แบบสรุปผู้บริหาร

[Executive Summery]

.....

1. รายละเอียดเกี่ยวกับแผนงานวิจัย / โครงการวิจัย

1.1 ชื่อเรื่อง

โครงการ การประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในภาคเหนือ

Assessment of the biogas potential from agricultural waste in Northern Thailand

1.2 ชื่อคณะผู้วิจัย

1. ผู้รับผิดชอบประกอบด้วย

ก. ผู้รับผิดชอบฝ่ายไทย

1.1. หัวหน้าโครงการร่วม

ผศ.ดร.สิริชัย คุณภาพดีเลิศ	สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

1.2. หัวหน้าโครงการร่วม

ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ ดุษฎี	วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

1.3. ผู้ร่วมงานวิจัย

1. ดร.ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล	วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
2. นส. พิชยา สวยสม	สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
3. นส. บัณฑิตา เพ็ญศรี	สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
4. นส. กมลดารา เหรียญสุวรรณ	วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
5. นายธนกร กาตาสาย	สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
6. Dr. Rameshprabu Ramaraj	ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

1.4 ที่ปรึกษาโครงการ

ผศ.ดร.ปฏิรูป ผลจันทร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ข. ผู้รับผิดชอบฝ่ายต่างประเทศ

Dr. Hans Oechsner Universität Hohenheim State Institute of Agricultural Engineering and Bioenergy

Assistant Professor Dr. Rasu Jayabalan Department of Life Science,National Institute of Technology,Rourkela 769 008 Odisha, India

1.3 งบประมาณและระยะเวลาการทำวิจัย

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี 2558 จำนวน 2,044,000 บาท

ระยะเวลาการทำวิจัย 1 ปี เริ่มทำวิจัยเมื่อ 26 สิงหาคม 2558 ถึง 25 กันยายน 2559

2. สรุปโครงการวิจัย

2.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

จากการที่ประเทศไทยต้องพึ่งการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศเป็นหลัก มีความจำเป็นต่อการเร่งพัฒนาพลังงานทดแทนอย่างจริงจังเพื่อจะช่วยลดการพึ่งพาและการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงและพลังงานชนิดอื่นและยังช่วยกระจายความเสี่ยงในการจัดหาเชื้อเพลิงเพื่อการผลิตไฟฟ้าของประเทศ การวิจัยนี้ได้ทำการประเมินวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรในภาคเหนือของประเทศไทย โดยทำการคัดเลือกวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรจำนวน 5 ชนิด ที่มีศักยภาพในการผลิตพลังงานเพื่อการผลิตไฟฟ้า ซึ่งได้แก่ ปาล์มน้ำมัน ต้นข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย และข้าว พร้อมทั้งประเมินต้นทุน ค่าขนส่ง การจัดการวัตถุดิบ รวมถึงประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อให้สามารถตอบโจทย์ต่อนโยบายการผลิตพลังงานทดแทนในรูปแบบก๊าซชีวภาพเพื่อการผลิตไฟฟ้าของกระทรวงพลังงานได้อย่างเหมาะสม

2.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อสำรวจปริมาณวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรในเขตภาคเหนือ

2. เพื่อประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรจำนวน 5 ชนิด ที่มีความเหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพในสเกลใช้งานจริง ซึ่งได้แก่ ปาล์มน้ำมัน ต้นข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย และข้าว
3. เพื่อศึกษาเศรษฐศาสตร์ด้านต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพและค่าขนส่งหรือการจัดการของวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรจำนวน 5 ชนิด ที่มีความเหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพในสเกลใช้งานจริง ซึ่งได้แก่ ปาล์มน้ำมัน ต้นข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย และข้าว

2.3 ระเบียบวิธีวิจัย

โครงการประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในภาคเหนือ เป็นการศึกษาและประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ ต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพ รวมถึงการจัดการและการขนส่งของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในภาคเหนือ เพื่อประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 5 ชนิด ได้แก่ ปาล์มน้ำมัน ต้นข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย และข้าว โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานโดยสรุปทั้งโครงการคือ

- สำรวจปริมาณและการจัดการวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร
- ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร
- ประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเบื้องต้น
- ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยวิธี Biochemical Methane Potential (BMP)
- วิเคราะห์ต้นทุนด้านโลจิสติกส์ (Logistics Cost Analysis)
- การประเมินเศรษฐศาสตร์ด้านต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพ

2.4 ผลการวิจัย

❖ **วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและการจัดการ**

การดำเนินการในการวิเคราะห์สัดส่วนของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและการจัดการวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้ดำเนินการใน 2 รูปแบบ คือ หนึ่งลงพื้นที่สำรวจข้อมูลจากเกษตรกรโดยตรง โดยดำเนินการสำหรับ ข้าว อ้อยโรงงาน มันสำปะหลังโรงงาน และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เนื่องจากพืชทั้ง 4 ชนิด มีรอบของการปลูกที่สั้น และสองคือการใช้ข้อมูลจากงานวิจัยที่ผ่านมา โดยใช้กับ ปาล์มน้ำมัน เนื่องจากเป็นพืชที่มีระยะเวลาในการเจริญเติบโตที่นานและการดำเนินงานของเกษตรกรมีระยะเวลาที่ไม่ตรงกัน

รายละเอียดของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและการจัดการแสดงดังต่อไปนี้

1. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

วัสดุชีวมวลที่เกิดขึ้นจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ประกอบด้วย ลำต้น ใบ ซังข้าวโพด และส่วนอื่นๆ (ราก/เหง้า/เปลือก) โดยจากการสำรวจในพื้นที่เพาะปลูกพบว่า มีสัดส่วนของวัสดุชีวมวลทั้ง 4 ชนิดคิดเป็นร้อยละ 43.52, 30.97, 21.26, 45.23 โดยมวลของผลผลิต (เมล็ดข้าวโพด) ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาจากข้อมูลผลผลิตในปีการเพาะปลูก 2558 พบว่ามีปริมาณของวัสดุชีวมวลที่เกิดขึ้นจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์รวมเท่ากับ 963.80 kg สด/ไร่ (kg สด คือ มวล ณ การเก็บเกี่ยวผลผลิต) ทั้งนี้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ประกอบด้วย ลำต้น ใบ ซังข้าวโพด และอื่นๆ (รากและเปลือก) โดยพบว่า วัสดุแต่ละชนิดมีสัดส่วนโดยมวลผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 43.52, 30.97, 21.26 และ 45.23% ตามลำดับดังตารางที่ 1

2. มันสำปะหลังโรงงาน

วัสดุชีวมวลที่เกิดขึ้นจากการปลูกมันสำปะหลังโรงงานประกอบด้วย ลำต้น+ใบ และเหง้าโดยจากการสำรวจในพื้นที่เพาะปลูกพบว่า มีสัดส่วนของวัสดุชีวมวลทั้ง 2 ชนิดคิดเป็นร้อยละ 28.93 และ 17.12 โดยมวลของผลผลิต (หัวมันสำปะหลัง) ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาจากข้อมูลผลผลิตในปีการเพาะปลูก 2558 พบว่ามีปริมาณของวัสดุชีวมวลที่เกิดขึ้นจากการปลูกมันสำปะหลังรวมเท่ากับ 1460.30 kg สด/ไร่ ทั้งนี้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากการผลิตมันสำปะหลังโรงงาน ประกอบด้วย ลำต้น ใบ และเหง้า โดยพบว่า วัสดุแต่ละชนิดมีสัดส่วนโดยมวลผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 28.93 และ 17.12% ตามลำดับ ดังตารางที่ 1

