เอกสารวิชาการฉบับที่ 707

Staff Paper No. 707

การส่งเสริมพัฒนาการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวล (BIOMASS) เพื่อทดแทนการเผา

นางสาวศุภานัน เจริญขนัดภัค
สำนักพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยี
สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม

เอกสารวิชาการฉบับที่ 707 Staff Paper No. 707

การส่งเสริมพัฒนาการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวล (Biomass) เพื่อทดแทนการเผา

นางสาวศุภานัน เจริญขนัดภัค

สำนักพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยี
สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม

คำนำ

เอกสารวิชาการเรื่องการส่งเสริมพัฒนาการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวลเพื่อทดแทนการเผา ในเขตปฏิรูปที่ดิน ตำบลหนองพันจันทร์ อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี จัดทำขึ้นเพื่อรวบรวมและสรุปองค์ความรู้เชิงปฏิบัติการในการจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยเฉพาะใบอ้อยและวัชพืช ซึ่งมักถูกจัดการด้วยวิธีการเผาในที่โล่งจนก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศและฝุ่นละออง PM 2.5 ตลอดจนส่งผลกระทบโดยตรงต่อโครงสร้างความอุดมสมบูรณ์ของที่ดินในเขตปฏิรูปที่ดิน การริเริ่มนวัตกรรมถังหมักก๊าซชีวภาพในระดับครัวเรือนจึงเป็นแนวทางสำคัญในการเปลี่ยนภาระทางสิ่งแวดล้อมให้กลายเป็นพลังงานสะอาดและปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงสำหรับเกษตรกร

เนื้อหาในเอกสารฉบับนี้ครอบคลุมตั้งแต่การวิเคราะห์สถานการณ์พื้นที่ การประยุกต์ใช้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน ขั้นตอนการจัดทำนวัตกรรมเชิงเทคนิค และผลสัมฤทธิ์จากการดำเนินงานจริงในพื้นที่เป้าหมาย ซึ่งพิสูจน์ให้เห็นว่าการมีส่วนร่วมของชุมชนร่วมกับการสนับสนุนทางวิชาการที่เหมาะสม สามารถสร้างความเปลี่ยนแปลงที่ยั่งยืนได้ ทั้งในมิติการลดรายจ่ายภาคครัวเรือนและการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมในระดับตำบล

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณสำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม สำนักพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยี และสำนักงานการปฏิรูปที่ดินจังหวัดราชบุรี ที่ได้ให้การสนับสนุนและมอบโอกาสในการขับเคลื่อนงานวิชาการฉบับนี้ ตลอดจนขอขอบคุณผู้นำชุมชนและเกษตรกรในพื้นที่ตำบลหนองพันจันทร์ สำหรับความร่วมมือในการทดลองและถ่ายทอดเทคโนโลยีเป็นอย่างดียิ่ง ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าเอกสารวิชาการฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อบุคลากรในสังกัด เกษตรกร และผู้ที่สนใจ เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาพื้นที่ปฏิรูปที่ดินให้ก้าวสู่การเป็นพื้นที่เกษตรกรรมสีเขียวอย่างยั่งยืนต่อไป

ศุภานัน เจริญขนัดภัค

พฤษภาคม 2569

สารบัญ

หน้า

คำนำ ..... ก
สารบัญ ..... ข
สารบัญภาพ ..... ง
สารบัญตาราง ..... จ
บทคัดย่อ ..... ฉ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตการศึกษา 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 แนวคิดโมเดลเศรษฐกิจ BCG (Bio-Circular-Green Economy Model) 4
2.2 ทฤษฎีการผลิตก๊าซชีวภาพและการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) 5
2.3 แนวคิดเรื่องมลพิษฝุ่นละออง PM 2.5 และผลกระทบจากการเผาในพื้นที่เกษตรกรรม 8
2.4 แนวคิดการพัฒนาแบบมีส่วนร่วมและการบริหารจัดการความรู้เพื่อความยั่งยืน 10
2.5 แนวคิดเกี่ยวกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน และยุทธศาสตร์ชาติที่เกี่ยวข้อง 12
2.6 งานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง 14
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน 16
3.1 การศึกษาวิเคราะห์พื้นที่และข้อมูลฐาน (Pre-Implementation) 16
3.2 ขั้นตอนการประกอบถังหมักก๊าซชีวภาพ 16
3.3 ขั้นตอนการจัดทำถังเก็บก๊าซชีวภาพ 17
3.4 การใช้งานและการบริหารจัดการก๊าซชีวภาพ 19
3.5 กระบวนการถ่ายทอดเทคโนโลยีและการเรียนรู้ (Knowledge Transfer) 21
3.6 การติดตามและประเมินผลสัมฤทธิ์ (Post-Implementation) 23
3.7 สูตรการหมักก๊าซชีวภาพสำหรับถังหมักขนาด 120 ลิตร 24
3.8 นวัตกรรมก้อนเชื้อจุลินทรีย์ (Biogas Ball) 25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน 26
4.1 ผลการวิเคราะห์สถานการณ์พื้นที่และดัชนีจุดความร้อนเชิงพื้นที่ 26
4.2 ผลสัมฤทธิ์ด้านการถ่ายทอดองค์ความรู้และนวัตกรรมสู่ชุมชน 26
4.3 ประสิทธิภาพทางเทคนิคของนวัตกรรมก๊าซชีวภาพและระบบกักเก็บ 27
4.4 ผลกระทบและมูลค่าเพิ่มในมิติเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม 28
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 29
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 29
5.2 อภิปรายผล 29
5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการ 30
5.4 ข้อเสนอแนะ 30
บรรณานุกรม 32
ภาคผนวก 1 33
ภาคผนวก 2 38
ภาคผนวก 3 45

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 แผนผังแนวคิดโมเดลเศรษฐกิจ BCG (BCG Economy Model)....4
ภาพที่ 2.2 แผนผังจำลองโครงสร้างและหลักการทำงานของถังหมักก๊าซชีวภาพยูเอเอสบี....7
(Upflow Anaerobic Sludge Blanket: UASB)....
ภาพที่ 2.3 แผนผังความเชื่อมโยงหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง....10
สู่เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SEP for SDGs)....
ภาพที่ 3.1 ถังหมักก๊าซชีวภาพจากชีวมวลใบอ้อย....17
ภาพที่ 3.2 ถังเก็บก๊าซชีวภาพ....17
ภาพที่ 3.3 ชุดนวัตกรรมถังหมักและถังกักเก็บก๊าซชีวภาพ....18
ภายหลังกระบวนการประกอบเสร็จสมบูรณ์ในสภาพพร้อมใช้งาน....
ภาพที่ 3.4 ชุดอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพจากใบอ้อย....20
ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนการเตรียมชีวมวลและการบรรจุวัตถุดิบ....20
ภาพที่ 3.6 การส่งเสริมและถ่ายทอดองค์ความรู้การผลิตก๊าซชีวภาพสู่เกษตรกรในพื้นที่เป้าหมาย....21
ภาพที่ 3.7 การจัดกิจกรรมฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ....21
และการสาธิตกระบวนการประกอบนวัตกรรมถังหมักก๊าซชีวภาพ....
ภาพที่ 3.8 การถ่ายทอดองค์ความรู้ผ่านหลักสูตรฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ....22
หลักสูตร แนวทางการเฝ้าระวังการเผาไหม้ในเขตปฏิรูปที่ดิน....
ภาพที่ 3.9 การถ่ายทอดองค์ความรู้ผ่านหลักสูตรฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ....23
หลักสูตร การบริหารจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อเพิ่มมูลค่า....
ภาพที่ 3.10 การติดตามผลหลังการอบรม....23
ภาพที่ 4.1 การตรวจเยี่ยมและติดตามผลสัมฤทธิ์การใช้งานนวัตกรรมก๊าซชีวภาพในพื้นที่จริง....27

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 รายการวัสดุและอุปกรณ์สำหรับการจัดทำชุดถังหมักและถังกักเก็บก๊าซชีวภาพ.....33
ตารางที่ 2 รายการวัสดุสำหรับการจัดทำก้อนเชื้อจุลินทรีย์ (Biogas Ball).....36
ตารางที่ 3 รายการวัสดุและอุปกรณ์สำหรับระบบบรรจุก๊าซชีวภาพด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ 37

บทคัดย่อ

การดำเนินงานวิชาการเรื่องการส่งเสริมพัฒนาการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวลเพื่อทดแทนการเผาในเขตปฏิรูปที่ดิน ตำบลหนองพันจันทร์ อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาและพัฒนานวัตกรรมการจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยเฉพาะใบอ้อยและวัชพืช เพื่อลดปัญหาการเผาในที่โล่งซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของวิกฤตมลพิษฝุ่นละออง PM 2.5 และเพื่อส่งเสริมการเข้าถึงพลังงานสะอาดในระดับครัวเรือนเกษตรกร ระเบียบวิธีดำเนินงานประกอบด้วยการวิเคราะห์สถานการณ์จุดความร้อน (Hotspots) เชิงพื้นที่ การประเมินความต้องการเทคโนโลยีของเกษตรกร การออกแบบและจัดทำนวัตกรรมชุดถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 ลิตร และการถ่ายทอดเทคโนโลยีผ่านการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ จำนวน 2 หลักสูตร คือ หลักสูตรแนวทางการเฝ้าระวังการเผาไหม้ และหลักสูตรการบริหารจัดการเศษวัสดุเพื่อเพิ่มมูลค่า พร้อมทั้งติดตามประเมินผลสัมฤทธิ์ภายหลังการใช้งานจริง

ผลการดำเนินงานพบว่า การดำเนินงานเชิงรุกในพื้นที่หมู่ที่ 2 ตำบลหนองพันจันทร์ สามารถปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเกษตรกรจากการเผาทำลายเศษวัสดุมาเป็นการจัดการเชิงพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เกษตรกรมีทักษะในการประกอบและดูแลระบบถังหมักก๊าซชีวภาพ ซึ่งอาศัยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ทำให้นวัตกรรมที่พัฒนาขึ้นสามารถผลิตก๊าซชีวภาพที่มีคุณภาพสูงเพียงพอต่อการหุงต้มอาหารในชีวิตประจำวัน ในมิติเศรษฐกิจพบว่าเกษตรกรสามารถลดภาระรายจ่ายค่าก๊าซหุงต้ม (LPG) และลดต้นทุนการซื้อปุ๋ยเคมีจากการใช้ผลพลอยได้ในรูปของน้ำหมักอินทรีย์ ในมิติสิ่งแวดล้อมพบว่าสถิติจุดความร้อนในพื้นที่นำร่องลดลงอย่างชัดเจน ช่วยฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดินและลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก งานวิชาการชิ้นนี้จึงเป็นโมเดลต้นแบบที่สำคัญในการขับเคลื่อนนโยบายพื้นที่สีเขียวในเขตปฏิรูปที่ดิน (ALRO Green Area) และการพัฒนาคุณภาพชีวิตเกษตรกรอย่างยั่งยืน

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยภายใต้บริบทของระบบเกษตรกรรมสมัยใหม่ยังคงเผชิญกับความท้าทายวิกฤตด้านการบริหารจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในพื้นที่เขตปฏิรูปที่ดิน ซึ่งเป็นแหล่งผลิตพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างอ้อย จากข้อมูลเชิงประจักษ์พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่ยังขาดระบบการจัดการวัสดุเหลือใช้อย่างมีประสิทธิภาพและครบวงจร นำไปสู่การเลือกใช้วิธีการเผาทำลายใบอ้อยและเศษวัสดุในพื้นที่เปิดโล่งเพื่อความสะดวกในกระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิตและการเตรียมพื้นที่เพาะปลูก พฤติกรรมการเผาดังกล่าวได้ก่อให้เกิดผลกระทบเชิงลบอย่างรุนแรงในวงกว้าง ทั้งมิติด้านสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และวิกฤตด้านสุขอนามัยจากการสะสมของฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM 2.5) ที่สูงเกินมาตรฐาน ตลอดจนการตรวจพบจุดความร้อน (Hotspots) จำนวนมากในพื้นที่เกษตรกรรมในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งส่งผลต่อภาพลักษณ์และความยั่งยืนของภาคเกษตรไทยในระดับสากล

ในมิติเชิงนิเวศน์เกษตร ความร้อนจากการเผาทำลายยังส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณลักษณะทางปฐพีวิทยา โดยทำลายอินทรียวัตถุและกลุ่มจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดินอย่างรุนแรง ส่งผลให้โครงสร้างดินเสื่อมโทรม แข็งตัว และสูญเสียขีดความสามารถในการกักเก็บน้ำและธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช วงจรความเสื่อมโทรมดังกล่าวนำไปสู่สภาวะที่เกษตรกรต้องเพิ่มปริมาณการใช้ปัจจัยการผลิตทางเคมีเพื่อรักษาระดับผลผลิต ก่อให้เกิดต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นในขณะที่รายได้สุทธิลดลง ประกอบกับความผันผวนของราคาพลังงานและก๊าซหุงต้ม (LPG) ในตลาดโลก ยิ่งซ้ำเติมภาระค่าใช้จ่ายในครัวเรือนของเกษตรกรในเขตปฏิรูปที่ดินให้ทวีความรุนแรงยิ่งขึ้น ซึ่งถือเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการบรรลุเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนและการยกระดับคุณภาพชีวิตเกษตรกรตามภารกิจหลักของหน่วยงาน

ด้วยเหตุดังกล่าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์จึงได้กำหนดนโยบายขับเคลื่อนการพัฒนาภาคเกษตรกรรมภายใต้โมเดลเศรษฐกิจ BCG (Bio-Circular-Green Economy) โดยมุ่งเน้นการเปลี่ยนผ่านจากการจัดการเศษวัสดุด้วยการเผาทำลาย ไปสู่การสร้างมูลค่าเพิ่ม (Waste to Value) สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม (ส.ป.ก.) โดยสำนักพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยี จึงได้ดำเนินการเชิงรุกในการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพจากชีวมวล (Biomass) ผ่านกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) เพื่อเปลี่ยนใบอ้อยและเศษวัสดุทางการเกษตรให้เป็นพลังงานสะอาดสำหรับใช้ในครัวเรือน และได้รับผลพลอยได้เป็นปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงสำหรับฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของที่ดิน การดำเนินงานในพื้นที่ตำบลหนองพันจันทร์ อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี จึงมิใช่เพียงการแก้ปัญหาเชิงเทคนิคเท่านั้น แต่เป็นการสร้างต้นแบบเชิงระบบในการจัดการพื้นที่เกษตรกรรมสีเขียว

(Green Area) ที่สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติระยะ 20 ปี และแผนแม่บทด้านการเติบโตอย่างยั่งยืน เพื่อมุ่งสู่การเป็นเกษตรกรรมปลอดการเผาอย่างเป็นรูปธรรม

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อรณรงค์และสร้างความตระหนักรู้เชิงรุก เกี่ยวกับผลกระทบจากการเผาทำลายพื้นที่เกษตรกรรมในเขตปฏิรูปที่ดิน ควบคู่ไปกับการศึกษารูปแบบและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวลที่สอดคล้องกับบริบททางสังคมและกายภาพของเกษตรกร เพื่อให้เกิดการปรับเปลี่ยนกระบวนทัศน์และแนวทางการปฏิบัติที่สามารถนำไปใช้ทดแทนการเผาเศษวัสดุทางการเกษตรได้อย่างยั่งยืน

1.2.2 เพื่อสร้างกลไกการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมเชิงประจักษ์ ผ่านการนำนวัตกรรมพลังงานทดแทนมาใช้ลดสถิติจุดความร้อน (Hotspot) และจำกัดขอบเขตพื้นที่เผาไหม้ในเขตปฏิรูปที่ดิน ซึ่งเป็นมาตรการเชิงป้องกันในการลดต้นเหตุของฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM 2.5) ตามแผนแม่บทภายใต้ยุทธศาสตร์ชาติ พร้อมทั้งประเมินประสิทธิภาพความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในการลดภาระรายจ่ายด้านพลังงานก๊าซหุงต้ม (LPG) และลดต้นทุนปัจจัยการผลิตทางการเกษตรในระดับครัวเรือน

