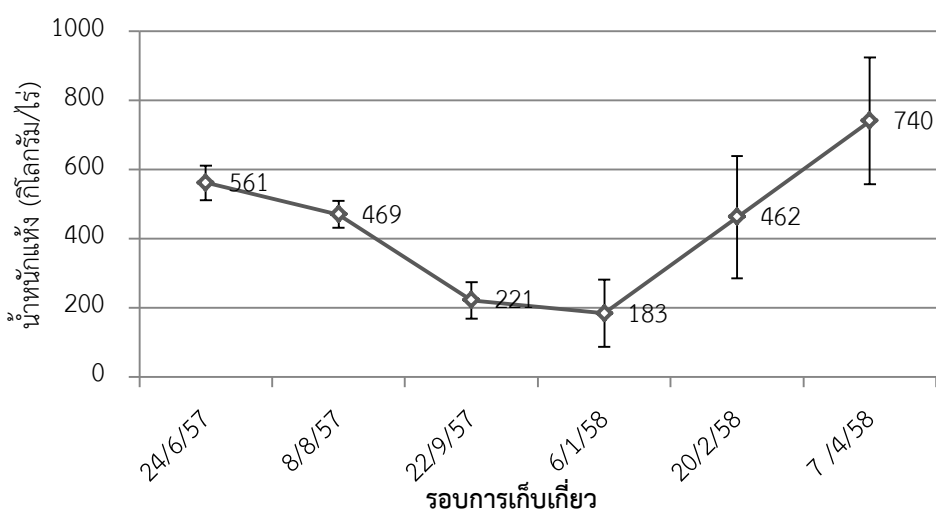
จากการเก็บข้อมูลผลผลิตหญ้าเนเปียร์ของทั้งสามแปลงตลอดระยะเวลา 1 ปี พบว่าผลผลิตน้ำหนัสดเฉลี่ยรวมของทุกแปลงคือ 2,761 กิโลกรัม/ไร่ และสามารถเก็บเกี่ยวหญ้าได้ทั้งหมด 6 ครั้ง ภายในเวลา 1 ปี ทำให้ได้ผลผลิตน้ำหนัสดรวมเฉลี่ยประมาณ 19.33 ตัน/ไร่/ปี ซึ่งแปลงที่ 3 และแปลงที่ 2 จะให้ผลผลิตสูงที่สุดคือ 21.7 และ 21.6 ตัน/ไร่/ปี ตามลำดับ ส่วนแปลงที่ 1 ให้ผลผลิตต่ำสุดเท่ากับ 14.7 ตัน/ไร่/ปี และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลของกรมปศุสัตว์ (2554) ที่ระบุว่าหญ้าเนเปียร์พันธุ์ที่ปลูกในพื้นที่ชลประทานและมีการใส่ปุ๋ยตามที่กรมปศุสัตว์แนะนำจะสามารถให้ผลผลิตน้ำหนัสดได้ถึง 70-80 ตัน/ไร่/ปี ซึ่งสูงกว่าผลผลิตที่ได้จากแปลงทดลองมาก อาจเนื่องจากหญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในแปลงทดลองนั้นไม่ได้มีระบบการชลประทานที่เหมาะสม มีเพียงการปล่อยน้ำเสียจากโรงเลี้ยงโคมาสู่แปลงในบางครั้ง อีกทั้งก่อนพันธุ์ที่ใช้ในการปลูกอาจมีคุณภาพที่แตกต่างกัน รวมถึงวิธีการปลูกที่ต่างกันส่งผลให้ระยะปลูกระหว่างต้นที่ไม่เท่ากันทำให้มีความหนาแน่นของหญ้าเนเปียร์ต่อพื้นที่ต่างกัน โดยการปลูกด้วยเครื่องปลูกจะเหมาะสมกับพื้นที่ขนาดใหญ่ เพราะสามารถปลูกได้รวดเร็วและสม่ำเสมอ ส่วนวิธีการยกร่องปลูกจะทำให้แปลงสามารถระบายน้ำได้ดี และมีความหนาแน่นของหญ้าต่อพื้นที่สูงกว่าการปลูกด้วยแรงงานคน

จากค่าเฉลี่ยของผลผลิตน้ำหนัสดที่แสดงดังรูปที่ 4-2 พบว่าน้ำหนัสดของหญ้าทั้งสามแปลงมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 1,327 - 4,265 กิโลกรัม/ไร่ โดยช่วงที่มีผลผลิตต่ำที่สุดคือรอบการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 3 และ 4 ระหว่างเดือนกันยายนถึงเดือนมกราคม ซึ่งเป็นช่วงที่มีฝนตกหนักต่อเนื่อง อีกทั้งบริเวณแปลงปลูกนั้นเป็นจุดที่ต่ำที่สุดน้ำฝนจึงไหลระบายผ่านแปลง ทำให้เกิดน้ำขังภายในแปลงปลูกหลายวัน ซึ่งหญ้าเนเปียร์จะเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีการระบายน้ำที่ดีและมีความอุดมสมบูรณ์ เป็น

พืชที่ทนแล้งแต่ไม่ทนน้ำท่วมขัง (ไกรลาศ เขียวทอง, 2556) เพราะสาเหตุเหล่านี้จึงทำให้ในช่วงระยะเวลาดังกล่าวกอหญ้าเนเปียร์บางส่วนเน่าและตาย ส่งผลให้หญ้ามีผลผลิตลดลง และหลังจากนั้นจึงได้ทำการปรับปรุงแปลงและขุดลอกทางระบายน้ำใหม่เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดน้ำขังภายในแปลง เมื่อดินในแปลงแห้งและไม่มีน้ำขังจึงทำให้หญ้าเนเปียร์แตกกอได้ดีขึ้นและผลผลิตหญ้าย่อมๆสูงขึ้น ดังรูปที่ 4-2 เช่นเดียวกับกับผลผลิตน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 4-3) ที่มีแนวโน้มคล้ายกัน โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 183 - 740 กิโลกรัม/ไร่ และเมื่อทำการวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างโดยใช้วิธีการทดสอบด้วยค่าสถิติ (t-test) และเป็นการทดสอบทางเดียว (One-tail) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 พบว่าค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสดหญ้าในครั้งที่ 4 5 และ 6 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยมีค่า P เท่ากับ 0.15 และ 0.09 ตามลำดับ



รูปที่ 4-2 ค่าเฉลี่ยของผลผลิตน้ำหนักสด (กิโลกรัม/ไร่) ของหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1



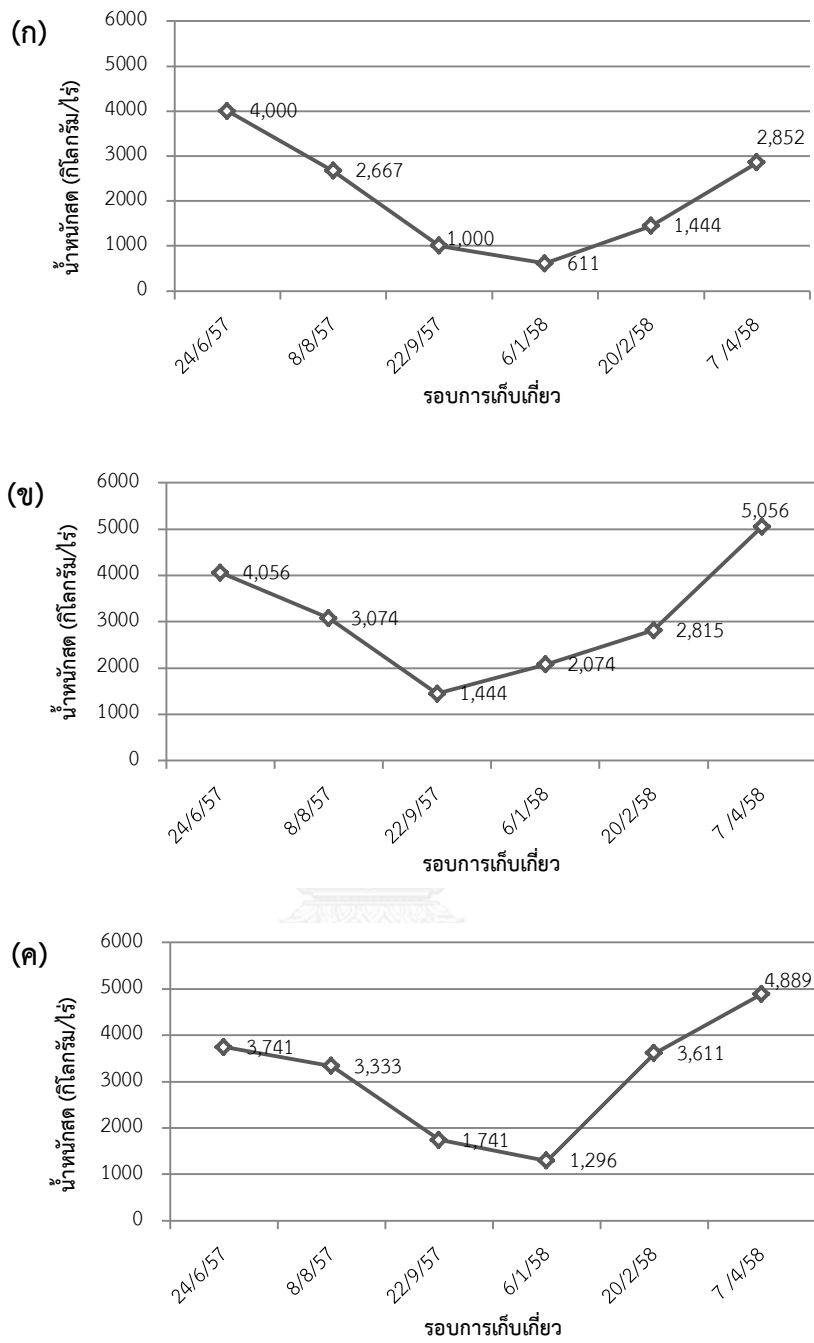
รูปที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยของผลผลิตน้ำหนักแห้ง (กิโลกรัม/ไร่) ของหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1

เมื่อพิจารณาผลผลิตหญ้าในแปลงที่ 1 พบว่ามีน้ำหนักสดระหว่าง 611 - 4,000 กิโลกรัม/ไร่ ดังแสดงในรูปที่ 4-4 (ก) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2,096 กิโลกรัม/ไร่ เนื่องจากแปลงที่ 1 เป็นแปลงที่ไม่มี การใส่ปุ๋ยจึงทำให้ได้ผลผลิตต่ำที่สุด โดยมีผลผลิตสูงสุดในการเก็บเกี่ยวครั้งแรกเนื่องจากในการเก็บเกี่ยวครั้งแรกต้องปลูกเป็นเวลา 75 วัน เพื่อให้ระบบรากของหญ้าพัฒนาเจริญเติบโตและแข็งแรง เต็มที่ แล้วจึงลดลงเหลือ 45 วันในรอบถัดไป

แปลงที่ 2 (ใส่ปุ๋ยคอกในแปลง) ผลผลิตหญ้าแสดงดังรูปที่ 4-4 (ข) โดยมีผลผลิตน้ำหนักสด ระหว่าง 1,444 - 5,056 กิโลกรัม/ไร่ เฉลี่ย 3086 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งมากกว่าแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยประมาณ 1.5 เท่า เริ่มทำการใส่ปุ๋ยคอกหลังตัดตั้งแต่ครั้งที่ 3 4 และ 5 จึงทำให้ผลผลิตเริ่มสูงขึ้นตั้งแต่ครั้งที่ 4 คือหลังจากการเติมปุ๋ยคอกและทำการปรับปรุงแปลง โดยปุ๋ยคอกที่ใส่นั้นเป็นปุ๋ยจากโคนม ซึ่งมี ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนร้อยละ 1.92 ฟอสฟอรัส (P_2O_5) ร้อยละ 1.03 และโพแทสเซียม (K_2O) ร้อยละ 1.4

แปลงที่ 3 (ใส่ทั้งปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี) ผลผลิตหญ้าแสดงดังรูปที่ 4-4 (ค) โดยแปลงนี้เป็น แปลงที่ให้ผลผลิตน้ำหนักสดเฉลี่ยสูงที่สุด 3,102 กิโลกรัม/ไร่ โดยผลผลิตที่ได้ระหว่าง 1,296 - 4,889 กิโลกรัม/ไร่ เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงที่ 2 จะเห็นได้ว่าผลผลิตหญ้าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน จึงสรุปได้ว่าการใช้ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยเคมีต่างก็สามารถช่วยในการเพิ่มผลผลิตของหญ้าเนเปียร์ได้ แต่การใช้ปุ๋ยเคมี ติดต่อกันเป็นเวลานานจะส่งผลเสียต่อคุณภาพดิน ทำให้โครงสร้างของดินเสื่อมลง ดังนั้นจึงควร พิจารณาถึงชนิดของปุ๋ยและปริมาณการใช้ปุ๋ยที่เหมาะสม หรือใช้วิธีการสลับมาใส่ปุ๋ยคอกแทนปุ๋ยเคมี ในบางครั้ง เพื่อรักษาความสมดุลของธาตุอาหารในแปลงหญ้าและรักษาสมดุลของระบบนิเวศในดิน

เมื่อนำหญ้าเนเปียร์จากทั้งสามแปลงมาวิเคราะห์หา ค่าของแข็งทั้งหมด (TS) ค่าของแข็ง ระเหยง่าย (VS) อินทรีย์คาร์บอน (OC) และไนโตรเจน (N) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันทั้งสามแปลง โดยมี ค่าเฉลี่ยของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ 15.85±0.66 ค่าของแข็งระเหยง่ายร้อยละ 13.66±0.56 อินทรีย์คาร์บอนร้อยละ 55.44±2.46 และไนโตรเจนร้อยละ 1.92±0.15 รายละเอียดดังตารางที่ 4-2



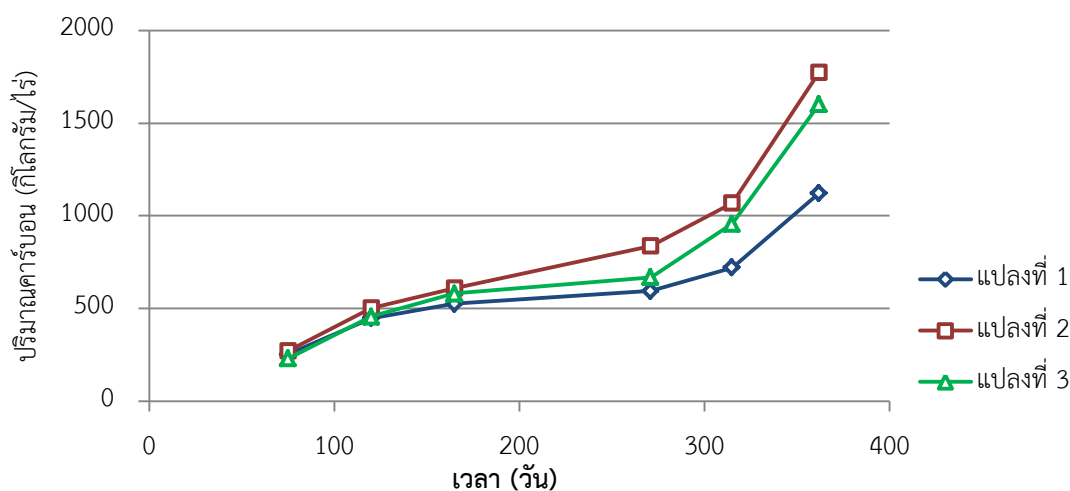
รูปที่ 4-4 ผลผลิตน้ำหนักรวม (กิโลกรัม/ไร่) ของหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1
(ก) แปลงที่ 1 (ข) แปลงที่ 2 และ (ค) แปลงที่ 3

ตารางที่ 4-2 ค่าเฉลี่ยของ ของแข็งทั้งหมด (TS) ของแข็งระเหยง่าย (VS) อินทรีย์คาร์บอน (OC) และ ไนโตรเจน (N) ของหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1

| แปลงปลูกหญ้า | ร้อยละของแข็งทั้งหมด (%) | ร้อยละของแข็งระเหยง่าย (%) | ร้อยละอินทรีย์คาร์บอน (%) | ร้อยละไนโตรเจน (%) |
|--------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|
| แปลงที่ 1 | 16.39±2.00 | 14.07±1.87 | 56.36±15.78 | 1.75±0.35 |
| แปลงที่ 2 | 16.03±1.53 | 13.88±1.42 | 57.32±17.52 | 2.00±0.50 |
| แปลงที่ 3 | 15.12±1.43 | 13.02±1.27 | 52.65±13.91 | 2.01±0.50 |
| เฉลี่ย | 15.85±0.66 | 13.66±0.56 | 55.44±2.46 | 1.92±0.15 |

2) ปริมาณคาร์บอนสะสมในหญ้า

การประเมินหาปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บอยู่ในหญ้าเนเปียร์ ในหน่วยของปริมาณของคาร์บอนต่อหน่วยพื้นที่ โดยใช้น้ำหนักแห้งของผลผลิตหญ้าที่เก็บเกี่ยวได้ในแต่ละครั้งคูณด้วยร้อยละอินทรีย์คาร์บอนของหญ้า (วิธีการคำนวณแสดงในหัวข้อที่ 3.3.3) ส่องวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอนของหญ้าที่สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน จากการเก็บข้อมูลในระยะเวลา 1 ปี พบว่าปริมาณคาร์บอนสะสมในหญ้าเนเปียร์ของแปลงที่ 2 มีค่าสูงที่สุดคือ 1,777 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ รองลงมาคือแปลงที่ 3 คือ 1,604 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ และแปลงที่ 1 มีการสะสมคาร์บอนต่ำที่สุดคือ 1,122 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ โดยปริมาณคาร์บอนสะสมในหญ้ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับปริมาณผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้า เพราะถึงแม้ว่าแปลงที่ 2 จะมีผลผลิตน้ำหนักสดน้อยกว่าแปลงที่ 3 แต่เมื่อเทียบผลผลิตน้ำหนักแห้งแล้วพบว่าในแปลงที่ 2 สูงกว่าเล็กน้อย จึงทำให้แปลงที่ 2 มีปริมาณคาร์บอนสะสมสูงที่สุด ปริมาณคาร์บอนสะสมในหญ้าเนเปียร์แต่ละแปลงแสดงดังรูปที่ 4-5



รูปที่ 4-5 ปริมาณคาร์บอนสะสมในหญ้าเนเปียร์ของแต่ละแปลง

4.1.2 คุณสมบัติของดินและปริมาณคาร์บอนสะสมในดิน

1) คุณสมบัติของดินในแปลงปลูก

จากการเก็บตัวอย่างดินจากแปลงปลูกหญ้าเนเปียร์ทั้งสามแปลงที่ระดับความลึก 0-10 10-20 และ 20-30 ซม. โดยทำการเก็บตัวอย่างดินทั้งหมด 4 ครั้ง ครั้งที่ 1 เก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกหนึ่งครั้ง หลังจากนั้นทำการเก็บตัวอย่างดินหลังการเก็บเกี่ยวหญ้าในครั้งที่ 2 4 และ 6 ภายในระยะเวลา 1 ปีที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ พบว่ามีค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินอยู่ระหว่าง 7.1 - 8.1 คือมีความเป็นกลางถึงด่างปานกลาง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553ข) และมีแนวโน้มที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินจะเพิ่มขึ้นตามระดับความลึกของดิน โดยหญ้าเนเปียร์สายพันธุ์นี้เจริญเติบโตได้ดี ในดินที่มีความเป็นกรดเป็นด่าง 6.0 - 7.5 (ไกรลาศ เขียวทอง, 2556) ซึ่งมีความต่ำกว่าดินในแปลงเล็กน้อย ลักษณะของเนื้อดินในแปลงส่วนใหญ่เป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้งและดินเหนียว รายละเอียดของคุณสมบัติเบื้องต้นของดินในแต่ละแปลงแสดงดังตารางที่ 4-3 และเพื่อคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดินจึงต้องทำการเก็บตัวอย่างดินเพื่อวัดความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density) ซึ่งมีทั้งสามแปลงค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.01-1.43 กรัม/ซม.³ โดยความหนาแน่นรวมจะเพิ่มขึ้นตามความลึกของดิน เนื่องจากชั้นดินที่อยู่ลึกลงไปจะมีความแน่นของดินมากกว่าบริเวณผิวดิน

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 1.54 - 4.41 ซึ่งถือว่าดินในแปลงนั้นมีอินทรีย์วัตถุอยู่ระดับปานกลางถึงสูง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553ข) และมีความเหมาะสมสำหรับการปลูกพืช โดยปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีแนวโน้มที่จะลดลงตามระดับความลึกของดิน ในส่วนของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินก็เช่นกัน มีแนวโน้มที่จะลดลงตามระดับความลึกของดิน ซึ่งบริเวณผิวดินโดยเฉพาะในดินด้านบนจะมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงสุด เนื่องจากผิวดินจะเป็นแหล่งที่สะสมของเศษซากพืชที่ร่วงหล่นรวมถึงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกเพิ่มขึ้นมาจากการใส่ปุ๋ยคอก โดยปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในแปลงมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 0.90 - 2.56 เมื่อพิจารณาถึงค่าความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอนดินที่ระดับความลึก 0-10 10-20 และ 20-30 ซม. ที่แสดงดังรูปที่ 4-6 พบว่าความเข้มข้นของคาร์บอนสูงที่สุดคือบริเวณผิวดินและลดลงตามระดับความลึก ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Yu และคณะ, 2013) โดยทั้งสามแปลงมีค่าความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอนในดินสูงสุดที่ระดับความลึก 0-10 ซม. ซึ่งมีค่าระหว่าง 21.45-25.56 กรัม/กิโลกรัม แสดงดังตารางที่ 4-3

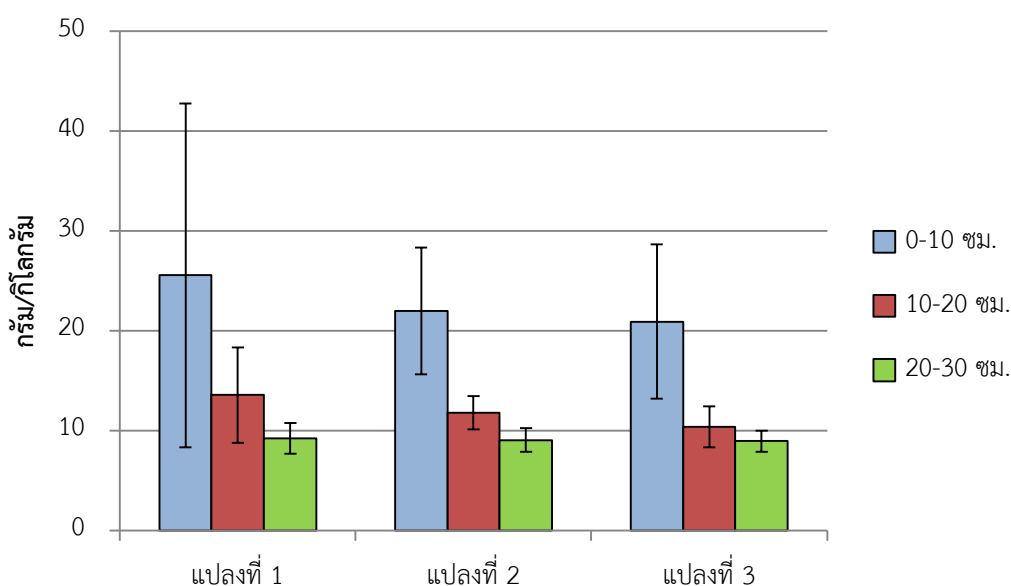
เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้วิธีการทดสอบด้วยค่าสถิติ (t-test) และเป็นการทดสอบทางเดียว (One-tail) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 พบว่าค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นอินทรีย์คาร์บอนในดินที่ระดับความลึก 0-10 และ 10-20 ซม. มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยมีค่า P เท่ากับ 0.008 0.04 และ 0.04 ในแปลงที่ 1 ถึง 3 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นอินทรีย์คาร์บอนในดินที่ระดับความลึก 10-20 และ 20-30 เซนติเมตร ไม่มีความแตกต่างกัน

ทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่า P เท่ากับ 0.15 0.10 และ 0.15 ในแปลงที่ 1 ถึง 3 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นอินทรีย์คาร์บอนแต่ละแปลงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางที่ 4-3 คุณสมบัติเบื้องต้นของดินในแต่ละแปลงตามความลึก 0-30 เซนติเมตร

| แปลง | ความลึกดิน (ซม.) | pH | ลักษณะเนื้อเนื้อดิน | อินทรีย์วัตถุ (%) | อินทรีย์คาร์บอน (%) | ความหนาแน่นรวม (กรัม/ซม. ³) |
|------|------------------|-----|---------------------|-------------------|---------------------|---|
| 1 | 0-10 | 7.1 | SiCL | 4.41±2.97 | 2.56±1.72 | 1.01±0.13 |
| | 10-20 | 7.5 | SiCL | 2.34±0.82 | 1.36±0.48 | 1.26±0.09 |
| | 20-30 | 7.9 | CL | 1.59±0.26 | 0.92±0.15 | 1.30±0.13 |
| 2 | 0-10 | 7.6 | C | 3.79±1.09 | 2.20±0.63 | 1.28±0.18 |
| | 10-20 | 7.9 | C | 2.03±0.29 | 1.18±0.17 | 1.32±0.14 |
| | 20-30 | 8.1 | SiCL | 1.56±0.20 | 0.90±0.12 | 1.31±0.12 |
| 3 | 0-10 | 7.2 | SiCL | 3.60±1.33 | 2.09±0.77 | 1.12±0.06 |
| | 10-20 | 7.7 | SiC | 1.79±0.35 | 1.04±0.20 | 1.34±0.11 |
| | 20-30 | 7.8 | C | 1.54±0.18 | 0.90±0.11 | 1.43±0.11 |

หมายเหตุ SiCL คือ ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง CL คือ ดินร่วนเหนียว C คือ ดินเหนียว และ SiC คือ ดินเหนียวปนทรายแป้ง



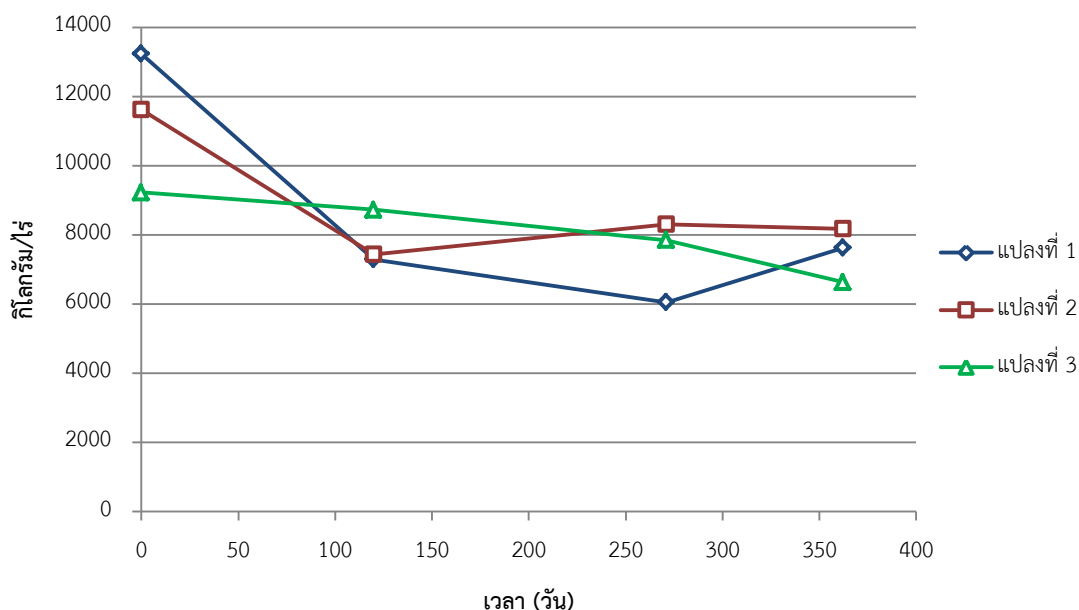
รูปที่ 4-6 ความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอนในดินของแต่ละแปลงที่ระดับ 0-30 เซนติเมตร

2) ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดิน

การประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดินสามารถคำนวณได้จากความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอนคูณกับความหนาแน่นรวมของดิน และความลึกของดิน (วิธีการคำนวณแสดงในหัวข้อที่ 3.3.3) โดยผลการประเมินพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอนในดินทั้ง 3 แปลงประมาณ 7,481 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นพบว่ามียุทธศาสตร์คาร์บอนในดินใกล้เคียงกันประมาณ 5,964-16,597 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4-4 และจากการประเมินปริมาณคาร์บอนในดินของทั้งสามแปลงที่ระดับความลึกของดิน 0-30 ซม. ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ทำการปลูกหญ้า ดังรูปที่ 4-7 พบว่าปริมาณคาร์บอนในดินของทุกแปลงมีแนวโน้มลดลงตามเวลาที่ปลูก และปริมาณคาร์บอนในดินสูงสุดคือช่วงก่อนเริ่มทำการปลูกหญ้า ซึ่งในแปลงที่ 1 2 และ 3 มีปริมาณคาร์บอนในดินก่อนเริ่มการปลูกคือ 13,232 11,621 และ 9,226 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (การเก็บตัวอย่างดินครั้งที่ 4) ปริมาณคาร์บอนในดินของแปลงที่ 1 2 และ 3 ลดลงเหลือ 7,628 8,179 และ 6,635 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ

ตารางที่ 4-4 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอนในดินกับงานวิจัยอื่น

| งานวิจัย | การเกษตร | ความลึกดินที่ศึกษา (เซนติเมตร) | ปริมาณคาร์บอนในดิน (กิโลกรัม/ไร่) |
|-------------------------|--------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| งานวิจัยนี้ | หญ้าเนเปียร์ | 0-30 | 7,481 |
| Yu และคณะ (2013) | ทุ่งหญ้า | 0-50 | 7,984 |
| เสริมพงศ์ นวลงาม (2545) | กระถินเทพา | 0-30 | 8,519 |
| | หญ้าคา | 0-30 | 7,816 |
| | กระถินณรงค์ | 0-30 | 5,964 |
| วรรณท์ สนกันหา (2554) | ป่าดิบแล้ง | 0-50 | 16,597 |
| | ป่าเบญจพรรณ | 0-50 | 7,882 |



รูปที่ 4-7 ปริมาณคาร์บอนในดินทั้งหมดเฉลี่ยที่ระดับ 0-30 ซม.
ที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่ทำกรปลูกหญ้าเนเปียร์

เมื่อพิจารณาปริมาณคาร์บอนในดินแยกตามระดับความลึก 0-10 10-20 และ 20-30 ซม. ของแต่ละแปลง ดังรูปที่ 4-8 จะเห็นได้ว่าที่ระดับผิวดิน 0-10 ซม. ของทุกแปลงมีปริมาณคาร์บอนในดินมากที่สุดและมีความผันผวนมากที่สุด กล่าวคือปริมาณคาร์บอนจะสะสมอยู่มากที่สุดในดินชั้นบน และมีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้นเหมือนกันทุกแปลง โดยจากการเก็บตัวอย่างดินทั้งหมด 4 ครั้ง พบว่าในแปลงที่ 1 (รูปที่ 4-8 (ก)) มีปริมาณคาร์บอนในดินที่ระดับความลึก 0-10 ซม. อยู่ระหว่าง 2,214 - 7,280 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ ที่ระดับความลึก 10-20 ซม. มีปริมาณระหว่าง 1,793 - 3,930 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ และที่ระดับความลึก 20-30 ซม. มีปริมาณระหว่าง 1,721 - 2,022 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่