3. อ้อยโรงงาน

วัสดุชีวมวลที่เกิดขึ้นจากการปลูกอ้อยโรงงานประกอบด้วย ใบและยอดอ้อย และกาบใบแห้ง โดยจากการสำรวจในพื้นที่เพาะปลูกพบว่า มีสัดส่วนของวัสดุชีวมวลทั้ง 2 ชนิดคิดเป็นร้อยละ 39.51 และ 10.78 โดยมวลของผลผลิต (อ้อย) ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาจากข้อมูลผลผลิตในปีการเพาะปลูก 2558 พบว่ามีปริมาณของวัสดุชีวมวลที่เกิดขึ้นจากการปลูกอ้อยโรงงานรวมเท่ากับ 3,154.68 kg สด/ไร่ ทั้งนี้วัสดุชีวมวลที่เกิดขึ้นจากการปลูกอ้อยโรงงานประกอบด้วย ใบและยอดอ้อย และกาบใบ คิดเป็นร้อยละ 39.51 และ 10.78 โดยมวลของผลผลิต (อ้อย) ตามลำดับ ดังตารางที่ 1

4. ข้าว

พิจารณาการปลูกข้าวพบว่ามีวัสดุชีวมวลที่เกิดขึ้น ประกอบด้วย ฟางข้าวและตอซัง โดยจากการสำรวจในพื้นที่เพาะปลูกพบว่า มีสัดส่วนของวัสดุชีวมวลทั้ง 2 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 29.37 และ 13.16 โดยมวลของผลผลิต (ข้าวเปลือก) ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาจากข้อมูลผลผลิตในปีการเพาะปลูก 2558 พบว่ามีปริมาณของวัสดุชีวมวลที่เกิดขึ้นจากการปลูกข้าวรวมเท่ากับ 638.58 kg สด/ไร่ ทั้งนี้วัสดุเหลือทิ้ง

ทางการเกษตรจากการผลิตข้าว ประกอบด้วย ฟางข้าวและตอซังโดยพบว่า วัสดุแต่ละชนิดมีสัดส่วนโดยมวลผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 29.37 และ 13.16 % ตามลำดับ ดังตารางที่ 1

5. ปาล์มน้ำมัน

ในพื้นที่ภาคเหนือมีการปลูกปาล์มน้ำมันน้อยเมื่อเทียบกับภาคใต้ และปาล์มที่ปลูกก็เป็นปาล์มที่มีอายุน้อย โดยพบว่าวัสดุชีวมวลที่เกิดขึ้นจากการปลูกปาล์มน้ำมันประกอบด้วย ทางใบ ทะลายปาล์ม และ ใยปาล์ม ทั้งนี้ไม่ได้พิจารณากะลาปาล์มเนื่องจากมีการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงทั้งหมดแล้ว โดยจากการสำรวจในพื้นที่เพาะปลูกพบว่า มีสัดส่วนของวัสดุชีวมวลทั้ง 3 ชนิดคิดเป็นร้อยละ 260.40, 42.80 และ 14.70 โดยมวลของผลผลิต (ทะลายปาล์มสด) ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาจากข้อมูลผลผลิตในปีการเพาะปลูก 2558 พบว่ามีปริมาณของวัสดุชีวมวลที่เกิดขึ้นจากการปลูกปาล์มน้ำมันรวมเท่ากับ 1,874.67 kg สด/ไร่) ทั้งนี้ส่วนของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากการผลิตปาล์มน้ำมัน ประกอบด้วย ทางใบ ทะลายปาล์ม ใยปาล์ม และทะลายตัวผู้ ได้ใช้ข้อมูลจากงานวิจัยที่ผ่านมาอันเนื่องมาจากปัจจัยที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น โดยได้สัดส่วนของวัสดุแต่ละชนิด เท่ากับ 260.40, 42.80 14.70 และ 23.30% ตามลำดับ ดังคารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัดส่วนวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร		มวล (g)	สัดส่วนโดยมวล ต่อ มวลรวม (%)	สัดส่วนโดยมวล ต่อ มวลผลผลิต (%)
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์[1]	ลำต้น	129.84	18.06	43.52
	ใบ	92.41	12.85	30.97
	ซังข้าวโพด	63.44	8.82	21.26
	อื่นๆ (ราก/เหง้า/เปลือก)	134.95	18.77	45.23
	เมล็ดข้าวโพด (ผลผลิต)	298.34	41.49	
	มวลรวม	718.98		
มันสำปะหลังโรงงาน[1]	ลำต้น + ใบ	868.29	19.81	28.93
	เหง้า	513.82	11.72	17.12
	หัวมันสำปะหลัง (ผลผลิต)	3,000.88	68.47	
	มวลรวม	4,382.99		
อ้อยโรงงาน[1]	ใบและยอดอ้อย	672.11	26.29	39.51
	กาบใบแห้ง	183.41	7.17	10.78
	ลำต้นอ้อย (ผลผลิต)	1,700.92	66.53	
	มวลรวม	2,556.44		
ข้าว[1]	ฟางข้าว	137.70	20.61	29.37
	ตอซัง	61.70	9.23	13.16
	ข้าวเปลือก (ผลผลิต)	468.80	70.16	
	มวลรวม	668.20		

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร		มวล (g)	สัดส่วนโดยมวล ต่อ มวลรวม (%)	สัดส่วนโดยมวล ต่อ มวลผลผลิต (%)
ปาล์มน้ำมัน[2]	ทางใบ	2,057.16	59.02	260.40
	ทะลายปาล์ม	338.12	9.70	42.80
	ใยปาล์ม	116.13	3.33	14.70
	ทะลายตัวผู้	184.07	5.28	23.30
	ผลปาล์ม (ผลผลิต)	790.00	22.67	
	มวลรวม	3,485.48		

หมายเหตุ 1 ข้อมูลจากการสำรวจ

2 ข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Biomass Energy in Asia : A Study on Selected Technologies and Policy Options, under Asian Regional Research Program in Energy, Environment and Climate-Phase II (ARRPEEC-II)

❖ การจัดการวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของเกษตรกร

การจัดการวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่เกิดขึ้นในการผลิตผลผลิตต่างๆ โดยเกษตรกร ได้ดำเนินการโดยการสอบถามจากเกษตรกรโดยตรง พบว่า มีการดำเนินการในการจัดการหลากหลายวิธี ประกอบด้วย

- ใช้เป็นเชื้อเพลิง
- ใช้เป็นปุ๋ย หรือไถกลบในพื้นที่เพาะปลูก
- เผาทิ้ง
- อาหารสัตว์
- ขายส่งออกนอกพื้นที่ปลูก
- ขายหรือเก็บไว้เป็นพันธุ์สำหรับการปลูกในฤดูกาลเพาะปลูกต่อไป
- อื่นๆ

❖ สัดส่วนและศักยภาพของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ยังไม่มีการใช้ประโยชน์

จากการดำเนินการในกิจกรรมการประเมินสัดส่วนวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งได้ปริมาณวัสดุต่อหน่วยของผลิต และต่อหน่วยพื้นที่ ดังนั้นในการประเมินปริมาณวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร จึงได้ใช้ข้อมูลปฐมภูมิจากหน่วยงานที่เกี่ยวของอันประกอบด้วยพื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิต และปริมาณผลผลิตของพืชแต่ละชนิดในปีการเพาะปลูก 2557/2558 มาใช้ในการพิจารณาปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้น โดยได้ผลการพิจารณาดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชีวมวลที่เกิดขึ้นในพื้นที่เพาะปลูก