1.2.3 เพื่อส่งเสริมการบริหารจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรให้มีมูลค่าเพิ่มและเกิดประโยชน์สูงสุด ตามโมเดลเศรษฐกิจ BCG โดยมุ่งเน้นการยกระดับใบอ้อยและชีวมวลให้เป็นทรัพยากรที่มีมูลค่าเพิ่ม (Waste to Value) ผ่านกระบวนการสร้างองค์ความรู้และนวัตกรรมการจัดการวัสดุเหลือใช้เพื่อยกระดับสู่การเป็นโมเดลพื้นที่สีเขียวต้นแบบ (Green Area Prototype) ในเขตปฏิรูปที่ดินอันเป็นรากฐานสำคัญของการพัฒนาเกษตรกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ในการดำเนินงานวิชาการครั้งนี้ได้กำหนดขอบเขตการดำเนินงานเพื่อให้ครอบคลุมมิติการพัฒนาที่ดินเกษตรกรรมอย่างเป็นระบบ โดยแบ่งออกเป็น 3 ด้านหลัก ดังนี้

1.3.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

มุ่งเน้นการวิเคราะห์กระบวนการเปลี่ยนผ่านจากการจัดการเศษวัสดุทางการเกษตรด้วยวิธีเผาทำลาย ไปสู่การสร้างมูลค่าเพิ่มตามโมเดลเศรษฐกิจ BCG โดยมีรายละเอียดการศึกษาครอบคลุมถึงนวัตกรรมการออกแบบและประยุกต์ใช้ชุดถังหมักก๊าซชีวภาพขนาดครัวเรือนจากถังพลาสติกชนิด High Density Polyethylene (HDPE) ขนาด 200 ลิตร ตลอดจนการศึกษาเทคนิคทางชีวเคมีในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) และการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน เช่น การจัดการค่าความเป็นกรด-ด่าง และการปรับสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N Ratio) ผ่านเทคนิคการหมักร่วมระหว่างใบอ้อยและมูลสัตว์ นอกจากนี้ยังรวมถึงการประเมินผลสัมฤทธิ์เชิงเศรษฐศาสตร์ในการลดรายจ่ายด้านพลังงานก๊าซหุงต้มและการลดต้นทุนปัจจัยการผลิตจากการใช้ผลพลอยได้ทดแทนปุ๋ยเคมี

1.3.2 ขอบเขตด้านพื้นที่

ดำเนินการในพื้นที่เขตปฏิรูปที่ดิน ตำบลหนองพันจันทร์ อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี ซึ่งเป็นพื้นที่ยุทธศาสตร์สำคัญที่มีการเพาะปลูกอ้อยโรงงานหนาแน่นและประสบปัญหาการจัดการชีวมวลหลังการเก็บเกี่ยว โดยกำหนดให้เป็นพื้นที่เป้าหมายในการพัฒนาโมเดลพื้นที่สีเขียวต้นแบบของสำนักงานการปฏิรูปที่ดินจังหวัดราชบุรี

1.3.3 ขอบเขตด้านกลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมายประกอบด้วยเกษตรกรในเขตปฏิรูปที่ดินจังหวัดราชบุรีที่มีความสมัครใจในการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการจัดการเศษวัสดุทางการเกษตร โดยเน้นการพัฒนาทักษะแก่นักวิชาการและเกษตรกรแกนนำ รวมถึงอาสาสมัครปฏิรูปที่ดิน (อสปก.) ให้มีความเชี่ยวชาญในฐานะปราชญ์พลังงานชุมชน เพื่อทำหน้าที่เป็นวิทยากรพี่เลี้ยงในการถ่ายทอดเทคโนโลยีแบบเกษตรกรสู่เกษตรกรอย่างยั่งยืน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การดำเนินโครงการส่งเสริมพัฒนาการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวลในเขตปฏิรูปที่ดินครั้งนี้ มุ่งหวังให้เกิดผลประโยชน์ที่ครอบคลุมทั้งมิติเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ดังนี้

1.4.1 มิติด้านรายได้และการลดรายจ่าย

เกษตรกรในพื้นที่เป้าหมายสามารถลดภาระค่าใช้จ่ายในครัวเรือนจากการนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มาใช้ทดแทนก๊าซหุงต้ม (LPG) และช่วยลดต้นทุนการผลิตทางการเกษตรจากการนำกากตะกอนและน้ำหมักอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการหมักมาใช้เป็นปัจจัยการผลิตทดแทนปุ๋ยเคมี ซึ่งเป็นการสร้างความเข้มแข็งทางการเงินให้กับครัวเรือนเกษตรกรในระยะยาว

1.4.2 มิติด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ส่งผลสัมฤทธิ์โดยตรงต่อการลดอุบัติการณ์การเผาในที่โล่งและลดจำนวนจุดความร้อน (Hotspots) ในพื้นที่ปฏิรูปที่ดิน ซึ่งเป็นมาตรการสำคัญในการบรรเทาปัญหามลพิษฝุ่นละออง PM 2.5 และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศ อีกทั้งยังช่วยรักษาความอุดมสมบูรณ์ของโครงสร้างดินและระบบนิเวศในไร่นาจากการยุติการเผาทำลายอินทรียวัตถุ

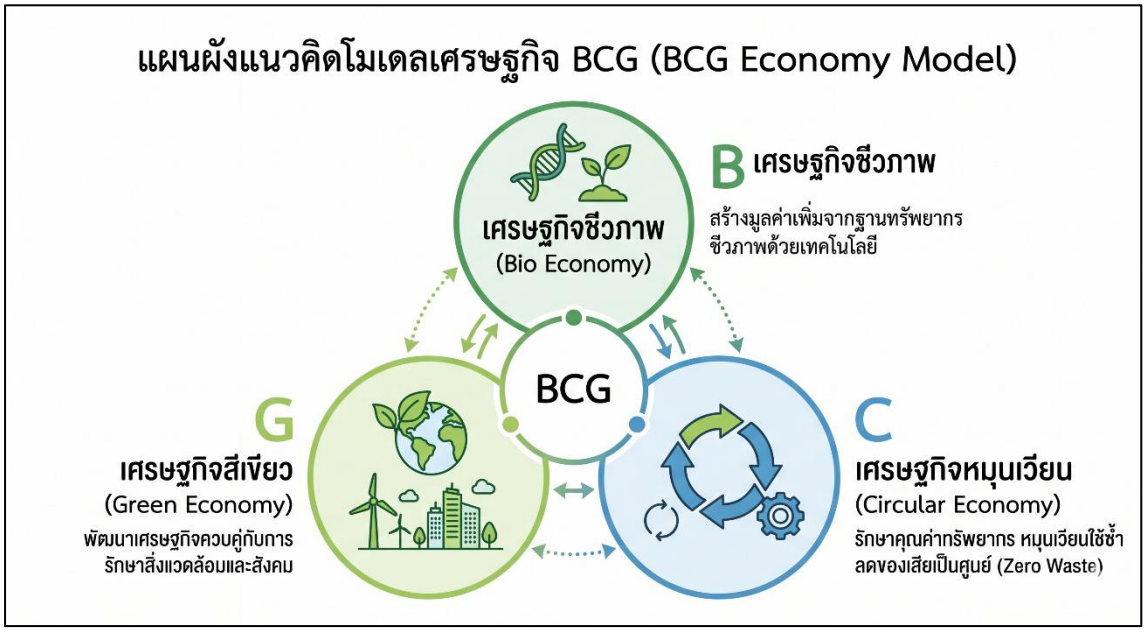
1.4.3 มิติด้านการจัดการความรู้และนโยบาย

สร้างต้นแบบนวัตกรรมการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ใช้งานได้จริงในระดับพื้นที่ (Best Practice) ซึ่งสำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรมสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นฐานข้อมูลทางวิชาการเพื่อประกอบการวางแผนและขยายผลเชิงนโยบายสู่การเป็นพื้นที่สีเขียวต้นแบบทั่วประเทศ อันเป็นการยกระดับภาพลักษณ์ภาคเกษตรกรรมไทยสู่การเป็นเกษตรสีเขียวที่ยั่งยืน

บทที่ 2
ทบทวนแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดโมเดลเศรษฐกิจ BCG (Bio-Circular-Green Economy Model)

โมเดลเศรษฐกิจ BCG เป็นการพัฒนาเศรษฐกิจรูปแบบใหม่ที่รัฐบาลไทยกำหนดให้เป็นวาระแห่งชาติ เพื่อเป็นกลไกหลักในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศให้เติบโตอย่างยั่งยืนและสมดุล โดยเน้นการเปลี่ยนผ่านจาก "การผลิตมากแต่รายได้น้อย" (More for Less) ไปสู่ "การผลิตน้อยแต่รายได้มาก" (Less for More) ผ่านการบูรณาการองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม เข้ากับฐานความหลากหลายทางชีวภาพและทางวัฒนธรรมของไทย (สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ, 2564) ดังแสดงในภาพที่ 2.1 ซึ่งประกอบด้วยมิติการพัฒนาที่เชื่อมโยงกัน 3 ด้าน ดังนี้



ภาพที่ 2.1 แผนผังแนวคิดโมเดลเศรษฐกิจ BCG (BCG Economy Model)

2.1.1 แนวคิดเศรษฐกิจชีวภาพ (Bio Economy)

เศรษฐกิจชีวภาพเป็นระบบเศรษฐกิจที่มุ่งเน้นการนำทรัพยากรชีวภาพมาสร้างมูลค่าเพิ่ม (Value Creation) โดยอาศัยเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาเป็นตัวขับเคลื่อน ซึ่งในภาคเกษตรกรรมไทยนั้นมีฐานทรัพยากรที่มหาศาลแต่ยังขาดการแปรรูปให้เป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าสูง

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (2564) ได้ให้คำนิยามว่าเศรษฐกิจชีวภาพคือการนำความก้าวหน้าทางชีววิทยาและเทคโนโลยีชีวภาพมาเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในภาคเกษตรและการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าสูง (High Value Products) โดยมีเป้าหมายเพื่อยกระดับรายได้ของเกษตรกรและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ ซึ่งในงานวิชาการชิ้นนี้ได้ประยุกต์ใช้แนวคิดดังกล่าวผ่านการเปลี่ยนสถานะของใบอ้อยและชีวมวลที่เหลือจากการเก็บเกี่ยว ให้กลายเป็น

แหล่งวัตถุดิบต้นน้ำเพื่อผลิตพลังงานสะอาด (Biogas) และปัจจัยการผลิตอินทรีย์ ซึ่งถือเป็นการสร้างโอกาสทางเศรษฐกิจใหม่จากฐานทรัพยากรที่มีอยู่ในเขตปฏิรูปที่ดินอย่างยั่งยืน

2.1.2 แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy)

เศรษฐกิจหมุนเวียนเป็นแนวคิดการบริหารจัดการทรัพยากรที่ให้ความสำคัญกับการรักษาคุณค่าของทรัพยากรให้คงอยู่ในระบบให้นานที่สุด และเน้นการลดปริมาณของเสียให้เหลือน้อยที่สุดหรือเป็นศูนย์ (Zero Waste) ซึ่งแตกต่างจากระบบเศรษฐกิจเส้นตรง (Linear Economy) ในอดีตที่เน้นการใช้และทิ้ง (Take-Make-Dispose)

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2564) ระบุว่าหลักการสำคัญของเศรษฐกิจหมุนเวียนคือการปิดวงจรทรัพยากร (Loop Closing) ผ่านกระบวนการ 3R ได้แก่ การลดการใช้ (Reduce) การใช้ซ้ำ (Reuse) และการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ซึ่งในมิติของการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรนั้น แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนจะมองว่า "ไม่มีสิ่งใดที่เป็นขยะ" แต่ทุกอย่างคือทรัพยากรที่ต้องนำกลับมาสร้างประโยชน์ใหม่ การหมักก๊าซชีวภาพจากใบอ้อยจึงเป็นการประยุกต์ใช้หลักการเปลี่ยนของเสียให้เป็นแหล่งรายได้ (Waste-to-Energy/Waste-to-Value) ที่ช่วยลดต้นทุนค่าพลังงานและปุ๋ยเคมีของเกษตรกร และช่วยลดความเสี่ยงจากการจัดการวัสดุที่ผิดวิธีซึ่งก่อให้เกิดมลพิษ

2.1.3 แนวคิดเศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy)

เศรษฐกิจสีเขียวมุ่งเน้นการพัฒนาเศรษฐกิจที่ควบคู่ไปกับการรักษาสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัยของมนุษย์ โดยมีเป้าหมายหลักคือการลดความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม การลดมลพิษ และการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อมุ่งสู่สังคมคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Society)

ธนาคารโลก (2563) และองค์การสหประชาชาติระบุว่าเศรษฐกิจสีเขียวคือแนวทางการพัฒนาที่ช่วยสร้างความกินดีอยู่ดีของมนุษย์และความเท่าเทียมในสังคม โดยที่ทรัพยากรธรรมชาติไม่ถูกทำลายอย่างรุนแรง สำหรับบริบทของประเทศไทยในปัจจุบัน ประเด็นเรื่องเศรษฐกิจสีเขียวมีความเชื่อมโยงโดยตรงกับนโยบายการจัดการมลพิษฝุ่นละออง PM 2.5 และการควบคุมจุดความร้อน (Hotspots) ในภาคเกษตรกรรม เนื่องจากการยุติการเผาในที่โล่งเป็นปัจจัยชี้ขาดที่จะช่วยฟื้นฟูระบบนิเวศดินและบรรเทาปัญหาวิกฤตสุขภาพของชุมชน การสร้างโมเดลพื้นที่สีเขียวต้นแบบ (Green Area Prototype) ในเขตปฏิรูปที่ดินจึงเป็นการยืนยันถึงความสำเร็จในการพัฒนาเกษตรกรรมที่สมดุลระหว่างผลกำไรทางเศรษฐกิจและความยั่งยืนของฐานทรัพยากรธรรมชาติ

2.2 ทฤษฎีการผลิตก๊าซชีวภาพและการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digestion)

การผลิตก๊าซชีวภาพเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ให้กลายเป็นพลังงานสะอาดผ่านปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่ซับซ้อน โดยมีรายละเอียดเชิงทฤษฎีที่สำคัญสำหรับการประยุกต์ใช้ในภาคเกษตรกรรม ดังนี้

2.2.1 ความหมายและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) คือก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยกลุ่มจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ก๊าซที่ได้จะมีลักษณะเป็นก๊าซผสมซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือ ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณร้อยละ 50 ถึง 70 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ร้อยละ 30 ถึง 40 และก๊าซชนิดอื่น ๆ ในปริมาณเล็กน้อย เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และไนโตรเจน (N_2)

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2563) ระบุว่าคุณสมบัติการให้พลังงานความร้อนของก๊าซชีวภาพจะแปรผันตามปริมาณของก๊าซมีเทน โดยก๊าซชีวภาพที่มีความเข้มข้นของมีเทนร้อยละ 60 จะมีค่าความร้อนประมาณ 21,500 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งสามารถใช้ทดแทนก๊าซหุงต้ม (LPG) ในการประกอบอาหารหรือใช้ในเครื่องยนต์สันดาปภายในได้อย่างมีประสิทธิภาพ การทำความเข้าใจองค์ประกอบของก๊าซจึงมีความสำคัญต่อการออกแบบระบบถังหมักเพื่อให้ได้ก๊าซที่มีคุณภาพสูงและปลอดภัยต่อการใช้งาน

2.2.2 กลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) เป็นกระบวนการที่กลุ่มจุลินทรีย์หลายชนิดทำงานร่วมกันอย่างเป็นลำดับขั้นตอน (Sequential Process) โดยมีการเปลี่ยนสถานะของสารประกอบทางเคมีผ่าน 4 ขั้นตอนหลัก (พูนสุข ประเสริฐสรรพ์, 2561) ดังนี้