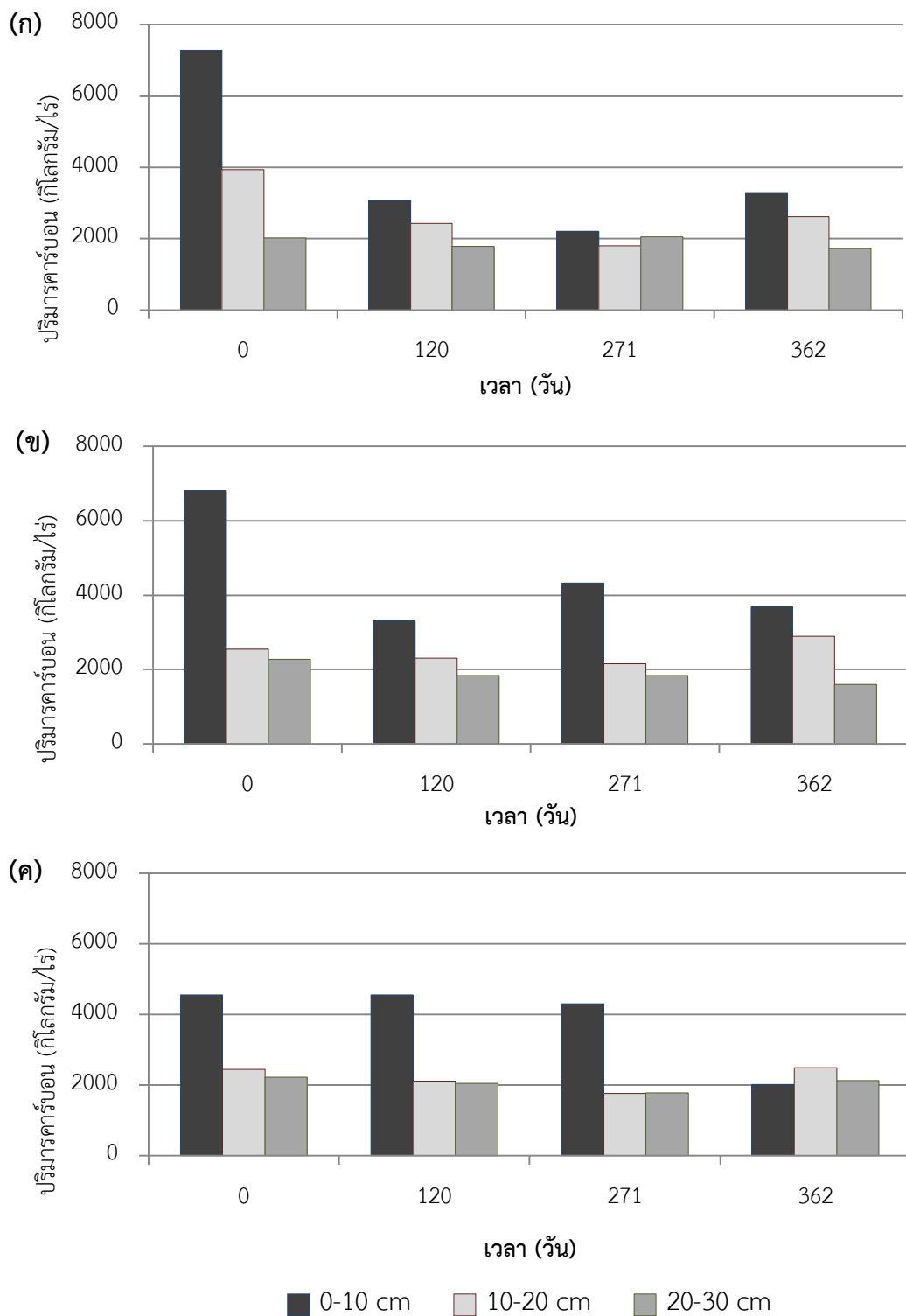
แปลงที่ 2 (รูปที่ 4-8 (ข)) มีปริมาณคาร์บอนในดินที่ระดับความลึก 0-10 ซม. อยู่ระหว่าง 3,295 - 6,804 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ ที่ระดับความลึก 10-20 ซม. มีปริมาณคาร์บอนในดินระหว่าง 2,152 - 2,891 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ และที่ระดับความลึก 20-30 ซม. มีปริมาณคาร์บอนในดินระหว่าง 1,604 - 2,272 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่

และแปลงที่ 3 (รูปที่ 4-8 (ค)) มีปริมาณคาร์บอนในดินที่ระดับความลึก 0-10 ซม. ระหว่าง 2,016 - 4,562 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ ที่ระดับความลึก 10-20 ซม. มีปริมาณคาร์บอนในดินระหว่าง 1,766 - 2,496 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ และที่ระดับความลึก 20-30 ซม. มีปริมาณคาร์บอนในดินระหว่าง 1,780 - 2,224 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่

จากข้อมูลข้างต้นทำให้ทราบว่าดินที่ระดับผิวดิน 0-10 ซม. มีปริมาณคาร์บอนในดินมากที่สุด และมีความผันผวนของปริมาณคาร์บอนในดินมากกว่าดินที่ระดับความลึก 10-20 และ 20-30 ซม. เนื่องจากบริเวณผิวดินเป็นบริเวณที่ได้รับปุ๋ยและน้ำเสียจากโรงโคโดยตรง รวมถึงเศษซากหญ้าที่ร่วงหล่นลงบนผิวดินและเกิดการย่อยสลายกลับคืนสู่ดิน ซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการสะสมคาร์บอนอินทรีย์ในดิน ในขณะที่เดียวกันบริเวณผิวดินก็สามารถเกิดการสูญเสียคาร์บอนได้ง่ายเนื่องจากการสูญเสียคาร์บอนไปกับน้ำไหลบ่าหน้าดินและกิจกรรมทางการเกษตร เช่น การไถหรือพรวนดิน และการกำจัดวัชพืชในแปลง

ในเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนในแต่ละครั้ง จะเห็นได้ว่าปริมาณคาร์บอนในดินมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาผ่านไป โดยเฉพาะดินที่ระดับความลึก 0-10 ซม. มีเพียงบางครั้งเท่านั้นที่ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากรูปที่ 4-8 สังเกตได้ว่าดินที่ระดับความลึก 10-20 และ 20-30 ซม. จะมีปริมาณคาร์บอนในดินมีการเปลี่ยนแปลงน้อยและค่อนข้างคงที่ และมีความเสถียรมากกว่าคาร์บอนในบริเวณผิวดินด้านบน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในดินที่ความลึก 0-10 10-20 และ 20-30 ซม. มีประมาณร้อยละ 29.69 21.89 และ 12.21 ตามลำดับ

เนื่องจากการสะสมปริมาณคาร์บอนในดินจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงค่อนข้างช้าและมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา (มนต์สรวง เรืองชนาบ และคณะ, 2557) จึงจำเป็นต้องใช้เวลาในการศึกษาอย่างละเอียด อีกทั้งปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่สะสมในดินยังมีความผันแปรขึ้นกับอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพภูมิอากาศ ฤดูกาล สมบัติของดินทั้งทางด้านฟิสิกส์ เคมีและชีวภาพ วิธีการจัดการดินในพื้นที่ กิจกรรมทางการเกษตร ชนิดของพืชพรรณ และการชะล้างพังทลายของดิน เป็นต้น ดังนั้นการจัดการด้านการเกษตรทั้งระบบการปลูกพืชและการจัดการดินอย่างเหมาะสม จะเป็นอีกหนึ่งแนวทางที่สามารถลดการสูญเสียคาร์บอนในภาคการเกษตรได้อย่างยั่งยืน



รูปที่ 4-8 ปริมาณคาร์บอนในดินแยกตามระดับความลึก 0-10 10-20 และ 20-30 ซม.

4.1.3 สมดุลคาร์บอนในแปลง

จากการศึกษาสมดุลคาร์บอนในแปลงปลูกหญ้าเนเปียร์พบว่า ปัจจัยที่ทำให้เกิดการสะสมคาร์บอนในดิน ได้แก่ การหมุนเวียนสารอินทรีย์คาร์บอนจากพืชปลดปล่อยออกมาทางรากพืช (root exudates) (Soussana และคณะ, 2004) เศษซากพืชในรูปมวลชีวภาพที่หมุนเวียนกลับสู่ดิน และคาร์บอนที่ได้จากการใส่ปุ๋ยและน้ำเสียโรงโค ส่วนปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียคาร์บอนในดิน ได้แก่ การหายใจของดิน กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งเป็นผลมาจากการดำเนินการทางการเกษตรต่างๆ เช่น การเตรียมแปลงปลูก การไถพรวนและเปิดหน้าดิน ซึ่งขั้นตอนเหล่านี้จะทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินสู่ชั้นบรรยากาศ สรุปได้ดังรูปที่ 4-9



รูปที่ 4-9 สมดุลคาร์บอนในแปลงปลูกหญ้าเนเปียร์

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเฉพาะปริมาณคาร์บอนจากปุ๋ยคอกและน้ำเสียที่เข้ามาในแปลง และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่สะสมในดินของพื้นที่ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ที่ความลึก 0-30 ซม. เป็นระยะเวลา 1 ปี พบว่าอินทรีย์คาร์บอนในดินของทุกแปลงมีปริมาณลดลงตามระยะที่ปลูก โดยในแปลงที่ 1 มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนคงเหลือในดิน 7,628.1 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ และมีอัตราการสูญเสียอินทรีย์คาร์บอนสูงสุดคือ 5,623.1 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่/ปี (ร้อยละ 42.5 ของปริมาณคาร์บอนเริ่มต้นในดิน) รองลงมาคือแปลงที่ 2 ซึ่งเป็นแปลงที่มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนคงเหลือในดินสูงสุด 8,178.7 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ และมีอัตราการสูญเสียอินทรีย์คาร์บอน 4,956.0 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่/ปี (ร้อยละ 42.6 ของปริมาณคาร์บอนเริ่มต้นในดิน) และแปลงที่ 3 เป็นแปลงที่มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนคงเหลือในดินน้อยที่สุดคือ 6,635.1 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ แต่มีอัตราการสูญเสียอินทรีย์คาร์บอนน้อยที่สุดคือ 3,507.3 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่/ปี (ร้อยละ 38 ของปริมาณคาร์บอนเริ่มต้นในดิน) รายละเอียดของสมดุลคาร์บอนในแปลงแสดงดังตารางที่ 4-5 ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ สิริกานดา วัชรชาติ (2551) ที่ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในดินของการปลูกสับปะรด โดยเก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 0-30 เซนติเมตร พบว่าอินทรีย์คาร์บอนในดินมีปริมาณลดลงประมาณ 1,797 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ ในระยะเวลา 7 เดือน ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ว่าในช่วงแรกของการปลูกพืชขึ้น พืชยังไม่เจริญเติบโตเพียงพอที่จะทำให้เกิดการสะสมของคาร์บอนในดินที่เกิดจากการหมุนเวียนสารอินทรีย์ผ่านทางรากของพืช รวมทั้งเศษซากพืชที่ร่วงหล่นและหมุนเวียนกลับสู่ดินยัง

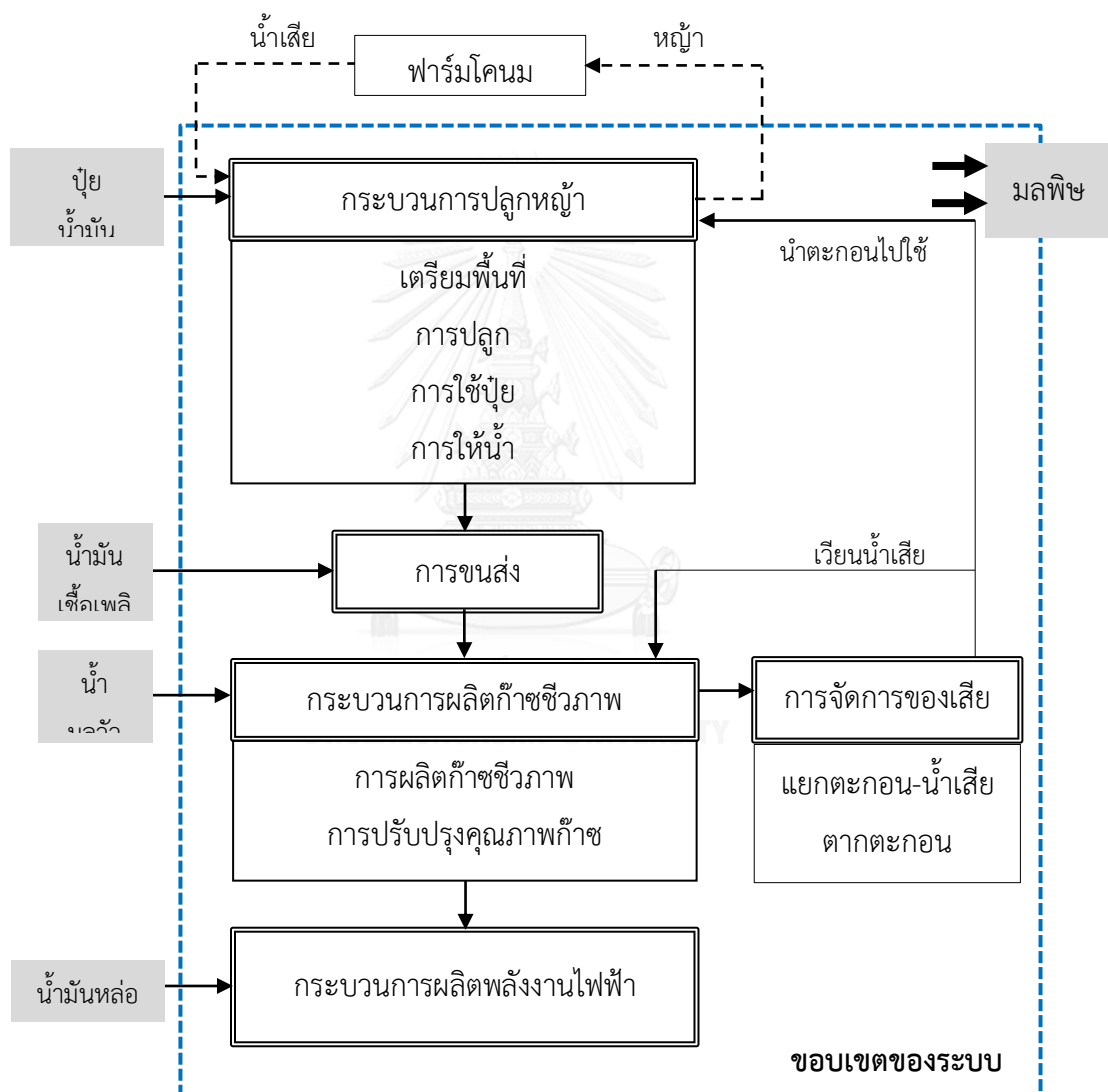
มีปริมาณไม่มากนัก จึงทำให้ดินเกิดการสูญเสียคาร์บอนจากการหายใจของดินและกิจกรรมทางการเกษตรต่างๆมากกว่า ดังนั้นคาดว่าหากทำการเก็บข้อมูลจากการปลูกหญ้าเนเปียร์ที่นานขึ้นและลดขั้นตอนการไถหรือเปิดหน้าดินก็จะสามารถเพิ่มปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสู่ดินได้ นอกจากนี้ปัจจัยสำคัญที่เร่งให้เกิดการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุโดยจุลินทรีย์ในดิน ได้แก่ อุณหภูมิที่สูงขึ้น (Ma และคณะ, 2000) ปริมาณอินทรีย์วัตถุหรือคาร์บอนในดิน และความชื้นของดิน (สิริกานดา วัชรชาติ, 2551)

ตารางที่ 4-5 สรุปสมดุลคาร์บอนของดินในแปลงทดลอง

| ปริมาณคาร์บอนในระบบ | แปลงที่ 1 | แปลงที่ 2 | แปลงที่ 3 | หน่วย |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------|
| คาร์บอนในดินเริ่มต้น | 13,231.7 | 11,620.9 | 9,226.3 | กิโลกรัม/ไร่ |
| คาร์บอนในดินสุดท้าย | 7,628.1 | 8,178.7 | 6,635.1 | กิโลกรัม/ไร่ |
| คาร์บอนที่สูญเสียไปจากดิน | 5,603.6 | 3,442.2 | 2,591.2 | กิโลกรัม/ไร่/ปี |
| คาร์บอนจากปุ๋ยคอก | - | 1,494.3 | 896.6 | กิโลกรัม/ไร่/ปี |
| คาร์บอนจากน้ำเสียโรงโค | 19.5 | 19.5 | 19.5 | กิโลกรัม/ไร่/ปี |
| ปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียสุทธิ | 5,623.1 | 4,956.0 | 3,507.3 | กิโลกรัม/ไร่/ปี |
| ร้อยละการสูญเสียคาร์บอน | 42.5 | 42.6 | 38 | - |

4.2 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1

งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตพลังงานชีวภาพขนาด 1 เมกะวัตต์ ที่ใช้หญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 เป็นวัตถุดิบ โดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ หน่วยการทำงาน คือ พลังงานไฟฟ้า 1 เมกะจูล และขอบเขตการศึกษาครอบคลุม Cradle to Gate ประกอบไปด้วยขั้นตอน การปลูกหญ้า การผลิตก๊าซชีวภาพ การจัดการเศษที่เหลือจากการหมัก การขนส่ง และการผลิตไฟฟ้า ดังรูปที่ 4-10



รูปที่ 4-10 แผนผังแสดงขอบเขตของระบบผลิตพลังงานชีวภาพ

4.2.1 การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม

การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการทำให้ทราบข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินเปียก และสามารถนำไปประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ ด้วยวิธีการ CML 2001 ในโปรแกรม SimaPro 7.3 software โดยผลการประเมินจะแสดงเป็นการกำหนดบทบาท (Characterization) และ การจัดกลุ่มและเทียบหน่วย (Normalization)

กรณีศึกษาในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 6 กรณีศึกษา ดังต่อไปนี้

กรณีศึกษาที่ 1 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากถ่านหินเปียกพันธุ์ปากช่อง 1
(ถ่านหินเปียกจากแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย)

กรณีศึกษาที่ 2 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากถ่านหินเปียกพันธุ์ปากช่อง 1 และมูลวัว
(ถ่านหินเปียกจากแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย)

กรณีศึกษาที่ 3 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากถ่านหินเปียกพันธุ์ปากช่อง 1
(ถ่านหินเปียกจากแปลงที่ใส่เฉพาะปุ๋ยคอก)

กรณีศึกษาที่ 4 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากถ่านหินเปียกพันธุ์ปากช่อง 1 และมูลวัว
(ถ่านหินเปียกจากแปลงที่ใส่เฉพาะปุ๋ยคอก)

กรณีศึกษาที่ 5 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากถ่านหินเปียกพันธุ์ปากช่อง 1
(ถ่านหินเปียกจากแปลงที่ใส่ทั้งปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี)

กรณีศึกษาที่ 6 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากถ่านหินเปียกพันธุ์ปากช่อง 1 และมูลวัว
(ถ่านหินเปียกจากแปลงที่ใส่ทั้งปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี)

ซึ่งการทำบัญชีรายการในงานวิจัยนี้ได้ใช้ทั้งข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิ และแบ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่ กระบวนการปลูกหญ้า การผลิตก๊าซชีวภาพ การจัดการของเสียที่เกิดขึ้น การขนส่ง และการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยกระบวนการในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

1) กระบวนการปลูกหญ้า

การทำบัญชีรายการในส่วนนี้ได้จากข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิ โดยข้อมูลปฐมภูมิได้จากการเก็บข้อมูลโดยตรงจากการสอบถามข้อมูลจากเกษตรกรและเก็บข้อมูลจากการทดลองปลูกหญ้าในแปลงปลูกหญ้าในพื้นที่ของโครงการสวนพระองค์ สวนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เป็นระยะเวลา 1 ปี (พ.ศ.2557-2558) โดยเปรียบเทียบรูปแบบการปลูกหญ้าทั้งหมด 3 รูปแบบ ได้แก่ แปลงที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (รูปที่ 4-11 (ก)) แปลงที่ 2 ใส่เฉพาะปุ๋ยอินทรีย์ (รูปที่ 4-11 (ข)) และแปลงที่ 3 ใส่ทั้งปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยอินทรีย์ตามคำแนะนำของกรมปศุสัตว์ (รูปที่ 4-11 (ค)) ซึ่งทั้งสามแปลงจะได้รับน้ำจากน้ำเสียที่เกิดจากการล้างคอกวัวหมุนเวียนกลับมาใช้รดน้ำหญ้าเนเปียร์ในแปลง โดยแปลงที่ 1 จะเป็นตัวแทนของการเกษตรขนาดเล็กที่ไม่มีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและไม่มีการใช้ปุ๋ยเคมี

แต่มีการหมุนเวียนวัสดุและน้ำใช้ โดยปลูกหญ้าเนเปียร์เพื่อเป็นอาหารสำหรับโคนม และมีการนำมูลโครวมทั้งน้ำล้างคอกวัวหมุนเวียนกลับมาใช้รดน้ำให้กับหญ้าเนเปียร์ในแปลงเพาะปลูก ซึ่งเป็นระบบที่มีความสมดุลและเหมาะสมสำหรับเกษตรกรขนาดเล็ก และทำการเก็บเกี่ยวหญ้าเนเปียร์ครั้งแรกที่ 75 วัน ส่วนครั้งต่อไปจะเก็บเกี่ยวทุก 45 วัน (รวมทั้งหมด 6 ครั้งในระยะเวลา 1 ปีที่ทำการวิจัย) ซึ่งผลผลิตของหญ้าเนเปียร์แสดงดังตารางที่ 4-6 โดยแปลงที่ 1 มีผลผลิตหญ้าเนเปียร์รวมทั้งหมดประมาณ 14,670 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนแปลงที่ 2 ที่ใส่ปุ๋ยคอกเพียงอย่างเดียวให้ผลผลิตรวมทั้งหมดประมาณ 21,605 กิโลกรัมต่อไร่ และแปลงที่ 3 ใส่ทั้งปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี ให้ผลผลิตรวมทั้งหมดประมาณ 21,713 กิโลกรัมต่อไร่ และเป็นแปลงที่ให้ผลผลิตมากที่สุดโดยมีผลผลิตสูงกว่าแปลงที่ 2 เล็กน้อย และในส่วนของกรนำน้ำเสียจากคอกวัวกลับมาใช้นั้นจะไม่คำนวณถึงการได้มาของวัตถุดิบ แต่จะคำนวณการปล่อยมลพิษเช่นเดียวกับการใช้ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี โดยคำนวณตามวิธีของ (Thailand Greenhouse Gas Management Organization, 2014) และรูปแบบของการดำเนินงานภายในพื้นที่เพาะปลูกหญ้าเนเปียร์ของโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา ดังรูปที่ 4-12

(ก)



(ข)



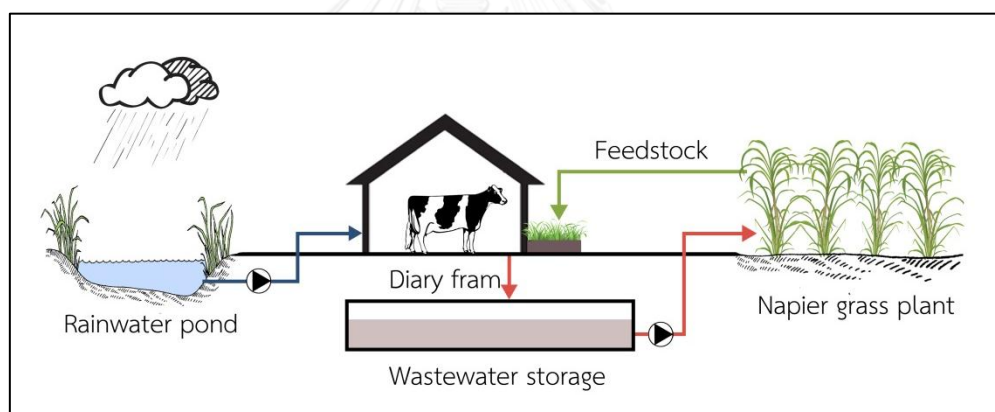
(ค)



รูปที่ 4-11 แปลงปลูกหญ้าเนเปียร์

ตารางที่ 4-6 ผลผลิตน้ำหนัสดของการปลูกหญ้าเนเปียร์ทั้งสามแปลง

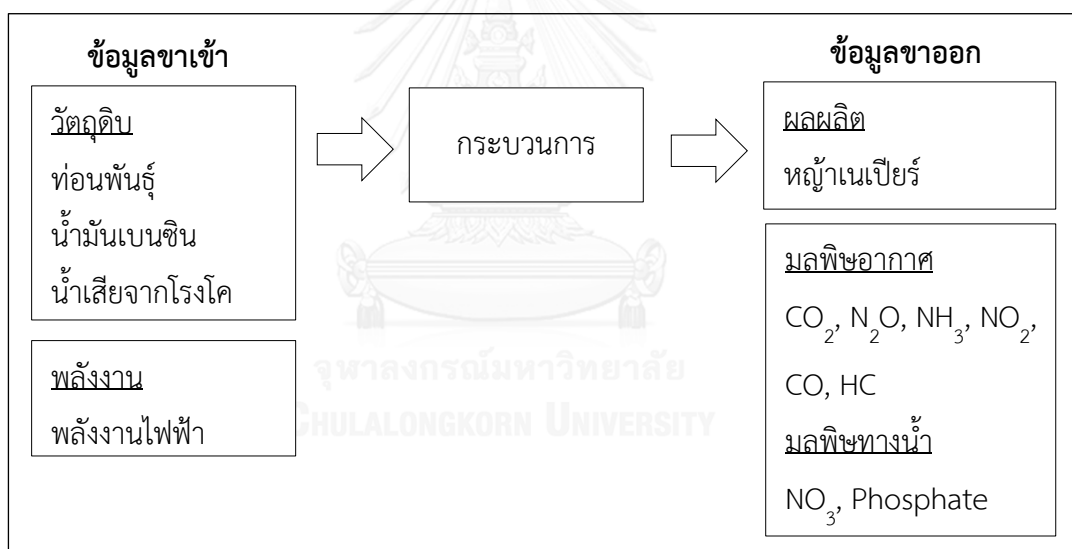
| การเก็บเกี่ยว | ผลผลิตน้ำหนัสดของหญ้า (กิโลกรัมต่อไร่) | | |
|------------------------|--|-----------|-----------|
| | แปลงที่ 1 | แปลงที่ 2 | แปลงที่ 3 |
| ครั้งที่ 1 (75วัน) | 4,000 | 4,056 | 3,741 |
| ครั้งที่ 2 (120วัน) | 2,667 | 3,074 | 3,333 |
| ครั้งที่ 3 (165วัน) | 1,000 | 1,444 | 1,741 |
| ครั้งที่ 4 (210วัน) | 611 | 2,074 | 1,296 |
| ครั้งที่ 5 (255วัน) | 1,444 | 2,815 | 3,611 |
| ครั้งที่ 6 (300วัน) | 2,852 | 5,056 | 4,889 |
| ครั้งที่ 7 (ค่าเฉลี่ย) | 2,096 | 3,086 | 3,102 |
| รวมทั้งหมด (1 ปี) | 14,670 | 21,605 | 21,713 |
| ค่าเฉลี่ย | 2,096 | 3,086 | 3,102 |



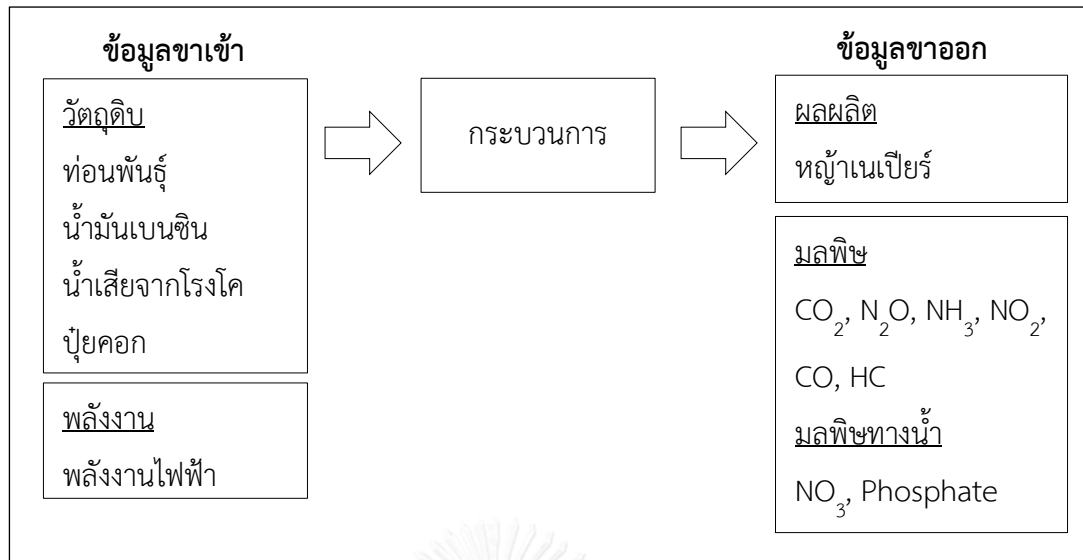
รูปที่ 4-12 การดำเนินงานภายในพื้นที่เพาะปลูกหญ้าเนเปียร์

สวนจิตรลดาตั้งอยู่ที่กรุงเทพมหานคร อุณหภูมิเฉลี่ยในพื้นที่ 27 °ซ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1735 มิลลิเมตร/ปี ดินในแปลงส่วนมากเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง มีค่าความเป็นกรดต่าง ประมาณ 7.5 ค่าอินทรีย์วัตถุประมาณร้อยละ 3.67 การปลูกหญ้าและการกำจัดวัชพืชจะอาศัยแรงงานคนเป็นหลัก ไม่ใช้ยาฆ่าแมลง ส่วนการเก็บเกี่ยวหญ้าจะใช้เครื่องตัดหญ้าแบบสะพายไหล่ในการตัดที่ใช้น้ำมันเบนซินเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันอยู่ที่ 0.71 ลิตร/ชั่วโมง การรดน้ำจะใช้น้ำเสียที่ได้จากฟาร์มโคนม ความถี่ในการรดจะขึ้นกับฤดูกาล ในหน้าแล้งจะรดน้ำบ่อยกว่าหน้าฝน เดือนพฤศจิกายนถึงเมษายน รดน้ำ 2 ครั้ง/เดือน และในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม รดน้ำ 1 ครั้ง/เดือน ครั้งละครึ่งชั่วโมง ด้วยเครื่องสูบน้ำขนาด 7.5 กิโลวัตต์ ปริมาณการใช้น้ำเสียจากโรง

