ศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยไบโอแก๊สที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

นางสาวน้ำเพชร พันธุ์พิพัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

Potentials Study of Electricity Generation with Biogas from Agricultural Wastes

MISS NAMPETCH PANPIPAT

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Energy Technology and Management

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยไบโอแก๊สที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร
โดย	นางสาวน้ำเพชร พันธุ์พิพัฒน์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ดร.สุภวัฒน์ วิวรรธ์ภัทรกิจ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ดร.สุภวัฒน์ วิวรรธ์ภัทรกิจ)

…… กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช)

…… กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.ธงชัย กลิ่นหรั่น)

น้ำเพชร พันธุ์พิพัฒน์ : ศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยไบโอแก๊สที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. (Potentials Study of Electricity Generation with Biogas from Agricultural Wastes) อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ดร.สุภวัฒน์ วิวรรธ์ภัทรกิจ, 97 หน้า.

จากวิกฤตการณ์ด้านพลังงานทั่วโลก ส่งผลให้ประเทศไทยส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานหมุนเวียนมากขึ้นจากข้อมูลการศึกษาของ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ประเมินศักยภาพของชีวมวลเหลือทิ้งที่มีมากกว่า 24 ล้านตันต่อปี จาก ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และปาล์มน้ำมัน โดยเศษวัสดุเหลือใช้เหล่านี้สามารถนำมาผลิตแก๊สชีวภาพเพื่อผลิตไฟฟ้าได้ จากการประเมินศักยภาพแก๊สชีวภาพ จาก ฟางข้าว ต้นและเหง้ามันสำปะหลัง และหญ้าเนเปียร์ เพื่อผลิตไฟฟ้าขนาด 1 เมกะวัตต์ สำหรับชุมชน โดยต้นทุนวัตถุดิบสำหรับการผลิตแก๊สชีวภาพ จาก ฟางข้าว ต้นและเหง้ามันสำปะหลัง และหญ้าเนเปียร์ยักษ์ โดยมีการจัดการเชิงปริมาณของวัตถุดิบต้นทุนวัตถุดิบจะอยู่ระหว่าง 1.38-4.44 บาทต่อกิโลวัตต์ โดยต้นทุนวัตถุดิบการผลิตแก๊สชีวภาพเพื่อผลิตไฟฟ้าจากฟางข้าวมีราคาสูงสุด โดยการเพาะปลูกข้าวสามารถปลูกได้ 1-2 ครั้งต่อปี ดังนั้นจำเป็นต้องเก็บฟางข้าวหรือเศษวัสดุเหลือใช้อื่นๆ ทดแทนเสริมในช่วงที่ไม่มีวัตถุดิบ ซึ่งเศษวัสดุเหลือใช้จากการเพาะปลูกมันสำปะหลังก็มีลักษณะเช่นเดียวกับฟางข้าว ส่วนหญ้าเนเปียร์ยักษ์มีศักยภาพในการผลิตเป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพสำหรับโรงไฟฟ้าได้เพราะสามารถเก็บเกี่ยวได้เกือบตลอดทั้งปีและมีต้นทุนวัตถุดิบต่ำสุด ซึ่งเมื่อนำวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดมาศึกษาพิจารณาบริหารการจัดการวัตถุดิบ จะใช้พื้นที่เพาะปลูกข้าว มันสำปะหลัง และหญ้าเนเปียร์ยักษ์สำหรับการผลิตไฟฟ้าต้องใช้พื้นที่ 21,417 71,993 และ 940 ไร่ ตามลำดับ สำหรับวัตถุดิบที่จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้า 1 MW ภายในระยะเวลา 1 ปี จากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์การใช้หญ้าเนเปียร์ยักษ์เป็นเชื้อเพลิงหลักและผสมฟางข้าว เหง้าและต้นมันสำปะหลัง อัตราการตอบแทนภายในและระยะเวลาคืนทุน(FIRR %/PP ปี) 2.73/12.12, 0.71/14.2 และ 1.05/13.8 ตามลำดับ ที่ Adder 0.5 บาท ที่ราคาต้นทุนวัตถุดิบถูกกว่าราคาขายไฟฟ้า และกรณีต้นทุนวัตถุดิบสูงกว่าราคาขายไฟฟ้า ราคารับซื้อไฟฟ้าจะอยู่ในช่วง 5-7.4 บาท/kWh ที่ FIRR มีค่า 3.45-12.28 % และระยะเวลาคืนทุน 6.7-12.6 ปี กรณีไม่มีการสนับสนุนเงินเริ่มต้น

สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน ลายมือชื่อนิสิต.....

ปีการศึกษา 2554 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์.....

##5287633220 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT
NAMPETCH PANPIPAT : POTENTIALS STUDY OF ELECTRICITY GENERATION WITH BIOGAS FROM AGRICULTURAL WASTES. THESIS ADVISOR : DR. SUPAWAT VIVANPHATTARAKIJ, 97 PP.

The energy crisis in Thailand, renewable energy was promoted increasingly. Development of Alternative Energy Department and Efficiency (2005) estimate the potential of the waste from biomass which was more than 24 million tons. The waste from rice, sugar cane, cassava and palm oil can be produced biogas. The potential of rice straw, cassava stem and king nepia for 1 MW. electric production was 1.38-4.44 Baht/kW. The capital cost of biomass production from rice straw had the highest because the rice was cultivated in season which was 1-2 time/year. The waste from cassava was the same reason. Thus storage or other materials were necessary support. King nepia was used instead in the lack of rice straw and cassava stem because it was harvested all year and it had the lowest cost. The cultivation management of rice straw, cassava stem and king nepia for electric production will use 21,417 71,993 and 940 Rai, respectively. For 1 MW electric production in 1 year, the economics analysis showed king napia was the major biomass mixed with rice straw and cassava stem caused the repay rate and pay back period (FIRR %/PP year) were 2.73/12.12, 0.71/14.2 and 1.05/13.8, respectively, at Adder 0.5 Baht. The raw materials cost was lower than electric sale price. If the raw materials cost was higher than electric sale price, electric purchase price was 5-7.4 Baht/kWh at FIRR 3.45-12.28% and pay back period 6.7-12.6 year without budget support.

Field of Study: Energy Technology and Management Student's Signature.....

Academic Year: 2011 Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดีเนื่องจากความกรุณาและความช่วยเหลือเป็นอย่างยิ่งจาก อาจารย์ ดร.สุภวัฒน์ วิวรรธ์ภัทรกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่านับตั้งแต่เริ่มต้นดำเนินการจนเสร็จเรียบร้อยสมบูรณ์ในการให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ ตลอดจนแก้ไข ปรับปรุงข้อบกพร่อง เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์ ที่กรุณาให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ โดยมีรองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช เป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์ ดร. ธงชัย กลิ่นหรั่น เป็นกรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ซึ่งได้กรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้นและให้คำปรึกษาในทุกๆ ด้าน ตลอดจนเจ้าหน้าที่บัณฑิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, เจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงานทุกท่านที่ให้ความสะดวกด้านอำนวยการ และประสานงาน ในการทำวิทยานิพนธ์ให้ผู้เขียนตลอดมาตลอดจนค้นคว้าหาข้อมูลในการจัดทำวิทยานิพนธ์ของผู้เขียนครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มอบทุนสนับสนุนบัณฑิตศึกษา ประจำปีการศึกษา 2555 มา ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาของผู้วิจัยที่ให้ทุกๆ สิ่ง ทุกๆ อย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความรัก กำลังใจ และแรงกระตุ้นที่ทำให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จในการศึกษาลุล่วงไปด้วยดี รวมทั้งขอขอบคุณเพื่อนๆ ในภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน รุ่น 1 ทุกคนสำหรับกำลังใจและมีความปรารถนาดีแก่ข้าพเจ้าเสมอมา และรวมถึงผู้มีพระคุณทุกท่านที่มิได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากวิกฤตการณ์ด้านพลังงาน ราคาน้ำมันปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและการลดน้อยลงของปริมาณน้ำมันสำรองทั่วโลก ตลอดจนความต้องการในการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นของประเทศไทย นำมาซึ่งการส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่ในประเทศ เพื่อทดแทนพลังงานนำเข้าจากต่างประเทศและเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ก๊าซชีวภาพเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของแหล่งพลังงานหมุนเวียนในประเทศไทยที่มีศักยภาพ เนื่องจากมีแหล่งวัตถุดิบทั้งที่เป็นของเสียหรือของเหลือใช้จากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมทางการเกษตรในประเทศจำนวนมาก เช่น น้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร ของเสียจากปศุสัตว์ และเศษวัสดุเหลือใช้ในการผลิตพืช การศึกษาเบื้องต้นจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2548) พบว่า ศักยภาพของชีวมวลเหลือทิ้งมีอยู่อีกมาก มากกว่า 24 ล้านตันต่อปี จากข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และปาล์มน้ำมัน ที่สามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานก๊าซ แต่ต้องการการศึกษาเพิ่มเติมทางด้านเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกี่ยวข้อง และการจัดการแหล่งวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ

เนื่องด้วยประเทศไทยอยู่ในที่ตั้งที่เหมาะสมแก่การทำการเกษตรเขตร้อนทุกรูปแบบ เช่น ข้าว มันสำปะหลัง อ้อย และอื่นๆ อีกเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะส่งผลให้มีเศษวัสดุเหลือใช้จำนวนมากเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การปลูกข้าว ประเทศไทยนับได้ว่าเป็นอู่ข้าวอู่น้ำของโลก และยังเป็นประเทศหลักในการปลูกข้าวเพื่อการส่งออกอันดับต้นๆ ของโลก ในปี พ.ศ.2552 ประเทศไทยผลิตข้าวได้ 31.28 ล้านตัน มีการส่งออก 10.22 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552) ข้าวจำนวนมหาศาลที่ประเทศไทยผลิตออกมาแต่ละปี หลังฤดูเก็บเกี่ยวนั้น ส่วนที่เหลือจากการเกี่ยวข้าวคือ “**ฟางข้าว**” ที่มีจำนวนมหาศาลเช่นกัน โดยฟางข้าวที่ได้หลังจากปลูกข้าวนั้น เกษตรกรส่วนใหญ่ยังไม่มีการจัดการที่ดีและเหมาะสมเท่าที่ควร และเลือกใช้วิธี “เผาทำลาย” ซึ่งนับว่าเป็นการสร้างมลภาวะทางอากาศอย่างมาก นับเป็นส่วนหนึ่งที่ส่งผลกระทบให้เกิดภาวะโลกร้อนจากภาคเกษตรกรรมอีกด้วย สำหรับปริมาณฟางข้าวที่ประเทศไทยผลิตออกมาแต่ละปีมากถึง 50-60 ล้านตันต่อปี และยังไม่มีการนำฟางข้าวไปใช้ประโยชน์มากถึง 11.5 ล้านตัน หรือเทียบเท่ากับน้ำมันดิบ 3,350 ktoe

มันสำปะหลังก็จัดเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจไทยมากชนิดหนึ่ง เพราะพืชชนิดนี้มีการปลูกกระจัดกระจายอยู่ทั่วทุกภาคในประเทศไทย โดยเฉพาะภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือตอนบน เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชที่ขึ้นได้บนดินหลายชนิด

ไม่ต้องการการดูแลเอาใจใส่มาก การลงทุนไม่สูง ทนต่อสภาพความแห้งแล้งได้ดี เกษตรกรจึงนิยมปลูกกันมาก ทำให้ประเทศไทยสามารถปลูกมันสำปะหลังสดได้ 25.56 ล้านตัน ในปี 2551 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปแล้วเกษตรกรจะนำส่วนของลำต้นไปขยายพันธุ์ต่อบางส่วน แล้วจะเหลือส่วนของลำต้นและเหง้ามันสำปะหลังที่ยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ใดๆ

ในขณะที่หญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในพื้นที่ที่มีฝนตกอย่างสม่ำเสมอ หรือในพื้นที่ที่มีระบบชลประทาน จะให้ผลผลิตที่สูงและมีคุณภาพดี แต่ได้มีการใช้เลี้ยงสัตว์เท่านั้น หากนำหญ้าเนเปียร์ยักษ์ไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับฟางข้าว ต้นและเหง้ามันสำปะหลัง จะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ตลอดทั้งปี ดังนั้นถ้าเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์เปลี่ยนให้เป็นพลังงาน โดยการนำเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพมาพิจารณาถึงความเหมาะสมในด้านของ เทคโนโลยี การจัดการ และทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการนำก๊าซชีวภาพที่ได้นั้นมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า จะเป็นแนวทางการลดปัญหาวัตถุดิบเหลือทิ้งจากการเกษตร ลดการพึ่งพาพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ตลอดจนลดผลกระทบต่อปัญหาสิ่งแวดล้อม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ด้วยฟางข้าว ต้นและเหง้ามันสำปะหลัง และหญ้าเนเปียร์ยักษ์
2. ศึกษาการบริหารจัดการศักยภาพของวัตถุดิบและแก๊สที่ผลิตได้ ให้เพียงพอต่อการนำไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า
3. ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์ในขั้นของโรงงานต้นแบบ ก่อนการขยายผลไปสู่การผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในเชิงพาณิชย์

ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของการศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวภาพจากฟางข้าว ต้นและเหง้ามันสำปะหลังโดยใช้หญ้าเนเปียร์ยักษ์เป็นเชื้อเพลิงร่วม วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการลงทุนตลอดจนการดำเนินงานของโครงการ “โรงไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน” โดยมีขอบเขตของการศึกษา ดังนี้

1. ศึกษาศักยภาพของวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ผลิตก๊าซชีวภาพนำไปผลิตไฟฟ้าขนาด 1 MW_e
2. ศึกษาลักษณะพื้นที่ที่เหมาะสมในการตั้งโรงไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน

3. ศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับวัตถุดิบที่ได้เลือกมา ในที่นี้คือ ฟางข้าว ต้นและเหง้ามันสำปะหลัง และหญ้าเนเปียร์ยักษ์

4. ศึกษาการจัดการวัตถุดิบที่ได้มา หรือ ของเสียจากทางการเกษตร ให้มีปริมาณที่เพียงพอสำหรับในการผลิตไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวภาพ

5. ศึกษาด้านการตลาด (Marketing Perspective) ข้อมูลราคาไฟฟ้า และรวมถึงค่าแอดเดอร์เพื่อพิจารณาราคาที่เหมาะสม

6. ศึกษาด้านการปฏิบัติการ (Operation Perspective) ประกอบด้วยโครงสร้างและระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวภาพ ปริมาณผลผลิต และต้นทุนการผลิต

7. ศึกษาด้านการเงิน (Financial Perspective) ประกอบด้วยการศึกษารายได้ ต้นทุน และกำไรของการลงทุนในโครงการ, การวิเคราะห์งบการเงินของโครงการ ได้แก่ งบกำไรขาดทุน งบดุล งบกระแสเงินสด และการประเมินความเป็นไปได้ของโครงการ โดยอาศัยเครื่องมือทางการเงิน ดังนี้

7.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)

7.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

7.3 อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return)

7.4 วิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break Even Point Analysis: BEP)

7.5 อัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio: B/C)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผลที่ได้จากการวิจัยสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นต้นแบบในการสร้างโรงไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวภาพในการผลิตไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวภาพได้จริง

2. ผลที่ได้จากการวิจัยสามารถนำไปเป็นต้นแบบในการจัดการการปลูกพืชพลังงานชนิดอื่นๆ เพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวภาพ

3. สามารถนำผลจากการวิจัยไปพัฒนาเพื่อรองรับการใช้พลังงานภายในประเทศแทนการสร้างโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่

4. เกษตรกรมีชีวิตความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น จากการสร้างมูลค่าจากของเสียทางการเกษตร

บทที่ 2

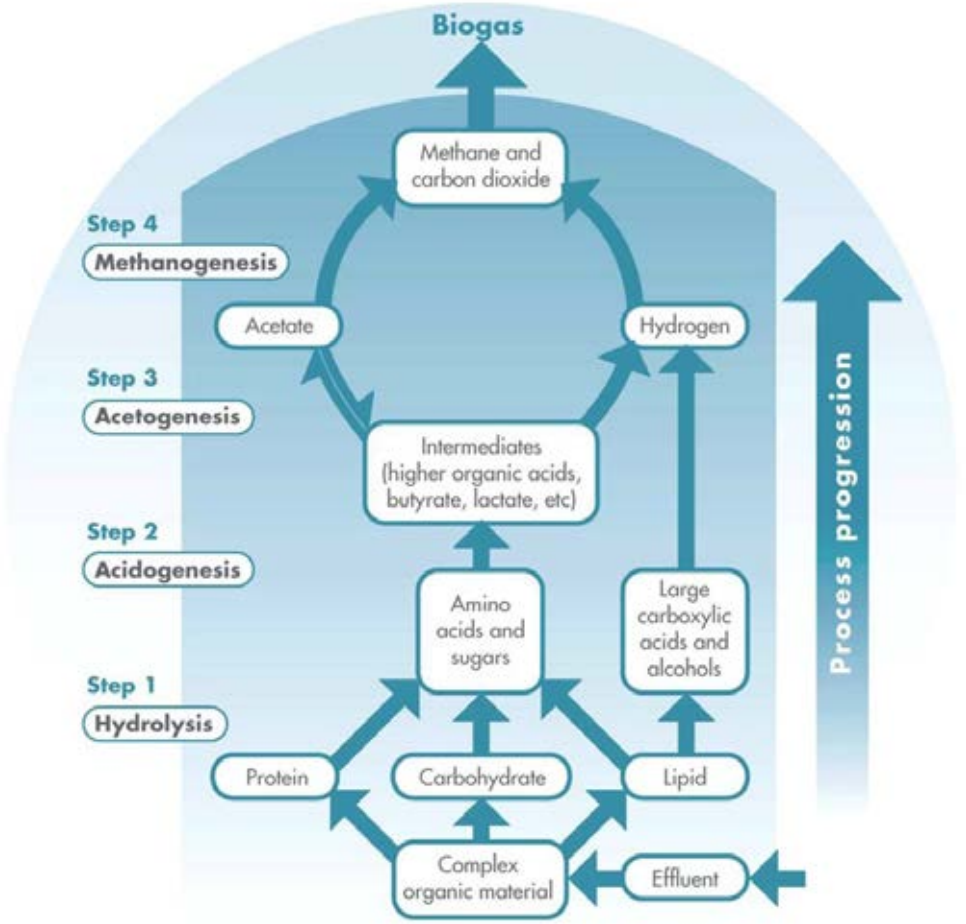
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎี

ก๊าซชีวภาพ(Biogas หรือ Digester gas) คือ ก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้ออกซิเจนในสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic) องค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพได้แก่ ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณร้อยละ 60-70 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณร้อยละ 28-38 และก๊าซอื่นๆ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และไนโตรเจน (N_2) เป็นต้น โดยการใช้ก๊าซชีวภาพจะเป็นการไม่เพิ่มก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศโดยตรง ซึ่งเป็นต้นเหตุของปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse effect)

1. <u>กลไกการย่อยสลายชีวมวลในสภาวะไม่ใช้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ</u>

กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นเป็นกระบวนการทางธรรมชาติที่ย่อยสลายสารอินทรีย์หรือชีวมวลในสภาวะไร้อากาศจนได้ก๊าซมีเทนนั้น ประกอบด้วยหลายขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 2.1 และมีจุลินทรีย์หลายชนิดเข้ามาเกี่ยวข้อง (Gerardi, 2003) โดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์จำพวกที่ไม่ชอบออกซิเจน ซึ่งจุลินทรีย์แบบไม่ชอบออกซิเจนนั้นมี 2 พวกคือ พวกที่สร้างมีเทน (Methanogenic bacteria) และ พวกที่ไม่สร้างมีเทน (Non-methanogenic bacteria) จุลินทรีย์ประเภทสร้างมีเทนนี้จะใช้สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนเป็นสารอาหาร และให้ผลผลิตเป็นก๊าซมีเทน (สูตรโมเลกุล CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (สูตรโมเลกุล CO_2) เป็นหลัก โดยมีก๊าซอื่นๆ ในปริมาณเล็กน้อยเช่น ก๊าซไข่เน่าหรือก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (สูตรโมเลกุล H_2S) จุลินทรีย์กลุ่มนี้ไม่ชอบออกซิเจนอิสระ (สูตรโมเลกุล O_2 เป็นโมเลกุลที่มนุษย์ใช้หายใจเพื่อการดำรงชีพ) ดังนั้นในการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นจะต้องระวังไม่ให้ออกซิเจนสามารถเข้าไปสัมผัสกับจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างมีเทน เพราะจะทำให้การผลิตก๊าซมีเทนด้อยประสิทธิภาพ และเนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทน สามารถใช้สารอาหารที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนเท่านั้น การผลิตก๊าซมีเทนจากสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน จึงต้องอาศัยการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มไม่สร้างมีเทน เพื่อทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีความซับซ้อนสูง ให้กลายเป็นสารอินทรีย์ที่มีความซับซ้อนต่ำ พอที่แบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนสามารถย่อยสลายได้ ดังนั้นในการผลิตก๊าซมีเทนจะต้องอาศัยการร่วมมือของแบคทีเรียหลายๆ กลุ่มเข้าด้วยกันโดยอาศัยกลไกขั้นตอนการย่อยสลาย แบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน คือ



ที่มา: Wheatley, (1997)

รูปที่ 2.1 กลไกการย่อยสลายชีวมวลเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

1.1 <u>ขั้นตอนไฮโดรไลซิส (Hydrolysis step) หรือกระบวนการแตกสายโพลีเมอร์</u>

ในขั้นตอนนี้จุลินทรีย์ชนิด Hydrolytic bacteria ซึ่งอยู่ในกลุ่ม Non-Methanogen ทำการเปลี่ยนสารอินทรีย์โมเลกุลโมเลกุลใหญ่ (Complex polymer) เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน ด้วยเอนไซม์ (Extracellular enzyme) ที่ขับออกมานอกเซลล์เกิดเป็นสารตัวกลาง (Intermediates) ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กหรือโมโนเมอร์ เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน กรดไขมัน ดังสมการดังนี้

ซูโครส —(เอนไซม์แซคคาเลส)→ กลูโคส (1)

แป้ง —(เอนไซม์อะไมเลส)→ กลูโคส (2)

เซลลูโลส —(เอนไซม์เซลลูเลส)→ กลูโคส (3)

โปรตีน —(เอนไซม์โปรติเอส)→ กรดอะมิโน แอมโมเนีย (4)

ไขมัน —(เอนไซม์ไลเปส)→ กรดไขมัน กรีเซอรอล (5)

ขั้นตอนการไฮโดรไลซิสนี้มักเป็นขั้นจำกัดปฏิกิริยา (Rate limiting step) ของปฏิกิริยารวม เนื่องจากมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ช้ากว่าขั้นตอนอื่นๆ ทำให้ต้องการระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในถังปฏิกรณ์นาน มีสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานที่พีเอชประมาณ 6 และอุณหภูมิ >15-20 $^{\circ}$C โดยเฉพาะไขมัน ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำไฮโดรไลติกแบคทีเรียมีความสามารถในการย่อยสลายหรือแอคติวิตี้ต่ำ

1.2 <u>ขั้นตอนการสร้างกรด (Acidogenesis step) หรือ Fermentation step</u>

ในขั้นตอนนี้สารตัวกลาง (Intermediates) ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กหรือโมโนเมอร์ เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน กรดไขมัน จากขั้นไฮโดรไลซิส จะถูกออกซิไดซ์ต่อไปโดยจุลินทรีย์กลุ่ม Acidogenic bacteria หรือจุลินทรีย์ในกลุ่มสร้างกรด (Acid producer) เกิดเป็นกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรพิออนิก กรดบิวทีริก กรดแลกติก และไฮโดรเจน โดยชนิดของสารตัวกลางที่ได้ขึ้นกับชนิดของสารตั้งต้นและ H_2 partial pressure ในถังปฏิกรณ์

กรดอะมิโน ⟶ กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ (6)

กรดไขมัน ⟶ กรดอินทรีย์ (7)

กรีเซอรอล ⟶ กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ (8)

กลูโคส ⟶ กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ (9)

หลังจากนั้นสารตัวกลางในขั้นตอนการสร้างกรดนี้จะถูกจุลินทรีย์ในกลุ่มที่สร้างกรดอะซิติก (Acetic producer) ใช้ต่อไป

1.3. ขั้นตอนการสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis step)

ในขั้นตอนนี้กรดอินทรีย์ขนาดโมเลกุลใหญ่ ที่มีคาร์บอนหลายโมเลกุลหรือแอลกอฮอล์ จะถูกย่อยสลายต่อไปเป็นกรดอะซิติก (ส่วนมากอยู่ในรูปของอะซิเตท CH_3COO^- ซึ่งขึ้นกับค่าพีเอชของสารละลาย) ไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อผลผลิตจากแบคทีเรียสร้างกรดมีหลายชนิด และบางชนิดยังเป็นสารโมเลกุลใหญ่ที่แบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้เป็นสารอาหารได้ จึงต้องมีการเปลี่ยนสารเหล่านั้นให้กลายเป็นสารอาหารอย่างง่ายสำหรับแบคทีเรียที่สร้างมีเทนเพื่อให้สามารถดูดซึมเข้าไปใช้ในเซลล์ แบคทีเรียที่ย่อยกรดไขมันระเหยโมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นกรดอะซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ได้นั้น สามารถ แบ่งได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

1.3.1 แบคทีเรียผลิตอะซิเตทอย่างเดียว (Homoacetogenic bacteria) แบคทีเรียชนิดนี้เป็นแบคทีเรียที่ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอนและผลิตกรดอะซิติกขึ้นมา (เป็นกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้อากาศ) ผ่านวิถีชีวเคมี (Pathway) ที่เรียกว่า Acetyl-CoA ตัวอย่างแบคทีเรียชนิดนี้ ได้แก่ *Acetobacterium woodii* และ*Clostridium aceticum* สามารถเจริญเติบโตทั้งในแบบออโทโทรฟิก (Autotrophic) คือใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอนและใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นสารให้อิเล็กตรอนเพื่อเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็น กรดอะซิติก

1.3.2 แบคทีเรียสร้างอะซิเตทที่ผลิตไฮโดรเจนได้(H_2-Producing acetogenic bacteria) แบคทีเรียชนิดนี้จะใช้กรดไขมันระเหย (ที่ไม่ใช้กรดอะซิติก) หรือแอลกอฮอล์เป็นสารอาหารแล้วสร้างกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเป็นสารอาหารของแบคทีเรียสร้างมีเทนขึ้นมา ดังนั้นแบคทีเรียชนิดนี้จึงมีบทบาทสำคัญ เพราะเป็นตัวเชื่อมระหว่างแบคทีเรียสร้างกรดกับแบคทีเรียสร้างมีเทน อย่างไรก็ดีแบคทีเรียชนิดนี้จะไม่เจริญเติบโตเมื่ออยู่ตามลำพัง ทั้งนี้เพราะเมื่อมีการสะสมของก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตขึ้นมา (ทำให้มีความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนสูง) ปฏิกิริยาสร้างกรดอะซิติกจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ (Speece, 1996) เนื่องจากแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกหยุดการเจริญเติบโต ดังนั้นจะต้องมีการกำจัดไฮโดรเจนก่อนแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกจึงจะเจริญเติบโตได้ แบคทีเรียสร้างมีเทนจึงเข้ามามีบทบาทในช่วงนี้เพราะแบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถบริโภคไฮโดรเจน (Hydrogenotrophic methanogen) เกิดเป็นก๊าซมีเทน

1.4 ขั้นตอนการสร้างมีเทน (Methanogenesis step)

ในขั้นตอนการผลิตมีเทน (Methanogenesis) นี้จุลินทรีย์สร้างมีเทน (methanogens) จะใช้สารตัวกลางได้แก่ กรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน โดยวิธีการสร้างมีเทนนี้แบ่งตามชนิดของจุลินทรีย์ได้ 2 แบบได้แก่

1.4.1 วิถีการเปลี่ยนอะซิเตทไปเป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์โดยจุลิน ทรีย์ในกลุ่ม Obligate acetoclastic methanogens ซึ่งเป็นวิถีหลักของการผลิตก๊าซมีเทน (~70%)

$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2 \qquad (10)$$

1.4.2 วิถีการเปลี่ยนก๊าซไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นก๊าซมีเทน โดยจุลินทรีย์ในกลุ่ม Obligate Hydrogenotrophic methanogens หรือ Hydrogen utilizer

$$4H_2 + CO_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O \qquad (11)$$

นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์สร้างมีเทนที่สามารถใช้ได้ทั้งไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์และ อะซิเตท (Hydrogenotrophic/Acetoclastic methanogen) ในการสร้างมีเทนได้

2. จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

ในการย่อยสลายสารอินทรียต่างๆ ที่มีโครงสร้างซับซ้อนภายใต้สภาวะไร้อากาศ จนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายอยู่ในรูปของก๊าซชีวภาพนั้น จำเป็นต้องอาศัยการทำงานจุลินทรีย์ ซึ่งส่วนมากเป็นแบคทีเรีย โดยเฉพาะกลุ่ม Strictly facultative anaerobic bacteria ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการ Hydrolysis และ Acidogenesis แบคทีเรียที่มีบทบาทต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ สามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ใหญ่ๆ คือ พวก Non-methanogenic bacteria และ Methanogenic bacteria

2.1 แบคทีเรียกลุ่มที่ไม่สร้างมีเทน (Non-methanogenic bacteria)

แบคทีเรียพวกนี้ส่วนใหญ่เป็นพวก Facultative anaerobic bacteria ซึ่งสามารถอยู่ได้ทั้งในสภาวะแวดล้อมที่มีและไม่มีอากาศ โดยได้รับพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นกรดไขมันระเหยง่าย กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ CO_2/H_2 แอมโมเนีย และซัลไฟด์ สามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอช 4.0-6.5 ทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมได้ดี

มีอัตราการเจริญเติบโตสูง แบ่งตัวเพิ่มจำนวนได้เป็น 2 เท่าภายในเวลา 24 ชั่วโมง แบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ได้สร้างมีเทนแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

2.1.1 Acidogenic bacteria แบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่ใหญ่ที่สุดในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ เนื่องจากสามารถใช้อาหารได้หลายชนิด อีกทั้งยังมีอัตราการเจริญเติบโตสูง แบคทีเรียกลุ่มนี้ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ให้เป็นสารโมเลกุลเดี่ยวที่ละลายน้ำได้ โดย Extracellular enzyme ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายของจุลินทรีย์กลุ่มนี้เป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ได้แก่พวก กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดฟอร์มิก กรดบิวทีริก ฯลฯ นอกจากนี้ยังได้พวกแอลกอฮอล์และคีโตนรวมทั้งอะซิเตท คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ประกอบด้วยพวกที่เป็น Obligately anaerobic bacteria และ Facultative anaerobic bacteria (Zeikus, 1980)

2.1.1.1 Acetogenic bacteria แบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นพวกย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายในกระบวนการ Hydrolysis และ Acidogenesis แล้วให้กรดอะซิติกเป็นผลผลิต สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มย่อยคือ

- Hydrogen producing acedogenic bacteria แบคทีเรียกลุ่มนี้ทำหน้าที่ย่อยสลายผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นตอน Hydrolysis ซึ่งได้แก่ แอลกอฮอล์ และกรดอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบหลายตัวแล้วได้กรดอะซิติก และไฮโดรเจน หรือกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนเป็นผลิตภัณฑ์ การย่อยสลายเอทานอล โพรพิโอนิก และบิวทีริก ได้เป็นกรดอะซิติกโดย Acetogenic bacteria ดังสมการ (Sheehan, 1981)

$$\text{Ethanol} \longrightarrow \text{acetate} + 2H_2 \qquad (12)$$

$$\text{Propionate} \longrightarrow \text{acetate} + CO_2 + 3H_2 \qquad (13)$$

$$\text{Butyrate} \longrightarrow 2\text{acetate} + 2H_2 \qquad (14)$$

แบคทีเรียที่อยู่ในกลุ่มนี้โดยรวมเรียกว่า S-organism (Zeikus,1980) ในสภาวะปกติแบคทีเรียกลุ่มนี้มักอาศัยอยู่ร่วมกับ Hydrogen-consuming methanogenic bacteria ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกัน (Symbiosis relationship) ในระหว่างการย่อยสลายแบคทีเรียกลุ่มนี้ทำหน้าที่ดึงออกซิเจนที่มีอยู่ในระบบไปใช้ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในระบบลดลง เกิดสภาวะที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย Methanogenic bacteria ซึ่งทำหน้าที่ดึงไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นไปใช้ ทำให้ระบบมีความดันย่อยของไฮโดรเจนต่ำ (H_2 partial pressure) เหมาะสมต่อเทอร์โมไดนามิกส์ของการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและ

แอลกอฮอล์เป็นอะซิเตท ซึ่งถ้าความดันย่อยไฮโดรเจนสูงจะทำให้การเกิดอะซิเตทลดลง และสารตั้งต้นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดโพรไพโอนิก บิวทีริก และเอทานอลมากกว่ามีเทน ทำให้ระบบมีการสะสมของกรดอินทรีย์มากขึ้น ค่าพีเอชของระบบลดลง เกิดสภาวะไม่เหมาะสมต่อการทำงานของ methanogen โดยปกติแล้ว Acetogenic bacteria เจริญเติบโตได้เร็วกว่า Methanogenic bacteria มาก โดย Acetogenic bacteria มี μmax ประมาณ 1/ชั่วโมง ขณะที่ Methanogenic bacteria มี μmax ประมาณ 0.04 /ชั่วโมง (Bitton, 1994)

- Homoacetogenic bacteria แบคทีเรียในกลุ่มนี้เป็นทั้งพวก Autroph และ Heterotroph ขึ้นอยู่กับการใช้สารอาหาร ในกรณีพวก Autotroph ได้แก่ แบคทีเรียที่ใช้สารประกอบที่มีคาร์บอน 1 อะตอม (H_2/CO_2) ในการเจริญเติบโต ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นอะซิเตท ส่วนพวก Heterotroph ได้แก่แบคทีเรียที่ใช้สารประกอบที่มีคาร์บอนหลายอะตอมในการเจริญเติบโต ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีทั้งบิวทีเรทและอะซิเตท ซึ่งเป็นสารตัวกลางที่สำคัญในการผลิตก๊าซมีเทนแบคทีเรียที่พบมากในกลุ่มนี้ ได้แก่ *Acetobacterium woodii*, *Clostridium thermoaceticum* นอกจากนี้ยังมีพวก *Butyribacterium methylotrophicum* ซึ่งสามารถดำรงชีวิตได้ทั้งแบบ autotroph และ heterotrophy

2.2 <u>แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทน (Methanogenic bacteria)</u>

แบคทีเรียในกลุ่มนี้ตามธรรมชาติพบในชั้นตะกอนของแม่น้ำลำคลองหรือในกระเพาะของสัตว์เคี้ยวเอื้อง แบคทีเรียกลุ่มนี้มีทั้งที่เป็นแกรมบวกและแกรมลบ ขึ้นกับชนิดของ cell envelop ของแบคทีเรีย ในแบคทีเรียชนิดแกรมบวกจะมี Pseudomurein, Methanochondroitin และ Heteropolysaccharide ในผนังเซลล์, ส่วนแบคทีเรียแกรมลบมีชั้นผิวเป็น Glycol-protein รูปร่างของแบคทีเรียกลุ่มนี้มีหลายแบบเช่น spherical, lobed, spiral, plate หรือ rod ซึ่งอาจพบอยู่เป็นเซลล์เดี่ยวๆ หรือเกาะกันเป็นสายยาว บางครั้งพบเกาะกันเป็นกลุ่มๆอาศัยอยู่ร่วมกัน แบคทีเรียที่หน้าที่เกี่ยวข้องกับการผลิตมีเทน ส่วนใหญ่จัดอยู่ในพวก Obligately anaerobic bacteria เจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่ขาดออกซิเจน ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 4.7-7.8 ทำให้มีความทนทานต่อการเปลี่ยนสภาวะแวดล้อมได้น้อย และมีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่าแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน ซึ่งโดยเฉลี่ยต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 3-5 วันที่ 35 $^{\circ}$C ถึง 10 วันที่ 10 $^{\circ}$C ในการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า แบคทีเรียชนิดนี้ถูกจัดอยู่ในพวก Archaebacteria ซึ่งมีความแตกต่างจากพวก Eubacteria และ Eucaryote คือ ผนังเซลล์ของพวก Archaebacteria ไม่มี Muramic acid เป็นองค์ประกอบ แบคทีเรียที่สร้างมีเทนมี specific coenzyme คือ F_{420} ซึ่งเป็น 5-deazaflavin analog ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งถ่ายอิเลคตรอน (Electron carrier) ในกระบวนการเมตาบอลิซึม มีลักษณะเป็น Blue-green flurescent coenzyme

ซึ่งถูกใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณของ Methanogens ใน mixed culture สามารถแยก Methanog enic colonies ออกจาก Non-methanogenic colonies ได้โดยใช้ Fluorescence microscopy coenzyme อีกชนิดหนึ่งที่มีเฉพาะใน Methanogens คือ F_{430} ซึ่งมีนิเกิลเป็นองค์ประกอบ เยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียที่สร้างมีเทนประกอบด้วย Rther-linked isoprenoids เป็นหลักมากกว่า Ether-linked phospholipids และ Methanogens มีลำดับของ Ribosomal RNA แตกต่างจาก Procaryote อื่นคือมี Pseudouridine หรือ 1-methylpseudouridine เป็นองค์ประกอบแทนที่ Ribothymidine และมีการเรียงลำดับของกรดนิวคลีโอไทด์ใน 5S 16S และ 23S rRNA ที่แตกต่างไปจาก Eubacteria และ Eukaryote (Bitton,1994)

แบคทีเรียพวกที่สร้างมีเทนใช้สารอาหารได้ไม่กี่ชนิดในการผลิตมีเทน ดังนั้นจึงสามารถแบ่งชนิดของแบคทีเรียตามการใช้สารอาหารตั้งต้น ได้เป็น 2 กลุ่มคือ

2.2.1 Hydrogenotrophic methanogens หรือ Hydrogen utilizing chemolithotrops เปลี่ยนไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นมีเทน ดังสมการ

$$CO_2+4H_2 \longrightarrow CH_4+2H_2O \qquad (15)$$

แบคทีเรียกลุ่มนี้มีบทบาทสำคัญ โดยช่วยคงสภาวะให้มีระดับความดันย่อยไฮโดรเจนต่ำ ซึ่งจำเป็นสำหรับการเปลี่ยนกรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์ไปเป็นอะซิเตท (Bitton, 1994) แบคทีเรียกลุ่มนี้ได้แก่ *Methanobrevibacter arboriphilicus*, *Methanobacterium formicicum* และ *Mrthanospirillum hungatei* (Albagnac, 1990)

2.2.2 Acetotrophic methanogens หรือ acetoclastic bacteria หรือ Acetate splitting bacteria ซึ่งเปลี่ยนอะซิเตทไปเป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ

$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4+CO_2 \qquad (16)$$

แบคทีเรียที่สร้างมีเทนในกลุ่มนี้แบ่งเป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือ Methanosarcina มีลักษณะเป็นก้อนอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม และ Methanosaeta มีลักษณะเป็นแท่งต่อกันเป็นสายยาว ซึ่งแบคทีเรียทั้ง 2 พวกนี้พบในถังปฏิกรณ์ที่ไม่ใช้ไฮโดรเจน แบคทีเรียทั้ง 2 กลุ่มนี้พบความเข้มข้นของอะซิเตทต่างกัน ถ้าถังปฏิกรณ์มีความเข้มข้นของอะซิเตทต่ำจะพบ Methanosaeta

เป็น Predominant (Albagnac,1990) เนื่องจาก Methanosaeta มีค่า Acetate K_S ต่ำกว่า ซึ่งค่า K_S ของ Methanosarcina เป็น 200 มก./ล. ส่วนค่า K_S ของ Methanosaeta คือ 30 มก./ล.

ปริมาณมีเทนเกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ประมาณ 2 ใน 3 เกิดจากการเปลี่ยนอะซิเตทไปเป็นมีเทนโดยแบคทีเรียกลุ่ม Acetotrophic methanogens และที่เหลือเป็นผลของปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนโดยแบคทีเรียกลุ่ม Hydrogenotrophic methanogens

การทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต้องอาศัยจุลินทรีย์ทั้ง 2 กลุ่มที่กล่าวข้างต้น คือจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตกรดอินทรีย์และกลุ่มที่ผลิตมีเทน เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มที่ผลิตมีเทนไม่สามารถสร้างอะซิเตทหรือไฮโดรเจนเป็นผลิตภัณฑ์หลักได้ ต้องอาศัยผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจากแบคทีเรียที่ผลิตกรดอินทรีย์เพื่อนำมาสร้างก๊าซมีเทน ดังนั้นจุลินทรีย์ทั้ง 2 กลุ่มนี้จึงต้องทำงานสัมพันธ์กัน ที่สภาวะสมดุลย์เมื่อจุลินทรีย์พวกที่ไม่สร้างมีเทนย่อยสลายสารอินทรีย์และผลิตกรดอินทรีย์ขึ้นมาในระบบ กรดอินทรีย์เหล่านี้ก็ถูกจุลินทรีย์อีกจำพวกคือพวกที่สร้างมีเทนย่อยสลายเพื่อให้ได้ก๊าซมีเทน ซึ่งปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะแสดงประสิทธิภาพของระบบบำบัด แต่ถ้าจุลินทรีย์พวกที่ผลิตก๊าซมีเทนมีน้อยมากไม่สามารถกำจัดกรดอินทรีย์ได้ทัน จะทำให้มีการสะสมของกรดอินทรีย์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าพีเอช ลดลงเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์พวก Methanogen ทำให้ระบบล้มเหลวได้ ดังนั้นระบบนี้จึงต้องมีการควบคุมดูแลอย่างใกล้ชิดเพื่อให้มีความสมดุลย์ของจุลินทรีย์ภายในระบบ ที่สภาวะปกติระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 0.5 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด และผลิตก๊าซมีเทนได้ 0.1-0.35 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด ผลิตตะกอนได้ 0.05-0.1 กก.VSS /กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด (Sastry and Vickineswatry, 1995)

2.3 <u>ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายชีวมวล เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ</u>

จากที่กล่าวไว้ข้างต้นถึงกระบวนการย่อยสลายชีวมวลเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งเป็นการทำงานโดยจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ อย่างไรก็ตามปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการย่อยสลายของชีวมวลมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ไม่ว่าเป็นสภาวะแวดล้อมที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ส่งผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ หรือคุณสมบัติของชีวมวลเองที่ไม่เหมาะสมและอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดสภาวะแวดล้อมที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ไม่มีความเหมาะสม ซึ่งปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการย่อยสลายชีวมวล เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ มีดังนี้

2.3.1 คุณสมบัติและองค์ประกอบของชีวมวลที่เข้าสู่ระบบมีความสำคัญต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในการกำจัดสารอินทรีย์และผลิตก๊าซชีวภาพมาก เนื่องจากองค์ประกอบที่อยู่ใน

ชีวมวลเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพการเกิดก๊าซชีวภาพ ถ้าชีวมวลมีองค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้มาก อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพก็มาก เช่น แป้ง น้ำตาล แต้ถ้าองค์ประกอบของชีวมวลเป็นพวกที่ย่อยสลายได้ยาก และมีสารที่เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ ปริมาณก๊าซชีวภาพก็เกิดขึ้นน้อย เช่น เซลลูโลส นอกจากนี้องค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่อยู่ในชีว-มวลก็มีผลต่อการเพิ่มกิจกรรมหรือยับยั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ เช่น น้ำเสียที่มีองค์ประกอบของโลหะหนักมากเกินไป จะส่งผลให้ค่าพีเอชของระบบและการผลิตก๊าซชีวภาพลดลง เนื่องจากมีการผลิตกรดอินทรีย์เพิ่มขึ้น (Hayes and Theis, 1979)

2.3.2 ความเข้มข้นของชีวมวลที่เข้าสู่ระบบก็มีความสำคัญต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากสารอินทรีย์ในชีวมวลมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ถ้าชีวมวลที่ใช้มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้มาก การผลิตก๊าซชีวภาพก็มากด้วย แต่ถ้ามีสารอาหารซึ่งก็คือสารอินทรีย์จากชีวมวลมากไปก็จะไปยับยั้งการเจริญจุลินทรีย์ของพวก Methanogen ทำให้ระบบล้มเหลวได้ ทฤษฎีการผลิตมีเทนที่อุณหภูมิ 35 ^{o}C นั้นจะต้องได้มีเทน 0.35 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด แต่ถ้าชีวมวลมีซีโอดีน้อยกว่า 2,000-3,000 มก./ล.ไม่เพียงพอที่จะผลิตมีเทนเพื่อใช้เป็นพลังงาน (Olthof and Oleszkiewicz, 1982)

2.3.3 ภาระการรับสารอินทรีย์ (Organic Loading) มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ โดยถ้ามีการใส่สารอินทรีย์เข้าระบบมากเกินไป คือมากกว่าความสามารถในการย่อยของจุลินทรีย์ ส่งผลให้เพิ่มไฮโดนเจนอิออนและกรดอินทรีย์ให้กับระบบ ซึ่งไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้นโดยจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดนี้จะไปยับยั้งการย่อยสลายกรดอินทรีย์ของแบคทีเรียพวก Acetogen ทำให้กรดอินทรีย์ในระบบสูงขึ้นจนกระทั้งไปยับยั้งการเจริญพวก Methanogen ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพได้น้อย

2.3.4 สภาวะไร้ออกซิเจน จุลินทรีย์ที่อยู่ภายสภาวะไร้อากาศมี 2 กลุ่ม คือ พวกที่เป็น Facultative bacteria คือพวกผลิตกรด และพวกที่เป็น Strictly anaerobic bacteria คือพวกที่ผลิตมีเทน ซึ่งใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวรับอิเลคตรอนแทนออกซิเจน ดังนั้นสภาพแวดล้อมที่สำคัญที่สุดคือ ต้องไม่มีออกซิเจนอยู่เลยเนื่องจากออกซิเจนเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียจำพวกผลิตมีเทน

2.3.5 ค่าอัลคาไลน์ (Alkalinity) เป็นค่าที่แสดงความสามารถของน้ำในการรับอนุภาคโปรตอน (Proton) มีหน่วยเป็น มก./ล.ของ $CaCO_3$ ค่าอัลคาไลน์นี้เป็นตัวบ่งชี้เสถียรภาพของระบบ ถ้าระบบมีค่านี้สูงแสดงว่าระบบมีความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์สูง สามารถรักษาค่าพีเอชของระบบให้คงตัวอยู่ได้นาน ไม่เกิดการแปรปรวนของค่าพีเอชได้ง่ายเมื่อมีการเพิ่มปริมาณกรดในระบบ ค่าอัลคาไลน์ที่เหมาะสมกับระบบมีค่าอยู่ในช่วง 1,000-3,000 มก./ล. ของ $CaCO_3$ ปัจจัยที่สำคัญกว่าระดับของสภาพความเป็นด่างคือ อัตราส่วนของความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย

(มก./ล.ของกรดอะซิติก) ต่อระดับของ Bicarbonate alkalinity (มก./ล.ของ $CaCO_3$) ควรมีค่าต่ำกว่า 0.4 แต่ถ้าอัตราส่วนนี้สูงกว่า 0.8 แสดงว่าระบบกำลังอยู่ในระดับที่พีเอชลดลงอย่างรวดเร็ว ถ้ามีการเพิ่มขึ้นของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเพียงเล็กน้อย (เพ็ชรพร, 2538)

2.3.6 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid ; VFA) หรือ VFA นี้ได้แก่พวกกรดอะซิติก กรดบิวทีริก กรดโพรไพโอนิก กรดฟอร์มิก เป็นต้น การที่พบกรดพวกนี้ในปริมาณมากมักเป็นสัญญาณเตือนถึงความล้มเหลวของการผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากกรดเหล่านี้เป็นผลิตภัณฑ์สารตัวกลางที่เกิดขึ้นในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ การที่มีการสะสมของ VFA ในปริมาณมากช่วงแรก จะมีผลทำให้ค่าความเป็นด่างของระบบลดลงต่อมาถ้ายังไม่มีการใช้หรือกำจัด VFA ให้มีปริมาณน้อยลงอีก ค่าพีเอชของระบบก็จะลดต่ำลง และถ้าพีเอชลดต่ำลงกว่า 6.5 จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทนหรือก๊าซชีวภาพ ซึ่งปริมาณกรดโพรพิโอนิกที่ใช้เป็นตัวทำนายการล้มเหลวของระบบนั้น ถ้ามากกว่า 3 กรัม/ลิตร บ่งชี้ถึงสภาพของระบบที่ต้องดูแลอย่างใกล้ชิด (Asinari, *et al*., 1981) ส่วนกรด iso-valeric และ iso-butyric ถ้ามีในปริมาณน้อยกว่า 5 มก./ล.แสดงว่าระบบอยู่ในสภาวะปกติ แต่ถ้ามี 5-15 มก./ล. แสดงว่าระบบเริ่มมีปัญหา และถ้ามีมากกว่า 15 มก./ล.แสดงว่าระบบล้มเหลว (Hill, 1989)

2.3.7 อุณหภูมิ (Temperature) เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพ การผลิตก๊าซชีวภาพนี้ต้องอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์หลายกลุ่มที่สามารถเจริญเติบโตและเกิดเมตาบอลิซึมได้ดีที่ช่วงอุณหภูมิแตกต่างกัน สามารถแบ่งอุณหภูมิที่จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ 3 ช่วง คือ Psychrophillic, Mesophillic และ Thermophillic อุณหภูมิที่แบคทีเรียเจริญเติบโตอยู่เป็นอุณหภูมิที่มีผลต่อองค์ประกอบของเซลล์ สภาวะโภชนาการของแบคทีเรีย (Brown, 1957) ดังนั้นอุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดชนิดของแบคทีเรียที่เด่น ซึ่งจุลินทรีย์ในระบบแบบไม่ใช้อากาศนี้ปฏิกิริยาชีวเคมีเกิดขึ้นได้ดีในช่วงของอุณหภูมิ 2 ช่วง คือ ช่วง Mesophillic มีอุณหภูมิระหว่าง 30-38 $^{\circ}C$ และช่วง Thermophillic อุณหภูมิระหว่าง 48-57 $^{\circ}C$ (เสริมสุข และไชยยุทธ, 2518) และมีรายงานว่าที่อุณหภูมิต่ำจุลินทรีย์มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่ำ และต้องการระยะเวลาการคงอยู่ของตะกอนภายในถังปฏิกรณ์มากกว่าที่อุณหภูมิสูงถึง 1.9 เท่า (Bryant, 1979) เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงจุลินทรีย์มีเมตาบอลิซึมสูงกว่าและมีอัตราการเจริญสูงกว่า แต่อย่างไรก็ตามการดำเนินระบบที่อุณหภูมิสูง (ประมาณ 55 $^{\circ}C$) นั้นไม่เป็นที่นิยมเพราะค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากต้องมีการเพิ่มอุณหภูมิให้กับระบบ อีกทั้งจุลินทรีย์ที่เจริญที่อุณหภูมิสูงมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ไม่ดีเท่ากับที่อุณหภูมิปานกลาง (Garber *et al*., 1975) ดังนั้นระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศส่วนใหญ่จึงมักทำที่อุณหภูมิปานกลาง

2.3.8 สารอาหาร(Nutrients) จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายชีวมวล นอกจากต้องการสารอาหารหลักในการเจริญเติบโตแล้ว ยังต้องการธาตุอาหารอื่นเพื่อช่วยในการสร้างเซลล์ใหม่ด้วย ธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มาก ได้แก่ ไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) จากโครงสร้างของเซลล์จุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรียเป็น $C_2H_7O_2N$ มีองค์ประกอบของไนโตรเจนประมาณร้อยละ 12 ของน้ำหนักแห้ง และมีความต้องการฟอสฟอรัสประมาณ 1/7-1/5 ของไนโตรเจน (Sastry and Vickineswatry , 1995) ถ้ามีธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัสต่ำกว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมนี้ ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพจะต่ำลง ในทางตรงข้ามถ้ามีปริมาณธาตุไนโตรเจนมากเกินไปจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียหรือเปลี่ยนสภาพเป็นแบคทีเรียได้ เช่น ทำให้ตะกอนของแบคทีเรียมีน้ำหนักเบา ส่วนฟอสฟอรัสพบว่าถ้ามีการขาดฟอสฟอรัสทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ลดลงถึงร้อยละ 50 แต่ถ้ามีมากเกินไปก็ไม่มีประโยชน์ทั้งต่อประสิทธิภาพการย่อยและผลิตก๊าซชีวภาพ รวมทั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ นอกจากจะไปเพิ่มความเข้มข้นของฟอสฟอรัสใน effluent เท่านั้น นอกจากนี้ยังมี Trace element ที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่ม Methanogen ได้แก่ Ni, Co, Fe, Cu, Mg, Ca, Na, Br, Se, S, K และ Mo

2.3.9 ความเค็ม (Salinity) มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่ม Methanogen ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ที่มีส่วนช่วยในการเจริญเติบโตของสารอาหารในกลุ่มนี้คือ 2 โมลาร์ขึ้นไป แต่ถ้ามีสูงเกินไปจะมีผลยับยั้งการเจริญ (Sastry and Vickineswatry, 1995)

2.3.10 ค่าพีเอส (pH) มีความสำคัญต่อการทำงานของจุลินทรีย์ เนื่องจากพีเอชมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ ซึ่งเอนไซม์แต่ละตัวทำงานได้ดีในช่วงพีเอชแคบๆ และมีกิจกรรมสูงสุดที่พีเอชที่เหมาะสม ดังนั้นจุลินทรีย์แต่ละชนิดจึงมีช่วงพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตและเมตาบอลิซึมแตกต่างกันไป เช่นจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตกรดมีความต้องการพีเอชอยู่ในช่วง 4-6 ส่วนจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทนหรือก๊าซชีวภาพต้องการพีเอชในช่วง 6.7-7.4 แต่ที่เหมาะสมที่สุดคือ 7-7.2 (เพ็ชรพร, 2538)

2.3.11 สารพิษหรือสารยับยั้ง (Toxic substance) ในการย่อยสลายสารชีวมวลเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจะต้องไม่มีสารที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์เป็นสิ่งสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ สารพิษดังกล่าวอาจมาจากตัวชีวมวลเอง ซึ่งระดับความเป็นพิษจะมากหรือน้อยขึ้นกับชนิดและปริมาณของสารนั้นๆ สารที่เป็นพิษต่อการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้แก่ สารประกอบโลหะ ตารางที่ 2.1 แสดงสารและระดับความเข้มข้นที่ยับยั้งการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งจากตารางพบว่าธาตุที่มีน้ำหนักอะตอมและอิออนที่ Valency สูงจะมีความเป็นพิษสูงกว่าธาตุที่มีน้ำหนักอะตอมและอิออนที่ Valency ต่ำกว่า สามารถเรียงลำดับความเป็นพิษจากน้อยไปหามากได้ดังนี้

โซเดียม > แอมโมเนีย > โปแตสเซียม > แคดเมียม > แมกนีเซียม

นอกจากนี้ปริมาณซัลเฟตในระบบก็มีผลต่อการทำงานของแบคทีเรียในกลุ่ม Methanogen เพราะทำให้มีการแข่งขันการใช้อาหารระหว่างแบคทีเรียพวก Sulfate-reducing bacteria และ Methanogen ถ้ามีซัลเฟตสูงๆจะไปกระตุ้นการเกิดกิจกรรมของพวก Sulfate-reducing bacteria และผลิตไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกมา ส่งผลยับยั้งการเจริญพวก Methanogen ทำให้การผลิตมีเทนหรือก๊าซชีวภาพลดลง (Hilton and Archer,1998) ซึ่งความเป็นพิษของซัล- เฟตอยู่ในช่วง 200-1,500 มก./ล.(Sastry and Vickineswatry, 1995) นอกจากนี้ความเข้มข้นของแอมโมเนียในระบบก็มีผลต่อกิจกรรมของ Methanogen เช่นกัน โดยเฉพาะแอมโมเนียมอิออน พบว่าเมื่อเพิ่มแอมโมเนียอิออนเป็น 1,670-3,720 มก./ล. ยับยั้งกิจกรรมของ Methanogen ลงไป 10% ถ้าเพิ่มเป็น 4,090-5,550 มก./ล. ยับยั้ง 50% และเมื่อเพิ่มเป็น 5,880-6,600 มก./ล. Methanogen จะไม่ทำงาน (Lay *et al*., 1997)

ตารางที่ 2.1 ชนิดของสารที่เป็นพิษและระดับความเข้มข้นที่ยับยั้งการผลิตก๊าซชีวภาพ

ชนิดของสารที่เป็นพิษต่อระบบ	ความเข้มข้นที่ยับยั้ง (มก./ล.)
Volatile acids	>2,000 (as acetic acid)*
Ammonia nitrogen	1,500-3,000 (pH>7.6)
Sulphide (soluble)**	>200 หรือ >3,000 เป็นพิษ
Calcium	2,500-4,500 หรือ 8,000 มีผลยับยั้งสูง
Magnesium	1,000-1,500 หรือ 3,000 มีผลยับยั้งสูง
Potassium	2,500-4,500 หรือ 12,000 มีผลยับยั้งสูง
Sodium	3,500-5,500 หรือ 8,000 มีผลยับยั้งสูง
Copper	0.5 (Soluble metal)
Cadmiun	150^{+}
Iron	$1,710^{+}$
$Chromium^{+6}$	3
$Chromium^{+3}$	500
$Nickel^{\#}$	2

* ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.6-7.4 และถ้าระบบมีความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์เพียงพอที่ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ที่ 6,000-8,000 มก./ล. ระบบอาจทนได้

** ถ้ามีความเข้มข้นของก๊าซร้อยละ 6 เป็นพิษ

+ มิลลิโมลของโลหะหนักต่อน้ำหนักแห้งเป็นกิโลกรัมของของแข็ง

นิกเกิลที่ความเข้มข้นต่ำมีความจำเป็นสำหรับ Methanogen เพราะสนับสนุนการเกิดมีเทน

ที่มา: นันทิยา และคณะ (2549)

2.4 ก๊าซชีวภาพที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายในสภาวะไม่ใช้อากาศ

ก๊าซชีวภาพหมายถึงก๊าซที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์จากสิ่งมีชีวิตทั้งที่เป็นพืชและสัตว์ ในสภาวะไร้ออกซิเจนโดยมีจุลินทรีย์หลายชนิดเป็นตัวย่อยสลาย ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซผสมระหว่างก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้อาจมีก๊าซไนโตรเจน ไฮโดรเจน ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ปนอยู่บ้างเล็กน้อย ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการหมักจะมีปริมาณที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้และสภาวะของกระบวนการหมัก โดยทั่วไปองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ มีดังต่อไปนี้

ก๊าซมีเทน	50 – 70%
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	30 – 50%
ก๊าซไนโตรเจน	0 – 8%
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	0 – 1%

ก๊าซชีวภาพ มีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถทดแทนเชื้อเพลิงจากแหล่งอื่นได้ เช่น ฟืน ถ่าน น้ำมัน ก๊าซหุงต้ม เป็นต้น ก๊าซชีวภาพสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้มได้โดยตรงเหมือนก๊าซแอลพีจี ซึ่งมีความสะดวกในการใช้งานมากกว่าการใช้ฟืนหรือถ่านทั้งยังปราศจากควันและเขม่าด้วย จึงทำให้สถานที่ที่ใช้ก๊าซนี้มีความสะอาดกว่า ก๊าซชีวภาพยังสามารถให้พลังงานด้านแสงสว่าง เมื่อนำมาใช้กับตะเกียงหรือเครื่องปั่นไฟรวมทั้งให้พลังงานความร้อน นอกจากนั้นยังสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ชนิดต่าง ๆ แทนน้ำมันได้อีกด้วย ก๊าซชีวภาพที่สามารถใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงได้จะต้องมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบไม่น้อยกว่า 50%

ตารางที่ 2.2 สมบัติของก๊าซชีวภาพเปรียบเทียบกับก๊าซธรรมชาติและก๊าซหุงต้ม

พารามิเตอร์	หน่วย	ก๊าซธรรมชาติ	ก๊าซหุงต้ม	ก๊าซชีวภาพ *
Calorific Value (Lower)	MJ/m^3	36.14	16.10	21.48
Density	kg/m^3	0.82	0.51	1.21
Max Ignition Velocity	m/s	0.39	0.70	0.25
Theory Air required	$m^3 air/m^3 gas$	9.53	3.83	5.71
Max CO_2 in Stack Gas	%Vol	11.9	13.10	17.80
Dew Point	^0C	59	60	60-160

หมายเหตุ * ที่ 60% CH_4, 38% CO_2, 2% Other

ที่มา: ประทิน และคณะ (2549)

ในตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติของก๊าซชีวภาพเปรียบเทียบกับก๊าซเชื้อเพลิงอื่นๆ พบว่าก๊าซชีวภาพมีค่าความร้อน (ทางต่ำ) เท่ากับ 21.48 MJ/m^3 มีความหนาแน่นเท่ากับ 1.21 kg/m^3 ตามลำดับ (Wellinger and Linberg, 2002)

3. ข้อได้เปรียบและข้อจำกัดของรูปแบบและลักษณะการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์

จากรูปแบบและลักษณะการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์มี 2 ลักษณะหลักๆ ซึ่งแต่ละรูปแบบนั้นมีข้อได้เปรียบและข้อจำกัดแตกต่างกัน โดยสรุปได้ดังนี้

3.1 มูลค่าการทดแทนพลังงาน

มูลค่าการทดแทนค่อนข้างสูงสำหรับการนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อน เนื่องจากประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานเชิงความร้อนสูงกว่าเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ดังตารางที่ 2.3 แสดงตัวอย่างประสิทธิภาพการเปลี่ยนก๊าซชีวภาพไปเป็นพลังงานทดแทนในอุปกรณ์ต่างๆ พบว่าการเปลี่ยนก๊าซชีวภาพไปเป็นพลังงานทดแทนในเชิงความร้อนมีประสิทธิภาพ 75-95% ในขณะที่มูลค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงพลังงานของอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้ามีเพียง 20-30% เมื่อใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างประสิทธิภาพการเปลี่ยนก๊าซชีวภาพไปเป็นพลังงานทดแทน

การเปลี่ยนรูป	ประสิทธิภาพ (%)
1. ผลิตพลังงานความร้อน	
- เครื่องกกลูกสุกร	95
- หม้อน้ำ เตาเผา	75-85
2. ผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า	
- ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์	20-30
- ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้กังหันก๊าซ	20-28

ที่มา: นันทิยา และคณะ (2549)

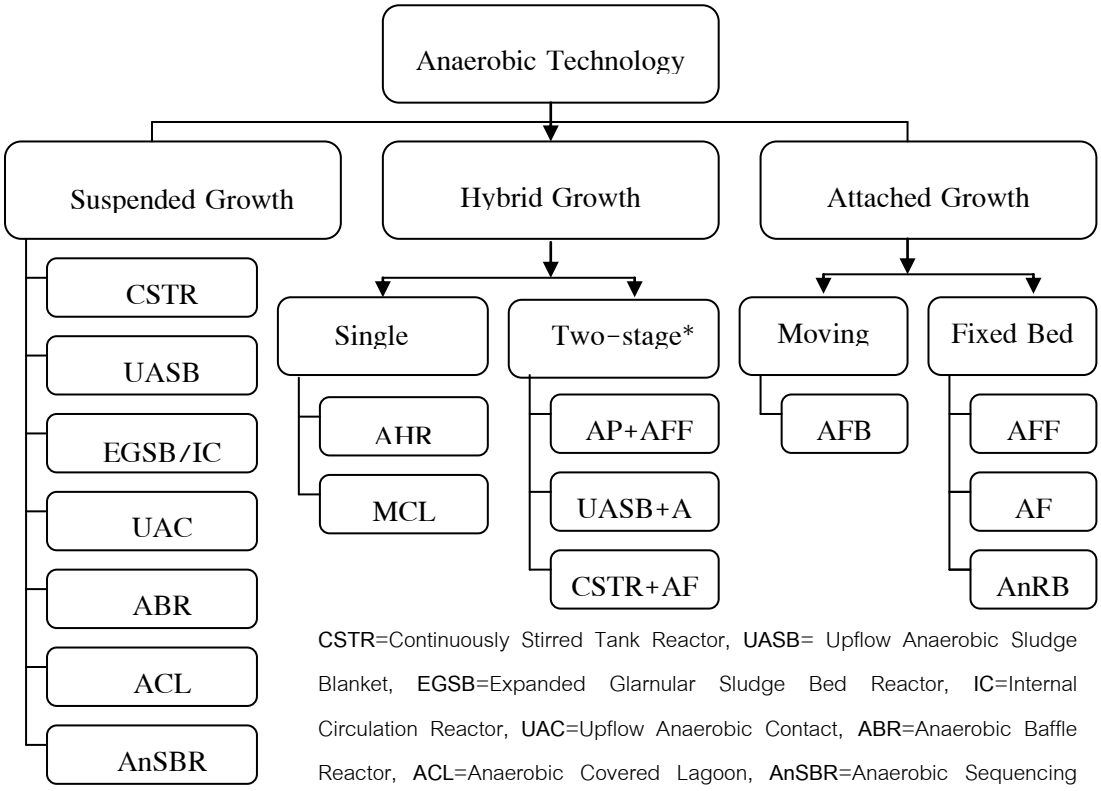
3.2 วิธีการนำก๊าซชีวภาพไปใช้

การนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานความร้อนจะต้องคำนึงถึงวิธีการส่งลำเลียงก๊าซชีวภาพด้วย โดยปกติจะส่งลำเลียงก๊าซชีวภาพไปตามท่อโดยอาศัยพัดลม (Blower) เพื่อช่วยเพิ่มแรงดันและระยะทางไม่ควรจะไกลจนเกินไป โดยในประเทศไทยมีการส่งก๊าซชีวภาพจากบ่อเก็บก๊าซไปห้องเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าประมาณ 800-1,000 เมตร นอกจากนี้อุปกรณ์ที่จะใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงจะต้องมีการดัดแปลงให้เหมาะสมที่จะใช้กับก๊าซชีวภาพเช่นกัน นอกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าจะสามารถผลิตจากอุปกรณ์ตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น สามารถใช้อุปกรณ์ดังกล่าวในระบบผลิตพลังงานความร้อนร่วม (Cogeneration system) เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานได้เช่นกัน

ระบบผลิตพลังงานความร้อนร่วม (Cogeneration system) เป็นระบบที่มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนร่วมกัน ซึ่งเป็นระบบที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการใช้เชื้อเพลิงให้มีค่าสูงขึ้นมากกว่าการผลิตพลังงานไฟฟ้าอย่างเดียว ซึ่งรูปแบบดังกล่าวจะอาศัยหลักการนำความร้อนที่เกิดขึ้นจากการผลิตพลังงานจากระบบผลิตพลังงานกล /พลังงานไฟฟ้ากลับมาผลิตเป็นพลังงานความร้อนเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น การใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในเป็นเครื่องต้นกำลังสำหรับผลิตพลังงานกล/พลังงานไฟฟ้า ซึ่งจะเกิดความร้อนในน้ำหล่อเย็นและส่วนของไอเสียเครื่องยนต์ โดยปกติประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์สันดาปภายในจะอยู่ในช่วงประมาณ 30-40% และความร้อนที่อยู่ในรูปของไอเสียและน้ำหล่อเย็นโดยรวมประมาณ 50-60% ของพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงที่ใช้ทั้งหมด การนำเอาความร้อนทิ้งเหล่านี้มาใช้ประโยชน์จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของการใช้พลังงานจากก๊าซชีวภาพดังกล่าวเพิ่มขึ้น

4. <u>เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพ</u>

โดยทั่วไปน้ำเสีย เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ขยะที่มีสารอินทรีย์และอื่นๆ นั้นสามารถนำมาผลิตก๊าซชีวภาพได้ โดยประเภทของระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่นิยมใช้แสดงในตารางที่ 4 ซึ่งเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพสามารถแบ่งโดยใช้ลักษณะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์เป็นหลัก นอกจากนี้ในกรณีที่ในระบบที่มีการใช้ถังปฏิกรณ์มากกว่าหนึ่งชนิดมาประกอบกัน จะพิจารณาจำแนกจากถังปฏิกรณ์ที่ทำหน้าที่ผลิตก๊าซชีวภาพเป็นสำคัญ ซึ่งจากหลักเกณฑ์ดังกล่าวสามารถแบ่งรูปแบบของเทคโนโลยีไม่ใช้อากาศได้เป็น 3 แบบ คือ ระบบก๊าซชีวภาพแบบจุลินทรีย์แขวนลอย (Suspended growth system) ระบบก๊าซชีวภาพแบบจุลินทรีย์ยึดเกาะ (Attached growth system) และระบบก๊าซชีวภาพแบบจุลินทรีย์ลูกผสม (Hybrid growth system)



ที่มา: ประทีน และคณะ (2549)

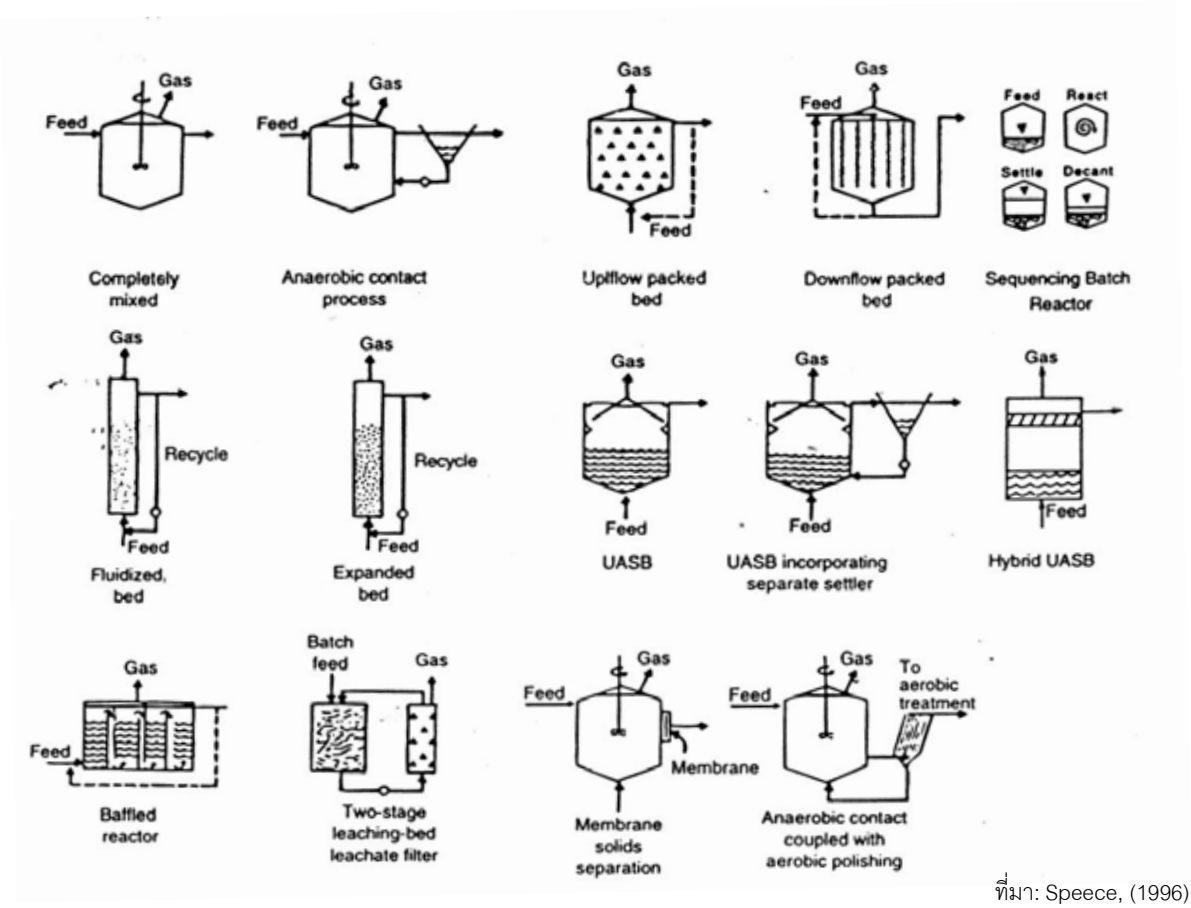
รูปที่ 2.2 ผังการจำแนกชนิดของเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพตามลักษณะของจุลินทรีย์ในระบบ

ตารางที่ 2.4 รูปแบบและชนิดของเทคโนโลยีสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพที่มีใช้ในประเทศไทย

รูปแบบ	ชนิดระบบ
1. Suspended Growth System	UASB, EGSB, UAC, IC, CSTR, ABR, ACL
2. Attached Growth System	AFF, AF
3. Hybrid System	AHR, Modified Cover Lagoon (MCL)
4. อื่นๆ (ระบบขนาดกลาง-เล็ก)	Fixed Dome, Plug Flow

ที่มา: ประทิน และคณะ (2549)

ชนิดของถังปฏิกรณ์ถือเป็นหัวใจของเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพดังในรูปที่ 2.3 แสดงความหลากหลายของระบบของเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพและระบบบำบัดนำเสียแบบไม่ใช้อากาศชนิดต่างๆ



ที่มา: Speece, (1996)

รูปที่ 2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศชนิดต่าง ๆ

ปัจจุบันในประเทศไทยได้มีการใช้งานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพหลากหลายรูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าแบบยูเอเอสบีมีจำนวนการใช้เทคโนโลยีชนิดนี้มาก ส่วนแบบโคเวอร์ลากูนก็จะมีปริมาณการใช้เทคโนโลยีชนิดนี้มากเหมือนกัน แต่ส่วนใหญ่จะเน้นไปทางฟาร์สุกร

ตารางที่ 2.5 เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพแบบต่าง ๆ ที่มีการใช้งานในปัจจุบันในประเทศไทย

ชนิดของระบบ		จำนวน (แห่ง)
UASB	ยูเอเอสบี	189
CSTR	ถังกวนสมบูรณ์	9
ABR	เอบีอาร์/แผ่นกั้นไร้อากาศ	6
ACL	โคเวอร์ลากูน/บ่อปิดไร้อากาศ	~300-400
AFF	ตรึงฟิล์ม	8
IC*	ถังไอซี	~1-2
UAC	ถังสัมผัสแบบไร้อากาศ	ND
EGSB**	อีจีเอสบี	~1-2
Plug Flow***	ปลั๊กโฟว์	ND
Fixed Dome****	โดมคงที่	~1,655

หมายเหตุ ND= ไม่มีข้อมูล *นำเข้าจากต่างประเทศ **ระบบแบบ Pilot Scale/กำลังก่อสร้าง

ระบบขนาดกลาง * ระบบขนาดเล็ก

ที่มา: ประทิน และคณะ (2549)

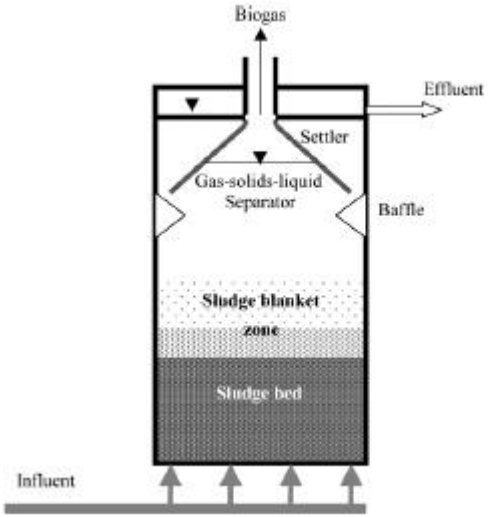
4.1 <u>ระบบก๊าซชีวภาพแบบจุลินทรีย์แขวนลอย (Suspended growth system)</u>

4.1.1 ระบบก๊าซชีวภาพแบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) หรือระบบชั้นตะกอนลอย เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่แพร่หลายมากที่สุดระบบหนึ่ง ซึ่งส่วนประกอบหลักของถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบีจะแสดงดังภาพที่ 2.5 เป็นระบบที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์แขวนลอย ซึ่งมีการพัฒนาให้ฟอร์มตัวเกาะกันในลักษณะเม็ดตะกอน (Granule) ระบบนี้อาศัยการกวนผสมที่เกิดจากการไหลของน้ำเสียที่ป้อนเข้าถังปฏิกรณ์จากด้านล่างไหลขึ้นสู่ด้านบน และการกวนผสมที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของฟองก๊าซที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการย่อยสลายเป็นสำคัญ โดยตะกอนจุลินทรีย์เหล่านี้จะถูกแยกออกจากน้ำเสียด้วยอุปกรณ์แยกของแข็ง-ของเหลว-ก๊าซ (Gas-liquid-solid separator) ทำให้สามารถรักษา จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงไว้ในระบบได้ ตัวอย่างดังแสดง

ในภาพที่ 2.4 ระบบยูเอเอสบีนี้ถูกพัฒนาต่อมาเพื่อเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) และลด HRT ในการบำบัด โดยการเพิ่มความเร็วในการป้อนน้ำเสียให้สูงขึ้น (เพิ่มอัตราการวนกลับน้ำเสีย) ระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้นนี้เรียกว่า Expanded Granular Sludge Bed Reactor (EGSB) ระบบ EGSB นี้สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีสารพิษหรือสารแขวนลอยสูงได้ดี ทั้งนี้เนื่องจากการกวนผสมในถังปฏิกรณ์ดีนั่นเอง อีกระบบหนึ่งที่ถูกพัฒนามาจากระบบยูเอเอสบี ได้แก่ Internal Circulation Reactor (IC) ระบบ IC นี้มีการทำงานคล้ายกับระบบยูเอเอสบี 2 ตัวต่อกัน ทำให้สามารถบำบัดได้ทั้งน้ำเสียที่ความเข้มข้นสูงหรือต่ำมากๆ ได้

ที่มา: (ก) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2549)
(ข) สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ (2543)

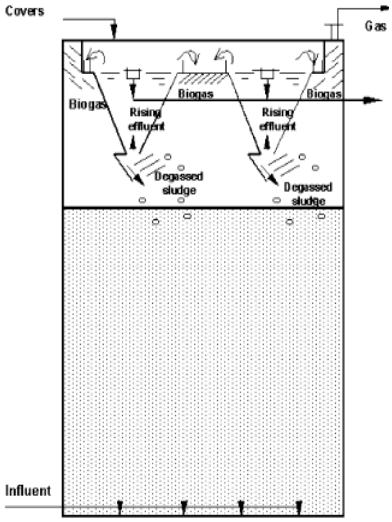
รูปที่ 2.4 ถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบีที่ใช้ใน (ก) โรงงานกระดาษ และ (ข) ฟาร์มเลี้ยงสุกร



ที่มา: Aiyuk *et al*. (2006)

รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบหลักของถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบี

4.1.2 ระบบก๊าซชีวภาพแบบอีจีเอสบี (Expanded Granular Sludge Bed, EGSB) ระบบ EGSB นั้นพัฒนาขึ้นมาจากระบบ UASB โดยเพิ่มอัตราการป้อนน้ำเสียให้มีความเร็วของน้ำไหลขึ้นสูงมากกว่า UASB มีค่าประมาณ 3-10 ม./ชม. ทำให้ชั้นตะกอน (Sludge Bed) มีการขยายตัวมากกว่าระบบ UASB การสัมผัสระหว่างน้ำเสียและเม็ดแบคทีเรียเกิดได้อย่างทั่วถึง การบำบัดน้ำเสียจึงมีประสิทธิภาพมากกว่าระบบ UASB และสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้มากกว่าเป็น 2 เท่าของระบบเดิม (Frankin *et al*., 2001) ระบบ EGSB แสดงในภาพที่ 2.6



ที่มา: ประทิน และคณะ (2549)

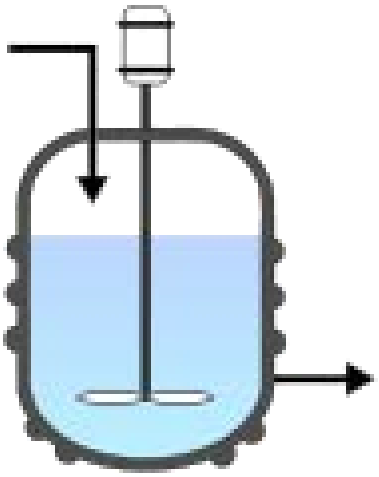
รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบหลักของถังปฏิกรณ์แบบ Expanded Granular Sludge Bed (EGSB)

4.1.3 ระบบก๊าซชีวภาพบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Covered Lagoon) ระบบบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศ หรือ “โคเวอร์ลากูน” เป็นบ่อคงตัวที่ถูกออกแบบไว้ในการเก็บกักของเสียและผลิตก๊าซมีเทน ทั้งนี้เป็นระบบที่ต้นทุนการก่อสร้างต่ำ ไม่ต้องดูแลมาก มักนิยมใช้ในฟาร์มที่มีการเลี้ยงเป็นระบบ มีการล้างคอกปศุสัตว์แบบฉีดล้าง ทำให้ปริมาณของแข็งที่ออกมากับน้ำทิ้งมีปริมาณต่ำคือน้อยกว่าร้อยละ 2 ซึ่งช่วยลดปัญหาการอุดตันในบ่อหมัก โดยบ่อดัง กล่าวอาจดัดแปลงมาจากบ่อกักเก็บของเสียที่มีอยู่แล้วในแต่ละฟาร์มหรือขุดขึ้นใหม่ก็ได้ ดังรูปที่ 2.7 จะแสดงตัวอย่างระบบก๊าซชีวภาพแบบบ่อปิดไม่ใช้อากาศ

ที่มา: ประทิน และคณะ (2549)

รูปที่ 2.7 **ระบบก๊าซชีวภาพแบบบ่อปิดไม่ใช้อากาศ (ก)** Partial Cover **(ข) Bank to Bank cove**

4.1.4 ระบบก๊าซชีวภาพแบบถังกวนสมบูรณ์ (Continuously Stirred Tank Reactor, CSTR) ระบบถังกวนสมบูรณ์แบบไม่ใช้อากาศนั้นเป็นการเรียกตามลักษณะภายในถังที่ความเข้มข้นของสารละลายเท่ากันทุกจุด (Completely mixed) บางครั้งเรียกว่าถังปฏิกรณ์แบบกวนต่อเนื่องก็ได้ ซึ่งลักษณะของถังปฏิกรณ์จะแสดงดังรูปที่ 2.8 ถังปฏิกรณ์แบบนี้ถือเป็นถังปฏิกรณ์อุดมคติ (Ideal reactor) แบบหนึ่งและเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่เก่าแก่ที่สุดด้วย



ที่มา: ประทิน และคณะ (2549)

รูปที่ 2.8 Completely Stirred Tank Reactor (CSTR)

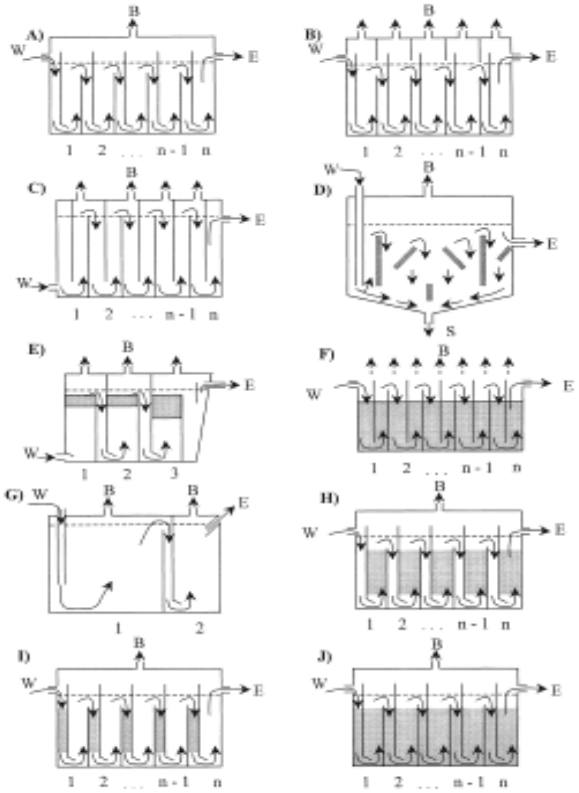
4.1.5 ระบบก๊าซชีวภาพแผ่นกั้นแบบไร้อากาศ (Anaerobic Baffle Reactor; ABR) ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศนี้มีลักษณะถังปฏิกรณ์เป็นรางยาว มีแผ่นกั้น (Vertical baffle) กั้นถังปฏิกรณ์ออกเป็นห้องๆ น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบจะถูกบังคับให้เคลื่อนที่วนขึ้นลงในแนวตั้งตามแผ่นกั้น