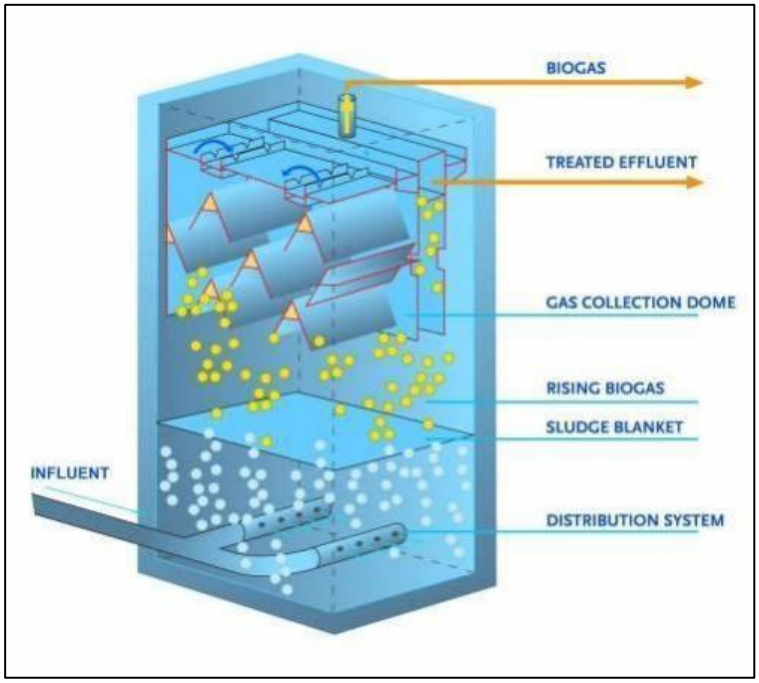
1. ขั้นตอนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เป็นขั้นตอนเริ่มต้นที่จุลินทรีย์จะหลั่งเอนไซม์ภายนอกเซลล์ออกมาย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ที่มีโครงสร้างซับซ้อน เช่น แป้ง โปรตีน ไขมัน รวมถึงเซลลูโลสในใบอ้อย ให้แตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กที่ละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาลเชิงเดี่ยว กรดไขมัน และกรดอะมิโน สำหรับชีวมวลที่มีสารประกอบลิกนินสูงขั้นตอนนี้มักจะเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการเกิดปฏิกิริยา (Rate-limiting step) เนื่องจากจุลินทรีย์ใช้เวลาในการย่อยสลายนานกว่าสารอินทรีย์ประเภทอื่น

2. ขั้นตอนการสร้างกรดอินทรีย์ (Acidogenesis) สารโมเลกุลเล็กที่ได้จากขั้นตอนแรกจะถูกจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด (Acid formers) ย่อยสลายต่อจนกลายเป็นกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids: VFAs) แอลกอฮอล์ ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในขั้นตอนนี้หากสภาวะในถังหมักมีการเติมวัตถุดิบมากเกินไป อาจส่งผลให้มีการผลิตกรดที่รวดเร็วเกินความสามารถของจุลินทรีย์ในขั้นตอนถัดไปจะจัดการได้ ทำให้ระบบเกิดสภาวะเป็นกรดและชะงักการทำงาน

3. ขั้นตอนการสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis) เป็นกระบวนการเปลี่ยนกรดไขมันสายยาวและแอลกอฮอล์ให้กลายเป็นกรดอะซิติก (Acetic acid) ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักที่สำคัญสำหรับกลุ่มจุลินทรีย์ที่จะสร้างก๊าซมีเทน

4. ขั้นตอนการสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenesis) เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่กลุ่มจุลินทรีย์เมทาโนเจน (Methanogens) จะเปลี่ยนกรดอะซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ให้กลายเป็นก๊าซมีเทน จุลินทรีย์กลุ่มนี้มีความอ่อนไหวต่อสภาพแวดล้อมสูง โดยเฉพาะค่าความเป็นกรด-ด่าง

และสารพิษต่าง ๆ ดังนั้นความสมดุลระหว่างจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรดและกลุ่มสร้างมีเทนจึงเป็นหัวใจสำคัญของการเดินระบบถังหมักให้ต่อเนื่อง



ภาพที่ 2.2 แผนผังจำลองโครงสร้างและหลักการทำงานของถังหมักก๊าซชีวภาพยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket: UASB)

2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ

ความสำเร็จในการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวลในระดับครัวเรือน ขึ้นอยู่กับการควบคุมปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพให้เอื้อต่อการทำงานของจุลินทรีย์ โดยมีข้อเท็จจริงเชิงวิชาการที่สอดคล้องกับการปฏิบัติงานจริงดังนี้

1. อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยเร่งปฏิกิริยาที่สำคัญที่สุด โดยเฉพาะในสภาพอากาศเขตร้อนของประเทศไทย อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการย่อยสลายของจุลินทรีย์กลุ่ม Thermophilic (45 ถึง 60 องศาเซลเซียส) ทำให้กระบวนการทางเคมีชีวภาพเกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่าช่วงอุณหภูมิปกติ การวางระบบถังหมักในจุดที่ได้รับความร้อนจากแสงแดดจึงเป็นกลยุทธ์สำคัญที่ช่วยเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซให้สูงขึ้นและต่อเนื่อง

2. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH Value)

สภาวะที่เหมาะสมต่อการสร้างก๊าซมีเทนควรอยู่ในช่วง 6.5 ถึง 7.5 หากระบบมีความเป็นกรดสูงเกินไป (pH ต่ำกว่า 6.0) จากการเติมวัตถุดิบที่มากเกินความสามารถในการย่อยสลาย จะทำให้จุลินทรีย์ชะงักการทำงาน การรักษาสมดุลของค่า pH จึงเป็นตัวชี้วัดความสมบูรณ์ของระบบหมัก

3. สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C ต่อ N Ratio)

จุลินทรีย์ต้องการคาร์บอนเป็นแหล่งพลังงานและไนโตรเจนเพื่อสร้างเซลล์ สัดส่วนที่เหมาะสมคือประมาณ 20 ต่อ 1 ถึง 30 ต่อ 1 สำหรับใบอ้อยที่มีคาร์บอนสูง การหมักร่วม (Co-digestion) กับมูลสัตว์ที่มีไนโตรเจนสูงและจุลินทรีย์พร้อมใช้งาน จะช่วยเร่งการเริ่มต้นระบบให้ผลิตก๊าซได้ทันที

4. ระยะเวลาการตอบสนองและการผลิตก๊าซ (Response Time)

ในระบบถังหมักที่มีหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่สมบูรณ์และได้รับสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม กระบวนการย่อยสลายเพื่อเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซชีวภาพ สามารถเกิดขึ้นได้ภายในระยะเวลาเพียง 24 ชั่วโมง (1 วัน) หลังจากป้อนวัตถุดิบเข้าสู่ระบบ ซึ่งทำให้เกษตรกรสามารถมีก๊าซใช้งานได้อย่างต่อเนื่องในแต่ละวัน โดยไม่จำเป็นต้องรอรอบการย่อยสลายสมบูรณ์เป็นระยะเวลานาน

2.3 แนวคิดเรื่องมลพิษฝุ่นละออง PM 2.5 และผลกระทบจากการเผาในพื้นที่เกษตรกรรม

การเผาในที่โล่งจากภาคเกษตรกรรมเป็นปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศในระดับวิกฤตของประเทศไทย โดยเฉพาะในช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวพืชเศรษฐกิจ ซึ่งส่งผลกระทบต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ต่อทั้งระบบนิเวศและสังคม โดยมีรายละเอียดแนวคิดเชิงวิชาการที่สำคัญดังนี้

2.3.1 แนวคิดเกี่ยวกับองค์ประกอบและสถานการณ์มลพิษฝุ่นละออง PM 2.5

ฝุ่นละออง PM 2.5 เป็นอนุภาคขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน ซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพที่สามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้เป็นเวลานานหลายสัปดาห์และสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกลนับร้อยกิโลเมตรตามทิศทางลม

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2565) และกรมควบคุมมลพิษ ได้ให้คำอธิบายเชิงวิชาการว่าฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาชีวมวล (Biomass Burning) มีความแตกต่างจากฝุ่นละอองในเขตเมือง เนื่องจากประกอบด้วยอนุภาคคาร์บอน (Black Carbon) และสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (Incomplete Combustion) สารเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นแกนกลางให้สารพิษชนิดอื่นมาเกาะตัว เช่น สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) สารกลุ่มไดออกซิน (Dioxins) และโลหะหนัก ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งและสารรบกวนการทำงานของระบบต่อมไร้ท่อ การเผาใบอ้อยในที่โล่งจึงเป็นการปลดปล่อยสารพิษเข้าสู่ชั้นบรรยากาศโดยตรง ส่งผลให้ดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) พุ่งสูงขึ้นเกินค่ามาตรฐานอย่างรวดเร็วในช่วงฤดูเปิดหีบอ้อย ซึ่งเป็นช่วงที่สภาวะอากาศมักจะมี "ปรากฏการณ์อุณหภูมิผกผัน" (Inversion) ที่มวลอากาศเย็นกดทับอากาศร้อนไว้ด้านล่าง ทำให้มลพิษถูกกักตัวอยู่ระดับผิวพื้นและส่งผลกระทบต่อประชาชนในพื้นที่เกษตรกรรมอย่างรุนแรง

2.3.2 ผลกระทบของการเผาต่อโครงสร้างทางกายภาพและเคมีของดิน

ในมิติของปฐพีวิทยาและการจัดการที่ดินเกษตรกรรม การเผาทำลายเศษวัสดุส่งผลกระทบอย่างถาวรต่อโครงสร้างของที่ดินและขีดความสามารถในการผลิตทางการเกษตรอย่างยั่งยืน ซึ่งถือเป็นการทำลายทรัพยากรพื้นฐานที่สำคัญที่สุดของเกษตรกร

กรมพัฒนาที่ดิน (2565) และคณะนักวิจัยด้านเกษตรกรรมยั่งยืน ได้วิเคราะห์ผลกระทบเชิงประจักษ์จากการเผาในแปลงเกษตรพบว่า ความร้อนจากการเผาไหม้เหนือผิวดินที่มีอุณหภูมิสูงกว่า

400 ถึง 700 องศาเซลเซียส ส่งผลให้อินทรียวัตถุในดิน (Soil Organic Matter) ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการควบคุมโครงสร้างดินและความชื้นถูกทำลายลงอย่างรวดเร็ว ธาตุอาหารสำคัญโดยเฉพาะไนโตรเจน (N) และกำมะถัน (S) จะระเหยสูญเสียไปสู่บรรยากาศในรูปก๊าซมากกว่าร้อยละ 90 ของปริมาณที่มีอยู่เดิม ในขณะที่ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) แม้จะยังคงเหลืออยู่ในรูปของเถ้า แต่ก็มักจะถูกชะล้างออกไปได้ง่ายจากการระบายน้ำหรือฝน นอกจากนี้ ความร้อนยังส่งผลให้โครงสร้างดินเกิดการอัดตัวแน่น แข็งตัว และสูญเสียรูพรุน (Macropores) ทำให้ดินขาดความสามารถในการระบายน้ำและอากาศ ดินที่ผ่านการเผาซ้ำเป็นเวลานานจะเกิดสภาวะเสื่อมโทรมอย่างรุนแรง ทำให้เกษตรกรต้องเพิ่มปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีมากขึ้นในทุกรอบปีการผลิต เพื่อชดเชยธาตุอาหารและคุณภาพดินที่สูญเสียไปอย่างถาวร

2.3.3 ผลกระทบของการเผาต่อความหลากหลายทางชีวภาพและจุลินทรีย์ในดิน

นอกเหนือจากผลกระทบทางกายภาพ ความร้อนจากการเผายังทำลายระบบนิเวศขนาดเล็กใต้ดินซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการผลิตธาตุอาหารพืชตามธรรมชาติ

สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม (2564) ระบุว่าในดินที่อุดมสมบูรณ์จะประกอบด้วยจุลินทรีย์นานาชนิด เช่น แบคทีเรีย รา และสัตว์ขนาดเล็กในดินที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์และช่วยในการหมุนเวียนธาตุอาหาร (Nutrient Cycling) ความร้อนจากการเผาไหม้จะฆ่าจุลินทรีย์เหล่านี้อย่างกวาดล้าง ส่งผลให้วงจรการย่อยสลายตามธรรมชาติหยุดชะงัก การหายไปของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ยังเปิดโอกาสให้เชื้อโรคพืชบางชนิดที่ทนความร้อนได้ดีสามารถแพร่ระบาดได้ง่ายขึ้นเนื่องจากไม่มีศัตรูทางธรรมชาติในดินคอยควบคุม การเผาจึงเปรียบเสมือนการทำลาย "พนักงานบำรุงดิน" ตามธรรมชาติ ส่งผลให้เกษตรกรต้องแบกรับภาระในการใช้สารปรับปรุงดินและสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในสัดส่วนที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

2.3.4 ผลกระทบด้านสุขอนามัยชุมชนและต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อม

การเผาเศษวัสดุทางการเกษตรสร้างภาระต้นทุนภายนอก (Externalities) ที่สังคมต้องแบกรับทั้งในมิติของคุณภาพชีวิตและต้นทุนค่าเสียโอกาสเชิงทรัพยากร

กรมอนามัย (2566) และคณะระบาดวิทยาสิ่งแวดล้อม ได้ชี้ให้เห็นว่าการได้รับสัมผัสมลพิษ PM 2.5 จากการเผาในระยะยาว มีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการเพิ่มขึ้นของผู้ป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจเรื้อรัง โรคหัวใจและหลอดเลือด รวมถึงการเพิ่มความเสี่ยงของโรคมะเร็งปอดในประชากรที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่มีจุดความร้อนหนาแน่น ในมิติทางเศรษฐศาสตร์เกษตร การเผาใบอ้อยทิ้งในพื้นที่เป็นการสูญเสียมูลค่าทางเศรษฐกิจ (Opportunity Cost) มหาศาล เนื่องจากใบอ้อยมีศักยภาพในการเป็นวัตถุดิบพลังงานและปุ๋ยอินทรีย์ การเปลี่ยนพฤติกรรมจากการเผาสู่การผลิตก๊าซชีวภาพจึงมิใช่เพียงการแก้ปัญหามลพิษ แต่เป็นการสร้างรายได้และลดต้นทุนค่าพลังงาน (LPG) และปุ๋ยเคมี ซึ่งเป็นการยกระดับรายได้สุทธิของครัวเรือนเกษตรกรตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน

2.3.5 แนวคิดการติดตามจุดความร้อน (Hotspots) และดัชนีชี้วัดความสำเร็จเชิงพื้นที่

การบริหารจัดการปัญหาการเผาในปัจจุบันอาศัยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเป็นเครื่องมือหลักในการเฝ้าระวังและกำหนดนโยบายเชิงรุก

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (GISTDA) (2566) ให้แนวคิดเกี่ยวกับ "จุดความร้อน" (Hotspots) ว่าเป็นดัชนีสะท้อนความร้อนที่ตรวจพบโดยเซนเซอร์บนดาวเทียม (เช่น VIIRS และ MODIS) ซึ่งสามารถแสดงพิกัดของการเผาได้แม่นยำรายวัน ข้อมูลจุดความร้อนนี้เป็นเครื่องมือสำคัญที่สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม (ส.ป.ก.) ใช้ในการประเมินความหนาแน่นของการเผาในแต่ละตำบลและอำเภอ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกพื้นที่เป้าหมายในการส่งเสริมเทคโนโลยีทดแทนการเผา จำนวนจุดความร้อนที่ลดลงจึงเป็น "ดัชนีชี้วัดผลสัมฤทธิ์เชิงประจักษ์" (Key Performance Indicator) ที่แสดงให้เห็นถึงความสำเร็จของการดำเนินงานวิชาการและการยอมรับเทคโนโลยีของเกษตรกรในพื้นที่อย่างแท้จริง