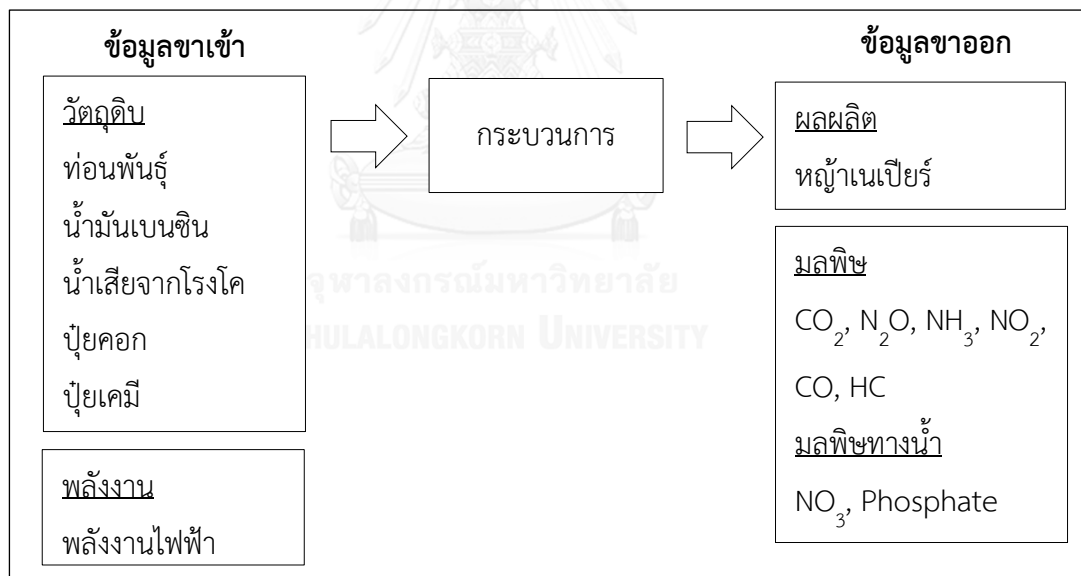
โคตตลอดทั้งปีประมาณ 130 ลบ.ม./ไร่ เนื่องจากน้ำเสียที่ใช้น้ำเป็นน้ำเสียที่เกิดจากการล้างฟาร์มโคนมจึงมีเศษมูลวัวผสมอยู่ด้วย และเมื่อนำไปวิเคราะห์จึงพบว่ามีค่าไนโตรเจน (TKN) 25.2 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด 3.26 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC) 150 มิลลิกรัม/ลิตร การใช้น้ำเสียจึงเปรียบเสมือนการใส่ปุ๋ยและต้องคำนวณปริมาณมลพิษที่ถูกปล่อยออกมาจากการใช้น้ำเสียด้วย (Thailand Greenhouse Gas Management Organization, 2014) และปริมาณปุ๋ยทั้งหมดที่ใส่ในแต่ละแปลงตลอดระยะเวลา 1 ปีคือ แปลงที่ 1 ไม่มีการใส่ปุ๋ย แปลงที่ 2 ใส่ปุ๋ยคอกทั้งหมด 5,000 กิโลกรัม/ไร่ แปลงที่ 3 ใส่ปุ๋ยคอกทั้งหมด 3,000 กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ทั้งหมด 150 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 ทั้งหมด 125 กิโลกรัมต่อไร่ วัตถุดิบที่ใช้ในการเพาะปลูกประกอบไปด้วย ท่อนพันธุ์หญ้าเนเปียร์ น้ำมันเบนซิน ปุ๋ย และน้ำเสียจากโรงโค โดยรายละเอียดของข้อมูลขาเข้าและขาออกของการปลูกในแต่ละแปลงแสดงดังรูปที่ 4-13, 4-14, 4-15 และตารางที่ 4-7



รูปที่ 4-13 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของการปลูกหญ้าในแปลงที่ 1
(แปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย)



รูปที่ 4-14 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของการปลูกหญ้าในแปลงที่ 2
(แปลงที่ใส่เฉพาะปุ๋ยคอก)



รูปที่ 4-15 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของการปลูกหญ้าในแปลงที่ 3
(แปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี)

ตารางที่ 4-7 บัญชีรายการมวลสารในการปลูกหญ้าเนเปียร์ต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า 1 เมกะจูล

| รายการ | หน่วย | ปริมาณบัญชีรายการต่อไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 เมกะจูล | | | | | |
|--------------------------|-------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | กรณีที่ 1 | กรณีที่ 2 | กรณีที่ 3 | กรณีที่ 4 | กรณีที่ 5 | กรณีที่ 6 |
| บัญชีรายการขาเข้า | | | | | | | |
| ท่อนพันธุ์ | kg | 1.09E-02 | 8.98E-03 | 7.41E-03 | 6.15E-03 | 7.91E-03 | 6.44E-03 |
| พลังงานไฟฟ้า | kWh | 1.79E-02 | 1.47E-02 | 1.21E-02 | 1.01E-02 | 1.29E-02 | 1.05E-02 |
| น้ำมันเบนซิน | kg | 2.40E-03 | 1.97E-03 | 1.63E-03 | 1.35E-03 | 1.74E-03 | 1.42E-03 |
| น้ำเสียจากโรงโค | kg | 17.1373 | 14.1067 | 11.6362 | 9.6677 | 12.4272 | 10.1177 |
| ปุ๋ยคอก | kg | - | - | 3.83E-01 | 3.18E-01 | 1.34E-01 | 1.09E-01 |
| ปุ๋ยไนโตรเจน | kg | - | - | - | - | 6.41E-03 | 5.22E-03 |
| ปุ๋ยฟอสฟอรัส | kg | - | - | - | - | 9.49E-04 | 7.73E-04 |
| ปุ๋ยโพแทสเซียม | kg | - | - | - | - | 9.49E-04 | 7.73E-04 |
| บัญชีรายการขาออก | | | | | | | |
| หญ้าเนเปียร์ | ton | 1.92E-03 | 1.58E-03 | 1.92E-03 | 1.60E-03 | 2.06E-03 | 1.68E-03 |
| มลพิษทางอากาศ | | | | | | | |
| คาร์บอนไดออกไซด์ | kg | 7.33E-03 | 6.04E-03 | 4.98E-03 | 4.14E-03 | 5.32E-03 | 4.33E-03 |
| ไนตรัสออกไซด์ | kg | 5.65E-06 | 4.65E-06 | 1.27E-04 | 1.06E-04 | 1.81E-04 | 1.47E-04 |
| แอมโมเนีย | kg | 5.05E-07 | 4.15E-07 | 1.14E-05 | 9.45E-06 | 1.07E-05 | 8.67E-06 |
| ไนโตรเจนไดออกไซด์ | kg | 6.27E-05 | 5.16E-05 | 4.26E-05 | 3.54E-05 | 4.55E-05 | 3.70E-05 |
| คาร์บอนมอนอกไซด์ | kg | 3.09E-05 | 2.54E-05 | 2.10E-05 | 1.74E-05 | 2.24E-05 | 1.82E-05 |
| ไฮโดรคาร์บอน | kg | 5.89E-06 | 4.85E-06 | 4.00E-06 | 3.32E-06 | 4.27E-06 | 3.48E-06 |
| มลพิษทางน้ำ | | | | | | | |
| ไนเตรท | kg | 5.68E-07 | 4.67E-07 | 1.28E-05 | 1.06E-05 | 1.92E-05 | 1.56E-05 |
| ฟอสเฟต | kg | 1.09E-07 | 8.94E-08 | 2.77E-05 | 2.31E-05 | 1.87E-05 | 1.52E-05 |

หมายเหตุ

กรณีศึกษาที่ 1-6 แทนการผลิตพลังงานชีวภาพดังต่อไปนี้

กรณีศึกษาที่ 1 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ (แปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย)

กรณีศึกษาที่ 2 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ และมูลวัว (แปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย)

กรณีศึกษาที่ 3 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ (แปลงที่ใส่เฉพาะปุ๋ยคอก)

กรณีศึกษาที่ 4 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ และมูลวัว (แปลงที่ใส่เฉพาะปุ๋ยคอก)

กรณีศึกษาที่ 5 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ (แปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี)

กรณีศึกษาที่ 6 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ และมูลวัว (แปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี)

2) กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

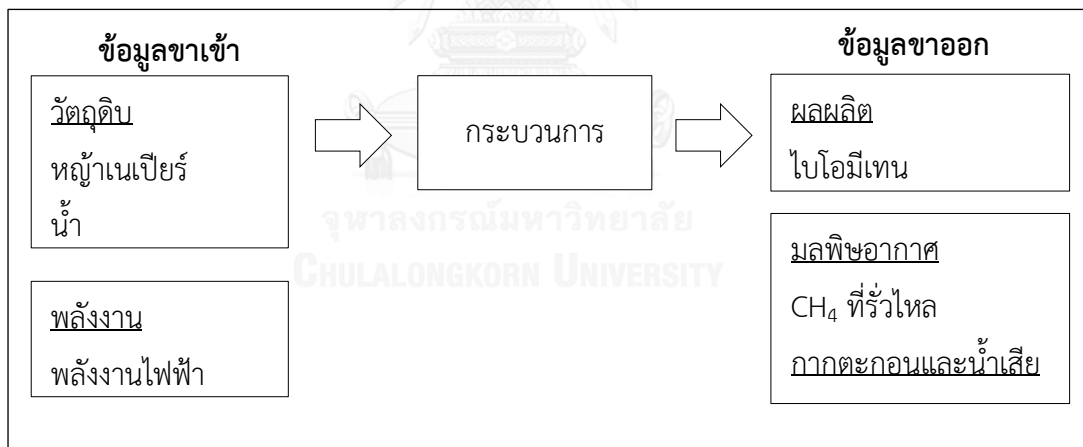
ขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพนี้ประกอบด้วยขั้นตอนการผลิตและขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของก๊าซชีวภาพ ซึ่งในส่วนนี้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิเป็นหลัก โดยรวบรวมจากงานวิจัยต่างๆทั้งในประเทศและต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน พบว่าการผลิตก๊าซชีวภาพจะนิยมใช้ระบบหมักไร้อากาศแบบสองขั้นตอนและรูปแบบของถังปฏิกริยาไร้อากาศที่ได้รับความนิยมคือระบบกวนสมบูรณ์ (CSTR) เนื่องจากการออกแบบระบบและวิธีดำเนินการไม่ยุ่งยากซับซ้อน ระบบสามารถรองรับของเสียที่มีของแข็งสูงได้ อีกทั้งยังมีระบบกวนผสมเพื่อให้วัตถุดิบและจุลินทรีย์มีการสัมผัสกันมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์นั้นดีขึ้น (Murphy และคณะ, 2011) รายละเอียดของการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพแสดงดังตารางที่ 4-8 และก่อนที่จะส่งก๊าซชีวภาพไปยังโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า ก๊าซชีวภาพเหล่านี้จะต้องผ่านระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซให้เป็นก๊าซสะอาดและแห้ง โดยต้องกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) และไอน้ำ ออกจากก๊าซชีวภาพ เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับเครื่องจักรในโรงงานผลิตไฟฟ้า ซึ่งก๊าซชีวภาพก่อนเข้าระบบปรับปรุงคุณภาพจะมีสัดส่วนมีเทนอยู่ที่ประมาณร้อยละ 50 (Janejadkarn และคณะ, 2014) เมื่อผ่านขั้นตอนปรับปรุงคุณภาพแล้วสัดส่วนของมีเทนจะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 97 โดยจะเรียกก๊าซชีวภาพเหล่านี้ว่าไบโอมีเทน (Biomethane) ในการผลิตก๊าซชีวภาพพบว่าการรั่วไหลของก๊าซเกิดขึ้นประมาณร้อยละ 1.5 (Lijó และคณะ, 2014) โดยข้อมูลการผลิตและอุปกรณ์ที่ใช้ในโรงงานได้อ้างอิงจากงานวิจัย (Buratti และคณะ, 2013; Gerlach, 2012)

ตารางที่ 4-8 รายละเอียดของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

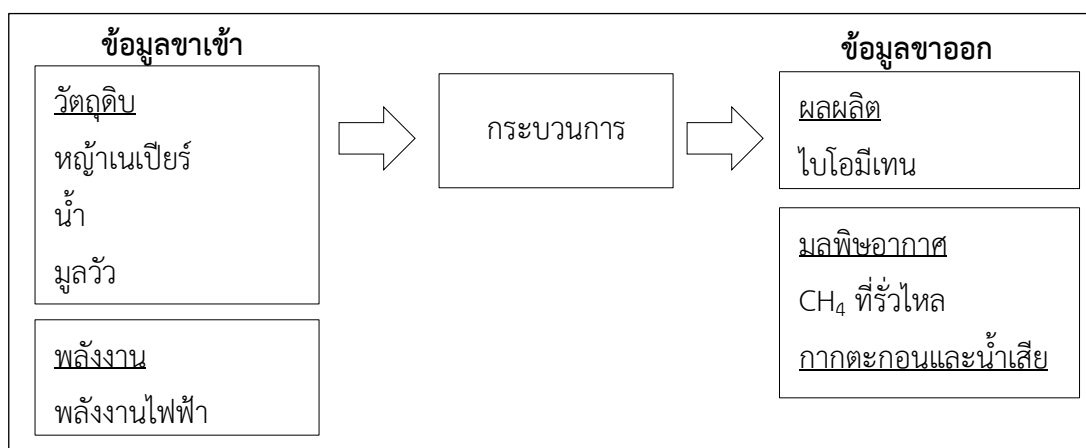
| รายการ | ปริมาณ | อ้างอิง |
|---------------------------------------|----------------------|---------------------------|
| ระยะเวลาดำเนินงาน | 330 วัน/ปี | กระทรวงพลังงาน (2556) |
| ความต้องการแข็งระเหยง่ายเข้าระบบ | 31.58 ตันVS/วัน | กระทรวงพลังงาน (2556) |
| วัตถุดิบหญ้า | 140-200 ตัน/วัน | จากการคำนวณ |
| วัตถุดิบมูลวัว | 60 ตัน/วัน | จากการคำนวณ |
| อัตราการเวียนน้ำ | 200 ตัน/วัน | จากการคำนวณ |
| การย่อยสลายของของแข็งระเหยได้ | ร้อยละ 60 | Nizami และคณะ (2009) |
| อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ | 529 ลบ.ม./ตันVS | Janejadkarn และคณะ (2014) |
| อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของมูลวัว | 250 ลบ.ม./ตันVS | Blengini และคณะ (2011) |
| สัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพ | ร้อยละ 50 โดยปริมาตร | กระทรวงพลังงาน (2556) |

อุปกรณ์ที่ใช้ในส่วนของการผลิตประกอบด้วยเครื่องมือที่ใช้ในการลำเลียงได้แก่ สายพานลำเลียง เครื่องบด และ ป้อนส่งวัตถุดิบ เครื่องมือที่ใช้ในการกวนผสม และเครื่องมืออื่นๆได้แก่ เครื่องคัดแยกของแข็ง-ของเหลว และปั๊มน้ำ (Al Seadi และคณะ, 2008) ซึ่งอุปกรณ์ภายในโรงงานเหล่านี้จะใช้ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากขั้นตอนการผลิตพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ส่วนขั้นตอนการปรับปรุงก๊าซชีวภาพประกอบไปด้วย การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยวิธีการ High-pressure water scrubbing การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยวิธีการ Bioscrubber desulphurization และการกำจัดความชื้นด้วยวิธีการ Heat Exchanger (Starr และคณะ, 2012) และเศษที่เหลือจากระบบหมักไร้อากาศจะถูกส่งไปยังเครื่องคัดแยกของแข็ง-ของเหลว โดยกากของแข็งที่ได้จะนำไปตากที่ลานตากตะกอนและน้ำเสียที่ได้ส่วนหนึ่งจะถูกเวียนกลับไปยังถังปฏิกิริยาในขั้นตอนแรก (กระทรวงพลังงาน, 2556) และน้ำเสียในส่วนที่เหลือจะถูกเก็บไว้ในถังที่ปิดมิดชิดเพื่อนำไปใช้เป็นปุ๋ยน้ำต่อไป

วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพคือ หญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 และน้ำจากระบบสาหร่ายบิโอบีโอสารณะ ซึ่งในกรณีศึกษาที่ 2 4 และ 6 จะใช้มูลวัวหมักร่วมกับหญ้าเนเปียร์ในอัตราส่วน หญ้าเนเปียร์ต่อมูลวัว คือ 70 ต่อ 30 บัญชีรายการมวลสารและพลังงานของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพแสดงดังรูปที่ 4-16 4-17 และตารางที่ 4-9



รูปที่ 4-16 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์



รูปที่ 4-17 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์และมูลวัว

ตารางที่ 4-9 บัญชีรายการมวลสารในการผลิตก๊าซชีวภาพต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า 1 เมกะจูล

| รายการ | หน่วย | ปริมาณบัญชีรายการต่อไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 เมกะจูล | | | | | |
|------------------------------|----------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | กรณีที่ 1 | กรณีที่ 2 | กรณีที่ 3 | กรณีที่ 4 | กรณีที่ 5 | กรณีที่ 6 |
| บัญชีรายการขาเข้า | | | | | | | |
| หญ้าเนเปียร์ | ton | 0.00192 | 0.00158 | 0.00192 | 0.00160 | 0.00206 | 0.00168 |
| มูลวัว | ton | - | 6.77E-04 | - | 6.84E-04 | - | 7.19E-04 |
| น้ำ | ton | 1.59E-05 | 1.87E-05 | 1.59E-05 | 1.89E-05 | 1.71E-05 | 1.99E-05 |
| พลังงานไฟฟ้า | kWh | 0.01930 | 0.02270 | 0.01930 | 0.02291 | 0.02072 | 0.02410 |
| บัญชีรายการขาออก | | | | | | | |
| ไบโอมีเทน | m ³ | 0.08249 | 0.08346 | 0.08249 | 0.08352 | 0.08289 | 0.08386 |
| เศษที่เหลือจากการหมัก | | | | | | | |
| กากของแข็ง | ton | 7.21E-04 | 8.94E-04 | 6.97E-04 | 8.82E-04 | 7.10E-04 | 8.97E-04 |
| น้ำเสีย | ton | 9.67E-04 | 1.14E-03 | 9.93E-04 | 1.17E-03 | 1.11E-03 | 1.27E-03 |
| มลพิษ | | | | | | | |
| มีเทน | kg | 8.54E-04 | 8.63E-04 | 8.54E-04 | 8.63E-04 | 8.58E-04 | 8.67E-04 |

หมายเหตุ

กรณีศึกษาที่ 1-6 แทนการผลิตพลังงานชีวภาพดังต่อไปนี้

กรณีศึกษาที่ 1 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ (แปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย)

กรณีศึกษาที่ 2 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ และมูลวัว (แปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย)

กรณีศึกษาที่ 3 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ (แปลงที่ใส่เฉพาะปุ๋ยคอก)

กรณีศึกษาที่ 4 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ และมูลวัว (แปลงที่ใส่เฉพาะปุ๋ยคอก)

กรณีศึกษาที่ 5 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ (แปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี)

กรณีศึกษาที่ 6 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ และมูลวัว (แปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี)

3) การจัดการของเสีย

ข้อมูลในส่วนของการจัดการของเสียจะได้จากการคำนวณและการอ้างอิงข้อมูลทุติยภูมิ โดยของเสียที่เหลือจากการผลิตก๊าซชีวภาพจะถูกส่งไปที่เครื่องคัดแยกของแข็ง-ของเหลว ส่วนที่เป็นกากตะกอนจะถูกส่งไปยังลานตากตะกอนฐานทราย (Sand drying bed) เพื่อลดความชื้นก่อนที่จะขนส่งไปยังแปลงปลูกหญ้าเนเปียร์เพื่อใช้เป็นปุ๋ยหรือวัสดุปรับสภาพดิน (Soil conditioner) (Bacenetti และคณะ, 2014) การใช้ลานตากตะกอนจะช่วยให้ปริมาตรของกากตะกอนลดลง สัดส่วนของแข็งเพิ่มขึ้นเป็นประมาณร้อยละ 65 (Rehl และคณะ, 2011) ทำให้สะดวกในการขนย้าย อีกทั้งยังเป็นวิธีที่ไม่ต้องใช้เครื่องจักร ดูแลควบคุมง่าย มีราคาถูก แต่ใช้พื้นที่มาก และในส่วนของน้ำเสียที่แยกออกมาส่วนหนึ่งจะถูกเวียนกลับไปยังถังปฏิกิริยาขั้นแรกของระบบหมักแบบไร้อากาศในอัตรา 200 ตัน/วัน และน้ำเสียส่วนเกินจะถูกเก็บไว้ในถังที่ปิดมิดชิดเพื่อนำไปใช้เป็นปุ๋ยน้ำต่อไป โดยวัตถุประสงค์ของกระบวนการนี้คือของเสียที่เหลือจากการหมักก๊าซชีวภาพและผลผลิตที่ได้คือปุ๋ยหรือวัสดุปรับสภาพดิน บัญชีรายการมวลสารและพลังงานของการจัดการของเสียแสดงดังรูปที่ 4-18 และตารางที่ 4-10



รูปที่ 4-18 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของขั้นตอนการจัดการของเสีย

ตารางที่ 4-10 บัญชีรายการมวลสารในการจัดการของเสียต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า 1 เมกะจูล

| รายการ | หน่วย | ปริมาณบัญชีรายการต่อไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 เมกะจูล | | | | | |
|---------------------------------|-------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | กรณีที่ 1 | กรณีที่ 2 | กรณีที่ 3 | กรณีที่ 4 | กรณีที่ 5 | กรณีที่ 6 |
| บัญชีรายการขาเข้า | | | | | | | |
| กากของแข็ง | ton | 0.00072 | 0.00089 | 0.00070 | 0.00088 | 0.00071 | 0.00090 |
| น้ำเสีย | ton | 0.00097 | 0.00114 | 0.00099 | 0.00117 | 0.00111 | 0.00127 |
| พลังงานไฟฟ้า | kWh | 0.00123 | 0.00144 | 0.00124 | 0.00147 | 0.00136 | 0.00157 |
| บัญชีรายการขาออก | | | | | | | |
| วัสดุปรับปรุงสภาพดิน | ton | 2.78E-04 | 3.44E-04 | 2.68E-04 | 3.40E-04 | 2.74E-04 | 3.45E-04 |
| เศษที่เหลือจากเครื่องแยก | | | | | | | |
| น้ำเสีย | ton | 0.00097 | 0.00113 | 0.00099 | 0.00117 | 0.00111 | 0.00127 |
| มลพิษ | | | | | | | |
| มีเทน | kg | 2.87E-06 | 3.37E-06 | 2.94E-06 | 3.47E-06 | 3.31E-06 | 3.77E-06 |
| ไนตรัสออกไซด์ | kg | 4.00E-08 | 4.70E-08 | 4.10E-08 | 4.83E-08 | 4.61E-08 | 5.25E-08 |
| แอมโมเนีย | kg | 1.01E-07 | 1.19E-07 | 1.04E-07 | 1.22E-07 | 1.16E-07 | 1.33E-07 |

หมายเหตุ

กรณีศึกษาที่ 1-6 แทนการผลิตพลังงานชีวภาพดังต่อไปนี้

กรณีศึกษาที่ 1 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ (แปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย)

กรณีศึกษาที่ 2 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ และมูลวัว (แปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย)

กรณีศึกษาที่ 3 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ (แปลงที่ใส่เฉพาะปุ๋ยคอก)

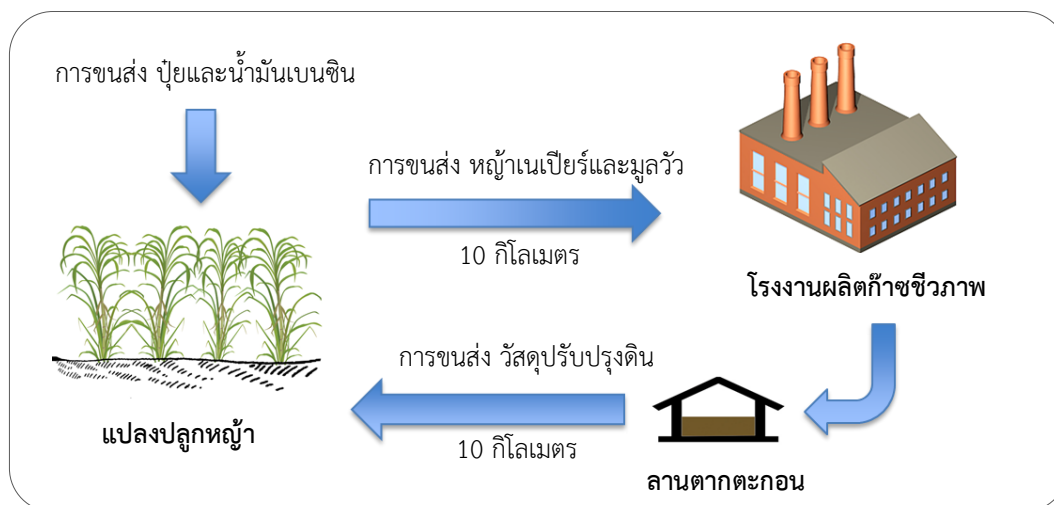
กรณีศึกษาที่ 4 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ และมูลวัว (แปลงที่ใส่เฉพาะปุ๋ยคอก)

กรณีศึกษาที่ 5 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ (แปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี)

กรณีศึกษาที่ 6 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ และมูลวัว (แปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี)

4) การขนส่ง

กระทรวงพลังงานได้กำหนดให้ระยะห่างระหว่างพื้นที่เพาะปลูกกับโรงงานผลิตก๊าซชีวภาพไม่ควรเกิน 10 กิโลเมตร (กระทรวงพลังงาน, 2556) เพื่อความสะดวกในการขนส่งวัตถุดิบ และเพื่อควบคุมค่าใช้จ่ายในการขนส่ง อีกทั้งยังสะดวกต่อการขนส่งกากตะกอนที่ได้จากการผลิตก๊าซชีวภาพหมุนเวียนกลับไปใช้ในแปลงปลูกหญ้าได้ด้วย ซึ่งการขนส่งทั้งหมดจะใช้รถบรรทุกสิบล้อขนาด 21 ตัน ในการขนส่ง รูปที่ 4-19 แสดงขั้นตอนการขนส่งทั้งหมดของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ และตารางที่ 4-11 แสดงบัญชีรายการของการขนส่ง



รูปที่ 4-19 ขั้นตอนการขนส่งของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์

ตารางที่ 4-11 บัญชีรายการของมวลสารในการขนส่งต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า 1 เมกะจูล

| รายการ | หน่วย | ปริมาณบัญชีรายการต่อไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 เมกะจูล | | | | | |
|-----------------------|-------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | กรณีที่ 1 | กรณีที่ 2 | กรณีที่ 3 | กรณีที่ 4 | กรณีที่ 5 | กรณีที่ 6 |
| ขนส่งน้ำมันเบนซิน | tkm | 4.80E-06 | 3.95E-06 | 3.26E-06 | 2.71E-06 | 3.48E-06 | 2.83E-06 |
| ขนส่งปุ๋ย | tkm | - | - | 2.03E-03 | 1.69E-03 | 8.09E-04 | 6.59E-04 |
| ขนส่งหญ้าเนเปียร์ | tkm | 0.01920 | 0.01581 | 0.01920 | 0.01596 | 0.02061 | 0.01678 |
| ขนส่งหญ้ามูลวัว | tkm | - | 0.00677 | - | 0.00684 | - | 0.00719 |
| ขนส่งวัสดุปรับปรุงดิน | tkm | 0.00278 | 0.00344 | 0.00268 | 0.00340 | 0.00274 | 0.00345 |

หมายเหตุ

กรณีศึกษาที่ 1-6 แทนการผลิตพลังงานชีวภาพดังต่อไปนี้

กรณีศึกษาที่ 1 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ (แปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย)

กรณีศึกษาที่ 2 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ และมูลวัว (แปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย)

กรณีศึกษาที่ 3 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ (แปลงที่ใส่เฉพาะปุ๋ยคอก)

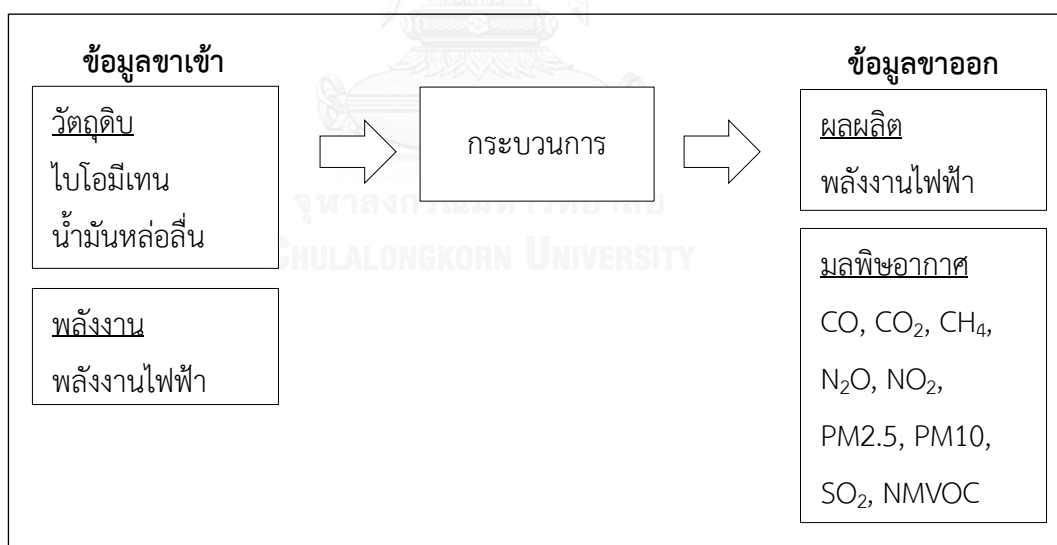
กรณีศึกษาที่ 4 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ และมูลวัว (แปลงที่ใส่เฉพาะปุ๋ยคอก)

กรณีศึกษาที่ 5 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ (แปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี)

กรณีศึกษาที่ 6 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ และมูลวัว (แปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี)

5) กระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้า

ข้อมูลในส่วนของกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพนั้นเป็นข้อมูลทุติยภูมิที่รวบรวมจากงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง (Blengini และคณะ, 2011) โดยก๊าซชีวภาพที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้วหรือไบโอมีเทนจะถูกส่งไปเผาในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม (Combined Heat And Power Generation, CHP) ขนาด 1 เมกะวัตต์ ซึ่งโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานสูงประมาณร้อยละ 42 (จิระ อาชายุทธการ และคณะ, 2550) โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจะมีการใช้ไฟฟ้าภายในโรงงานประมาณร้อยละ 10 ของปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ (กระทรวงพลังงาน, 2556) โดยวัตถุดิบของกระบวนการนี้ ได้แก่ ไบโอมีเทน และน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งก๊าซชีวภาพจะมีค่าปริมาณพลังงาน (Energy content) ประมาณ 37.78 เมกะจูล/ลูกบาศก์เมตร ที่ภาวะมาตรฐาน (Smyth และคณะ, 2009) และผลผลิตที่ได้คือ พลังงานไฟฟ้า ส่วนมลพิษต่างๆจะเกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง แต่ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาจากการเผาก๊าซชีวภาพนั้นจะไม่นำมาพิจารณาเพราะถือว่าการชดเชยคาร์บอนจากการใช้พืชพลังงานเป็นวัตถุดิบ (Carbon neutral) (Boulamanti และคณะ, 2013) ดังนั้นบัญชีรายการมวลสารและพลังงานของการผลิตพลังงานไฟฟ้าสามารถแสดงดังรูปที่ 4-20 และตารางที่ 4-12