ทำให้สัมผัสกับจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในแต่ละห้อง ซึ่งชนิดของจุลินทรีย์ในแต่ละห้องจะต่างกันไปตามชนิดและองค์ประกอบของสารอาหารในแต่ละห้อง ดังรูปที่2.9 จะแสดงระบบ Anaerobic Baffle Reactor แบบต่างๆ ซึ่งถังปฏิกรณ์แบบแผ่นกั้นนี้เหมาะกับน้ำเสียที่ความเข้มข้นและสารแขวนลอยไม่สูงมากนัก เนื่องจากจะเกิดการสะสมของตะกอนแขวนลอยบริเวณด้านหน้าของแผ่นกั้น ทำให้กีดขวางการไหลของน้ำเสียได้ ประสิทธิภาพของระบบจึงลดต่ำลงได้ ตารางที่ 2.6 แสดงข้อดีของระบบก๊าซชีวภาพแบบแผ่นกั้นแบบไร้อากาศ

ตารางที่ 2.6 ข้อดีของระบบเอบีอาร์

แง่มุมที่พิจารณา	จุดเด่น
การก่อสร้าง	- ออกแบบและก่อสร้างง่าย ต้นทุนก่อสร้างต่ำ - ไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ ติดตั้งง่าย - ไม่ต้องการใช้เครื่องมือกลในการกวนผสม - ไม่มีปัญหาการอุดตัน
จุลินทรีย์	- เกิดสลัดจ์ในปริมาณน้อย - SRT สูง - ไม่ต้องการอุปกรณ์แยกจุลินทรีย์เพิ่มเติม
การควบคุมระบบ	- HRT ต่ำ - มีเสถียรภาพสูง ค่าดำเนินการต่ำ - ทนต่อ Shock Load และ Toxic Waste ได้ดี

ที่มา: Barber and Stuckey (1999)



ที่มา: Barber and Stuckey (1999)

รูปที่ 2.9 ระบบ Anaerobic Baffle Reactor แบบต่าง ๆ

4.2 <u>ระบบก๊าซชีวภาพแบบจุลินทรีย์ยึดเกาะ (Attached growth system)</u>

4.2.1 ระบบก๊าซชีวภาพแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ (Anaerobic Fixed Film; AFF)

4.2.2 ระบบก๊าซชีวภาพแบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter; AF) ทั้ง 2 ระบบนี้มีลักษณะคล้ายกันตรงที่มีการใส่วัสดุตัวกลาง (Media) เพื่อให้จุลินทรีย์ยึดเกาะและเจริญเติบโตอยู่ในถังปฏิกรณ์แต่แตกต่างกันที่ลักษณะของการบรรจุวัสดุตัวกลาง ซึ่งส่งผลให้ลักษณะของจุลินทรีย์ในระบบแตกต่างกันด้วย ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงกล่าวถึงทั้ง 2 ระบบพร้อมกัน

ถังปฏิกรณ์แบบตรึงฟิล์มมีลักษณะเด่นที่มีการบรรจุวัสดุตัวกลางอย่างเป็นระเบียบ มีระยะห่าง (Orderly pack) มีการไหลของน้ำเสียสม่ำเสมอ โดยวัสดุตัวกลางที่ใช้เช่น เชือกไนลอน ตาข่าย เป็นต้น โดยการบรรจุวัสดุตัวกลางลักษณะนี้ทำให้จุลินทรีย์ในระบบส่วนใหญ่เจริญเติบโตแบบยึดเกาะบนผิววัสดุตัวกลาง (Surface attachment) ซึ่งแตกต่างจากระบบถังกรองไร้อากาศ ในถังกรองไร้อากาศนี้มีการบรรจุวัสดุตัวกลางในลักษณะไม่สม่ำเสมอ (Random packed) ทำให้ระยะห่างและช่องว่างระหว่างตัวกลางไม่สม่ำเสมอด้วย ดังนั้นการไหลของน้ำเสียภายในทั้งถังปฏิกรณ์จึงไม่เหมือนกัน จุลินทรีย์ในถังกรองไร้อากาศมีทั้งที่เจริญเติบโตแบบยึดเกาะบนผิววัสดุ

ตัวกลาง แต่ส่วนใหญ่เจริญเติบโตแบบที่แขวนลอยอยู่ในสารละลายระหว่างช่องว่างของวัสดุตัวกลาง ดังนั้นเมื่อป้อนน้ำเสียเข้าระบบน้ำเสียจะไหลผ่านชั้นของจุลินทรีย์คล้ายการกรองจึงเรียกถังแบบนี้ว่า ถังกรองไร้อากาศ นอกจากนี้การจัดเรียงวัสดุที่แตกต่างกันยังส่งผลถึงการทำงานและเสถียรภาพของระบบในระยะยาวด้วย อย่างไรก็ตามบางครั้งนิยมเรียกทั้งสองระบบนี้รวมๆ กันว่าระบบ ตรึงฟิล์ม (Fixed film) มีทั้งที่ป้อนน้ำเสียจากด้านล่างของถังปฏิกรณ์ (Up flow anaerobic fixed film) และป้อนจากด้านบน (Down flow anaerobic fixed film) โดยระบบที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันนี้คือระบบที่ป้อนน้ำเสียจากด้านล่างของถังปฏิกรณ์เนื่องจากลดปัญหาการอุดตันลงได้มาก

4.2.3 ระบบก๊าซชีวภาพแบบฟลูอิดไดซ์เบต (Anaerobic Fluidized Bed)

ระบบนี้ มีลักษณะคล้ายคลึงกับระบบถังกรองแบบไร้อากาศตรงที่มีน้ำไหลจากด้านล่างของถังขึ้นสู่ด้านบนจัดเป็นระบบตรึงฟิล์ม (Fixed Film) แบบไม่ใช้อากาศที่มีสารตัวกลางขนาดเล็กเท่าเม็ดทรายเป็นที่จับเกาะของแบคทีเรีย ดูรูปที่ 2.10

ที่มา: Barber and Stuckey (1999)

รูปที่ 2.10 ระบบก๊าซชีวภาพแบบฟลูอิดไดซ์เบต (Anaerobic Fluidized Bed)

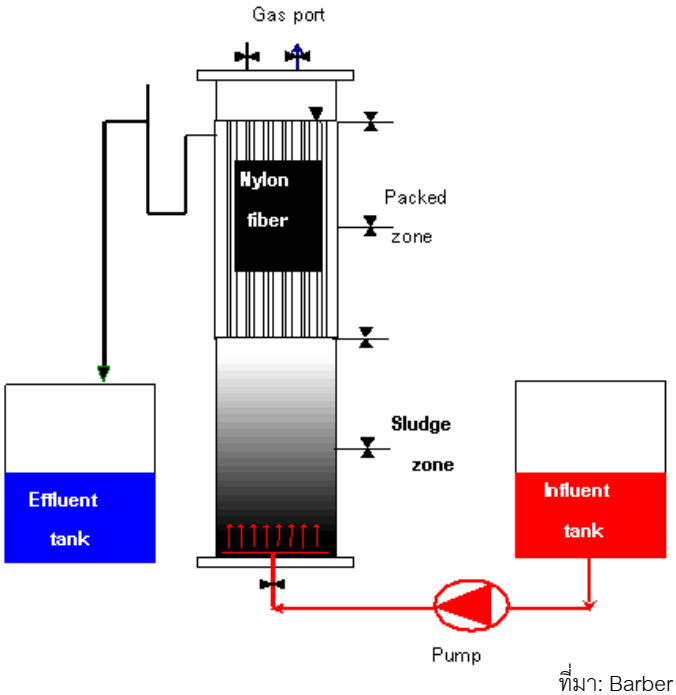
อัตราไหลของน้ำเสียจะต้องสูงมากจนกระทั่งทำให้มีการลอยตัวของสารตัวกลาง โดยวัสดุตัวกลางที่มีการทดลองใช้ในระดับห้องปฏิบัติการได้แก่ ทราย แอนทราไซต์ ถ่านกัมมันต์ เป็นต้น การใช้สารตัวกลางขนาดเล็ก (เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเครื่องกรองไม่ใช้อากาศ) ทำให้ระบบนี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะ (คิดต่อหน่วยปริมาตร) สูงมาก ซึ่งเท่ากับการมีแบคทีเรียจำนวนมหาศาลอยู่ในระบบ อัตราเร็วในการบำบัดน้ำเสียของระบบนี้จึงสูงมาก ถังปฏิกิริยาที่ใช้ในระบบจึงอาจมีขนาดเล็กกว่าระบบอื่นๆ อย่างไรก็ตามลักษณะการทำงานซึ่งต้องทำให้สารตัวกลางลอยตัวตลอดเวลาก่อ ให้เกิดปัญหาในการ

ออกแบบ และควบคุมระบบหลายอย่างและต้องสิ้นเปลืองพลังงานในการทำให้สารตัวกลางลอยตัวสูงกว่าระบบอื่นๆ ระบบเช่นนี้จึงยังไม่ได้รับความนิยม

4.3 ระบบก๊าซชีวภาพแบบจุลินทรีย์ผสม (Hybrid Growth System)

ระบบก๊าซชีวภาพแบบลูกผสมนี้ หมายถึง ระบบบำบัดน้ำเสียที่รวมจุลินทรีย์ซึ่งเจริญเติบโตทั้ง 2 ลักษณะคือจุลินทรีย์แขวนลอย (Suspended Growth) และจุลินทรีย์แบบยึดเกาะ (Attached Growth) ไว้ในถังปฏิกรณ์เดียวกันและให้หมายความรวมถึงระบบถังปฏิกรณ์แบบ 2 ขั้นตอน (Two-stage System) หรือระบบถังปฏิกรณ์ร่วม (Combination System) เช่น CSTR ร่วมกับ AFF หรือ UASB เป็นต้น

ระบบแบบนี้ ได้มีการพัฒนาขึ้นมาเพื่อลดข้อจำกัดของถังปฏิกรณ์แบบเดิม โดยเป็นการรวมเอาจุลินทรีย์ทั้ง 2 ลักษณะทั้งแขวนลอยและยึดเกาะบนตัวกลางเข้ามาไว้ในถังปฏิกรณ์เดียวกัน โดยมี จุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตในลักษณะแขวนลอยในส่วนล่างของถังปฏิกรณ์ โดยเรียกเฉพาะว่าชั้นตะกอน (Sludge Bed) และในส่วนบนมีการติดตั้งวัสดุตัวกลางสำหรับจุลินทรีย์ยึดเกาะและเจริญเติบโตซึ่งเรียกว่าชั้นตัวกลาง (Packed Bed) ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีลักษณะดังกล่าวนี้ ได้แก่ ระบบบำบัด น้ำเสียไร้อากาศแบบลูกผสม (Anaerobic Hybrid Reactor; AHR) ดังแสดงในรูปที่ 2.11 เป็นต้น



ที่มา: Barber and Stuckey (1999)

รูปที่ 2.11 ลักษณะของระบบก๊าซชีวภาพแบบ Anaerobic Hybrid Reactor

ตารางที่ 2.7 แสดงแหล่งของเสีย/น้ำเสียที่มีการใช้งานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพแบบต่างๆในประเทศไทย จะเห็นได้ว่าแบบยูเอเอสบีสามารถนำไปใช้ในแหล่งของเสียได้หลากหลายรูปแบบ ส่วนแบบโคเวอร์ลากูนจะเน้นไปทางฟาร์มสุกรเป็นส่วนมาก

ตารางที่ 2.7 แหล่งของเสีย/น้ำเสียที่มีการใช้งานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ

น้ำเสีย	UASB	AFF	ACL	CSTR	ABR
สุกร	104		300-400		
สัตว์ปีก	1				
แปรรูปสัตว์	1				
โรงฆ่าสัตว์	10				
แป้งข้าว/เส้นก๋วยเตี๋ยว	4	1	1		
ผลไม้/อาหารกระป๋อง	7				
แป้งมันสำปะหลัง	23	4	3		5
สุรา/เบียร์/แอลกอฮอล์	20	3			
อาหารทะเลแช่แข็ง	10				
ลูกอม/กลูโคส	2				
น้ำตาล	1				
ยางพารา	1				
น้ำมันปาล์ม				5	
ปิโตรเคมี	1				
กระดาษ	2				
อื่นๆ	2				1
ขยะชุมชน	0			2	
รวม	189	8	300-400	7	6

ที่มา: ประทิน และคณะ (2549)

5. แหล่งชีวมวลเพื่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

ชีวมวลคือสารอินทรีย์ทุกรูปแบบที่ได้จากสิ่งมีชีวิต และรวมถึงของเสียจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม การเกษตรและป่าไม้ ของเสียจากการเลี้ยงสัตว์ ของเสียจากโรงงานแปรรูปทางการเกษตร ขยะและน้ำเสียจากชุมชน มีรายละเอียดดังนี้

5.1 วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (Agricultural waste and wastewater)

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหลักที่สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพได้ต้องมีองค์ประกอบที่สามารถ ย่อยสลายทางชีวภาพด้วยจุลินทรีย์ได้ ได้แก่มูลสัตว์ (Animal waste) โดยประเทศไทยมีการเลี้ยงสัตว์มากที่สำคัญ ได้แก่ สุกร มูลโค ทั้งโคเนื้อและโคนม กระบือ ไก่ เป็ด โดยในมูลสัตว์เหล่านี้มีองค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้

5.2 น้ำเสียอุตสาหกรรม (Industrial wastewater)

โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมที่เกี่ยวเนื่องกับการเกษตรและเกษตรแปรรูป ซึ่งมีของเสียที่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ปริมาณมาก น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพสูงในการนำมาผลิตก๊าซชีวภาพเช่น อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง โรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม อุตสาหกรรมอาหารทะเลกระป๋องและแช่เยือกแข็ง โรงฆ่าสัตว์ เป็นต้น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2548)

5.3 ขยะและน้ำเสียชุมชน (Solid waste and Domestic wastewater) ใน

ปี พ.ศ. 2543 กรมควบคุมมลพิษรายงานปริมาณขยะที่จัดเก็บได้ประมาณ 13.9 ล้านตัน ซึ่งมีปริมาณขยะรวมทั้งในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล เขตเทศบาล เมืองพัทยาและนอกเขตเทศบาลทั่วประเทศ ซึ่งขยะชุมชนทั่วไปมีองค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้มากกว่า 60% ทำให้สามารถนำมาผลิตก๊าซชีวภาพได้อีกแหล่งหนึ่ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) สำหรับน้ำเสียชุมชนนั้น แม้มีปริมาณการเกิดต่อปีมาก แต่ความสกปรกของสารอินทรีย์ต่ำ ซึ่งต่ำกว่า 100 มก./ล. ทำให้ไม่นิยมนำมาใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยในประเทศไทยระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนทั้งหมดเป็นแบบใช้อากาศ

6. การประเมินปริมาณและคุณภาพก๊าซชีวภาพทางทฤษฎี

การประเมินก๊าซชีวภาพทางทฤษฎีเป็นการคำนวณหาแนวโน้มของก๊าซชีวภาพที่จะเกิดขึ้นหรือใช้คัดเลือกพืชที่จำทำการทดลองเบื้องต้นการประเมินก๊าซส่วนใหญ่จะได้จากการทดลองส่วนการคำนวนทางทฤษฎีจะคำนวนจากองค์ประกอบของสารอินทรีย์

การประมาณปริมาณและคุณภาพของก๊าซที่ถูกสร้างขึ้นในการอบอย่างถูกวิธีต่อหน่วยของต้นพืชใช้น้ำหนักพืช 100 lb เป็นเกณฑ์ ซึ่งสันนิษฐานได้ว่า พืชประกอบด้วยองค์ประกอบหลายชนิดดังแสดงได้ในตารางที่ 1 และมีความชื้นเป็น 25%

ขั้นที่ 1 การหาปริมาณของพืชที่เป็นอินทรียวัตถุในสภาพแห้ง ที่ได้จากกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน ซึ่งสมมติให้ความชื้นมีความสัมพันธ์กับส่วนประกอบของอินทรียวัตถุดังนี้

น้ำหนักของอินทรีย์สารในสภาพแห้ง, lb = 79 lb – (100 x 0.25)

= 54 lb

ขั้นที่ 2 การหาปริมาณของการหมักซึ่งสมมติให้ว่าพืชอยู่ในระยะที่เหมาะสม คือ ช่วงที่พืชมีค่า Dry matter สูงสุด และย่อยสลายได้ภายในเวลา 2 สัปดาห์ ซึ่งสลายไปได้กว่า 50% และหัวเชื้อสลายไปด้วยกว่า 75% ซึ่งจะได้ผลดังนี้

การย่อยสลายในสภาพแห้ง, lb = (15+40+4+(0.75x12)+(0.5x2))lb x0.95x 54lb / 79 lb

= 44.8 lb

ขั้นที่ 3 จากสูตรที่ใช้เป็นกรดสำหรับกระบวนการหมัก สมมติให้ว่าอินทรีย์สารสามารถอธิบายได้ด้วยสูตร $C_aH_bO_cN_d$ (สัมประสิทธิ์ประมาณได้จากข้อมูลในตารางที่ 2.8) ถ้าค่าที่ใกล้เคียงถูกใช้ไปและเถ้าถ่านที่มีอยู่ตัดทิ้งไปจำนวน % ที่เป็นส่วนประกอบของอินทรีย์สารจะเป็นดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.8 จำนวนเปอร์เซ็นต์ที่เป็นส่วนประกอบของอินทรียสาร

ธาตุ	%	โมล
C	49	4.08 (49/12)
H	6	6 (6/1)
O	44	2.75 (44/16)
N	1	0.0714 (1/14)

เมื่อที่สภาวะสมดุล ไนโตรเจน (N) มีค่าเป็น 1 ดังนั้นสูตรสำหรับพืชคือ $C_{57.1}H_{84}O_{38.5}N$

ขั้นที่ 4 จากสูตรขั้นที่ 3 สามารถใช้หาปริมาณของมีเทนและคาร์บอนออกไซด์โดยใช้สมการดังนี้

$$C_aH_bO_cN_d + \left(\left(\frac{4a-b-2c+3d}{4}\right)\right)H_2O \longrightarrow$$

$$\left(\left(\frac{4a+b-2C-3d}{8}\right)\right)CH_4 + \left(\left(\frac{4a-b+c+3d}{8}\right)\right)CO_2 + dNH_3$$

จากขั้นที่ 3 สัมประสิทธิ์คือ

a = 57.1 b = 84 C = 38.5 d = 1

ดังนั้น สมการที่ได้ คือ

$C_{57.1}H_{84}O_{38.5}N + 17.6\ H_2O \longrightarrow 29.05\ CH_4 + 28.05CO_2 + NH_3$

(1399.2) (316.8) (464.8) (1234.2) (17)

ขั้นที่ 5 การหาน้ำหนักของมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ จากสมการที่ได้ในขั้นที่ 4

มีเทน = (464.8 / 1399.2) x (44.8 lb)

= 14.9 lb (6.8 kg)

คาร์บอนไดออกไซด์ = (1,234.2 / 1399.2) x (44.8 lb)

= 39.5 lb

ขั้นที่ 6 การเปลี่ยนน้ำหนักของก๊าซ (ที่กำหนดในขั้นที่ 5) ไปเป็นปริมาตรซึ่งสมมติได้ว่าความหนาแน่นของมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ ตามลำดับ

มีเทน = (14.9 lb)/(0.0448 lb/ft^3)

= 333 ft^3

คาร์บอนไดออกไซด์ = (39.5 lb) / (0.1235 lb/Ft^3)

= 320 ft^3 (9.1 m^3)

ขั้นที่ 7 หาเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบของก๊าซผสม

มีเทน (%) = (333 ft^3) / (653 ft^3) x100

= 51 %

คาร์บอนไดออกไซด์ (%) = 49 %

ขั้นที่ 8 หาปริมาณของก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดตามทฤษฎีต่อหน่วยของน้ำหนัก

คิดจากน้ำหนักของอินทรียสาร (จากขั้นที่ 1)

(653 ft^3) / 54 lb = 12.1 ft^3/lb

คิดจาก 100lb ของพืช

(653 ft^3) / 100 lb = 6.5 ft^3/lb (0.41 m^3/kg)

อธิบายการคำนวณค่าตามทฤษฎีสำหรับปริมาณทั้งหมดของก๊าซต่อปอนด์ของอินทรีย์สารและต่อปอนด์ของพืชนั้นเป็นสิ่งที่เหมาะกับข้อมูลที่รายงานไว้ในการทดลองดังกล่าวเท่านั้นแต่ปริมาณจริงๆแล้วที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์นั้นมีน้อยมากซึ่งอัตราที่ถูกสร้างขึ้นจะแตกต่างกันแล้วแต่สภาพของท้องถิ่นนั้นๆ โดยเฉพาะความชื้น

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การผลิตก๊าซชีวภาพ

พุทธิธร (2544) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพแบบผสมผสานโดยการหมักแบบใช้และไม่ใช้อากาศเข้าด้วยกันโดยใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ที่ C/N ratio 50, 100 และ 150 เพื่อนำอัตราส่วน C/N ratio ที่เหมาะสมในการให้ค่า ความร้อนที่สูงและให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานมาใช้ประโยชน์ในการผลิตก๊าซชีวภาพแบบ Thermophilic ส่วนที่สองเป็นการศึกษาปริมาณและคุณภาพก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการหมัก แบบผสมผสาน ผลการศึกษาในส่วนแรกพบว่า อัตราส่วน C/N ratio ที่ 150 ให้ความร้อนสูงที่สุด โดยอยู่ในช่วง 60-80°C ส่วนคุณภาพก๊าซพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ในด้านคุณภาพก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวันซึ่งจะเห็นได้ว่ากระบวนการหมักจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของ C ต่อ N ดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่นำมาผลิตก๊าซชีวภาพ

เศษวัสดุทางการเกษตร	(% Total solids)	volatile solids(% of total)% of T.S.	C (%)	N (%)	C /N
เศษต้นข้าวโพด	86	92	43.9	1.2	56.6
ฟางข้าว	89	79	35.7	0.7	51.0
แกนฝักข้าวโพด	82	96	49.9	1.0	49.9
เปลือกถั่ว	90	95.5	52.7	1.7	31.0
หญ้า(cogon)	-	92.8	-	1.07	-
ชานอ้อย	-	95.5	-	0.40	-

ที่มา: Felix Maramba, (1978)

การศึกษาผลของระยะเวลาการหมักที่มีผลต่อการผลิตกรดอินทรีย์จากกากสับปะรดบด ที่มีระยะเวลาการหมัก 1 และ 2 วัน ส่วนที่สองเป็นการศึกษาความเหมาะสมของการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งพิจารณาได้จากอัตราการเติมสารอินทรีย์ที่สูง มีระยะเวลาการหมักสั้น และผลิตก๊าซมีเทนต่อหน่วยกรัมซีโอดีที่ถูกทำลายได้สูงสุด พบว่าการทดลองที่มีระยะเวลาการหมัก 2 วัน มีสัดส่วนการหมักน้อยกว่าการทดลองที่มีระยะเวลาการหมัก 1 วัน ถึงครึ่งหนึ่ง ในขณะที่ทั้งสองชุด การทดลองมีอัตราการผลิตกรดอินทรีย์ระเหย และ ซีโอดี ได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

อวัสดา (2544) ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาเก็บกัก (Hydraulic Retention Time, HRT) อัตราการป้อนอินทรีย์สาร (Organic Loading Rate, OLR) และความถี่ ในการเติมของเหลวต่อประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์สารและปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ในการย่อยสลายเศษอาหารด้วยระบบถังหมักไร้อากาศพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์สารมีค่าเพิ่ม ขึ้นเมื่อมี HRT มากขึ้น (OLR น้อยลง) และความถี่ในการเติมของเหลวมากขึ้น

C/N ratio จะมีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ เมื่อเปรียบเทียบ C/N ratio สิ่งปฏิกูลจากครัวเรือน ดังแสดงในตารางที่ 2.10 จะเห็นได้ว่าสัดส่วนของครัวเรือนมีค่าน้อยกว่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ดังแสดงในตารางที่ 2.9 และ เมื่อเปรียบเทียบ C/N ratio ของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร กับ C/N ratio ของมูลสัตว์ ดังตารางที่ 2.11 จะเห็นได้ว่า C/N ratio ของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีค่ามากกว่าของมูลสัตว์

ตารางที่ 2.10 สิ่งปฏิกูลจากบ้านเรือน

สิ่งปฏิกูล	(% Total solids)	volatile solids(% of total)% of T.S.	C (%)	N (%)	C /N
มูลคน	15	90	47.7	7.1	6.72
ห้องครัว	31	92	54.3	1.9	28.60

ที่มา: Felix Maramba, 1978.

ปรีชา (2545) ศึกษาวิเคราะห์ต้นทุนราคาไฟฟ้าที่ผลิตจากก๊าซชีวภาพ โดยวิธี Exergy costing ทั้งกรณีรวมและไม่รวมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ใช้ฟาร์มสุกร 4 แห่งที่มีขนาดระบบผลิตก๊าซชีวภาพ 1,000-5,000 ลูกบาศก์เมตร และมีขนาดระบบผลิตไฟฟ้า 37-138 กิโลวัตต์ เป็นกรณีศึกษา พบว่าต้นทุนราคาไฟฟ้าขึ้นกับปัจจัย 2 ประการคือ อัตราส่วนขนาดระบบผลิตไฟฟ้าต่อระบบผลิตก๊าซชีวภาพและจำนวนชั่วโมง เดินเครื่องต่อวันต้นทุนราคาไฟฟ้าจะมีค่าลดลงหากฟาร์มสุกรมีอัตราส่วนขนาดระบบผลิตไฟฟ้าต่อระบบผลิตก๊าซชีวภาพและจำนวนชั่วโมงเดินเครื่องต่อวันมากขึ้น

ตารางที่ 2.11 มูลสัตว์ที่นำมาผลิตก๊าซชีวภาพ

มูลสัตว์	(% Total solids)	volatile solids(% of total)% of T.S.	C (%)	N (%)	C /N
หมูเลี้ยง	25	80.7	38.3	2.8	13.7
ควาย	15	80.5	37.0	1.6	23.1
วัวนม	16	77	35.8	1.8	19.9
ไก่	48	77.4	35.7	3.7	9.65
เป็ด	53	23.6	21.7	0.8	27.4
สุนัข	30	81.8	33.7	5.0	6.74

ที่มา: Felix Maramba, (1978)

ชยันต์ (2545) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร โดยใช้กระบวนการย่อยสลาย แบบไร้อากาศสองขั้นตอนที่มีการไหลวนกลับของน้ำเสีย ได้ทำการศึกษาผลของอัตราการไหลวนน้ำระหว่างถังปฏิกรณ์ทั้ง 2 ถัง และความหนา ของชั้นมูลสุกรในถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ การศึกษาผลของปริมาตรน้ำโดยทดลองที่อัตราการไหลวนน้ำ พบว่าการเพิ่มปริมาตรน้ำในการไหลวนจะช่วยเพิ่มให้มีการพาสารอินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ไปกำจัดในถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนได้มากขึ้น ทำให้เกิดก๊าซมีเทนในถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนได้มากขึ้น การย่อยสลายสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

Thomas *et al*. (2006a) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และมูลโคนม อิทธิพลของส่วนประกอบของชีวมวลต่อการเกิดมีเทน พบว่าในส่วนของมูลโคนมจะขึ้นอยู่กับการควบคุมอาหารสัตว์ และในหมักโดยผสมข้าวโพดหรือเศษเหลือจากข้าวโพดหรือซังข้าวโพดจะทำให้ก๊าซมีเทนลดน้อยลง

Thomas *et al*. (2006b) ศึกษาการผลิตมีเทนจากการหมักจากการปลูกพืชหมุนเวียนข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ อ้อย และทานตะวันดังตารางที่ 2.12 พบว่าพืชพลังงาน พืชที่เหมาะกับการหมัก จะต้องพิจารณาเชิงเศรษฐศาสตร์ของปริมาณมีเทนในการผลิตก๊าซมีเทนโดยจะต้องรู้องค์ประกอบของสารอาหารของพืช ช่วงอายุของพืช และการเก็บเกี่ยว

ตารางที่ 2.12 ปริมาณของผลผลิตพืชและปริมาณการผลิตก๊าซมีเทนของการปลูกพืชหมุนเวียน รวมกับพืชอาหาร พืชอาหารสัตว์ และการผลิตพืชพลังงาน

year	Crop	Biomass yield (t /ha)	Specific CH_4 Yield (l/kg)	CH_4 Yield per Hectare (m^3/(ha-a))	
				Crop only	Crop rotation
1	Maize (whole crop silage)	15.12	390	5897	1179
2	Winter wheat (straw)	2.44	189	1028	206
	Intercrop(clover grass)	2.71	335	906	181
3	Summer barley(straw)	3.81	189	720	144
4	Sugar beet (leaves)	7.20	210	1512	302
	Pressed beet pulp silage	14.36	430	6173	1235
5	Sunflower(whole crop silage)	11.02	300	3300	660
	Intercrop(lucerne)	3.61	335	1208	242
Methane yield of the whole crop rotation					4149

ที่มา: Thomas *et al*. (2006b)

2. <u>สถานภาพชีวมวลของประเทศไทย</u>

ที่ผ่านมาได้มีการนำเสนอตัวเลขผลการประเมินศักยภาพเชื้อเพลิงชีวมวลของประเทศไทยจากหลายหน่วยงาน เช่น กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และ มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (มพส.) ส่วนใหญ่จะใช้หลักเกณฑ์และขั้นตอนการประเมินที่คล้ายคลึงกัน คือ ทำการศึกษาข้อมูลสถิติทางการเกษตร เพื่อจะทำให้ทราบถึง พื้นที่เพาะปลูก พื้นที่เก็บเกี่ยว ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ ของพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ จากแหล่งข้อมูลต่างๆ เช่น ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร และทำการศึกษาสัดส่วนเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่อผลผลิตเฉลี่ยในแต่ละพืช (Crop Residue Ration, CRR) เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรคงเหลือที่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการความร้อนและ/หรือ ผลิตกระแสไฟฟ้าได้

2.1 <u>ข้าว</u>

ข้าวเป็นพืชตระกูลหญ้า (Gramineae หรือ Poaceae) ที่สามารถปรับตัวให้เจริญได้ในสภาพแวดล้อมตั้งแต่เส้นรุ้งที่ 53 องศาเหนือจนถึง 35 องศาใต้ ที่ระดับน้ำทะเลจนถึงที่สูง 2600 เมตร ที่พื้นที่แห้งจนถึงสภาพน้ำลึก 6 เมตร แหล่งปลูกข้าวของโลกกว่าร้อยละ 90 อยู่ในแถบเอเชีย ซึ่งส่วน

ใหญ่บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ปัจจุบันมีข้าวทั้งหมด 23 ชนิด แต่เป็นข้าวปลูกเพื่อบริโภคเพียง 2 ชนิด คือ Oryza glaberrima steud เป็นข้าวปลูกของแอฟริกา และ Oryza sativa L เป็นข้าวปลูกในเอเชีย ข้าวปลูกในทวีปเอเชียสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2542) คือ Indica มีแหล่งปลูกในเขตร้อนของทวีปเอเชีย เช่นไทย อินเดีย พม่า ฟิลิปปินส์ เวียดนาม ลำต้นสูง แตกกอมาก ใบกว้าง ลำต้นอ่อน เมล็ดเรียว ยาวหรือยาวปานกลาง ร่วงง่าย Japonica ปลูกในเขตอบอุ่น เช่น จีนตอนบน เกาหลี ญี่ปุ่น เป็นพันธุ์ต้นเตี้ย แตกกอปานกลาง ใบแคบ ลำต้นแข็งแรง เมล็ดป้อม เป็นข้าวนุ่มเหนียว ทนต่อสภาพหนาวเย็น และ Javanica ปลูกเป็นส่วนน้อยในประเทศอินโดนีเซียและพม่า เป็นข้าวลักษณะกึ่ง Indica และ Japonica คือต้นสูง แตกกอน้อย ลำต้นแข็งแรง เมล็ดค่อนข้างป้อม ร่วงยาก

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งการปลูกข้าวโดยอาศัยสภาพน้ำบนผิวดินเป็นเกณฑ์ได้ 3 ประเภทคือ

- ข้าวไร่ (Upland rice หรือ Hill rice) เป็นการปลูกในสภาพนา ไร่ ที่ดอน ตามไหล่เขาหรือที่สูง ไม่มีน้ำขัง บริเวณที่ปลูกมักไม่มีคันนา อาศัยน้ำฝนเป็นหลัก (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2542) ใช้วิธีปลูกด้วยการหยอด โรย หรือหว่านเมล็ดแห้งลงในดินในที่นาดอนหรือไหล่เขาข้าวมีความสูงปานกลางถึง สูงมากประมาณ 130-150 ซม. (จำรัส, 2534)

- ข้าวนาสวน (Lowland rice) ปลูกที่ราบลุ่มทั่วไป มีน้ำขังเพียงเล็กน้อยไม่ลึกมาก ประมาณ 5-50 ซม. ทำให้เป็นประโยชน์ในการควบคุมวัชพืชในนามีพันธุ์ข้าวที่หลากหลาย ความสูงตั้งแต่ 100-200 ซม. (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2542) แบ่งออกได้เป็น ข้าวนาชลประทาน (Irrigated lowland rice) ไม่มีปัญหาการควบคุมน้ำเนื่องจากสามารถให้น้ำได้และ ข้าวนาน้ำฝนอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก (จำรัส, 2534) ข้าวที่ปลูกลักษณะนี้แบ่งออกได้เป็น ข้าวนาดำ เป็นข้าวที่ปลูกด้วยการเพาะต้นอ่อนของข้าวแล้วนำไปถอนย้ายกล้าไปปลูกในนา และข้าวนาหว่าน เป็นการหว่านเมล็ดข้าวในนาโดยตรง ไม่มีการเพาะกล้าข้าวก่อน แบ่งเป็น การหว่านข้าวแห้ง (หว่านสำรวย) คือการหว่านเมล็ดข้าวที่แห้งลงในนาที่มีพื้นที่แห้งโดยตรง และหว่านน้ำตมเป็นการเพาะเมล็ดข้าวให้เริ่มงอกแล้วนำไปหว่านในนาที่มีน้ำขังหรือหว่านในโคลน (จำรัส, 2534)

- ข้าวขึ้นน้ำหรือข้าวฟางลอย (Floating rice) ใช้ปลูกในสภาพที่มีระดับน้ำสูงเกิน 50 ซม. หากมีระดับน้ำสูงไม่เกิน 1 เมตร เรียกข้าวทนน้ำลึก แต่หากมีระดับน้ำสูง 1-3 เมตร เรียกข้าวขึ้นน้ำ ความสูงของข้าวจะเปลี่ยนแปลงไปตามระดับน้ำ (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร 2542) ข้าวชนิดนี้สามารถทนต่อน้ำท่วมหรือจมอยู่ใต้น้ำได้อย่างน้อย 1 สัปดาห์หรือยืดปล้องได้ตามการเพิ่มของระดับน้ำ ข้าวมีลักษณะที่สำคัญ คือจะยืดปล้องเมื่ออายุได้ 4-6 สัปดาห์เพื่อให้ส่วนยอดพ้นเหนือน้ำ จัดเป็น

พวกต้นสูงถึงสูงมาก ตั้งแต่ 1.2-3 เมตร หากมีน้ำขังลึกมาก ลำต้นอาจมีความสูงถึง 5-6 เมตร (จำรัส, 2534)

2.1.1 การปลูกข้าวในประเทศไทย พื้นที่เพาะปลูกข้าวในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 4 ภาคตามสภาพพื้นที่ ได้แก่

2.1.1.1 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีลักษณะเป็นที่ราบสูง ความแปรปรวนของปริมาณฝนสูง ดินร่วนปนทรายทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรดินและการเก็บกักน้ำต่ำ เหมาะสำหรับการปลูกพืชไร่ แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากพื้นที่เพาะปลูกกว้างขวางแต่ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ จึงทำให้มีการใช้พื้นที่เพื่อการปลูกข้าวซึ่งเป็นพืชที่ทนทานต่อความแห้งแล้งคิดเป็นสัดส่วนมากกว่าภาคอื่นๆ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่เพาะปลูกข้าว 32,889,291 ไร่ คิดเป็น 57.03% ของพื้นที่เพาะปลูกข้าวทั้งประเทศ

2.1.1.2 ภาคเหนือมีความอุดมสมบูรณ์ของดินและแหล่งน้ำดีกว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือ บริเวณภาคเหนือตอนล่างซึ่งเป็นที่ราบลุ่มเป็นแหล่งปลูกข้าวที่สำคัญ ในขณะที่บริเวณภาคเหนือตอนบนซึ่งเป็นเทือกเขามีการปลูกข้าวสำหรับบริโภคบ้างแต่ไม่มาก ภาคเหนือมีพื้นที่เพาะปลูกข้าว 12,765,319 ไร่ คิดเป็น 22.14% ของทั้งประเทศ

2.1.1.3 ภาคกลาง พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่ม มีระบบชลประทานดีกว่าภาคอื่น เป็นแหล่งปลูกข้าวที่สำคัญเพื่อการค้าใหญ่ที่สุดของประเทศ ข้าวที่ปลูกเป็นข้าวชนิดไม่ไวต่อช่วงแสงทำให้สามารถปลูกข้าวได้ 2-3 ครั้งในแต่ละปี ในพื้นที่ลุ่มบางแห่งที่มีน้ำท่วมขังในฤดูฝนจะทำการปลูกข้าวขึ้นน้ำ (หน่วยงานธุรกิจเกษตร, 2540) ภาคกลางมีพื้นที่เพาะปลูกข้าว 9,874,489 ไร่ คิดเป็น 17.12% ของทั้งประเทศ

2.1.1.4 ภาคใต้มีพื้นที่ปลูกข้าวน้อยกว่าภาคอื่น เนื่องจากสภาพภูมิอากาศเหมาะต่อการปลูกไม้ยืนต้นชนิดอื่น นอกจากนี้ภาคใต้ยังเป็นแหล่งเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจสำคัญชนิดอื่น ได้แก่ ยางพารา และปาล์มน้ำมัน ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีสูงทำให้ประสบปัญหาขณะเก็บเกี่ยว ภาคใต้มีพื้นที่เพาะปลูกข้าว 2,137,444 ไร่ คิดเป็น 31.71% ของทั้งประเทศ

2.1.2 ปริมาณวัสดุเหลือทิ้งของข้าวในประเทศไทย ข้าวมีพื้นที่เพาะปลูกทั่วประเทศทั้งสิ้นประมาณ 57 ล้านไร่ (18% ของพื้นที่ประเทศ) โดยมีผลผลิตในรูปข้าวเปลือก 28.5-30.2 ล้านตัน/ปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552) เศษวัสดุเหลือใช้ คือ แกลบ ฟางข้าว/ตอซัง ซึ่งเป็นเศษวัสดุที่ได้จากการสีข้าว และการเก็บเกี่ยว ตามลำดับ

2.1.3 ศักยภาพเศษวัสดุการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร

การเพาะปลูกข้าวนั้นมีทั้งแบบนาปีและนาปรังโดยการปลูกข้าวนาปีนั้นจะมีอยู่ในทุกภาคของประเทศ แต่สำหรับการเพาะปลูกข้าวนาปรังนั้นส่วนใหญ่มักจะทำกันในที่ ที่มีน้ำเพียงพอต่อการทำการเกษตรหรืออยู่ในเขตชลประทานโดยพื้นที่ในการเพาะปลูกในปี พ.ศ. 2546 สามารถแยกออกเป็นพื้นที่เพาะปลูก นาปีได้ประมาณ 57,175,222 ไร่ และพื้นที่นาปรัง ประมาณ 9,431,931ไร่ และรวมทั้งหมดมีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 66,607,153 ไร่

สำหรับแกลบ จะเกิดขึ้นจากกระบวนการสีข้าวในโรงสี มีสัดส่วนต่อผลผลิตที่ 0.16-0.23 และมีค่าความร้อนประมาณ 14 MJ/kg ปัจจุบันถูกจำหน่ายเพื่อใช้ประโยชน์ เช่น เป็นเชื้อเพลิงและปูพื้นฟาร์มเลี้ยงไก่ ในราคา 800-1,000 บาท/ตัน หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าในโรงสีเอง จึงสรุปได้ว่าปริมาณคงเหลือที่นำมาใช้ได้นั้นมีน้อยมาก (~0) ส่วน ฟางข้าว ซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ในนาข้าวนั้นมีสัดส่วนฟางข้าวต่อผลผลิตอยู่ที่ 0.45-1.19 และมีค่าความร้อนประมาณ 14 MJ/kg การใช้ประโยชน์จากฟางข้าวนั้นมีหลากหลาย เช่น ใช้เป็นอาหารสัตว์ ใช้ทำปุ๋ย คลุมดิน เพาะเห็ด ฯลฯ นอกจากนี้พื้นที่เพาะปลูกข้าวประมาณ 60% จะมีการเผาฟางข้าวเนื่องจากปัญหาทางด้านการเตรียมพื้นที่ในฤดูกาลปลูกต่อไป ทำให้มีฟางข้าวเหลือทิ้ง ประมาณ 40% นอกจากนี้พบว่า ตอซังส่วนใหญ่จะไม่มีการขนย้ายออกนอกแปลงปลูกเนื่องจากเป็นการคืนความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน ซึ่งมีความจำเป็นมากสำหรับเกษตรกร อย่างไรก็ดีพบว่าในส่วนของต่อซังที่อยู่เหนือพื้นดิน ประมาณ 60% จะถูกเผาไปพร้อมกับการเผาฟางข้าว รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะฟางข้าวที่หลงเหลืออยู่ในนา จากการเก็บเกี่ยวด้วยรถเกี่ยวนวดข้าว

ที่มา: วรพจน์ และคณะ (2553)

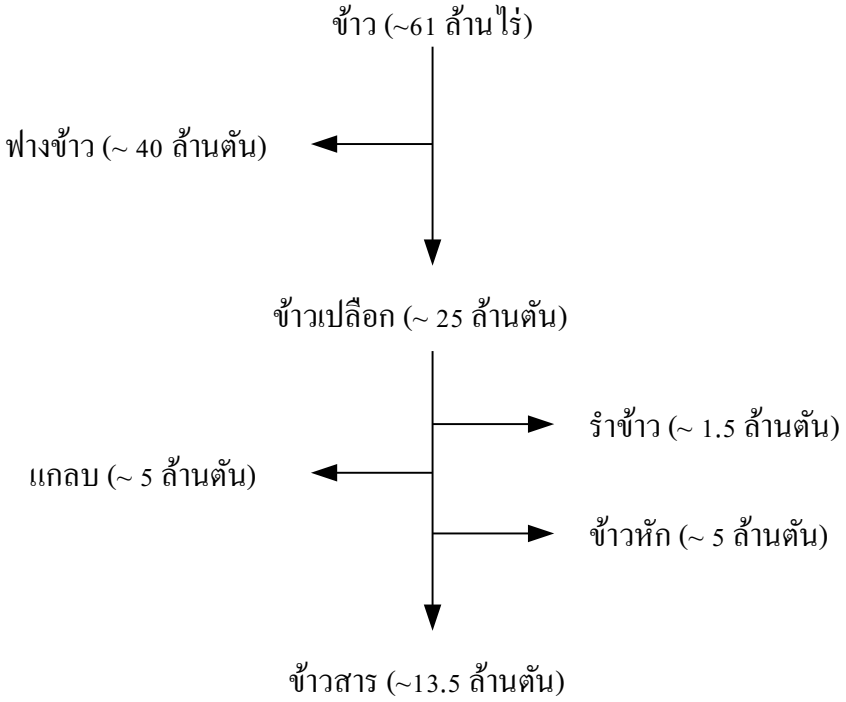
รูปที่ 2.12 ลักษณะฟางข้าวที่หลงเหลืออยู่ในนา จากการเก็บเกี่ยวด้วยรถเกี่ยวนวดข้าวและลักษณะเหง้ามันสำปะหลัง ที่อยู่ในแปลง จากการขุดมันสำปะหลังด้วยแรงงานคน