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร		สัดส่วนโดยมวลต่อมวลผลผลิต (%)	ปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้น (kg สด/ไร่)	ปริมาณชีวมวลที่ยังไม่ใช้ประโยชน์ (kg สด/ไร่)
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ลำต้น	43.52	297.52	219.30
	ใบ	30.97	211.73	211.73
	ซังข้าวโพด	21.26	145.34	107.03
	อื่นๆ (ราก/เหง้า/เปลือก)	45.23	309.21	309.21
	รวม		**963.80**	**847.27**
มันสำปะหลังโรงงาน[1]	ลำต้น + ใบ	28.93	917.40	136.42
	เหง้า	17.12	542.90	489.97
	รวม		**1,460.30**	**626.38**
อ้อยโรงงาน[1]	ใบและยอดอ้อย	39.51	2,812.83	2,622.68
	กาบใบแห้ง	10.78	341.85	341.85
	รวม		**3,154.68**	**2,964.53**
ข้าว[1]	ฟางข้าว	29.37	356.90	140.62
	ตอซัง	13.16	281.68	205.96
	รวม		**638.58**	**346.58**
ปาล์มน้ำมัน[2]	ทางใบ	260.40	1,535.59	1,458.81
	ทะลายปาล์ม	42.80	252.39	0.00
	ใยปาล์ม	14.70	86.69	0.00
	รวม		**1,874.67**	**1,458.81**

หมายเหตุ 1 ข้อมูลจากการสำรวจของโครงการ
2 ข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
3 พื้นที่ไร่ ณ ที่นี้คือ พื้นที่เก็บเกี่ยวผลิต ไม่ใช่พื้นที่เพาะปลูก
4 kg สด ในที่นี้คือ มวล ณ ความชื้นหลังการเก็บเกี่ยว

❖ คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และคุณสมบัติทางความร้อน ของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรพบว่า ความชื้นของวัสดุชีวมวลหลังการเก็บเกี่ยวโดยส่วนใหญ่จะมีค่าความชื้นสูง โดยบางชนิดมีค่าสูงมากกว่าร้อยละ 70 เช่น ลำต้นข้าวโพด ยอดใบอ้อย ลำต้นมันสำปะหลัง เป็นต้น ทั้งนี้เมื่อนำวัสดุชีวมวลไปทำการทดสอบค่า Proximate analysis ตามมาตรฐาน ASTM E1131 และ

ASTM D3302 พบว่า วัสดุชีวมวลทั้งหมดมีค่าองค์ประกอบที่ติดไฟได้ (Fix carbon (FC) and Volatile matter (VM)) ของวัสดุชีวมวลทั้งหมดมีค่าสูงกว่าร้อยละ 70 โดยมวลรวมน้ำหนักแห้ง ยกเว้นรากข้าวโพดที่มีค่าเพียงร้อยละ 42.36 โดยมวลรวมน้ำหนักแห้ง ซึ่งค่าขององค์ประกอบที่ติดไฟได้ที่มีค่าสูงจะส่งผลให้ค่าความร้อนของชีวมวลมีค่าสูงตามไปด้วย ซึ่งพบว่าวัสดุชีวมวลทั้งหมดมีค่าความร้อนมากกว่า 10 MJ/kg (as dried basis) (ค่าความร้อนทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D5865) ดังแสงค่าของแต่ละวัสดุชีวมวลในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพและค่าความร้อนของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (n=1)

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร		ความชื้นหลังการเก็บเกี่ยว (% wb)	Proximate analysis (% wt) (as air dried basis)				Heating Value (MJ/kg)	
			MC	Ash	FC	VM	NHV	MC
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ลำต้น	74.98	7.06	3.77	15.50	73.67	16.17	13.72
	ใบ	10.85	7.52	12.43	10.50	69.55	13.95	11.92
	ซัง	11.34	7.25	1.89	14.08	76.78	16.29	14.15
	ราก*	51.79	3.88	53.76	5.93	36.43	11.63	10.55
มันสำปะหลังโรงงาน	ลำต้น	88.44	6.93	7.36	14.01	71.70	15.48	13.14
	ใบและก้าน*	85.21	6.94	10.00	10.77	72.29	16.34	13.86
	เหง้า	80.08	7.20	6.93	15.27	70.60	15.73	13.29
อ้อยโรงงาน	ใบสด	74.86	5.78	8.35	13.31	72.56	16.82	14.58
	ยอด*	93.14	6.86	7.71	13.44	71.99	15.25	12.96
	กาบใบแห้ง*	11.71	6.84	7.12	11.26	74.78	15.85	13.86
ข้าว	ฟางข้าวสด	73.20	7.26	17.62	11.06	64.06	13.55	11.40
	ฟางข้าวแห้ง	20.91	7.48	18.01	11.46	63.05	12.36	11.51
	ตอซัง*	78.11	7.15	17.13	13.16	62.56	13.93	11.79
	แกลบ*	7.31	6.77	16.62	14.07	62.54	14.17	12.25
ปาล์มน้ำมัน	ทางใบ	25.80	5.45	4.93	11.74	77.88	16.89	11.00
	ทะลาย	31.87	6.03	2.32	13.99	77.66	17.65	10.43
	ใย	17.70	2.09	1.43	1.44	95.04	32.88	26.83

หมายเหตุ ค่า Heating Value เป็นค่าที่ความชื้นตามการทดสอบ Proximate analysis

* หมายถึง วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ศึกษาเพิ่มเติมจากข้อกำหนด

ผลการสอบค่าคุณสมบัติทางเคมี (Ultimate analysis) โดยการทดสอบตามมาตรฐาน EN 15104 สำหรับการทดสอบปริมาณของ C H N และ S และการทดสอบแบบ CHNS/O Analysis สำหรับการหาปริมาณของ O ผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี (Ultimate analysis) แสดงดังตารางที่ 4 โดย

พบว่าวัสดุชีวมวลทุกชนิดมีปริมาณของ C และ O ในปริมาณที่สูง ทั้งนี้ค่าที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี (Ultimate analysis) จะถูกนำไปใช้ในการประเมินปริมาณก๊าซชีวภาพที่สามารถผลิตได้ในเชิงทฤษฎีต่อไป

ตารางที่ 4 คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (n=1)

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร		Ultimate analysis (% wt)				
		C	H	N	O	S
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ลำต้น	41.40±0.19	5.66±0.02	0.43±0.02	33.16±0.08	<0.01
	ใบ	38.96±0.14	5.30±0.05	0.53±0.006	29.58±0.52	<0.01
	ซัง	44.00±0.03	5.75±0.09	0.36±0.01	33.55±0.14	<0.01
	ราก*	20.97±0.10	2.56±0.01	0.41±0.004	13.95±0.22	<0.01
มันสำปะหลังโรงงาน	ลำต้น	41.34±0.08	5.44±0.02	0.82±0.004	30.64±0.25	< 0.01
	ใบและก้าน*	43.08±0.28	5.87±0.05	2.86±0.11	25.44±0.28	< 0.01
	เหง้า	42.97±0.17	5.64±0.01	1.33±0.01	28.93±0.23	< 0.01
อ้อยโรงงาน	ใบสด	42.86±0.20	5.52±0.22	1.34±0.02	28.55±0.14	<0.01
	ยอด*	38.88±0.25	5.37±0.04	1.42±0.06	31.32±0.58	<0.01
	กาบใบแห้ง*	42.27±0.06	5.57±0.06	0.35±0.005	31.03±0.11	<0.01
ข้าว	ฟางข้าวสด	36.16±0.34	4.94±0.04	0.89±0.01	25.58±0.20	< 0.01
	ฟางข้าวแห้ง	35.50±0.28	4.88±0.004	0.80±0.02	26.24±0.31	< 0.01
	ตอซัง*	35.33±0.42	4.86±0.09	0.67±0.02	26.98±0.09	< 0.01
	แกลบ*	38.24±0.24	4.93±0.06	0.35±0.002	34.80±0.62	< 0.01
ปาล์มน้ำมัน	ทางใบ	43.68±0.08	5.61±0.04	0.71±0.02	36.97±0.24	0.103±0.004
	ทะลาย	45.23±0.10	5.55±0.005	0.66±0.01	36.38±0.50	0.12±0.01
	ใย	66.38±0.35	10.20±0.06	0.32±0.003	17.88±0.12	0.058±0.0005