2.4 แนวคิดการพัฒนาแบบมีส่วนร่วมและการบริหารจัดการความรู้เพื่อความยั่งยืน

การขับเคลื่อนนวัตกรรมเทคโนโลยีพลังงานชีวภาพในพื้นที่ปฏิรูปที่ดินให้เกิดความต่อเนื่องและยั่งยืนนั้น ไม่ได้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของตัวเทคโนโลยีเพียงอย่างเดียว แต่จำเป็นต้องบูรณาการกระบวนการทางสังคมและการจัดการความรู้เพื่อสร้างการยอมรับและทักษะในการพึ่งพาตนเองของเกษตรกร โดยมีแนวคิดและทฤษฎีที่สำคัญเป็นกรอบในการดำเนินงานดังนี้

ภาพที่ 2.3 แผนผังความเชื่อมโยงหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง
สู่เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SEP for SDGs)

2.4.1 แนวคิดเชิงทฤษฎีด้านการพัฒนาแบบมีส่วนร่วม (Participatory Development Concept)

คำว่าการมีส่วนร่วมมิได้จำกัดอยู่เพียงการเข้าร่วมกิจกรรมหรือการรับทราบข้อมูลข่าวสาร แต่เป็นกระบวนการเสริมสร้างพลังอำนาจ (Empowerment) ให้แก่ภาคประชาชนในการบริหารจัดการทรัพยากรท้องถิ่น

ปาริชาติ วลัยเสถียร และคณะ (2543) ได้วิเคราะห์แนวคิดการมีส่วนร่วมในฐานะที่เป็นทั้งวิธีการ (Means) และเป้าหมาย (Ends) ในเวลาเดียวกัน โดยในมิติของวิธีการนั้น การมีส่วนร่วมจะช่วยให้การดำเนินโครงการมีประสิทธิภาพและตรงตามบริบทของพื้นที่ ส่วนในมิติของเป้าหมายคือการสร้างขีดความสามารถของเกษตรกรในการจัดการและควบคุมทรัพยากรที่มีอยู่เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการดำรงชีพอย่างเป็นอิสระ ความสำเร็จของการมีส่วนร่วมจึงไม่ได้วัดจากจำนวนผู้เข้าร่วมประชุม แต่ชี้วัดจากระดับความรู้สึกเป็นเจ้าของ (Ownership) ของเกษตรกรต่อเทคโนโลยีถังหมักก๊าซชีวภาพ ซึ่งความรู้สึกนี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อเกษตรกรได้รับโอกาสในการตัดสินใจและร่วมแก้ไขปัญหาตั้งแต่ระยะเริ่มต้นของโครงการ

2.4.2 ลำดับขั้นและกระบวนการมีส่วนร่วมในงานพัฒนาเกษตรกรรม (Stages of Participation)

การวิเคราะห์ระดับของการมีส่วนร่วมมีความสำคัญต่อการวางแผนเชิงยุทธศาสตร์เพื่อให้เกิดผลสัมฤทธิ์เชิงประจักษ์ในพื้นที่ปฏิรูปที่ดิน โดยนักวิชาการได้จำแนกขั้นตอนการมีส่วนร่วมไว้อย่างเป็นระบบ (เกรียงไกร ธุระพันธ์, 2560) ดังนี้

การมีส่วนร่วมในการศึกษาปัญหาและสาเหตุ (Participation in decision-making) เป็นการร่วมกันวิเคราะห์สภาพปัญหาการจัดการใบอ้อยและจุดความร้อนในพื้นที่ เพื่อให้เกษตรกรตระหนักถึงผลกระทบและร่วมกำหนดเป้าหมายในการแก้ไขปัญหาร่วมกับนักวิชาการ

การมีส่วนร่วมในการวางแผนและตัดสินใจเลือกนวัตกรรม เป็นขั้นตอนที่เกษตรกรและนักวิชาการร่วมกันพิจารณาความเหมาะสมของเทคโนโลยี เช่น ขนาดของถังหมัก ตำแหน่งการติดตั้ง และการจัดสรรวัตถุดิบ (ใบอ้อยและมูลสัตว์) ให้สอดคล้องกับวิถีชีวิตและต้นทุนที่มีอยู่จริง

การมีส่วนร่วมในการดำเนินการและระดมทรัพยากร (Participation in implementation) เป็นการนำทักษะและทรัพยากรในท้องถิ่นมาใช้ในการติดตั้งและเดินระบบ ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนและสร้างความเข้าใจเชิงช่างให้แก่เกษตรกร

การมีส่วนร่วมในการรับผลประโยชน์และประเมินผล (Participation in evaluation) เป็นขั้นตอนสำคัญในการสรุปผลสัมฤทธิ์เชิงเศรษฐศาสตร์ เช่น ปริมาณก๊าซที่ลดภาระรายจ่ายได้จริง และปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการหมัก ซึ่งจะส่งผลต่อแรงจูงใจในการใช้งานในระยะยาว

2.4.3 แนวคิดการจัดการความรู้และภูมิปัญญาเพื่อการพึ่งพาตนเอง (Knowledge Management: KM)

การจัดการความรู้ในชุมชนเกษตรกรรมมิใช่เพียงการเก็บรวบรวมข้อมูล แต่เป็นการถอดองค์ความรู้ที่ฝังลึกอยู่ในตัวบุคคล (Tacit Knowledge) ออกมาเป็นความรู้ที่ชัดแจ้ง (Explicit Knowledge) เพื่อให้เกิดการถ่ายทอดอย่างยั่งยืน

พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ (2561) และนักวิชาการด้านการส่งเสริมการเกษตร ได้เน้นย้ำว่า กระบวนการจัดการความรู้ในงานพลังงานชุมชนต้องอาศัยการเรียนรู้ผ่านการปฏิบัติจริง (Learning by Doing) หัวใจสำคัญคือการสร้างพื้นที่แลกเปลี่ยนเรียนรู้ (Learning Space) เพื่อให้เกษตรกรที่มีประสบการณ์ในการใช้งานถังหมักก๊าซชีวภาพได้แลกเปลี่ยนเทคนิคการจัดการ เช่น วิธีการเตรียมวัตถุดิบให้ย่อยสลายง่าย การปรับสภาวะกรด-ด่างในถัง หรือการซ่อมบำรุงอุปกรณ์เบื้องต้น การจัดเก็บองค์ความรู้เหล่านี้ในรูปแบบของคู่มือปฏิบัติงานที่เข้าใจง่ายหรือสื่อวีดิทัศน์สั้น จะช่วยให้การบริหารจัดการเทคโนโลยีมีความต่อเนื่องแม้จะมีการเปลี่ยนผ่านรุ่นของเกษตรกร

2.4.4 บทบาทของปราชญ์เกษตรและเครือข่ายการเรียนรู้แบบเพื่อนช่วยเพื่อน (Social Capital and Networks)

ในสังคมเกษตรกรรม ทุนทางสังคม (Social Capital) และความสัมพันธ์เชิงเครือข่ายมีผลต่อการยอมรับนวัตกรรมมากกว่าคำสั่งหรือการรณรงค์จากภาครัฐเพียงอย่างเดียว

ศุภรักษ์ เชาวน์รังสรรค์ (2561) และนักวิจัยด้านระบาดวิทยาทางสังคม ได้นำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับผู้นำการเปลี่ยนแปลง (Change Agent) หรือ "ปราชญ์พลังงาน" ว่าเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดการกระจายตัวของเทคโนโลยี (Diffusion of Innovation) การพัฒนาอาสาสมัครปฏิรูปที่ดิน (อสปก.) หรือเกษตรกรแกนนำให้มีความเชี่ยวชาญในลักษณะ "ครูพาทำ" จะช่วยสร้างความเชื่อมั่นให้แก่เกษตรกรรายอื่น ๆ ในชุมชน การเรียนรู้ในรูปแบบเกษตรกรสู่เกษตรกร (Farmer to Farmer) มีประสิทธิภาพสูงในการปรับเปลี่ยนพฤติกรรม เนื่องจากเป็นการสื่อสารด้วยภาษาที่เข้าใจง่ายและอ้างอิงจากผลสำเร็จที่เป็นรูปธรรมในสภาพแวดล้อมเดียวกัน การสร้างเครือข่ายการเรียนรู้จึงเป็นยุทธศาสตร์ที่เปลี่ยนพื้นที่ปฏิรูปที่ดินจากพื้นที่ประสบปัญหาการเผาให้กลายเป็น "สังคมแห่งการเรียนรู้สีเขียว" อย่างแท้จริง

2.5 แนวคิดเกี่ยวกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน และยุทธศาสตร์ชาติที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินงานวิชาการเชิงพัฒนานวัตกรรมในเขตปฏิรูปที่ดิน จำเป็นต้องมีความสอดคล้องและบูรณาการเข้ากับทิศทางการพัฒนาในระดับสากลและระดับประเทศ เพื่อให้ผลสัมฤทธิ์ของงานวิจัยสามารถตอบสนองต่อตัวชี้วัดเชิงยุทธศาสตร์และสร้างผลกระทบเชิงบวกในวงกว้างได้อย่างเป็นระบบ โดยมีรายละเอียดแนวคิดหลักดังนี้

2.5.1 แนวคิดเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs)

องค์การสหประชาชาติ (United Nations) ได้กำหนดวาระการพัฒนาปี 2030 (2030 Agenda for Sustainable Development) ซึ่งเป็นกรอบการพัฒนาโลกที่เน้นความสมดุลใน 3 มิติ คือ เศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม โดยโครงการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวลในพื้นที่ปฏิรูปที่ดินมีความสอดคล้องกับเป้าหมายหลัก (Sustainable Development Goals, 2566) ดังนี้

เป้าหมายที่ 7 พลังงานสะอาดที่ทุกคนเข้าถึงได้ (Affordable and Clean Energy) มุ่งเน้นการเพิ่มสัดส่วนพลังงานหมุนเวียนในการผสมผสานพลังงานโลก การส่งเสริมถังหมักก๊าซชีวภาพขนาดครัวเรือนถือเป็นการสร้าง "ประชาธิปไตยทางพลังงาน" (Energy Democracy) ที่ช่วยให้เกษตรกร

สามารถพึ่งพาตนเองด้านพลังงานจากฐานทรัพยากรในท้องถิ่น ลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลและก๊าซหุงต้ม (LPG) จากภายนอก

เป้าหมายที่ 12 การผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน (Responsible Consumption and Production) เน้นการบริหารจัดการและการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพ การเปลี่ยนใบอ้อยจากวัสดุที่ต้องเผาทำลายให้กลายเป็นแหล่งพลังงานและปุ๋ยอินทรีย์ เป็นการนำหลักการหมุนเวียนทรัพยากรมาใช้เพื่อลดปริมาณของเสียให้เป็นศูนย์ (Zero Waste)

เป้าหมายที่ 13 การรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Action) การยุติการเผาในไร่อ้อยช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กสู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งเป็นมาตรการสำคัญในการบรรเทาสภาวะโลกร้อน (Global Warming) และการปรับตัวของชุมชนเกษตรกรรมต่อวิกฤตการณ์สิ่งแวดล้อม

2.5.2 ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี และแผนแม่บทภายใต้ยุทธศาสตร์ชาติ

ยุทธศาสตร์ชาติ (พ.ศ. 2561 – 2580) กำหนดวิสัยทัศน์ให้ประเทศไทยมีความมั่นคง มั่งคั่ง ยั่งยืน โดยมีเป้าหมายในการสร้างการเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับงานวิชาการชิ้นนี้ในประเด็นสำคัญ (สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2564) ได้แก่

ยุทธศาสตร์ที่ 5 ด้านการสร้างการเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มุ่งเน้นการปรับปรุงระบบการจัดการมลพิษที่มีผลกระทบต่อสุขภาพประชาชน โดยเฉพาะการจัดการปัญหาฝุ่นละออง PM 2.5 จากภาคเกษตรกรรม ซึ่งเป็นประเด็นที่รัฐบาลยกระดับให้เป็นวาระแห่งชาติ การสร้างทางเลือกในการจัดการชีวมวลผ่านเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพจึงเป็นเครื่องมือเชิงยุทธศาสตร์ในการลดจุดความร้อน (Hotspots) อย่างยั่งยืน

แผนแม่บทภายใต้ยุทธศาสตร์ชาติ ประเด็นการเติบโตอย่างยั่งยืน เน้นการสร้างเศรษฐกิจหมุนเวียนที่เพิ่มมูลค่าจากของเสีย (Waste to Value) และการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างสมดุล การดำเนินงานของคุณเอ้ในฐานะนักวิชาการปฏิรูปที่ดินจึงเป็นการแปลงยุทธศาสตร์ชาติไปสู่การปฏิบัติในระดับพื้นที่ (Area-based) เพื่อสร้างความมั่นคงด้านทรัพยากรดินและอากาศสะอาดให้แก่เกษตรกรในเขตปฏิรูปที่ดิน

2.5.3 นโยบายและแผนปฏิบัติราชการของสำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม

สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม (ส.ป.ก.) มีพันธกิจหลักในการพัฒนาเกษตรกรและชุมชนในเขตปฏิรูปที่ดินให้มีความเข้มแข็งและยั่งยืน โดยภายใต้แผนปฏิบัติราชการ 5 ปี (พ.ศ. 2566 – 2570) ได้กำหนดแนวทางที่เกี่ยวข้องดังนี้

สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม (2565) ได้วางนโยบายการขับเคลื่อน "พื้นที่สีเขียวในเขตปฏิรูปที่ดิน" (ALRO Green Area) เพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ในภาคเกษตรกรรม การส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพจากใบอ้อยมิใช่เพียงการแก้ปัญหาความเดือดร้อนรายวันของเกษตรกร แต่เป็นการยกระดับพื้นที่ปฏิรูปที่ดินจังหวัดราชบุรีให้กลายเป็นชุมชนเกษตรกรรมยั่งยืนต้นแบบ (Sustainable Agricultural Community) ที่สามารถบริหารจัดการวัสดุเหลือใช้อย่างมี

ประสิทธิภาพ ลดต้นทุนการผลิตจากค่าปุ๋ยเคมีและค่าพลังงาน และสร้างความสมดุลของระบบนิเวศดิน ตามภารกิจหลักของ ส.ป.ก. ในการคุ้มครองและพัฒนาพื้นที่เกษตรกรรมเพื่อประโยชน์สูงสุดของเกษตรกร

2.6 งานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาแนวทางการส่งเสริมพัฒนาการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวลเพื่อทดแทนการเผา จำเป็นต้องอ้างอิงฐานข้อมูลจากงานวิจัยเชิงประจักษ์ เพื่อยืนยันถึงความเป็นไปได้ทางเทคนิคและความคุ้มค่าในการดำเนินการ โดยผู้จัดทำได้รวบรวมและสังเคราะห์ผลการศึกษาที่เกี่ยวข้องในประเด็นสำคัญ ดังนี้

2.6.1 งานวิจัยเกี่ยวกับลักษณะสมบัติและศักยภาพของใบอ้อยในการผลิตก๊าซชีวภาพ

ใบอ้อยเป็นชีวมวลที่มีความซับซ้อนเชิงโครงสร้าง ซึ่งส่งผลโดยตรงต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ งานวิจัยในระดับประเทศหลายฉบับได้ให้ข้อสรุปเชิงวิชาการที่สำคัญ

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2562) ได้ศึกษาลักษณะสมบัติทางเคมีของใบอ้อยพบว่า ประกอบด้วยสารประกอบลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของผนังเซลล์พืช โดยมีปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่สูง ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนที่ดีสำหรับการผลิตก๊าซมีเทน อย่างไรก็ตาม สารประกอบเหล่านี้ถูกพันธนาการด้วยลิกนิน (Lignin) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ย่อยสลายยากในสภาวะการหมักแบบไร้อากาศปกติ งานวิจัยของ อานนท์ พรรณพนาพงศ์ (2563) จึงเสนอแนะว่ากระบวนการเตรียมวัตถุดิบ (Feedstock Preparation) มีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยการบดหรือย่อยใบอ้อยให้มีขนาดเล็กกว่า 1-2 เซนติเมตร จะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส (Surface Area) ให้จุลินทรีย์เข้าย่อยสลายได้ง่ายขึ้น และลดระยะเวลาในการไฮโดรไลซิส ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนชีวมวลเป็นก๊าซชีวภาพสูงขึ้นกว่าร้อยละ 25 เมื่อเทียบกับการใช้ใบอ้อยขนาดใหญ่