วิไล และคณะ,(2546) ศึกษาสถานภาพของวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตรและการใช้ประโยชน์โดยออกสำรวจภาคสนามพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปรังและโรงสีข้าวในเขตจังหวัดราชบุรี เพชรบุรี และปทุมธานี พบว่า พื้นที่เก็บเกี่ยวข้าว 1 ไร่ จะให้ฟางข้าวประมาณ 640 กิโลกรัมต่อไร่ ได้ข้าวเปลือกประมาณ 700 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อนำข้าวเปลือกไปขัดสี จะได้ข้าวสาร 50-60% แกลบ 20-25% รำข้าว 6-10% และข้าวหัก 10-20% นอกจากนี้คณะผู้ทำการวิจัยได้ทดลองสุ่มตัวอย่างข้าวจากเกษตรกรในพื้นที่ 3 จังหวัดดังกล่าว นำมานวดและขัดสีด้วยเครื่อง SATAKE ข้าวสารที่ได้และผลพลอยได้ในแต่ละขั้นตอน ได้แก่ ฟางข้าว แกลบ รำข้าวและข้าวหัก นำมาชั่งน้ำหนัก ผลการทดลองและแผนภาพผลิตผลพลอยได้จากข้าวในประเทศไทยแสดงในตารางที่ 2.13 และรูปที่ 2.13 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่ได้จากการสอบถามโรงสีข้าว

ตารางที่ 2.13 น้ำหนักของผลิตภัณฑ์และผลพลอยได้ที่ได้จากการสีข้าวที่สุ่มตัวอย่าง

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (%)*
ต้นข้าว	100
ฟางข้าว	72.9±1.6
ข้าวเปลือก	27.1±1.6
แกลบ	5.2±0.7
รำข้าว	1.8±0.5
ข้าวหัก	3.8±2.8
ข้าวสาร	8.9±0.1

* เป็นค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างข้าวที่สุ่มจากพื้นที่เพาะปลูกข้าวจังหวัดปทุมธานี ราชบุรี และเพชรบุรี และสีด้วยเครื่อง SATAKE



ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2544)

รูปที่ 2.13 สมดุลมวลของผลิตภัณฑ์และผลพลอยได้จากข้าวต่อปี

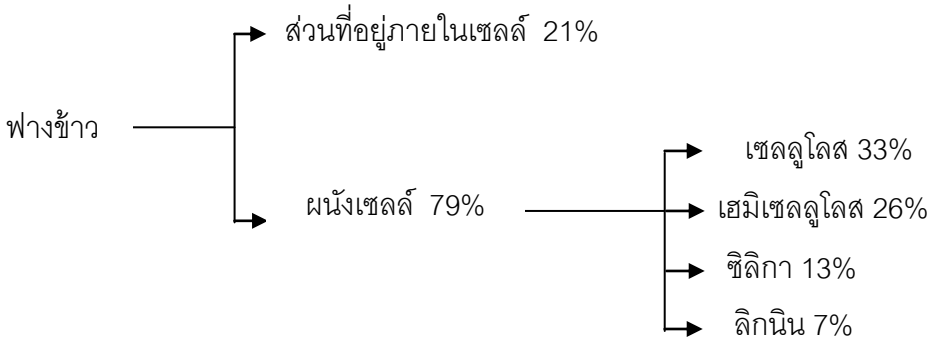
(ก) ฟางข้าวภายหลังเก็บเกี่ยว

(ข) กองฟางข้าวที่ชาวนารวบรวม

(ค) กองฟางข้าวที่ชาวนาเผาทิ้ง

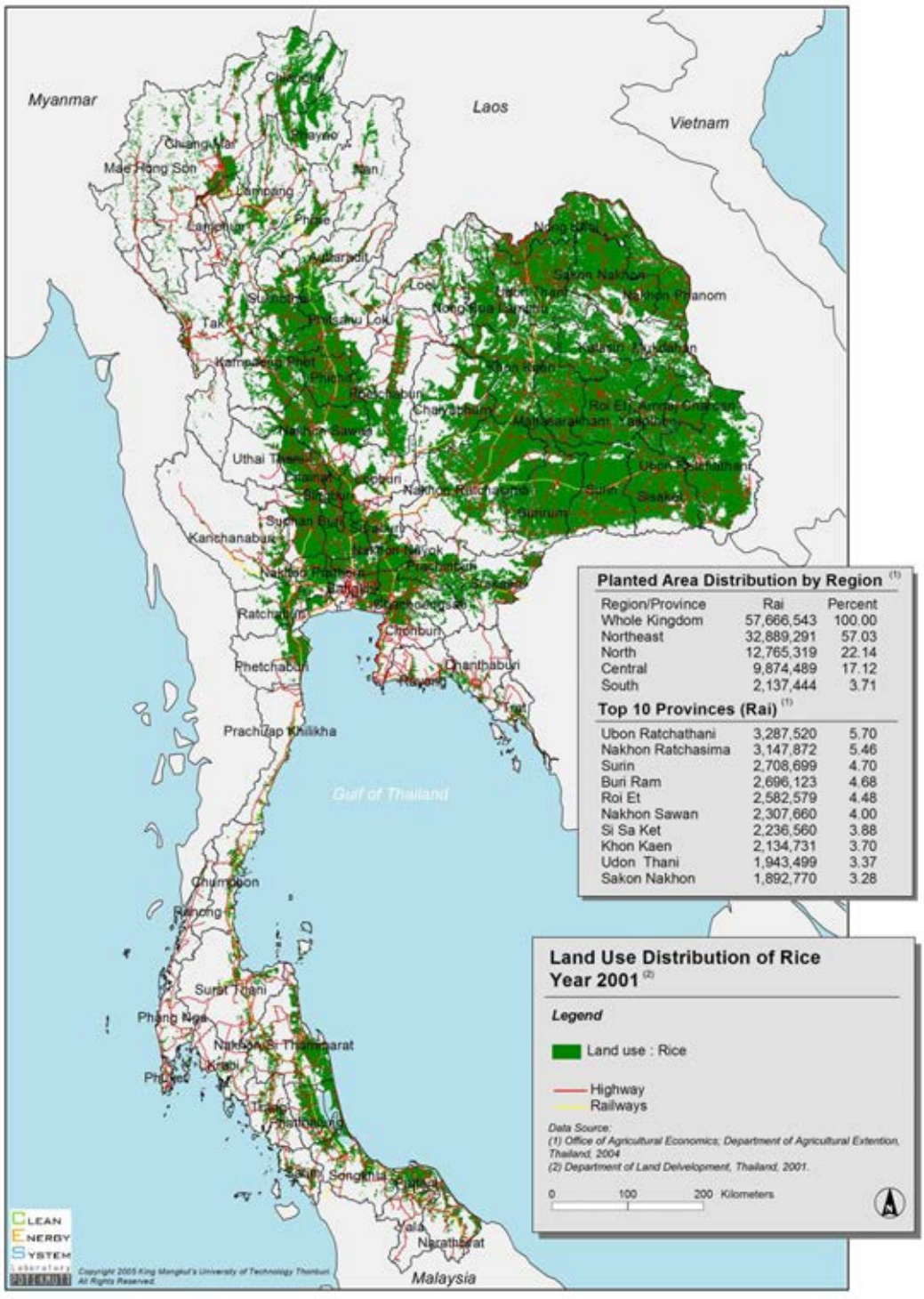
รูปที่ 2.14 การจัดการกองฟางข้าวที่เหลือใช้ของชาวนา

ฟางข้าวเป็นส่วนของต้นและรวงข้าวภายหลังจากการนวดเอาเมล็ดข้าวออกแล้ว มีสีน้ำตาล ฟางข้าวประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ผนังเซลล์และส่วนที่อยู่ภายในผนังเซลล์ ส่วนผนังเซลล์ซึ่งมีอยู่มากถึง 79% จะประกอบด้วยพอลิเมอร์โครงสร้าง เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ซิลิกา และลิกนิน ในปริมาณ 33% 26% 13% และ 7% ตามลำดับ (Jackson, 1977)



ที่มา: Jackson, 1977

รูปที่ 2.15 **ส่วนประกอบพอลิเมอร์ในโครงสร้างของฟางข้าว**



รูปที่ 2.16 พื้นที่เพาะปลูกข้าวในปี พ.ศ.2544

ที่มา: [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2554)

[2] กรมพัฒนาที่ดินและอนุรักษ์พลังงาน (2544)

ประมวลผลโดยนักวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

จากการสำรวจทางแผนที่ภูมิศาสตร์พบว่าประเทศไทยมีการกระจายตัวของพื้นที่ในการเพาะปลูกในปี พ.ศ. 2544 ทั่วประเทศดังแสดงในรูปที่ 2.16

ตารางที่ 2.14 และ ตารางที่ 2.15 แสดงสถิติย้อนหลัง10 ปี ของพื้นที่เพาะปลูกและพื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวนาปีและข้าวนาปรัง ตามลำดับ

ตารางที่ 2.14 ผลผลิตข้าวนาปี พื้นที่เพาะปลูกและพื้นที่เก็บเกี่ยวข้าว10 ปีย้อนหลัง

ปี พ.ศ.	ผลผลิต (พันตัน/ปี)	พื้นที่เพาะปลูก(พันไร่)	พื้นที่เก็บเกี่ยว(พันไร่)
2544	22,410	57,838	54,931
2545	21,566	56,908	50,852
2546	23,142	56,972	54,218
2547	22,650	57,652	53,727
2548	23,539	57,774	54,034
2549	22,840	57,542	53,500
2550	23,308	57,386	53,892
2551	23,236	57,422	54,385
2552	23,253	57,497	54,747
2553	24,344	62,784	57,199

ที่มา:สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2554)

ตารางที่ 2.15 ผลผลิตข้าวนาปรัง พื้นที่เพาะปลูกและพื้นที่เก็บเกี่ยวข้าว10 ปีย้อนหลัง

ปี พ.ศ.	ผลผลิต (พันตัน/ปี)	พื้นที่เพาะปลูก(พันไร่)	พื้นที่เก็บเกี่ยว(พันไร่)
2544	6,056	8,717	8,694
2545	5,624	8,434	8,353
2546	6,426	9,533	9,483
2547	6,332	9,432	9,306
2548	5,888	8,914	8,729
2549	6,753	9,903	9,872
2550	6,802	10,074	10,032
2551	8,791	12,801	12,789
2552	8,415	12,402	12,387
2553	8,863	15,233	14,887

ที่มา:สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2554)

พื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปีและเนื้อที่เก็บเกี่ยวมากที่สุด 10 อันดับแรกของประเทศไทย แสดงดังในตารางที่ 2.16

ตารางที่ 2.16 พื้นที่เพาะปลูกนาปีและเนื้อที่เก็บเกี่ยวข้าวมากที่สุด 10 อันดับแรกของประเทศไทยปี พ.ศ.2553

จังหวัด	เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่)	เนื้อที่เก็บเกี่ยว (ไร่)
รวมทั้งประเทศ	57,497,441	54,747,389
อุบลราชธานี	3,211,548	3,017,295
นครราชสีมา	3,157,659	3,047,922
บุรีรัมย์	2,758,051	2,649,762
สุรินทร์	2,737,085	2,652,162
ร้อยเอ็ด	2,627,410	2,526,206
นครสวรรค์	2,424,854	2,199,725
ศรีสะเกษ	2,279,189	2,179,593
ขอนแก่น	2,257,267	2,132,795
อุดรธานี	1,862,594	1,814,387
สกลนคร	1,820,835	1,764,534

ที่มา : สำนักเศรษฐกิจการเกษตร (2553)

พื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปรังและเนื้อที่เก็บเกี่ยวมากที่สุด 10 อันดับแรกของประเทศไทย แสดงดังในตารางที่ 2.17

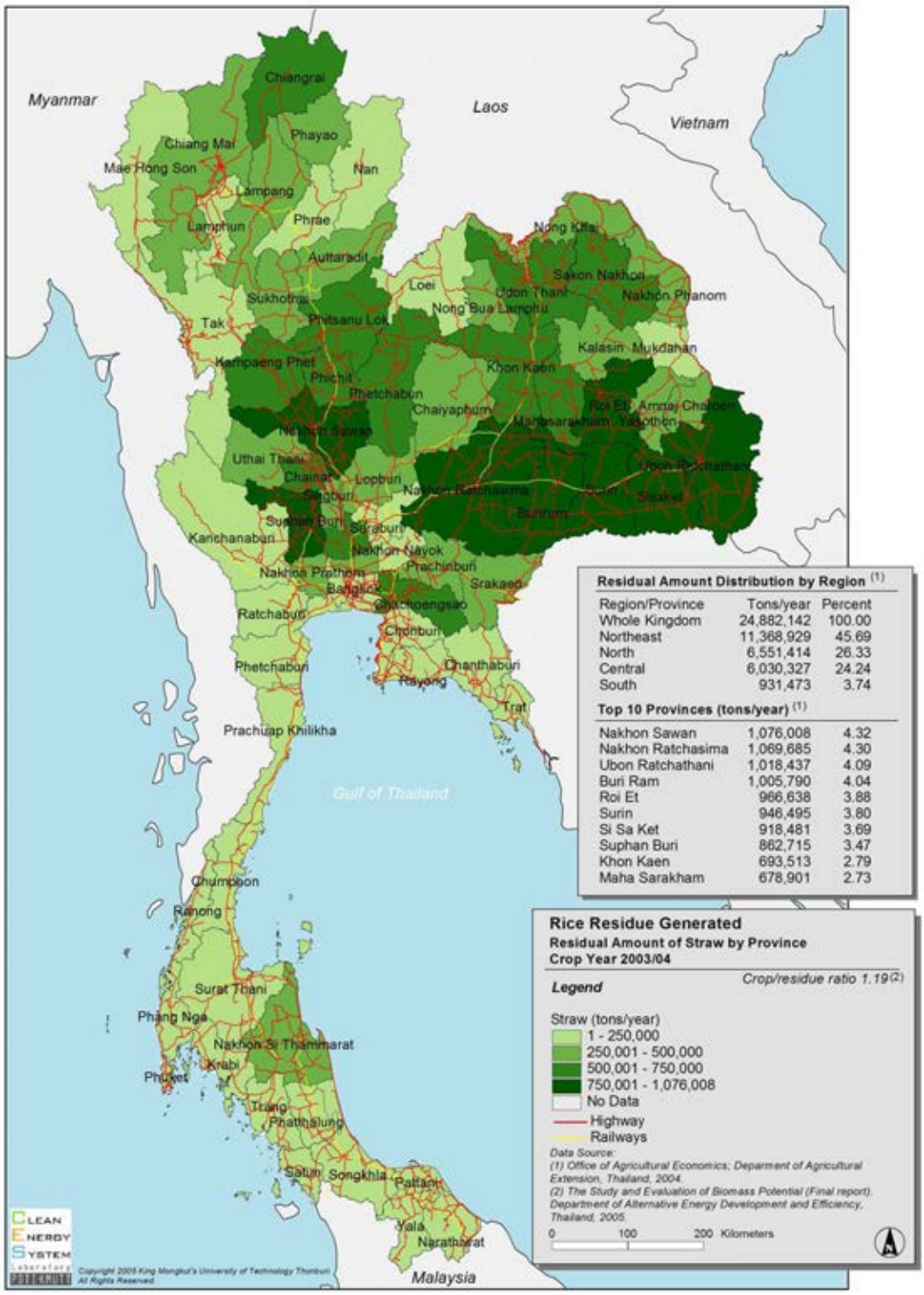
ตารางที่ 2.17 เนื้อที่เพาะปลูกนาปรังและเนื้อที่เก็บเกี่ยวข้าวมากที่สุด 10 อันดับแรกของประเทศไทย ปี พ.ศ.2553

จังหวัด	เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่)	เนื้อที่เก็บเกี่ยว (ไร่)
รวมทั้งประเทศ	15,222,514	14,886,325
นครสวรรค์	1,018,372	982,790
สุพรรณบุรี	1,023,436	998,520
พิจิตร	931,341	921,255
พิษณุโลก	912,825	885,372
กำแพงเพชร	804,452	781,148
อยุธยา	729,576	729,125
ชัยนาท	597,977	596,183
สุโขทัย	591,096	584,170
นครราชสีมา	447,853	413,134
เชียงราย	445,675	444,377

ที่มา : สำนักเศรษฐกิจการเกษตร (2553)

จากการศึกษาสัดส่วนเศษวัสดุต่อผลผลิตที่รวบรวมได้จากวรรณกรรมปริทัศน์สามารถแยกวัสดุที่เหลือทางการเกษตรได้ 2 ประเภทคือ แกลบ และ ฟางซึ่งจากข้อมูลสถิติการเกษตรของประเทศไทย สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร เมื่อนำมาคำนวณจากสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิตเป็นวัสดุชีวมวล เพื่อประมาณปริมาณชีวมวลที่ผลิตได้ทั้งประเทศได้ แต่งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่ฟางข้าวเหลือทิ้งอยู่ในแปลงของเกษตรกรโดยในปีเพาะปลูก 2546/47 มีปริมาณผลผลิตข้าวทั้งประเทศ 20,909,363 ตัน จะมีปริมาณวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นจากข้าวโดยเกิดขึ้นฟางประมาณ 24,882,142 ตัน คิดเป็นสัดส่วนฟางประมาณร้อยละ 108 ตามลำดับ ซึ่งฟาง ที่เกิดขึ้นจากปริมาณผลผลิตข้าวในพื้นที่เพาะปลูก 10 จังหวัดที่มีปริมาณผลผลิตข้าวมากที่สุด 10 อันดับแรกของประเทศ

จากปริมาณผลผลิตดังกล่าวข้างต้นสามารถแสดงได้ในลักษณะแผนที่ทางภูมิศาสตร์ในส่วนของฟางที่เกิดขึ้นจากพื้นที่เพาะปลูกข้าวทั้งประเทศสามารถแสดงในภาพที่ 2.17



รูปที่ 2.17 อันดับการเกิดฟางมากที่สุด 10 อันดับของจังหวัดทั่วประเทศ

ที่มา: [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2544)

ประมวลผลโดยนักวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ฤดูกาลช่วงการเก็บเกี่ยวชีวมวลจากนาข้าวนาปี และนาข้าวนาปรังตามภาคต่างๆ ดังแสดงใน รูปที่ 2.18

ภาค	ชีวมวล	วัสดุเหลือใช้	เดือน													
			ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.
เหนือ	ข้าวนาปี	แกลบ														
		ฟาง														
	ข้าวนาปรัง	แกลบ														
		ฟาง														
กลาง	ข้าวนาปี	แกลบ														
		ฟาง														
	ข้าวนาปรัง	แกลบ														
		ฟาง														
ตะวันออกเฉียงเหนือ	ข้าวนาปี	แกลบ														
		ฟาง														
	ข้าวนาปรัง	แกลบ														
		ฟาง														
ตะวันออก	ข้าวนาปี	แกลบ														
		ฟาง														
	ข้าวนาปรัง	แกลบ														
		ฟาง														
ใต้	ข้าวนาปี	แกลบ		ตะวันตก												
								ตะวันออก								
		ฟาง		ตะวันตก												
								ตะวันออก								
	ข้าวนาปรัง	แกลบ							ตะวันตก							
												ตะวันออก				
		ฟาง								ตะวันตก						
												ตะวันออก				

รูปที่ 2.18 ปฏิทินการเก็บเกี่ยวข้าวนาปี ข้าวนาปรัง

ที่มา: มูลนิธิพลังงานและสิ่งแวดล้อม (2554)

จะสังเกตได้ว่า การเก็บเกี่ยวผลผลิตด้วยรถที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวแล้ว เศษวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรที่เป็นฟางนั้นจะถูกพ่นไว้บนพื้นที่เพาะปลูกและหากจะเก็บต้องทำหลังจากเก็บฟาง

ภายในไม่เกิน 3 สัปดาห์ สำหรับการทำนาปรัง เนื่องจากต้องทำการเตรียมดินสำหรับการเพาะปลูกในรอบต่อไป ฉะนั้น หากไม่สามารถหารถที่จะทำการเก็บเกี่ยวฟางได้ทันตามเวลาที่กำหนด เกษตรกรส่วนใหญ่ จึงนิยมเผาทิ้งเพราะฟางที่อยู่บนไร่นานั้น จะไปบดบังแสงแดดที่ช่วยในการงอกของข้าวในรอบใหม่

2.2 <u>มันสำปะหลัง</u>

มันสำปะหลังมีพื้นที่เพาะปลูกทั้งสิ้นประมาณ 7.5 ล้านไร่ (2% ของพื้นที่ประเทศ) โดยมากกว่า 50% ของพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมดอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ผลผลิตในรูปหัวมันโดยเฉลี่ยในปัจจุบันอยู่ที่ 26.4 ล้านตัน/ปี โดยมีอัตราเพิ่มขึ้นประมาณ 3 ล้านตัน/ปี จากสถิติปี พ.ศ. 2548-2550 เศษวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นในโรงงานแป้งมันสำปะหลัง คือ กากมันสำปะหลัง เปลือกมันสำปะหลัง ในสัดส่วน 0.13 และ 0.03 ตามลำดับ ปัจจุบันมีการนำไปใช้ประโยชน์สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ ในส่วนของกากมันสำปะหลัง สำหรับเปลือกมันสำปะหลังทั้งหมด 100% มีการนำไปใช้ในการผลิตปุ๋ยหมักและเพาะเห็ด ทั้งนี้จึงทำให้มีเศษวัสดุเหลือใช้ที่อยู่ในแปลง คือ เหง้ามันสำปะหลังในสัดส่วน 0.09-0.19 ซึ่งมีค่าความร้อน 16 MJ/kg ที่ยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ หรือคงเหลือ 100% สามารถนำมาใช้ผลิตความร้อนและไฟฟ้าได้ ภาพที่ 2.10 แสดงลักษณะเหง้ามันสำปะหลังที่อยู่ในแปลง จากการขุดมันสำปะหลังด้วยแรงงานคน

2.2.1 การปลูกมันสำปะหลังในประเทศไทย

มันสำปะหลังมีชื่อเรียกแตกต่างกันตามรากศัพท์ภาษาอังกฤษ ฝรั่งเศส สเปน โปรตุเกส เช่น Cassava, Tapioca, Manioc, Mandioca และ Yuca จัดเป็นพืชใบเลี้ยงคู่ในวงศ์ Euphobiaceae โดยชนิดที่ปลูกเป็นการค้าทั่วโลกนั้นมีเพียงชนิดเดียวคือ *Manihot esculenta* Crantz (เดิมมีการใช้ชื่อว่า *Manihot utilissima* Pohl) มันสำปะหลังที่ปลูกในแหล่งปลูกทั่วโลกและในประเทศไทย แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ ชนิดหวาน (Sweet type) เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำ ไม่มีรสขม ใช้เพื่อการบริโภคของมนุษย์ มีทั้งชนิดเนื้อร่วนนุ่มและชนิดเนื้อเหนียวแน่น ไม่มีการปลูกเป็นพื้นที่ใหญ่ๆ เนื่องจากมีตลาดจำกัด ในประเทศไทยมี 3 พันธุ์ ได้แก่ มันสวน มันห้านาทีหรือก้านแดง และระยอง 2 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่กรมวิชาการเกษตรปรับปรุงขึ้น และชนิดขม (Bitter type) เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์สูง เป็นพิษและมีรสขมไม่เหมาะสำหรับการบริโภคของมนุษย์หรือใช้หัวสดเลี้ยงสัตว์โดยตรง แต่เนื่องจากมีปริมาณแป้งสูง จึงนิยมใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปต่าง ๆ เช่น แป้งมัน มันอัดเม็ด และแอลกอฮอล์ ดังตาราง 2.18 จะแสดงพันธุ์มันสำปะหลังเพื่ออุตสาหกรรมที่ปลูกในประเทศไทย

ตารางที่ 2.18 พันธุ์มันสำปะหลังเพื่ออุตสาหกรรมที่แนะนำให้ปลูกในประเทศไทย

พันธุ์	ปีที่ได้รับรองพันธุ์	พันธุ์พ่อแม่ที่ผสม	ลักษณะเด่น
ระยอง 1	2518	พันธุ์พื้นเมือง	ผลผลิตสูง, ปรับตัวได้ดี
ระยอง 3	2526	Mmex 55 x Mven 307	ปริมาณแป้งสูง, ไซยาไนด์ต่ำ
ระยอง 5	2537	27-77-10 x ระยอง 3	ผลผลิตสูง, ปริมาณแป้งสูง, ปรับตัวได้ดี
ระยอง 60	2530	Mcol 1684 x ระยอง 1	เก็บเกี่ยวได้เร็ว, ผลผลิตสูง
ระยอง 90	2534	CMC76 x V43	ปริมาณแป้งสูง, ผลผลิตสูง
ศรีราชา 1	2533	MKU2-162 x ระยอง 1	ผลผลิตสูง, ปริมาณแป้งสูง, ปรับตัวได้ดี
เกษตรศาสตร์ 50	2535	ระยอง 1 x ระยอง 90	ผลผลิตสูง, ปริมาณแป้งสูง, ปรับตัวได้ดี

ที่มา: กรมส่งเสริมการเกษตร (2537)

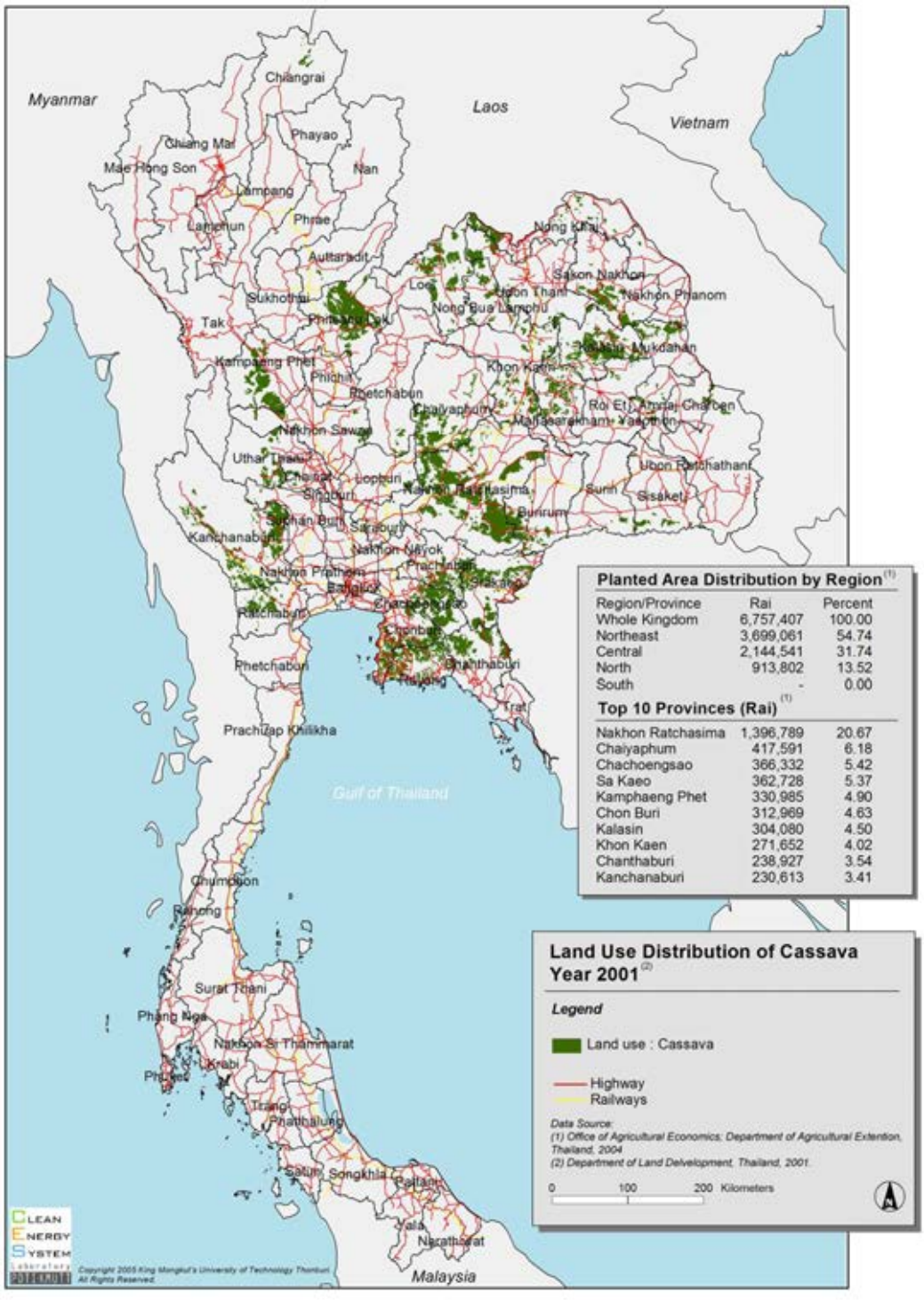
สำหรับประเทศไทย แหล่งผลิตมันสำปะหลังที่สำคัญในประเทศ มีรายละเอียดดังนี้

2.2.1.1 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา ขอนแก่น ชัยภูมิ กาฬสินธุ์

2.2.1.2 ภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดสระแก้ว กำแพงเพชร

2.2.1.3 ภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดชลบุรี ระยอง จันทบุรี และฉะเชิงเทรา

จากข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดิน ข้อมูลการกระจายเชิงภูมิศาสตร์ของพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังของประเทศไทย ปี 2544 แสดงได้ดังภาพที่ 2.19



รูปที่ 2.19 พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังของประเทศไทย ปี พ.ศ.2544

ที่มา : [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2544)

[2] กรมพัฒนาที่ดินและอนุรักษ์พลังงาน (2544)

ประมวลผลโดยนักวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

จากการศึกษาสถิติผลผลิต พื้นที่เพาะปลูกและพื้นที่เก็บเกี่ยวมันสำปะหลังย้อนหลัง 10 ปี ตั้งแต่ปี 2544 – 2553 จะเห็นได้ว่าผลผลิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.19

ตารางที่ 2.19 ผลผลิต พื้นที่เพาะปลูกและพื้นที่เก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง ปี 2544-2553

ปี พ.ศ.	พื้นที่เพาะปลูก(พันไร่)	พื้นที่เก็บเกี่ยว(พันไร่)	ผลผลิต (พันตัน/ปี)
2544	6,918	6,558	18,396
2545	6,224	6,176	16,868
2546	6,435	6,386	19,718
2547	6,757	6,608	21,440
2548	6,524	6,162	16,938
2549	6,933	6,693	22,584
2550	7,623	7,339	26,916
2551	7,750	7,397	25,566
2552	8,584	8,292	30,088
2553	7,563	7,303	22,006

ที่มา : สำนักเศรษฐกิจการเกษตร (2553)

จากการศึกษา และรวบรวมข้อมูล พื้นที่เพาะปลูกและพื้นที่เก็บเกี่ยวมันสำปะหลังมากที่สุด 10 อันดับแรกของ ประเทศไทย ปี 2553 แสดงดังในตารางที่ 2.20

ตารางที่ 2.20 พื้นที่เพาะปลูกและพื้นที่เก็บเกี่ยวมันสำปะหลังมากที่สุด 10 อันดับแรกของประเทศไทย ปี 2553

จังหวัด	เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่)	เนื้อที่เก็บเกี่ยว (ไร่)
รวมทั้งประเทศ	7,562,792	7,302,839
นครราชสีมา	1,804,213	1,758,626
กำแพงเพชร	536,385	516,369
สระแก้ว	376,549	362,150
ชัยภูมิ	371,793	363,839
ชลบุรี	295,761	287,833
กาญจนบุรี	292,600	283,282
กาฬสินธุ์	291,652	281,795
นครสวรรค์	288,265	277,660
ฉะเชิงเทรา	267,182	259,252
จันทบุรี	246,946	237,713

ที่มา : สำนักเศรษฐกิจการเกษตร (2553)

2.2.2 ชีวมวลที่ได้จากมันสำปะหลังที่รวบรวมได้จากเอกสารปริทัศน์สามารถจำแนกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรก คือ เหง้ามันสำปะหลัง และส่วนที่สองคือ ลำต้น (ยอดและใบ) ซึ่งจากข้อมูลสถิติการเกษตรของประเทศไทย สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร เมื่อนำมาคำนวณจากสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิตเป็นวัสดุชีวมวล เพื่อประมาณปริมาณชีวมวลที่ผลิตได้ทั้งประเทศได้ ดังนี้

2.2.2.1 เหง้ามันสำปะหลังในปีเพาะปลูก 2546/47 มีปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังทั้งประเทศ 21,440,487 ตันจะมีปริมาณวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นจากมันสำปะหลัง (เหง้ามันสำปะหลัง) เกิดขึ้นประมาณ1,951,084 ตัน (ตารางที่ 2.21) ซึ่งได้แสดงรายละเอียดเหง้ามันสำปะหลังที่เกิดขึ้นจากปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังในพื้นที่เพาะปลูก 10 จังหวัดที่มีปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังมากที่สุด 10 อันดับแรกของประเทศ ซึ่งจากภาพที่ 2.19 แสดงให้เห็นปริมาณการกระจายตัวของเหง้ามันสำปะหลังที่เกิดขึ้นจากพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังทั้งประเทศ

2.2.2.2 ลำต้น (ยอดและใบ) ในปีเพาะปลูก 2546/47 มีปริมาณการผลิตมันสำปะหลังทั้งประเทศ 21,440,487 ตัน พบว่า มีปริมาณวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นจากมันสำปะหลังในส่วนของลำต้น (ยอดและใบ) เกิดขึ้นประมาณ 2,594,299 ตัน ดังแสดงในตารางที่ 2.22 ซึ่งได้แสดงรายละเอียดแยกรายจังหวัดที่มีปริมาณมันสำปะหลังมาก 10 อันดับแรก นอกจากนี้ การกระจายตัวของปริมาณมันสำปะหลังที่เกิดขึ้นในเชิงภูมิศาสตร์แสดงดังภาพที่ 2.19

ปริมาณปริมาณเนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิตและวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นจากมันสำปะหลัง 10 อันดับแรกของไทย ปี พ.ศ.2553 แสดงดังในตารางที่ 2.21 จะเห็นได้ว่า นครราชสีมามีเนื้อที่เพาะปลูกและปริมาณเศษวัสดุเหลือใช้มีมากเป็นอันดับแรกของไทย

ตารางที่ 2.21 ปริมาณเนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิตและวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นจากมันสำปะหลัง (ลำต้นและเหง้ามันสำปะหลัง) ปี พ.ศ.2553

จังหวัด	เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่)	เนื้อที่เก็บเกี่ยว (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (กก.) ปลูก	เก็บ	ปริมาณเศษวัสดุเหลือใช้(ตัน) เหง้า		ต้น	
นครราชสีมา	1,804,213	1,758,626	5,050,774	2,799	2,872	454,570	959,647	656,601	1,515,232
กำแพงเพชร	536,385	516,369	1,696,789	3,163	3,286	152,711	322,390	220,583	509,037
สระแก้ว	376,549	362,150	972,735	2,583	2,686	87,546	184,820	126,456	291,821
ชัยภูมิ	371,793	363,839	1,039,124	2,795	2,856	93,521	197,434	135,086	311,737
ชลบุรี	295,761	287,833	1,001,083	3,385	3,478	90,097	190,206	130,141	300,325
กาญจนบุรี	292,600	283,282	828,317	2,831	2,924	74,549	157,380	107,681	248,495
กาฬสินธุ์	291,652	281,795	909,352	3,118	3,227	81,842	172,777	118,216	272,806
นครสวรรค์	288,265	277,660	874,351	3,033	3,149	78,692	166,127	113,666	262,305
ฉะเชิงเทรา	267,182	259,252	790,459	2,959	3,049	71,141	150,187	102,760	237,138
จันทบุรี	246,946	237,713	648,006	2,624	2,726	58,321	123,121	84,241	194,402

หมายเหตุ : สัดส่วนผลผลิตต่อเศษวัสดุเหลือใช้ เหง้ามัน 0.091 และ ต้น(ยอดและใบ) 0.121

ที่มา: สำนักเศรษฐกิจการเกษตร (2553)

2.2.3 ฤดูกาลเพาะปลูก

มันสำปะหลังเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ตลอดปี ดังแสดงในรูปที่ 2.20โดยมากกว่า 65% ของพื้นที่ปลูกทั้งหมด เกษตรกรจะทำการปลูกในช่วงต้นฤดูฝน คือประมาณเดือนมีนาคม ถึง พฤษภาคม อีก 20% ปลูกในช่วงฤดูแล้ง ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน ถึง กุมภาพันธ์ ส่วนที่เหลือ13% จะปลูกในช่วงเดือนมิถุนายน ถึง ตุลาคม สำหรับการปลูกในช่วงต้นฤดูฝนนี้ ผลผลิตหัวสดที่ได้จะสูงกว่าการปลูกในช่วงอื่นๆ แต่ในดินที่มีลักษณะเนื้อดินค่อนข้างหยาบ การปลูกในช่วงฤดูแล้งจะ

ให้ผลผลิตสูงที่สุด ดังนั้นในการตัดสินใจเลือกช่วงการปลูกมันสำปะหลังที่เหมาะสม จึงต้องพิจารณาทั้งปริมาณน้ำฝน ลักษณะของดิน

เดือน	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
ช่วงฤดูเพาะปลูก	→		↔			←						←

รูปที่ 2.20 ช่วงฤดูกาลเพาะปลูกมันสำปะหลัง

2.3 หญ้าเนเปียร์ยักษ์

หญ้าเนเปียร์เป็นหญ้าเขตร้อนที่มีอายุนานหลายปี มีอยู่สามสายพันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทย คือ หญ้าเนเปียร์(ธรรมดา) หญ้าเนเปียร์ยักษ์(Kinggrass) หญ้าเนเปียร์แคระ(Mott dwarf elephant grass) ลักษณะทรงต้นของหญ้าเนเปียร์จะเป็นกอค่อนข้างตั้งตรงคล้ายต้นอ้อย ถ้าเป็นหญ้าเนเปียร์ยักษ์จะมีลำต้นสูงประมาณ 380 เซนติเมตร ส่วนหญ้าเนเปียร์แบบธรรมดาจะมีลำต้นสูงประมาณ 200-300 เซนติเมตร และส่วนหญ้าเนเปียร์แคระจะมีลักษณะทรงต้นเป็นกอพุ่มค่อนข้างตั้งสูงประมาณ 160 เซนติเมตร หญ้าเนเปียร์ทั้งสามสายพันธุ์ มีการแตกกอดและมีสัดส่วนของใบมากกว่าลำต้น สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนปนทรายจนถึงดินเหนียว แต่ต้องเป็นดินที่ระบายน้ำได้ดีและมีความอุดมสมบูรณ์ หญ้าเนเปียร์ถ้าปลูกในพื้นที่ที่มีฝนตกอย่างสม่ำเสมอ โดยมีอัตราเฉลี่ยมากกว่า 1,000 มิลลิเมตร/ปี หรือในพื้นที่ที่มีระบบชลประทาน จะให้ผลผลิตที่สูงและมีคุณภาพดี หญ้าเนเปียร์เป็นหญ้าที่ติดเมล็ดน้อยมากจึงต้องขยายพันธุ์ด้วยท่อนพันธุ์เท่านั้น หญ้าเนเปียร์จะไม่ทนต่อสภาพพื้นที่ ที่มีน้ำท่วมขัง ไม่ทนต่อการแทะเล็มและการเหียบย่ำของสัตว์ เหมาะสำหรับตัดไปเลี้ยงสัตว์เท่านั้น (สำราญ,2011) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอายุการตัดที่มีผลผลิตและคุณค่าทางโภชนะของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ภายใต้การให้น้ำชลประทานพบว่า การเพิ่มอายุการตัดหญ้าเนเปียร์ยักษ์จาก 25 วัน เป็น 35, 45 และ 55 วัน ทำให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งรวม(Total Dry Matter Yield, TDMY) และจำนวนครั้งที่ตัด 5.23 (15 ครั้ง), 9.25 (11 ครั้ง), 10.78 (9 ครั้ง) และ 12,04 (7 ครั้ง) ตันต่อไร่ต่อปี ซึ่งจะเห็นได้ว่าการนำหญ้าเนเปียร์ยักษ์ไปผลิตเป็นพลังงานสามารถเพิ่มผลิตได้จากระยะเวลาการเก็บเกี่ยว

ที่มา: สุริยา (2552)

รูปที่ 2.21 ต้นหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่เจริญเติบโตขึ้นใหม่หลังการตัด 33 วัน เหมาะที่จะนำไปหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพและปุ๋ยหมัก

ตารางที่ 2.22 การผลิตโรงไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพและโรงไฟฟ้าชีวมวลจากหญ้าเนเปียร์ยักษ์

Description	Biogas Power Plant	Biomass Power Plant
At GKG yield (Ton/Rai/Year)	60	60
At 1 MW, area required (Rai)	438	312.5
At 10 MW, area required (Rai)	4,380	3,215
At 10,000 MW, area required (Rai)	4,380,000	3,215,000

หมายเหตุ: GKG 1 ตันสด สามารถผลิตแก๊สชีวภาพ ได้ 160-190 ลูกบาศก์เมตรไบโอแก๊ส มีเทน 57 %

ที่มา: สุริยา (2552)

รูปที่ 2.22 ต้นหญ้าเนเปียร์ยักษ์ที่เจริญเติบโตขึ้นใหม่หลังการตัด 120 วัน

ที่มา: สุริยา (2552)

ตารางที่ 2.23 แสดงตัวอย่างที่เป็นส่วนประกอบทางกายภาพของสารอินทรีย์จากต้นพืช

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก			
	range	typical	Packaging material	Davis,California +
ผล	6-26	15	-	9.5
เยื่อไม้	3-15	4	-	6.5
เปลือกไม้	0-4	2	0.4	0.2
เมล็ด	0-2	0.5	-	0.8
หนังไม้	0-2	0.5	-	0.7
เศษใบไม้	0-20	12	-	14.3
ไม้	1-4	2	7.8	3.5
แกนไม้	4-16	8	18.1	7.5
Non ferrous	0-1	1	-	1.5
Ferrous	1-4	2	-	4.3
เถ้าและอื่นๆ	0-10	4	-	1.1

+ Base on measurement made over a 5 yr. period (1971-1975)

ที่มา: กองพัฒนาพลังงาน (2548)

ตารางที่ 2.24 ศักยภาพเชื้อเพลิงชีวมวล ปี พ.ศ.2550

ประเภท	ผลผลิตปี 2548 – 50 [1] (ล้านตัน/ปี)	เศษวัสดุ	สัดส่วนเศษวัสดุต่อผลผลิต	ปริมาณเศษวัสดุชีวมวล[4] (ล้านตัน/ปี)	สัดส่วนเศษวัสดุที่คงเหลือ	ปริมาณชีวมวลคงเหลือ (ล้านตัน/ปี)
ข้าว	29.6- 30.2	ฟาง	0.75[2]	22.20-22.65	0.40[5]	8.88-9.06
อ้อยโรงงาน	50.4-72.8	ยอด/ใบ	0.23[2]	11.59-16.74	0.50[6]	5.79-8.37
มันสำปะหลัง	22.5-27.9	เหง้า	0.10[2]	2.25-2.79	1.00[7]	2.25-2.79
ปาล์มน้ำมัน	5.0-7.4	ทะลาย	0.20[2]	1.00-1.48	0.80[8]	0.80-1.18
		ทาง	0.38[3]	1.90-2.81	1.00[9]	1.90-2.81

หมายเหตุ

[1] ข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปีเพาะปลูก 2550/2551

[2] สัดส่วนเศษวัสดุต่อผลผลิตที่ได้จากการสำรวจข้อมูลภาคสนามของ สกว.