รูปที่ 4-20 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า

ตารางที่ 4-12 บัญชีรายการมวลสารในการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า 1 เมกะจูล

| รายการ | หน่วย | ปริมาณบัญชีรายการต่อไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 เมกะจูล | | | | | |
|---|----------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | กรณีที่ 1 | กรณีที่ 2 | กรณีที่ 3 | กรณีที่ 4 | กรณีที่ 5 | กรณีที่ 6 |
| บัญชีรายการขาเข้า | | | | | | | |
| ไบโอมินเทน | m ³ | 0.08249 | 0.08346 | 0.08249 | 0.08352 | 0.08289 | 0.08386 |
| น้ำมันหล่อลื่น | kg | 1.70E-04 | 1.72E-04 | 1.69E-04 | 1.72E-04 | 1.71E-04 | 1.73E-04 |
| พลังงานไฟฟ้า | MJ | 0.11911 | 0.12051 | 0.11911 | 0.12060 | 0.11969 | 0.12109 |
| บัญชีรายการขาออก | | | | | | | |
| พลังงานไฟฟ้า | MJ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| มลพิษ | | | | | | | |
| คาร์บอนมอนอกไซด์ | kg | 8.08E-05 | 8.17E-05 | 8.01E-05 | 8.17E-05 | 8.12E-05 | 8.21E-05 |
| คาร์บอนไดออกไซด์ | kg | 3.72E-02 | 3.76E-02 | 3.68E-02 | 3.76E-02 | 3.74E-02 | 3.77E-02 |
| มีเทน | kg | 4.85E-05 | 4.90E-05 | 4.80E-05 | 4.90E-05 | 4.87E-05 | 4.92E-05 |
| ไนตรัสออกไซด์ | kg | 5.98E-07 | 6.04E-07 | 5.92E-07 | 6.05E-07 | 6.01E-07 | 6.07E-07 |
| ไนโตรเจนไดออกไซด์ | kg | 1.82E-05 | 1.84E-05 | 1.80E-05 | 1.84E-05 | 1.83E-05 | 1.85E-05 |
| ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน | kg | 7.60E-07 | 7.68E-07 | 7.53E-07 | 7.68E-07 | 7.64E-07 | 7.71E-07 |
| ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน | kg | 1.68E-06 | 1.70E-06 | 1.67E-06 | 1.70E-06 | 1.69E-06 | 1.71E-06 |
| ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ | kg | 5.44E-05 | 5.51E-05 | 5.39E-05 | 5.51E-05 | 5.47E-05 | 5.54E-05 |
| สารประกอบอินทรีย์ระเหยได้ที่ไม่ใช่มีเทน | kg | 1.62E-05 | 1.63E-05 | 1.60E-05 | 1.63E-05 | 1.62E-05 | 1.64E-05 |

หมายเหตุ

กรณีศึกษาที่ 1-6 แทนการผลิตพลังงานชีวภาพดังต่อไปนี้

กรณีศึกษาที่ 1 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ (แปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย)

กรณีศึกษาที่ 2 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ และมูลวัว (แปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย)

กรณีศึกษาที่ 3 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ (แปลงที่ใส่เฉพาะปุ๋ยคอก)

กรณีศึกษาที่ 4 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ และมูลวัว (แปลงที่ใส่เฉพาะปุ๋ยคอก)

กรณีศึกษาที่ 5 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ (แปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี)

กรณีศึกษาที่ 6 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ และมูลวัว (แปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี)

4.2.2 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยนี้ทำการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากถ่านหินเปิยร์ ขนาด 1 เมกะวัตต์ โดยใช้โปรแกรม SimaPro 7.3 คำนวณด้วยวิธี CML 2001 โดยทำการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้ง 6 ด้าน ได้แก่

- 1) ศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน
- 2) ศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปลดลง
- 3) ศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ
- 4) ศักยภาพในการก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ
- 5) ศักยภาพในการก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากปฏิกิริยาแสง-เคมี
- 6) ศักยภาพในการก่อให้เกิดการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ

1) การกำหนดบทบาท (Characterization)

การกำหนดบทบาทเป็นขั้นตอนที่นำข้อมูลปริมาณสารต่างๆที่ได้จากการทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม มาประเมินผลกระทบในเชิงปริมาณตามกลุ่มของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่สนใจ ทำให้ทราบได้ว่ากระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากถ่านหินเปิยร์นั้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละด้านอย่างไร ซึ่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้ง 6 ด้าน จะแสดงเป็นหน่วยต่างๆ ดังนี้

- 1) ศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global warming potential, GWP) มีหน่วยเป็น kg CO₂ eq หมายถึง ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุของปรากฏการณ์เรือนกระจก โดยสามารถประเมินได้จากการวัดหรือคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดที่เกิดขึ้นจริง และแปลงค่าให้อยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
- 2) ศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปลดลง (Abiotic depletion potential, ADP) มีหน่วยเป็น kg Sb eq หมายถึง ปริมาณแร่ธาตุหรือเชื้อเพลิงฟอสซิลหรือทรัพยากรธรรมชาติที่ไม่สามารถทดแทนได้ที่ถูกนำมาใช้ สามารถประเมินได้จากการวัดหรือการคำนวณ และแปลงค่าให้อยู่ในรูปของธาตุพลวงเทียบเท่า (Antimony)
- 3) ศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ (Acidification potential, AP) มีหน่วยเป็น kg SO₂ eq หมายถึง การเกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ จากการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และแอมโมเนีย ในบรรยากาศ และทำปฏิกิริยากับน้ำหรือไอน้ำจนเกิดการออกซิไดซ์กลายเป็นกรด ซึ่งการวัดจะแปลงค่าให้อยู่ในหน่วยของปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เทียบเท่า
- 4) ศักยภาพในการก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (Eutrophication potential, EP) มีหน่วยเป็น kg PO₄⁻⁻⁻ eq หมายถึง สภาวะที่แหล่งน้ำมีสารอาหาร

ประเภทไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมากเกินไป การประเมินสถานะนี้อ้างอิงเทียบกับปริมาณฟอสเฟต

- 5) ศักยภาพในการก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากปฏิกิริยาแสงเคมี (Photochemical oxidation potential, POP) มีหน่วยเป็น kg C₂H₄ eq หมายถึง การเกิดมลสารทางอากาศเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันจากแสงเคมี ซึ่งมลสารที่เกิดขึ้นจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และระบบนิเวศ โดยการประเมินสถานะนี้ใช้เอทิลีน (Ethylene) เป็นหน่วยอ้างอิง
- 6) ศักยภาพในการก่อให้เกิดการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone layer depletion potential, ODP) มีหน่วยเป็น kg CFC⁻¹¹ eq หมายถึง การที่โอโซนในชั้นบรรยากาศถูกทำลายเนื่องจากการปล่อยสารประกอบเคมีโดยเฉพาะสารคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs) และโบรมีน ซึ่งเป็นสารประกอบสังเคราะห์ที่มีความเสถียรสูง การประเมินจะอ้างอิงเทียบกับปริมาณ CFC⁻¹¹

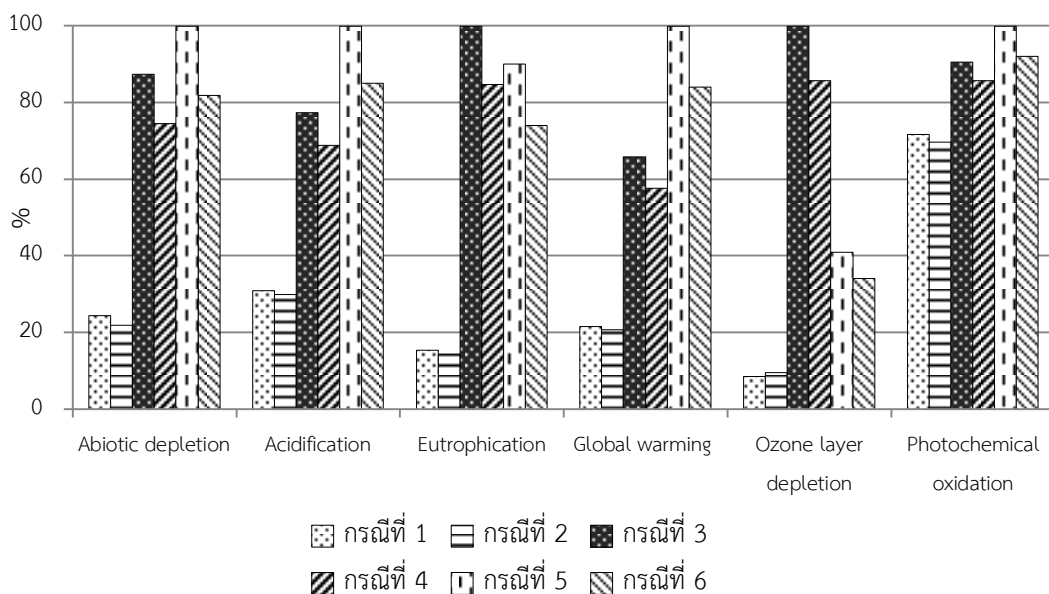
2) การจัดกลุ่มและเทียบหน่วย (Normalization)

การจัดกลุ่มและเทียบหน่วยเป็นการแสดงให้เห็นว่ากลุ่มผลกระทบแต่ละกลุ่มมีความสำคัญต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมโดยรวมอยู่ในระดับใด ซึ่งจะช่วยตัดประเด็นปัญหาที่ต้องพิจารณาไปได้ในกรณีที่กลุ่มผลกระทบนั้นมีความสำคัญน้อยเมื่อเทียบกับปัญหาสิ่งแวดล้อมโดยรวม แต่การจัดกลุ่มและเทียบหน่วยนั้นไม่ได้คำนึงถึงความสำคัญหรือความรุนแรงของผลกระทบแต่ละกลุ่ม โดยจะถือว่าทุกผลกระทบมีความสำคัญเท่ากันหมด คำนวณโดยใช้ค่าอ้างอิง (Normalization value) ที่แต่ละประเทศจัดทำขึ้นเอง ไม่มีค่าเป็นสากล ซึ่งในวิธี CML 2001 จะใช้ค่า Normalization value ที่ได้จากการอ้างอิงในช่วงเวลาที่กำหนด คือ ในระดับโลก ปี 1990

4.2.3 การแปลผลการศึกษา

จากการทำบัญชีรายการมวลสารและพลังงานในแต่ละขั้นตอนของการผลิตพลังงานไฟฟ้า และการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ด้วยโปรแกรม SimaPro 7.3 คำนวณด้วยวิธี CML 2001 โดยผลการประเมินที่ได้จะถูกนำมาแปลผลเพื่อที่จะเปรียบเทียบและอภิปรายถึงศักยภาพในการเกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม รวมถึงระบุกระบวนการสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละกลุ่มและเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงแก้ไข โดยผลการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากห้วยน้ำเปี้ยวที่หน่วยการทำงาน 1 เมกะจูล ในขั้นตอนจำแนกกลุ่มผลกระทบและกำหนดบทบาทแสดงดังตารางที่ 4-13 และรูปที่ 4-21

เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 6 กรณีศึกษา โดยผลการเปรียบเทียบแสดงดังรูปที่ 4-21 จะเห็นได้ว่ากรณีศึกษาที่ 5 การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ (แปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี) ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดใน 4 ผลกระทบจากทั้งหมด 6 ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปลดลง ศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ ศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน และศักยภาพในการก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากปฏิกิริยาแสง-เคมี ส่วนศักยภาพในการก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ และศักยภาพในการก่อให้เกิดการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศนั้นจะมีค่าสูงที่สุดในกรณีศึกษาที่ 3 (แปลงที่ใส่เฉพาะปุ๋ยคอก) ขณะที่กรณีศึกษาที่ 1 และ 2 (วัตถุดิบหญ้าเนเปียร์จากแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย) นั้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดในทุกด้าน โดยกรณีศึกษาที่ใช้มูลวัวหมักร่วมกับหญ้าเนเปียร์กรณีศึกษาที่ 2 4 และ 6 จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาที่ใช้เฉพาะหญ้าเนเปียร์เพียงอย่างเดียวคือกรณีศึกษาที่ 1 3 และ 5 ตามลำดับ เนื่องจากการใช้มูลวัวนั้นจะไม่พิจารณาถึงการได้มาของวัตถุดิบเพราะถือว่าเป็นการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ แต่ต้องพิจารณาในส่วนของ การขนส่งมูลวัวที่เพิ่มขึ้นมา ซึ่งการนำมูลวัวมาหมักร่วมกับหญ้านั้นจะช่วยลดปริมาณการใช้วัตถุดิบหญ้าเนเปียร์ลงจึงทำให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในส่วนของกระบวนการปลูกหญ้าต่อหน่วยงานทำงานลดลงตามไปด้วย โดยรายละเอียดของผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ต่อหน่วยงานทำงาน 1 เมกะจูล แสดงดังตารางที่ 4-13



รูปที่ 4-21 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกรณีศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์

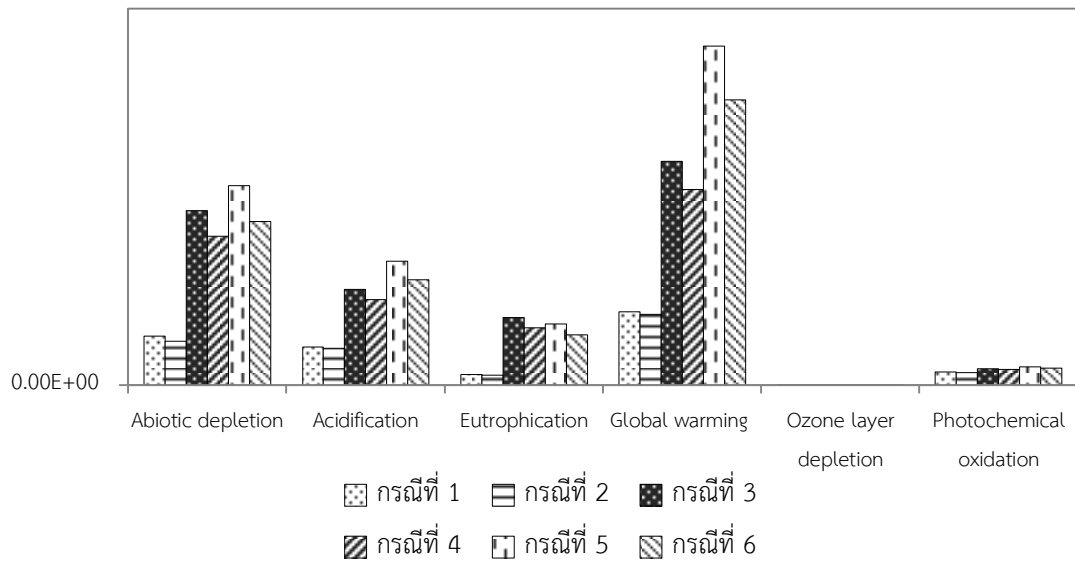
ตารางที่ 4-13 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินเปียกต่อไฟฟ้า 1 เมกะจูล

| ผลกระทบ | หน่วย | กรณีที่ 1 | กรณีที่ 2 | กรณีที่ 3 | กรณีที่ 4 | กรณีที่ 5 | กรณีที่ 6 |
|---------|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ADP | kg Sb eq | 8.18E-05 | 7.37E-05 | 2.93E-04 | 2.50E-04 | 3.35E-04 | 2.75E-04 |
| AP | kg SO ₂ eq | 1.32E-04 | 1.27E-04 | 3.29E-04 | 2.93E-04 | 4.25E-04 | 3.62E-04 |
| EP | kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eq | 1.47E-05 | 1.37E-05 | 9.53E-05 | 8.08E-05 | 8.59E-05 | 7.07E-05 |
| GWP | kg CO ₂ eq | 0.03437 | 0.03313 | 0.10462 | 0.09163 | 0.15882 | 0.13365 |
| ODP | kg CFC ⁻¹¹ eq | 4.80E-10 | 5.42E-10 | 5.61E-09 | 4.81E-09 | 2.30E-09 | 1.92E-09 |
| POP | kg C ₂ H ₄ eq | 1.44E-05 | 1.40E-05 | 1.82E-05 | 1.72E-05 | 2.01E-05 | 1.85E-05 |

หมายเหตุ

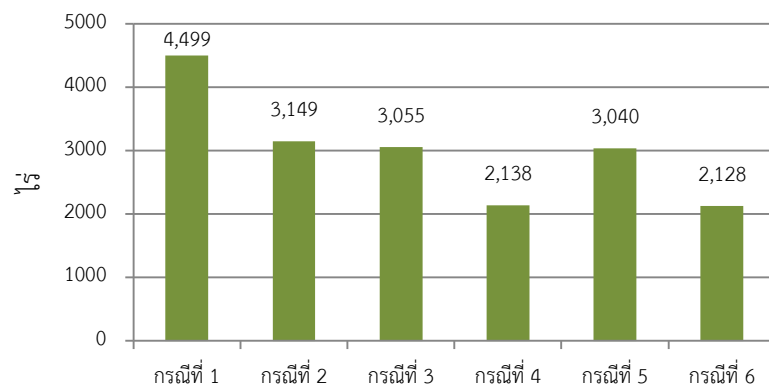
- กรณีศึกษาที่ 1-6 แทนการผลิตพลังงานชีวภาพดังต่อไปนี้
 - กรณีศึกษาที่ 1 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากถ่านหินเปียก (แปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย)
 - กรณีศึกษาที่ 2 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากถ่านหินเปียก และมูลวัว (แปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย)
 - กรณีศึกษาที่ 3 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากถ่านหินเปียก (แปลงที่ใส่เฉพาะปุ๋ยคอก)
 - กรณีศึกษาที่ 4 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากถ่านหินเปียก และมูลวัว (แปลงที่ใส่เฉพาะปุ๋ยคอก)
 - กรณีศึกษาที่ 5 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากถ่านหินเปียก (แปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี)
 - กรณีศึกษาที่ 6 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากถ่านหินเปียก และมูลวัว (แปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี)
- ตัวย่อแทนผลกระทบสิ่งแวดล้อมดังต่อไปนี้
 - ADP : ศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปลดลง
 - AP : ศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ
 - EP : ศักยภาพในการก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ
 - GWP : ศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน
 - ODP : ศักยภาพในการก่อให้เกิดการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ
 - POP : ศักยภาพในการก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากปฏิกิริยาแสง-เคมี

จากการจัดกลุ่มและเทียบหน่วย (Normalization) ของการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินเปียกทั้ง 6 กรณีศึกษา ดังรูปที่ 4-22 พบว่ากลุ่มผลกระทบที่มีความสำคัญต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเมื่อเทียบกับปัญหาสิ่งแวดล้อมโดยรวมคือ ศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน รองลงมาคือ ศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปลดลง ศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ และศักยภาพในการก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ ตามลำดับ ส่วนผลกระทบที่มีความสำคัญน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับปัญหาสิ่งแวดล้อมโดยรวมคือ ศักยภาพในการก่อให้เกิดการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ โดยรายละเอียดของการประเมินในแต่ละผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจะแสดงในส่วนต่อไป



รูปที่ 4-22 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการจัดกลุ่มและเทียบหน่วย(Normalization)

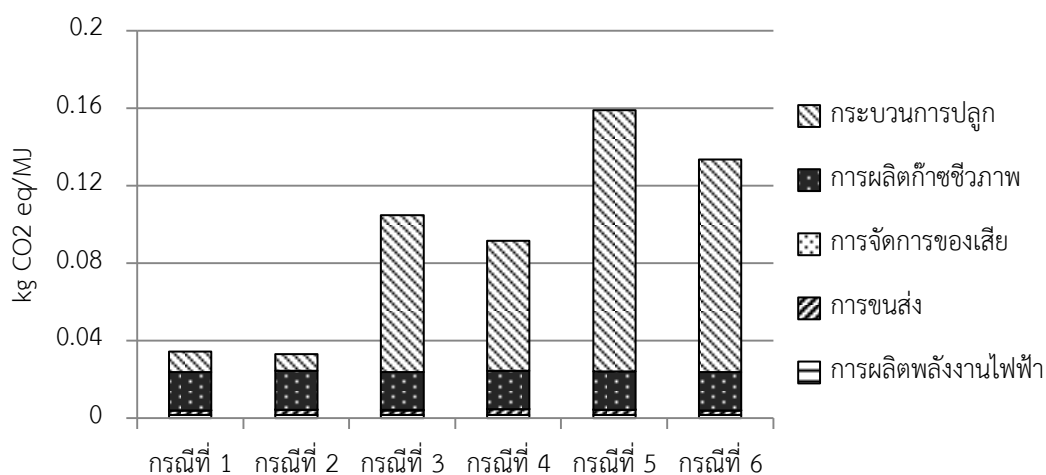
และเมื่อเปรียบเทียบในด้านผลผลิตน้ำหนักรวมของหญ้าเนเปียร์ทั้งสามแปลง รวมถึงความต้องการใช้พื้นที่ในการปลูกหญ้าเนเปียร์เพื่อผลิตไฟฟ้า พบว่ากรณีศึกษาที่ 1 และ 2 (ใช้หญ้าจากแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย) ให้ผลผลิตน้ำหนักรวมของหญ้าเนเปียร์น้อยที่สุด (ตารางที่ 4-6) จึงทำให้มีความต้องการใช้พื้นที่ในการเพาะปลูกสูง ส่วนกรณีศึกษาที่ 3 4 5 และ 6 เป็นแปลงที่มีการใส่ปุ๋ยในขั้นตอนการปลูกหญ้าทำให้ผลผลิตน้ำหนักรวมของหญ้าเนเปียร์ที่ได้มีค่าสูงกว่ากรณีศึกษาที่ 1 และ 2 และยังส่งผลให้มีความต้องการใช้พื้นที่ในการเพาะปลูกที่ต่ำกว่า ดังรูปที่ 4-23 แสดงขนาดของพื้นที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ (ไร่) ที่เพียงพอต่อการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าขนาด 1 เมกะวัตต์ของแต่ละกรณีศึกษา และจากการวิเคราะห์ผลในหัวข้อที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ว่า กรณีศึกษาที่ 1 และ 2 ส่งผลกระทบท่อสิ่งแวดล้อมต่ำที่สุดในทุกประเภท แต่ต้องใช้พื้นที่ในการปลูกหญ้าสูงกว่ากรณีศึกษาอื่นประมาณ 1.5 เท่า ซึ่งการใช้พื้นที่ที่ใหญ่ขึ้นอาจทำให้เกษตรกรต้องมีค่าใช้จ่ายที่มากขึ้น เช่น ค่าที่ดิน ค่าดูแลรักษา เป็นต้น



รูปที่ 4-23 ขนาดของพื้นที่เพาะปลูกหญ้าเนเปียร์ที่เหมาะสมของแต่ละกรณีศึกษา

1) ศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน

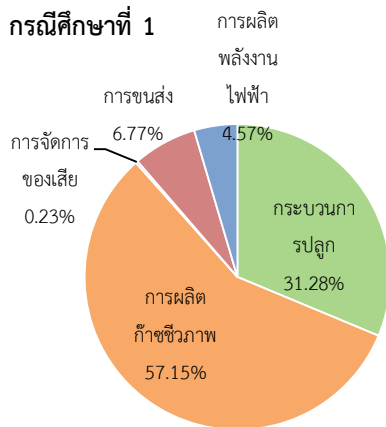
การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในด้าน การก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนแสดงได้ดังรูปที่ 4-24 โดยแยกตามกระบวนการหลักในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากถ่านหินเปียร์ ได้แก่ กระบวนการปลูก การผลิตก๊าซชีวภาพ การจัดการของเสีย การขนส่ง และการผลิตพลังงานไฟฟ้า



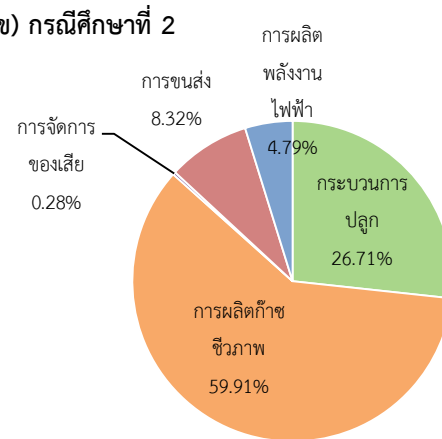
รูปที่ 4-24 เปรียบเทียบศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน

จากข้อมูลข้างต้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนในแต่ละกระบวนการ จะเห็นว่ากระบวนการที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเกิดจากกระบวนการปลูก (ในกรณีศึกษาที่ 3 4 5 และ 6) รองลงมาคือกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ แต่ในกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 กระบวนการที่มีปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดกลับเป็นกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 ไม่มีการใช้ปุ๋ยในการปลูกหญ้าจึงทำให้กระบวนการปลูกมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำกว่า สัดส่วนของค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของแต่ละกรณีแสดงดังรูปที่ 4-25

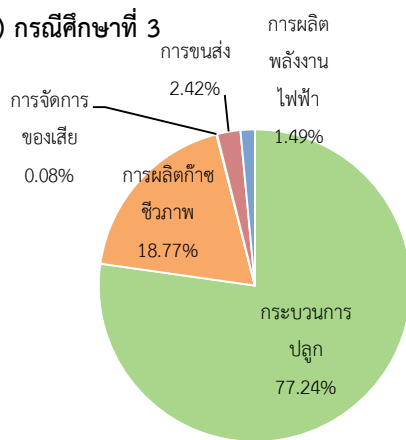
(ก) กรณีศึกษาที่ 1



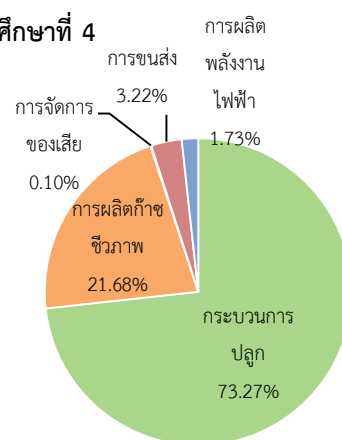
(ข) กรณีศึกษาที่ 2



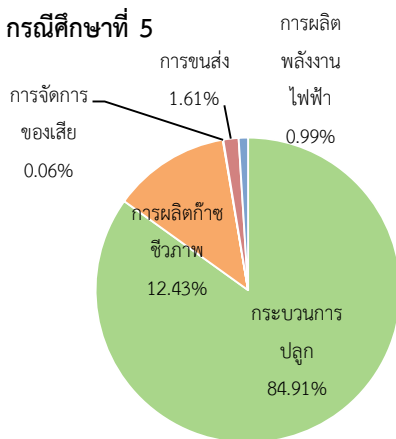
(ค) กรณีศึกษาที่ 3



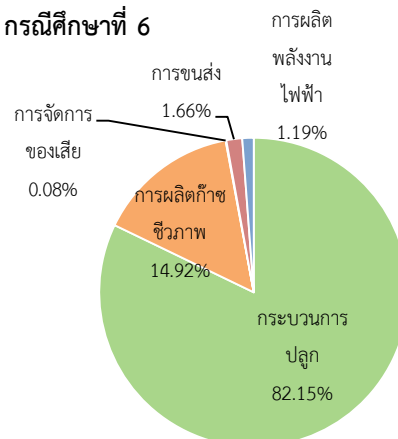
(ง) กรณีศึกษาที่ 4



(จ) กรณีศึกษาที่ 5



(ฉ) กรณีศึกษาที่ 6



รูปที่ 4-25 สัดส่วนของค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน โดยแยกเป็นกระบวนการ

กรณีศึกษาที่ 1 และ 2 เป็นกรณีศึกษาที่มีของค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนต่ำที่สุด ซึ่งทั้งสองกรณีมีส่วนของค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนในแต่ละกระบวนการที่คล้ายกัน โดยกระบวนการที่มีปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเกิดจากขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่า 0.01964 และ 0.01985 kg CO₂ eq/MJ หรือคิดเป็นร้อยละ 57.15 และ 59.91 ตามลำดับ สาเหตุหลักเกิดจากการรั่วไหลของก๊าซชีวภาพในระหว่างการผลิต รองลงมาคือกระบวนการปลูกประมาณร้อยละ 31.28 และ 26.71 ตามลำดับ สาเหตุหลักของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกคือการใช้ น้ำมันเบนซินในเครื่องตัดหญ้า โดยกระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดคือขั้นตอนการจัดการของเสีย และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 จะเห็นได้ว่าการใช้มูลวัวหมักร่วมกับหญ้าเนเปียร์ในกรณีศึกษาที่ 2 สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณร้อยละ 3.61 เนื่องจากการใช้มูลวัวนั้นจะไม่พิจารณาถึงการได้มาของวัตถุดิบเพราะถือว่าเป็นการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ อีกทั้งการนำมูลวัวมาหมักร่วมกับหญ้าจะช่วยลดปริมาณการใช้วัตถุดิบหญ้าเนเปียร์ลงจึงทำให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในส่วนของการปลูกหญ้าต่อหน่วยงานทำงานลดลงตามไปด้วย

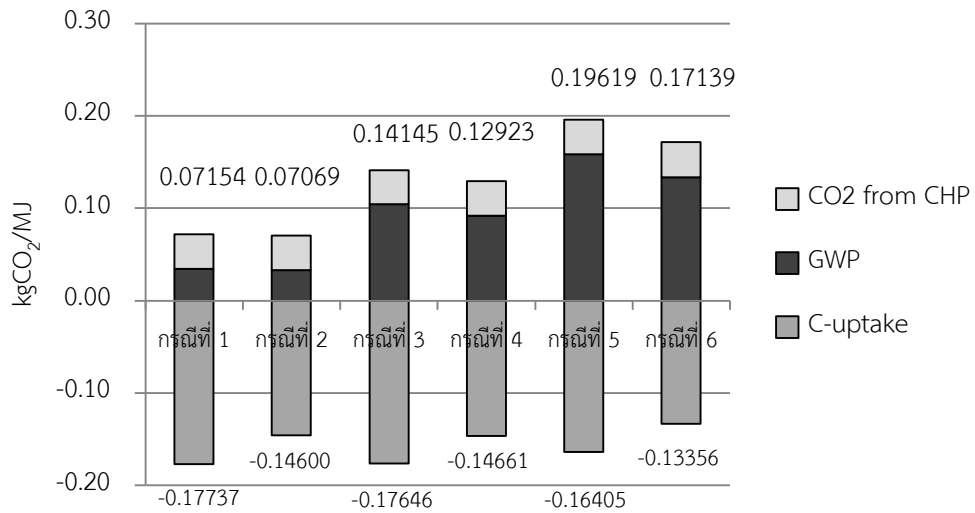
กรณีศึกษาที่ 3 และ 4 เป็นกรณีศึกษาที่ใช้หญ้าเนเปียร์จากแปลงปลูกที่มีการใส่ปุ๋ยคอก จึงส่งผลให้ขั้นตอนการปลูกเป็นขั้นตอนที่มีปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ 0.08081 และ 0.06714 kg CO₂ eq/MJ หรือคิดเป็นร้อยละ 77.24 และ 73.27 ตามลำดับ โดยสาเหตุหลักนั้นเกิดจากการใช้ปุ๋ยคอกทั้งการได้มาของวัตถุดิบปุ๋ยและการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากการใช้ปุ๋ย รองลงมาได้แก่ขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพมีส่วนอยู่ที่ร้อยละ 18.77 และ 21.68 ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุหลักเกิดจากการรั่วไหลของก๊าซชีวภาพในระหว่างการผลิตเช่นเดียวกับสองกรณีแรก และกระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดคือขั้นตอนการจัดการของเสีย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีศึกษาที่ 3 และ 4 จะเห็นได้ว่าการใช้มูลวัวหมักร่วมกับหญ้าเนเปียร์ของกรณีศึกษาที่ 4 สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณร้อยละ 12.42 เช่นเดียวกับกรณีศึกษาที่ 2