2.6.2 งานวิจัยเชิงวิศวกรรมเกี่ยวกับเทคนิคการหมักร่วม (Co-digestion)

เพื่อเพิ่มผลผลิตก๊าซ ความท้าทายหลักของการใช้ใบอ้อยเป็นวัตถุดิบเดี่ยวคือสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N Ratio) ที่สูงเกินไป งานวิจัยจึงมุ่งเน้นการแก้ปัญหานี้ด้วยเทคนิคการหมักร่วม

สมพงษ์ จันทร์ผ่อง และคณะ (2564) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบการผลิตก๊าซชีวภาพระหว่างการหมักใบอ้อยเพียงอย่างเดียวกับการหมักร่วมกับมูลสัตว์ (โค หรือ สุกร) พบว่าการหมักร่วมช่วยสร้างสภาวะที่เรียกว่า "ผลกระทบร่วมเชิงบวก" (Synergistic Effect) โดยมูลสัตว์จะช่วยเติมเต็มธาตุไนโตรเจนและจุลธาตุ (Trace Elements) ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มเมทาโนเจน ในขณะที่ใบอ้อยจะทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานคาร์บอน ผลการวิจัยระบุว่าการใช้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสม (สัดส่วน C:N ระหว่าง 20:1 ถึง 30:1) จะช่วยลดสภาวะการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ที่มักเกิดจากการหมักพืชเพียงอย่างเดียว และช่วยเพิ่มเสถียรภาพของค่า pH ในถังหมัก ทำให้สามารถผลิตก๊าซได้อย่างต่อเนื่องและลดความเสี่ยงจากการ "ระบบล่ม" ในถังหมักขนาดเล็กระดับครัวเรือน

2.6.3 งานวิจัยด้านผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์และผลประโยชน์พลอยได้ทางการเกษตร

ความคุ้มค่าของนวัตกรรมถังหมักก๊าซชีวภาพในพื้นที่ปฏิรูปที่ดิน สามารถพิจารณาได้จากมิติการลดรายจ่ายและการเพิ่มมูลค่าทรัพยากร

วรจิตต์ เศรษฐพรรณ (2562) ได้ประเมินผลกระทบเชิงเศรษฐศาสตร์จากการใช้ก๊าซชีวภาพในชุมชนเกษตรกรรม พบว่าถังหมักขนาด 200 ลิตร หรือถังหมักขนาดเล็กระดับครัวเรือน สามารถทดแทนการใช้ก๊าซหุงต้ม (LPG) ได้เฉลี่ย 12-15 กิโลกรัมต่อปีต่อครัวเรือน ซึ่งเมื่อคำนวณร่วมกับผลพลอยได้คือ "น้ำหมักชีวภาพ" (Bio-slurry) ที่ได้จากถังหมัก ซึ่งมีธาตุอาหารหลัก (N-P-K) และฮอร์โมนพืชในรูปที่ละลายน้ำได้ดี พบว่าสามารถลดต้นทุนการซื้อปุ๋ยเคมีได้มากกว่าร้อยละ 30 งานวิจัยของ พงษ์ศักดิ์ รุ่งรอดงามเจริญ (2563) ยังชี้ให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยจากกากตะกอนก๊าซชีวภาพช่วยปรับปรุงโครงสร้างดินให้มีความร่วนซุยและกักเก็บความชื้นได้ดีขึ้น ซึ่งเป็นการสร้าง "ผลตอบแทนระยะยาว" จากการฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของที่ดินเกษตรกรรม

2.6.4 งานวิจัยเชิงนโยบายและมิติสิ่งแวดล้อมเรื่องการลดมลพิษ PM 2.5

การจัดการชีวมวลในที่ดิน ส.ป.ก. มีความเชื่อมโยงโดยตรงกับความสำเร็จของนโยบายอากาศสะอาดระดับประเทศ

งานวิจัยของ พงศ์เทพ วิวรรธนะเดช และคณะ (2565) เรื่องแนวทางการจัดการขยะและมลพิษทางอากาศในชุมชนเกษตรกรรม ระบุว่าการสร้างนวัตกรรมที่เกษตรกรเข้าถึงได้และได้รับผลประโยชน์เชิงประจักษ์ (เช่น ได้ก๊าซใช้ฟรี) เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมจากการเผาไหม้ในที่โล่ง ข้อมูลทางดาวเทียมยืนยันว่าในพื้นที่ที่มีการส่งเสริมการจัดการชีวมวลเป็นก๊าซชีวภาพหรือปุ๋ยหมัก มีจำนวนจุดความร้อน (Hotspots) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับพื้นที่ส่งเสริมด้วยวิธีการประชาสัมพันธ์เพียงอย่างเดียว การศึกษานี้สนับสนุนแนวคิดที่ว่าการแปรรูปใบอ้อยเป็นพลังงานสะอาดมิใช่เพียงมาตรการทางพลังงาน แต่เป็นกลยุทธ์สำคัญในการป้องกันวิกฤตฝุ่นละออง PM 2.5 และการสะสมก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศอย่างยั่งยืน

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

ในการดำเนินงานวิชาการเรื่องการส่งเสริมพัฒนาการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวลเพื่อทดแทนการเผา ผู้จัดทำได้กำหนดระเบียบวิธีและขั้นตอนการดำเนินงานที่ครอบคลุมทั้งมิติการสำรวจเชิงพื้นที่ มิติทางเทคนิควิศวกรรมพลังงาน และมิติทางสังคมในการถ่ายทอดความรู้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การศึกษาวิเคราะห์พื้นที่และข้อมูลฐาน (Pre-Implementation)

การศึกษาวิเคราะห์พื้นที่เผาไหม้และจุดความร้อน (Hotspots) ดำเนินการรวบรวมข้อมูลสถิติจุดความร้อนจากระบบภูมิสารสนเทศ ร่วมกับการวิเคราะห์แผนชุมชนในเขตปฏิรูปที่ดิน ตำบลหนองพันจันทร์ อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี เพื่อกำหนดพื้นที่เป้าหมายที่มีวิกฤตการเผาเศษวัสดุทางการเกษตรสูง

การประเมินความต้องการและทัศนคติของเกษตรกร ดำเนินการประชาสัมพันธ์และสำรวจความต้องการของเกษตรกรในพื้นที่ เกี่ยวกับการนำเศษซากวัชพืชและใบอ้อยมาใช้ประโยชน์แทนการเผา เพื่อคัดเลือกเกษตรกรแกนนำที่สมัครใจและมีความพร้อมเชิงทรัพยากร (มีชีวมวลและมูลสัตว์)

3.2 ขั้นตอนการประกอบถังหมักก๊าซชีวภาพ

กระบวนการจัดเตรียมถังหมักเพื่อใช้ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวล มีลำดับขั้นตอนการดำเนินงานเชิงเทคนิคดังนี้

3.2.1 การติดตั้งระบบท่อส่งก๊าซ (ช่องที่ 1)

ดำเนินการเจาะรูบริเวณฝาถังในตำแหน่งช่องที่ 1 เพื่อใช้เป็นทางเดินสำหรับท่อส่งก๊าซไปยังถังกักเก็บ โดยทำการติดตั้งข้อต่อเกลียวในขนาด 1.5 นิ้ว และข้องอ 90 องศา ขนาด 4 หุน โดยเน้นการประกบวัสดุให้แน่นหนาทั้งด้านบนและด้านล่างของฝาถังเพื่อความแข็งแรงเชิงโครงสร้าง

3.2.2 การติดตั้งชุดวาล์วและทางเดินก๊าซ

ดำเนินการเชื่อมต่อบอลวาล์วขนาด 4 หุน เข้ากับท่อขนาด 4 หุน ความยาวประมาณ 3 นิ้ว และประกอบเข้ากับข้อต่อเกลียวในขนาด 4 หุน สำหรับใช้เป็นจุดติดตั้งชุดหางปลาไหลและสายส่งก๊าซเพื่อลำเลียงก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ไปยังถังกักเก็บต่อไป

3.2.3 การติดตั้งช่องสำหรับไม้กวนวัชพืช (ช่องที่ 2)

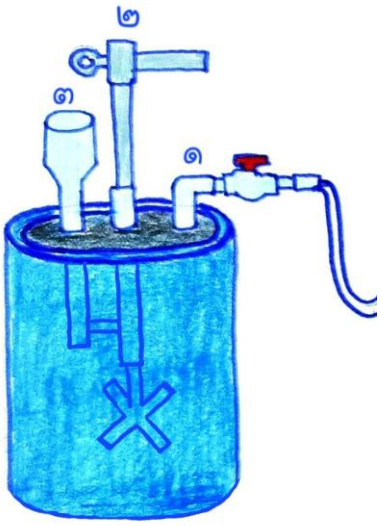
สำหรับช่องที่ 2 ซึ่งเป็นช่องสำหรับติดตั้งไม้กวนวัชพืช ให้ดำเนินการเจาะรูที่ฝาถังและติดตั้งข้อต่อเกลียวนอกขนาด 1.5 นิ้ว โดยทำการยึดเข้ากับข้อต่อเกลียวในขนาดเดียวกันที่บริเวณด้านล่างของฝาถังเพื่อความมั่นคงของอุปกรณ์

3.2.4 การติดตั้งช่องเติมวัตถุดิบ (ช่องที่ 3)

ในส่วนของช่องที่ 3 ซึ่งใช้สำหรับเป็นช่องทางบรรจุเศษอาหารหรือน้ำเข้าสู่ระบบ ให้ดำเนินการเจาะรูตามลักษณะเดียวกับช่องที่ 2 และทำการติดตั้งข้อต่อขนาด 3 นิ้ว ลด 1.5 นิ้ว เพื่อเพิ่มความสะดวกในการเติมวัตถุดิบเข้าสู่ถังหมัก

3.2.5 การสร้างสภาวะไร้อากาศและการอุดรอยรั่ว

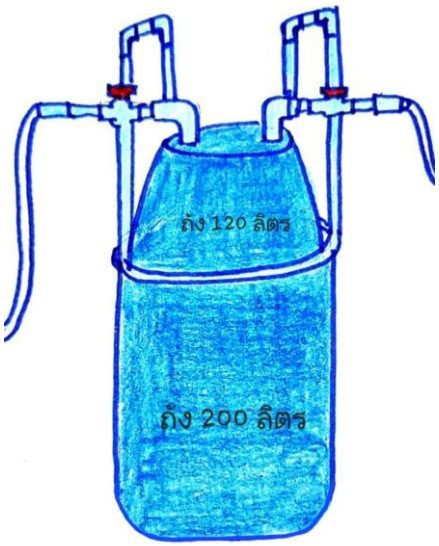
ภายหลังจากการประกอบส่วนประกอบทางเทคนิคทั้งหมดเสร็จสิ้น ให้ดำเนินการปิดผนึกช่องว่างระหว่างรอยต่อของถังและท่อเพื่อป้องกันมิให้อากาศภายนอกรั่วไหลเข้าสู่ระบบ และรักษาเสถียรภาพของสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic Condition) ในระหว่างกระบวนการหมักย่อยสลายโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการประสานวัสดุด้วยกาวร้อนผสมกับผงซักฟอกตามแนวรอยต่อต่างๆ และทิ้งไว้จนกว่าวัสดุประสานจะแห้งสนิทจึงจะสามารถนำระบบไปใช้งานได้ตามลำดับ



ภาพที่ 3.1 ถังหมักก๊าซชีวภาพจากชีวมวลใบอ้อย

3.3 ขั้นตอนการจัดทำถังเก็บก๊าซชีวภาพ

กระบวนการสร้างชุดกักเก็บก๊าซชีวภาพซึ่งทำหน้าที่สำรองพลังงานไว้ใช้งาน มีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงานเชิงเทคนิคดังนี้



ภาพที่ 3.2 ถังเก็บก๊าซชีวภาพ

3.3.1 การจัดเตรียมถังกักเก็บส่วนบน (Floating Drum)

สำหรับการจัดเตรียมถังกักเก็บส่วนบนให้เลือกใช้ถังพลาสติกขนาดความจุ 120 ลิตร โดยดำเนินการจัดทำในลักษณะเดียวกันทั้งสองช่อง ในส่วนของด้านบนให้เจาะรูเพื่อติดตั้งข้องอ 90 องศา ขนาด 4 หุน สำหรับเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน และบริเวณด้านล่างให้เจาะรูเพื่อรองรับการติดตั้งข้อต่อเกลียวในขนาด 1.5 นิ้ว

3.3.2 การติดตั้งระบบวาล์วและท่อทางเดินก๊าซ

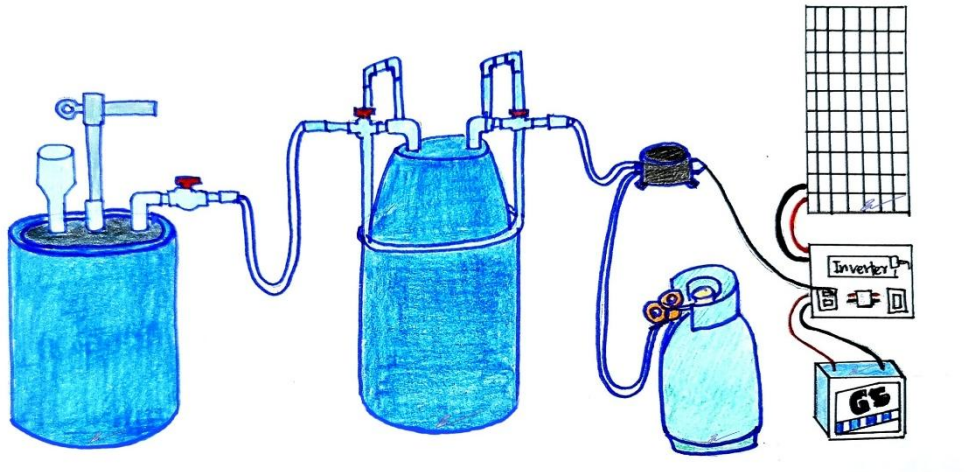
ดำเนินการติดตั้งบอลวาล์วขนาด 4 หุน จำนวน 2 ชุด บริเวณด้านซ้ายและด้านขวา พร้อมเชื่อมต่อท่อพีวีซีขนาด 4 หุน ความยาวประมาณ 6 นิ้ว โดยจัดวางตำแหน่งให้มีความยาวพ้นแนวโครงกันลอยออกมาด้านนอก จากนั้นให้ติดตั้งข้อต่อเกลียวในขนาด 4 หุน และชุดหางปลาไหลในลักษณะเดียวกันทั้งสองข้าง โดยกำหนดให้ด้านที่หนึ่งเชื่อมต่อสายส่งก๊าซเข้ากับถังหมัก และด้านที่สองเชื่อมต่อสายส่งก๊าซเข้ากับถังบรรจุก๊าซหุงต้ม (LPG)

3.3.3 การจัดทำชุดประคองโครงกันลอย

ในการจัดทำชุดประคองโครงกันลอยให้นำท่อพีวีซีขนาด 4 หุน มาดำเนินการดัดให้มีความโค้งรับกับสัดส่วนของถังใบบรรจุน้ำด้านล่าง เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวประคองมิให้ชุดกักเก็บก๊าซส่วนบนเคลื่อนที่หลุดออกจากตำแหน่ง โดยใช้ข้อต่อสามทางขนาด 4 หุน จำนวน 4 ตัว เพื่อยึดล็อคตำแหน่งอุปกรณ์มิให้เกิดการขยับตัว

3.3.4 การประกอบโครงกันลอยและการยึดโครงสร้าง

ชุดโครงกันลอยให้เลือกใช้ท่อพีวีซีขนาด 4 หุน ความยาวเส้นละประมาณ 100 เซนติเมตร จำนวนข้างละ 2 เส้น รวมทั้งสิ้น 4 เส้น เชื่อมต่อเข้ากับข้องอ 90 องศา ขนาด 4 หุน จำนวนข้างละ 2 ตัว รวมทั้งสิ้น 4 ตัว ขั้นตอนสุดท้ายให้ดำเนินการเจาะรูบริเวณถังใบบรรจุน้ำด้านล่างเพื่อใช้ลวดพันยึดเข้ากับชุดประคองโครงกันลอย ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการล็อคตำแหน่งเพื่อป้องกันมิให้ชุดประคองและถังกักเก็บเกิดการพลัดตกหรือหลุดออกจากระบบ