[3] สัดส่วนเศษวัสดุต่อผลผลิตที่ได้จากการสำรวจข้อมูลภาคสนามของ มทส.

[4] ปริมาณเศษวัสดุชีวมวล = ผลผลิตต่อปี x สัดส่วนเศษวัสดุต่อผลผลิต

[5] สัดส่วนฟางข้าวที่คงเหลือจาก ฟางข้าวถูกเผา 50 % ใช้ เป็นอาหารสัตว์ 20% ของที่เหลือ (10% ของทั้งหมด)

[6] สัดส่วนใบอ้อย/ยอดอ้อยที่คงเหลือจาก ใบอ้อย/ยอดอ้อย ถูกเผา 50 %

[7] สัดส่วนเหง้ามันสำปะหลังที่คงเหลือในแปลง 100 %

[8] สัดส่วนทะลายปาล์มที่คงเหลือจากการนำไปใช้ผลิตเห็ด 20 %

[9] สัดส่วนทางปาล์มที่คงเหลือในสวน 100 %

ที่มา: วรพจน์ และคณะ (2553)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เอกสาร รายงาน บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. แบบจำลองต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพ

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลทุติยภูมิ เป็นข้อมูลที่รวบรวมจากเอกสาร รายงาน บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแหล่งข้อมูล คือ อินเตอร์เน็ต ศูนย์หนังสือเผยแพร่ สถานศึกษา

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์ข้อมูลของพืชพลังงาน 3 ชนิด คือ ข้าว มันสำปะหลัง และหญ้าเนเปียร์ยักษ์ จะทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณ และวิเคราะห์เชิงคุณภาพ ได้แก่สมบัติทางกายภาพและทางเคมี เพื่อประเมินปริมาณก๊าซที่จะผลิตได้อย่างต่อเนื่อง

2. การวิเคราะห์ข้อมูลความเป็นไปได้ในการสร้างโรงไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ โดยศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตไฟฟ้า

3. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ งบกำไรขาดทุน งบดุล งบกระแสเงินสด

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาจากตำรา เอกสาร บทความ เกี่ยวกับก๊าซชีวภาพ

2. ศึกษา วิเคราะห์พื้นที่ วิเคราะห์เชิงปริมาณ และวิเคราะห์เชิงคุณภาพ ของพืชพลังงาน 3 ชนิด ได้แก่ ข้าว, มันสำปะหลัง, หญ้าเนเปียร์ยักษ์ ที่จะนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวภาพ ขนาด 1 MW_e

2.1 ศึกษาข้อมูล (Secondary data) การผลิต ข้าว, มันสำปะหลัง และหญ้าเนเปียร์ยักษ์ จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อประเมินแนวโน้มปริมาณของเชื้อเพลิงในการผลิตก๊าซชีวภาพ

2.2 ศึกษาข้อมูลสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีเพื่อประเมินปริมาณก๊าซที่จะผลิตได้อย่างต่อเนื่อง

2.3 ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตชีวมวลในแต่ละภาค โดยอาศัยข้อมูลทางการเกษตร เช่น ฤดูกาลเพาะปลูก การขยายพื้นที่ชลประทาน การผลิตของพื้นส่งเสริมของโรงงานอุตสาหกรรม

2.4 ศึกษาแนวทางการผลิตพืชพลังงานแบบผสมผสาน เช่น การปลูกพืชหมุนเวียน การจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ในแปลงเกษตรกรรมเพื่อผลิตพลังงาน

2.5 ศึกษาแบบจำลองต้นทุนของการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

2.5.1 แบบจำลองต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวสำหรับการผลิตไฟฟ้า

2.5.2 แบบจำลองต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพจากต้นมันและเหง้ามันสำปะหลังสำหรับการผลิตไฟฟ้า

2.5.3 แบบจำลองต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวผสมหญ้าเนเปียร์ยักษ์สำหรับการผลิตไฟฟ้า

2.5.4 แบบจำลองต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพจากต้นมันและเหง้ามันสำปะหลังผสมหญ้าช้างสำหรับการผลิตไฟฟ้า

2.5.5 แบบจำลองต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวผสมต้นมันและเหง้ามันสำปะหลังผสมหญ้าเนเปียร์ยักษ์ สำหรับการผลิตไฟฟ้า

$$\text{Cost Biogas Production } (Y) = f(X_1, X_2, X_3, X_4)$$

X_1 = ปริมาณการผลิตก๊าซ (ลบ.ม/ตัน)

X_2 = ราคาวัตถุดิบในการผลิต (บาท/ตัน)

X_3 = ราคาเงินลงทุนเริ่มต้น (บาท)

X_4 = ราคาต้นแปรผัน (บาท)

3. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับพื้นที่การเพาะปลูกเหมาะสมในการผลิตพืชพลังงานที่เลือก คือ ข้าว มันสำปะหลัง และหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และประเมินพื้นที่และความเป็นไปได้ในการตั้งโรงไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ และความเหมาะสมต่อการลงทุน

4. รวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) และศึกษาวิธีการจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ผลผลิตของข้าว มันสำปะหลังและหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับการผลิตไฟฟ้าแบบการใช้พืชผสมผสาน โดยให้มีผลผลิตอย่างต่อเนื่องทั้งปี

5. ศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์และวิเคราะห์การเป็นไปได้ในการสร้างโรงไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพในพื้นที่นั้นๆ

6. จัดทำการสรุปผลและจัดทำรายงาน

ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

ขั้นตอน	การดำเนินการ	กุมภาพันธ์-กันยายน ปี 2554							
		ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
1	ตรวจเอกสาร	←	—	—	→				
2	ศึกษา วิเคราะห์พื้นที่และปริมาณการเพาะปลูก				←	—	→		
3	ศึกษาและรวบรวมข้อมูลความเป็นไปได้ในการตั้งโรงไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ				←	—	—	—	→
4	รวบรวมข้อมูล(Secondary Data) และศึกษาวิธีการจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ผลผลิตของข้าว มันสำปะหลัง และหญ้าเนเปียร์ยักษ์				←	—	—	—	→

ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย(ต่อ)

ขั้นตอน	การดำเนินการ	ตุลาคม ปี 2554 – เมษายน 2555						
		ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ.
5	ศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์และวิเคราะห์การเป็นไปได้ในการสร้างโรงไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพในพื้นที่นั้นๆ	←	—	—	—	→		
6	จัดทำการสรุปผลและจัดทำรายงานวิทยานิพนธ์					←	—	→

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

การศึกษาศักยภาพของฟางข้าว เศษวัสดุเหลือใช้จาการผลิตมันสำปะหลัง และหญ้าเนเปียร์ยักษ์เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 1 MW_e

จากการศึกษาข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2553 พบว่าการประเมินศักยภาพการของวัตถุดิบสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษวัสดุเหลือใช้ในการผลิตข้าว และมันสำปะหลัง (สำนักงานคณะกรรมการการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ[สศช],2549:2-19,30) พบว่า ข้าวจะมีเศษวัสดุเหลือใช้คือ ฟางข้าวและตอซัง ซึ่งมีอัตราส่วนเทียบกับผลผลิตข้าวเปลือก เท่ากับ 0.823:1 และ 0.63:1 ตามลำดับ โดยการศึกษานี้ได้มุ่งเน้นการประเมินเศษวัสดุเหลือใช้จากฟางข้าวมาผลิตก๊าซชีวภาพ โดยไม่พิจารณาตอซังที่อยู่ในแปลงนามาเป็นวัตถุดิบ เนื่องจากปัญหาการเก็บ และจะไม่ส่งผลกระทบต่อการนำสารชีวมวลออกจากแปลงนามากเกินไป ซึ่งจะส่งผลต่อสภาพและคุณภาพของพื้นที่ที่ใช้ในการเพาะปลูกการผลิตข้าวในฤดูกาลถัดไป ศักยภาพการผลิตฟางข้าวสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพจะขึ้นอยู่กับพื้นที่เพาะปลูกและฤดูกาลผลิต เพราะฉะนั้นการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวนั้นควรจะพิจารณาเลือกพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกทั้งนาปรังและนาปี (หรืออยู่ในเขตชลประทาน) เพื่อให้มีวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพอย่างต่อเนื่อง โดยเมื่อพิจารณา 3 จังหวัดแรกที่มีศักยภาพการเพราะปลูกข้าวนาปรังมากที่สุด คือ นครสวรรค์ สุพรรณบุรี และ พิจิตร ตามลำดับ ซึ่งพื้นที่เป็นการทำนาข้าวส่วนใหญ่อยู่ในเขตชลประทาน มีการทำนา 2 ปี 5 ครั้ง หรือ ปีละ 3 ครั้ง ซึ่งจะทำให้พื้นที่เพาะปลูกมีฟางข้าวหมุนเวียนในการเก็บเกี่ยวทั้งปี ส่วนเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือถึงแม้จะเป็นแหล่งผลิตข้าวส่วนใหญ่ของประเทศแต่ในการจัดการวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพจะประสบปัญหาด้านวัตถุดิบเพื่อที่จะนำมาผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากพื้นเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นเพาะปลูกอยู่ในเขตชลประทานต่ำ ทำให้ปริมาณฟางข้าวส่วนใหญ่จะเป็นข้าวนาปีจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบหลักได้ แต่สามารถนำเป็นวัตถุดิบเสริมได้

มันสำปะหลังจะมีเศษวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นในแปลงส่วนใหญ่จะเป็นต้นแต่มีการนำไปใช้เป็นพันธุ์ในการเพาะปลูกในฤดูกาลต่อไป จึงทำให้เศษวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นในแปลงจะเป็นเหง้ามันสำปะหลัง โดยปัจจุบันยังไม่มีการนำเหง้ามันสำปะหลังไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์เนื่องจากคุณลักษณะทางกายภาพที่ขนย้ายได้ยากมีน้ำหนักเบามีความหนาแน่นเพียง 193 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทำให้การขนย้ายในระยะทางไกลไม่คุ้มค่า ซึ่งปกติแล้วการขนส่งเชื้อเพลิงจำเป็นต้องมีความหนาแน่นประมาณ 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรขึ้นไป เพื่อให้ค่าขนส่งเชื้อเพลิงไม่เกิน 1 บาท

ต่อกิโลกรัมต่อกิโลเมตร และสมบัติทางความร้อนที่ต่ำมีค่า (High Heating Value, HHV) 14,591 กิโลจูล/กิโลกรัม ทำให้ไม่นิยมไปใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล แต่ในทางกลับกัน เหง้าหรือต้นจากมันสำปะหลังเมื่อมีการลดขนาดจะมีการย่อยสลายได้ดีทั้งในระบบแห้งและระบบเปียกจึงเป็นวัตถุดิบตัวหนึ่งที่มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดย 3 จังหวัดแรกที่มีการเพาะปลูกมันสำปะหลังมากที่สุดคือ นครราชสีมา กำแพงเพชร และ สระแก้ว ตามลำดับ โดยเนื้อที่เพาะปลูกปี 2553 มีพื้นที่เพาะปลูก 1,804,213 536,385 และ 376,549 ไร่ ตามลำดับ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่และมีปริมาณวัตถุดิบในฤดูกาลเก็บเกี่ยวจำนวนมาก แต่เนื่องจากการเพาะปลูกมันสำปะหลัง เป็นพืชที่อายุยาวทำให้การเก็บเกี่ยวสามารถเก็บเกี่ยวได้เพียงปีละ1 ครั้ง ไม่มีวัตถุดิบตลอดทั้งปีจำเป็นต้องมีการจัดเก็บเศษวัสดุเหลือใช้ไว้ให้เพียงพอต่อการผลิตหรือใช้วัตถุดิบอย่างอื่นเสริมในฤดูกาลเพาะปลูก เช่น ฟางข้าว หรือหญ้าเนเปียร์ยักษ์

ส่วนหญ้าเนเปียร์ยักษ์มีศักยภาพในการเพาะปลูกเพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพสูงเนื่องจากเป็นพืชโตเร็วและมีผลผลิตต่อไร่สูง ซึ่งในประเทศไทยมีการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านเป็นแหล่งอาหารของปศุสัตว์ ซึ่งจากงานวิจัยด้านปศุสัตว์พบว่า หญ้าเนเปียร์ยักษ์มีอายุการเก็บเกี่ยวเพื่อเลี้ยงสัตว์ และการผลิตก๊าซชีวภาพมีความใกล้เคียงกัน คือประมาณช่วง 25-55 วัน ทำให้สามารถส่งเสริมเกษตรกรในการผลิตหญ้าเนเปียร์ยักษ์เพื่ออุตสาหกรรมเชื้อเพลิงชีวภาพได้ ถ้าราคาในการแข่งขันสามารถสู้กับราคาอาหารสดของด้านปศุสัตว์ได้คือ 1 บาทต่อกิโลกรัม$_{สด}$ แต่จุดเด่นของการผลิตหญ้าเนเปียร์ยักษ์คือผลผลิตต่อไร่สูงถึง 40 ตันสดต่อไร่ต่อปี อายุเก็บเกี่ยว 55 วัน 1 ปี ปลูกและเก็บเกี่ยวได้ 7 ครั้ง และสามารถไว้ตอได้ถึง 7 ปี ทำให้การผลิตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และมีศักยภาพในการเพาะปลูกเพื่อใช้เป็นพืชพลังงานโดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำไปผลิตก๊าซชีวภาพ

เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาง เหง้าและต้นมันสำปะหลัง และหญ้าเนเปียร์ยักษ์

จากการศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากฟางข้าวและเหง้าและต้นมันสำปะหลัง เป็นเศษวัสดุที่ทำการเก็บเกี่ยวในลักษณะแห้งและมีกากจำนวนมาก เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพเหมาะสมจำเป็นต้องคำนึงถึงสารแขวนลอยที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ส่วนหญ้าเนเปียร์ยักษ์เป็นเช่นเดียวกับฟางข้าว

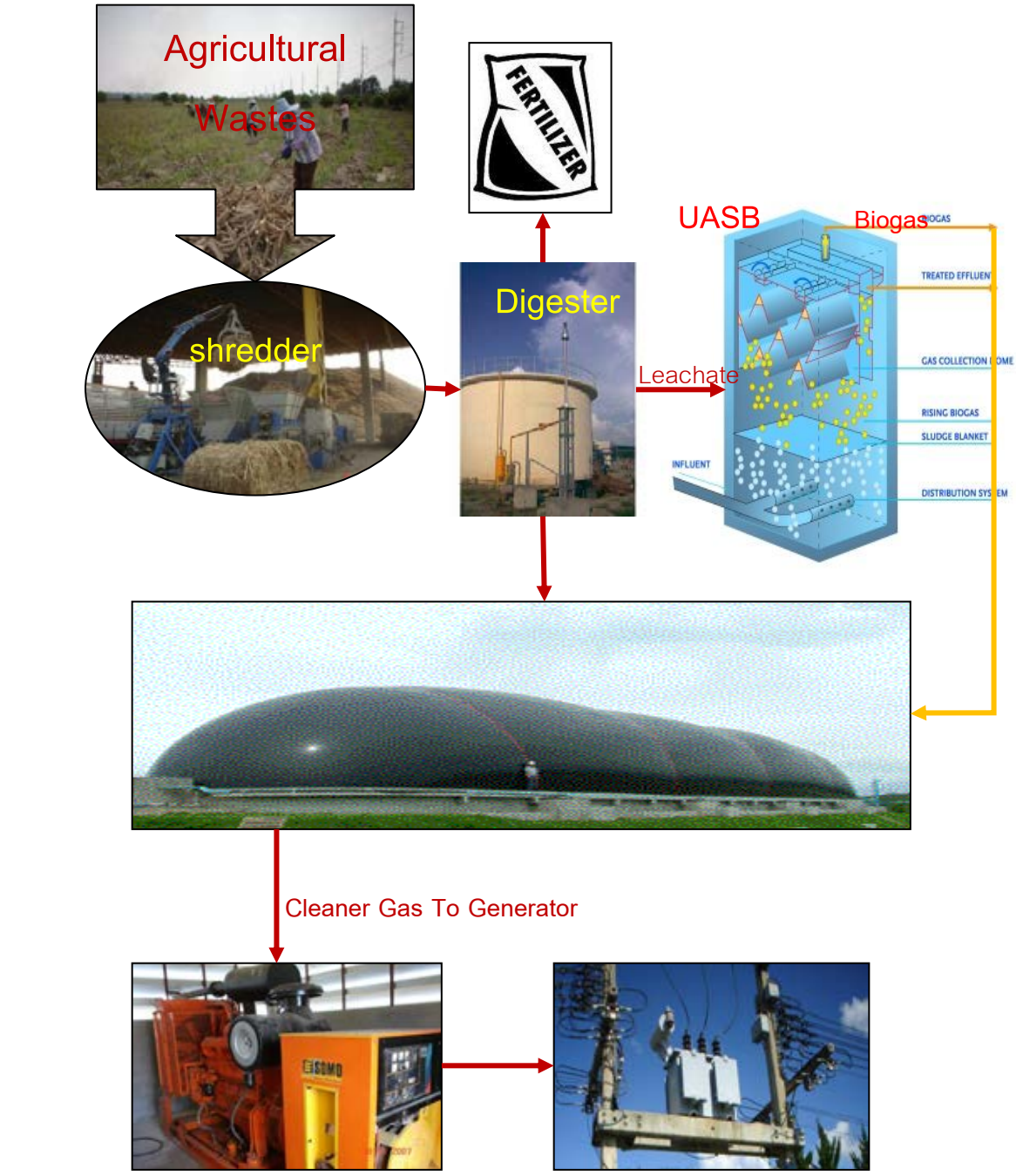
ในการนำก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการหมักไปใช้ประโยชน์ จำเป็นจะต้องมีระบบจัดการกับก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ก่อนนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้า (Jewell, *et. al.*, 1982) ระบบการจัดการก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นประกอบด้วย

- การรวบรวมก๊าซชีวภาพ (Gas Handling)
- การเก็บก๊าซชีวภาพ (Gas Storage)

- การทำความสะอาดก๊าซชีวภาพ (Gas Purification)

- การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ (Gas Utilization) ผลิตไฟฟ้า

แนวทางหรือวิธีการของระบบการจัดการก๊าซชีวภาพเพื่อนำไปใช้ประโยชน์สามารถการจัดการก๊าซชีวภาพได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 รูปแบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อผลิตไฟฟ้า

1. <u>การใช้ก๊าซชีวภาพในการผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า</u>

(นันทิยาและคณะ,2549:2-15) จากการเปรียบเทียบเชิงทฤษฎี พบว่าก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร ผลิตไฟฟ้าได้ 1.2 กิโลวัตต์ชั่วโมง ที่มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน 60% มีค่าความร้อนอยู่ระหว่าง 18.84-26.38 เมกะจูล/ลูกบาศก์เมตร ก๊าซชีวภาพสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ได้หลายรูปแบบคือ (เกียรติไกร และคณะ, 2536, 2538) การผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์นั้นจะอาศัยแรงกลของเครื่องยนต์ขับ Generator เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าอีกครั้งหนึ่ง โดยมีประสิทธิภาพประมาณ 20-30% (หน่วยบริการก๊าซชีวภาพ, 2544) ซึ่งเครื่องยนต์สำหรับการผลิตไฟฟ้าปัจจุบันมีประสิทธิภาพสูงถึง 42% แต่ประเทศไทยนิยมใช้เครื่องยนต์มือสองแล้วนำมาดัดแปลง ก๊าซชีวภาพที่ใช้ไม่ได้ผ่านระบบทำความสะอาดก๊าซ เนื่องจากเห็นว่าการเปลี่ยนเครื่องยนต์ที่ถูกกัดกร่อนมีความคุ้มกว่าการติดตั้งระบบทำความสะอาดก๊าซ โดยเครื่องยนต์ที่ เช่น

1.1 เครื่องยนต์ก๊าซ

เครื่องยนต์ก๊าซสามารถต่อท่อก๊าซชีวภาพเข้าไปในตัวผสมอากาศ (Mixer) ได้เลย โดยไม่ต้องมีการดัดแปลงอุปกรณ์

1.2 เครื่องยนต์เบนซินดัดแปลงสำหรับก๊าซชีวภาพ

เครื่องยนต์เบนซินจะต้องมีการดัดแปลงอุปกรณ์โดยเปลี่ยนคาร์บิวเรเตอร์เป็นตัวผสมอากาศกับก๊าซชีวภาพแทนทำให้สามารถใช้เครื่องยนต์เบนซินโดยใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงได้โดยมีหัวเทียนจุดระเบิด

1.3 เครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซลไม่มีหัวเทียน ใช้หลักการอัดอากาศให้ร้อนแล้วฉีดน้ำมันดีเซลเข้าไปในกระบอกสูบให้จุดระเบิด โดยผสมก๊าซชีวภาพเข้าไปกับอากาศกลายเป็นไอดี เมื่อถูกดูดเข้าไปในกระบอกสูบจะถูกลูกสูบอัดให้ร้อน ใช้น้ำมันดีเซลจุดก๊าซให้ระเบิดโดยอัตโนมัติในลักษณะเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซผสม (Dual-fuel Engine) โดยอัตราส่วนน้ำมันดีเซล : ก๊าซชีวภาพ ประมาณ 20:80

2. <u>การใช้ก๊าซชีวภาพในกังหันไอน้ำ และกังหันแก๊สเพื่อผลิตไฟฟ้า</u>

สำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าในกังหันไอน้ำ และกังหันแก๊ส โดยก๊าซชีวภาพจะถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงกับหม้อต้มไอน้ำ (Steam Boiler) โดยไอน้ำที่ได้ซึ่งมีความดันสูงส่งเข้าไปขับกังหันไอน้ำเพื่อเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกลในการขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การใช้ก๊าซชีวภาพในเครื่องกังหันไอน้ำจะต้องมีปริมาณก๊าซชีวภาพมากเพียงพอ (Ross and Moser, 1997) กังหันก๊าซหรือ Gas turbine จะมีประสิทธิภาพของกังหันก๊าซ อยู่ในช่วง 20-28% โดยข้อดีของระบบกังหันก๊าซเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน คือมีความทนทานต่อความเสียหายที่เกิดจากการกัด

กร่อนได้ดีกว่า แต่มีข้อเสียคือ ต้องการก๊าซเชื้อเพลิงที่ความดันสูง (ประมาณ 12.4 บาร์) ซึ่งเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นพิจารณาภายใต้เงื่อนไขคือ

- คิดเฉพาะรายจ่ายที่เกิดจากการสร้างระบบก๊าซชีวภาพ (Initial Investment Cost)
- ระยะเวลาโครงการ 15 ปี

ประมาณปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทั้งโครงการ(ประทิน กุลละวณิชย์ และคณะ,2549) ได้ทำการประเมินศักยภาพเทคโนโลยีสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวลประเทศไทย ดังแสดงใน ตารางที่ 4.1 พบว่าต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบก๊าซชีวภาพที่ทำการสำรวจ 190 แห่ง ในการผลิตก๊าซชีวภาพ (จากทุกชนิดของระบบ) 1 ลูกบาศก์เมตรมีต้นทุนระหว่าง 0.33-7.19 บาทขึ้นกับชนิดของน้ำเสียและเทคโนโลยีที่ใช้ โดยผลไม้อบแห้ง แป้งมันสำปะหลังและฟาร์มสุกร นับเป็นแหล่งของเสียที่มีต้นทุนการผลิตต่ำ (<1 บาท) ประมาณ 0.33, 0.84 และ 0.96 บาท/ลบ.ม.ก๊าซ ตามลำดับ สำหรับกลุ่มที่มีต้นทุนปานกลาง (1-3 บาท) ได้แก่ แป้งข้าว โรงฆ่าสัตว์ ~1.37 และ 2.65 บาท/ลบ.ม.นอกนั้นพบว่ามีต้นทุนการผลิตมากกว่า 3 บาท ได้แก่ เครื่องดื่มกระป๋อง เบียร์ สุรา กระดาษ ขยะชุมชน ของเสียที่มีต้นทุนการผลิตสูงนั้นมาจากหลายปัจจัย ได้แก่ ต้นทุนก่อสร้างระบบก๊าซชีวภาพสูงมาก เนื่องจากเป็นการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ เช่น ในกลุ่มเบียร์ สุรา ขยะชุมชน ส่วนเครื่องดื่มกระป๋อง โรงฆ่าสัตว์และโรงกระดาษ เนื่องจากปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้ต่ำทำให้เมื่อคิดต้นทุนการผลิตจึงสูงมากตามไปด้วย โดยจากการศึกษานี้ได้ตั้งสมมุติฐานใช้เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพแบบยูเอเอสบี (UASB; Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ซึ่งระบบก๊าซชีวภาพที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ซึ่งเจริญเติบโตในลักษณะแขวนลอยที่เรียกว่าเม็ดตะกอน (Granule) ในการบำบัดน้ำเสีย โดยน้ำเสียถูกป้อนเข้าระบบจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน ผ่านชั้นตะกอนจุลินทรีย์และได้ก๊าซชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลาย องค์ประกอบทั่วๆ ไปของระบบยูเอเอสบีประกอบด้วยถังปฏิกรณ์ ทำจากเหล็กหรือปูนซีเมนต์ ส่วนป้อนน้ำเสีย อุปกรณ์สำหรับแยกของแข็ง-ก๊าซ (GSS; Gas Solid Separator) ระบบยูเอเอสบีถือเป็นระบบที่ได้รับความนิยมนำมาใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์มากที่สุด โดยอาจนำมาประกอบกับถังปฏิกรณ์แบบอื่นๆ แล้วเรียกชื่อเฉพาะแตกต่างกันไปในท้องตลาด เช่น H-UASB, A^{+}- UASB, CD+UASB และ MC-UASB เป็นต้น และที่สำคัญปัจจุบันประเทศไทยสามารถออกแบบและสร้างเองได้ทำให้ต้นทุนในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยเทคโนโลยีก๊าซแบบต่างๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ ทั้งระบบขนาดเล็กและขนาดใหญ่มีค่าประมาณ 1.5 บาท/ลบ.ม.ก๊าซชีวภาพหรือ 1.23 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง โดยระบบก๊าซชีวภาพขนาดกลางและเล็กจะมีต้นทุนการผลิตสูงกว่าระบบขนาดใหญ่มากและระบบก๊าซชีวภาพในโรงฆ่า

สัตว์แบบบ่อหมักแบบรางร่วมกับ ยูเอเอสบีมีต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1.58-3.95 หรือเฉลี่ย 2.89 บาท/ลบ.ม.ก๊าซ

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพแยกตามชนิดของของเสีย

แหล่งของเสีย/น้ำเสีย	บาท/ลบ.ม.ก๊าซชีวภาพ	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง
ผลไม้อบแห้ง	0.33	0.28
โรงฆ่าสัตว์ (สุกร)	2.65	2.21
โรงงานผลิตแป้งข้าว	1.37	1.14
เครื่องดื่มกระป๋อง	7.19	5.99
เบียร์	5.12	4.26
สกัดน้ำมันปาล์ม	0.84	0.70
แป้งมันสำปะหลัง	0.77	0.64
กระดาษ	3.11	2.60
ขยะชุมชน	5.44	4.53
สุรา	3.52	2.93
ฟาร์มสุกร	0.96	0.80

ที่มา : (ประทิน กุลละวณิชย์ และคณะ, 2549: 6-17)

จากการเปรียบเทียบเชิงทฤษฎีพบว่าก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 1.2 กิโลวัตต์ชั่วโมง ที่มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน 60% พบว่าในการผลิตไฟฟ้าขนาด 1 MW จำเป็นต้องผลิตก๊าซชีวภาพให้ได้ 834 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่งโมง หรือเทียบเท่ากับ 6.6 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี (เดินระบบ 330 วันต่อปี) ซึ่งสามารถนำมาประเมินปริมาณวัสดุเหลือใช้ที่สามารถนำมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากเศษวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นจากฟางข้าว เหง้ามันและต้นมันสำปะหลัง และหญ้าเนเปียร์ยักษ์ สามารถคำนวณและสรุปได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากเศษวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นจากฟางข้าว เหง้าและต้นมันสำปะหลัง และหญ้าเนเปียร์ยักษ์

ชนิดชีวมวล	ปริมาณก๊าซที่เกิด (ลิตร/กก)	การผลิตไฟฟ้า (วัตต์/กก)	Reference
ฟางข้าว(นาปรัง)	322	386.4	Calculate ภาคผนวก ก
เหง้าและต้นมันฯ	164	196.8	Calculate ภาคผนวก ก
หญ้าเนเปียร์ยักษ์	160-190(175)	210	สุริยา, 2552

หมายเหตุ : การผลิตไฟฟ้าพิจารณาจาก ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดลูกบาศก์เมตรสามารถผลิต ไฟฟ้าได้ 1200 วัตต์ ที่องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพมีมีเทน 60%

ซึ่งองค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพจะเป็นตัวชี้วัดในความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้า และการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ผลิต ทำให้ในการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อการผลิตไฟฟ้าจำเป็นอย่างยิ่งในเรื่องของคุณภาพก๊าซ ซึ่งตารางที่ 4.3 แสดงถึงร้อยละขององค์ประกอบของก๊าซผสมองค์ประกอบก๊าซมีเทน CH_4 และคาร์บอนไดออกไซด์ CO_2

ตารางที่ 4.3 ร้อยละขององค์ประกอบของก๊าซผสมของพืชแต่ละชนิด

ชนิดชีวมวล	ก๊าซมีเทน	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
ฟางข้าว(นาปรัง)	52.2	47.8
เหง้าและต้นมันฯ	59	41
หญ้าเนเปียร์ยักษ์	57	43

หมายเหตุ : ร้อยละก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใช้การคำนวณ [100-ร้อยละของมีเทน]

ปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนจากหญ้าเนเปียร์ยักษ์(สุริยา, 2552)

ตารางที่ 4.4 การประเมินปริมาณเศษวัสดุเหลือใช้จากฟางข้าว เหง้าและต้นมันสำปะหลัง และหญ้าเนเปียร์ยักษ์ เพื่อผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพขนาด 1 MW

ชนิดชีวมวล	ผลผลิตต่อไร่ (กก)	เศษวัสดุเหลือใช้(กก/ไร่/ปี)	ปริมาณการใช้เพื่อผลิตไฟฟ้า 1 MW (ตัน/ปี)	พื้นที่ใช้ในการผลิตเศษวัสดุเหลือใช้ เพื่อผลิตไฟฟ้า 1 MW [5] (ไร่)
ฟางข้าว	582[1]	957[2]	20,496	21,417
เหง้าและต้นมันฯ	2,972[3]	559[4]	40,243	71,993
หญ้าเนเปียร์ยักษ์	5,734	40,140[6]	37,714	940

หมายเหตุ : [1] ผลผลิตข้าวเปลือกนาปรังเฉลี่ยปี 2553

[2] นาปีและนาปรังปลูก 2 ครั้งต่อปี และพิจารณาฟางข้าวต่อผลผลิตข้าวเปลือก0.823:1

[3] ผลผลิตมันสำปะหลังเฉลี่ยปี 2553

[4] การเพาะปลูกมันพิจารณาระยะการเก็บเกี่ยว 1 ปี และพิจารณาเหง้าและต้นต่อผลผลิต 0.188:1

[5] พื้นที่การผลิตเศษวัสดุเหลือใช้สำหรับผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพขนาด 1 MW = [6.6 ล้าน ลบ.ม./ปี / ปริมาณก๊าซที่เกิด ลบ.ม./ตัน]xเศษวัสดุเหลือใช้ ตัน./ไร่/ปี

[6] (สำราญ วิจิตรพันธ์ และ พรชัย ล้อวิลัย. 2554) น้ำหนักหญ้าเนเปียร์ยักษ์แห้ง 12,042 กก/ไร่/ปี ความชื้น 70%$_{wb}$ เก็บเกี่ยวที่อายุ 55 วัน หรือเก็บเกี่ยว 7 ครั้งต่อปี

น้ำหนักหญ้าเนเปียร์ยักษ์สด = น้ำหนักหญ้าเนเปียร์ยักษ์แห้ง/(1-เปอร์เซ็นต์ความชื้น/100)

จากข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าการปลูกพืชเพื่อผลิตพลังงาน เช่นหญ้าเนเปียร์ยักษ์มีศักยภาพสูงเมื่อเทียบกับการเพิ่มระบบการจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นในแปลง ซึ่งมีปริมาณผลผลิตน้อยทำให้ระบบการจัดการจำเป็นต้องมีการจัดการที่ซับซ้อน และใช้พื้นที่มาก โดยฟางข้าวใช้พื้นที่ 21,417 ไร่ มันสำปะหลังใช้พื้นที่ 71,993 ไร่ และหญ้าเนเปียร์ใช้พื้นที่ 940 ไร่

เงื่อนไขการเดินระบบของโรงไฟฟ้าจำเป็นต้อนเดินเครื่องผลิตไฟฟ้า 24 ชั่วโมง โดยใน 1 ปี จะมีระยะเวลาในการซ่อมบำรุงอยู่ประมาณ 30 วัน ต่อปี ทำให้จำนวนวันทำงานเหลือเพียง 330 วันทำการ ในทางกลับกันระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจำเป็นต้องคำนึงถึงถึงระบบการเลี้ยงเชื้อ และการผลิตไฟฟ้า 1 เมกกะวัตต์ จะใช้ก๊าซชีวภาพประมาณ 6.6 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี หรือ 0.55 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อเดือน ซึ่งจำเป็นต้องพิจารณาปริมาณวัตถุดิบในการป้อนเป็นรายเดือนเพื่อให้สัมพันธ์

กับฤดูกาลเก็บเกี่ยว ฟางข้าว เหง้าและต้นมันสำปะหลัง และหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ซึ่งจะพิจารณาพื้นที่ที่มีศักยภาพจะเป็น ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังที่กล่าวมาข้างต้น

ราตาต้นทุนเชื้อเพลิงของเศษวัสดุเหลือใช้ชนิดต่างๆ สามารถคำนวนออกมาได้ดังตารางที่ 4.5 ซึ่งจะแสดงต้นทุนค่าวัตถุดิบสำหรับใช้ในโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากวัสดุชนิดต่างๆ จะเห็นได้ว่าต้นทุนวัตถุดิบจากฟางข้าวอยู่ที่ 35.11 ล้านบาท/เมกกะวัตต์/ปี เหง้าและต้นมันอยู่ที่ 30.66 ล้านบาท/เมกกะวัตต์/ปี และหญ้าเนเปียร์ยักษ์อยู่ที่ 10.93 ล้านบาท/เมกกะวัตต์/ปี

ตารางที่ 4.5 ต้นทุนค่าวัตถุดิบสำหรับใช้ในโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากวัสดุชนิดต่าง ๆ

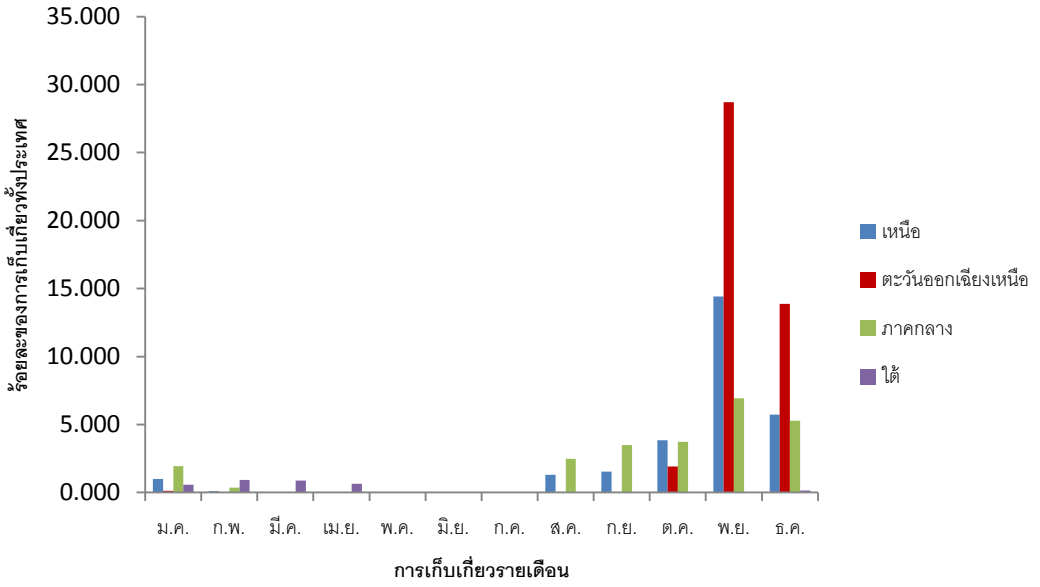
Model	ราคาเชื้อเพลิง (บาท/กก)	เชื้อเพลิง (พันตัน/MW/ปี)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (ล้านบาท/MW/ปี)
ฟางข้าว	1.225-2.200 [1.713]	20.496	35.11
เหง้าและต้นมันฯ	0.573-0.950 [0.762]	40.243	30.66
หญ้าเนเปียร์ยักษ์	0.287-0.293 [0.290]	37.714	10.93

หมายเหตุ: ต้นทุนเชื้อเพลิงฟางข้าวและเหง้ามันสำปะหลัง (วรพจน์ และคณะ. 2553)

ต้นทุนเชื้อจากหญ้าเนเปียร์ยักษ์ได้จากการคำนวณ (ภาคผนวก ข)

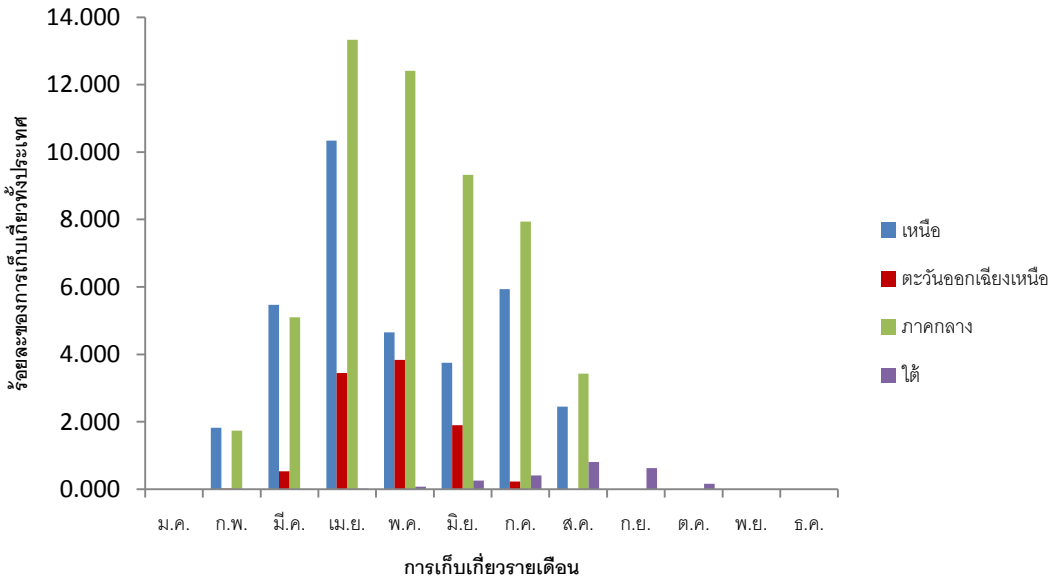
[xx] ค่าเฉลี่ยที่ใช้ในการคำนวน

จากการศึกษาข้อมูลการเพาะปลูกพบว่า ปริมาณฟางข้าว เหง้าและต้นมันสำปะหลัง จะขึ้นอยู่กับฤดูกาลเก็บเกี่ยวและมีปริมาณไม่เท่ากันทุกเดือน โดยการเพาะปลูกข้าวนาปี และนาปรัง มีฤดูกาลเก็บเกี่ยวดังภาพที่ 4.2 และ 4.3 โดยแสดงสัดส่วนของปริมาณการผลิตข้าวนาปีและข้าวนาปรังในแต่ละภาคเทียบกับการผลิตข้าวนาปีและข้าวนาปรังทั้งประเทศในปี พ.ศ. 2553