กรณีศึกษาที่ 5 และ 6 เป็นกรณีศึกษาที่มีค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนสูงที่สุด เนื่องจากกรณีศึกษานี้ใช้วัตถุดิบหญ้าเนเปียร์จากแปลงปลูกที่มีการใส่ทั้งปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี จึงทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด และส่งผลให้ขั้นตอนในการปลูกเป็นขั้นตอนที่มีปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ 0.13486 และ 0.10979 kg CO₂ eq/MJ หรือคิดเป็นร้อยละ 84.91 และ 82.15 ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุหลักเกิดจากการได้มาของปุ๋ยไนโตรเจนและปุ๋ยคอก รวมถึงการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากการใช้ปุ๋ยภายในแปลงทั้งหมด รองลงมาได้แก่ขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีส่วนอยู่ที่ร้อยละ 12.43 และ 14.92 ตามลำดับ สาเหตุหลักเกิดจากการรั่วไหลของก๊าซชีวภาพในระหว่างการผลิตเช่นเดียวกันกับกรณีศึกษาอื่น และกระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดคือขั้นตอนการจัดการของเสีย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีศึกษาที่ 5 และ 6 พบว่าการใช้มูลวัวหมักร่วมกับ

หญ้าเนเปียร์ของกรณีศึกษาที่ 6 จะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณร้อยละ 15.85 เช่นเดียวกับกรณีศึกษาที่ 2 และ 4

เมื่อเปรียบเทียบกรณีศึกษาที่ใช้วัตถุดิบหญ้าเนเปียร์จากแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย แปลงที่ใส่เฉพาะปุ๋ยคอก และแปลงที่ใส่ทั้งปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีพบว่า การผลิตไฟฟ้าโดยใช้วัตถุดิบหญ้าเนเปียร์จากแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย (กรณีศึกษาที่ 1) สามารถลดผลกระทบได้มากถึงร้อยละ 78.36 เมื่อเทียบกับแปลงที่ใส่ทั้งปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี (กรณีศึกษาที่ 5) และการผลิตไฟฟ้าโดยใช้วัตถุดิบหญ้าเนเปียร์จากแปลงที่ใส่เฉพาะปุ๋ยคอก (กรณีศึกษาที่ 3) สามารถลดผลกระทบที่เกิดขึ้นได้ประมาณร้อยละ 34.13 เมื่อเทียบกับแปลงที่ใส่ทั้งปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี (กรณีศึกษาที่ 5)

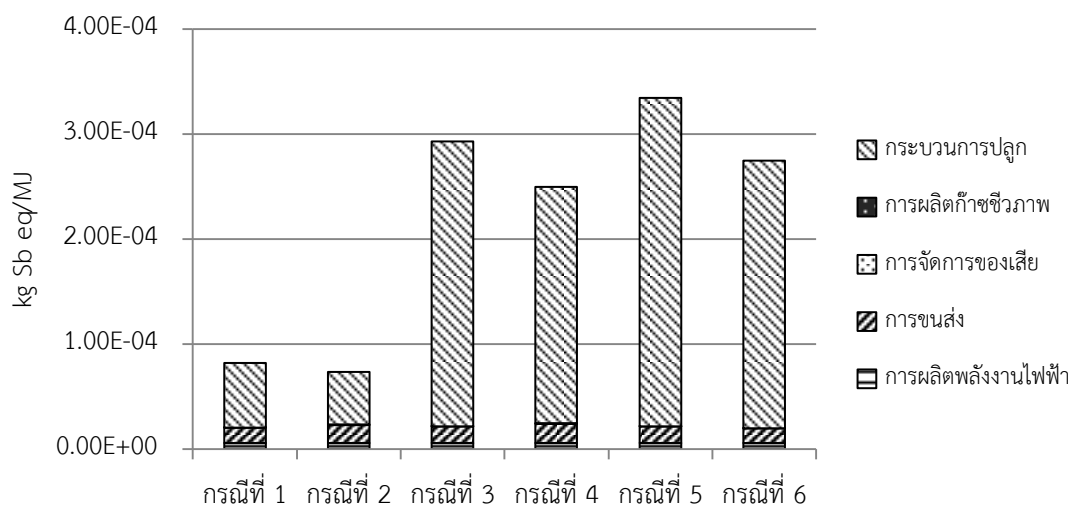
โดยในงานวิจัยนี้ได้คำนวณคาร์บอนสะสมในพืช (CO_2 -uptake) ในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อพลังงานไฟฟ้า 1 เมกะจูล และคำนวณหักลบกับค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาก๊าซชีวภาพในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม (CO_2 from CHP) ที่ไม่ถูกพิจารณาในตอนแรกเนื่องจากถือว่าเป็นการชดเชยคาร์บอนจากการใช้พืชพลังงานเป็นวัตถุดิบ (Carbon neutral) รูปที่ 4-26 แสดงการเปรียบเทียบค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนกับปริมาณคาร์บอนสะสมในพืช ซึ่งพบว่าค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนสุทธิเท่ากับ -0.10582 -0.07531 -0.03501 -0.01738 0.03214 และ 0.03783 $\text{kgCO}_2\text{eq/MJ}$ ในกรณีศึกษาที่ 1 ถึง 6 ตามลำดับ ซึ่งในกรณีศึกษาที่ 1 ถึง 4 มีค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนสุทธิเป็นลบ แสดงว่าระบบผลิตพลังงานชีวภาพนี้ส่งผลในเชิงบวกต่อศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน หมายความว่าระบบผลิตพลังงานชีวภาพในกรณีศึกษาที่ 1 ถึง 4 เกิดการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาสะสมในพืชมากกว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากทุกขั้นตอนในการผลิตพลังงานไฟฟ้า จึงสามารถชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดได้ โดยผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Blengini และคณะ (2011) ที่ได้ทำการประเมินการสะสมคาร์บอนในพืช และพบว่าหญ้ามีสแคนท์มีการสะสมคาร์บอนในพืชสูงสุด จึงทำให้มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยสุด 0.042 $\text{kgCO}_2\text{eq/MJ}$ และงานวิจัยของ Lijo และคณะ (2014) พบว่าระบบผลิตพลังงานชีวภาพจากพืชพลังงานมีค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนเป็นลบ แสดงว่าการปลูกพืชพลังงานสามารถทำให้เกิดการชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้



รูปที่ 4-26 ค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนสะสมในพืช

2) ศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปลดลง

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในด้านการทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปลดลง ดังรูปที่ 4-16 ซึ่งแยกตามกระบวนการหลักในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ ได้แก่ กระบวนการปลูก การผลิตก๊าซชีวภาพ การจัดการของเสีย การขนส่ง และการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยสัดส่วนของค่าศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปลดลงแยกเป็นกระบวนการแสดง ดังรูปที่ 4-27

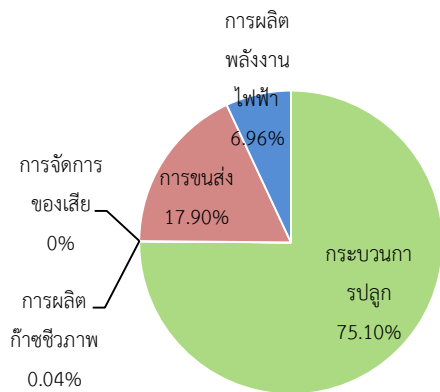


รูปที่ 4-27 เปรียบเทียบศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปลดลง

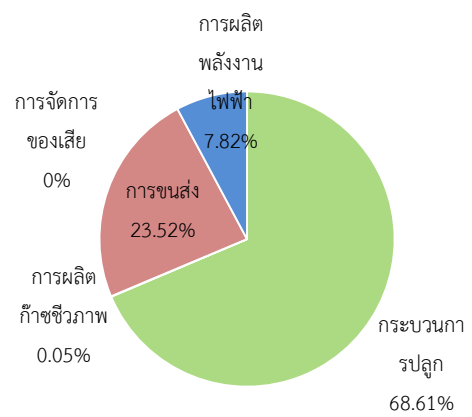
จากข้อมูลข้างต้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปลดลงในแต่ละกระบวนการ จะเห็นได้ว่ากระบวนการที่ทำให้เกิดผลกระทบมากที่สุดของทั้ง 6 กรณีศึกษาคือ ขั้นตอนการปลูกหญ้าเนเปียร์ และจากรูปที่ 4-28 สัดส่วนของค่าผลกระทบจากขั้นตอนการปลูกของกรณีศึกษาที่ 1 ถึง 6 ประมาณร้อยละ 75.10 68.61 92.63 90.25 93.48 และ 92.81 ตามลำดับ โดยสาเหตุหลักเกิดจากการใช้ปุ๋ยประเภทต่างๆและมลพิษที่เกิดจากการใช้น้ำมันเบนซินในเครื่องตัดหญ้า รองลงมาคือการขนส่ง ซึ่งเกิดจากการใช้ทรัพยากรจำพวกเชื้อเพลิงฟอสซิล และรองลงมาคือการผลิตพลังงานไฟฟ้า ส่วนกระบวนการที่ส่งผลกระทบน้อยที่สุดคือ การผลิตก๊าซชีวภาพและการจัดการของเสียที่เกิดขึ้น โดยการที่กรณีศึกษาที่ 1 และ 2 จะส่งผลกระทบน้อยที่สุดเนื่องจากไม่มีการใช้ปุ๋ยในกระบวนการปลูกหญ้า ทำให้สามารถลดผลกระทบได้ถึงร้อยละ 75.58 และ 78 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรณีศึกษาที่ 5 ที่มีการใส่ทั้งปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีในแปลงปลูกหญ้า



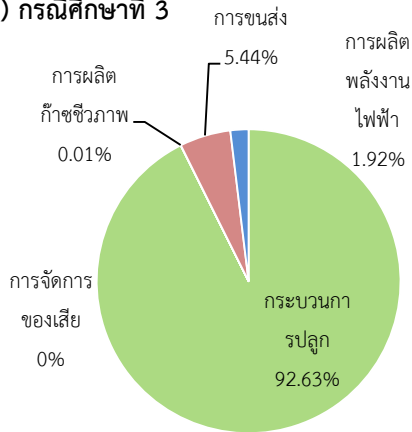
(ก) กรณีศึกษาที่ 1



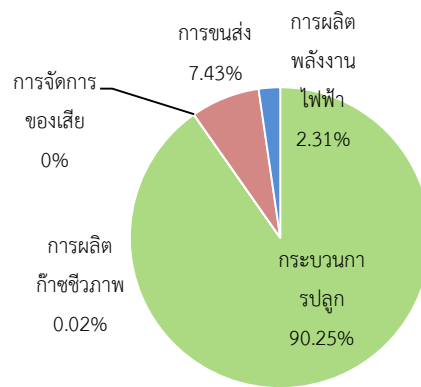
(ข) กรณีศึกษาที่ 2



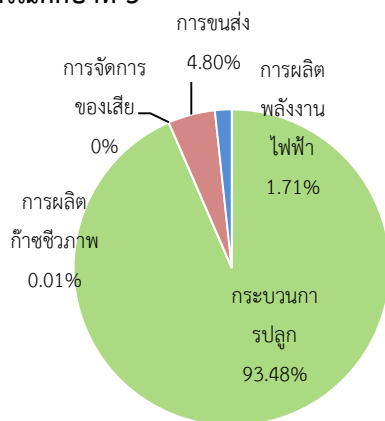
(ค) กรณีศึกษาที่ 3



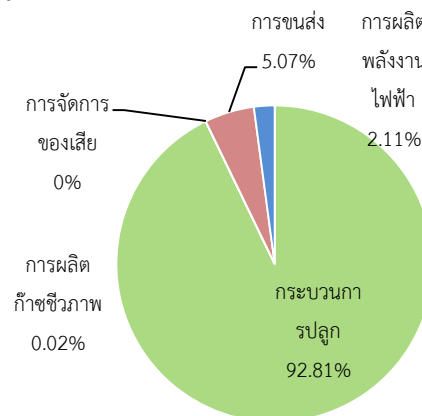
(ง) กรณีศึกษาที่ 4



(จ) กรณีศึกษาที่ 5



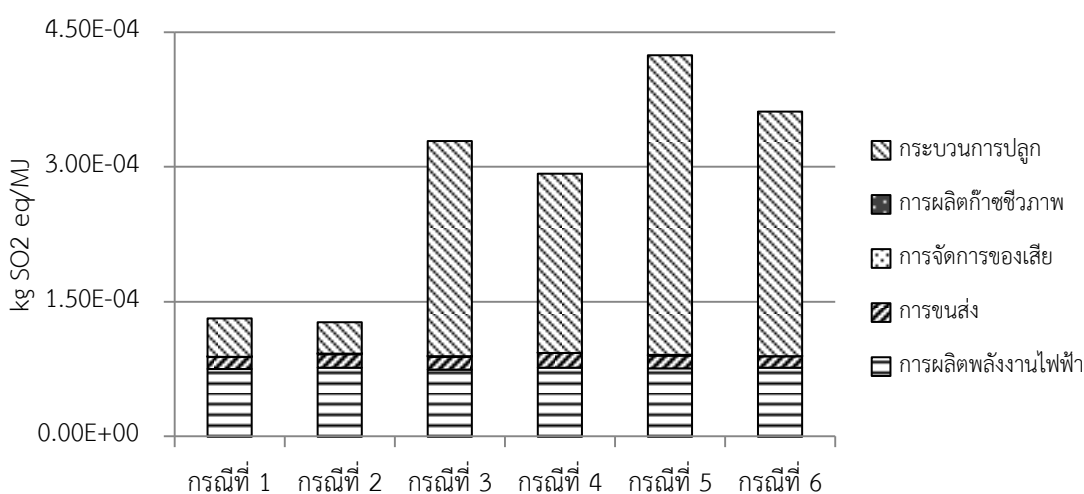
(ฉ) กรณีศึกษาที่ 6



รูปที่ 4-28 สัดส่วนของค่าศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปลดลง โดยแยกเป็นกระบวนการ

3) ศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ

ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในด้าน การก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ ดังรูปที่ 4-29 โดยแยกตามกระบวนการหลักในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากถ่านหินได้แก่ กระบวนการปลุก การผลิตก๊าซชีวภาพ การจัดการของเสีย การขนส่ง และการผลิตพลังงานไฟฟ้า และสัดส่วนของค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำของแต่ละกรณีแสดงดังรูปที่ 4-30

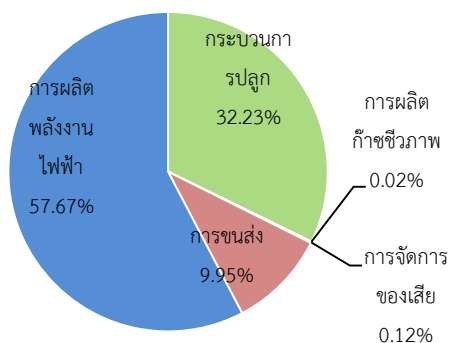


รูปที่ 4-29 เปรียบเทียบศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ แบบแยกเป็นกระบวนการ

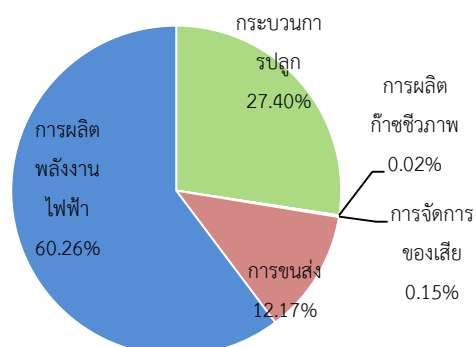
จากข้อมูลข้างต้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำของแต่ละกระบวนการ พบว่ากระบวนการหลักที่ส่งผลกระทบต่อมากที่สุดในการศึกษาที่ 1 และ 2 คือขั้นตอนการผลิตพลังงานไฟฟ้าประมาณร้อยละ 57.68 และ 60.26 ตามลำดับ รองลงมาคือขั้นตอนการปลุกและขั้นตอนการขนส่ง โดยในส่วนของขั้นตอนการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นสาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในโรงงาน ส่วนกระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อที่น้อยที่สุดคือ การผลิตก๊าซชีวภาพและการจัดการของเสีย

ในการศึกษาที่ 3 4 5 และ 6 กระบวนการหลักที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อมากที่สุดคือ กระบวนการปลุกถ่านหิน ซึ่งสาเหตุหลักเกิดจากการได้มาของวัตถุดิบทั้งปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี รวมถึงก๊าซแอมโมเนียที่เกิดขึ้นจากการใช้ปุ๋ย จึงทำให้การศึกษาที่ 3 4 5 และ 6 มีค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำสูง โดยเฉพาะกระบวนการปลุกที่มีสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 70 ของผลกระทบต่อทั้งหมด รองลงมาคือขั้นตอนการผลิตพลังงานไฟฟ้าและการขนส่ง ส่วนกระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อที่น้อยที่สุดคือ การผลิตก๊าซชีวภาพและการจัดการของเสียที่เกิดขึ้นเช่นเดียวกับกรณีศึกษาที่ 1 และ 2

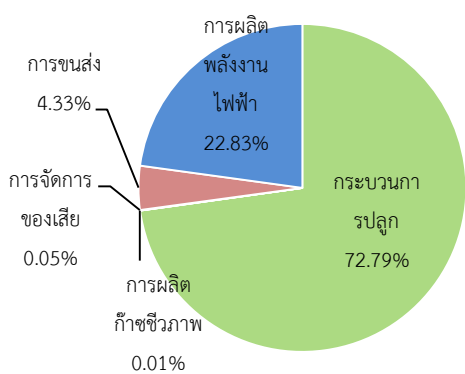
(ก) กรณีศึกษาที่ 1



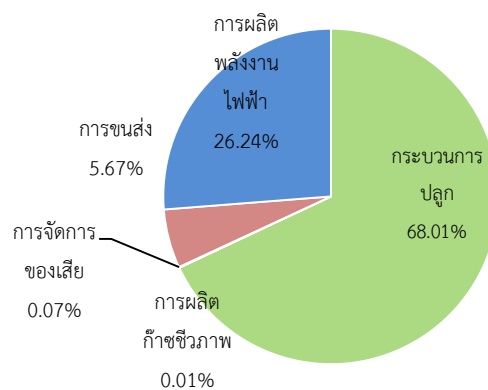
(ข) กรณีศึกษาที่ 2



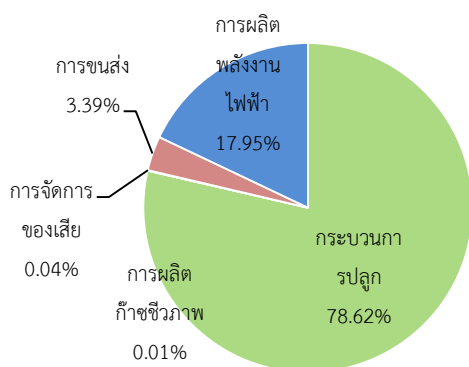
(ค) กรณีศึกษาที่ 3



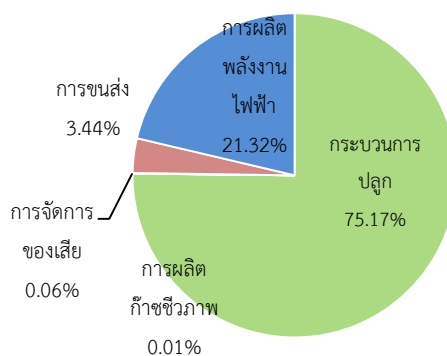
(ง) กรณีศึกษาที่ 4



(จ) กรณีศึกษาที่ 5



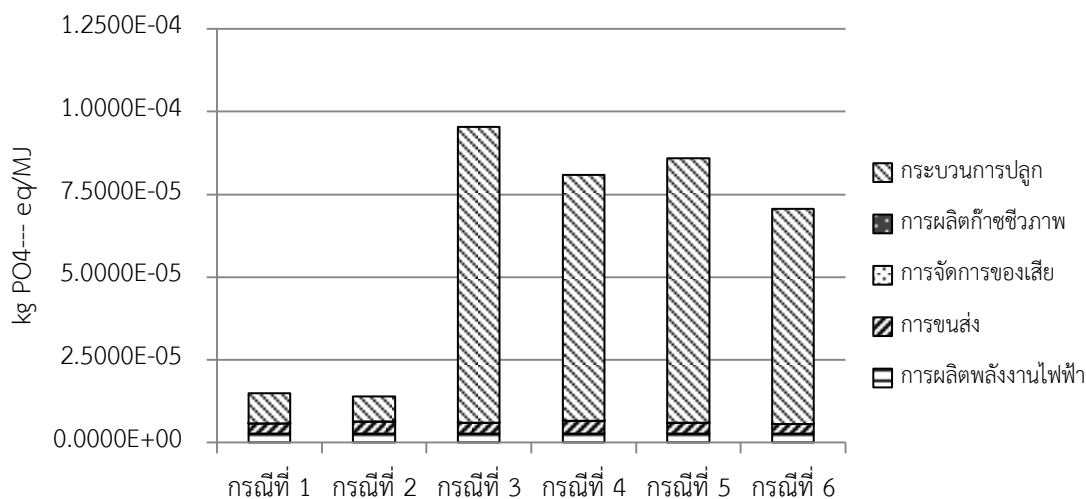
(ฉ) กรณีศึกษาที่ 6



รูปที่ 4-30 สัดส่วนของค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ โดยแยกเป็นกระบวนการ

4) ศักยภาพในการก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ

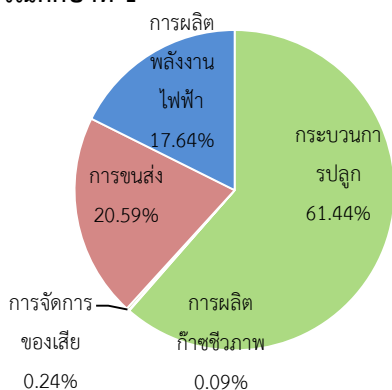
ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในด้านการก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำแสดงดังรูปที่ 4-31 โดยแยกตามกระบวนการหลักในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากถ่านหินเปียร์ ได้แก่ กระบวนการปลูก การผลิตก๊าซชีวภาพ การจัดการของเสีย การขนส่ง และการผลิตพลังงานไฟฟ้า และรายละเอียดของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละกรณีแสดงดังรูปที่ 4-32



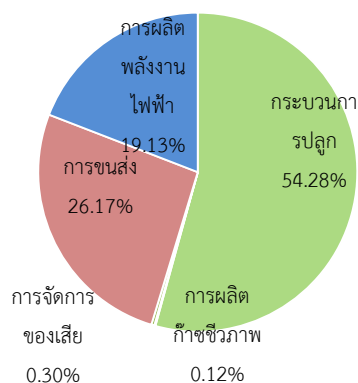
รูปที่ 4-31 เปรียบเทียบศักยภาพในการก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำแบบแยกเป็นกระบวนการ

จากข้อมูลข้างต้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบศักยภาพในการก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำในแต่ละกระบวนการ พบว่ากระบวนการหลักที่ส่งผลกระทบมากที่สุดเกิดจากกระบวนการปลูกถ่านหินเปียร์เหมือนกันทุกกรณีศึกษา ซึ่งสาเหตุหลักเกิดจากการใช้ปุ๋ย ทั้งจากการได้มาของวัตถุดิบและมลพิษที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยทั้งทางน้ำและทางอากาศ ได้แก่ แอมโมเนีย ไนโตรเจน ไดออกไซด์ ไนเตรท และฟอสเฟต รองลงมาคือการขนส่ง และการผลิตพลังงานไฟฟ้า ส่วนกระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดคือ การผลิตก๊าซชีวภาพและการจัดการของเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งกรณีที่ 3 (แปลงที่ใส่เฉพาะปุ๋ยคอก) เป็นกรณีศึกษาที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดและมากกว่ากรณีศึกษาที่ 5 ที่ใส่ทั้งปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี เนื่องจากปริมาณการใส่ปุ๋ยคอกในกรณีศึกษาที่ 3 นั้นมากกว่ากรณีศึกษาอื่น โดยผลกระทบส่วนใหญ่จะเกิดจากการได้มาของปุ๋ยคอกและการปล่อยมลพิษจากการใช้ปุ๋ย ส่วนกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 เป็นกรณีศึกษาที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดเนื่องจากไม่มีการใช้ปุ๋ยในขั้นตอนการปลูกถ่านหิน จากรูปที่ 4-30 กระบวนการปลูกถ่านหินของกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 จะส่งผลกระทบต่อปริมาณร้อยละ 62.01 และ 54.87 ตามลำดับ ส่วนในกรณีศึกษาที่ 3 4 5 และ 6 ที่มีการใช้ปุ๋ย จะส่งผลกระทบต่อ การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำในกระบวนการปลูกสูงถึงร้อยละ 90 ของผลกระทบทั้งหมด

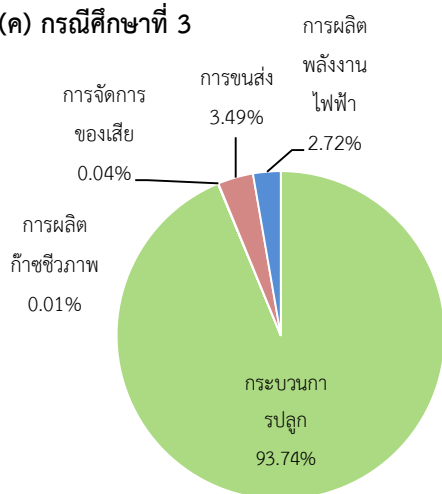
(ก) กรณีศึกษาที่ 1



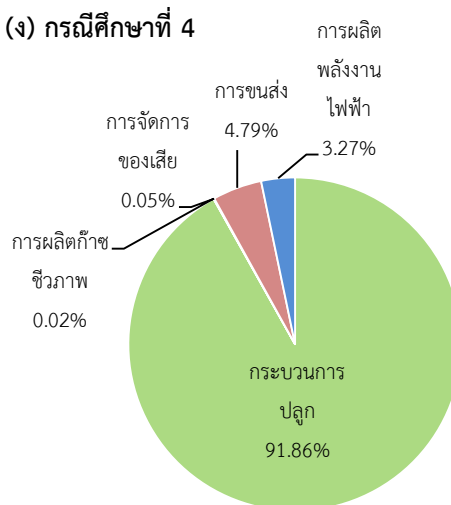
(ข) กรณีศึกษาที่ 2



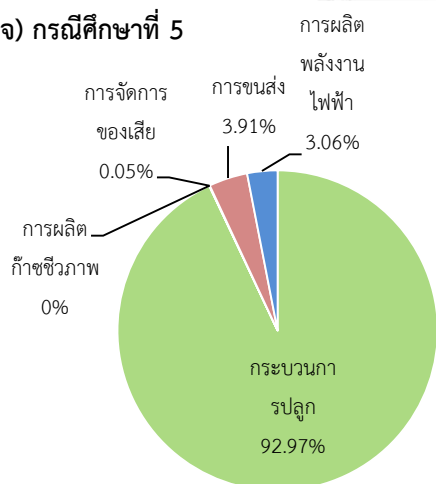
(ค) กรณีศึกษาที่ 3



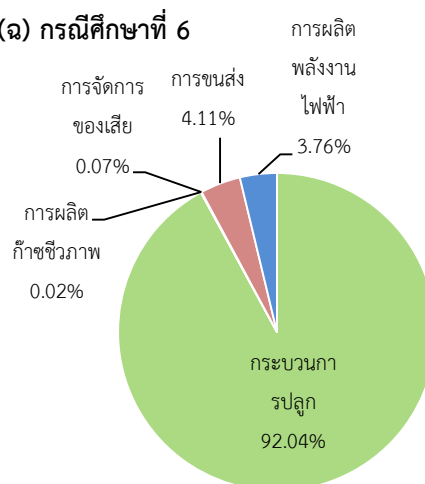
(ง) กรณีศึกษาที่ 4



(จ) กรณีศึกษาที่ 5



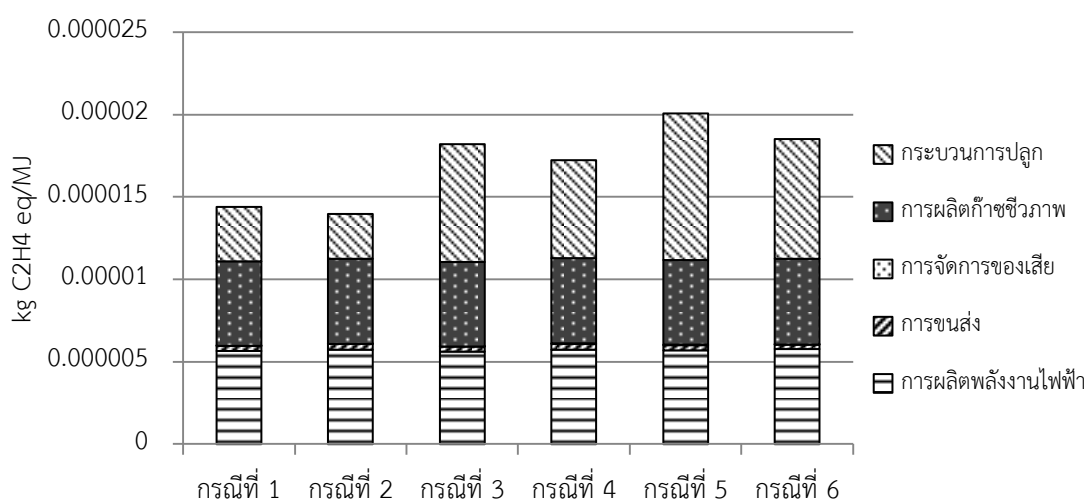
(ฉ) กรณีศึกษาที่ 6



รูปที่ 4-32 สัดส่วนของค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ โดยแยกเป็นกระบวนการ

5) ศักยภาพในการก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากปฏิกิริยาแสง-เคมี

ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในด้าน การก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากปฏิกิริยาแสง-เคมี ดังรูปที่ 4-33 โดยแยกตามกระบวนการหลักในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากถ่านหินเป็ียร์ ได้แก่ กระบวนการปลูก การผลิตก๊าซชีวภาพ การจัดการของเสีย การขนส่ง และการผลิตพลังงานไฟฟ้า และสัดส่วนของผลกระทบแยกเป็นกระบวนการของแต่ละกรณีศึกษา ดังรูปที่ 4-34

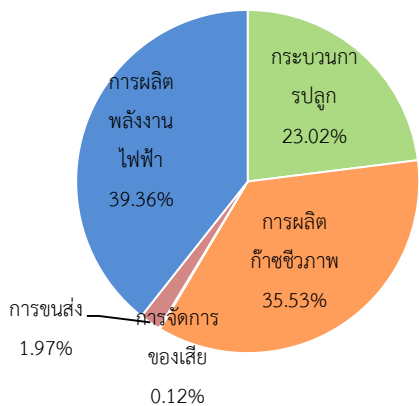


รูปที่ 4-33 เปรียบเทียบศักยภาพในการก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากปฏิกิริยาแสง-เคมีแบบแยกเป็นกระบวนการ