ภาพที่ 3.3 ชุดนวัตกรรมถังหมักและถังกักเก็บก๊าซชีวภาพ
ภายหลังกระบวนการประกอบเสร็จสมบูรณ์ในสภาพพร้อมใช้งาน

3.4 การใช้งานและการบริหารจัดการก๊าซชีวภาพ

3.4.1. การกักเก็บก๊าซชีวภาพในถังบรรจุสำรอง

ในกรณีที่ไม่ได้มีการเชื่อมต่อสายส่งก๊าซเข้ากับเตาหุงต้มโดยตรง ผู้ใช้งานสามารถดำเนินการเชื่อมต่อสายก๊าซเพื่อบรรจุลงในถังก๊าซหุงต้ม (LPG) ได้ทันทีเมื่อระบบเริ่มกระบวนการผลิตก๊าซ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถจัดเก็บก๊าซชีวภาพไว้ใช้ประโยชน์ในภายหลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.4.2 ระบบการบรรจุก๊าซด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

กระบวนการบรรจุก๊าซลงในถังอาศัยพลังงานจากแผงโซล่าเซลล์ในการกักเก็บประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) โดยระบบต้องใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) เพื่อเปลี่ยนให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับการจ่ายพลังงานให้กับคอมเพรสเซอร์ตู้เย็น อุปกรณ์ดังกล่าวทำหน้าที่ดูดก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากใบอ้อยเข้าสู่ถังบรรจุเพื่อความสะดวกและคล่องตัวในการนำไปใช้งาน

3.4.3 ประสิทธิภาพและมาตรฐานความดันในการอัดก๊าซ

การบรรจุก๊าซชีวภาพลงในถังหุงต้มด้วยระบบพลังงานแสงอาทิตย์ช่วยให้สามารถใช้งานพลังงานได้อย่างสะดวกและต่อเนื่อง โดยระบบสามารถอัดก๊าซที่ได้จากกระบวนการหมักลงในถังก๊าซหุงต้มที่ค่าความดันเฉลี่ยประมาณ 120 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) หรือเทียบเท่า 8.273 บาร์

3.4.4 ระบบการควบคุมประจุไฟฟ้าและการถนอมอายุอุปกรณ์

การทำงานของระบบบรรจุก๊าซเริ่มจากการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์เพื่อรับพลังงานแสงอาทิตย์มาจัดเก็บไว้ในแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ โดยมีเครื่องควบคุมการชาร์จ (Solar Charger) เป็นอุปกรณ์หลักในการบริหารจัดการประจุไฟฟ้า อุปกรณ์นี้มีหน้าที่ควบคุมการประจุไฟเมื่อแรงดันในแบตเตอรี่อยู่ในระดับต่ำและตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าเมื่อประจุเต็ม ซึ่งเป็นกลไกสำคัญที่ช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ให้ยาวนานขึ้น

3.4.5 กลไกการทำงานอัตโนมัติของระบบบรรจุก๊าซ

ระบบบรรจุก๊าซชีวภาพพลังงานแสงอาทิตย์มีการติดตั้งสวิตช์ควบคุมการเปิดและปิดวงจรไว้ที่ถังกักเก็บก๊าซชีวภาพเพื่อทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบอัตโนมัติ โดยผ่านกระบวนการทำงานของคอมเพรสเซอร์ตู้เย็นซึ่งจะดูดก๊าซจากถังกักเก็บแล้วส่งต่อไปบรรจุลงในถังก๊าซหุงต้มตามวงจรการทำงานที่กำหนดไว้

3.4.6 การทดสอบความสมบูรณ์ของระบบก่อนการใช้งานจริง

ดำเนินการทดสอบระบบความดัน (Pressure Test) โดยการอัดอากาศเข้าสู่ระบบเพื่อตรวจสอบรอยรั่วตามข้อต่อและวาล์วต่าง ๆ รวมถึงการตรวจสอบระบบการไหลของน้ำหมักเพื่อให้มั่นใจว่าอุปกรณ์ทุกส่วนสามารถทำงานสอดประสานกันได้อย่างสมบูรณ์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงในพื้นที่เกษตรกรรม

ภาพที่ 3.4 ชุดอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพจากใบอ้อย

3.4.7 ขั้นตอนการเตรียมชีวมวลและการบรรจุวัตถุดิบ

ดำเนินการเตรียมใบอ้อยและเศษซากวัชพืชโดยการสับย่อยให้มีขนาดเล็กประมาณ 1 ถึง 2 เซนติเมตร เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ จากนั้นดำเนินการผสมใบอ้อยร่วมกับมูลสัตว์และน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมตามผลการวิเคราะห์ทางวิชาการ แล้วจึงบรรจุเข้าสู่ถังหมักเพื่อเริ่มต้นกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ

รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการเตรียมชีวมวลและการบรรจุวัตถุดิบ

3.4.8 การเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์และการควบคุมสภาวะเริ่มต้น

ดำเนินการเติมจุลินทรีย์จากมูลสัตว์สดหรือสารเร่งเพื่อกระตุ้นปฏิกิริยาการเกิดก๊าซมีเทนในช่วงเริ่มต้น พร้อมทั้งปิดระบบวาล์วเพื่อสร้างสภาวะไร้อากาศและติดตามการเปลี่ยนแปลงของระบบจนกว่าจะสามารถผลิตก๊าซที่จุดติดไฟได้อย่างสม่ำเสมอ

3.5 กระบวนการถ่ายทอดเทคโนโลยีและการเรียนรู้ (Knowledge Transfer)

ผู้จัดทำดำเนินการถ่ายทอดองค์ความรู้ผ่านหลักสูตรฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ จำนวน 2 หลักสูตร เพื่อสร้างทักษะให้แก่เกษตรกร ดังนี้

ภาพที่ 3.6 การส่งเสริมและถ่ายทอดองค์ความรู้การผลิตก๊าซชีวภาพสู่เกษตรกรในพื้นที่เป้าหมาย

ภาพที่ 3.7 การจัดกิจกรรมฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ
และการสาธิตกระบวนการประกอบนวัตกรรมถังหมักก๊าซชีวภาพ

3.5.1 หลักสูตร แนวทางการเฝ้าระวังการเผาไหม้ในเขตปฏิรูปที่ดิน (26 ธันวาคม 2565 ณ ศาลาหมู่บ้าน หมู่ที่ 2)

1) การบรรยายให้ความรู้เรื่องผลกระทบเชิงนิเวศและสุขภาพจากการเผาเศษวัสดุ

2) การสาธิตการใช้สารย่อยสลายเศษวัสดุทางการเกษตรเพื่อลดระยะเวลาการเตรียมที่ดิน

3) การฝึกปฏิบัติการผลิตสารย่อยสลายเพื่อใช้ทดแทนการเผาอย่างมีประสิทธิภาพ

ภาพที่ 3.8 การถ่ายทอดองค์ความรู้ผ่านหลักสูตรฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ
หลักสูตร แนวทางการเฝ้าระวังการเผาไหม้ในเขตปฏิรูปที่ดิน

3.5.2 หลักสูตร การบริหารจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อเพิ่มมูลค่า (16 มีนาคม 2566 ณ ที่ทำการผู้ใหญ่บ้าน หมู่ที่ 2)

1) การเรียนรู้ทฤษฎีการผลิตก๊าซชีวภาพจากใบอ้อยและชีวมวลในชุมชน

2) การฝึกปฏิบัติการผลิต Biogas Ball เพื่อช่วยกระตุ้นการย่อยสลายในถังหมัก

3) การสาธิตและฝึกปฏิบัติการทำเครื่องบรรจุก๊าซชีวภาพ (Gas Bag/Container) เพื่อความสะดวกในการใช้งานในครัวเรือน

ภาพที่ 3.9 การถ่ายทอดองค์ความรู้ผ่านหลักสูตรฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ
หลักสูตร การบริหารจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อเพิ่มมูลค่า

3.6 การติดตามและประเมินผลสัมฤทธิ์ (Post-Implementation)

ดำเนินการลงพื้นที่ติดตามผลหลังการอบรมอย่างต่อเนื่อง เพื่อรวบรวมข้อมูลเชิงประจักษ์ในประเด็นต่าง ๆ ได้แก่

3.6.1 บันทึกปริมาณการเกิดก๊าซและคุณภาพของเปลวไฟจากการใช้ใบอ้อยเป็นวัตถุดิบหลัก

3.6.2 จัดเก็บข้อมูลปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจริงจากการใช้งานของเกษตรกร

3.6.3 การประเมินความคุ้มค่าเบื้องต้นจากการลดปริมาณการใช้ก๊าซหุงต้ม (LPG) และการนำกากตะกอนไปใช้เป็นปุ๋ยบำรุงดิน

ภาพที่ 3.10 การติดตามผลหลังการอบรม

3.7 สูตรการหมักก๊าซชีวภาพสำหรับถังหมักขนาด 120 ลิตร

การหมักก๊าซชีวภาพจากชีวมวลสามารถดำเนินการได้หลายรูปแบบตามวัตถุดิบและความเหมาะสมของพื้นที่ โดยผลพลอยได้ที่เหลือจากการหมักสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นน้ำซึ่งใช้เป็นสารเร่งการเจริญเติบโตของพืช และส่วนที่เป็นกากสำหรับนำไปหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ โดยสูตรการหมักแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบหลักดังนี้

3.7.1 สูตรที่ 1 สูตรมาตรฐานจากการฝึกอบรม

เป็นสูตรเบื้องต้นที่ใช้ในการถ่ายทอดองค์ความรู้แก่เกษตรกร ประกอบด้วยวัตถุดิบดังนี้

- ใบอ้อยแห้งปริมาณ 10 กิโลกรัม
- น้ำสะอาดปริมาณ 100 ลิตร
- กากน้ำตาลปริมาณ 2 ลิตร
- สารเร่งซุปเปอร์ พด.2 จำนวน 2 ซอง

3.7.2 สูตรที่ 2 สูตรปรับปรุงประสิทธิภาพหลังการฝึกอบรม

เป็นสูตรที่ปรับลดปริมาณวัตถุดิบเพื่อให้เหมาะสมกับขนาดถังและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซ มีรายละเอียดดังนี้

- ใบอ้อยแห้งปริมาณ 3 กิโลกรัม
- น้ำสะอาดปริมาณ 80 ลิตร
- กากน้ำตาลปริมาณ 2 ลิตร
- สารเร่งซุปเปอร์ พด.2 หรือนวัตกรรมก้อนเชื้อจุลินทรีย์ (Biogas Ball) จำนวน 2 ลูก

ขั้นตอนการดำเนินการ

การเตรียมการเริ่มจากการสับใบอ้อยแห้งให้ละเอียดเป็นชิ้นเล็กเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการย่อยสลาย จากนั้นนำใบอ้อยใส่ลงในถังหมักและเติมน้ำสะอาดปริมาณ 80 ลิตร โดยมีข้อกำหนดว่าปริมาณน้ำรวมวัตถุดิบไม่ควรเกิน 3 ใน 4 ของขนาดถังหมัก ขั้นตอนต่อมาให้เติมกากน้ำตาลและสารเร่งจุลินทรีย์ลงไปผสมให้เข้ากัน เมื่อปิดฝาสนิทและทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง ระบบจะเริ่มผลิตก๊าซที่พร้อมใช้งาน ทั้งนี้ในระหว่างกระบวนการควรดำเนินการคนวัตถุดิบทุกชั่วโมงเพื่อให้จุลินทรีย์กระจายตัวอย่างทั่วถึง และสามารถบรรจุก๊าซลงในถังกักเก็บเพื่อความสะดวกในการใช้งานต่อไป

3.7.3 สูตรที่ 3 สูตรประยุกต์ใช้ร่วมกับใบไม้แห้งและเศษอาหาร

เป็นสูตรที่เน้นการใช้ใบไม้แห้งสับละเอียดเป็นวัตถุดิบหลักทดแทนใบอ้อย มีรายละเอียดดังนี้

- ใบไม้แห้งสับละเอียดปริมาณ 1 กิโลกรัม โดยหลีกเลี่ยงใบไม้ชนิดที่มีปุยยางเนื่องจากจะยับยั้งการเกิดก๊าซ
- สารเร่งซุปเปอร์ พด.2 จำนวน 2 ซอง
- กากน้ำตาลปริมาณ 5 ลิตร
- น้ำสะอาดปริมาณ 3 ใน 4 ของถังหมัก

ขั้นตอนการดำเนินการ

เมื่อผสมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกันและหมักทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ระบบจะเริ่มผลิตก๊าซ ซึ่งอุณหภูมิในพื้นที่จะมีผลต่อความรวดเร็วในการหมัก ก๊าซที่ได้สามารถนำมาใช้ประกอบอาหารประเภทผัดหรือทอดในระดับครัวเรือนได้ โดยปกติระบบจะใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมงในการผลิตก๊าซขึ้นใหม่ทดแทนส่วนที่ใช้ไป ซึ่งสามารถใช้งานได้ต่อเนื่องประมาณ 2 ถึง 3 ครั้งต่อรอบ สำหรับการดูแลระบบให้เติมเศษอาหาร เช่น เศษข้าวหรือเศษผัก วันละ 1 ถ้วยและดำเนินการคนวัตถุดิบทุกครั้ง โดยทั่วไปสูตรนี้จะมีอายุการใช้งานประมาณ 2 ถึง 3 เดือนก่อนดำเนินการเปลี่ยนวัตถุดิบชุดใหม่

3.7.4 สูตรที่ 4 สูตรการหมักจากมูลสัตว์และเศษอาหาร

เป็นแนวทางการผลิตก๊าซชีวภาพที่ไม่มีส่วนผสมของกากใบอ้อย ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซที่ดีกว่า มีรายละเอียดดังนี้

- วัตถุดิบประกอบด้วย
- มูลวัวปริมาณ 1 ลิตร
- น้ำสะอาดปริมาณ 1 ลิตร
- เศษอาหารปริมาณ 1 ถ้วย

ขั้นตอนการดำเนินการ

เริ่มจากการผสมมูลวัวและน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 ให้เข้ากันและหมักทิ้งไว้ประมาณ 5-6 วัน เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการผลิตก๊าซ เมื่อระบบเริ่มผลิตก๊าซแล้วให้เริ่มเติมเศษอาหารวันละ 1 ถ้วยเพื่อเป็นแหล่งอาหารสำหรับจุลินทรีย์ โดยควรหลีกเลี่ยงเศษอาหารหรือผลไม้ที่มีรสเปรี้ยวเนื่องจากจะส่งผลกระทบต่อสภาวะความเป็นกรดด่างทำให้ก๊าซไม่เกิด ทั้งนี้อาจพิจารณาติดตั้งข้อต่อบริเวณส่วนกลางของถังเพื่อความสะดวกในการระบายน้ำและกากทิ้งตามรอบการใช้งาน

3.8 นวัตกรรมก้อนเชื้อจุลินทรีย์ (Biogas Ball)

เป็นการเตรียมก้อนเชื้อเข้มข้นเพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในถังหมัก มีรายละเอียดดังนี้

- ใบอ้อยแห้งสับละเอียดปริมาณ 8 กิโลกรัม
- มูลสัตว์ปริมาณ 8 กิโลกรัม
- กากน้ำตาลปริมาณ 8 กิโลกรัม
- เศษอาหารปริมาณ 24 กิโลกรัม
- น้ำสะอาดปริมาณ 80 ลิตร