รูปที่ 4.2 สัดส่วนของฤดูกาลเก็บเกี่ยวข้าวนาปีรายเดือนโดยแบ่งเป็นภาคต่าง ๆ

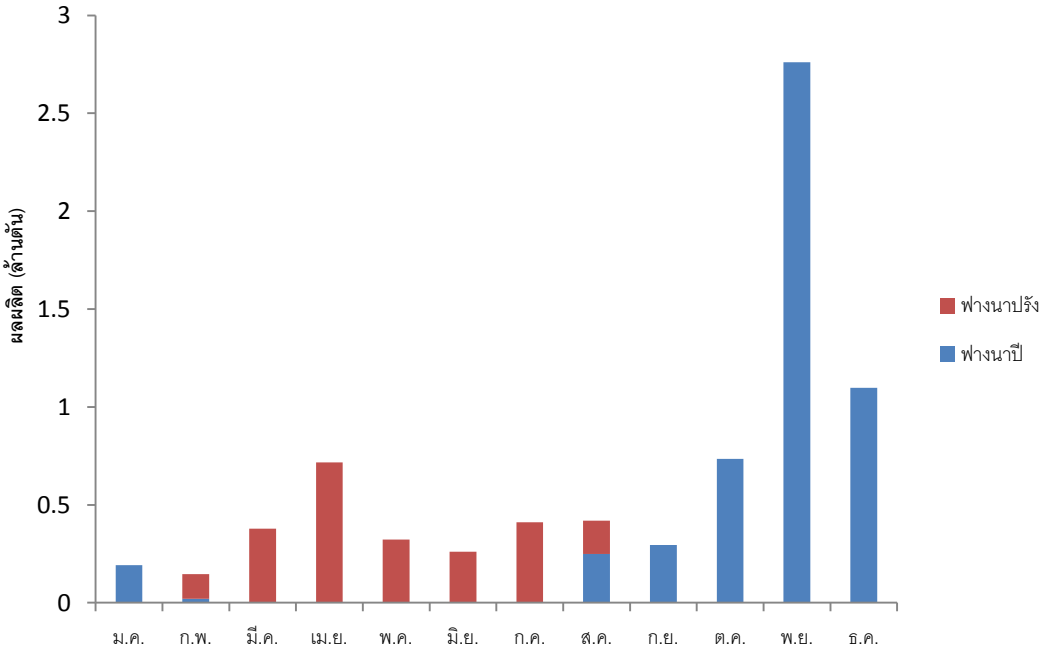
จากภาพที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าปริมาณการเก็บเกี่ยวข้าวนาปีจะมีไม่สม่ำเสมอกัน โดยปริมาณการเก็บเกี่ยวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะเยอะในช่วงเดือนพฤศจิกายน และเดือนธันวาคม ทางภาคกลางและภาคเหนือจะมีปริมาณการเก็บเกี่ยวค่อนข้างสม่ำเสมอ ส่วนทางภาคใต้มีปริมาณการเก็บเกี่ยวน้อยมาก



รูปที่ 4.3 สัดส่วนของฤดูกาลเก็บเกี่ยวข้าวนาปรังรายเดือนโดยแบ่งเป็นภาคต่าง ๆ

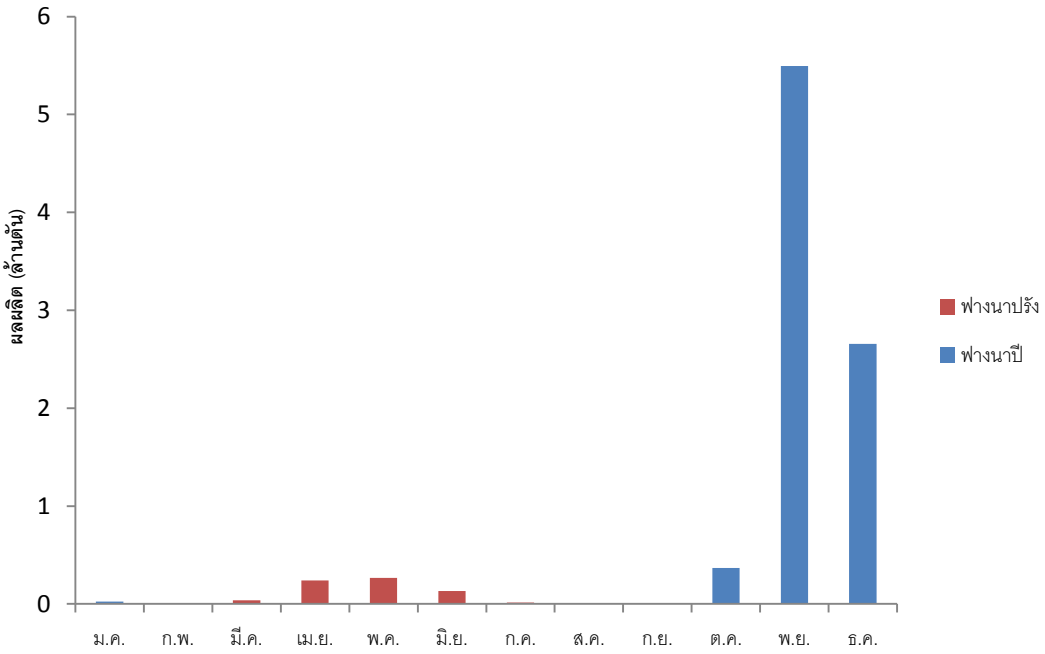
จากการศึกษาสัดส่วนฤดูกาลเก็บเกี่ยวข้าวนาปรังในแต่ละภาคดังภาพที่ 4.3 พบว่า ปริมาณการเก็บเกี่ยวข้าวนาปรังของทางภาคกลางมีปริมาณเยอะกว่าภาคอื่นๆ รองลงมาเป็นภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้ตามลำดับ

จากการศึกษาปริมาณฟางข้าว(นาปีและนาปรัง) ในภาคเขตภาคเหนือ ดังภาพที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าปริมาณฟางข้าวมีสม่ำเสมอตลอดทั้งปี



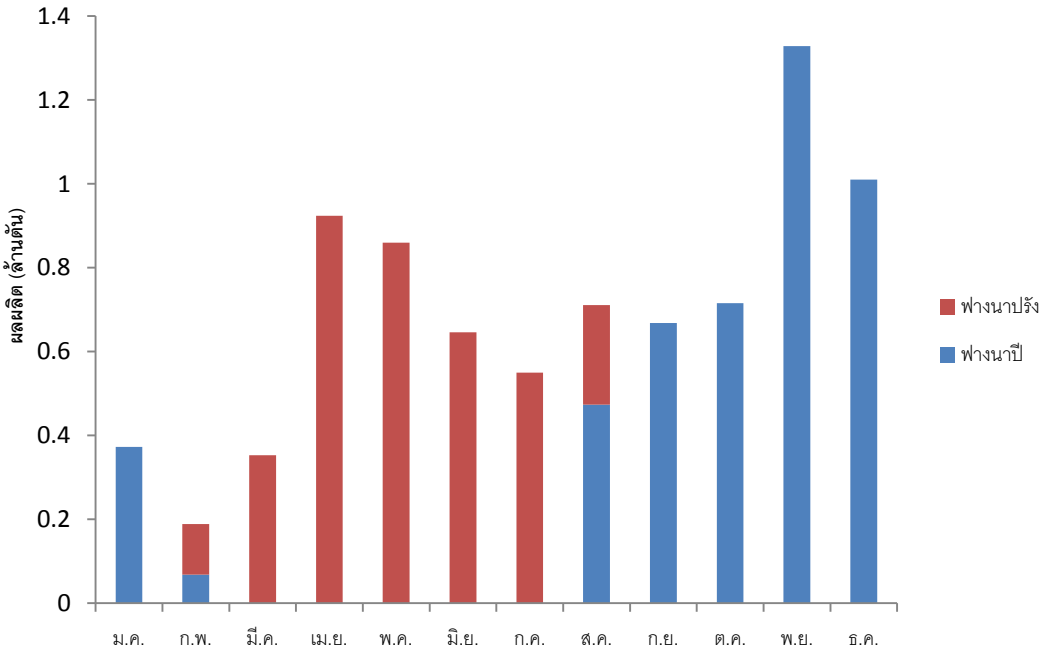
รูปที่ 4.4 ปริมาณฟางข้าวในภาคเหนือในช่วงเดือนต่าง ๆ

จากการศึกษาปริมาณฟางข้าว(นาปีและนาปรัง) ในภาคเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังภาพที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าปริมาณฟางข้าวมีไม่สม่ำเสมอ โดยทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีปริมาณฟางข้าวนาปีเยอะตอนปลายปี และช่วงเดือนมีนาคม – มิถุนายน ยังมีอยู่บ้าง แต่จะไม่มีฟางข้าวเลยในช่วงเดือนกรกฎาคม – กันยายน



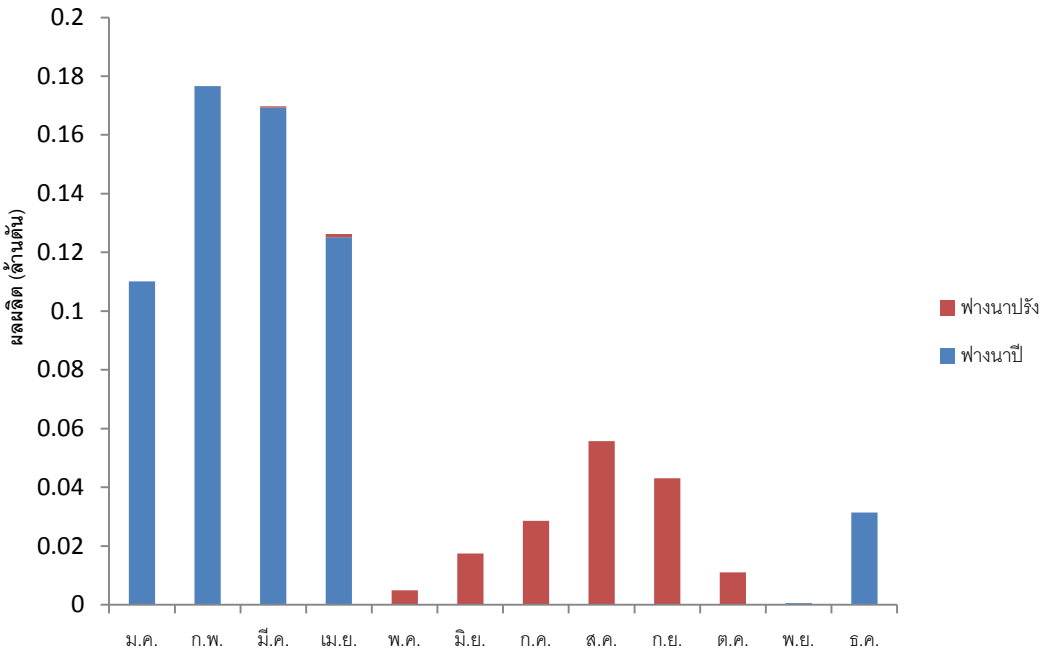
รูปที่ 4.5 ปริมาณฟางข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงเดือนต่าง ๆ

จากการศึกษาปริมาณฟางข้าว(นาปีและนาปรัง) ในภาคเขตภาคกลางดังภาพที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าปริมาณฟางข้าวมีมากกว่าภาคอื่นๆ และมีสม่ำเสมอตลอดทั้งปี



รูปที่ 4.6 ปริมาณฟางข้าวในภาคกลางในช่วงเดือนต่าง ๆ

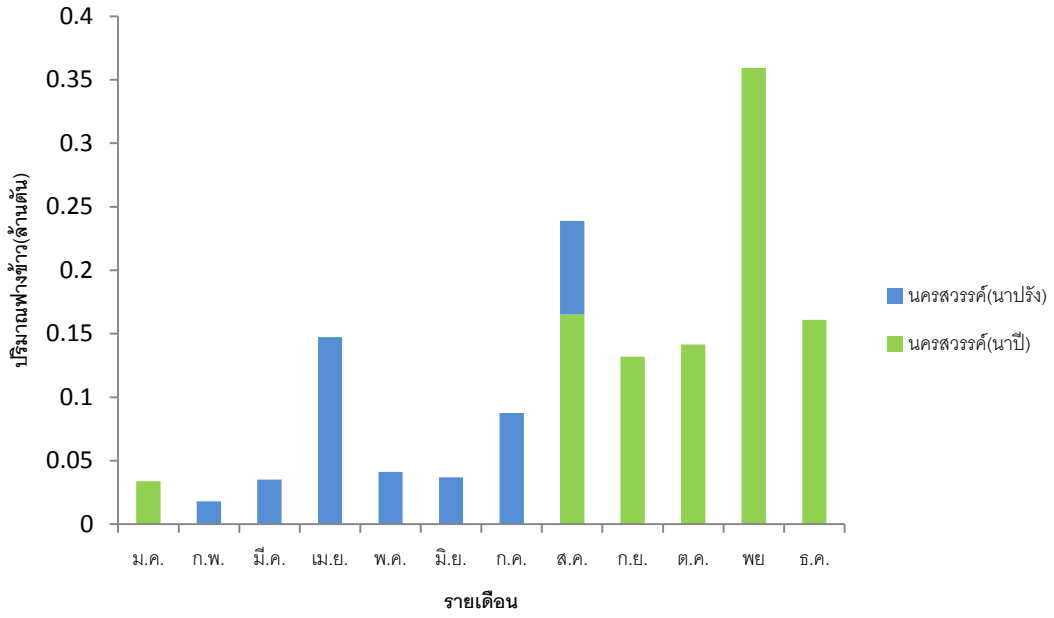
จากการศึกษาปริมาณฟางข้าว(นาปีและนาปรัง) ในภาคเขตใต้ ดังภาพที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าช่วงเดือนธันวาคม – เมษายน จะมีปริมาณฟางข้าวนาปีมาก ส่วนช่วงเดือน พฤษภาคม – ตุลาคม จะมีปริมาณฟางข้าวนาปีจากการทำนาปรัง



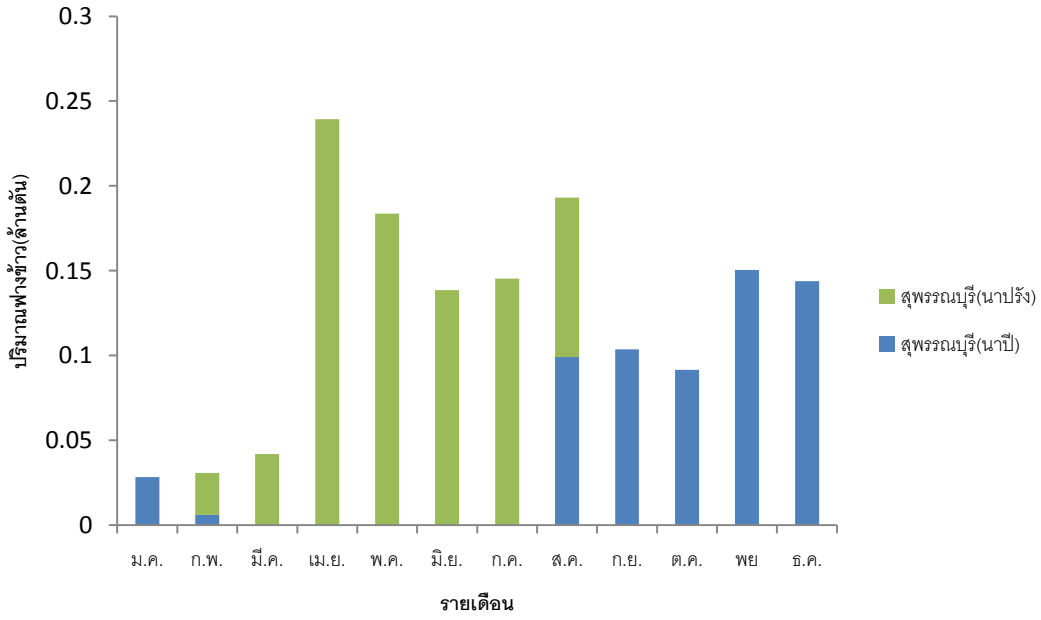
รูปที่ 4.7 ปริมาณฟางข้าวในภาคใต้ในช่วงเดือนต่าง ๆ

จากภาพที่ 4.4 – 4.7 แสดงปริมาณฟางข้าวที่เกิดขึ้นของภาคต่างๆ พบว่า พื้นที่ที่มีศักยภาพในการผลิตพลังงานจากฟางข้าวจำเป็นต้องมีระบบชลประทานรองรับเนื่องจากการเพาะปลูกข้าวในฤดูนาปรังจะเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อปริมาณฟางข้าวที่เกิดขึ้นดังภาพที่ 4.6 ซึ่งมีปริมาณการผลิตฟางข้าวอย่างต่อเนื่อง และมีปริมาณเพียงพอต่อการผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับการผลิตไฟฟ้า เมื่อนำข้อมูลปริมาณการผลิตฟางข้าวมาพิจารณารวมกับระยะเวลาการเก็บเกี่ยวปริมาณฟางข้าวจะมากน้อยขึ้นอยู่กับช่วงเก็บเกี่ยว จากงานวิจัยนี้ได้ประเมินศักยภาพของการผลิตเศษวัสดุเหลือใช้จากการผลิตข้าวและมันสำปะหลัง โดยการใช้ฟางข้าวในแต่ละเดือนสำหรับการผลิตไฟฟ้าต้องใช้ประมาณ 1,708 ตันต่อเดือน หรือ เหง้าและต้นมันสำปะหลังในแต่ละเดือนประมาณ 3,353 ตันต่อเดือน ในการผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 1 MW_e ดังตารางที่ 4.4 โดยการประเมินศักยภาพของการผลิตข้าวนาปี ข้าวนาปรัง พบว่า ภาคกลางมีศักยภาพเรื่องความสม่ำเสมอของการผลิตฟางข้าว และภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีศักยภาพในเรื่องของพื้นที่และปริมาณการผลิต ซึ่งมีสัดส่วน 31.9% และ 35.4% ของประเทศ หรือปริมาณ 8.32 และ 9.22 ล้านตัน ตามลำดับ โดยภาคใต้มีศักยภาพต่ำสุดเพียง 0.77 ล้านตัน และจาก

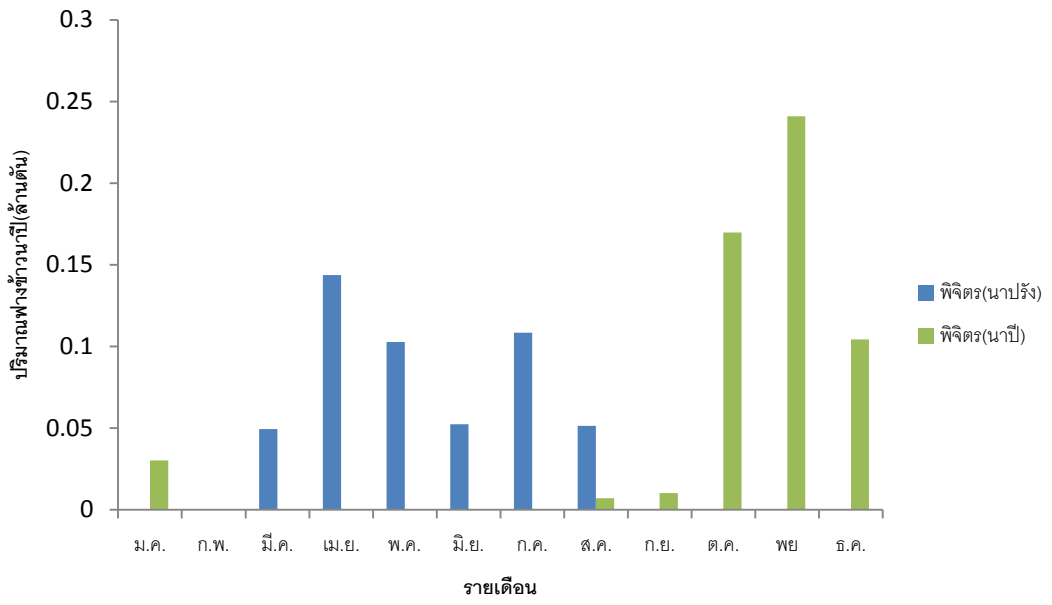
ข้อมูลสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรปี 2552/2553 พบว่า จังหวัดที่มีศักยภาพปริมาณฟางข้าวเป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าว 3 ลำดับแรกคือ จังหวัด นครสวรรค์ สุพรรณบุรี และ พิจิตร โดยมีปริมาณฟางข้าวที่เกิดขึ้นต่อปีประมาณ 1.389 1.379 และ 1.075 ล้านตัน ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 ปริมาณเศษวัสดุเหลือใช้จากฟางข้าวนาปี และนาปรังรายเดือน จังหวัดนครสวรรค์



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงปริมาณเศษวัสดุเหลือใช้จากฟางข้าวนาปีและนาปรังรายเดือน จังหวัดสุพรรณบุรี

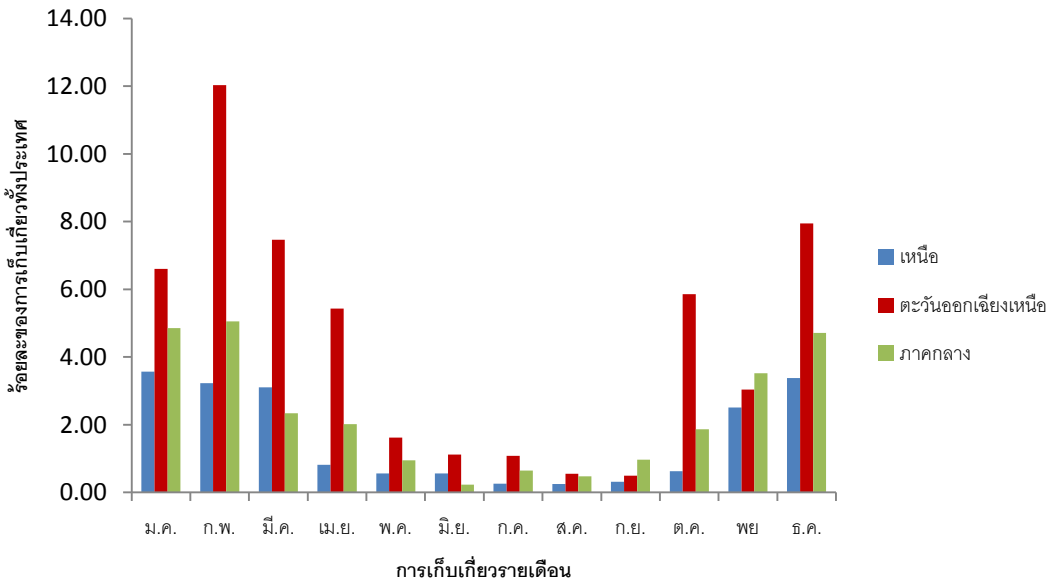


รูปที่ 4.10 ปริมาณเศษวัสดุเหลือใช้จากฟางข้าวนาปีและนาปรังรายเดือนจังหวัดพิจิตร

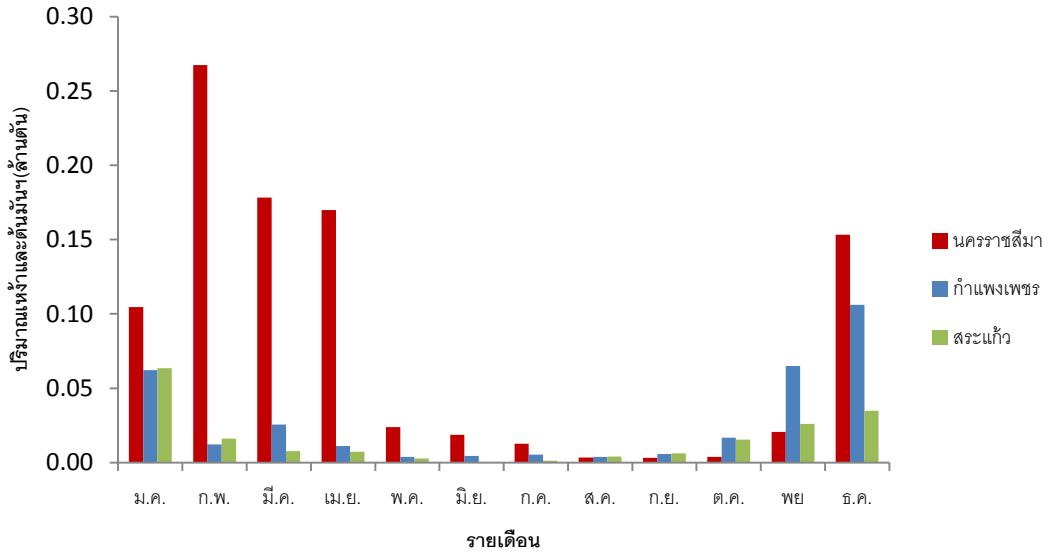
จากภาพที่ 4.8 – 4.10 พบว่า จังหวัดนครสวรรค์ และจังหวัดสุพรรณบุรีจะมีฟางข้าวสม่ำเสมอทั้งปี และเมื่อทำการเก็บเกี่ยวแล้วสามารถปลูกพืชเสริมได้เช่นหญ้าเนเปียร์ยักษ์สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการวัตถุดิบได้ จากการพิจารณาฤดูกาลเพาะปลูกทั้งนาปี และนาปรัง จังหวัดสุพรรณบุรีมีศักยภาพเรื่องปริมาณของฟางข้าวที่สม่ำเสมอทั้งปี และมีปริมาณเพียงพอต่อการผลิตขนาด 1 เมกะวัตต์ โดยในเดือนกุมภาพันธ์เป็นเดือนที่มีฟางข้าวน้อยที่สุดคือ 32,036 ตัน ซึ่งโรงไฟฟ้าขนาด 1 เมกะวัตต์ ต้องใช้เชื้อเพลิงฟางข้าวปริมาณ 1,708 ตันต่อเดือน เทียบเป็น 5.3% ของปริมาณฟางที่เกิดขึ้นในจังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งกรณีที่ต้องการขยายขนาดการผลิตสามารถทำได้เนื่องจากปริมาณวัตถุดิบยังมีเพียงพอ โดยจังหวัดนครสวรรค์เป็นเช่นเดียวกันกับจังหวัดสุพรรณบุรี ส่วนจังหวัดพิจิตร ยังมีเดือนกุมภาพันธ์ที่ไม่มีการเก็บเกี่ยวข้าวจำเป็นต้องมีการเก็บฟางข้าวไว้ในฤดูกาลที่ไม่มีผลผลิต หรือเลือกใช้เศษวัสดุชนิดอื่นทดแทน

3. <u>การประเมินศักยภาพปริมาณเหง้าและต้นมันสำปะหลัง</u>

จากข้อมูลสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2553 การประเมินปริมาณวัตถุดิบจากเศษวัสดุเหลือใช้จากเพาะปลูกมันสำปะหลังโรงงาน จังหวัดแรกที่มีศักยภาพการเพราะปลูกมันสำปะหลังมากที่สุดคือ นครราชสีมา กำแพงเพชร และ สระแก้ว ตามลำดับ โดยมีปริมาณเหง้าและต้นมันสำปะหลังที่เกิดขึ้นต่อปีประมาณ 9.59 3.22 และ 1.85 แสนตัน ซึ่งเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่และจะไม่ประสบปัญหาเรื่องวัตถุดิบในฤดูกาลเก็บเกี่ยว โดยจังหวัดนครราชสีมามีศักยภาพในการผลิตเนื่องจากมีการเก็บเกี่ยวทั้งปี และปริมาณเพียงพอต่อการผลิตไฟฟ้าขนาด 1 MW_e โดย สามารถทำการจัดการผสมผสานร่วมกับหญ้าเนเปียร์ยักษ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการวัตถุดิบในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งในฤดูกาลเก็บเกี่ยวจะมีปริมาณเศษเหง้าและต้นมันสำปะหลังจำนวนมาก ส่วนจังหวัดกำแพงเพชร และจังหวัดสระแก้ว ยังจำเป็นต้องใช้รูปแบบการจัดการเชื้อเพลิงอย่างอื่นเข้าเพิ่มเติม เนื่องจากยังมีบางเดือนที่ไม่มีการเก็บเกี่ยวผลผลิตเลยหรืออาจมีปริมาณน้อย ซึ่งเดือน ส.ค.ถึง ต.ค. จะมีการเก็บเกี่ยวน้อยมาก โดยเดือน กันยายน จะมีปริมาณเหง้าและต้นมันสำปะหลังต่ำสุดคือ 3,273 ตันต่อเดือน ดังภาพที่ 4.11 ซึ่งเดือน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้ต่ำสุดของเดือนในขนาด 1 เมกกะวัตต์ พบว่าต้องใช้เหง้าและต้นมันสำปะหลังอย่างน้อย 3,353 ตันต่อเดือน ทำให้ปริมาณเชื้อเพลิงไม่เพียงพอ ทำให้ต้องใช้เชื้อเพลิงเสริม เช่น หญ้าเนเปียร์ยักษ์ หรือ ฟางข้าว ในฤดูกาลที่ไม่มีการเก็บเกี่ยวหรือมีปริมาณวัตถุดิบน้อย



รูปที่ 4.11 สัดส่วนของฤดูกาลเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังรายเดือนโดยแบ่งเป็นภาคต่าง ๆ



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงปริมาณเศษวัสดุเหลือใช้จากเหง้าและต้นมันสำปะหลังรายเดือน ทั้ง 3 จังหวัดที่มีศักยภาพ

4. <u>การประเมินศักยภาพปริมาณหญ้าเนเปียร์ยักษ์</u>

การประเมินศักยภาพการผลิตหญ้าเนเปียร์ยักษ์สำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นจะขึ้นอยู่กับระบบการดูแล และการควบคุมต้นทุนในการผลิต เนื่องจากการปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์จำเป็นต้องเป็นพื้นที่ๆมีฝนตกอย่างสม่ำเสมอ โดยมีอัตราเฉลี่ยมากกว่า 1,000 มิลลิเมตร/ปี หรือในพื้นที่ที่มีระบบชลประทาน จะให้ผลผลิตที่สูงและมีคุณภาพดี (สำราญ, 2554) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอายุการตัดที่มีผลผลิตและคุณค่าทางโภชนะของหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ภายใต้การให้น้ำชลประทาน พบว่า การเพิ่มอายุการตัดหญ้าเนเปียร์ยักษ์จาก 25 วัน เป็น 35, 45 และ 55 วัน ทำให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งรวม(Total Dry Matter Yield, TDMY) เพิ่มขึ้น และจำนวนครั้งที่ตัด 5.23 ตัน(15 ครั้ง), 9.25(11 ครั้ง), 10.78(9 ครั้ง) และ 12.04 ตัน (7 ครั้ง) ตันต่อไร่ต่อปี เพราะฉะนั้นในการประเมินศักยภาพการผลิตหญ้าเนเปียร์ยักษ์จะทำการเลือกเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลา 55 วัน หรือ 7 ครั้งต่อปี ซึ่งทำให้ระบบการจัดการเก็บเกี่ยวลดลงซึ่งไม่ส่งผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ทำให้การผลิตหญ้าเนเปียร์ยักษ์สดที่ 40.13 ตันต่อปี ที่ความชื้น 70% wb. และการปลูกหญ้าเนเปียร์ยังสามารถไว้ตอได้ตั้งแต่ 7 ปีจนถึง 13 ปี ซึ่งการปลูกแต่ละครั้งสามารถเก็บเกี่ยวได้มากถึง 280.91-521.69 ตันสดต่อรอบการปลูก

จากการศึกษาฤดูกาลเก็บเกี่ยวที่รวบรวมได้จากวรรณกรรมปริทัศน์สามารถสร้างปฏิทินแสดงการเก็บเกี่ยวได้ดังรูป 4.13 ซึ่งแสดงฤดูกาลเก็บเกี่ยวของ หญ้าเนเปียร์ยักษ์ ฟางข้าวนาปี ฟางข้าวนาปรัง เหง้าและ ต้นมันสำปะหลัง จะเห็นได้ว่าทั้งภาคกลางและภาคเหนือฟางข้าวจะมีเพียง 8 เดือน คือ

ตั้งแต่เดือน มีนาคม – กรกฎาคม และ เดือนตุลาคม – ธันวาคม ส่วนมันสำปะหลังจะขึ้นอยู่กับการเก็บเกี่ยวของเกษตรกร ส่วนหญ้าเนเปียร์ยักษ์นั้นมีตลอดทั้งปี

<table>
<tr><th>ภาค</th><th>ม.ค.</th><th>ก.พ.</th><th>มี.ค.</th><th>เม.ย.</th><th>พ.ค.</th><th>มิ.ย.</th><th>ก.ค.</th><th>ส.ค.</th><th>ก.ย.</th><th>ต.ค.</th><th>พ.ย.</th><th>ธ.ค.</th></tr>
<tr><td rowspan="3">ภาคกลาง</td><td colspan="12">หญ้าเนเปียร์ยักษ์</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="6">ข้าวนาปรัง (ฟาง)</td><td></td><td colspan="3">ข้าวนาปี (ฟาง)</td></tr>
<tr><td colspan="12">เหง้าและต้นมันสำปะหลัง</td></tr>
<tr><td rowspan="3">ตะวันออกเฉียงเหนือ</td><td colspan="12">หญ้าเนเปียร์ยักษ์</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="6">ข้าวนาปรัง (ฟาง)</td><td></td><td colspan="3">ข้าวนาปี (ฟาง)</td></tr>
<tr><td colspan="8">เหง้าและต้นมันสำปะหลัง</td><td></td><td colspan="3">เหง้าและต้นมันสำปะหลัง</td></tr>
</table>

รูปที่ 4.13 แสดงฤดูกาลเก็บเกี่ยวของ หญ้าเนเปียร์ยักษ์ ฟางข้าวนาปี ฟางข้าวนาปรัง เหง้าและ ต้นมันสำปะหลัง

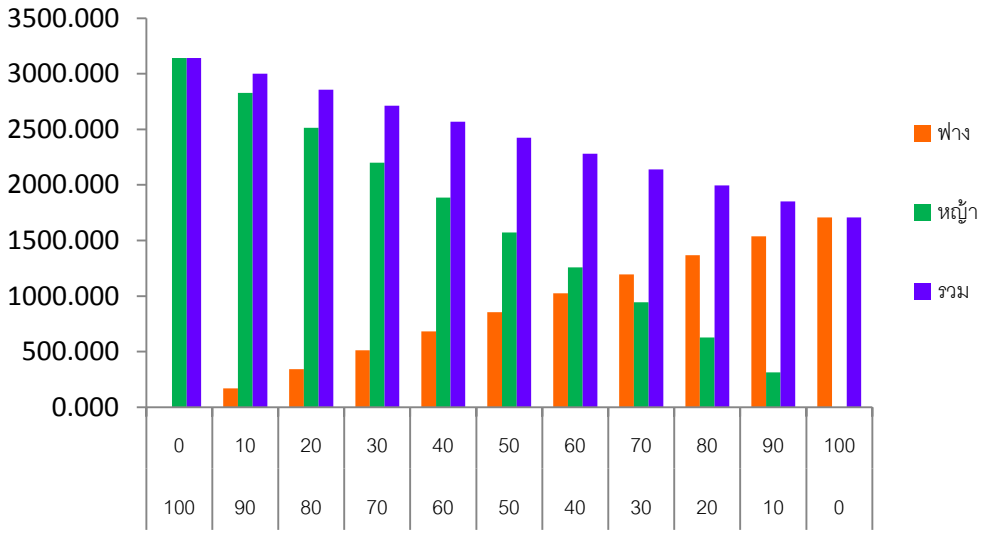
จากการพิจารณาฤดูกาลผลิตข้าว พบว่า ชีวมวลจากการผลิตข้าว มีเพียง 8 เดือน คือ ช่วง มี.ค.- ก.ค. และ ต.ค.- ธ.ค. ทำให้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวจำเป็นต้องมีการเก็บรักษาวัตถุดิบไว้ในฤดูกาลที่ไม่มีการเก็บเกี่ยว หรือใช้วัตถุดิบอื่นๆทดแทน ซึ่งในส่วนของฟางข้าวมีความเป็นไปได้เนื่องจากการเก็บรักษาฟางข้าวไม่มีผลต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของเท่าไร มีแต่เพียงจะเพิ่มต้นทุนในการเก็บรักษา ซึ่งจากข้อมูลราคาฟางข้าวและปริมาณก๊าซที่ผลิตได้นั้นไม่สามารถดำเนินการได้เนื่องราคาวัตถุดิบเฉลี่ย 1.713 บาทต่อกิโลกรัม สามารถผลิตไฟฟ้าได้เพียง 0.322 ลบ.ม. หรือ 0.386 กิโลวัตต์ชั่วโมง เทียบเท่ากับราคา 1.08 บาท ซึ่งต้นทุนวัตถุดิบการผลิตไฟฟ้าจากฟางข้าวจะอยู่ที่ 4.44 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ที่ราคาไฟฟ้าหน่วยละ 2.97 บาท ซึ่งจะเห็นได้ว่าต้นทุนวัตถุดิบมีมูลค่าสูงกว่าการผลิตไฟฟ้า เพราะฉะนั้นในการผลิตไฟฟ้าจากฟางข้าวจำเป็นต้องให้ภาครัฐสนับสนุนเพิ่ม ซึ่งปัจจุบันการเพิ่มส่วนต่างราคารับซื้อไฟฟ้า (Adder) ของก๊าซชีวภาพในการผลิตไฟฟ้ามีเพียง 0.5 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งไม่เพียงพอต่อการผลิต ฉะนั้นการผลิตไฟฟ้าจากฟางข้าวด้วยเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพจะมีต้นทุนสูงกว่า 4.44 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมงเมื่อรวมเงินลงทุน ทำให้ไม่มีการผลิต

ข้อมูลฤดูกาลเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง พบว่า ชีวมวลจากการผลิตมันสำปะหลังมีตลอดทั้งปี เศษวัสดุเหลือใช้จากมันสำปะหลังไม่สามารถเก็บรักษาไว้ได้ เนื่องจากปัญหาของแมลงที่อยู่ในเหง้ามันสำปะหลังทำให้การผลิตก๊าซชีวภาพจากเหง้ามันจำเป็นต้องใช้เดือนต่อเดือน แต่เนื่องจากราคาวัตถุดิบเฉลี่ย 0.762 บาทต่อกิโลกรัม สามารถผลิตไฟฟ้าได้เพียง 0.164 ลบ.ม. หรือ 0.197 กิโลวัตต์ชั่วโมง เทียบเท่ากับราคา 0.55 บาทซึ่งต้นทุนวัตถุดิบการผลิตไฟฟ้าจากเหง้าและต้นมันสำปะหลังจะอยู่ที่ 3.87 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ที่ราคาไฟฟ้าหน่วยละ 2.97 บาท ซึ่งจะเห็นได้ว่าต้นทุนวัตถุดิบมีมูลค่าสูงกว่าการผลิตไฟฟ้าเช่นเดียวกับฟางข้าว เพราะฉะนั้นในการผลิตไฟฟ้าจากการผลิตมันสำปะหลังจำเป็นต้องให้ภาครัฐสนับสนุนเพิ่ม

ส่วนการผลิตหญ้าเนเปียร์ยักษ์นั้นเป็นการผลิตชีวมวลเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่า การผลิตชีวมวลจากหญ้าเนเปียร์ยักษ์มีตลอดทั้งปี และราคาวัตถุดิบเฉลี่ยเพียง 0.29 บาทต่อกิโลกรัม สามารถผลิตไฟฟ้าได้เพียง 0.175 ลบ.ม. หรือ 0.21 กิโลวัตต์ชั่วโมง เทียบเท่ากับราคา 0.59 บาท ต้นทุนวัตถุดิบการผลิตไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์ยักษ์จะอยู่ที่ 1.381 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งมีความเป็นไปได้ในการลงทุน

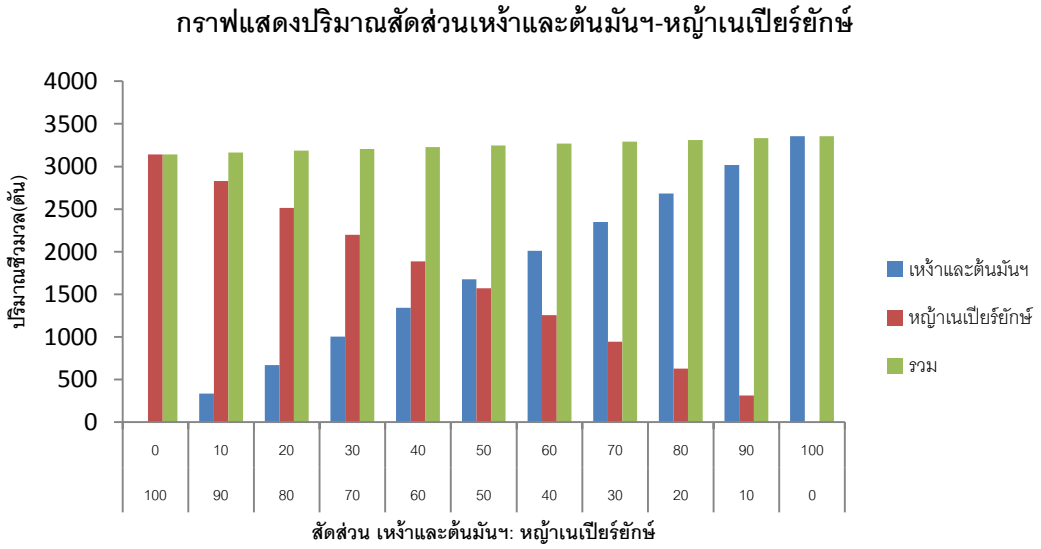
เพราะฉะนั้นการงานวิจัยนี้สามารถกำหนดแบบจำลองของต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสำหรับการผลิตไฟฟ้าสำหรับที่ห่างไกลระบบการจ่ายไฟฟ้า และเป็นการวางแผนพลังงานทดแทนในอนาคต ที่ค่าพลังงานอาจสูงขึ้น เช่น การใช้ฟางข้าวอย่างเดียว และ เหง้าและต้นมันสำปะหลังอย่างเดียว ที่ราคาวัตถุดิบสูงกว่าราคาค่าไฟฟ้าปัจจุบัน ส่วนการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ยักษ์มีศักยภาพและสามารถผลิตได้แต่ต้องคำนึงถึงต้นทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนพาณิชย์

การพิจารณาการสร้างโรงไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพจำเป็นอย่างยิ่งต้องคำนึงถึงปริมาณถังหมักซึ่งจะขึ้นอยู่กับวัตถุในการป้อนและปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.14-15 แสดงถึงความสัมพันธ์ของปริมาณวัตถุดิบที่ป้อนให้กับโรงไฟฟ้าเพื่อผลิตก๊าซให้ได้ประมาณ 550,000 ลบ.ม. ต่อเดือน เพื่อรองรับการผลิตไฟฟ้าขนาด 1 MW จากการศึกษาพบว่าความแตกต่างของปริมาณการผลิตก๊าซจะส่งผลต่อการออกแบบระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ ดังภาพที่ 4.14 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างการใช้ฟางข้าวอย่างเดียวจะมีความแตกต่างจากการใช้หญ้าเนเปียร์ยักษ์อย่างเดียวถึง 1,435 ตันต่อเดือน หรือ 46% เทียบกับถังหมักปกติ ซึ่งจะส่งผลต่อการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในแต่ละเดือนและประสิทธิภาพการใช้ชีวมวล



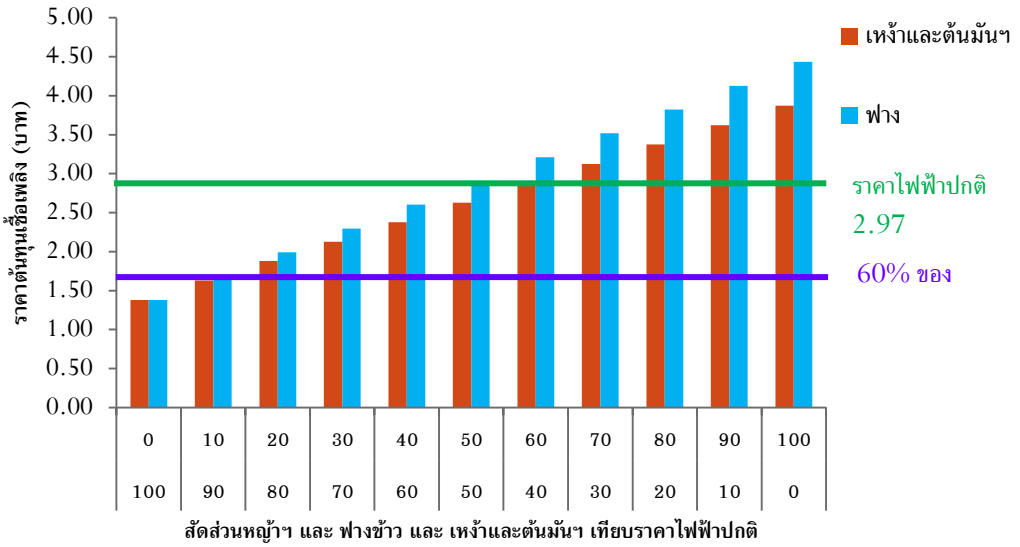
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณชีวมวลที่ใช้โดยน้ำหนักในต่อสัดส่วนฟางข้าวและหญ้าเนเปียร์ยักษ์

ส่วนการพิจารณาสัดส่วนของวัตถุดิบจากเหง้าและต้นมันสำปะหลังใช้ร่วมกับหญ้าเนเปียร์ยักษ์ พบว่า มีความเหมาะสมในการทดแทนกัน โดยพิจารณาจาก ดังภาพที่ 4.15 ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ต่อหน่วยมวล และเมื่อทำการผสม หรือ ใช้ทดแทนกัน ปริมาณถังผลิตก๊าซชีวภาพจะมีค่าใกล้เคียงกัน แตกต่างเพียง 211 ตันต่อเดือน หรือประมาณ 7 ตันต่อวัน ซึ่งจะทำให้ระบบการผลิตก๊าซชีวภาพใช้ประสิทธิภาพของถังหมักอย่างเต็มที่



รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณชีวมวลที่ใช้โดยน้ำหนักในต่อสัดส่วนเหง้าและต้นมันสำปะหลังและหญ้าเนเปียร์ยักษ์

กรณีจำกัดต้นทุนเชื้อเพลิงที่ 60% ของราคาค่าไฟฟ้า ราคาวัตถุดิบจะอยู่ที่ 1.68 บาทต่อกิโลวัตต์ ซึ่งเมื่อนำมาพิจารณาภาพที่ 4.16 พบว่าสัดส่วนของเชื้อเพลิงจากฟางข้าว และเหง้าและต้นมันสำปะหลังควรอยู่ที่ 10% โดยใช้เชื้อเพลิงหญ้าเนเปียร์ยักษ์เป็นเชื้อเพลิงหลัก



ภาพที่ 4.16 แสดงราคาต้นทุนของวัตถุดิบจากการใช้เชื้อเพลิง 2 ชนิด

โดยใช้หญ้าเนเปียร์ยักษ์ ร่วมกับ ฟางข้าว และหญ้าเนเปียร์ยักษ์ร่วมกับเหง้าและต้นมันสำปะหลังเทียบกับราคาไฟฟ้าปกติ(2.97 บาท/กิโลวัตต์) ไม่รวมค่าอัตราส่วนต่างราคารับซื้อไฟฟ้า (Adder) โดยพิจารณาค่าเชื้อเพลิงมีมูลค่าร้อยละ 60 ของราคาขายไฟฟ้า ทำให้ราคาของเชื้อเพลิงที่มีความเป็นไปได้ ณ ปัจจุบันของทั้ง 2 ต้องไม่เกิน 1.78 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ทำให้สัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงผสมระหว่างหญ้าเนเปียร์ยักษ์ต่อฟางข้าวและหญ้าเนเปียร์ยักษ์ต่อเหง้าและต้นมันสำปะหลังจะอยู่ในอัตรา ที่ 9: 1 ทั้ง 2 ชนิด

โดยทั้ง 6 โมเดล สามารถคำนวนต้นทุนระบบการผลิตก๊าซชีวภาพและการผลิตไฟฟ้าขนาด 1 เมกกะวัตต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งต้นทุนระบบผลิตก๊าซแบบ UASB จะพิจารณาขนาด Reactor เป็นหลัก โดยคำนวนมาจากปริมาณวัตถุดิบที่ป้อนเข้าไป และพิจารณา Retention time

ตารางที่ 4.6 ต้นทุนระบบการผลิตก๊าซชีวภาพและการผลิตไฟฟ้าขนาด 1 MW จากวัสดุชนิดต่าง ๆ

No.	Model	ขนาดระบบ (ลบ.ม.)	ต้นทุนระบบผลิตก๊าซ (ล้านบาท)	ระบบต้นกำลังและระบบทำความสะอาดก๊าซ (ล้านบาท)	รวม (ล้านบาท)
1	ฟางข้าว	14777.80	62.40	30	92.40
2	เหง้าและต้นมันฯ	17138.39	72.31	30	102.31
3	หญ้าเนเปียร์ยักษ์	20665.33	87.12	30	117.12
4	ฟางข้าว :หญ้าเนเปียร์ยักษ์	20076.58	84.65	30	114.65
5	เหง้าและต้นมันฯ:หญ้าเนเปียร์ยักษ์	20312.64	85.64	30	115.64
6	ฟางข้าว :หญ้าเนเปียร์ยักษ์	17132.81	72.29	30	102.29

หมายเหตุ: ความหนาแน่นฟางข้าว 0.114 (ตัน/ลบ.ม.), ความหนาแน่นเหง้ามันสำปะหลัง 0.193 (ตัน/ลบ.ม.) และความหนาแน่นหญ้าเนเปียร์ยักษ์ 0.150 (ตัน/ลบ.ม.)