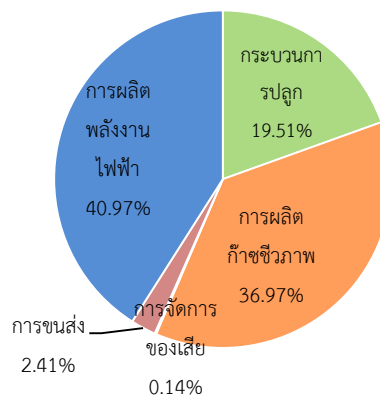
จากข้อมูลข้างต้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบศักยภาพในการก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากปฏิกิริยาแสง-เคมีในแต่ละกระบวนการ จะเห็นได้ว่ากระบวนการหลักที่ส่งผลกระทบมากที่สุดได้แก่ กระบวนการปลูก การผลิตพลังงานไฟฟ้า และการผลิตก๊าซชีวภาพ รองลงมาคือ การขนส่ง และการจัดการของเสีย ตามลำดับ ในกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 ผลกระทบส่วนใหญ่เกิดจากขั้นตอนการผลิตพลังงานไฟฟ้าประมาณร้อยละ 39.36 และ 40.97 ตามลำดับ รองลงมาคือขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพร้อยละ 35.53 และ 36.97 ตามลำดับ โดยทั้งสองกระบวนการมีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยมลพิษทางอากาศ ได้แก่ มีเทน คาร์บอนมอนอกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์ รองลงมาคือกระบวนการปลูก การขนส่ง และการจัดการของเสีย

กรณีศึกษาที่ 3 4 5 และ 6 ขั้นตอนที่ส่งผลกระทบด้านนี้มากที่สุดคือขั้นตอนการปลูกหญ้า โดยมีสัดส่วนอยู่ที่ร้อยละ 39.22 34.43 44.36 และ 39.20 ตามลำดับ สาเหตุหลักเกิดจากการได้มาของวัตถุดิบปุ๋ยที่ใช้ภายในแปลง ขั้นตอนที่ส่งผลกระทบรองลงมาคือขั้นตอนการผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อยโดยมีสัดส่วนอยู่ที่ร้อยละ 30.86 33.31 28.37 และ 31.13 ตามลำดับ และขั้นตอนต่อมาคือการผลิตก๊าซชีวภาพ การขนส่ง และการจัดการของเสีย ตามลำดับ

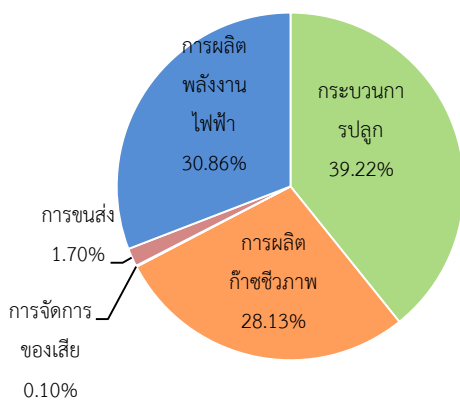
(ก) กรณีศึกษาที่ 1



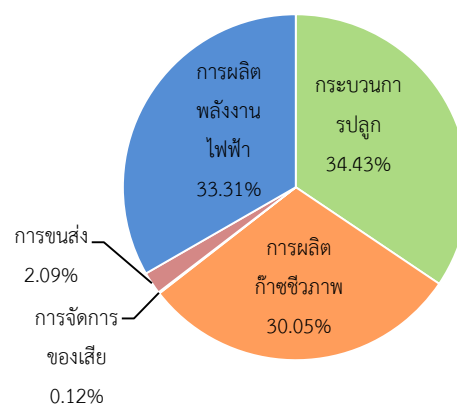
(ข) กรณีศึกษาที่ 2



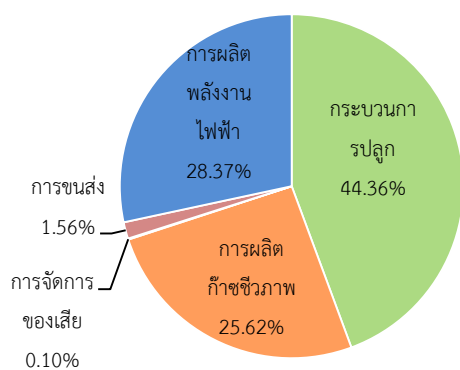
(ค) กรณีศึกษาที่ 3



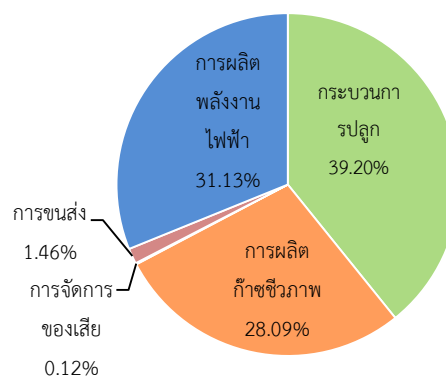
(ง) กรณีศึกษาที่ 4



(จ) กรณีศึกษาที่ 5



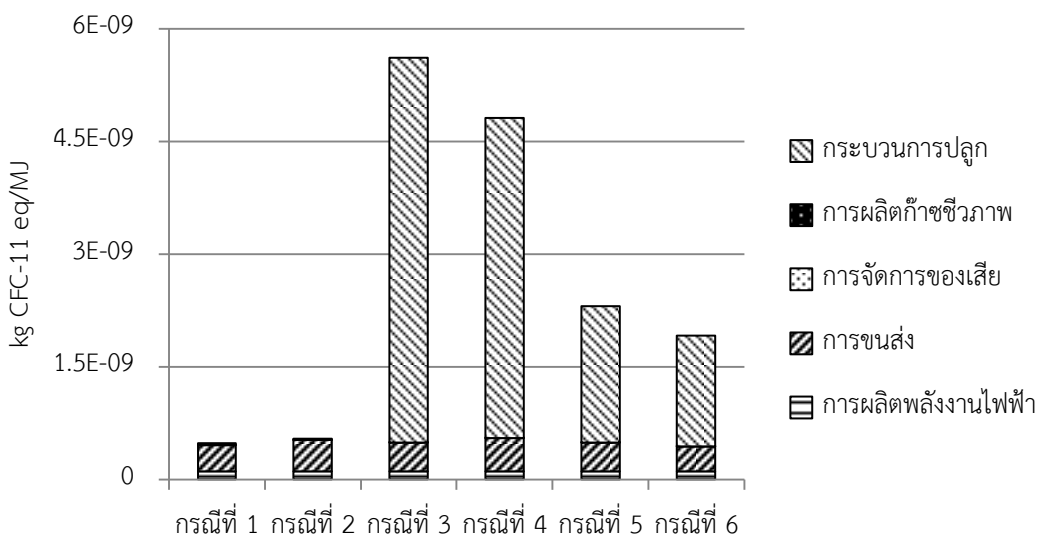
(ฉ) กรณีศึกษาที่ 6



รูปที่ 4-34 สัดส่วนของศักยภาพในการก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากปฏิกิริยาแสง-เคมี โดยแยกเป็นกระบวนการ

6) ศักยภาพในการก่อให้เกิดการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ

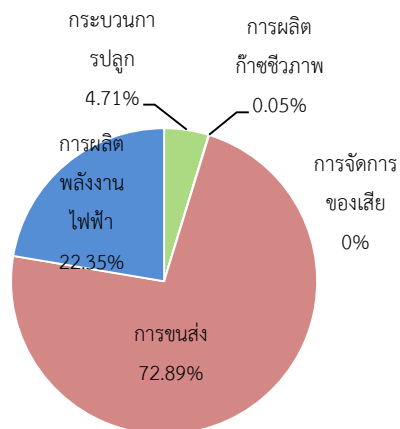
ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในด้านกรก่อให้เกิดการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ ดังรูปที่ 4-35 โดยแยกตามกระบวนการหลักในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากถ่านหินได้แก่ กระบวนการปลุก การผลิตก๊าซชีวภาพ การจัดการของเสีย การขนส่ง และการผลิตพลังงานไฟฟ้า และแต่ละส่วนของผลกระทบแยกเป็นกระบวนการของแต่ละกรณีศึกษาแสดงดังรูปที่ 4-36



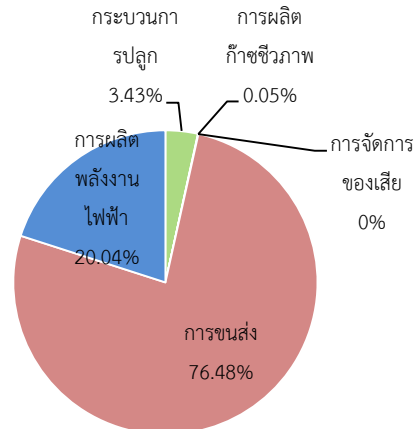
รูปที่ 4-35 เปรียบเทียบศักยภาพในการก่อให้เกิดการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ แบบแยกเป็นกระบวนการ

จากข้อมูลข้างต้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบศักยภาพในการก่อให้เกิดการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศในแต่ละกระบวนการ และการประเมินในขั้นตอนการจัดกลุ่มและเทียบหน่วย (Normalization) จะเห็นได้ว่าการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินนั้นส่งผลกระทบต่อในด้านนี้ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับปัญหาสิ่งแวดล้อมโดยรวม เนื่องจากระบบผลิตพลังงานนี้ไม่ได้ใช้สารประกอบสังเคราะห์ที่มีความเสถียรสูงในการผลิต ดังนั้นในกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 ขั้นตอนหลักที่ส่งผลกระทบต่อมากที่สุดคือการขนส่ง (ร้อยละ 72.89 และ 76.48 ตามลำดับ) รองลงมาคือการผลิตพลังงานไฟฟ้า ส่วนกรณีศึกษาที่ 3 4 5 และ 6 ขั้นตอนหลักที่ส่งผลกระทบต่อมากที่สุดคือการปลุกถ่านหิน (ร้อยละ 91.31 88.50 78.61 และ 76.93 ตามลำดับ) โดยสาเหตุหลักเกิดจากการได้มาของวัตถุดิบปุ๋ยคอก เพราะฉะนั้นกรณีที่ 3 และ 4 จึงมีศักยภาพในการก่อให้เกิดการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศสูงที่สุด เนื่องจากมีปริมาณการใช้ปุ๋ยคอกสูง โดยขั้นตอนที่ส่งผลกระทบต่อรองลงมาได้แก่การขนส่งและการผลิตพลังงานไฟฟ้า

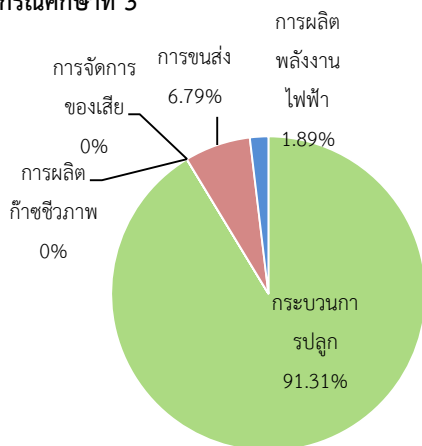
(ก) กรณีศึกษาที่ 1



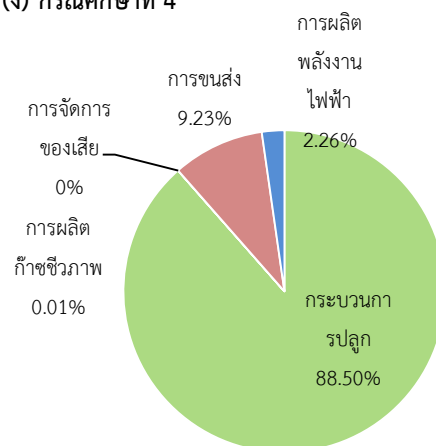
(ข) กรณีศึกษาที่ 2



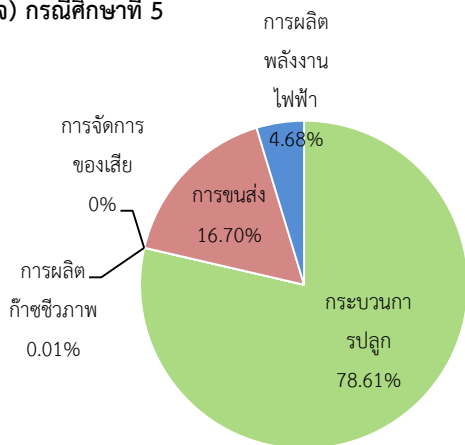
(ค) กรณีศึกษาที่ 3



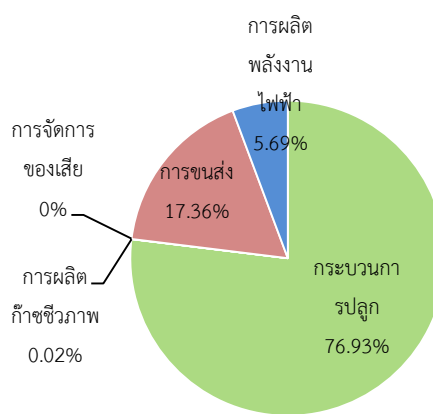
(ง) กรณีศึกษาที่ 4



(จ) กรณีศึกษาที่ 5



(ฉ) กรณีศึกษาที่ 6



รูปที่ 4-36 สัดส่วนของค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ โดยแยกเป็นกระทบกรร

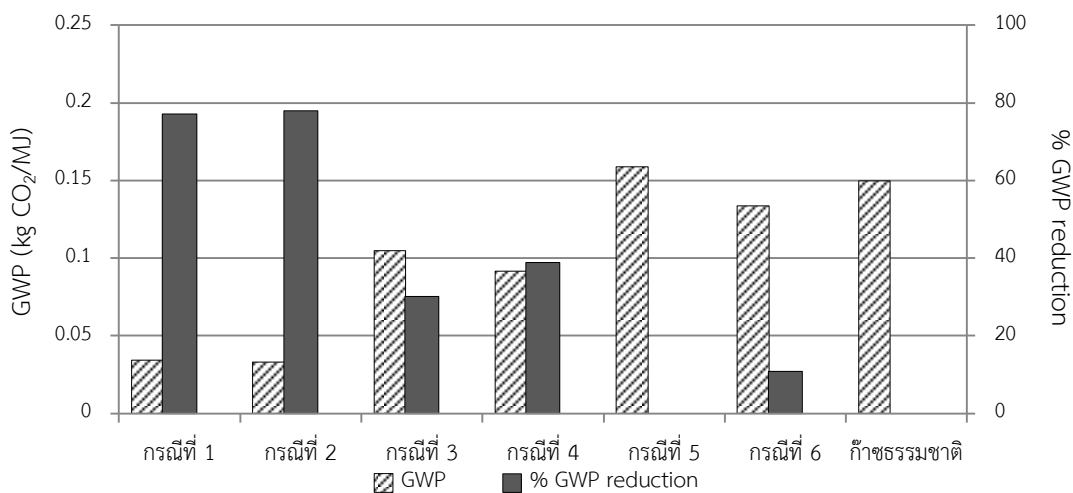
4.2.4 เปรียบเทียบกับการวิจัยอื่น

จากผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ในขั้นตอนการกำหนดบทบาท (Characterization) และขั้นตอนการจัดกลุ่มและเทียบหน่วย (Normalization) ทำให้ทราบว่าผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน หรือ Global warming potential (GWP) เป็นกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่มีความสำคัญที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยรวม จึงได้นำค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของการผลิตไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ของงานวิจัยนี้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลของงานวิจัยอื่นและเปรียบเทียบกับระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติในประเทศไทย ซึ่งเป็นระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าหลักของประเทศ ดังตารางที่ 4-14

จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าการผลิตไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ในกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำกว่าการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติและการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพืชพลังงานชนิดอื่นอยู่มาก เนื่องจากไม่มีการใช้ปุ๋ยในการปลูกซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ ส่วนกรณีศึกษาที่ 3 และ 4 นั้นมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกใกล้เคียงกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพืชพลังงานชนิดอื่น แต่ยังคงต่ำกว่าการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติ และในกรณีศึกษาที่ 5 และ 6 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกค่อนข้างสูง โดยกรณีศึกษาที่ 5 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงกว่าการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติ ซึ่งสาเหตุหลักเกิดจากการใช้ปุ๋ยในปริมาณสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ปุ๋ยเคมี ในปริมาณที่มากเกินความต้องการของพืช กล่าวคือพืชมีความสามารถในการดูดซับสารอาหารจากปุ๋ยไปใช้ได้ ในปริมาณที่จำกัด และถึงแม้ว่าปุ๋ยเคมีจะช่วยเพิ่มปริมาณของผลผลิตหญ้าแต่ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นมานั้นก็ไม่สามารถชดเชยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้ปุ๋ยเคมีได้ อย่างไรก็ตามเมื่อกำหนดให้มีการใช้มูลวัวหมักร่วมกับหญ้าเนเปียร์ในขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพ (กรณีศึกษาที่ 6) ส่งผลให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงและต่ำกว่าการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติเล็กน้อย โดยการผลิตไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ (กรณีศึกษาที่ 1 ที่ไม่มีการใช้ปุ๋ย) สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึงร้อยละ 77.06 เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติ ดังรูปที่ 4-37 ซึ่งมีเพียงกรณีศึกษาที่ 5 เท่านั้นที่ไม่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติ

ตารางที่ 4-14 เปรียบเทียบศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน

| งานวิจัย | วัตถุดิบ | ศักยภาพในการ ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (kg CO ₂ eq / MJ) |
|--------------------------------|---|---|
| งานวิจัยนี้ | กรณีศึกษาที่ 1 (หญ้าไม่ใส่ปุ๋ย) | 0.03437 |
| | กรณีศึกษาที่ 2 (หญ้าไม่ใส่ปุ๋ย+มูลวัว) | 0.03313 |
| | กรณีศึกษาที่ 3 (หญ้าใส่ปุ๋ยคอก) | 0.10462 |
| | กรณีศึกษาที่ 4 (หญ้าใส่ปุ๋ยคอก+มูลวัว) | 0.09163 |
| | กรณีศึกษาที่ 5 (หญ้าใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี) | 0.15882 |
| | กรณีศึกษาที่ 6 (หญ้าใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี+มูลวัว) | 0.13365 |
| Blengini และ คณะ (2011) | ข้าวโพด | 0.085 - 0.123 |
| | ข้าวฟ่าง (Sorghum) | 0.064 - 0.102 |
| | ข้าวทริทิกาลี (Triticale) | 0.068 - 0.105 |
| | หญ้ามิสแคนทัส | 0.042 - 0.080 |
| Boulamanti และคณะ (2013) | ข้าวโพด | 0.092 - 0.269 |
| Whiting และ คณะ (2014) | เศษพืชและขยะ | 0.06167 |
| Phumpradab และคณะ (2009) | ก๊าซธรรมชาติ | 0.14985 |



รูปที่ 4-37 ร้อยละของก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงจากการผลิตไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์
เปรียบเทียบกับการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติของประเทศไทย

4.2.5 แนวทางในการลดผลกระทบต่อวิถีชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์

1. ปรับเปลี่ยนวิธีการเพาะปลูกหญ้าเนเปียร์เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมากรมปศุสัตว์ได้สนับสนุนให้เกษตรกรปลูกหญ้าเนเปียร์กันอย่างแพร่หลายทั่วประเทศเพื่อใช้เป็นหญ้าอาหารสัตว์ (กรมปศุสัตว์, 2554) และในปัจจุบันกระทรวงพลังงานได้มีนโยบายเพื่อส่งเสริมให้มีการผลิตไฟฟ้าจากพืชพลังงานเพิ่มมากขึ้น (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2556) ทำให้เกษตรกรหันมาทำการปลูกหญ้าเนเปียร์เพิ่มมากขึ้น โดยศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์นครราชสีมา กรมปศุสัตว์ ได้จัดทำคู่มือการปลูกหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 เพื่อแนะนำแนวทางในการปลูกหญ้าเนเปียร์ให้แก่เกษตรกรผู้สนใจ ซึ่งมีหลักการเบื้องต้นดังนี้

หญ้าเนเปียร์ชนิดนี้ขยายพันธุ์โดยใช้ท่อนพันธุ์และเป็นหญ้าที่ต้องการแสงแดดเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต จึงควรปลูกในบริเวณพื้นที่ที่มีแสงแดดส่องถึงอย่างเพียงพอ การเตรียมดินส่วนใหญ่จะใช้เครื่องจักรกลทางการเกษตรในการไถ และใส่ปุ๋ยรองพื้น ได้แก่ ปุ๋ยคอกในอัตรา 2,000 กิโลกรัม/ไร่ และปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ การกำจัดวัชพืชส่วนใหญ่จะใช้แรงงานคน โดยใช้จอบถากวัชพืชในแปลง แต่ในพื้นที่ขนาดใหญ่อาจใช้เครื่องจักรกลทางการเกษตรแทน หลังจากกำจัดวัชพืชให้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (46-0-0) กอละ 1 ซ่อนโต๊ะ เพื่อเร่งให้หญ้าเจริญเติบโต เมื่อเก็บเกี่ยวไปครบ 3 รอบ ควรสลับมาใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 แทนเพื่อรักษาความสมดุลของธาตุอาหารหลักในแปลงหญ้า และในส่วนของ การให้น้ำสามารถให้ได้หลายระบบ เช่น สปริงกิลน้ำเหวี่ยง มินิสปริงกิล หรือปล่อยไหลไปตามร่องหน้าดิน การเก็บเกี่ยวครั้งแรกหลังปลูกประมาณ 75 วัน จากนั้น ให้ตัดทุกๆ 45-60 วัน และต้องตัดให้ชิดดินที่สุด ซึ่งจากการสอบถามจากทางศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์นครราชสีมาจึง

ทราบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่ได้ใช้ปุ๋ยตามอัตราส่วนที่ทางศูนย์วิจัยได้แนะนำ และนิยมใช้เครื่องจักรกลทางการเกษตรในกิจกรรมต่างๆ ทั้งการเตรียมดิน การปลูก การกำจัดวัชพืช และการเก็บเกี่ยว

โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งหมด 6 ด้านของการผลิตไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยตามคำแนะนำของศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์นครราชสีมา กรมปศุสัตว์ (กรณีศึกษาที่ 5) พบว่าขั้นตอนการเกษตรเป็นขั้นตอนสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมมากที่สุด โดยเฉพาะในด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งมีค่าประมาณ 0.15882 kg CO₂ eq/MJ ค่าศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปลดลง 3.35E-04 kg Sb eq/MJ ค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ 4.25E-04 kg SO₂ eq/MJ ค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ 8.59E-05 kg PO₄⁻ eq/MJ ค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ 2.30E-09 kg CFC⁻¹¹ eq/MJ และค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากปฏิกิริยาแสง-เคมี 2.01E-05 kg C₂H₄ eq/MJ และจากผลการประเมินพบว่า การลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยคอกในกระบวนการปลูกสามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ดังนี้

การลดการใช้ปุ๋ยเคมีในกระบวนการปลูก (ใช้ปุ๋ยคอกเพียงอย่างเดียว) สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ทั้งหมด 4 ด้านจาก 6 ประเภทของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกหญ้าที่ใช้ทั้งปุ๋ยเคมีและปุ๋ยคอก โดยสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณร้อยละ 34.13 ลดผลกระทบต่อด้านการทำให้ทรัพยากรธรรมชาติลดลงได้ร้อยละ 12.52 ลดผลกระทบต่อด้านการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำได้ประมาณร้อยละ 22.51 และลดผลกระทบต่อด้านการก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากปฏิกิริยาแสง-เคมีได้ประมาณร้อยละ 9.39

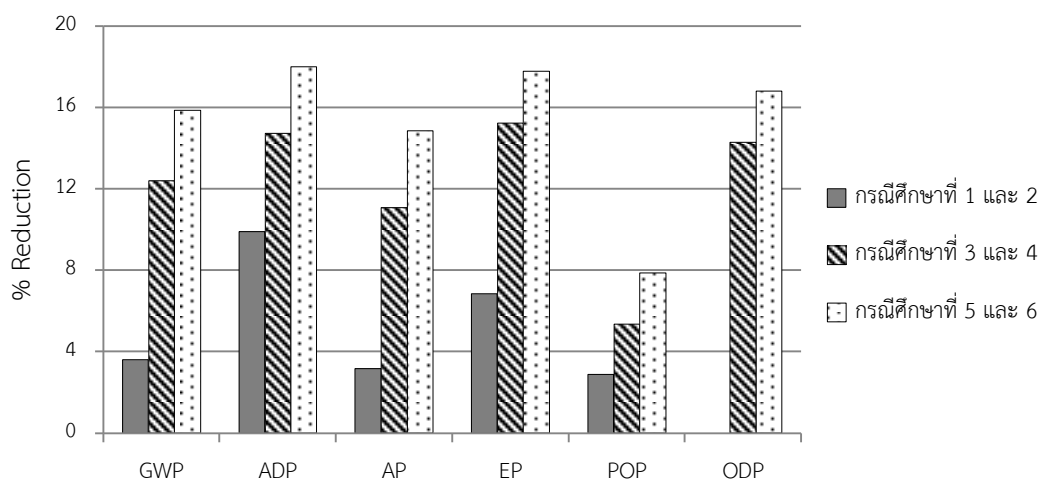
การลดการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยคอกในกระบวนการปลูก สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ทุกด้าน โดยสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้มากถึงร้อยละ 78.36 ลดผลกระทบต่อด้านการทำให้ทรัพยากรธรรมชาติลดลงได้ร้อยละ 75.58 ลดผลกระทบต่อด้านการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำได้ร้อยละ 69.04 ลดผลกระทบต่อด้านการก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำได้ประมาณร้อยละ 82.74 ลดผลกระทบต่อด้านการก่อให้เกิดการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศได้ร้อยละ 28.28 และลดผลกระทบต่อด้านการก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากปฏิกิริยาแสง-เคมีได้ประมาณร้อยละ 79.16

อย่างไรก็ตามผลกระทบที่ตามมาจากการลดการใช้ปุ๋ยก็คือ การลดลงของผลผลิตทางการเกษตร ดังนั้นการจัดหาแนวทางที่เหมาะสมในการปลูกหญ้าเนเปียร์จึงเป็นสิ่งจำเป็น เกษตรกรไม่ควรใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยคอกในปริมาณที่มากเกินไปหรือน้อยเกินไป ควรใช้ในปริมาณที่พอดีและเหมาะสมสำหรับพื้นที่ของตน เพราะนอกจากจะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแล้วยังเป็นการลดต้นทุนในการปลูกหญ้าเนเปียร์ด้วยอีกทางหนึ่ง หรืออาจจะใช้วิธีการนำกากตะกอนที่เหลือจากระบบ

หมักไร้อากาศที่ผ่านลานตากตะกอนแล้วเวียนกลับมาใช้เป็นปุ๋ยหรือวัสดุปรับสภาพดินภายในแปลงปลูกหญ้าเนเปียร์เพื่อลดปริมาณการใช้ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีได้ อีกทั้งเกษตรกรควรนำรูปแบบของการทำการเกษตรขนาดเล็กมาปรับใช้ภายในแปลง ตัวอย่างเช่นทำการปลูกหญ้าควบคู่ไปกับการเลี้ยงสัตว์เพื่อที่จะนำมูลสัตว์กลับมาใช้เป็นปุ๋ยได้ จึงสรุปได้ว่าการปรับเปลี่ยนรูปแบบการทำการเพาะปลูกเป็นแนวทางที่สำคัญที่สามารถช่วยลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมได้

2. ผลผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้หญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลวัว

การนำมูลวัวมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพถือว่าการนำของเสียกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ถึงแม้ว่ามูลวัวจะมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ต่ำกว่าหญ้าเนเปียร์ (ตารางที่ 4-8) แต่การใช้มูลวัวหมักร่วมกับหญ้าเนเปียร์สามารถช่วยลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตก๊าซชีวภาพที่ใช้หญ้าเนเปียร์เพียงชนิดเดียว (เปรียบเทียบในแปลงเพาะปลูกเดียวกัน) เนื่องจากการใช้มูลวัวจะไม่พิจารณาถึงการได้มาของวัตถุดิบเพราะถือว่าการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่และการนำมูลวัวมาหมักร่วมกับหญ้ายังเป็นการลดปริมาณการใช้วัตถุดิบหญ้าเนเปียร์ลง ทำให้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในส่วนของกระบวนการปลูกหญ้าต่อหน่วยงานทำงานลดลงตามไปด้วย ดังรูปที่ 4-38 โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 (แปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย) กรณีศึกษาที่ 3 และ 4 (แปลงที่ใส่เฉพาะปุ๋ยคอก) และกรณีศึกษาที่ 5 และ 6 (แปลงที่ใส่ทั้งปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี) จะเห็นได้ว่าการใช้หญ้าเนเปียร์และมูลวัวเป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ (กรณีศึกษาที่ 2 4 และ 6) สามารถลดผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GWP) ได้ประมาณร้อยละ 3.60-15.58 และสามารถลดค่าศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปลดลง (ADP) ได้ประมาณร้อยละ 9.90-18.00 ลดผลกระทบด้านการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำได้ประมาณร้อยละ 3.17-14.58 ลดผลกระทบด้านการก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำได้ประมาณร้อยละ 6.38-17.76 ลดผลกระทบด้านการก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากปฏิกิริยาแสง-เคมีได้ประมาณร้อยละ 2.88-7.87 และผลกระทบด้านการก่อให้เกิดการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศสามารถลดได้ร้อยละ 14.28-16.81 (เฉพาะการเปรียบเทียบระหว่างกรณีศึกษาที่ 3 และ 4 และกรณีศึกษาที่ 5 และ 6) สรุปได้ว่าการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้หญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลวัวเป็นอีกหนึ่งแนวทางที่สามารถลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมได้



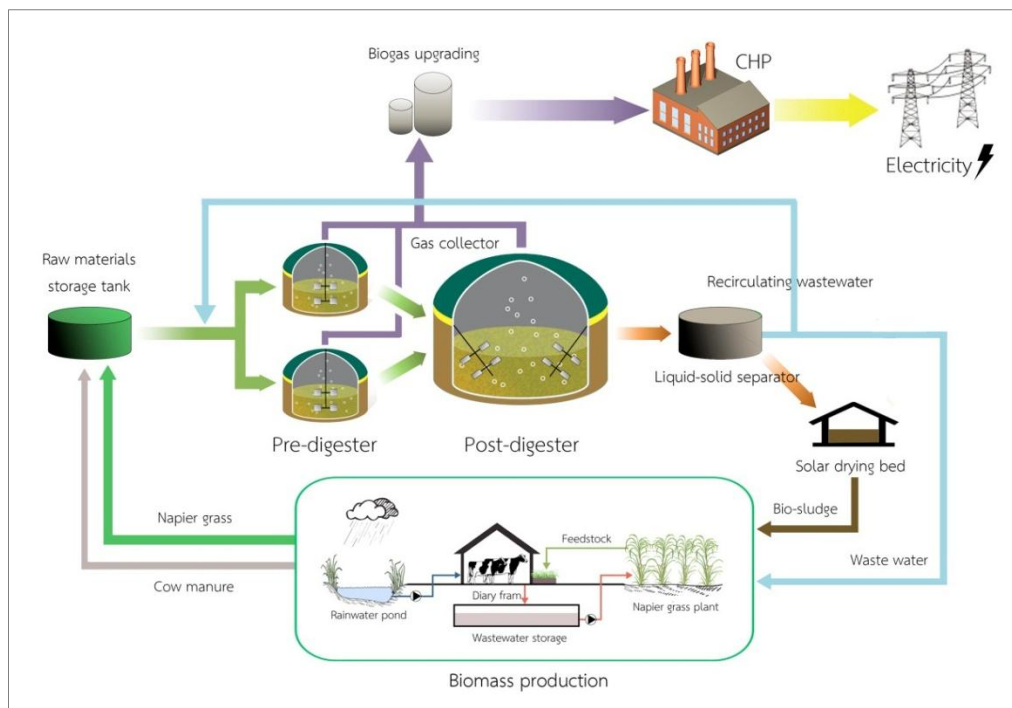
รูปที่ 4-38 ปริมาณผลกระทบที่ลดลงจากการผลิตไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ที่หมักร่วมกับมูลวัว

3. ปรับปรุงกระบวนการขนส่ง

การขนส่งเป็นอีกหนึ่งขั้นตอนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะในด้านการก่อให้เกิดการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ ดังนั้นการปรับปรุงระบบการขนส่งจึงเป็นเรื่องที่จำเป็นเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้ได้กำหนดให้การขนส่งทั้งหมดเป็นการขนส่งโดยใช้รถบรรทุก การปรับปรุงแก้ไขจึงควรเริ่มจากการพิจารณาเลือกใช้น้ำมันเชื้อเพลิง โดยควรเลือกใช้พลังงานสะอาดหรือน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากฟอสซิล

4. การทำการเกษตรแบบครบวงจร

การเกษตรแบบครบวงจรคือการทำการปลูกหญ้าเนเปียร์ควบคู่ไปกับการเลี้ยงวัว และนำน้ำเสียที่เกิดขึ้นภายในโรงโคเวียนกลับมาใช้รดน้ำในแปลงปลูกหญ้า โดยทำการเก็บหญ้าเนเปียร์และส่งวัตถุดิบหญ้าเนเปียร์และมูลวัวที่เหลือไปยังโรงงานผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้ระบบหมักไร้อากาศแบบสองขั้นตอนและจากนั้นจึงนำไปผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม (CHP) และนำกากตะกอนที่เหลือจากระบบหมักไร้อากาศกลับมาใช้แทนปุ๋ยในแปลงปลูกหญ้าเนเปียร์ การจัดการทางเกษตรในลักษณะนี้เป็นระบบที่มีความสมดุลและเหมาะสมสำหรับเกษตรกรขนาดเล็ก และยังเป็นรูปแบบการจัดการที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยรูปแบบของการจัดการนี้แสดงดังรูปที่ 4-39 ซึ่งโรงงานผลิตไฟฟ้าขนาด 1 เมกะจูล มีความต้องการวัตถุดิบหญ้าประมาณ 46,200 ตัน/ปี จึงควรมีพื้นที่เพื่อปลูกหญ้าเนเปียร์ประมาณ 700 ไร่ และมีความต้องการวัตถุดิบมูลวัวประมาณ 19,800 ตัน/ปี ซึ่งวัว 1 ตัว สร้างของเสียจากการขับถ่ายได้ประมาณ 30 กิโลกรัม/ตัว/วัน (จารุวรรณวงศ์เนตร และคณะ, 2557) ทำให้ต้องใช้วัวเป็นจำนวนมาก ในขณะที่หญ้าเนเปียร์ 1 ไร่สามารถเลี้ยงวัวได้ 7-8 ตัว/ปี (กรมปศุสัตว์, 2554) ดังนั้นจึงควรทำการรับวัตถุดิบมูลวัวจากฟาร์มอื่นควบคู่กันไปด้วย จึงจะมีความเหมาะสมกว่าในด้านความเป็นไปได้



รูปที่ 4-39 รูปแบบของการผลิตไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์โดยการทำการเกษตรแบบครบวงจร

5. การใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) คือกระบวนการทำงานเกี่ยวกับข้อมูลในเชิงพื้นที่ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านภูมิสารสนเทศได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น เช่น ด้านเศรษฐกิจ ด้านสาธารณสุข ด้านบริการชุมชน ด้านสิ่งแวดล้อม หรือแม้แต่ด้านการขนส่ง (สำนักส่งเสริมและพัฒนาสารสนเทศภูมิศาสตร์, 2558) ดังนั้นการนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาช่วยในการวิเคราะห์และการประเมินศักยภาพของพื้นที่เพาะปลูกหญ้าเนเปียร์รวมทั้งนำมาใช้ในการวางระบบการขนส่ง อาจจะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นได้

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ใช้ในระบบการจัดการเส้นทางการขนส่ง โดยสามารถวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูลการจราจร มีระบบจัดการเส้นทางการขนส่งและวางแผนการขนส่งให้มีความรวดเร็ว มีประสิทธิภาพ โดยสามารถนำข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นฐานและข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้ในการกำหนดเส้นทางการขนส่งหรือติดตามการขนส่งได้ นอกจากนี้การประเมินศักยภาพของพื้นที่ทำการเกษตรยังสามารถนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ คุณภาพของดินในพื้นที่ทำการเกษตร ความเหมาะสมของพืชในแต่ละพื้นที่ การจัดการระบบน้ำชลประทาน แหล่งน้ำบนผิวดินและใต้ดิน และการจัดการด้านธาตุอาหารพืช เป็นต้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปริมาณคาร์บอนสะสมในแปลงปลูกหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 และทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 ที่มีการปลูกโดยให้ปุ๋ยแตกต่างกัน 3 แบบ แล้วนำน้ำหนักหญ้าที่ได้ไปผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตไฟฟ้าด้วยโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมขนาด 1 เมกะวัตต์ โดยเปรียบเทียบทั้งหมด 6 กรณีศึกษา ได้แก่

- กรณีศึกษาที่ 1 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 (หญ้าเนเปียร์จากแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย)
- กรณีศึกษาที่ 2 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 และมูลวัว (หญ้าเนเปียร์จากแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย)
- กรณีศึกษาที่ 3 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 (หญ้าเนเปียร์จากแปลงที่ใส่เฉพาะปุ๋ยคอก)
- กรณีศึกษาที่ 4 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 และมูลวัว (หญ้าเนเปียร์จากแปลงที่ใส่เฉพาะปุ๋ยคอก)
- กรณีศึกษาที่ 5 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 (หญ้าเนเปียร์จากแปลงที่ใส่ทั้งปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี)
- กรณีศึกษาที่ 6 : การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 และมูลวัว (หญ้าเนเปียร์จากแปลงที่ใส่ทั้งปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี)

ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองและเก็บข้อมูลโดยตรงในส่วนของกระบวนการปลูกหญ้าเนเปียร์ เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์สมดุลคาร์บอนในแปลงปลูกและประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต โดยจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการทดลองปลูกหญ้าเนเปียร์ พบว่าผลผลิตหญ้าจากแปลงที่ 3 (ใส่ทั้งปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี) และแปลงที่ 2 (ใส่เฉพาะปุ๋ยคอก) ให้ผลผลิตสูงสุดใกล้เคียงกันเท่ากับ 18.6 และ 18.5 ตัน/ไร่/ปี ตามลำดับ ส่วนแปลงที่ 1 (ไม่ใส่ปุ๋ย) ให้ผลผลิตต่ำสุดเท่ากับ 12.6 ตัน/ไร่/ปี
2. ดินที่ระดับผิวดิน 0-10 ซม. จะมีปริมาณคาร์บอนในดินสูงที่สุดและมีความผันผวนของปริมาณคาร์บอนมากที่สุด กล่าวคือปริมาณคาร์บอนจะสะสมมากที่สุด在地ชั้นบนและมีแนวโน้มลดลง

ตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้นเหมือนกันทุกแปลง อีกทั้งปริมาณคาร์บอนสะสมในดินทั้งหมดที่ระดับความลึก 0-30 ซม. จะมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่ปลูก โดยจากการเก็บตัวอย่างดินครั้งสุดท้ายเพื่อวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนของแปลงที่ 1 2 และ 3 พบว่ามีปริมาณคาร์บอนในดินลดลงเหลือ 7,628 8,179 และ 6,635 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ และมีอัตราการสูญเสียคาร์บอนประมาณ 5,623.2 4,956.0 และ 3,507.4 กิโลกรัม/ไร่/ปี ตามลำดับ

3. จากการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ พบว่ากรณีศึกษาที่ 1 และ 2 ที่ใช้วัตถุดิบหญ้าเนเปียร์จากแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยนั้น ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดในทุกด้าน ในขณะที่กรณีศึกษาที่ 3 การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 โดยใช้หญ้าเนเปียร์จากแปลงที่ใส่เฉพาะปุ๋ยคอก ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงที่สุดด้านการก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ $9.53E-05 \text{ kg PO}_4^{---} \text{ eq/MJ}$ และศักยภาพในการก่อให้เกิดการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ $5.61E-09 \text{ kg CFC}^{-11} \text{ eq/MJ}$ ส่วนกรณีศึกษาที่ 5 การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 โดยใช้หญ้าเนเปียร์จากแปลงที่ใส่ทั้งปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงที่สุดใน 4 ประเภท จากทั้งหมด 6 ประเภทผล ได้แก่ ศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปลดลง $3.35E-04 \text{ kg Sb eq/MJ}$ ศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ $4.25E-04 \text{ kg SO}_2 \text{ eq/MJ}$ ศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน $0.15882 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/MJ}$ และศักยภาพในการก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากปฏิกิริยาแสง-เคมี $2.01E-05 \text{ kg C}_2\text{H}_4 \text{ eq/MJ}$

4. กลุ่มผลกระทบที่มีความสำคัญต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน โดยสาเหตุหลักเกิดการใช้ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีในกระบวนการปลูก และการรั่วไหลของก๊าซชีวภาพในขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพ รองลงมาคือ ศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปลดลง ส่วนผลกระทบที่มีความสำคัญน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับปัญหาสิ่งแวดล้อมโดยรวมคือ ศักยภาพในการก่อให้เกิดการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ

5. หญ้าเนเปียร์มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อนำไปผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากหญ้าเนเปียร์ให้ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่สูงและสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ตลอดทั้งปี และหากมีการนำรูปแบบของการเกษตรขนาดเล็กมาประยุกต์ใช้ในการปลูกหญ้าก็สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ ซึ่งจากผลการประเมินในกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 (แปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย) พบว่ามีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ต่ำกว่าระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติของประเทศไทยถึงร้อยละ 70 สรุปได้ว่าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์สามารถเป็นระบบผลิตพลังงานทดแทนที่ยั่งยืน และมีความเหมาะสมสำหรับการพัฒนาด้านพลังงานของประเทศไทยได้

6. แนวทางการลดผลกระทบในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนจากการผลิตพลังงานชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ ได้แก่ การปรับเปลี่ยนวิธีการเพาะปลูกหญ้าเนเปียร์ ลดการใช้สารเคมีหรือหันมาทำ

การเกษตรแบบครบวงจร การผลิตก๊าซชีวภาพควรใช้หญ้าเนเปียร์หมักร่วมกับมูลวัว และการปรับปรุงกระบวนการขนส่ง โดยการเปลี่ยนมาใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพและนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) มาประยุกต์ใช้ในการวางแผนการดำเนินงานและออกแบบระบบขนส่งให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมและเก็บข้อมูลโดยตรงในส่วนของขั้นตอนอื่นๆนอกเหนือจากกระบวนการปลูก เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่มีความถูกต้องและสอดคล้องกับสถานการณ์ของประเทศไทยในปัจจุบัน อีกทั้งยังได้ผลการประเมินที่มีความสมบูรณ์มากขึ้น ซึ่งอาจต้องใช้เวลาในการดำเนินงานวิจัยและงบประมาณที่สูงขึ้นตามไปด้วย

2. ควรทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงาน ทั้งในด้านผลผลิตหญ้า การหมักก๊าซชีวภาพ รวมทั้งการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ เพื่อทำสมดุลพลังงานการผลิตพลังงานชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ต่อไป



รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรมการพลังงานทหาร. 2556. พลังงานก๊าซชีวภาพ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://ded.mod.go.th>. [5 กุมภาพันธ์ 2557]
- กรมปศุสัตว์. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2554. หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.dld.go.th/ncna_nak/NP1.pdf. [6 กุมภาพันธ์ 2557]
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2553ก. คู่มือการปฏิบัติงาน กระบวนการวิเคราะห์ดินทางกายภาพ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.ldd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-04.pdf>. [15 กุมภาพันธ์ 2557]
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2553ข. คู่มือการปฏิบัติงาน กระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.ldd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-03.pdf>. [15 กุมภาพันธ์ 2557]
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2555. สถิติพลังงานของประเทศไทย 2555. ศูนย์สารสนเทศข้อมูลพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.
- กรมวิชาการเกษตร. 2548. คู่มือเพื่อการเก็บตัวอย่างดินและน้ำเพื่อวิเคราะห์. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.lamphun.doae.go.th/form_soil.doc. [13 กุมภาพันธ์ 2557]
- กระทรวงพลังงาน. 2556. คู่มือการลงทุนโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน. ศูนย์บริการข้อมูลโครงการศึกษา วิจัย ต้นแบบวิสาหกิจชุมชนพลังงานสีเขียวจากพืชพลังงาน หจก.มิตรภาพการพิมพ์.
- ไกรลาศ เขียวทอง. 2556. คู่มือการปลูกหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1. ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์ นครราชสีมา กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์.
- จารุวรรณ วงศ์ทะเนตร และ ลักขณา มุ่งวัฒนา. 2557. เทคโนโลยีสะอาดของการจัดการของเสียในฟาร์มโคนม จังหวัดราชบุรี. เทคโนโลยีอุตสาหกรรม. 10: 38-49.
- จิระ อาชายุทธการ และ พงษ์ศักดิ์ มฤคพิต. 2550. การตรวจวัดประสิทธิภาพกระบวนการผลิต Cogeneration. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.eppo.go.th/tank/egat-cogen-spp-vspp.pdf>. [6 กุมภาพันธ์ 2557]

- ชินยา โยโกยามา และ ยูกิฮิโกะ มาซิมุระ. 2551. คู่มือสารชีวมวลเอเชีย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.jie.or.jp/biomass/AsiaBiomassHandbook/Thai/All_T.pdf. [6 กุมภาพันธ์ 2557]
- นันทรัตน์ ศุภกานิต. 2556. การเก็บตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์และการแปลผล. สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร.
- ปานทิพย์ อ้วนวานิช. 2554. การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ. ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- ภัทรารุช ศรีโพธิ์. 2554. ประสิทธิภาพของแฝกในการป้องกันการสูญเสียดินและกักเก็บคาร์บอนในดินบริเวณศูนย์ساتิตการพัฒนาระนองค์การใช้แฝกด้านป่าไม้ที่ 2 จังหวัดสุโขทัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, สาขาการจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มนต์สรวง เรืองขนาบ, ระวี เจียรวิภา, อุดร เจริญแสง, Hong Li Li และ Zhen Hai Han. 2557. ประเมินมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในสวนส้ม. เกษตร. 42.
- มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. 2554. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.efe.or.th/datacenter/ckupload/files/aedp25.pdf>. [6 มกราคม 2557]
- มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย. 2550. รายงานการศึกษาฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาการประเมินวงจรชีวิตการผลิตและการใช้เอทานอลจากมันสำปะหลังและอ้อย. สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.
- ลิขิต พลยศ. 2555. พลวัตรของคาร์บอนในดินภายใต้การไถพรวนดินแบบต่างๆของข้าวโพดในชุดดินปากช่อง. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.ddd.go.th/web_psd/Employee%20Assessment/wean/2555/6-03-55/no1.pdf. [15 กุมภาพันธ์ 2557]
- วรนนท์ สนกันหา. 2554. สมบัติดินและการกักเก็บคาร์บอนภายใต้สภาพป่าต่างชนิดในพื้นที่สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกกราช. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศุภณีย์ เรียบเลิศศิริ และ แววบุญ แยมแสงสังข์. 2555. รายงานผลการเข้าอบรมหลักสูตร การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์. สถาบันวิทยาการ สวทช.
- สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2555. โครงการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าชนิดต่างๆในประเทศไทย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://cstr-grasses.erd.or.th/index.php#>. [30 ตุลาคม 2556]

- สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. 2547. คู่มือการจัดทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์. ภายใต้โครงการ “การจัดทำฐานข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม”. นนทบุรี.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. 2556. มติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.eppo.go.th/nepc/kpc/kpc-145.html#10>. [28 กุมภาพันธ์ 2557]
- สำนักพัฒนาอาหารสัตว์. 2556. หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.dld.go.th/ncsr_srk/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=97. [16 พฤศจิกายน 2556]
- สำนักส่งเสริมและพัฒนาสารสนเทศภูมิศาสตร์. 2558. ภูมิสารสนเทศศาสตร์. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.gi.mict.go.th/art_GIS.htm. [30 พฤษภาคม 2558]
- สิริกานดา วัชรไทย. 2551. การศึกษามูลคาร์บอนและการกักเก็บคาร์บอนในดินของสบูดำที่ปลูกในดินเหนียวและดินร่วนปนทราย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เสริมพงศ์ นวลงาม. 2545. ผลของการปลูกสร้างสวนป่าไม้กระถินเทพา ในพื้นที่ดินเหมืองแร่ต่อผลผลิตของไม้และคุณสมบัติของดิน ในบริเวณสถานีฝึกนิสิตวนศาสตร์บางม่วง อำเภอดงขี้เหล็ก จังหวัดพังงา. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาษาอังกฤษ

- Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., and Janssen, R. 2008. Biogas Handbook.—University of Southern Denmark Esbjerg: ISBN 978-87-992962-0-0.
- Bacenetti, J., Fusi, A., Negri, M., Guidetti, R., and Fiala, M. 2014. Environmental assessment of two different crop systems in terms of biomethane potential production. Science of the total environment. 466: 1066-1077.
- Biogas Nord. 2012. Biogas Plant Sazava. [online]. Available from: <http://www.biogas.de/en/project-reference/case-study/94-biogas-plant-sazava>. [20 February 2014]
- Biopower S.A. 2013. Diagram of biogas plant. [online]. Available from: <http://www.biopower.pl/en/diagram-of-biogas-plant.html>. [20 February 2014]

- Biteco Biogas. 2013. Ubon Ratchathani, Thailand. [online]. Available from: <http://www.biteco-energy.com/ubon-ratchathani-thailand>. [1 March 2014]
- Blengini, G. A., Brizio, E., Cibrario, M., and Genon, G. 2011. LCA of bioenergy chains in Piedmont (Italy): a case study to support public decision makers towards sustainability. Resources, Conservation and Recycling. 57: 36-47.
- Boulamanti, A. K., Maglio, S. D., Giuntoli, J., and Agostini, A. 2013. Influence of different practices on biogas sustainability. Biomass and Bioenergy. 53: 149-161.
- Brandao, M., i Canals, L. M., and Clift, R. 2011. Soil organic carbon changes in the cultivation of energy crops: Implications for GHG balances and soil quality for use in LCA. Biomass and Bioenergy. 35(6): 2323-2336.
- Buratti, C., Barbanera, M., and Fantozzi, F. 2013. Assessment of GHG emissions of biomethane from energy cereal crops in Umbria, Italy. Applied Energy. 108: 128-136.
- Cherubini, F., and Strømman, A. H. 2011. Life cycle assessment of bioenergy systems: state of the art and future challenges. Bioresource technology. 102(2): 437-451.
- Environmental Protection Agency. 2013. Rules and Regulations. Federal Register 78, 133: 41703-41716.
- Fisher, M. J., Rao, I. M., Ayarza, M. A., Lascano, C. E., Sanz, J., Thomas, R. J., and Vera, R. R. 1994. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. Nature. 371: 236-238.
- Gerlach, F. 2012. Construction and operation of biogas plants with clover grass as input material. Busdorf, Germany.
- German Energy Agency. 2012. Biogas plant Biopower Tongeren, Belgium. [online]. Available from: <http://www.renewables-made-in-germany.com/en/renewables-made-in-germany-start/biogas/biogas/companies/u/detail/FrontendProject/65.html> [20 February 2014]
- Hakala, K., Nikunen, H.-M., Sinkko, T., and Niemeläinen, O. 2012. Yields and greenhouse gas emissions of cultivation of red clover-grass leys as assessed

- by LCA when fertilised with organic or mineral fertilisers. Biomass and Bioenergy. 46: 111-124.
- Janejadkarn, A., and Chavalparit, O. 2014. Biogas Production from Napier Grass (Pak Chong 1)(*Pennisetum purpureum* × *Pennisetum americanum*). Advanced Materials Research. 856: 327-332.
- Jones, S., Rees, R., Skiba, U., and Ball, B. 2005. Greenhouse gas emissions from a managed grassland. Global and Planetary Change. 47(2): 201-211.
- Lansche, J., and Müller, J. 2012. Life cycle assessment of energy generation of biogas fed combined heat and power plants: environmental impact of different agricultural substrates. Engineering in life sciences. 12(3): 313-320.
- Lijó, L., González-García, S., Bacenetti, J., Fiala, M., Feijoo, G., Lema, J. M., and Moreira, M. T. 2014. Life Cycle Assessment of electricity production in Italy from anaerobic co-digestion of pig slurry and energy crops. Renewable Energy. 68: 625-635.
- Luostarinen, S., Normak, A., and Edström, M. 2011. Overview of biogas technology. Paper presented at the Baltic Forum for Innovative Technologies for Sustainable Manure Management.
- Ma, Z., Wood, C., and Bransby, D. 2000. Carbon dynamics subsequent to establishment of switchgrass. Biomass and Bioenergy. 18(2): 93-104.
- Murphy, J. D., Korres, N. E., Singh, A., Smyth, B., Nizami, A.-S., and Thamsiroj, T. 2011. The Potential for Grass Biomethane as a Biofuel. EPA Climate Change Research Programme 2007–2013.
- Nizami, A.-S., Korres, N. E., and Murphy, J. D. 2009. Review of the integrated process for the production of grass biomethane. Environmental science & technology. 43(22): 8496-8508.
- Phumpradab, K., Gheewala, S. H., and Sagisaka, M. 2009. Life cycle assessment of natural gas power plants in Thailand. The International Journal of Life Cycle Assessment. 14(4): 354-363.
- Prochnow, A., Heiermann, M., Plöchl, M., Linke, B., Idler, C., Amon, T., and Hobbs, P. 2009. Bioenergy from permanent grassland—A review: 1. Biogas. Bioresource Technology. 100(21): 4931-4944.

- Rehl, T., and Müller, J. 2011. Life cycle assessment of biogas digestate processing technologies. Resources, Conservation and Recycling. 56(1): 92-104.
- RWE Innogy. 2013. Gutergluck biogas plant. [online]. Available from: <https://www.rwe.com/web/cms/en/391090/rwe-innogy/sites/biogas-plants/sites-in-operation/gueterglueck/>. [20 February 2014]
- Ryals, R., Kaiser, M., Torn, M. S., Berhe, A. A., and Silver, W. L. 2014. Impacts of organic matter amendments on carbon and nitrogen dynamics in grassland soils. Soil Biology and Biochemistry. 68: 52-61.
- Sarkhot, D., Grunwald, S., Ge, Y., and Morgan, C. 2012. Total and available soil carbon fractions under the perennial grass *Cynodon dactylon* (L.) Pers and the bioenergy crop *Arundo donax* L. biomass and bioenergy. 41: 122-130.
- Schnurer, A., and Jarvis, A. 2010. Microbiological handbook for biogas plants. Swedish Waste Management U. 2009: 1-74.
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., and Rice, C. 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. 363(1492): 789-813.
- Smyth, B. M., Murphy, J. D., and O'Brien, C. M. 2009. What is the energy balance of grass biomethane in Ireland and other temperate northern European climates? Renewable and Sustainable Energy Reviews. 13(9): 2349-2360.
- Soussana, J. F., Loiseau, P., Vuichard, N., Ceschia, E., Balesdent, J., Chevallier, T., and Arrouays, D. 2004. Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands. Soil use and management. 20(2): 219-230.
- Starr, K., Gabarrell, X., Villalba, G., Talens, L., and Lombardi, L. 2012. Life cycle assessment of biogas upgrading technologies. Waste Management. 32(5): 991-999.
- Thailand Greenhouse Gas Management Organization. 2014. Thailand Voluntary Emission Reduction Program.
- Tomori, O. 2012. Feasibility study of a large scale biogas plant in Lagos, Nigeria. Murdoch University.

- Watson, R. T., Noble, I. R., Bolin, B., Ravindranath, N., Verardo, D. J., and Dokken, D. J. 2000. Land use, land-use change and forestry: a special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Whiting, A., and Azapagic, A. 2014. Life cycle environmental impacts of generating electricity and heat from biogas produced by anaerobic digestion. Energy. 70: 181-193.
- Yu, P., Li, Q., Jia, H., Zheng, W., Wang, M., and Zhou, D. 2013. Carbon stocks and storage potential as affected by vegetation in the Songnen grassland of northeast China. Quaternary International. 306: 114-120.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

ข้อมูลผลการทดลอง

ตารางที่ ก-1 ผลการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1

| การเก็บเกี่ยวหญ้า | | %TS | %VS | %OC | %N |
|-------------------------|-----------|-------|-------|-------|------|
| ครั้งที่ 1 (24/6/57) | แปลงที่ 1 | 14.07 | 12.07 | 44.86 | 2.22 |
| | แปลงที่ 2 | 15.04 | 12.98 | 44.60 | 2.62 |
| | แปลงที่ 3 | 13.62 | 11.67 | 45.25 | 2.43 |
| เฉลี่ย | | 14.25 | 12.24 | 44.90 | 2.42 |
| ครั้งที่ 2 (8/8/57) | แปลงที่ 1 | 15.96 | 13.93 | 45.95 | 1.64 |
| | แปลงที่ 2 | 16.26 | 14.24 | 46.21 | 2.17 |
| | แปลงที่ 3 | 14.48 | 12.67 | 46.79 | 1.70 |
| เฉลี่ย | | 15.56 | 13.61 | 46.32 | 1.84 |
| ครั้งที่ 3 (22/9/57) | แปลงที่ 1 | 16.37 | 13.90 | 47.93 | 1.79 |
| | แปลงที่ 2 | 16.07 | 13.88 | 46.45 | 1.35 |
| | แปลงที่ 3 | 15.39 | 13.29 | 46.12 | 1.75 |
| เฉลี่ย | | 15.94 | 13.69 | 46.83 | 1.63 |
| ครั้งที่ 4 (6/1/58) | แปลงที่ 1 | 14.49 | 12.05 | 77.98 | 1.89 |
| | แปลงที่ 2 | 13.63 | 11.61 | 80.16 | 2.39 |
| | แปลงที่ 3 | 13.73 | 11.66 | 50.29 | 2.82 |
| เฉลี่ย | | 13.95 | 11.77 | 69.48 | 2.37 |
| ครั้งที่ 5 (20/2/58) | แปลงที่ 1 | 18.71 | 16.22 | 46.09 | 1.80 |
| | แปลงที่ 2 | 17.64 | 15.21 | 46.82 | 1.99 |
| | แปลงที่ 3 | 17.14 | 14.78 | 46.62 | 1.81 |
| เฉลี่ย | | 17.83 | 15.41 | 46.51 | 1.87 |
| ครั้งที่ 6 (7/4/58) | แปลงที่ 1 | 18.72 | 16.24 | 75.36 | 1.16 |
| | แปลงที่ 2 | 17.55 | 15.35 | 79.65 | 1.49 |
| | แปลงที่ 3 | 16.34 | 14.07 | 80.83 | 1.54 |
| เฉลี่ย | | 17.54 | 15.22 | 78.61 | 1.40 |

ตารางที่ ก-2 อัตราผลผลิตของหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1

| การเก็บเกี่ยวหญ้า | | น้ำหนักสด (กิโลกรัม/แปลง) | น้ำหนักสด (กิโลกรัม/ไร่) | น้ำหนักแห้ง (กิโลกรัม/ไร่) | ปริมาณคาร์บอน (กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่) |
|-------------------------|-----------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--|
| ครั้งที่ 1 (24/6/57) | แปลงที่ 1 | 21.6 | 4000 | 562.86 | 252.50 |
| | แปลงที่ 2 | 21.9 | 4056 | 610.12 | 272.12 |
| | แปลงที่ 3 | 20.2 | 3741 | 509.67 | 230.63 |
| เฉลี่ย | | 21.23 | 3932 | 560.88 | 251.75 |
| ครั้งที่ 2 (8/8/57) | แปลงที่ 1 | 14.4 | 2667 | 425.47 | 195.50 |
| | แปลงที่ 2 | 16.6 | 3074 | 499.73 | 230.93 |
| | แปลงที่ 3 | 18 | 3333 | 482.70 | 225.86 |
| เฉลี่ย | | 16.33 | 3025 | 469.30 | 217.43 |
| ครั้งที่ 3 (22/9/57) | แปลงที่ 1 | 5.4 | 1000 | 163.68 | 78.45 |
| | แปลงที่ 2 | 7.8 | 1444 | 232.06 | 107.79 |
| | แปลงที่ 3 | 9.4 | 1741 | 267.97 | 123.59 |
| เฉลี่ย | | 7.53 | 1395 | 221.24 | 103.28 |
| ครั้งที่ 4 (6/1/58) | แปลงที่ 1 | 3.3 | 611 | 88.54 | 69.04 |
| | แปลงที่ 2 | 11.2 | 2074 | 282.78 | 226.68 |
| | แปลงที่ 3 | 7 | 1296 | 177.94 | 89.49 |
| เฉลี่ย | | 7.17 | 1327 | 183.09 | 128.40 |
| ครั้งที่ 5 (20/2/58) | แปลงที่ 1 | 7.8 | 1444 | 270.32 | 124.59 |
| | แปลงที่ 2 | 15.2 | 2815 | 496.65 | 232.53 |
| | แปลงที่ 3 | 19.5 | 3611 | 618.85 | 288.51 |
| เฉลี่ย | | 14.17 | 2623 | 461.94 | 215.21 |
| ครั้งที่ 6 (7/4/58) | แปลงที่ 1 | 15.4 | 2852 | 533.98 | 402.41 |
| | แปลงที่ 2 | 27.3 | 5056 | 887.09 | 706.56 |
| | แปลงที่ 3 | 26.4 | 4889 | 798.67 | 645.56 |
| เฉลี่ย | | 23.03 | 4265 | 739.91 | 584.84 |

ตารางที่ ก-3 ผลการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของดินในแปลงทดลองก่อนเริ่มการปลูก

| ความลึกดิน (cm.) | | pH | %OM | %OC | %N | texture | Bulk Density (g/cm ³) | %MC |
|------------------|-------|-----|------|------|-------|---------|-----------------------------------|-------|
| แปลงที่ 1 | 0-10 | 7.1 | 8.82 | 5.11 | 0.441 | SiCL | 0.89 | 22.61 |
| | 10-20 | 7.5 | 3.42 | 1.98 | 0.171 | SiCL | 1.24 | 24.10 |
| | 20-30 | 7.9 | 1.95 | 1.13 | 0.097 | CL | 1.12 | 25.89 |
| เฉลี่ย | | - | 4.73 | 2.74 | 0.236 | - | 1.08 | 24.20 |
| แปลงที่ 2 | 0-10 | 7.6 | 5.28 | 3.06 | 0.264 | C | 1.39 | 20.01 |
| | 10-20 | 7.9 | 2.41 | 1.39 | 0.121 | C | 1.14 | 30.24 |
| | 20-30 | 8.1 | 1.86 | 1.08 | 0.093 | SiCL | 1.32 | 30.26 |
| เฉลี่ย | | - | 3.18 | 1.84 | 0.159 | - | 1.28 | 26.84 |
| แปลงที่ 3 | 0-10 | 7.2 | 4.55 | 2.64 | 0.227 | SiCL | 1.08 | 27.33 |
| | 10-20 | 7.7 | 2.24 | 1.30 | 0.112 | SiC | 1.18 | 20.42 |
| | 20-30 | 7.8 | 1.78 | 1.03 | 0.089 | C | 1.35 | 20.48 |
| เฉลี่ย | | - | 2.86 | 1.65 | 0.143 | - | 1.20 | 22.74 |

ตารางที่ ก-4 ผลการศึกษาคุณสมบัติของดินในแปลงทดลองจากการเก็บตัวอย่างดินครั้งที่ 2

| ความลึกดิน (cm.) | | %OM | %OC | %N | Bulk Density (g/cm ³) |
|------------------|-------|------|------|-------|-----------------------------------|
| แปลงที่ 1 | 0-10 | 3.45 | 2.00 | 0.173 | 0.96 |
| | 10-20 | 2.30 | 1.33 | 0.115 | 1.14 |
| | 20-30 | 1.50 | 0.87 | 0.075 | 1.28 |
| เฉลี่ย | | 2.42 | 1.40 | 0.121 | 1.13 |
| แปลงที่ 2 | 0-10 | 3.35 | 1.94 | 0.168 | 1.06 |
| | 10-20 | 1.85 | 1.07 | 0.093 | 1.35 |
| | 20-30 | 1.45 | 0.84 | 0.073 | 1.37 |
| เฉลี่ย | | 2.22 | 1.29 | 0.111 | 1.26 |
| แปลงที่ 3 | 0-10 | 4.35 | 2.52 | 0.218 | 1.13 |
| | 10-20 | 1.65 | 0.96 | 0.083 | 1.38 |
| | 20-30 | 1.60 | 0.93 | 0.080 | 1.38 |
| เฉลี่ย | | 2.53 | 1.47 | 0.127 | 1.30 |

ตารางที่ ก-5 ผลการศึกษาคุณสมบัติของดินในแปลงทดลองจากการเก็บตัวอย่างดินครั้งที่ 3

| ความลึกดิน (cm.) | | %OM | %OC | %N | Bulk Density (g/cm ³) |
|------------------|-------|------|------|-------|-----------------------------------|
| แปลงที่ 1 | 0-10 | 2.41 | 1.40 | 0.121 | 0.99 |
| | 10-20 | 1.41 | 0.82 | 0.071 | 1.37 |
| | 20-30 | 1.61 | 0.93 | 0.081 | 1.37 |
| เฉลี่ย | | 1.81 | 1.05 | 0.091 | 1.24 |
| แปลงที่ 2 | 0-10 | 3.85 | 2.23 | 0.192 | 1.21 |
| | 10-20 | 1.77 | 1.03 | 0.089 | 1.31 |
| | 20-30 | 1.41 | 0.81 | 0.070 | 1.41 |
| เฉลี่ย | | 2.34 | 1.36 | 0.117 | 1.31 |
| แปลงที่ 3 | 0-10 | 3.87 | 2.24 | 0.193 | 1.20 |
| | 10-20 | 1.41 | 0.82 | 0.071 | 1.35 |
| | 20-30 | 1.37 | 0.79 | 0.069 | 1.40 |
| เฉลี่ย | | 2.22 | 1.28 | 0.111 | 1.32 |

ตารางที่ ก-6 ผลการศึกษาคุณสมบัติของดินในแปลงทดลองจากการเก็บตัวอย่างดินครั้งที่ 4

| ความลึกดิน (cm.) | | %OM | %OC | %N | Bulk Density (g/cm ³) |
|------------------|-------|------|------|-------|-----------------------------------|
| แปลงที่ 1 | 0-10 | 2.95 | 1.71 | 0.148 | 1.20 |
| | 10-20 | 2.23 | 1.29 | 0.111 | 1.27 |
| | 20-30 | 1.32 | 0.76 | 0.066 | 1.41 |
| เฉลี่ย | | 2.16 | 1.25 | 0.108 | 1.29 |
| แปลงที่ 2 | 0-10 | 2.70 | 1.57 | 0.135 | 1.47 |
| | 10-20 | 2.11 | 1.22 | 0.105 | 1.48 |
| | 20-30 | 1.53 | 0.89 | 0.077 | 1.13 |
| เฉลี่ย | | 2.11 | 1.22 | 0.106 | 1.36 |
| แปลงที่ 3 | 0-10 | 2.03 | 1.18 | 0.102 | 1.07 |
| | 10-20 | 1.86 | 1.08 | 0.093 | 1.45 |
| | 20-30 | 1.43 | 0.83 | 0.072 | 1.60 |
| เฉลี่ย | | 1.77 | 1.03 | 0.089 | 1.37 |

ภาคผนวก ข

รูปจากการทดลองปลูกหญ้าเนเปียร์ในพื้นที่โครงการสวนจิตรลดาฯ กรุงเทพมหานคร



รูปที่ ข-1 พื้นที่ปลูกหญ้าเนเปียร์



รูปที่ ข-2 การเตรียมพื้นที่สำหรับปลูกหญ้าเนเปียร์



รูปที่ ข-3 พื้นที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ที่ทำการปักท่อนพันธุ์เรียบร้อย



รูปที่ ข-4 การจัดการและปรับปรุงพื้นที่เพาะปลูก



รูปที่ ข-5 แปลงปลูกหญ้าเนเปียร์ ในรอบแรก ที่ระยะเวลาปลูก 42 วัน



รูปที่ ข-6 แปลงปลูกหญ้าเนเปียร์ ในรอบแรก ที่ระยะเวลาปลูก 75 วัน



รูปที่ ข-7 การเก็บเกี่ยวหญ้าเนเปียร์โดยการใช้เคียว



รูปที่ ข-8 รดน้ำหลังจากใส่ปุ๋ย



รูปที่ ข-9 เครื่องสับหญ้า



รูปที่ ข-10 หญ้าที่ผ่านเครื่องสับหญ้าแล้ว



รูปที่ ข-11 แปลงปลูกหญ้าเนเปียร์ ในรอบที่ 2 ที่ระยะเวลาปลูก 45 วัน



รูปที่ ข-12 แปลงปลูกหญ้าเนเปียร์ ในรอบที่ 3 ที่ระยะเวลาปลูก 45 วัน



รูปที่ ข-13 แปลงปลูกหญ้าเนเปียร์ ในรอบที่ 4 ที่ระยะเวลาปลูก 45 วัน



รูปที่ ข-14 แปลงปลูกหญ้าเนเปียร์ ในรอบที่ 5 ที่ระยะเวลาปลูก 45 วัน



รูปที่ ข-15 แปลงปลูกหญ้าเนเปียร์ ในรอบที่ 6 ที่ระยะเวลาปลูก 45 วัน



รูปที่ ข-16 โรงโคนมในพื้นที่โครงการสวนจิตรลดาฯ

ภาคผนวก ค

Emission factor

ตารางที่ ค-1 ค่าแฟคเตอร์ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้ง 6 ด้าน จากโปรแกรม Simapro 7.3

| รายการ | หน่วย | ADP (kg Sb eq) | AP (kg SO ₂ eq) | EP (kg PO ₄ ⁻ eq) | GWP (kg CO ₂ eq) | ODP (kg CFC ⁻¹¹ eq) | POP (kg C ₂ H ₄ eq) |
|----------------|----------|-------------------|-------------------------------|--|--------------------------------|--------------------------------------|--|
| เบนซิน | 1 kg | 6.78E-04 | 5.80E-04 | 1.31E-04 | 1.07E-01 | 1.62E-08 | 1.66E-05 |
| การขนส่ง | 1 tkm | 3.35E-02 | 8.43E-03 | 8.14E-04 | 8.80E-01 | 6.31E-07 | 4.69E-04 |
| น้ำมันหล่อลื่น | 1 kg | 2.55E-02 | 2.77E-02 | 4.52E-03 | 9.119586 | 0 | 5.24E-04 |
| ปุ๋ยเคมี (N) | 1 kg | 1.92E-02 | 4.26E-02 | 2.54E-03 | 2.677471 | 0 | 1.47E-03 |
| ปุ๋ยเคมี (P) | 1 kg | 6.25E-03 | 1.17E-03 | 1.81E-04 | 8.00E-01 | 0 | 4.49E-05 |
| ปุ๋ยเคมี (K) | 1 kg | 7.01E-04 | 5.75E-04 | 1.06E-04 | 1.07E-01 | 1.50E-08 | 1.66E-05 |
| ปุ๋ยคอก | 1 kg | 1.73E-06 | 1.17E-06 | 1.29E-07 | 2.39E-04 | 1.07E-11 | 8.09E-08 |
| น้ำประปา | 1 kg | 6.78E-04 | 5.80E-04 | 1.31E-04 | 1.07E-01 | 1.62E-08 | 1.66E-05 |

หมายเหตุ

ตัวย่อแทนผลกระทบสิ่งแวดล้อมดังต่อไปนี้

ADP : ศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปลดลง

AP : ศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ

EP : ศักยภาพในการก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ

GWP : ศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน

ODP : ศักยภาพในการก่อให้เกิดการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ

POP : ศักยภาพในการก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากปฏิกิริยาแสง-เคมี

ภาคผนวก ง

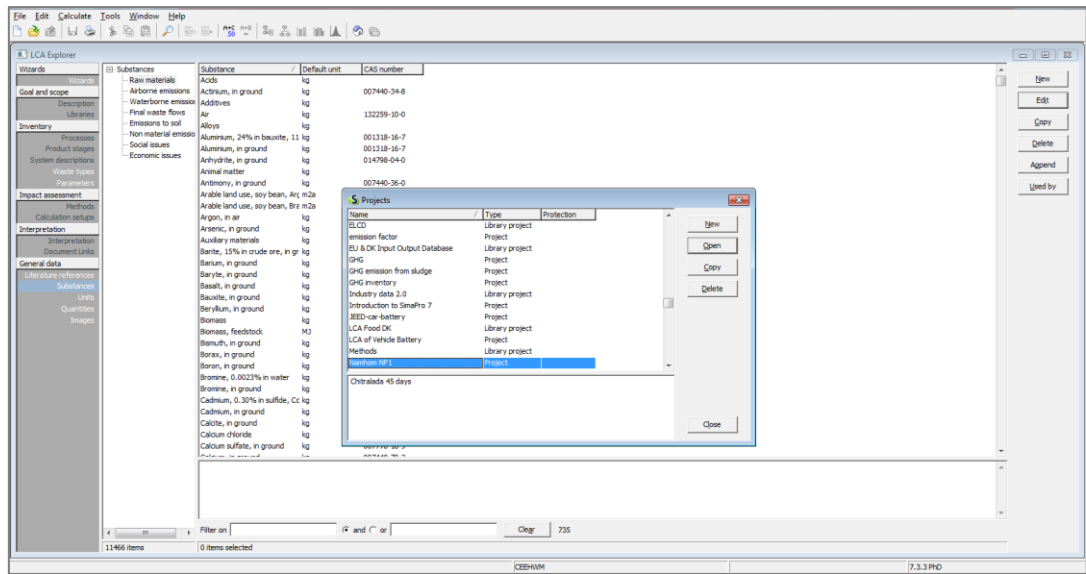
ขั้นตอนการใช้โปรแกรม SimaPro 7.3.3

โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.3.3

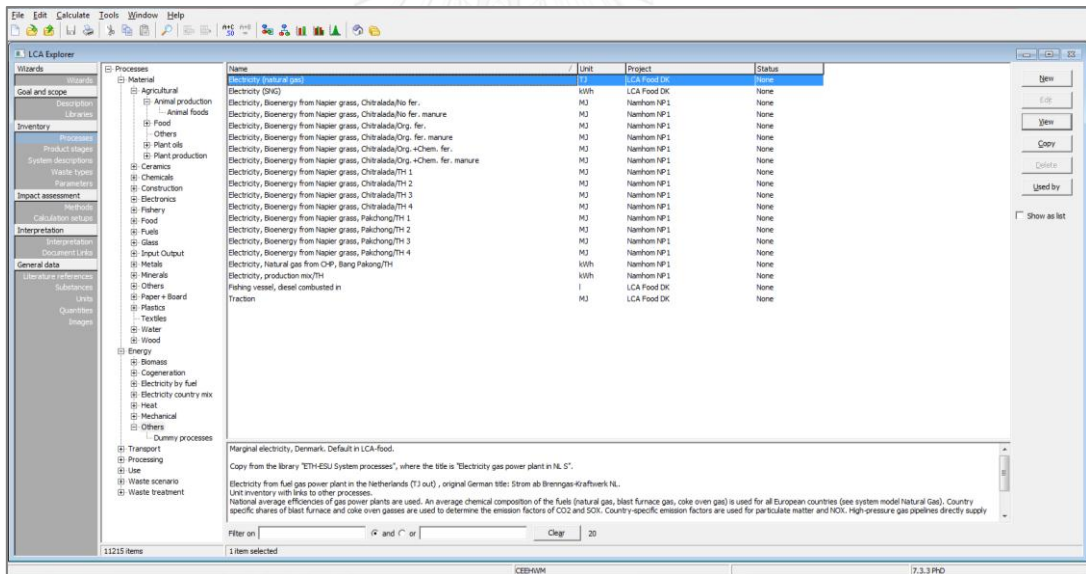
โปรแกรมนี้จะช่วยในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยต้องทำการกำหนดขอบเขตของกระบวนการที่จะศึกษา ได้แก่ การเลือกกระบวนการของระบบ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ วัตถุดิบที่ใช้ ประเภทของเสีย การใช้พลังงาน เพื่อให้โปรแกรมสามารถคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมออกมาในเชิงปริมาณได้ ซึ่งรายละเอียดดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ ง-1 การเปิดใช้งานโปรแกรม SimaPro 7.3.3



รูปที่ ง-2 การเริ่มต้นใช้งานโดยสร้าง Project ขึ้นใหม่ เลือก New



รูปที่ ง-3 สร้าง Process ที่ต้องการเพื่อใส่ข้อมูลดิบ เลือก New

Products

| Name | Amount | Unit | Quantity | Allocation % | Category | Comment |
|--|--------|------|----------|--------------|----------|--------------------------------|
| Electricity, Bioenergy from Napier grass, Chitralada/ho fer. | 1 | MWh | | 100 % | Others | electr. from CHP for all plant |

Inputs

| Name | Sub-compartment | Amount | Unit | Distribution | SD+2 or 2*SD-Min | Max | Comment |
|---|-----------------|-------------|------|--------------|------------------|-----|--------------------|
| Napier stem cutting, at farm/TH | | 0.010999145 | kg | Undefined | | | Agrn. |
| Gasoline (regular), from crude oil, consumption mix | | 0.002398796 | kg | Undefined | | | Agrn. |
| Transport, lorry >20t, fleet average/RER U | | 4.79753E-6 | km | Undefined | | | Agrn. trans fall |
| Tap water, at user/RER S | | 4.36458E-6 | ton | Undefined | | | AD |
| Transport, lorry >10t, fleet average/RER U | | 0.019204136 | km | Undefined | | | AD transport NP |
| Tap water, at user/RER S | | 1.1555E-5 | ton | Undefined | | | UG |
| Transport, lorry >20t, fleet average/RER U | | 0.002794973 | km | Undefined | | | CO transport fert. |
| Lubricating oil, at plant/RER U | | 0.000170153 | kg | Undefined | | | CHP |

รูปที่ ง-4 ป้อนข้อมูลตามบัญชีรายการให้ครบถ้วน จากนั้นเลือก Save

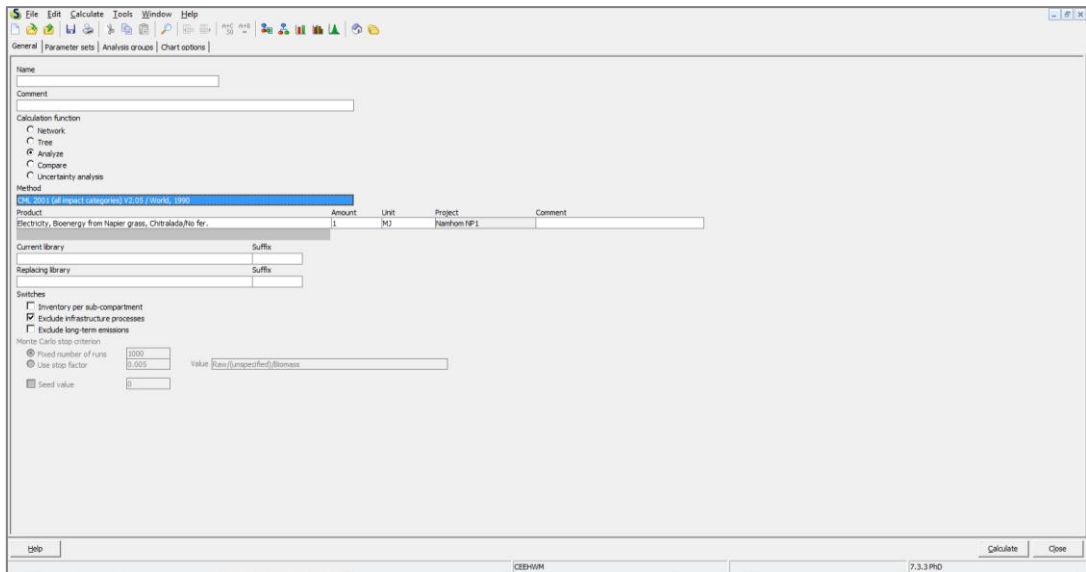
Select a method and a normalization/weighting set

| Method | Name | Version | Project |
|----------------|-----------------------------------|---------|---------|
| European | ReCiPe Midpoint (E) | 1.06 | Methods |
| North American | ReCiPe Midpoint (N) | 1.06 | Methods |
| Others | ReCiPe Midpoint (O) | 1.06 | Methods |
| Single issue | ReCiPe Endpoint (S) | 1.06 | Methods |
| Superseded | ReCiPe Endpoint (H) | 1.06 | Methods |
| | ReCiPe Endpoint (E) | 1.06 | Methods |
| | IMPACT 2002+ | 2.10 | Methods |
| | EPD 2000 | 2.06 | Methods |
| | EPD (2008) | 1.03 | Methods |
| | EDIP 2003 | 1.03 | Methods |
| | Ecological Scarcity 2006 | 1.06 | Methods |
| | Eco-indicator 99 (I) | 2.08 | Methods |
| | Eco-indicator 99 (H) | 2.08 | Methods |
| | Eco-indicator 99 (E) | 2.08 | Methods |
| | CML 2001 (for general categories) | 1.03 | Methods |
| | CML 2 baseline 2000 | 2.05 | Methods |

Normalization/Weighting set

| Normalization/Weighting set |
|-----------------------------|
| The Netherlands, 1997 |
| West Europe, 1995 |
| World, 1995 |
| World, 1990 |

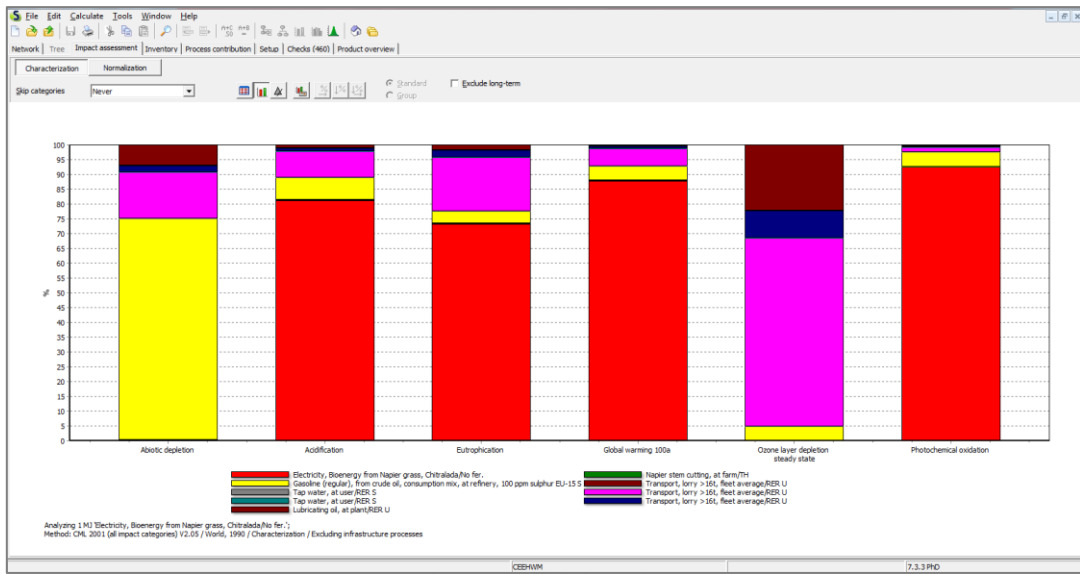
รูปที่ ง-5 ทำการประเมินโดยเลือก Analysis (สัญลักษณ์เป็นแผนภูมิแท่ง) แล้วเลือก Method ที่ต้องการ ในงานวิจัยนี้ใช้ CML 2001 method



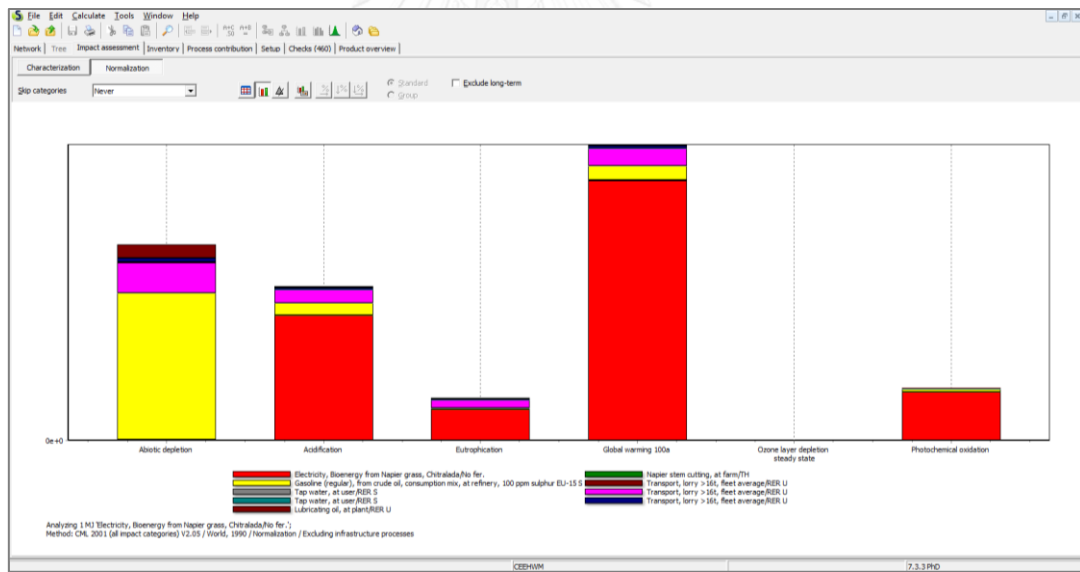
รูปที่ ง-6 ใส่หน่วยการทำงานที่ต้องการ ในงานวิจัยนี้ใช้หน่วยการทำงาน 1 MJ

| Set | Impact category | Unit | Total | Electricity, Bioenergy from Napier grass, Chitralada ho fer. | Napier stem cutting, at farm/TH | Gasoline (regular), from crude oil, consumption inv. at refinery, 100 | Transport, lorry >16t, feet (average)REIR U | Tap water, at user/REIR S | Transport, lorry >16t, average/REIR U |
|-------------------------------------|--------------------------------------|------|----------|--|---------------------------------|---|---|---------------------------|---------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Abiotic depletion | | 5.17E-16 | 0 | 1.36E-18 | 3.87E-16 | 2.02E-20 | 5.8E-20 | 8.09E-17 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Acidification | | 4.06E-16 | 3.3E-16 | 7.65E-19 | 3.09E-17 | 8.83E-21 | 2.04E-20 | 3.53E-17 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Eutrophication | | 1.11E-16 | 8.12E-17 | 2.74E-19 | 4.39E-18 | 5.02E-21 | 2.87E-20 | 2.01E-17 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Global warming 20a | | 1.23E-15 | 1.13E-15 | 1.46E-18 | 3.47E-17 | 9.33E-21 | 2.63E-20 | 3.73E-17 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Global warming 100a | | 7.8E-16 | 6.85E-16 | 1.41E-18 | 3.72E-17 | 1.15E-20 | 3.14E-20 | 4.62E-17 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Global warming 500a | | 5.6E-16 | 4.42E-16 | 1.28E-18 | 4.44E-17 | 1.48E-20 | 3.97E-20 | 5.92E-17 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Upper limit of net global warming | | 7.52E-16 | 6.59E-16 | 1.39E-18 | 3.59E-17 | 1.16E-20 | 3.04E-20 | 4.63E-17 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Lower limit of net global warming | | 8.57E-16 | 7.5E-16 | 1.6E-18 | 4.1E-17 | 1.32E-20 | 3.48E-20 | 5.29E-17 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Ozone layer depletion 5a | | 1.59E-19 | 0 | 5.53E-23 | 4.4E-21 | 2.54E-23 | 3.38E-23 | 1.02E-19 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Ozone layer depletion 10a | | 2.53E-19 | 0 | 8.77E-23 | 6.92E-21 | 4.02E-23 | 5.06E-23 | 1.62E-19 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Ozone layer depletion 15a | | 3.16E-19 | 0 | 1.09E-22 | 8.56E-21 | 5.08E-23 | 5.96E-23 | 2.03E-19 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Ozone layer depletion 20a | | 3.56E-19 | 0 | 1.23E-22 | 9.64E-21 | 5.73E-23 | 6.39E-23 | 2.29E-19 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Ozone layer depletion 25a | | 3.92E-19 | 0 | 1.33E-22 | 1.05E-20 | 6.32E-23 | 6.75E-23 | 2.53E-19 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Ozone layer depletion 30a | | 4.23E-19 | 0 | 1.45E-22 | 1.12E-20 | 6.82E-23 | 6.95E-23 | 2.72E-19 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Ozone layer depletion 40a | | 4.99E-19 | 0 | 1.57E-22 | 1.2E-20 | 7.43E-23 | 6.97E-23 | 2.98E-19 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Ozone layer depletion steady state | | 4.21E-19 | 0 | 1.6E-22 | 1.96E-20 | 6.69E-23 | 5.7E-23 | 2.68E-19 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Human toxicity 20a | | 4.71E-18 | 1.22E-18 | 5.98E-21 | 1.66E-18 | 4.92E-22 | 5.69E-21 | 1.97E-18 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Human toxicity 100a | | 4.76E-18 | 1.22E-18 | 6.01E-21 | 1.68E-18 | 4.96E-22 | 5.72E-21 | 1.99E-18 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Human toxicity 500a | | 4.85E-18 | 1.22E-18 | 6.08E-21 | 1.76E-18 | 4.98E-22 | 5.78E-21 | 2E-18 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Human toxicity infinite | | 8.79E-18 | 1.74E-18 | 9.45E-21 | 3.04E-18 | 6.22E-22 | 1.29E-20 | 2.49E-18 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Freshwater aquatic ecotox. 20a | | 3.9E-17 | 0 | 3.36E-20 | 1.39E-18 | 3.32E-21 | 4.01E-19 | 1.32E-17 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Freshwater aquatic ecotox. 100a | | 3.32E-17 | 0 | 3.52E-20 | 1.9E-18 | 3.39E-21 | 4.13E-19 | 1.36E-17 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Freshwater aquatic ecotox. 500a | | 3.43E-17 | 0 | 3.55E-20 | 3.79E-18 | 3.39E-21 | 3.96E-19 | 1.34E-17 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Fresh water aquatic ecotox. infinite | | 3.74E-17 | 0 | 3.7E-20 | 8.14E-18 | 3.39E-21 | 3.66E-19 | 1.32E-17 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Marine aquatic ecotox. 20a | | 2.37E-16 | 0 | 1.86E-19 | 1.13E-16 | 1.78E-20 | 6.21E-19 | 7.13E-17 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Marine aquatic ecotox. 100a | | 2.46E-16 | 0 | 2.16E-19 | 1.31E-16 | 1.58E-20 | 9.16E-19 | 6.34E-17 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Marine aquatic ecotox. 500a | | 2.39E-16 | 0 | 2.1E-19 | 1.38E-16 | 1.46E-20 | 9.19E-19 | 5.85E-17 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Marine aquatic ecotoxicity infinite | | 4.19E-16 | 0 | 4.6E-19 | 2.27E-16 | 2.23E-20 | 1.9E-18 | 8.91E-17 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Terrestrial ecotoxicity 20a | | 9.63E-19 | 0 | 9.95E-22 | 7.57E-19 | 3.41E-23 | 8.19E-22 | 1.36E-19 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Terrestrial ecotoxicity 100a | | 4.33E-18 | 0 | 3.67E-21 | 3.49E-18 | 1.46E-22 | 3.61E-21 | 5.82E-19 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Terrestrial ecotoxicity 500a | | 1.9E-17 | 0 | 1.12E-20 | 1.1E-17 | 4.92E-23 | 1.18E-20 | 1.97E-18 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Terrestrial ecotoxicity infinite | | 2.99E-17 | 0 | 2.3E-20 | 2.4E-17 | 9.69E-22 | 3.04E-20 | 3.88E-18 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Marine sediment ecotox. 20a | | 2.18E-16 | 0 | 1.7E-19 | 9.96E-17 | 1.7E-20 | 6.03E-19 | 6.79E-17 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Marine sediment ecotox. 100a | | 2.22E-16 | 0 | 1.83E-19 | 1.12E-16 | 1.52E-20 | 8E-19 | 6.2E-17 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Marine sediment ecotox. 500a | | 2.16E-16 | 0 | 1.84E-19 | 1.17E-16 | 1.4E-20 | 8.01E-19 | 5.6E-17 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Marine sediment ecotoxicity infinite | | 3.6E-16 | 0 | 3.02E-18 | 2.08E-16 | 1.88E-20 | 1.11E-18 | 7.57E-17 |

รูปที่ ง-7 ผลการประเมินทั้งหมด ทำการเลือกเฉพาะกลุ่มผลกระทบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่สนใจ



รูปที่ ง-8 ตัวอย่างของผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมแสดงเป็นสัดส่วน



รูปที่ ง-9 ตัวอย่างของผลการประเมินในขั้นตอนการจัดกลุ่มและเทียบหน่วย (Normalization)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวภาพิณฑ บำประสิทธิ์ เกิดเมื่อวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2533 สำเร็จการศึกษา ระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย ชลบุรี จ.ชลบุรี ในปีการศึกษา 2550 สำเร็จ การศึกษาในระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554 และเข้าศึกษาต่อในระดับ ปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2555

การเผยแพร่วิทยานิพนธ์แบบบรรยายในที่ประชุมระดับนานาชาติ

Papapin Bangprasit, Parnuwat Usapein and Orathai Chavalparit. “Life Cycle Assessment of Bioenergy System from Energy Crop in Thailand: Case study of Napier Pakchong 1 grass”. The proceedings of the 2rd 3R International Conference on Material Cycles and Waste Management, Daejeon Convention Center, Daejeon, Korea. 21-23 May, 2015.

การเผยแพร่วิทยานิพนธ์แบบบรรยายในที่ประชุมระดับชาติ

ภาพิณฑ บำประสิทธิ์ และ อรทัย ขวาลภาฤทธิ์. “การประเมินการปล่อยก๊าซเรือน กระจกของระบบพลังงานชีวภาพ กรณีศึกษาหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1”. เอกสารประกอบการ ประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 14, โรงแรมโลตัส ปางสวนแก้ว จังหวัดเชียงใหม่. วันที่ 27-29 พฤษภาคม 2558.