ขั้นตอนการผลิต

เริ่มต้นด้วยการนำใบอ้อยแห้งมาสับให้ละเอียดและผสมเข้ากับมูลสัตว์ กากน้ำตาล และเศษอาหารให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นบรรจุในภาชนะปิดสนิททิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมงเพื่อให้จุลินทรีย์เริ่มขยายตัว ขั้นตอนต่อมาให้นำส่วนผสมมาปั้นเป็นก้อนและนำไปตากแดดเป็นเวลา 10 ชั่วโมงเพื่อให้ก้อนเชื้อมีความคงตัว เมื่อแห้งสนิทแล้วควรจัดเก็บไว้ในสภาพที่แห้งที่อุณหภูมิห้องเพื่อเตรียมไว้สำหรับการใช้งานในลำดับต่อไป

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

การดำเนินงานวิชาการเรื่องการส่งเสริมพัฒนาการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวลเพื่อทดแทนการเผาในเขตปฏิรูปที่ดิน ตำบลหนองพันจันทร์ อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี ได้รับผลลัพธ์เชิงประจักษ์ที่บรรลุตามวัตถุประสงค์และตัวชี้วัดของโครงการ โดยสามารถวิเคราะห์ผลการศึกษาและความสำเร็จที่เกิดขึ้นอย่างรอบด้าน ดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์สถานการณ์พื้นที่และดัชนีจุดความร้อนเชิงพื้นที่

จากการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลพิกัดจุดความร้อน (Hotspots) ร่วมกับการสำรวจสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตปฏิรูปที่ดินตำบลหนองพันจันทร์ พบว่าปัญหาการเผาในที่โล่งมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับวงจรการผลิตอ้อยโรงงาน โดยพบความหนาแน่นของจุดความร้อนในช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวและเตรียมพื้นที่เพาะปลูกใหม่ระหว่างเดือนธันวาคมถึงเมษายน

ข้อมูลเชิงประจักษ์จากการสำรวจพื้นที่หมู่ที่ 2 พบว่ามีเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรตกค้างในแปลงในปริมาณสูง ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกษตรกรเลือกวิธีการเผาทำลายเพื่อลดต้นทุนแรงงาน การวิเคราะห์ในส่วนนี้ทำให้นักวิชาการสามารถเข้าถึงกลุ่มเป้าหมายที่มีความพร้อมเชิงทรัพยากร เพื่อนำนวัตกรรมถังหมักก๊าซชีวภาพเข้าไปเปลี่ยนสถานะของเศษวัสดุให้กลายเป็นพลังงานสะอาด ซึ่งนอกจากจะช่วยลดจำนวนจุดความร้อนเชิงสถิติในพื้นที่ดำเนินการได้ตามเป้าหมายแล้ว ยังเป็นการปกป้องโครงสร้างทางกายภาพของดินจากการถูกทำลายด้วยความร้อนสะสมอีกด้วย

4.2 ผลสัมฤทธิ์ด้านการถ่ายทอดองค์ความรู้และนวัตกรรมสู่ชุมชน

กระบวนการสร้างการเรียนรู้ผ่านหลักสูตรฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ จำนวน 2 หลักสูตร ได้สร้างความเปลี่ยนแปลงเชิงคุณภาพและทัศนคติของเกษตรกรในเขตปฏิรูปที่ดินอย่างเห็นได้ชัด ดังนี้

4.2.1 ผลการฝึกอบรมหลักสูตร แนวทางการเฝ้าระวังการเผาไหม้ในเขตปฏิรูปที่ดิน

ดำเนินการเมื่อวันที่ 26 ธันวาคม 2565 ณ ศาลาหมู่บ้านหมู่ที่ 2 ผลการดำเนินงานชี้ให้เห็นว่าเกษตรกรมีความตระหนักถึงผลกระทบเชิงลบของการเผาที่มีต่อสุขภาพดินและคุณภาพอากาศเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เกษตรกรสามารถเรียนรู้ทฤษฎีการย่อยสลายอินทรียวัตถุและฝึกปฏิบัติการใช้ประโยชน์จากเศษวัสดุเพื่อทดแทนการเผาได้อย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ ส่งผลให้เกิดความต้องการปรับเปลี่ยนวิธีการจัดการที่ดินในรูปแบบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

4.2.2 ผลการฝึกอบรมหลักสูตร การบริหารจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อเพิ่มมูลค่า

ดำเนินการเมื่อวันที่ 16 มีนาคม 2566 ณ ที่ทำการผู้ใหญ่บ้านหมู่ที่ 2 เน้นการนำใบอ้อยมาผลิตก๊าซชีวภาพระดับครัวเรือน ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญคือเกษตรกรได้รับทักษะในการบริหารจัดการถังหมักขนาด 200 ลิตร ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ การประยุกต์ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์เพื่อเร่งปฏิกิริยาย่อยสลายแบบไร้อากาศ รวมถึงการฝึกปฏิบัติการทำเครื่องบรรจุก๊าซชีวภาพ (Gas Bag) เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น

ในการขนย้ายพลังงานสะอาดไปใช้งานในจุดต่าง ๆ ของบ้านเรือน กระบวนการนี้ช่วยยกระดับขีดความสามารถของเกษตรกรในการพึ่งพาตนเองด้านพลังงานและมองเห็นคุณค่าจากเศษซากวัชพืช

4.3 ประสิทธิภาพทางเทคนิคของนวัตกรรมก๊าซชีวภาพและระบบกักเก็บ

ภายหลังจากการติดตั้งและส่งเสริมการใช้งานจริงในครัวเรือนนำร่อง ผลการติดตามประสิทธิภาพเชิงเทคนิคของนวัตกรรมชุดผลิตก๊าซชีวภาพมีรายละเอียดที่สำคัญดังนี้

ภาพที่ 4.1 การตรวจเยี่ยมและติดตามผลสัมฤทธิ์การใช้งานนวัตกรรมก๊าซชีวภาพในพื้นที่จริง

4.3.1 ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซและความเสถียรของเปลวไฟ

ระบบถังหมักที่ติดตั้งร่วมกับกระบวนการเตรียมวัตถุดิบใบอ้อยย่อยละเอียดและการใช้จุลินทรีย์เร่งปฏิกิริยา พบว่าสามารถผลิตก๊าซชีวภาพจนถึงระดับที่จุดติดไฟได้จริงภายใต้สภาวะอากาศของพื้นที่ปฏิบัติงาน โดยก๊าซที่ผลิตได้มีค่าความร้อนคงที่และให้เปลวไฟสีน้ำเงินใสซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพความบริสุทธิ์ของก๊าซมีเทนที่สูง ระบบสามารถผลิตก๊าซได้อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอเพียงพอต่อการหุงต้มอาหารในชีวิตประจำวันของเกษตรกร ช่วยยืนยันว่านวัตกรรมถังหมักขนาดเล็กมีความเหมาะสมกับบริบทการใช้งานในพื้นที่เขตปฏิรูปที่ดิน

4.3.2 ผลสัมฤทธิ์ของเครื่องบรรจุก๊าซชีวภาพและการใช้งาน

เครื่องบรรจุก๊าซชีวภาพที่พัฒนาขึ้นเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยยกระดับประสิทธิภาพในการกักเก็บและบริหารจัดการพลังงานสะอาดในระดับครัวเรือน โดยมีการปรับปรุงขนาดอุปกรณ์ให้มีความเหมาะสม (Scaling) กับปริมาณก๊าซที่ผลิตได้จริงจากถังหมัก ทำให้ระบบมีความสามารถในการรองรับก๊าซในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้แรงดันก๊าซมีความเสถียรและสม่ำเสมอขณะใช้งานหุงต้ม นอกจากนี้นวัตกรรมเครื่องบรรจุก๊าซและถุงบรรจุก๊าซ (Gas Bag) ยังช่วยแก้ข้อจำกัดเรื่องระยะห่างระหว่างจุดติดตั้งถังหมักกับอาคารที่พักอาศัย ทำให้เกษตรกรสามารถเคลื่อนย้ายก๊าซชีวภาพไปใช้งาน

ในครัวเรือนได้อย่างสะดวกสบายและมีความคล่องตัวสูง เป็นการตอบโจทย์วิถีชีวิตและสร้างความพึงพอใจในการใช้งานพลังงานทดแทนอย่างยั่งยืน

4.4 ผลกระทบและมูลค่าเพิ่มในมิติเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม

การดำเนินงานวิชาการชิ้นนี้ได้ส่งผลกระทบเชิงบวกที่ครอบคลุมมิติการพัฒนาที่ยั่งยืนในพื้นที่ดำเนินงาน ดังนี้

4.4.1 มิติเศรษฐกิจและการลดรายจ่ายภาคครัวเรือน

เกษตรกรกลุ่มเป้าหมายสามารถลดภาระค่าใช้จ่ายในการซื้อก๊าซหุงต้ม (LPG) ลงได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ผลพลอยได้ที่เป็นของเหลวและกากตะกอนหลังจากการหมักใบอ้อย ซึ่งเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพสูง เกษตรกรได้นำกลับไปใช้ในแปลงอ้อยและพืชสวนครัวรอบที่อยู่อาศัย ช่วยลดต้นทุนในการซื้อปุ๋ยเคมีและสารปรับปรุงดิน พร้อมทั้งช่วยปรับปรุงโครงสร้างดินให้มีความร่วนซุยและอุ้มน้ำได้ดีขึ้น

4.4.2 มิติสังคมและการเสริมสร้างสังคมแห่งการเรียนรู้สีเขียว

เกิดการสร้างเครือข่ายความร่วมมือระหว่างเกษตรกรในพื้นที่หมู่ที่ 2 ในลักษณะการแลกเปลี่ยนเรียนรู้แบบเพื่อนช่วยเพื่อน ความสำเร็จเชิงประจักษ์จากการผลิตก๊าซใช้เองได้จริงในครัวเรือนช่วยเปลี่ยนทัศนคติของชุมชนให้เห็นความสำคัญของการจัดการสิ่งแวดล้อมร่วมกัน และเกิดกลุ่มเกษตรกรแกนนำที่มีความเชี่ยวชาญในการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่สมาชิกรายอื่น ๆ ในเขตปฏิรูปที่ดิน

4.4.3 มิติสิ่งแวดล้อมและการพัฒนาพื้นที่เกษตรกรรมยั่งยืน

อุบัติการณ์การเผาใบอ้อยในแปลงเกษตรกรที่เข้าร่วมโครงการมีปริมาณลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการลดลงของจุดความร้อนในระดับตำบลและช่วยบรรเทาวิกฤตฝุ่นละออง PM 2.5 การจัดการที่ดินโดยปราศจากการใช้ไฟช่วยรักษาความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศดินและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สอดคล้องกับนโยบายการจัดการพื้นที่สีเขียวในเขตปฏิรูปที่ดินและการพัฒนาคุณภาพชีวิตของเกษตรกรอย่างยั่งยืน

บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การดำเนินงานวิชาการเรื่องการส่งเสริมพัฒนาการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวลเพื่อทดแทนการเผาในเขตปฏิรูปที่ดิน ตำบลหนองพันจันทร์ อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี บรรลุผลสัมฤทธิ์ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ โดยสามารถสรุปผลการดำเนินงาน การอภิปรายผล ปัญหาอุปสรรค และข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาพื้นที่อย่างยั่งยืนได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ผลการดำเนินงานวิชาการในพื้นที่เป้าหมายหมู่ที่ 2 ตำบลหนองพันจันทร์ สามารถสรุปสาระสำคัญได้เป็น 3 ประเด็นหลักดังนี้

5.1.1 ผลสัมฤทธิ์เชิงพื้นที่และสิ่งแวดล้อม

การศึกษาวิเคราะห์พิกัดจุดความร้อนร่วมกับการส่งเสริมการจัดการชีวมวลใบอ้อยทดแทนการเผา ส่งผลให้อุบัติการณ์การเผาในแปลงเกษตรกรกลุ่มเป้าหมายมีปริมาณลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นการสนับสนุนนโยบายการลดมลพิษทางอากาศ (PM 2.5) และช่วยรักษาอินทรียวัตถุในโครงสร้างดินเขตปฏิรูปที่ดินให้คงความอุดมสมบูรณ์ในระยะยาว

5.1.2 ผลสัมฤทธิ์ด้านการถ่ายทอดองค์ความรู้และทักษะ

เกษตรกรในพื้นที่ได้รับความรู้เชิงปฏิบัติการผ่านหลักสูตรการเฝ้าระวังการเผาไหม้และการบริหารจัดการเศษวัสดุเพื่อเพิ่มมูลค่า โดยเกษตรกรมีความเข้าใจในหลักการย่อยสลายแบบไร้อากาศ และมีทักษะในการประยุกต์ใช้จุลินทรีย์เพื่อเร่งกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากใบอ้อยย่อยละเอียดร่วมกับมูลสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.1.3 ผลสัมฤทธิ์ด้านนวัตกรรมและพลังงานทดแทน

ชุดนวัตกรรมถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 ลิตร และเครื่องบรรจุก๊าซที่พัฒนาขึ้น สามารถผลิตก๊าซชีวภาพที่มีคุณภาพให้เปลวไฟสม่ำเสมอเพียงพอต่อการหุงต้มอาหารในครัวเรือน การปรับขนาดนวัตกรรมให้เหมาะสมกับบริบทการใช้งานจริงช่วยลดข้อจำกัดเรื่องพื้นที่ติดตั้งและสร้างความพึงพอใจให้แก่เกษตรกรในการใช้งานพลังงานสะอาด

5.2 อภิปรายผล

จากการดำเนินงานมีประเด็นสำคัญที่นำมาอภิปรายเพื่อสร้างความเข้าใจในเชิงลึกดังนี้

5.2.1 การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเกษตรกรผ่านแรงจูงใจทางเศรษฐกิจ

การที่เกษตรกรยอมรับนวัตกรรมและลดการเผาใบอ้อยเกิดจากการเห็นผลประโยชน์เชิงประจักษ์ในการลดรายจ่ายค่าก๊าซหุงต้ม (LPG) และการได้รับปุ๋ยอินทรีย์น้ำคุณภาพสูงจากระบบถังหมัก ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ที่เปลี่ยนเศษวัสดุเหลือทิ้งให้เป็นทรัพยากรที่มีมูลค่า

5.2.2 ความเหมาะสมทางเทคนิคและการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม

การเลือกใช้ชีวมวลใบอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ปริมาณมากในพื้นที่ ส.ป.ก. จังหวัดราชบุรี ร่วมกับการใช้นวัตกรรมขนาดเล็กที่ซ่อมบำรุงง่าย เป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม (Appropriate Technology) ทำให้เกิดความยั่งยืนในการใช้งานจริง แตกต่างจากระบบขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนและมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง

5.2.3 การสร้างความเข้มแข็งของเครือข่ายปราชญ์พลังงาน

ความสำเร็จของโครงการไม่ได้จำกัดเพียงแค่ตัวนวัตกรรม แต่รวมถึงการสร้างกลุ่มเกษตรกรแกนนำในพื้นที่หมู่ที่ ๒ ที่มีความเชี่ยวชาญในการถ่ายทอดเทคโนโลยี กระบวนการเรียนรู้แบบเพื่อนช่วยเพื่อนนี้เป็นกลไกสำคัญที่ทำให้เกิดความยั่งยืนในการเฝ้าระวังการเผาไหม้และส่งเสริมเกษตรสีเขียวในพื้นที่ ส.ป.ก.