ปริมาณวัตถุดิบ (ลบ.ม./ปี) = ปริมาณการใช้ต่อปี(ตัน/ปี)/ความหนาแน่น(ตัน/ลบ.ม.)

ขนาดถังหมัก = ปริมาณวัตถุดิบ (ลบ.ม./ปี) x retention time (30 วัน)/365

(Planning and Installing Bioenergy System. 2005)

(Initial Investment Cost) เงินลงทุน = 0.0042 x ขนาดระบบ + 0.33 ล้านบาท ระบบในประเทศ (ประทิน และคณะ.2549)

ความหนาแน่นในการออกแบบระบบ 1000 กก./ลบ.ม.

ราคาระบบต้นกำลังประกอบด้วย Generator set หม้อแปลง และระบบจ่ายไฟฟ้า ระบบทำความสะอาดไฮดลอเจนซันฟาย H_2S และความชื้น

จากข้อมูลการผลิตและปริมาณชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ตามฤดูกาล พบว่า แบบจำลองการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตไฟฟ้าสำหรับชุมชน สามารถจำแนกได้ 6 แบบจำลองคือ

แบบจำลองที่ 1 การใช้ฟางข้าวอย่างเดียว โดยอาศัยการเก็บรักษาฟางข้าวในช่วงที่ไม่มีการเก็บเกี่ยว

แบบจำลองที่ 2 การใช้เหง้าและต้นมันสำปะหลังอย่างเดียว โดยอาศัยการเก็บรักษาไว้ในช่วงที่มีปริมาณน้อย

แบบจำลองที่ 3 การหญ้าเนเปียร์ยักษ์เป็นวัตถุดิบ

แบบจำลองที่ 4 การใช้ฟางข้าวผสมหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในอัตรา 1:9

แบบจำลองที่ 5 การใช้เหง้าและต้นมันสำปะหลังผสมหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในอัตรา 1:9

แบบจำลองที่ 6 การใช้ฟางข้าวและปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ทดแทนหลังการเก็บเกี่ยวในอัตรา 6:4

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

1. ข้อสมมติฐาน

ข้อสมมติฐานที่กำหนดไว้ในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ด้านการเงินประกอบด้วย

1.1 โรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพขนาดกำลังการผลิตที่ 1 MW สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 7,920 ชั่วโมง (Plant Factor 0.9) คิดเป็น 7,920,000 หน่วย/ปี ซึ่งสามารถจำหน่ายได้หมดตามกำลังการผลิต โดยมีผู้รับซื้อรายเดียวคือ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ราคาการจำหน่ายไฟฟ้า

กรณีที่ 1 การสนับสนุน ค่าอัตราส่วนต่างราคารับซื้อไฟฟ้า (Adder) ในอัตราปกติ 0.5 บาท/กิโลวัตต์

ราคาจำหน่ายไฟฟ้า 3.47 บาท/หน่วย คำนวณจากราคารับซื้อไฟฟ้าตามระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (สำหรับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน และสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานเชิงพาณิชย์ระบบ Cogeneration) พ.ศ. 2549 ตามประกาศการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เรื่อง การรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก โดยราคารับซื้อคำนวณจาก

อัตราการรับซื้อไฟฟ้า= ค่าไฟฐาน(Peak/off Peak)+FTขายส่งเฉลี่ย+ ส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า

เมื่อ :

พลังงานไฟฟ้า = ราคาเฉลี่ย 2.2 บาท/หน่วย (อัตรา Peak และ Off-Peak)

FT = 0.77 บาท/หน่วย (ราคา ณ เดือนมกราคม 2551)

ค่าอัตราส่วนต่างราคารับซื้อไฟฟ้า (Adder) = 0.5 บาท/หน่วย (กรณีก๊าซชีวภาพที่มีขนาด $\leq$ 1 MW)

กรณีที่ 2 การสนับสนุน ค่าอัตราส่วนต่างราคารับซื้อไฟฟ้า (Adder) โดยรับการสนับสนุนการก่อสร้างโรงไฟฟ้า (Subsidy)

กรณีที่ 3 รัฐสนับสนุนเงินทุนก่อสร้าง Subsidy และ Feed in tariff ที่ผลตอบแทนการลงทุนไม่ต่ำกว่า 11% ระยะเวลาคืนทุน 10 ปี

<u>กรณีที่ 4</u> Feed in tariff ที่ผลตอบแทนการลงทุนไม่ต่ำกว่า 11% ระยะเวลาคืนทุน 10 ปี

จากการวิเคราะห์เงินลงทุนจะมีส่วนของเงินลงทุนเริ่มต้น ดังตารางที่ 4.6และเงินต้นทุนวัตถุดิบ ดังตารางที่ 4.5

การวิเคราะห์โครงการโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพของเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจำเป็นต้องคำนึงถึงผลตอบแทน(Benefit) ค่าใช้จ่าย(Cost) ต่างๆ ของโครงการ เพื่อหาจุดคุ้มทุน และการตัดสินใจในการลงทุน โดยการวิเคราะห์ทางการเงิน (Financial Analysis) และการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์(Economic Analysis) โดยการวิเคราะห์ทางการเงินเพื่อมุ่งหมายผลตอบแทนทางการเงิน หรือความสามารถในการทำผลกำไรของการผลิตไฟฟ้าหรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ รวมถึงการวางแผนทางการลงทุนสำหรับโครงการ ส่วนการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ เป็นการวิเคราะห์ผลตอบแทนหรือความสามารถในการทำกำไร ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลการลงทุนหรือต้นทุน(Cost) รายได้(Income) หรือผลตอบแทน(Benefits) เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของโครงการ ซึ่งขั้นตอนการวิเคราะห์ที่สำคัญดังนี้

1. ขั้นการเตรียมงบประมาณกระแสเงินเข้า (Inflows) ซึ่งเป็นรายการที่เกี่ยวกับรายได้หรือผลตอบแทนที่ได้จากการลงทุน กระแสเงินออก(Outflows) ซึ่งเป็นรายการที่เกี่ยวกับค่าใช้จ่ายหรือเงินทุนที่ใช้ในการลงทุน

2. ขั้นการคำนวณผลตอบแทนสุทธิของการลงทุน โดยนำกระแสเงินออกหรือกระแสค่าใช้จ่ายที่คิดจากโครงการลงทุน ลบกระแสเงินเข้าหรือกระแสรายได้จากโครงการลงทุน

3. ขั้นการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน และอัตราผลตอบแทนทางการเงินภายในจากโครงการลงทุน

การวิเคราะห์ทางการเงินของโรงไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพจากเศษวัสดุเหลือใช้และการผลิตพืชสำหรับเป็นวัตถุดิบป้อนโรงไฟฟ้า เป็นการพิจารณาถึงผลประโยชน์สุทธิทางด้านการเงินที่มีต่อผู้ลงทุน โดยอาศัยการพิจารณาต้นทุนและผลประโยชน์(Cost Benefit) ของโครงการ โดยใช้ราคาตลาด (Market Price) มาพิจารณาในการวิเคราะห์กระแสเงินเข้าและกระแสเงินออกประกอบด้วยต้นทุนประเภทต่างๆ ดังนี้

1.2 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Investment Costs) หมายถึงมูลค่าของทรัพยากรที่ใช้ไปเพื่อเป็นพื้นฐานในการผลิต ค่าใช้จ่ายในการลงทุน หรือเรียกว่าเงินลงทุนในโครงการ เป็นเงินทุนในทรัพย์สินถาวรที่มีอายุใช้งานมากกว่า 1 ปี และโครงการจำเป็นต้องใช้ในการดำเนินงาน เช่น ค่าลงทุนเครื่องจักร อุปกรณ์ และการติดตั้งโรงจักรผลิตไฟฟ้าและระบบต่างๆของโรงไฟฟ้ารวมทั้งสายส่งไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าไปเชื่อมต่อระบบส่ง โดยกำหนดสมมติฐานการคำนวณต้นทุนและรายได้ ได้แก่ อายุโครงการมีอายุ 15 ปี เนื่องจากต้นทุนโรงไฟฟ้าเบื้องต้น เงินลงทุน ต้นทุน และรายได้ในแต่ละปี โดยหา

อัตราผลตอบแทน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value; NPV), อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ(Financial Internal Rate of Return; FIRR), อัตราผลประโยชน์ต่อต้นทุน(Benefit – Cost Ratio) และ ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

1.2.1 เงินลงทุนของโครงการ

เงินหมุนเวียน 5,000,000 บาท

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพและระบบการผลิตไฟฟ้า ดังตารางที่ 4.6

ค่าธรรมเนียม (Royalty and Engineering fee) ประมาณ 10 % ของราคาระบบผลิตก๊าซชีวภาพและระบบการผลิตไฟฟ้า

ตารางที่ 4.7 เมื่อนำต้นทุนทั้ง 3 มารวมกัน คือ เงินหมุนเวียนในการจัดซื้อวัตถุดิบ ต้นทุนราคาระบบผลิตก๊าซชีวภาพและระบบการผลิตไฟฟ้าจากตารางที่ 4.6 และค่าธรรมเนียมร้อยละ 10 ซึ่งต้นทุนระบบผลิตก๊าซชีวภาพและระบบการผลิตไฟฟ้าจะมีความแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุดิบเนื่องขนาดของถังมักที่มีขนาดแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.7 ต้นทุนเริ่มต้นสำหรับใช้ในโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพขนาด 1 MWจากวัสดุชนิดต่าง ๆ

No.	Model	ราคาระบบผลิตก๊าซและระบบผลิตไฟฟ้า (ล้านบาท)	ต้นทุนโรงไฟฟ้า (ล้านบาท)	ต้นทุนโรงไฟฟ้า + ค่าธรรมเนียม (ล้านบาท)
1	ฟางข้าว	92.40	97.40	106.64
2	เหง้าและต้นมันฯ	102.31	107.31	117.54
3	หญ้าเนเปียร์ยักษ์	117.12	122.12	133.83
4	ฟางข้าว :หญ้าเนเปียร์ยักษ์	114.65	119.65	131.12
5	เหง้าและต้นมันฯ:หญ้า	115.64	120.64	132.20
6	ฟางข้าว :หญ้าเนเปียร์ยักษ์	102.29	107.29	117.52

1.2.2 ต้นทุนวัตถุดิบ ราคาเชื้อเพลิงจะคิดได้จากตารางที่ 4.5 ซึ่งโมเดลที่ 4 5 และ 6 นั้นจะคิดเป็นสัดส่วน 1:9 1:9 และ 6:4 ตามลำดับ ดังในตารางที่ 4.8 ซึ่งจะแสดงต้นทุนวัตถุดิบสำหรับใช้ในโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพขนาด 1 MW

ตารางที่ 4.8 ต้นทุนวัตถุดิบสำหรับใช้ในโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพขนาด 1 MW

No.	Model	ราคาเชื้อเพลิง (ล้านบาท/ปี)	ต้นทุนวัตถุดิบ (บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง)
1	ฟางข้าว	35.16	4.44
2	เหง้าและต้นมันฯ	30.65	3.87
3	หญ้าเนเปียร์ยักษ์	10.92	1.38
4	ฟางข้าว :หญ้าเนเปียร์ยักษ์	13.34	1.68
5	เหง้าและต้นมันฯ:หญ้า	12.89	1.63
6	ฟางข้าว :หญ้าเนเปียร์ยักษ์	25.46	3.21

จากตารางที่ 4.8 แสดงต้นทุนวัตถุดิบแต่ละชนิดในการผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 1 MW พบว่า วัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพมีราคาต้นทุนที่สูงกว่าราคาขายไฟฟ้าคือ 2.97 ไม่รวมค่าส่วนต่างราคารับซื้อไฟฟ้า โดยถ้าต้นทุนวัตถุดิบของการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 60 % ของราคาขาย ต้นทุนเชื้อเพลิงต้องไม่เกิน 1.782 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง ทำให้แบบจำลองการผลิตไฟฟ้าจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นได้เฉพาะแบบที่ 3, 4 และ 5 ดังตารางที่ 4.8 ซึ่งต้นทุนวัตถุดิบแบบจำลองอื่นๆ จำเป็นต้องพิจารณาการลงทุนแบบ Subsidy และ การขายไฟฟ้าแบบ Feed in tariff

1.2.3 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษา(Operating & Maintenance Cost)

ซึ่งประกอบด้วย ซ่อมแซม อุปกรณ์ เครื่องจักรผลิตไฟฟ้า ค่าบริหารและควบคุมงาน ค่าจ้างแรงงาน (Planning and Installing Bioenergy System. 2005) จะมีต้นทุนประมาณ 2-4 % (เฉลี่ย 3%) ของเงินลงทุนเริ่มต้น คิดเป็น 0.369-0.463 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง

1.2.4 ค่าจ้างแรงงาน

ค่าจ้างแรงงานเนื่องจากเป็นต้นทุนหนึ่งที่นำมาพิจารณาประกอบด้วยบุคลากรดังแสดงในตารางที่ 4.9 ซึ่งใช้เจ้าที่ประมาณ 8 คนเป็นอย่างต่ำ

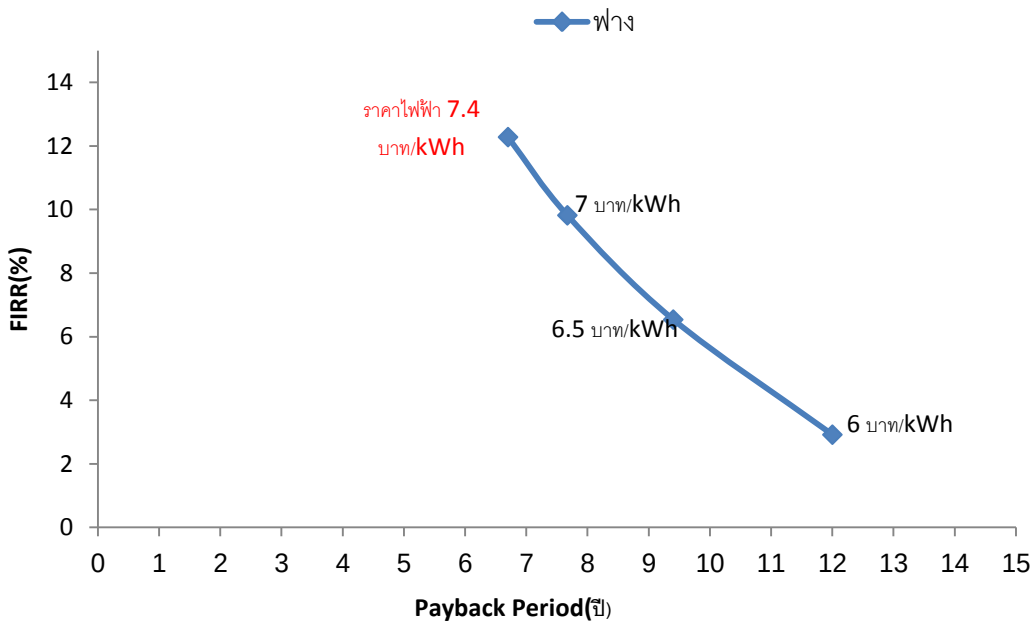
ตารางที่ 4.9 **ต้นทุนค่าจ้างแรงงาน**

ลำดับ	รายการ	อัตรากำลัง		อัตราเงินเดือน	รวม โรงไฟฟ้า	รวม สำนักงาน
		โรงไฟฟ้า	สำนักงาน			
1	ผู้จัดการโรงงาน	1		15000	15000	0
2	วิศวกรโรงงาน	2		15000	30000	0
3	บัญชี/ธุรการ/จัดซื้อ		2	10000	0	20000
4	ช่างเทคนิค	3		10000	30000	0
5	เจ้าหน้าที่ Operator			7500	0	0
	รวม	6	2		75000	20000

1.2.5 ต้นทุนค่าเชื้อเพลิง

ต้นทุนเชื้อเพลิงแสดงดังตารางที่ 4.8 ซื้อเป็นราคาเชื้อเพลิงที่พิจารณาตามแบบจำลองข้างต้นทั้ง 6 แบบจำลองเพื่อประเมินรูปแบบการจัดการต้นทุนราคาเชื้อเพลิง

แบบจำลองที่ 1 การใช้ฟางข้าวอย่างเดียว โดยอาศัยการเก็บรักษาฟางข้าวในช่วงที่ไม่มีการเก็บเกี่ยว จากตารางที่ 4.8 ราคาต้นทุนวัตถุดิบ 4.4 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง โดยตั้งสมมุติฐานต้นทุนการผลิต 60 % เป็นต้นทุนวัตถุดิบ เพราะฉะนั้นราคาไฟฟ้าที่ขาย 7.40 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง จากภาพที่ 4.17 แสดงผลอัตราการตอบแทน ซึ่งฟางข้าวไม่มีความคุ้มค่าในราคาจำหน่ายไฟฟ้าในปัจจุบัน



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงผลอัตราการตอบแทนภายในต่อระยะเวลาคืนทุนที่ราคาขายไฟฟ้าในอัตราต่าง ๆ ของฟางข้าว

แต่ถ้ามีความจำเป็นอย่างยิ่ง รัฐก็สามารถรับซื้อไฟฟ้าที่ราคาสูงเพื่อเป็นแรงจูงใจให้กับผู้ลงทุน หรือสนับสนุนเงินลงทุนในอัตราต่างๆ และอัตราการรับซื้อไฟฟ้า ดังตารางที่ 4.10 และเพื่อให้เป็นไปตามนโยบายการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

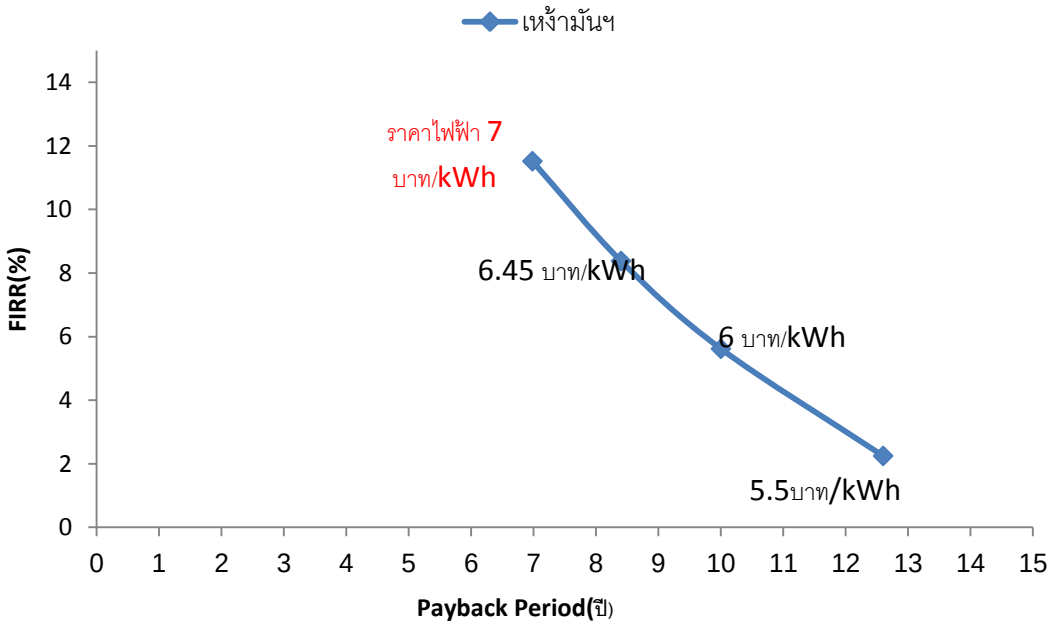
ตารางที่ 4.10 ราคาขายไฟฟ้าจากฟางข้าวภายใต้การสนับสนุนเงินก่อสร้างเริ่มต้น

ราคาขายไฟฟ้า บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง	เงินสนับสนุน (Subsidy) %	IRR(%)	NPV (ล้านบาท)	Payback Period (ปี)
6	50	10.97	58.14	7.18
6.5	30	11.20	78.57	7.01
7	10	11.33	99	7.05

หมายเหตุ : Discount Rate10 % และ คำนวณ Feed in Tariff (FIT) 15 ปี

แบบจำลองที่ 2 การใช้เหง้าและต้นมันสำปะหลังอย่างเดียว โดยอาศัยการเก็บรักษาไว้ในช่วงที่มีปริมาณน้อยจากตารางที่ 4.8 ราคาต้นทุนวัตถุดิบ 3.87 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง โดยตั้งสมมุติฐานต้นทุนการผลิต 60 % เป็นต้นทุนวัตถุดิบ เพราะฉะนั้นราคาไฟฟ้าที่ขาย 6.45 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง จากภาพ

ที่ 4.18 แสดงผลอัตราการตอบแทน ซึ่งเหง้าและต้นมันสำปะหลังไม่มีความคุ้มค่าในราคาจำหน่ายไฟฟ้าในปัจจุบัน



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงผลอัตราการตอบแทนภายในต่อระยะเวลาคืนทุนที่ราคาขายไฟฟ้าในอัตราต่าง ๆ ของเหง้ามันสำปะหลัง

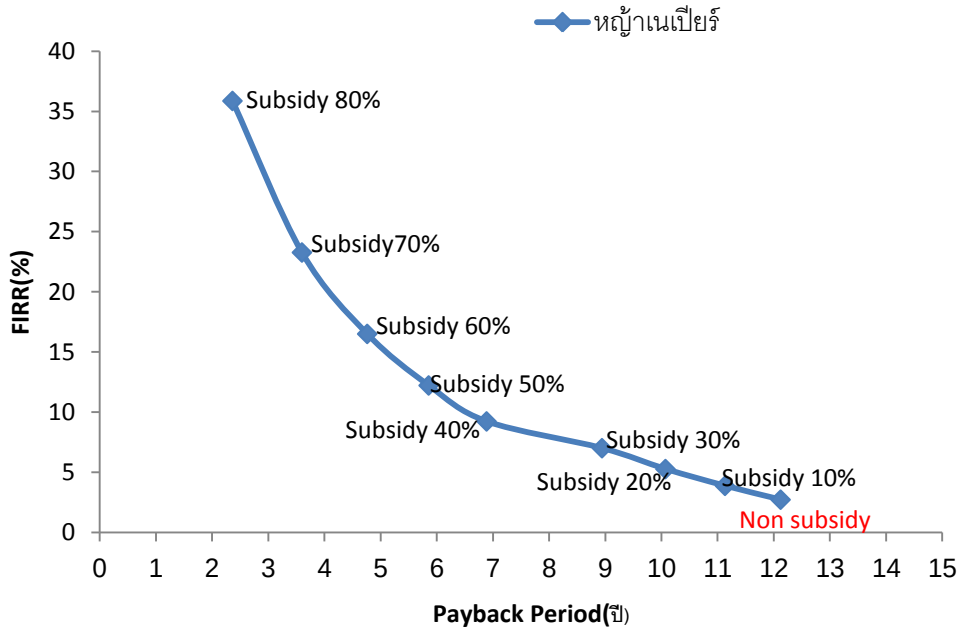
แต่ถ้ามีความจำเป็นอย่างยิ่ง รัฐก็สามารถรับซื้อไฟฟ้าที่ราคาสูงเพื่อเป็นแรงจูงใจให้กับผู้ลงทุน หรือสนับสนุนเงินลงทุนในอัตราต่างๆ และอัตราการรับซื้อไฟฟ้า ดังตารางที่ 4.11 ซึ่งจะแสดงราคาขายไฟฟ้าจากเหง้ามันสำปะหลังภายใต้การสนับสนุนเงินก่อสร้างเริ่มต้น และเพื่อให้เป็นไปตามนโยบายการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยฟางข้าวและเหง้าและต้นมันสำปะหลังต้นมีลักษณะและต้นทุนใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.11 ราคาขายไฟฟ้าจากเหง้ามันสำปะหลังภายใต้การสนับสนุนเงินก่อสร้างเริ่มต้น

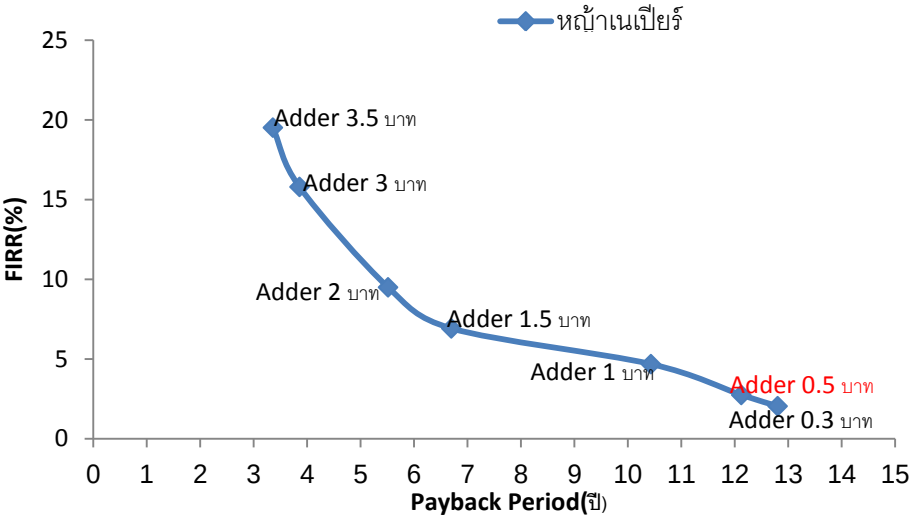
ราคาขายไฟฟ้า บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง	เงินสนับสนุน (Subsidy) %	IRR(%)	NPV (ล้านบาท)	Payback Period (ปี)
5.5	55	11.47	59.44	6.99
6.0	35	11.12	80.19	7.13
6.45	20	11.48	98.37	6.99

หมายเหตุ : Discount Rate10 % และ คำนวณ Feed in Tariff (FIT) 15 ปี

แบบจำลองที่ 3 การหญ้าเนเปียร์ยักษ์เป็นวัตถุดิบจากตารางที่ 4.8 ราคาต้นทุนวัตถุดิบ 1.38 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง เป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพที่สุดจากแบบจำลองทั้ง 6 ที่กล่าวมาข้างต้น แต่เมื่อนำข้อมูลการลงทุนมาพิจารณา ดังภาพที่ 4.19 และ 4.20 พบว่าระยะเวลาการคืนทุนค่อนข้างช้าในกรณีที่มีการเพิ่มส่วนต่าง ณ ปัจจุบันทำให้ไม่เป็นที่จูงใจในการลงทุน ทำให้ถ้าต้องการให้มีการลงทุนมากขึ้นภายใต้เงินส่วนเพิ่ม ณ ปัจจุบันควรมีการสนับสนุนเงินลงทุนเริ่มต้นที่ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้การคืนทุนจะอยู่ใน 7 ปี

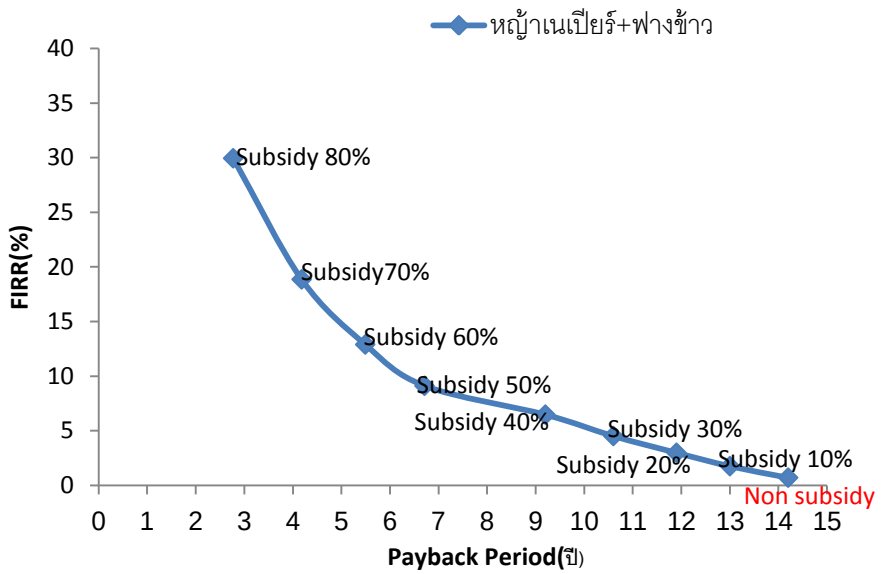


รูปที่ 4.19 **กราฟแสดงผลอัตราการตอบแทนภายในต่อระยะเวลาคืนทุนที่สนับสนุนการก่อสร้างเริ่มต้นในอัตราต่าง ๆ ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์**

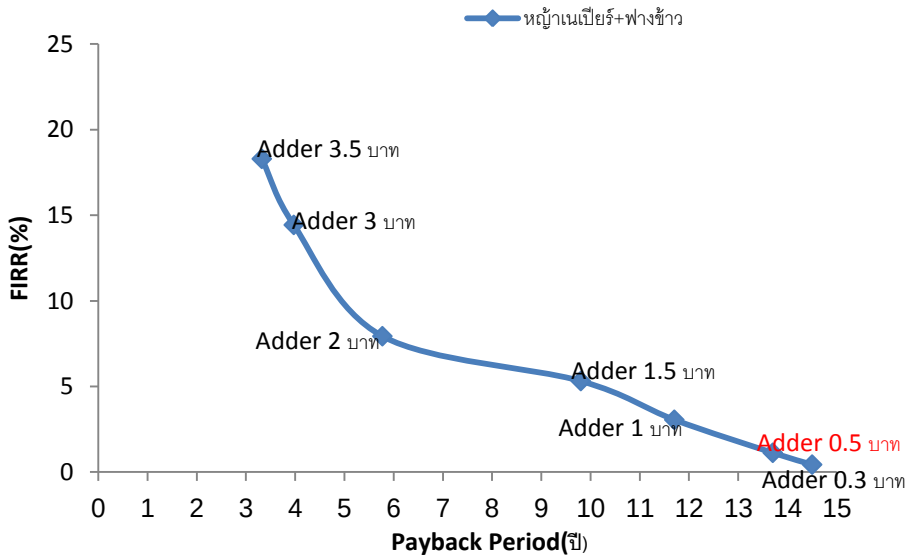


รูปที่ 4.20 **กราฟแสดงผลอัตราการตอบแทนภายในต่อระยะเวลาคืนทุนที่ค่าอัตราส่วนต่างราคารับซื้อไฟฟ้า (Adder) ในอัตราต่าง ๆ ของหญ้าเนเปียร์ยักษ์**

แบบจำลองที่ 4 การใช้ฟางข้าวผสมหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในอัตรา 1:9 จากภาพที่ 4.16 ได้ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อราคาไฟฟ้าจำหน่ายปัจจุบัน และจากตารางที่ 4.8 ราคาต้นทุนวัตถุดิบ 1.68 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งต้นทุนจะสูงขึ้นหญ้าเนเปียร์ยักษ์อย่างเดียว แต่เมื่อนำข้อมูลการลงทุนมาพิจารณา ดังภาพที่ 4.21 และ 4.22 พบว่าระยะเวลาการคืนทุนค่อนข้างช้าในกรณีที่มีการเพิ่มส่วนต่าง ณ ปัจจุบันทำให้ไม่เป็นที่จูงใจในการลงทุน ทำให้ถ้าต้องการให้มีการลงทุนมากขึ้นภายใต้เงินส่วนเพิ่ม ณ ปัจจุบันควรมีการสนับสนุนเงินลงทุนเริ่มต้นที่ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้การคืนทุนจะอยู่ใน 7 ปี

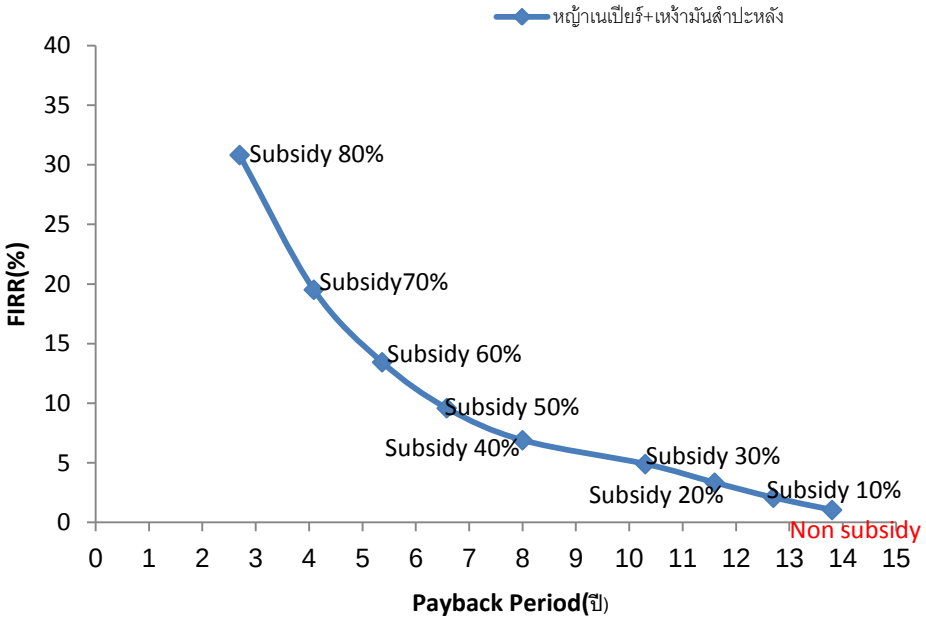


รูปที่ 4.21 **กราฟแสดงผลอัตราการตอบแทนภายในต่อระยะเวลาคืนทุนที่สนับสนุนการก่อสร้างเริ่มต้นในอัตราต่าง ๆ ของฟางข้าวผสมหญ้าเนเปียร์ยักษ์**

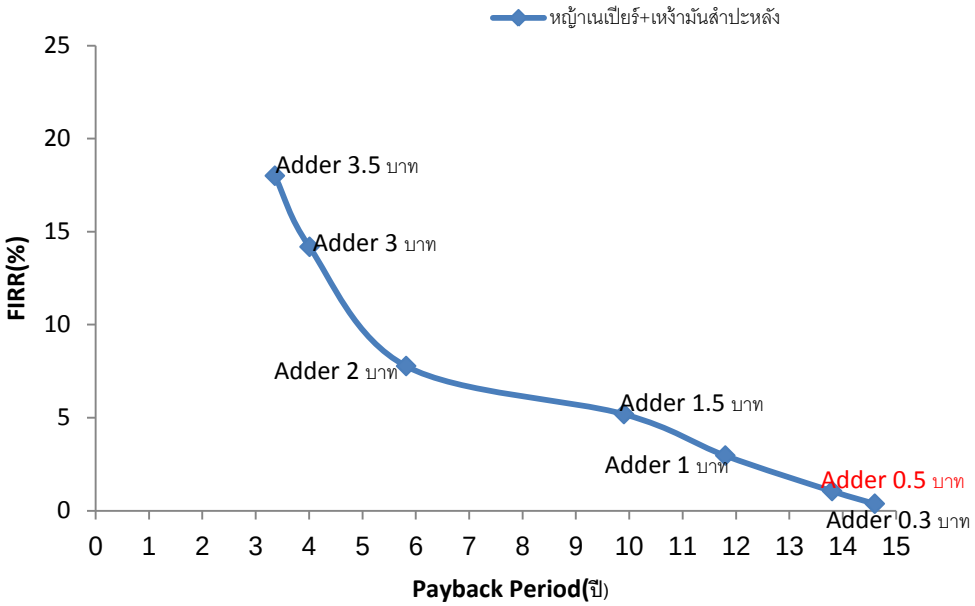


รูปที่ 4.22 **กราฟแสดงผลอัตราการตอบแทนภายในต่อระยะเวลาคืนทุนที่ค่าอัตราส่วนต่างราคารับซื้อไฟฟ้า** (Adder) **ในอัตราต่างๆ ของฟางข้าวผสมหญ้าเนเปียร์ยักษ์**

แบบจำลองที่ 5 การใช้เหง้าและต้นมันสำปะหลังผสมหญ้าเนเปียร์ยักษ์ในอัตรา 1:9 จากภาพที่ 4.16 ได้ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อราคาไฟฟ้าจำหน่ายปัจจุบัน และจากตารางที่ 4.8 ราคาต้นทุนวัตถุดิบ 1.63 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งต้นทุนจะสูงขึ้นหญ้าเนเปียร์ยักษ์อย่างเดียว แต่เมื่อนำข้อมูลการลงทุนมาพิจารณา ดังภาพที่ 4.23 และ 4.24 พบว่าระยะเวลาการคืนทุนค่อนข้างช้าในกรณีที่มีการเพิ่มส่วนต่าง ณ ปัจจุบันทำให้ไม่เป็นที่จูงใจในการลงทุน ทำให้ถ้าต้องการให้มีการลงทุนมากขึ้นภายใต้เงินส่วนเพิ่ม ณ ปัจจุบันควรมีการสนับสนุนเงินลงทุนเริ่มต้นที่ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้การคืนทุนจะอยู่ใน 7 ปี