หมายเหตุ * หมายถึง วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ศึกษาเพิ่มเติมจากข้อกำหนด

จากการพิจารณาพบว่าความชื้นของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรไม่ได้เป็นค่าที่มีความสัมพันธ์โดยมีนัยสำคัญกับค่าความร้อน ทั้งนี้ค่าที่มีผลต่อค่าความร้อนในกรณีการทดสอบ Proximate analysis คือ ค่าของปริมาณสารระเหย และปริมาณของคาร์บอนคงตัว โดยในชีวมวลบางชนิดที่มีความมันอยู่ในตัว เช่น ใบมันสำปะหลัง พบว่ามีความชื้นหลังการเก็บเกี่ยวสูง แต่ความชื้นนั้นอยู่ในรูปของน้ำมันด้วย (ประมาณสารระเหย) ดังนั้นเมื่อนำไปหาค่าความร้อนจึงมีค่าความร้อนสูง ซึ่งสามารถทำการพิจารณาจากความสัมพันธ์ต่างๆ เช่น

$$HHV\ (MJ/kg) = 31.3\ FC + 15.34\ VM \qquad \text{(Demirbar 1997)}$$

$$HHV\ (MJ/kg) = 33.5\ C + 142.3\ H - 15.4\ O - 24.5\ N \qquad \text{(Demirbar 1997)}$$

$$HHV\ (MJ/kg) = LHV\ (MJ/kg) + 0.02395(9H+MC_t) \qquad \text{(Tillman 1991)}$$

ทั้งนี้เพื่อเป็นการตรวจสอบข้อมูลการตรวจวิเคราะห์ของโครงการนี้จึงได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยและหน่วยงานต่างๆ ที่มีการศึกษาที่คล้ายกัน พบว่าในส่วนของชีวมวลที่เป็นชนิดเดียวกัน ค่าความร้อนมีค่าใกล้เคียงกัน แต่สิ่งที่อาจจะแตกต่างกันคือค่าของความชื้นของชีวมวล โดยในรายงานต่างๆ ไม่มีการระบุความชื้นของชีวมวล และในบางรายงานก็ไม่มีการระบุว่าค่าความชื้นที่รายงานเป็นค่าความชื้น ณ ช่วงได้ของการดำเนินงาน ทั้งนี้ค่าเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 5

ตางรางที่ 5 ข้อมูลเชิงสถิติในการเปรียบเทียบค่าความร้อนของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร		HHV (MJ/kg)					LHV (MJ/kg)		MC (%wb)	
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[1]	[4]	[1]	[4]
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ลำต้น	16.17	-	18.04	18.04	11.70	13.72	9.83	3.88	8.14
	ใบ	13.95	-	-	-	-	11.92	-	7.06	-
	ซัง	16.29	18.04	18.04	18.04	11.30	14.15	9.62	7.25	40.00
	ราก*	11.63	-	-	-	-	10.55	-	7.52	-
มันสำปะหลังโรงงาน	ลำต้น	15.48	18.42	18.42	18.42	-	13.14	-	6.93	-
	ใบและก้าน*	16.34	-	-	-	-	13.86	-	6.94	-
	เหง้า	15.73	-	15.4	17.45	7.45	13.29	5.49	7.20	59.4
อ้อยโรงงาน	ใบสด	16.82	17.39	-	-	-	14.58	-	5.78	-
	ยอด*	15.25	-	-	-		12.96		6.86	
	กาบใบแห้ง*	15.85	-	-	-	16.79	13.86	15.48	6.84	9.2
ข้าว	ฟางข้าวสด	13.55	10.24	10.24	10.24	-	11.40	-	7.15	-
	ฟางข้าวแห้ง	12.36	10.24	10.24	10.24	-	11.51	-	7.26	-
	ตอซัง*	13.93	-	-	-	-	11.79	-	7.48	-
	แกลบ*	14.17	-	-	-	-	12.25	-	6.77	-
ปาล์มน้ำมัน	ทางใบ	16.89	17.86	17.86	-		11.00	7.24	5.45	58.6
	ทะลาย	17.65	17.62	17.62	-	13.13	10.43	11.40	6.03	38.5
	ใย	32.88	-	9.83	-		26.83	1.76	2.09	78.4

หมายเหตุ [1] โครงการวิจัยนี้

[2] DEDE

[3] โครงการผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและผลตอบแทนทางสังคมของการใช้พลังงานชีวมวล พ.ศ.2557

[4] โครงการการศึกษาการใช้ชีวมวลในภาคเศรษฐกิจต่างๆ และชีวมวลที่ยังไม่ใช้ประโยชน์ (ภาคเหนือ) พ.ศ.2551

[5] ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวลมูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม

* หมายถึง วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ศึกษาเพิ่มเติมจากข้อกำหนด

❖ ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพทางทฤษฎี

ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเบื้องต้นดำเนินการโดยการใช้ข้อมูลจากการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี (การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ (Ultimate analysis) ของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรแต่ละชนิด จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเชิงทฤษฎี โดยพบว่าศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดต่างๆ มีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 918 - 1,312 L/kg ของชีวมวลสด (ชีวมวลสด คือชีวมวลหลังการเก็บเกี่ยว) ดังแสดงในตารางที่ 6 ทั้งนี้ใยปาล์มมีค่าศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเชิงทฤษฎีสูงที่สุดเท่ากับ 1,312.74 L/kg ของชีวมวลสด (ที่สภาวะ STP)

ตารางที่ 6 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพทางทฤษฎีของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (ที่สภาวะ STP และ n=1)

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร		CH_4 (%)	CO_2 (%)	NH_3 (%)	Biogas[2] (L/kg)
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ลำต้น	52.98	46.14	0.88	972.41
	ใบ	55.09	43.76	1.15	989.34
	ซัง	54.66	44.64	0.70	988.64
	ราก*	54.29	44.05	1.66	1,050.47
มันสำปะหลังโรงงาน	ลำต้น	54.28	44.05	1.68	1,003.08
	ใบและก้าน*	54.15	40.46	5.38	1,100.22
	เหง้า	54.62	42.80	2.58	1,043.98
อ้อยโรงงาน	ใบสด	54.37	43.02	2.61	1,049.56
	ยอด*	52.79	44.18	3.04	972.18
	กาบใบแห้ง*	55.35	43.95	0.70	1,003.06
ข้าว	ฟางข้าวสด	55.27	42.66	2.07	1,020.02
	ฟางข้าวแห้ง	54.97	43.13	1.89	1,001.88
	ตอซัง*	54.81	43.59	1.60	987.93
	แกลบ*	51.57	47.64	0.79	918.58
ปาล์มน้ำมัน	ทางใบ	52.15	46.48	1.37	950.58
	ทะลาย	52.20	46.56	1.24	973.42
	ใย	67.56	32.02	0.41	1,312.74

หมายเหตุ: [1]โมล=น้ำหนักกรัม/มวลโมเลกุล, [2]ที่ 1 atm, 0°C

* หมายถึง วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ศึกษาเพิ่มเติมจากข้อกำหนด

❖ **ผลการทำนายวัสดุเหลือทิ้ง**

จากข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกพืชทั้ง 5 ชนิดตั้งแต่ปี พ.ศ.2551 ถึง พ.ศ.2558 จาก สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้นำข้อมูลดังกล่าวมาทำนายพื้นที่เพาะปลูกถึงปี พ.ศ. 2565 ได้ผลการทำนายพื้นที่ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการทำนายพื้นที่ปลูกพืชในช่วงปี พ.ศ.2559 ถึง พ.ศ.2565

ปี	พื้นที่ปลูก (ไร่)				
	ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	มันสำปะหลังโรงงาน	อ้อยโรงงาน	ข้าว	ปาล์มน้ำมัน
2559	5,064,079	2,119,889	2,666,640	21,922,016	56,756
2560	5,015,190	2,172,199	2,698,607	19,878,070	59,605
2561	4,932,877	2,209,833	2,727,524	17,449,290	62,181
2562	4,817,140	2,232,789	2,753,923	15,343,724	64,534
2563	4,667,979	2,241,069	2,778,208	14,955,701	66,698
2564	4,485,394	2,234,671	2,800,693	14,567,678	68,701
2565	4,269,385	2,213,597	2,821,625	14,179,655	70,567

จากข้อมูลผลการทำนายพื้นที่ปลูก ได้ใช้สมมุติฐานว่าจะมีพื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตเท่ากับ 90% ของพื้นที่ปลูก และใช้ค่าปริมาณวัสดุเหลือทิ้งที่ยังไม่ใช้ประโยชน์จากผลการศึกษาของโครงการนี้ทำการประมาณการ (ทำนาย) ปริมาณของวัสดุเหลือทิ้งที่ยังไม่ใช้ประโยชน์ในช่วงปี พ.ศ.2559-2565 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ปริมาณของวัสดุเหลือทิ้งที่ยังไม่ใช้ประโยชน์ในช่วงปี พ.ศ.2559 ถึง พ.ศ.2565

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร		ผลการทำนาย ปริมาณวัสดุเหลือทิ้งที่ยังไม่ใช้ประโยชน์ (x 10^6 kg สด) (ปี พ.ศ.)							
		2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ลำต้น	1,080.07	999.50	989.85	973.60	950.76	921.32	885.28	842.65
	ใบ	1,042.79	965.00	955.68	939.99	917.94	889.52	854.72	813.56
	ซัง	527.13	487.81	483.10	475.17	464.02	449.65	432.06	411.26
	อื่นๆ	1,522.89	1,409.28	1,395.67	1,372.77	1,340.56	1,299.05	1,248.24	1,188.12
	รวม	4,172.88	3,861.58	3,824.30	3,761.53	3,673.28	3,559.53	3,420.31	3,255.59
มันสำปะหลังโรงงาน	ลำต้น+ใบ	251.43	260.28	266.70	271.32	274.14	275.15	274.37	271.78
	เหง้า	903.05	934.81	957.88	974.48	984.60	988.25	985.43	976.14
	รวม	1,154.49	1,195.09	1,224.58	1,245.80	1,258.74	1,263.40	1,259.80	1,247.92
อ้อย	ใบ+ยอด	5,694.28	6,294.37	6,369.82	6,438.08	6,500.39	6,557.72	6,610.79	6,660.20

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร		ผลการทำนาย ปริมาณวัสดุเหลือทิ้งที่ยังไม่ใช้ประโยชน์ (x 10^6 kg สด) (ปี พ.ศ.)							
		2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565
โรงงาน	กาบใบแห้ง	742.21	820.43	830.27	839.16	847.29	854.76	861.68	868.12
	รวม	6,436.49	7,114.80	7,200.09	7,277.24	7,347.68	7,412.47	7,472.46	7,528.31
ข้าว	ฟางข้าว	2,884.73	2,774.41	2,515.73	2,208.35	1,941.87	1,892.76	1,843.66	1,794.55
	ตอซัง	4,225.13	4,063.55	3,684.68	3,234.47	2,844.17	2,772.25	2,700.32	2,628.40
	รวม	7,109.86	6,837.96	6,200.41	5,442.82	4,786.05	4,665.01	4,543.98	4,422.95
ปาล์มน้ำมัน	ทางใบ	69.86	74.52	78.26	81.64	84.73	87.57	90.20	92.65
	ทะลาย	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ใยปาล์ม	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	รวม	69.86	74.52	78.26	81.64	84.73	87.57	90.20	92.65
รวมทั้งสิ้น		18,943.57	19,083.94	18,527.63	17,809.03	17,150.47	16,987.99	16,786.75	16,547.42

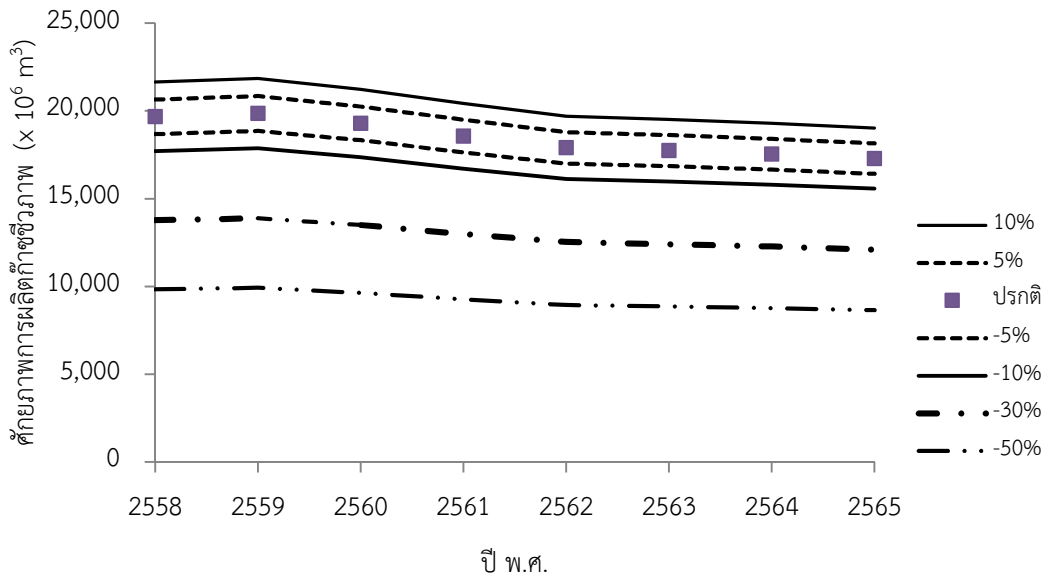
จากข้อมูลการทำนายในตารางที่ 8 จะเห็นว่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมีแนวโน้มลดลงตามพื้นที่เพาะปลูกที่ลดลง ดังนั้นเมื่อใช้ข้อมูลนี้ในการประเมินปริมาณก๊าซชีวภาพที่สามารถผลิตได้ ก็จะมีแนวโน้มที่ลดลงเช่นกัน อีกทั้งยังมีปัจจัยเสี่ยงที่จะทำให้ข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลง เช่น

1. พื้นที่เพาะปลูกและการเก็บเกี่ยวสูงขึ้น (ส่งผลในทางบวกต่อศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ)
2. พื้นที่เพาะปลูกและการเก็บเกี่ยวลดลง (ส่งผลในทางลบต่อศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ)
3. เกิดภัยพิบัติต่างๆ เช่น น้ำท่วม น้ำแล้ง (ส่งผลในทางลบต่อศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ)
4. มีการนำวัสดุเหลือทิ้งไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ มากขึ้น (ส่งผลในทางลบต่อศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ)
5. ความสามารถในการจัดเก็บวัสดุเหลือทิ้งไปใช้ประโยชน์ลดลง (ส่งผลในทางลบต่อศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ)
6. กรรมวิธีในการผลิตแก๊สชีวภาพที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น (ส่งผลในทางบวกต่อศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ)
7. ปัจจัยเสี่ยงอื่นๆ (เช่น การขนส่ง ต้นทุนในการดำเนินการ เป็นต้น)

จากปัจจัยเสี่ยงข้างต้นจึงได้ประเมินศักยภาพการด้านปริมาณในการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรดังแสดงในตารางที่ 9 และ รูปที่ 1

ตารางที่ 9 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ยังไม่ใช้ประโยชน์ในภาคเหนือในช่วงปี พ.ศ.2559 ถึง พ.ศ.2565 (ภาวะเสี่ยง)

ภาวะแปรผัน	ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (x 10^6 m^3) (ปี พ.ศ.)							
	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565
+10%	21,644.15	21,840.35	21,225.12	20,427.58	19,695.92	19,516.78	19,293.35	19,026.44
+5%	20,660.32	20,847.61	20,260.34	19,499.05	18,800.65	18,629.65	18,416.38	18,161.60
ปกติ	19,676.50	19,854.87	19,295.56	18,570.52	17,905.38	17,742.53	17,539.41	17,296.76
-5%	18,692.67	18,862.12	18,330.78	17,642.00	17,010.11	16,855.40	16,662.44	16,431.92
-10%	17,708.85	17,869.38	17,366.00	16,713.47	16,114.84	15,968.27	15,785.47	15,567.09
-20%	15,741.20	15,883.89	15,436.45	14,856.42	14,324.30	14,194.02	14,031.53	13,837.41
-30%	13,773.55	13,898.41	13,506.89	12,999.37	12,533.76	12,419.77	12,277.59	12,107.73
-40%	11,805.90	11,912.92	11,577.34	11,142.31	10,743.23	10,645.52	10,523.65	10,378.06
-50%	9,838.25	9,927.43	9,647.78	9,285.26	8,952.69	8,871.26	8,769.70	8,648.38



รูปที่ 1 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพวัสดุเหลือทิ้งที่ยังไม่ใช้ประโยชน์ในภาคเหนือ (ภาวะเสี่ยง)

❖ **การศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรด้วยวิธี Biochemical Methane Potential (BMP)**

การศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากตัวอย่างเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้ทำการศึกษาภายใต้วิธีการประยุกต์วิธีมาตรฐาน VDI 4630 ทำการทดลองโดยกำหนดอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 0.5 (โดยน้ำหนักของแข็งระเหย) และไม่มีการปรับอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของตัวอย่าง ควบคุมอุณหภูมิที่ 35±2 องศาเซลเซียส

1) ผลการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรแบบไม่ปรับสภาพเบื้องต้น

ค่าศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรทั้ง 5 ชนิด แสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ค่าศักยภาพเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพและปริมาณก๊าซมีเทนของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากการทดลองเทียบกับค่าทางทฤษฎี (ที่ 30°C)

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร		ปริมาณก๊าซจากการทดลอง (L/kg วัสดุแห้ง)		ปริมาณก๊าซทางทฤษฎี (L/kg วัสดุแห้ง)	
		ก๊าซชีวภาพ	ก๊าซมีเทน	ก๊าซชีวภาพ	ก๊าซมีเทน
ปาล์มน้ำมัน	ทางใบปาล์ม	205	75	1,055	550
	ใยปาล์ม	128	43	1,457	984
	ทะลายปาล์ม	241	97	1,080	564
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ลำต้นข้าวโพด	250	106	1,079	572
	ใบข้าวโพด	225	95	1,098	605
	ซังข้าวโพด	344	157	1,097	600
มันสำปะหลัง	ลำต้นมันสำปะหลัง	274	122	1,113	604
	เหง้ามันสำปะหลัง	141	49	1,159	633
อ้อย	ใบอ้อย	262	126	1,165	633
ข้าว	ฟางข้าวสด	162	64	1,132	626
	ฟางข้าวแห้ง	342	166	1,112	611

จากตารางที่ 10 พบว่า วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเมื่อนำไปหมักย่อยในสภาวะไม่ใช้อากาศเพื่อการผลิตก๊าซมีเทน พบว่า ศักยภาพในการย่อยสลายเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนมีค่าอยู่ในช่วง 8-31% และ 4-27% เมื่อเทียบกับค่าทฤษฎีตามลำดับ โดยพบว่า เมื่อเทียบกับค่าปริมาณก๊าซมีเทนในทางทฤษฎี ฟางข้าวแห้งมีศักยภาพในการหมักย่อยเพื่อผลิตก๊าซมีเทนสูงที่สุด โดยมีศักยภาพร้อยละ 27 ของค่าทฤษฎี รองลงมาคือ ซังข้าวโพด โดยมีศักยภาพร้อยละ 26 ของค่าทางทฤษฎี ใยปาล์ม เหง้ามันสำปะหลัง และฟางข้าวสดมีศักยภาพในการหมักย่อยเพื่อผลิตก๊าซมีเทนน้อยกว่าร้อยละ 10 ของค่าทฤษฎี ส่วนวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอื่นๆ มีประสิทธิภาพการหมักย่อยเพื่อผลิตก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 14-20% ของค่าทฤษฎี ซึ่งเห็นได้ว่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมีประสิทธิภาพการหมักย่อยเพื่อการผลิตก๊าซมีเทนค่อนข้างต่ำ ซึ่งอาจเนื่องมาจากคุณลักษณะสมบัติของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีโครงสร้างเป็นลิกโนเซลลูโลส (องค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน) และอาจเนื่องด้วยวัสุดเหลือทิ้งทาง

การเกษตรโดยส่วนใหญ่มีค่าอัตราส่วน C/N ไม่เหมาะสม จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพมีค่าลดลง

2) ผลการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรแบบปรับสภาพเบื้องต้น

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมีโครงสร้างเป็นลิกโนเซลลูโลส จึงส่งผลให้ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการปรับสภาพวัตถุดิบเบื้องต้นก่อนที่จะนำมาหมักย่อยเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อเป็นการกำจัดลิกนินซึ่งเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างลิกโนเซลลูโลส จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพได้ โดยการปรับสภาพเบื้องต้นในแต่ละวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้จากการคัดเลือกวิธีจากเอกสารงานวิจัยทางวิชาการที่มีความเหมาะสมและมีความเป็นไปได้ต่อการนำไปใช้งานจริง ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ผ่านการปรับสภาพเบื้องต้นต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของวัสดุแห้งของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเริ่มต้น (ที่ 30°C)

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร		ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (L/kg วัสดุแห้งของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร)	ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน (L/kg วัสดุแห้งของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร)
ปาล์มน้ำมัน	ทางใบปาล์ม	114	52
	ใยปาล์ม	94	50
	ทะลายปาล์ม	205	101
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ลำต้นข้าวโพด	233	128
	ใบข้าวโพด	165	92
	ซังข้าวโพด	354	195
มันสำปะหลัง	ลำต้นมันสำปะหลัง	245	134
	เหง้ามันสำปะหลัง	108	53
อ้อย	ใบอ้อย	195	106
ข้าว	ฟางข้าวสด	231	116
	ฟางข้าวแห้ง	241	124

เมื่อเปรียบเทียบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรแบบมี (ตารางที่ 10) และไม่มีการปรับสภาพเบื้องต้น (ตารางที่ 11) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แม้ว่าการปรับสภาพวัตถุดิบเบื้องต้นสามารถเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนต่อหน่วยน้ำหนักของของแข็ง

ระเหยหรือสารอินทรีย์ได้ แต่อย่างไรก็ตามในขั้นตอนการปรับสภาพวัตถุดิบนั้นเกิดการสูญเสียของวัตถุดิบค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงส่งผลให้ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพต่อหนึ่งหน่วยวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรแบบมีและไม่มีการปรับสภาพวัตถุดิบนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน

❖ ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์

ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ในภาคเหนือ แสดงดังตารางที่ 12 และรูปที่ 2

ตารางที่ 12 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ยังไม่ได้ใช้ประโยชน์ในภาคเหนือ (ที่ 30°C)

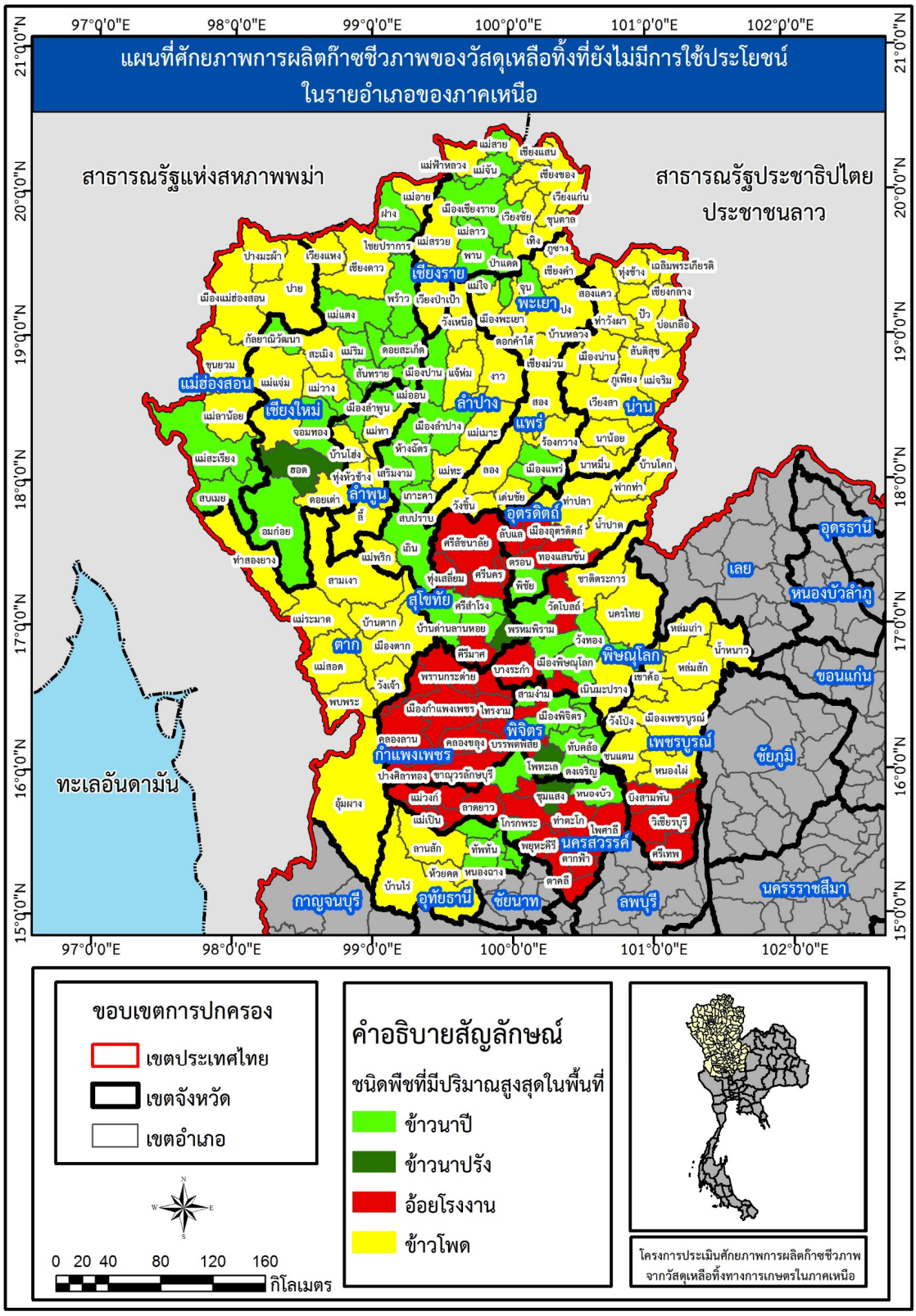
วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ ($x10^3$ ลบ.ม.)	ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน ($x10^3$ ลบ.ม.)
ปาล์มน้ำมัน (ทางใบ)	5,099	1,854
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ลำต้น/ใบ/ซัง)	461,514	200,491
มันสำปะหลัง (ลำต้น/ใบ/เหง้า)	65,368	24,056
อ้อย (ใบและยอดอ้อย)	766,258	368,202
ข้าว (ฟางข้าวแห้ง)	439,598	213,227

❖ **การประเมินเศรษฐศาสตร์การผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร**

การประเมินวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เพื่อการจัดตั้งโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรทั้ง 5 ชนิด พบว่า ฟางข้าวแห้งมีความเหมาะสมมากที่สุด โดยมีผลตอบแทนภายในทางการเงินและเศรษฐศาสตร์ เท่ากับ 8.07 และ 20.97 ตามลำดับ มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 16,506,900.03 และ 105,626,848.19 บาท ตามลำดับ และมีอัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C) เท่ากับ 0.97 และ 1.35 ตามลำดับ โดยพื้นที่ที่มีความเหมาะสมสำหรับการตั้งโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวแห้ง อยู่ในจังหวัดสุโขทัย พิษณุโลก พิจิตร กำแพงเพชร และนครสวรรค์ ซึ่งสามารถจัดตั้งได้ในอำเภอ เนื่องจากมีปริมาณวัสดุเพียงพอตลอดปี

2.5 คุณสมบัติ/จุดเด่นของผลิตภัณฑ์หรือเทคโนโลยีที่ได้รับ

เป็นการประเมินศักยภาพแบบสำรวจและทดสอบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ปาล์มน้ำมัน ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มันสำปะหลัง อ้อย และข้าว ในภาคเหนือของประเทศไทยด้วยวิธี BMP (Biochemical Methane Potential) ซึ่งมีความแม่นยำและสามารถนำผลการศึกษาไปพัฒนาต่อยอด ขยายผลและประยุกต์ใช้งานได้จริง



รูปที่ 2 แผนที่แสดงศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ยังไม่มีการใช้ประโยชน์สูงสุดในระดับอำเภอของภาคเหนือ

2.6 กลุ่มเป้าหมายและประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1. ด้วิธีการประยุกต์การบูรณาการผลิตพลังงานจากวัสดุเหลือทิ้งและน้ำเสียจากภาคเกษตรกรรมในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งเป็นวิธีการที่มีความยั่งยืน
2. ผู้ประกอบการ นักลงทุนทั้งภาคเอกชนและเกษตรกร สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการขยายผลการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรในสเกลใช้งานจริง
3. ตอบสนองต่อแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (2555-2564) ของกระทรวงพลังงานประเทศไทย เพื่อใช้ในการส่งเสริมการผลิตพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก

2.7 การนำไปใช้ประโยชน์

สามารถนำผลการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ ปาล์มน้ำมัน ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มันสำปะหลัง อ้อย และข้าว ไปพัฒนาต่อยอด ส่งเสริม ขยายผลและประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์สำหรับภูมิภาคอื่นๆ ได้ต่อไป

2.8 ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย

จากข้อมูลการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์ จะเห็นได้ว่า ฟางข้าวแห้ง มีความเหมาะสมสำหรับการจัดตั้งโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพ จึงควรมีการต่อยอดหรือขยายผล ดังนั้นรัฐบาลจึงควรมีการสนับสนุน ส่งเสริมเพื่อการวิจัย พัฒนา และต่อยอดงานวิจัย โดยจัดทำเป็นต้นแบบโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวขนาดเล็กเพื่อสนับสนุนให้มีการขยายผลในระดับใช้งานจริง ทั้งนี้โรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวเป็นโครงการที่เป็นประโยชน์ต่อประเทศ เนื่องจากเป็นการใช้วัตถุดิบที่สามารถจัดหาได้ภายในประเทศ ลดการพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ และยังเป็นการลดปัญหาการเผาไหม้ฟางข้าวที่เกิดขึ้นในปัจจุบันด้วย อีกทั้งยังเป็นการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอย่างบูรณาการ

3. บทคัดย่อ

3.1 บทคัดย่อภาษาไทย

โครงการ “การประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในภาคเหนือ” ได้ทำการสำรวจปริมาณวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 5 ชนิด ในภาคเหนือ ได้แก่ ปาล์มน้ำมัน ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มันสำปะหลัง อ้อย และข้าว โดยพบว่าในปี 2557-2558 มีปริมาณวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเกิดขึ้น

รวมทั้งหมดเท่ากับ 26,823.44x10^6 kg และเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ยังไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์เท่ากับ 18,943.57x10^6 kg หรือคิดเป็นร้อยละ 70.62 ของวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นทั้งหมด ในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ทำการศึกษาทั้งหมด พบว่า ฟางข้าวแห้งมีค่าศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยวิธี BMP สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 363 ml_N Biogas/gVS_{added} หรือเท่ากับ 342 L/kg วัสดุแห้ง รองลงมาคือ ใบอ้อยและซังข้าวโพด โดยมีค่าศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 333 และ 318 ml_N Biogas/gVS_{added} ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรแบบมีและไม่มีการปรับสภาพเบื้องต้น พบว่า ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในหน่วยลิตรต่อกิโลกรัมของวัสดุแห้งของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีการปรับสภาพเบื้องต้นมีค่าต่ำกว่า ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ไม่มีการปรับสภาพเบื้องต้น เนื่องจากมีการสูญเสียของวัตถุดิบถึงร้อยละ 50 ในขั้นตอนของการปรับสภาพวัตถุดิบเบื้องต้น โดยเมื่อผ่านการปรับสภาพเบื้องต้นแล้วศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของใบอ้อยจะมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ ใบข้าวโพด และซังข้าวโพด โดยมีค่าเท่ากับ 442, 433 และ 425 ml_N Biogas/gVS_{added} หรือเท่ากับ 195, 165 และ 354 L/kg วัสดุแห้ง ตามลำดับ การประเมินวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เพื่อการจัดตั้งโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรทั้ง 5 ชนิด พบว่า ฟางข้าวแห้งมีความเหมาะสมมากที่สุด โดยมีผลตอบแทนภายในทางการเงินและเศรษฐศาสตร์ เท่ากับ 8.07 และ 20.97 ตามลำดับ มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 16,506,900.03 และ 105,626,848.19 บาท ตามลำดับ และมีอัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C) เท่ากับ 0.97 และ 1.35 ตามลำดับ โดยพื้นที่ที่มีความเหมาะสมสำหรับการตั้งโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวแห้ง อยู่ในจังหวัดสุโขทัย พิษณุโลก พิจิตร กำแพงเพชร และนครสวรรค์ ซึ่งสามารถจัดตั้งได้ในอำเภอ เนื่องจากมีปริมาณวัสดุเพียงพอตลอดปี ดังนั้นการนำฟางข้าวแห้งมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพจึงมีความเหมาะสม ซึ่งเป็นการลดปัญหาการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้อย่างบูรณาการ และเป็นการตอบโจทย์นโยบายของรัฐบาลที่ส่งเสริมให้มีการผลิตพลังงานทดแทนใช้ภายในประเทศ ตามแผนพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 ได้อีกด้วย

คำสำคัญ : ก๊าซชีวภาพ; ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ; วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร; การปรับสภาพเบื้องต้น

3.2 บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract)

In 2015, there was approximately 26,823.44 x10^6 kg of the residue leftover from agriculture and roughly 18,943.57x10^6 kg, which was equivalent to 70.62%, remained unutilized. The utilization of the leftover agricultural residues for energy application could

potentially be a sustainable option for waste/residue management. The project "Assessment of the biogas potential from agricultural waste in Northern Thailand" focused on the five major agriculture residues derived from Northern Thailand including oil palm, maize, cassava, sugarcane, and rice. Among of these agriculture residues, rice straw was the most promising feedstock for methane production with the highest biogas yield of 363 $ml_N/g_{VSadded}$ or 342 $L/kg_{dry\ rice\ straw}$ followed by sugarcane leaves and corn cob which yielded about 333 and 318 $ml_N/g_{VSadded}$, respectively. However, pretreatment of the sample would not enhance the biogas production. This could be resulted from raw material loss during the pretreatment step (~50% loss). Regarding all pretreated samples, sugarcane leaves was the most promising feedstock for biogas production followed by maize leaves and corn cob with the biogas yields of 442, 433, and 425 $ml_N/g_{VSadded}$ or 195, 165, and 354 $L/kg_{dry\ material}$. The economic analysis of biomass power plant operating cost showed that the most feasible feedstock for biogas production was the rice straw. Financially, financial internal rate of return (FIRR), net present value (NPV), and benefit-cost ratio (B/C ratio) were 8.07, 16,506,900.03 baht, and 0.97, respectively. Economically, economic internal rate of return (EIRR), NPV, and B/C ratio were 20.97, 105,626,848.19 baht, and 1.35, respectively. Due to the availability of the raw material (rice straw), feasible locations for biogas power plant installation were in Sukhothai, Phitsanulok, Pichit, Kamphaeng Phet, and Nakhon Sawan provinces. Therefore, the use of rice straw for biogas production would be a promising and sustainable practice for agricultural residue management. Importantly, this project is conformable to the alternative energy development plan (AEDP: 2015-2036) which aims to increase the use of renewable energy in Thailand

Keyword: Biogas; Biochemical Methane Potential (BMP); Agricultural wastes; Pretreatment