5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการ

จากการลงพื้นที่ปฏิบัติงานจริง พบปัญหาและอุปสรรคสำคัญที่ส่งผลต่อความยั่งยืนของโครงการ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเด็นหลักดังนี้

5.3.1 ช่องว่างด้านทักษะการแก้ปัญหาเชิงเทคนิค

แม้เกษตรกรจะผ่านการอบรมและสามารถเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพเบื้องต้นได้ แต่เนื่องจากระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศเป็นกระบวนการทางชีวภาพที่มีความอ่อนไหว เมื่อเกิดปัญหาขัดข้องระหว่างการหมัก เช่น เกิดความเป็นกรดสูง ก๊าซไม่เกิด หรือมีกลิ่นเหม็น เกษตรกรส่วนใหญ่ยังขาดความชำนาญในการวิเคราะห์สาเหตุและแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าได้ด้วยตนเอง ทำให้เทคโนโลยีหยุดชะงักหากไม่มีเจ้าหน้าที่เข้าไปดูแลอย่างใกล้ชิด

5.3.2 ความไม่ต่อเนื่องของวัตถุดิบหลัก

ใบอ้อยเป็นวัตถุดิบทางการเกษตรที่มีปริมาณมากเฉพาะในช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยว ทำให้เกิดอุปสรรคในการป้อนวัตถุดิบเข้าสู่ระบบหมักอย่างต่อเนื่องในช่วงนอกฤดูกาล ซึ่งการปล่อยให้ถังหมักว่างเปล่าหรือขาดสารอาหารหล่อเลี้ยงจุลินทรีย์ จะส่งผลให้ระบบผลิตก๊าซไม่ต่อเนื่องและลดความคุ้มค่าในการใช้งานของเกษตรกรในระยะยาว

5.3.3 แรงเสียดทานจากการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม

อุปสรรคสำคัญเชิงพฤติกรรมคือเกษตรกรคุ้นชินกับความสะดวกสบายดั้งเดิม เมื่อเปรียบเทียบขั้นตอนที่ต้องลงแรงเพิ่มขึ้น เช่น การรวบรวมใบอ้อย การสับย่อย และการดูแลระบบ กับความง่ายของการซื้อก๊าซหุงต้ม (LPG) หรือการจุดไฟเผาทำลายซากพืชทิ้ง จึงเกิดแรงต้านในการยอมรับเทคโนโลยีหากไม่มีแรงจูงใจเชิงบวกที่มากพอมาสนับสนุน

5.4 ข้อเสนอแนะ

จากปัญหาและอุปสรรคที่พบ เพื่อให้เกิดการแก้ไขปัญหาอย่างเป็นระบบ นำไปสู่การขยายผลและการพัฒนาพื้นที่ปฏิรูปที่ดินอย่างยั่งยืน ผู้จัดทำจึงมีข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติการและเชิงนโยบายดังนี้

5.4.1 การสร้างระบบพี่เลี้ยงชุมชนและยกระดับสู่ศูนย์เรียนรู้

ควรมีการจัดทำคู่มือการแก้ปัญหาเบื้องต้นที่เข้าใจง่ายสำหรับประชาชน และวางแนวทางให้เกษตรกรต้นแบบที่ประสบความสำเร็จ พัฒนาศักยภาพและยกระดับพื้นที่ของตนเองไปสู่การเป็นศูนย์เรียนรู้ด้านพลังงานทดแทนชุมชนอย่างเป็นทางการ โดยผลักดันให้อาสาสมัครปฏิรูปที่ดิน (อสปก.) หรือผู้นำชุมชน ทำหน้าที่เป็นปราชญ์พลังงานหรือช่างชุมชน เพื่อเป็นพี่เลี้ยงคอยให้คำปรึกษาและแก้ไขปัญหาทางเทคนิคให้แก่เกษตรกรรายอื่นในพื้นที่ได้ทันที โดยอาศัยกลไกการถ่ายทอดความรู้จากเกษตรกรสู่เกษตรกรเพื่อสร้างความยั่งยืนด้วยตัวชุมชนเอง

5.4.2 การพัฒนาแบบจำลองการจัดการวัตถุดิบตลอดปี

ควรส่งเสริมและต่อยอดองค์ความรู้ให้เกษตรกรสามารถบริหารจัดการวัตถุดิบแบบผสมผสาน โดยไม่พึ่งพาเพียงใบอ้อยอย่างเดียว แต่สนับสนุนให้เกิดการนำวัสดุอินทรีย์อื่น ๆ ที่มีตลอดปี เช่น ขยะเศษอาหารในครัวเรือน วัชพืช หรือมูลสัตว์ มาหมักร่วมในช่วงนอกฤดูเก็บเกี่ยวอ้อย เพื่อให้จุลินทรีย์ในระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถผลิตก๊าซชีวภาพและปุ๋ยอินทรีย์ให้เกษตรกรใช้งานได้ต่อเนื่องตลอดทั้งปี

5.4.3 การผลักดันนโยบายพื้นที่สีเขียวต้นแบบและเชื่อมโยงกลไกสร้างแรงจูงใจ

เพื่อก้าวข้ามข้อจำกัดด้านความสะดวกสบายและจูงใจให้เกษตรกรเลิกการเผาอย่างเด็ดขาด ส.ป.ก. ควรมีนโยบายส่งเสริมและประกาศให้พื้นที่ที่ประสบความสำเร็จในการจัดการใบอ้อยนี้เป็น "พื้นที่สีเขียวต้นแบบ (Green Area Prototype)" เพื่อใช้เป็นแหล่งศึกษาดูงานและจัดทำเป็นโมเดลมาตรฐานในการขยายผลไปยังเขตปฏิรูปที่ดินจังหวัดอื่น ๆ นอกจากนี้ควรบูรณาการระดับนโยบายเพื่อนำผลสำเร็จจากการลดการเผา ไปเชื่อมโยงกับกลไกสร้างแรงจูงใจ เช่น การให้สิทธิพิเศษในการเข้าถึงแหล่งเงินทุน "สินเชื่อสีเขียว" (Green Credit) หรือการเตรียมความพร้อมชุมชนเข้าสู่ตลาดคาร์บอนเครดิต (Carbon Credit) ภาคสมัครใจ เพื่อเปลี่ยนความเหนื่อยยากในการจัดการใบอ้อย ให้กลายเป็นผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ที่สูงขึ้นและคุ้มค่าสำหรับเกษตรกรอย่างแท้จริง

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. 2564. แผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ การแก้ไขปัญหาฝุ่นละออง. กรุงเทพฯ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมป่าไม้. ม.ป.ป. ตารางค่าความร้อนจากถ่านไม้ [ออนไลน์]. สืบค้นจาก www.forest.go.th

กรมพัฒนาที่ดิน. 2565. คู่มือการใช้งานสารเร่งซุปเปอร์ พด. 2 เพื่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์น้ำ. กรุงเทพฯ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2552. คู่มือการผลิตและการใช้งานเตาเผาผลิตถ่านแบบถัง 200 ลิตร. กรุงเทพฯ กระทรวงพลังงาน.

โครงการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อชนบทและการพัฒนาที่ยั่งยืน สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2544. ถ่าน การผลิตที่ถูกวิธีและประโยชน์. กรุงเทพฯ สวทช.

พุฒินันต์ พึ่งวงศ์ญาติ. 2544. ถ่านไม้และน้ำส้มควันไม้. กรุงเทพฯ กรมป่าไม้.

ศูนย์วิจัยพลังงานมหาวิทยาลัยแม่โจ้. 2553. คู่มือการใช้งานเตาเผาถ่านถัง 200 ลิตร (แบบตั้ง). เชียงใหม่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2562. รายงานสรุปการวิจัยศักยภาพพลังงานจากชีวมวลใบอ้อย. เชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สมาคมเทคโนโลยีที่เหมาะสม. 2549. คู่มือเตาเผาถ่าน 200 ลิตร. กรุงเทพฯ สมาคมเทคโนโลยีที่เหมาะสม.

สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม. 2565. แผนปฏิบัติราชการระยะ 5 ปี พ.ศ. 2566 – 2570 ของสำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม. กรุงเทพฯ สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม.

สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม. 2566. คู่มือการผลิตก๊าซชีวภาพจากใบอ้อย (ฉบับปรับปรุง). กรุงเทพฯ สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม.

สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2561. ยุทธศาสตร์ชาติ พ.ศ. 2561 – 2580. กรุงเทพฯ สำนักงานเลขานุการคณะกรรมการยุทธศาสตร์ชาติ.

องค์การสหประชาชาติ. ม.ป.ป. เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน Sustainable Development Goals [ออนไลน์]. สืบค้นจาก https //thailand.un.org/th/sdgs

อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ป่าไม้ขนาดย่อม คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2529. รายงานการศึกษาเทคโนโลยีการจัดการชีวมวล. กรุงเทพฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาคผนวก 1

ตารางที่ 1 รายการวัสดุและอุปกรณ์สำหรับการจัดทำชุดถังหมักและถังกักเก็บก๊าซชีวภาพ

ที่	รายการ	จำนวน	หน่วย	ภาพประกอบ
1	ถังพลาสติกพร้อมฝาปิด ขนาด 120 ลิตร	2	ใบ	
2	ถังพลาสติกพร้อมฝาปิด ขนาด 60 ลิตร	1	ใบ	
3	ท่อ PVC 1.5 นิ้ว (เส้น 4 เมตร)	1	เส้น	
4	ท่อ PVC 0.5 นิ้ว (4 หุน) (เส้น 4 เมตร)	2	เส้น	
5	ข้อต่อสามทาง 4 หุน	8	ตัว	
6	ข้อต่อ 90 องศา 4 หุน	8	ตัว	
7	ข้อต่อ 90 องศา 1.5 นิ้ว	1	ตัว	
8	ข้อต่อตรง 1.5 นิ้ว	1	ตัว	

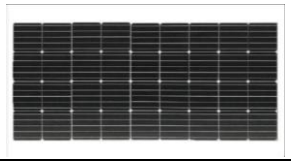
ที่	รายการ	จำนวน	หน่วย	ภาพประกอบ
9	ข้อต่อลด 3 นิ้ว ออก 1.5 นิ้ว	1	ตัว	
10	หางปลาไหล แป๊บเกลียวข้าง 1.5 นิ้ว	3	อัน	
11	ข้อต่อเกลียวใน 1.5 นิ้ว	2	ตัว	
12	ข้อต่อเกลียวนอก 1.5 นิ้ว	2	ตัว	
13	ข้อต่อเกลียวใน 4 หุน	6	ตัว	
14	ข้องอเกลียวนอก 90 องศา 4 หุน	3	ตัว	
15	วาล์ว 1.5 นิ้ว	1	ตัว	
16	วาล์ว 4 หุน	3	ตัว	
17	เกจวัดความดันก๊าซ	1	อัน	

ที่	รายการ	จำนวน	หน่วย	ภาพประกอบ
18	เข็มขัดรัดท่อ	8	ตัว	
19	เทปพันเกลียว	3	อัน	
20	ผงซักฟอก	1	กิโลกรัม	
21	กาวร้อน	10	หลอด	
22	กาวทาท่อ PVC ขนาด 250 กรัม	1	กระป๋อง	

ตารางที่ 2 รายการวัสดุสำหรับการจัดทำก้อนเชื้อจุลินทรีย์ (Biogas Ball)

ที่	รายการ	จำนวน	หน่วย	ภาพประกอบ
1	ถังพลาสติกพร้อมฝาปิด ขนาด 120 ลิตร	1	ใบ	
2	กากน้ำตาล 7 กิโล	1	กิโลกรัม	
3	มูลสัตว์แบบเปียก (มูลวัว) 10 กิโล	2	กระสอบ	

ตารางที่ 3 รายการวัสดุและอุปกรณ์สำหรับระบบบรรจุก๊าซชีวภาพด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ภาพประกอบ
1	คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ สำหรับตู้เย็น AC	1	เครื่อง	
2	แบตเตอรี่ 12 โวลต์	1	ลูก	
3	แผงโซล่าเซลล์ ขนาด 170 วัตต์	1	ชุด	
4	ชุดอินเวอร์เตอร์ 3,500 วัตต์	1	ชุด	
5	สายต่อแผงโซล่าเซลล์	1	ชุด	
6	สายแบตเตอรี่	1	ชุด	
7	สายไฟ	5	เมตร	

ภาคผนวก 2

ภาพกิจกรรมการฝึกอบรม หลักสูตรที่ 1 แนวทางการเฝ้าระวังการเผาไหม้ในเขตปฏิรูปที่ดิน

ภาพกิจกรรมการฝึกอบรม หลักสูตรที่ 2 การบริหารจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อเพิ่มมูลค่า

ภาพกิจกรรมการติดตามผลการดำเนินงานครั้งที่ 1

การติดตามปัจจัยที่มีผลต่อเสถียรภาพระบบหมัก เนื่องจากกระบวนการผลิตก๊าซจากใบอ้อย มีความไวต่อสภาวะแวดล้อม ทั้งด้านความสมดุลของวัตถุดิบที่ส่งผลต่อจุลินทรีย์ และอุณหภูมิภายนอก ที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลาย ซึ่งอาจทำให้ปริมาณก๊าซคลาดเคลื่อนไปจากเป้าหมายที่กำหนดไว้

ภาพกิจกรรมการติดตามผลการดำเนินงาน ครั้งที่ 2

การติดตามผลเชิงรุกเพื่อแก้ไขปัญหาทางเทคนิคในระบบอัดก๊าซ โดยมีการปรับปรุงระบบไฟฟ้าและบำรุงรักษาคอมเพรสเซอร์ให้พร้อมใช้งาน พร้อมทั้งถ่ายทอดทักษะความปลอดภัยเชิงปฏิบัติแก่เกษตรกร เพื่อยกระดับขีดความสามารถในการบริหารจัดการนวัตกรรมได้ด้วยตนเองอย่างมีประสิทธิภาพ

ภาพกิจกรรมการติดตามผลการดำเนินงาน ครั้งที่ 3

การยกระดับประสิทธิภาพการผลิตก๊าซผ่านการขยายขนาดชุดกักเก็บและพัฒนาระบบถังหมักช่วยลดข้อจำกัดด้านความต่อเนื่องของพลังงาน และสอดคล้องกับบริบทการใช้งานจริงของเกษตรกร

ภาพกิจกรรมการติดตามผลการดำเนินงาน ครั้งที่ 4

การติดตามผลการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานนวัตกรรมร่วมกับหัวเตาหุงต้มในชีวิตประจำวัน โดยการแก้ไขปัญหาทางเทคนิคด้านสมดุลอากาศเพื่อให้มีการจุดติดไฟที่เสถียรและสม่ำเสมอ ส่งผลให้สามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์มาตรฐานในครัวเรือนได้อย่างสมบูรณ์

ภาพกิจกรรมการติดตามผลการดำเนินงาน ครั้งที่ 5

การติดตามและตรวจเยี่ยมความก้าวหน้าโดยผู้ตรวจราชการ ซึ่งมีการสาธิตการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพในการประกอบอาหารจริง เพื่อยืนยันประสิทธิภาพของระบบที่สามารถตอบสนองต่อการใช้งานในชีวิตประจำวัน และส่งเสริมการพึ่งพาตนเองด้านพลังงานของเกษตรกรในเขตปฏิรูปที่ดินอย่างยั่งยืน

ภาคผนวก 3

QR Code วิดีโอสื่อองค์ความรู้และเทคนิคการผลิตก๊าซชีวภาพ

เพื่อให้เกษตรกรและผู้ที่สนใจสามารถเข้าถึงขั้นตอนการดำเนินงานและเทคนิคเชิงปฏิบัติได้อย่างรวดเร็ว จึงรวบรวมสื่อวิดีโอองค์ความรู้แยกตามประเด็นสำคัญไว้ดังนี้

รายการสื่อวิดีโอองค์ความรู้	QR Code
1. การส่งเสริมพัฒนาการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวล (Biomass) เพื่อทดแทนการเผา	
2. การฝึกอบรมการบริหารจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อเพิ่มมูลค่า การผลิตก๊าซชีวภาพจากใบอ้อย	
3. การปรับปรุงสูตรการหมักหลังการอบรมการผลิตก๊าซชีวภาพจากใบอ้อย	
4. ปัญหาหลังการปรับปรุงสูตรการหมักหลังอบรมการผลิตก๊าซชีวภาพจากใบอ้อย	
5. การปรับปรุงระบบอัดก๊าซชีวภาพลงถังก๊าซ LPG	
6. การปรับปรุงถังหมักก๊าซชีวภาพให้มีขนาดใหญ่ขึ้น	
7. การปรับปรุงประสิทธิภาพเตาแก๊ส	
8. ผู้ตรวจราชการกรมตรวจเยี่ยมการผลิตก๊าซชีวภาพจากใบอ้อย	
9. คู่มือและแนวทางการแก้ไขปัญหาจากการส่งเสริมการพัฒนาการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวล (Biomass) เพื่อทดแทนการเผา	

การส่งเสริมพัฒนาการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวล (Biomass) เพื่อทดแทนการเผา