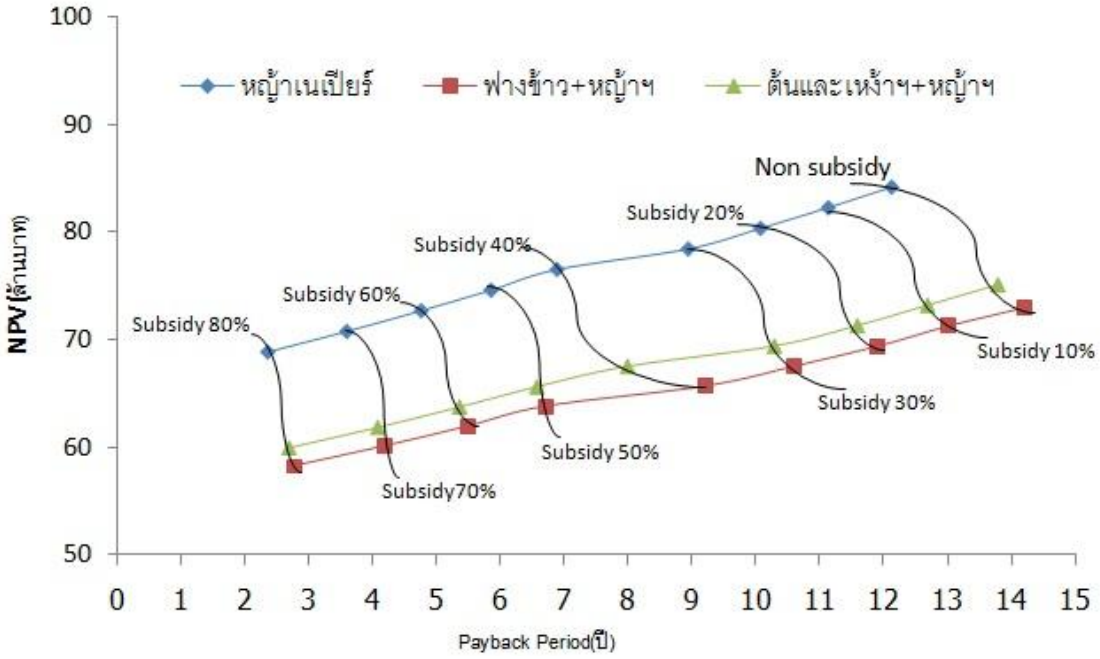


รูปที่ 4.23 **กราฟแสดงผลอัตราการตอบแทนภายในต่อระยะเวลาคืนทุนที่สนับสนุนการก่อสร้างเริ่มต้นในอัตราต่าง ๆ ของเหง้าและต้นมันสำปะหลังผสมหญ้าเนเปียร์ยักษ์**



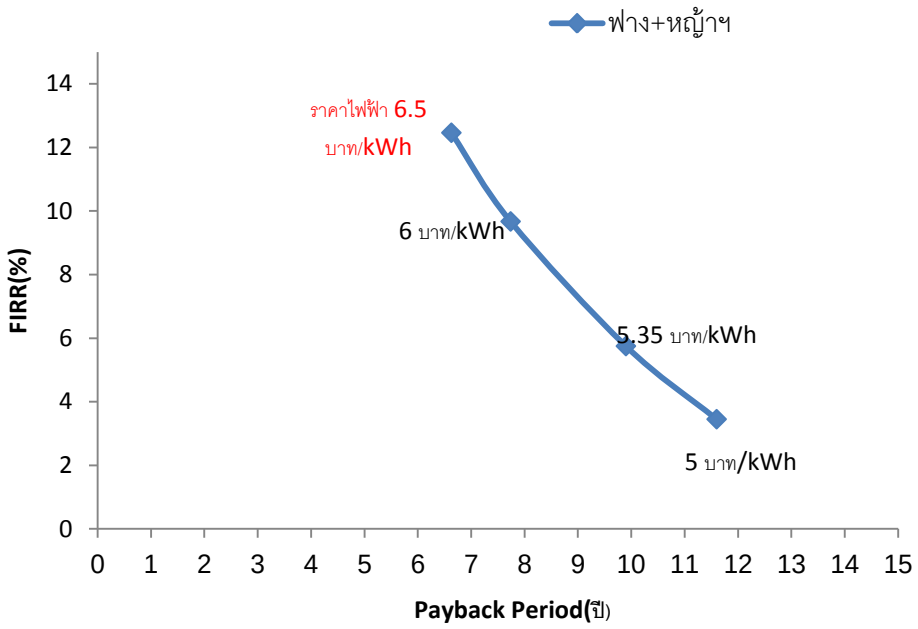
รูปที่ 4.24 **กราฟแสดงผลอัตราการตอบแทนภายในต่อระยะเวลาคืนทุนที่ค่าอัตราส่วนต่างราคารับซื้อไฟฟ้า** (Adder) **ในอัตราต่าง ๆ ของเหง้าและต้นมันสำปะหลังผสมหญ้าเนเปียร์ยักษ์**

ผลการวิเคราะห์ค่า NPV ของแบบจำลองที่ 3, 4 และ 5 เมื่อนำข้อมูลทั้ง 3 มาเปรียบเทียบ พบว่าการใช้วัตถุดิบจากหญ้าเนเปียร์ยักษ์มีความจูงใจมากที่สุดดังภาพที่ 4.25



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงเปรียบเทียบมูลค่าปัจจุบันสุทธิต่อระยะเวลาคืนทุนของแบบจำลองที่ 3, 4 และ 5 ที่สนับสนุนเงินเริ่มการก่อสร้างในอัตราต่าง ๆ

แบบจำลองที่ 6 การใช้ฟางข้าวและปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์ทดแทนหลังการเก็บเกี่ยวในอัตรา 6:4 เป็นอีกแบบจำลองหนึ่งที่มีความแตกต่างจากแบบจำลองที่ 1-5 เนื่องจากใช้ปัจจัยของการใช้ประโยชน์ของนาข้าวเป็นข้อมูลการพิจารณาโดยเมื่อไม่มีการปลูกข้าวเกษตรกรสามารถทำการเพาะปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์เพื่อทดแทน จากตารางที่ 4.8 ราคาต้นทุนวัตถุดิบ 3.21 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง โดยตั้งสมมุติฐานต้นทุนการผลิต 60 % เป็นต้นทุนวัตถุดิบ เพราะฉะนั้นราคาไฟฟ้าที่ขาย 5.35 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง จากภาพที่ 4.26 แสดงผลอัตราการตอบแทน ซึ่งฟางข้าวและหญ้าเนเปียร์ยักษ์ไม่มีความคุ้มค่าในราคาจำหน่ายไฟฟ้าในปัจจุบัน



รูปที่ 4.26 **กราฟแสดงผลอัตราการตอบแทนภายในต่อระยะเวลาคืนทุนที่ราคาขายไฟฟ้าในอัตราต่าง ๆ ของฟางข้าวและปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์**

แต่ถ้ามีความจำเป็นอย่างยิ่ง รัฐก็สามารถรับซื้อไฟฟ้าที่ราคาสูงเพื่อเป็นแรงจูงใจให้กับผู้ลงทุน หรือสนับสนุนเงินลงทุนในอัตราต่างๆ และอัตราการรับซื้อไฟฟ้า ดังตารางที่ 4.12 และเพื่อให้เป็นไปตามนโยบายการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรการใช้ฟางร่วมกับหญ้าเนเปียร์ยักษ์ก็มีแนวโน้มที่เหมาะสมถ้าราคาไฟฟ้าปัจจุบันสูงขึ้นถึง 5-6 บาท

หมายเหตุ : การผลิตหญ้าและข้าวในพื้นที่เดียวกันอาจส่งผลต่อผลผลิตการผลิตข้าวในฤดูกาลต่อไป

ตารางที่ 4.12 ราคาขายไฟฟ้าจากฟางข้าวกับหญ้าเนเปียร์ยักษ์ภายใต้การสนับสนุนเงินก่อสร้างเริ่มต้น

ราคาขายไฟฟ้า บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง	เงินสนับสนุน (Subsidy) %	IRR(%)	NPV (ล้านบาท)	Payback Period (ปี)
5.00	50	11.84	66.20	6.85
5.35	35	11.29	80.89	7.06
6.00	10	11.17	107.70	7.11

หมายเหตุ : Discount Rate10 % และ คำนวณ Feed in Tariff (FIT) 15 ปี

ราคาการรับซื้อไฟฟ้าจะเป็นปัจจัยหลักในการลงทุน เนื่องจากปัจจัยของต้นทุนเชื้อเพลิงยังมีความหลากหลายและสามารถในการลดต้นทุนได้ และถ้าวัตถุดิบเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมเกษตรจะทำให้ระบบการจัดการระบบขนส่งลดลงได้ เช่น เหง้ามันสำปะหลังที่ติดมากับหัวมันสำปะหลัง ซึ่งจะไม่มีค่าขนส่งในตัววัตถุดิบ โดยปัจจุบันการรับซื้อไฟฟ้าใช้ในอัตราส่วนเพิ่มยังไม่สามารถเป็นสิ่งจูงใจหรือคุ้มค่าต่อการลงทุน ในกรณีที่ต้นทุนวัตถุดิบมีราคาสูง และเนื่องจากวัตถุดิบบางชนิดสามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นจะมีมูลค่าสูงกว่า ทำให้การแข่งขันราคาเชื้อเพลิงปัจจุบันสูงมาก การผลิตไฟฟ้าจึงเป็นทางเลือกสุดท้ายในการนำวัตถุดิบมาเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเมื่อนำต้นทุนในการผลิตมาพิจารณา พบว่าราคาการรับซื้อไฟฟ้าที่ราคา 3.47 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง ไม่เป็นที่จูงใจในการลงทุนซึ่งสามารถดูได้จากอัตราการตอบแทนและระยะเวลาคืนทุน ต่ำกว่า 11 % ที่ระยะเวลาคืนทุน 12 ปี โดยวิธีการแก้ไขสามารถทำได้โดยรัฐสนับสนุนเงินลงทุนเริ่มต้นในอัตราต่างๆ เพื่อให้มีการลงทุนและการพัฒนาของเทคโนโลยีที่ถูกลงเช่นเดียวกับการส่งการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตไฟฟ้าในฟาร์มสุกร

ส่วนกรณีต้นทุนเชื้อเพลิงที่มูลค่าสูงกว่าราคาขายไฟฟ้า การส่งเสริมควรจะสะท้อนราคาต้นทุนจริงเพื่อให้การผลิตไฟฟ้าจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสามารถผลิตได้เช่นการใช้นโยบาย FIT

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาศักยภาพของฟางข้าว เศษวัสดุเหลือใช้จากการผลิตมันสำปะหลัง และหญ้าเนเปียร์ยักษ์เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 1 MW_e สามารถสร้างแบบจำลองได้ 6 แบบ โดยพิจารณาปัจจัยการเพาะปลูกของพืชทั้ง 3 ชนิด เช่น พืชที่เพาะปลูก ฤดูกาลเพาะปลูก ระบบการใช้น้ำชลประทาน และราคาวัตถุดิบในท้องตลาด พบว่า การผลิตไฟฟ้าจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรด้วยเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพ นั้นสามารถผลิตได้และมีศักยภาพในการลงทุน เช่น แบบจำลองที่ 3 4 และ 5 เป็นแบบจำลองทีใช้การปลูกหญ้าเนเปียร์ยักษ์เป็นพืชหลักโดยใช้พื้นที่เพาะปลูกประมาณ 940 ไร่ ซึ่งจะได้ผลผลิตประมาณ 37,714 ตันต่อปี และในแบบจำลองที่ 4 และ 5 ใช้ฟางข้าวและเหง้าและต้นมันสำปะหลังเป็นพืชรอง ตามลำดับ แบบจำลองทั้ง 3 มีต้นทุนเชื้อเพลิงที่ 10.92 13.34 และ 12.89 ล้านบาทต่อปี และต้นทุนระบบการผลิต 117.12 114.65 และ 115.64 ล้านบาท ตามลำดับ (ไม่รวมเงินหมุนเวียน 5,000,000 บาท) ซึ่งเมื่อพิจารณาเศรษฐศาสตร์อัตราการตอบแทนภายในและระยะเวลาคืนทุน(FIRR %/PP ปี) 2.73/12.12 0.71/14.2 และ 1.05/13.8 ตามลำดับ ที่ส่วนต่างราคารับซื้อไฟฟ้า (Adder) 0.5 บาท ที่ระยะโครงการ 15 ปี ทำให้การลงทุนไม่เป็นที่จูงใจต่อการลงทุน ซึ่งรัฐบาลสามารถสนับสนุนเงินลงทุนได้

แบบจำลองที่ 1, 2 และ 6 เป็นการใช้ฟางข้าว และเหง้าและต้นมันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิงหลัก ซึ่งต้นทุนวัตถุดิบมีมูลค่าสูงกว่าราคาขายไฟฟ้า 4.44 3.87 และ 3.21 บาท/kWh ที่ราคารับซื้อไฟฟ้า 2.97 บาท/kWh ไม่รวม ส่วนต่างราคารับซื้อไฟฟ้า (Adder) 0.5 บาท/kWh เมื่อวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ในการรับซื้อไฟฟ้าจากแบบจำลองข้างต้น พบว่า ราคารับซื้อไฟฟ้าจะอยู่ในช่วง 5-7.4 บาท/kWh ที่ FIRR มีค่า 3.45-12.28 % และ ระยะเวลาคืนทุน 6.7-12.6 ปี กรณีไม่มีการสนับสนุนเงินเริ่มต้น ซึ่งถ้ามีการสนับสนุนเงินลงทุนเริ่มต้นจะสามารถทำให้ระยะเวลาคืนทุนเร็วตามข้อกำหนด Feed in Tariff ที่ผลตอบแทนการลงทุนไม่ต่ำกว่า 11% ระยะเวลาคืนทุน 10 ปี อัตราเงินสนับสนุนเงินเริ่มต้น 10 %

ข้อเสนอแนะ

ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษวัสดุเหลือใช้จำเป็นต้องพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพของเศษวัสดุเหลือเนื่องจาก องค์ประกอบทางเคมีจะมีผลต่อการผลิตก๊าซและมีผลต่อการยับยังการเจริญเติบโตของจุรินทรีย์ที่สร้างมีเทน เช่น ลิกนินท์ในฟางข้าว สารไซยาไนในใบมันสำปะหลัง ซึ่งจะส่งผลต่อการเกิดก๊าซได้ และจะส่งผลให้การผลิตไม่เป็นไปตามเป้าหมาย

ปัจจุบันทางกระทรวงพลังงานกำลังจัดทำแนวทางการส่งเสริมการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นพลังงาน โดยการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนตามมาตรการส่วนเพิ่มจะส่งผลทำให้ค่า Ft เพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันค่าไฟฟ้าที่ผู้ประกอบการได้รับจะรวมค่า Ft ด้วย ทำให้ภาระของผู้ใช้ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นทั้งสองทาง ทางเลือกหนึ่งของมาตรการส่งเสริมที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในหลายประเทศ คือ รูปแบบ Feed-in tariffs ซึ่งเป็นอัตราค่าไฟฟ้ารวมต่อหน่วยที่สอดคล้องกับต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนในแต่ละเทคโนโลยี มาตรการ Feed-in tariffs เป็นมาตรการที่ใช้ในกลุ่มประเทศ European Union ทั้งหมด 15 ประเทศทั้งนี้ ด้วยมาตรการ Feed-in tariffs จะมีความเป็นธรรมต่อผู้ใช้ไฟมากกว่า ในการสนับสนุนพลังงานหมุนเวียนมีความชัดเจน นอกจากนี้ การที่อัตราค่า Feed-in tariffs ไม่ผูกติดกับราคาก๊าซธรรมชาติผ่านกลไก Ft ทำให้เป็นทางเลือกทางด้านพลังงานอย่างแท้จริง ดังนั้น การส่งเสริมในรูปแบบ Feed-in tariffs จะสะท้อนต้นทุนในการจัดหาไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน โดยกำหนดเงินสนับสนุนไว้ในโครงสร้างค่าไฟฟ้าฐาน

ในการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและการปลูกพืชพลังงาน เช่น ฟางข้าว เหง้ามันสำปะหลัง และ หญ้าเนเปียร์ยักษ์ มาใช้ในการผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีก๊าซภาพ จะมีความเป็นไปได้นั้นจำเป็นต้องมีการพัฒนาระบบการจัดการการเก็บรวบรวม เพื่อลดต้นทุนของเชื้อเพลิงที่เข้าสู่โรงไฟฟ้า และสามารถแข่งขันกับชีวมวลอื่นๆได้

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เกียรติไกร อายุวัฒน์ และคณะ. 2536, โครงการการใช้ก๊าซชีวภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้า, สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 88 หน้า.

เกียรติไกร อายุวัฒน์ และคณะ. 2538, โครงการการใช้ก๊าซชีวภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้า, สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 5-7.

ควบคุมมลพิษ,กรม.2543. โครงการการพัฒนาระบบการจัดการขยะบรรจุภัณฑ์และวัสดุเหลือใช้ในเชิงธุรกิจข่าวสารสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 11/2545. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [online]. Available from: http://www.pcd.go.th [2010, May 21]

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน,กรม.2548. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการจัดทำฐานข้อมูลก๊าซชีวภาพ. กรุงเทพฯ : กระทรวงพลังงาน,

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน,กรม.2549. E-Leader. วารสารรักษ์พลังงาน, 26 (เมษายน): 18-22.

ฉัตรชัย อินต๊ะทา. 2538. การผลิตก๊าซชีวภาพแบบไร้อากาศ 2 ขั้นตอน จากกากสับปะรด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

ชยันต์ กิมยงค์. 2545. การพัฒนาการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรในถังปฏิกรณ์แบบสองขั้นตอนที่มีการไหลวนกลับของน้ำเสีย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

นันทิยา เปปะตัง, อรอมล เหล่าปิตินันท์, อรรณพ นพรัตน์, ประทิน กุลละวณิชย์, วรินธร สงคสิริ และภาวิณี ชัยประเสริฐ. 2549. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการประเมินศักยภาพชีวมวลสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวลในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: ศูนย์ความเป็นเลิศเฉพาะทางด้านการจัดการและใช้ประโยชน์จากของเสียอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ปรีชา ศิริชาญ. 2545. การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขา วิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ประทิน กุลละวณิชย์, อรอมล เหล่าปิตินันท์, วรินธร สงคศิริ, นันทิยา เปปะตัง, อรรณพ นพรัตน์ และภาวิณี ชัยประเสริฐ. 2549. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการประเมินศักยภาพเทคโนโลยีสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวลในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: ศูนย์ความเป็นเลิศเฉพาะทางด้านการจัดการและใช้ประโยชน์จากของเสียอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,

พุทธิธร แสงรุ่งเรือง. 2544. สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพแบบผสมผสานโดยใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ. 2538. ระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน ในการควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

มูลนิธิพลังงานและสิ่งแวดล้อม. 2554. ปฏิทินชีวมวล . มูลนิธิพลังงานและสิ่งแวดล้อม [online]. Available from: http://www.efe.or.th/home.php [2010, May 21]

สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ. 2543, รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการที่ปรึกษาเพื่อประเมินผลโครงการส่งเสริมก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์เป็นพลังงานทดแทนและปรับปรุงสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,

สุริยา อยชานันท์. 2552.สรุปข้อมูลหญ้าเนเปียร์ยักษ์

สุกัญญา ทองหล่อ.(บรรณณาธิการ). มปป. การปลูกพืชอาหารสัตว์สำหรับเลี้ยงโคเนื้อ. หจก. สำนักพิมพ์ ทองหล่อสาส์น. บุรีรัมย์

คณะกรรมการการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, สำนักงาน.2549. โครงการสร้างมูลค่าเพิ่มสินค้าเกษตรโดยใช้การพัฒนาแบบ Zero Waste Industry. รายงานฉบับสมบูรณ์

เศรษฐกิจการเกษตร, สำนักงาน.2553. รายงานการสำรวจข้าวนาปี ปีเพาะปลูก 2552/2553. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เศรษฐกิจการเกษตร, สำนักงาน.2553. รายงานการสำรวจข้าวนาปรัง ปี 2552. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เศรษฐกิจการเกษตร, สำนักงาน.2553. รายงานการสำรวจมันสำปะหลัง ปี2553. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เศรษฐกิจการเกษตร, สำนักงาน. 2552. ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร ปี พ.ศ.2552. กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เอกสารสถิติการเกษตรเลขที่ 414,

เสริมสุข รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2518. การกำจัดน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย,

วรพจน์ ขำพิศและคนอื่นๆ. 2554. โครงการศึกษาแนวทางบริหารจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน (ระดับชุมชน). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

หน่วยบริการก๊าซชีวภาพ สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2544, ระบบก๊าซชีวภาพสำหรับฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เพื่อผลิตพลังงานทดแทนและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม, หน้า 12.

อวัสดา ฉลานุวัฒน์. 2544. อิทธิพลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจาก เศษอาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ภาษาอังกฤษ

Aiyuk, S., Forrez, I., Kempeneer Lieven, D., van Haandel, A. and Verstraete, W. 2006. Anaerobic and Complementary Treatment of Domestic Sewage in Regions with Hot Climates A Review. Bioresource Technology, 97: 2225–2241.

Albagnac, G.1990. Biomass Retention in Advanced Anaerobic Reactors. Water Science Technology, 22(1/2): 17-24.

Asinari di San Marzano, C.M., Binot, R., Bol, T., Fripiat, J.L., Hutschemateers, J., Melchior, J.L., Perez. I., Naveau, H. and Nyns, E.J. 1981. Volatile Fatty Acid, an Important State Parameter for Control of the Reliability and the Productivities of Methane Anaerobic Digestion. Biomass, 1: 47-59.

Barber, W. P. and Stuckey, D. C. 1999. The Use of the Anaerobic Baffle Reactor for Wastewater Treatment: A Review. Wat. Res., 33(7): 1559-1578.

Bitton, G. 1994. Wastewater Microbiology. New York: John Wiley and Sons,

Brown, D.K., Militzer, W. and Georgi, C.E. 1957. The Effect of Growth Temperature on the Heat Stability of a bacteria Pyrophosphatase. Archives Biochemistry Biophysics, 70(3): 248-256.

Bryant, M.P. 1979. Microbial Methane Production-Theoretical Aspect. J. of Animal Science, 48(2): 193-201.

Felix Maramba, D.1978. Biogas and Waste Recycling. Philippines: Lierty flour Mills Inc.,

Frankin, R. J. 2001. Full-scale Experiences with Anaerobic Treatment of Industrial Wastewater. Water Science and Technology, 44(8): 1–6.

Garber, W.F., Ohara, G.T., Colbaugh, J.E. and Raksit, S.K.,1975. Thermophillic Digestion at the Hyperoin Treatment Plant. J. Water Pollution Control Federation, 47: 950-961.

Gerardi, M.H. 2003. The Microbiology of Anaerobic Digester. U.S.A: John Wiley & Son Publication,

Jewell J W., Adams A B. , Eckstrom P. B., Fanfoni J. K., Kabrick M R. and Sherman F. D., 1982, The Feasibility of Biogas Production on Farms, Department of Agricultural Engineering, Cornell University, Ithaca, New York, pp. 95-116.

Hayes, TD. and Theis, T.L. 1979. The Distribution of Heavy Metals in Anaerobic Digestion. J. Water Pollution Control Fereration, 50: 61-72.

Hill, D.T. and Bolte, J.P. 1989. Digester Stress as Related to Iso-butyric and Iso-valeric acids. Biological Waste, 28: 33-37.

Hilton, M.G. and Archer, D.B. 1998. Anaerobic Digestion of a Sulfate-rich Molasses Wastewater : Inhibition of Hydrogen Sulfide Production. Biotechnology and Bioengineering, 31: 885-888.

Lay, J.J., Li,Y.Y., Noike, T., Endo, J. and Ishimoto, S. 1997. Analysis of Environmental Factors Affecting Methane Production From High-Solids Organic Waste. Water Science and Technology, 36(6-7): 493-500.

Olthof, M. and Oleszkiewicz, J. 1982. Anaerobic Treatment of Industrial Wastewate. Chemical Engineering, 89(23): 121-126.

Sastry, C.A. and Vickineswatry, S. 1995. Aeaerobic Waste Treatment Plants. In Sastry, C.A., Hashim, M.A. and Agamothu, P., Waste Treatment Plants, 179-204. New Deihi: Narosa Publishing House,

Sheehan, G.J. 1981. Kinetic of Heterogeneous Acidogenic Fermentation. Ph.D. dissertation, Department of Chemical Engineering University of Queenland.

Speece, R. E. 1996, Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters. Tennessee: Archae press,

Tata Energy Documentation and Information Centre. 1985. Biogas Technology. India: Tata Research Institute,

Thomas, A., Barbara, A., Vitaliy, K., Werner, Z., Karl, M. and Leonhard, G. 2006a. Biogas production from maize and dairy cattle manure- Influence of biomass composition on the methane yield. Agriculture Ecosystem & Enviroment, 1-10.

Thomas A., Barbara, A., Vitaliy, K., Andrea, M., Katharina, H., Vitomir, B., Regina, H., Jürgen, F., Erich, P., Helmut, W., Matthias, S. and Werner, Z. 2006b. Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown insustainable crop rotations. Bioresearch Technology, 1-9.

Ross F. K. and Moser A. M., 1997, AgSTAR Handbook , A Manual for Developing Biogas System at Commercial Farms in the United States, U.S. Environmental Protection Agency.

Wellinger, A. and Linberg, A. 2002. Biogas Upgrading and Utilization-IEA Bioenergy Task. 24. Paris: International Energy Association,

Wheatley, A. D. 1997. Applications of Anaerobic Digestion for the Treatment of Industrial Wastewaters in Europe. Water and Environmental Management, 11: 39-46.

Zeikus, J.G. 1980. Microbial Populations in Digesters.In Stafford, D.A., Wheatly, B.I. and Hughes, D.E., Anaerobic Digestion, London: Applied Science Pubilsher,

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การคำนวณหาปริมาณก๊าซมีเทนของเศษวัสดุเหลือใช้

1. การคำนวณหาปริมาณก๊าซมีเทนของฟางข้าว

ขั้นที่ 1 การหาปริมาณอินทรียสาร

ความชื้น = 41%

น้ำหนักทั้งหมดของพืช = 100 lb

น้ำหนักของอินทรียสารที่ย่อยสลายได้ = 80 lb (ตรวจวิเคราะห์)

น้ำหนักของอินทรียสารในสภาพแห้ง, lb = 80 lb – (100 x 0.41)

= 39 lb

ขั้นที่ 2 การหาสูตรสารปะกอบของฟางข้าว $C_aH_bO_cN_d$

ธาตุ	เปอร์เซ็นต์[1]	โมล
C	49.46	4.12 (49.46/12)
H	6.24	6.24 (6.24/1)
O	43.63	2.75 (44/16)
N	0.5	0.036 (1/14)

หมายเหตุ : [1]วรพจน์ และ คณะ 2553

เมื่อที่สภาวะสมดุล ไนโตรเจน (N) มีค่าเป็น 1 ดังนั้น

สูตรสำหรับพืชคือ $C_{115}H_{174}O_{76}N$

ขั้นที่ 3 จากสูตรขั้นที่ 2 สามารถใช้หาปริมาณของมีเทนและคาร์บอนออกไซด์โดยใช้สมการดังนี้

$$C_aH_bO_cN_d + \left(\left(\frac{4a-b-2c+3d}{4}\right)\right)H_2O \longrightarrow \left(\left(\frac{4a+b-2C-3d}{8}\right)\right)CH_4 + \left(\left(\frac{4a-b+c+3d}{8}\right)\right)CO_2 + dNH_3$$

จากขั้นที่ 2 สัมประสิทธิ์คือ

a = 115.42 b = 174.74 C = 76.34 d = 1

ดังนั้น สมการที่ได้ คือ

$$C_{115.22}H_{174.74}O_{76.34}N + 34.32\ H_2O \longrightarrow 60.2\ CH_4 + 55.32CO_2 + NH_3$$

(2795.22) (617.76) (963.2) (2434.08) (17)

ขั้นที่ 4 การหาน้ำหนักของมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ จากสมการที่ได้ในขั้นที่ 3

มีเทน = (963.2 / 2795.22) x (0.9x39 lb)

= 12.1 lb (5.5 kg)

คาร์บอนไดออกไซด์ = (2434.08 / 2795.22) x (0.9x39lb)

= 30.6 lb (14.07 kg)

ขั้นที่ 5 การเปลี่ยนน้ำหนักของก๊าซ (ที่กำหนดในขั้นที่ 5) ไปเป็นปริมาตรซึ่งสมมติได้ว่าความหนาแน่นของมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 0.0488 และ 0.1235 lb/ft^3 ตามลำดับ

มีเทน = (12.1 lb)/(0.0448 lb/ft^3)

= 270.1 ft^3

คาร์บอนไดออกไซด์ = (30.6 lb) / (0.1235 lb/Ft^3)

= 247.5 ft^3 (7.1 m^3)

ขั้นที่ 6 หาเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบของก๊าซผสม

มีเทน (%) = (270.1 ft^3) / (517.6 ft^3) x100

= 52.2 %

คาร์บอนไดออกไซด์ (%) = 47.816 %

ขั้นที่ 7 หาปริมาณของก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดตามทฤษฎีต่อหน่วยของน้ำหนัก

คิดจากน้ำหนักของอินทรียสาร (จากขั้นที่ 1)

(517.6 ft^3) / 39 lb = 13.27 ft^3/lb

คิดจาก 100 lb ของพืช

(517.6 ft^3) / 100 lb = 5.176 ft^3/lb (0.322 m^3/kg) หรือ 322 ลิตร/กก

2. การคำนวณหาปริมาณก๊าซมีเทนของเหง้าและต้นมันสำปะหลัง

ขั้นที่ 1 การหาปริมาณอินทรียสาร

ความชื้น = 53.4%

น้ำหนักทั้งหมดของพืช = 100 lb

น้ำหนักของอินทรียสารที่ย่อยสลายได้ = 80 lb

น้ำหนักของอินทรียสารในสภาพแห้ง, lb = 80 lb – (100 x 0.534)

= 26.6 lb

ขั้นที่ 2 การหาสูตรสารปะกอบของเหง้ามันสำปะหลัง $C_aH_bO_cN_d$

ธาตุ	เปอร์เซ็นต์[1]	โมล
C	46.12	3.84 (46.12/12)
H	7.5	7.5 (7.5/1)
O	54.83	3.37 (54/16)
N	1.13	0.0807 (1.13/14)

หมายเหตุ : [1]วรพจน์และคณะ.2553

เมื่อที่สภาวะสมดุล ไนโตรเจน (N) มีค่าเป็น 1 ดังนั้น

สูตรสำหรับพืชคือ $C_{47.6}H_{92.9}O_{41.7}N$

ขั้นที่ 3 จากสูตรขั้นที่ 2 สามารถใช้หาปริมาณของมีเทนและคาร์บอนออกไซด์โดยใช้สมการดังนี้

$$C_aH_bO_cN_d + \left(\left(\frac{4a-b-2c+3d}{4}\right)\right)H_2O \longrightarrow \left(\left(\frac{4a+b-2C-3d}{8}\right)\right)CH_4 + \left(\left(\frac{4a-b+c+3d}{8}\right)\right)CO_2 + dNH_3$$

จากขั้นที่ 2 สัมประสิทธิ์คือ

a = 47.6 b = 92.9 c = 41.7 d = 1

ดังนั้น สมการที่ได้ คือ

$$C_{47.6}H_{92.9}O_{41.7}N + 4.3\ H_2O \longrightarrow 24.61\ CH_4 + 17.77CO_2 + NH_3$$

(1345.3) (77.4) (393.8) (779.6) (17)

<u>ขั้นที่ 4</u> การหาน้ำหนักของมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ จากสมการที่ได้ในขั้นที่ 3

มีเทน = (393.8 / 1345.3) x (0.9*26.6 lb)

= 7.0 lb (3.19 kg)

คาร์บอนไดออกไซด์ = (779.6 / 1399.2) x (0.9*26.6 lb)

= 13.34 lb (6.06kg)

<u>ขั้นที่ 5</u> การเปลี่ยนน้ำหนักของก๊าซ (ที่กำหนดในขั้นที่ 5) ไปเป็นปริมาตรซึ่งสมมติได้ว่าความหนาแน่นของมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 0.0488 และ 0.1235 lb/ft^3 ตามลำดับ

มีเทน = (7.0 lb)/(0.0448 lb/ft^3)

= 156 ft^3

คาร์บอนไดออกไซด์ = (13.34 lb) / (0.1235 lb/Ft^3)

= 108 ft^3 (9.1 m^3)

<u>ขั้นที่ 6</u> หาเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบของก๊าซผสม

มีเทน (%) = (156 ft^3) / (264 ft^3) x100

= 59 %

คาร์บอนไดออกไซด์ (%) = 41 %

<u>ขั้นที่ 7</u> หาปริมาณของก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดตามทฤษฎีต่อหน่วยของน้ำหนัก

คิดจากน้ำหนักของอินทรียสาร (จากขั้นที่ 1)

(264 ft^3) / 26.6 lb = 9.9 ft^3/lb

คิดจาก 100 lb ของพืช

(264 ft^3) / 100 lb = 2.64 ft^3/lb (0.164 m^3/kg) หรือ 164 ลิตร/กก

ภาคผนวก ข

การคำนวณต้นทุนหญ้าเนเปียร์ยักษ์

รายละเอียด	พื้นที่ลุ่ม		พื้นที่ดอน	
	ปี 1	ปี 2	ปี 1	ปี 2
1. ค่าจ้างเหมาเตรียมดิน	420	-	400	-
2. ค่าวัสดุ(บาท/ไร่)				
-ค่าปุ๋ย	1,862	2,234	2,100	2,520
-ค่าพันธุ์	150	-	150	-
-ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	450	540	150	180
-ค่าไฟฟ้า	-	-	195	234
3. ค่าแรงงาน(บาท/ไร่)				
-ปลูก	240	-	400	-
-เก็บเกี่ยว	590	708	450	650
4. ต้นทุนทั้งหมด(บาท/ไร่)	3,712	3,482	3,845	3,584
ผลผลิตน้ำหนักเปียก (ตัน/ไร่)	40	40	40	40
ต้นทุนการผลิต (บาท/ตัน)	92.8	87.05	96.13	89.6
ค่าขนส่ง (บาท/ตัน)	200	200	200	200
ต้นทุนรวมถึงหน้าโรงไฟฟ้า(บาท/ตัน)	292.8	287.05	296.13	289.6

ภาคผนวก ค

ตารางผนวกที่ ค1 ข้าวนาปี:ปริมาณผลผลิตจากการเก็บเกี่ยวรายเดือนเป็นรายภาค ปี 2552/2553 (ตัน)

เดือน	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	กลาง	ใต้	ทั้งประเทศ
ม.ค.	233,697	28,190	453,085	133,798.00	848,770
ก.พ.	24,367	0	82,687	214,555.00	321,609
มี.ค.	0	0	0	205,750.00	205,750
เม.ย.	0	0	0	152,038.00	152,038
พ.ค.	0	0	0	0.00	0
มิ.ย.	0	0	0	0.00	0
ก.ค.	0	0	0	0.00	0
ส.ค.	302,268	0	575,499	0.00	877,767
ก.ย.	357,726	0	811,510	0.00	1,169,236
ต.ค.	893,183	445,657	868,680	0.00	2,207,520
พ.ย.	3,355,052	6,677,375	1,613,193	761.00	11,646,381
ธ.ค.	1,332,971	3,226,277	1,226,706	38,226.00	5,824,180
รวม	6,499,264	10,377,499	5,631,360	745,128.00	23,253,251

ตารางผนวกที่ ค2 ข้าวนาปรัง :ปริมาณผลผลิตจากการเก็บเกี่ยวรายเดือนเป็นรายภาค ปี 2552 (ตัน)

เดือน	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	กลาง	ใต้	ทั้งประเทศ
ม.ค.	0	0	0	0	0
ก.พ.	153,652	1,189	146,422	0	301,263
มี.ค.	460,087	44,502	429,015	478	934,082
เม.ย.	869,999	290,344	1,121,858	1,424	2,283,625
พ.ค.	391,681	322,521	1,044,142	5,997	1,766,341
มิ.ย.	315,855	159,912	784,602	21,259	1,281,628
ก.ค.	499,043	18,814	667,650	34,691	1,220,198
ส.ค.	206,231	0	288,184	67,717	562,132
ก.ย.	0	0	0	52,423	52,423
ต.ค.	0	0	0	13,464	13,464
พ.ย.	0	0	0	0	0
ธ.ค.	0	0	0	0	0
รวม	2,896,548	837,282	4,481,873	197,453	8,415,156

ตารางผนวกที่ ค3 ข้าวนาปี 2553 และข้าวนาปรัง ปี 2552 :ปริมาณผลผลิตจากการเก็บเกี่ยวรายเดือนของจังหวัด นครสวรรค์ สุพรรณบุรี และ พิจิตร (ตัน)

เดือน	นครสวรรค์		สุพรรณบุรี		พิจิตร	
	นาปี	นาปรัง	นาปี	นาปรัง	นาปี	นาปรัง
ม.ค.	41,111	0	34,349	0	36,836	0
ก.พ.	721	42,293	7,263	16,022	0	33,959
มี.ค.	0	74,525	0	100,030	0	129,374
เม.ย.	0	135,807	0	280,199	0	149,742
พ.ค.	0	41,450	0	207,859	0	55,917
มิ.ย.	0	47,930	0	113,884	0	52,615
ก.ค.	0	79,281	0	138,202	0	164,891
ส.ค.	200,747	60,520	120,448	62,519	8,527	36,389
ก.ย.	160,237	0	125,972	0	12,483	0
ต.ค.	172,017	0	111,218	0	206,349	0
พ.ย.	436,475	0	182,716	0	292,747	0
ธ.ค.	195,621	0	174,620	0	126,827	0
รวม	1,206,929	481,806	756,586	918,715	683,769	622,887

ตารางผนวกที่ ค4 ข้าวนาปี 2553 และข้าวนาปรัง ปี 2552 :ปริมาณผลผลิตจากการเก็บเกี่ยวรายเดือนของจังหวัด นครราชสีมา กำแพงเพชร และสระแก้ว (ตัน)

เดือน	นครราชสีมา		กำแพงเพชร		สระแก้ว	
	นาปี	นาปรัง	นาปี	นาปรัง	นาปี	นาปรัง
ม.ค.	4,967	0	11,778	0	0	0
ก.พ.	0	0	0	21,696	0	0
มี.ค.	0	1,735	0	58,873	0	41
เม.ย.	0	12,288	0	182,008	0	941
พ.ค.	0	40,566	0	59,423	0	2,573
มิ.ย.	0	41,237	0	34,332	0	872
ก.ค.	0	15,836	0	46,337	0	0
ส.ค.	0	0	25,466	29,778	0	0
ก.ย.	0	0	29,769	0	0	0
ต.ค.	61,723	0	140,715	0	3,300	0
พ.ย.	560,264	0	253,560	0	143,715	0
ธ.ค.	273,204	0	91,542	0	105,644	0
รวม	900,158	111,662	552,830	432,447	252,659	4,427

ตารางผนวกที่ ค5 มันสำปะหลังโรงงาน:ปริมาณผลผลิตจากการเก็บเกี่ยวรายเดือนเป็นรายภาค ปี 2553 (ตัน)

เดือน	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	กลาง	ทั้งประเทศ
ม.ค.	785,729	1,451,831	1,068,646	3,306,206
ก.พ.	709,072	2,646,857	1,110,618	4,466,547
มี.ค.	683,516	1,641,890	514,441	2,839,847
เม.ย.	179,701	1,195,601	442,671	1,817,973
พ.ค.	123,878	356,929	208,501	689,308
มิ.ย.	123,017	244,990	50,448	418,455
ก.ค.	57,479	237,459	142,773	437,711
ส.ค.	53,867	120,886	104,920	279,673
ก.ย.	69,487	107,761	211,920	389,168
ต.ค.	137,431	1,288,561	410,238	1,836,230
พ.ย.	552,856	668,736	773,517	1,995,109
ธ.ค.	744,197	1,748,382	1,036,934	3,529,513
รวม	4,220,230	11,709,883	6,075,627	22,005,740

ตารางผนวกที่ ค6 มันสำปะหลังโรงงาน :ปริมาณผลผลิตจากการเก็บเกี่ยวรายเดือนของจังหวัดนครราชสีมา กำแพงเพชร และ สระแก้ว (ตัน)

เดือน	นครราชสีมา	กำแพงเพชร	สระแก้ว
ม.ค.	550,342	327,422	333,468
ก.พ.	1,406,843	64,077	84,343
มี.ค.	938,027	134,739	41,028
เม.ย.	894,234	59,052	37,817
พ.ค.	125,078	20,103	14,686
มิ.ย.	97,839	23,569	0
ก.ค.	66,708	28,144	6,944
ส.ค.	18,339	20,051	21,687
ก.ย.	17,227	30,154	32,117
ต.ค.	20,290	88,452	80,968
พ.ย.	108,679	342,248	136,759
ธ.ค.	807,168	558,778	182,918
รวม	5,050,774	1,696,789	972,735

ตารางผนวกที่ ค7 มันสำปะหลังโรงงาน :ปริมาณผลผลิตจากการเก็บเกี่ยวรายเดือนของจังหวัดนครสวรรค์ สุพรรณบุรี และ พิจิตร (ตัน)

เดือน	นครสวรรค์	สุพรรณบุรี	พิจิตร
ม.ค.	217,989	13,796	1,779
ก.พ.	298,146	40,874	3,855
มี.ค.	116,943	16,656	3,044
เม.ย.	27,439	4,229	1,610
พ.ค.	0	6,515	713
มิ.ย.	44,643	0	299
ก.ค.	15,244	0	0
ส.ค.	17,623	1,873	0
ก.ย.	20,688	5,267	0
ต.ค.	4,355	0	0
พ.ย.	98,215	8,630	0
ธ.ค.	13,066	2,860	899
รวม	874,351	100,700	12,199

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ สกุล	นางสาวน้ำเพชร พันธุ์พิพัฒน์
วันเดือนปีเกิด	22 พฤศจิกายน พ.ศ.2528
สถานที่เกิด	บ้านเลขที่ 397/6 หมู่ 2 ถ.เทศบาล 2 ตำบลนาบอน อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช 80220
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	29/186 อาคารสยามคอนโดมิเนียม ถ.พระราม 9 ซ.3 แขวงห้วยขวาง เขตห้วยขวาง กรุงเทพมหานคร 10310

ประวัติการศึกษา

ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนจุฬาภรณ์ราชวิทยาลัย นครศรีธรรมราช
ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนจุฬาภรณ์ราชวิทยาลัย นครศรีธรรมราช (วิทย์-คณิต)
ปริญญาตรี	สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร (SIIT) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมการจัดการ