


การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการโรงผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ  
กรณีศึกษา บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น

ก้องเกียรติ กิตติคุณ

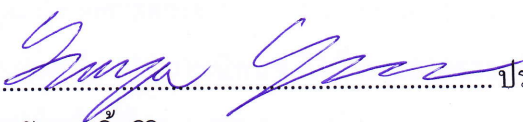
งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา  
พฤษภาคม 2561  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

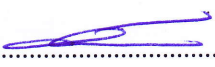
คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์และคณะกรรมการสอบปากเปล่างานนิพนธ์ ได้พิจารณางานนิพนธ์ของ ก้องเกียรติ กิตติคุณ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

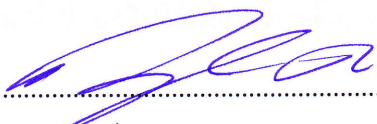
คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก  
(ดร. ศัญญา ยิ้มศิริ)


คณะกรรมการสอบปากเปล่างานนิพนธ์

  
..... ประธาน  
(ดร. ศัญญา ยิ้มศิริ)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ)

  
..... กรรมการ  
(ดร. ปาณวิวัฒน์ ต่่านกลาง)

คณะวิศวกรรมศาสตร์อนุมัติให้รับงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพา

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ดร. อาณัติ ตีพัฒนา)

วันที่ 22 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2561

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษางานนิพนธ์นี้ประสบผลสำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ในการสนับสนุน ทั้งข้อมูล วิธีการ และแนวความคิดจากบุคคลหลายท่าน ซึ่งไม่อาจจะนำมากล่าวได้ทั้งหมด สำหรับ บุคคลท่านแรกที่คุณศึกษาใคร่ขอขอบพระคุณ คือ บริษัท กลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น จำกัด และ คุณก้องกิต โทกนุทาภรณ์ กรรมการผู้จัดการ บริษัท ไทยอีสเทิร์น ไซโอพาวเวอร์ จำกัด ที่เอื้อเพื่อ ข้อมูลเพื่อการศึกษางานนิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ดร. ศัญญา ยิ้มศิริ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเป็นที่ปรึกษางานนิพนธ์ ผู้ซึ่งกรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ส่งผลให้งานนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ และ ดร. ภาณุวัฒน์ ด้านกลาง คณะกรรมการสอบปากเปล่างานนิพนธ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการคัดกรอง และแก้ไขงานนิพนธ์ ทำให้งานนิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณครอบครัวกิตติคุณ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ และสนับสนุนในการทำงานนิพนธ์จนเสร็จสิ้นได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์ของงานนิพนธ์ฉบับนี้ เพื่อให้ผู้ที่มีความสนใจจะพัฒนาโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน นำข้อมูลไปใช้เพื่อพัฒนาด้านพลังงานของประเทศไทยต่อไป

ก้องเกียรติ กิตติคุณ

56920943: สาขาวิชา: การจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม; วศ.ม. (การจัดการพลังงาน  
และสิ่งแวดล้อม)

คำสำคัญ: พลังงานทดแทน/ ก๊าซชีวภาพ/ ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์/ พยากรณ์/ โรงไฟฟ้า

ก้องเกียรติ กิตติคุณ: การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการโรงผลิตไฟฟ้าจากก๊าซ

ชีวภาพ : กรณีศึกษาบริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น (FEASIBILITY STUDY OF BIOGAS  
POWER PLANT PROJECT: A CASE STUDY OF THAI EASTERN GROUP COMPANY)

อาจารย์ผู้ควบคุมงานนิพนธ์: สันญา ยิ้มศิริ, Ph.D., 149 หน้า. ปี พ.ศ. 2561.

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการโรงผลิตไฟฟ้าจาก  
ก๊าซชีวภาพ กรณีศึกษาบริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น ซึ่งจะทำการศึกษาในเรื่องศักยภาพ  
ของแหล่งก๊าซชีวภาพว่ามีปริมาณเพียงพอที่จะติดตั้งเครื่องผลิตไฟฟ้าขนาดใดโดยการพยากรณ์  
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดและที่ใช้ในกระบวนการอบขางพารา เพื่อหาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เหลือใน  
การผลิตไฟฟ้าโดยจะเลือกวิธีพยากรณ์ที่มีค่า MSE น้อยที่สุด ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และ  
การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (Sensitivity analysis) จากผลการวิจัยพบว่า วิธีที่ควรจะ  
นำมาพยากรณ์ คือ วิธี Stationary data with additive seasonal effects เนื่องจากมีค่า MSE น้อยที่สุด  
จากการพยากรณ์พบว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพคงเหลือเพียงพอที่จะป้อนให้เครื่องผลิตไฟฟ้า  
เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพขนาด 2 MW ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าโครงการสามารถลงทุน  
ได้เนื่องจากโครงการมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (NPV) มีค่าเท่ากับ 98,532,882 บาท  
อัตราส่วนระหว่างกำไรต่อทุน (B/C ratio) เท่ากับ 1.22 อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เท่ากับ 16%  
ระยะเวลาคืนทุนแบบอัตราคิดลด (Discounted payback period) เท่ากับ 4.03 ปี (ที่อัตราคิดลดมีค่า  
เท่ากับร้อยละ 10 และมีอายุโครงการเท่ากับ 10 ปี) และเรื่องการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของ  
โครงการนั้น พบว่า อัตรารับซื้อและกำลังผลิตของเครื่องจักรมีผลกับโครงการมากที่สุด ประโยชน์  
ของการศึกษาในครั้งนี้จะเป็นการสนับสนุนนโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนตาม  
แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP 2015) ที่ต้องการเพิ่มสัดส่วนการใช้  
พลังงานขั้นสุดท้ายจากพลังงานทดแทนของประเทศไทยเป็นร้อยละ 25 ของเชื้อเพลิงที่ใช้  
ในการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด และยังสามารถเป็นแหล่งอ้างอิงให้กับผู้ประกอบการที่ต้องการลงทุน  
ในโครงการที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน

56920943: MASTER OF ENGINEERING; M.Eng. (ENERGY AND ENVIRONMENTAL  
MANAGEMENT)

KEYWORD: RENEWABLE ENERGY/ BIO GAS/ ECONOMIC FEASIBILITY/  
FORECAST/POWER PLANT

KONGKEAT KITTIKON: FEASIBILITY STUDY OF BIOGAS POWER PLANT  
PROJECT: A CASE STUDY OF THAI EASTERN GROUP COMPANY. ADVISORY  
COMMITTEE: SANYA YIMSIRI, Ph.D., 149 P. 2018.

This research aimed to study feasibility of bio-gas power plant project. Starting from estimating the potential of bio-gas source by using various methods to forecast bio-gas left over from rubber drying plant. It was found that stationary data with additive seasonal effect method provided the lowest MSE. Therefore, this method was used to forecast the volume of left-over gas. From the forecast data, the researcher found that there was enough gas to supply 2 MW electrical generator. Then; economic feasibility of the project was studied and sensitivity analysis was performed. According to economic feasibility study, the researcher obtained NPV of 98,532,822 Baht, B/C ratio of 1.22, and IRR of 16%. The discounted payback period was 4.03 years at 10% discount rate. The project useful lifecycle was estimated at 10 years. From sensitivity analysis, it was found that purchase price and production rate were the most sensitive factors. Also, this study would help supporting renewable energy police following the Alternative Energy Development Plan 2015 (AEDP 2015) of The Ministry of Energy that wants to increase the ratio of renewable energy usage for electricity production in Thailand, and would be valuable information for the investor that is interested in similar projects.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
สมมติฐานของการวิจัย.....	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	4
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
แนวคิดพื้นฐานของการวิเคราะห์โครงการ.....	5
การวิเคราะห์ทางการเงินของโครงการ โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก สำหรับชุมชน.....	7
หลักเกณฑ์ในการวัดผลการลงทุน.....	7
การเลือกอัตราคิดลด.....	9
การวิเคราะห์ความไวของโครงการ.....	10
แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับพลังงานทดแทน.....	11
ความหมายและขั้นตอนของการเกิดก๊าซชีวภาพโดยกระบวนการย่อยสลาย สารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	12
ปัจจัยที่ส่งผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน.....	14
การจำแนกประเภทและเปรียบเทียบเทคโนโลยีระบบก๊าซชีวภาพ.....	17
การพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพและการพยากรณ์การใช้ก๊าซชีวภาพ ในการอบยาง.....	34

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	38
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	41
ประเภทของงานวิจัย.....	41
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	41
การเลือกพื้นที่การศึกษา.....	43
การเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจาก บริษัท ไทยอีสเทิร์นไบโอโพลีเมอร์ จำกัด.....	43
การศึกษาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่ได้จากน้ำเสียใน กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มและยางพาราของกลุ่มอุตสาหกรรม ไทยอีสเทิร์น.....	45
การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าจากน้ำเสียจาก กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มและยางพารา.....	58
การวิเคราะห์ตัวแปรที่เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิ.....	63
4 ผลการศึกษา.....	64
การพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่จะเกิดขึ้น และพยากรณ์ปริมาณการใช้ ก๊าซชีวภาพในกระบวนการอบยางเพื่อหาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เหลือใช้ในการผลิต พลังงานไฟฟ้า.....	64
วิธี Moving average.....	64
วิธี Weighted moving average.....	70
วิธี Exponential smoothing.....	74
วิธี Stationary data with additive seasonal effects.....	79
วิธี Double moving average.....	84
วิธี Double exponential smoothing.....	89
วิธี Linear regression.....	94
วิธี Quadratic trend model.....	99
วิธี Holt-winter's method with additive seasonal effects.....	104
การสรุปผลค่า MSE และการหาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เหลือใช้ใน การผลิตไฟฟ้าเพื่อหาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า.....	109

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าจากน้ำเสีย จากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มและยางพารา.....	123
งบลงทุนของโครงการ.....	123
ต้นทุนแปรผันของโครงการ.....	123
รายรับของโครงการ.....	124
ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้เครื่องมือ 4 ตัว ในการวัดความคุ้มค่า ทางเศรษฐศาสตร์.....	124
วิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ.....	126
ผลกระทบของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของโครงการเมื่อทำการเปลี่ยนแปลง งบลงทุน อัตราคิดลด กำลังผลิตและอัตรารับซื้อที่ -10%, -5%, 5%, 10%.....	126
ผลกระทบของอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ของโครงการเมื่อ ทำการเปลี่ยนแปลงงบลงทุน อัตราคิดลด กำลังผลิตและอัตรารับซื้อที่ -10%, -5%, 5%, 10%.....	127
ผลกระทบของอัตราส่วนระหว่าง กำไรต่อทุนของโครงการ (B/C ratio) เมื่อทำการเปลี่ยนแปลง งบลงทุน อัตราคิดลด กำลังผลิตและอัตรารับซื้อที่ -10%, -5%, 5%, 10%.....	129
ผลกระทบของระยะเวลาคืนทุนแบบอัตราคิดลดเมื่อทำการเปลี่ยนแปลง งบลงทุน อัตราคิดลด กำลังผลิตและอัตรารับซื้อที่ -10%, -5%, 5%, 10%.....	130
การวิเคราะห์ความแม่นยำของวิธีการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริง.....	131
5 สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ.....	134
สรุปและอภิปรายผล.....	134
ศักยภาพของแหล่งก๊าซชีวภาพที่ได้จากน้ำเสียของกระบวนการผลิต น้ำมันปาล์มและยางพาราเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าของบริษัทกลุ่มอุตสาหกรรม ไทยอีสเทิร์น.....	134
ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ที่ได้จากน้ำเสียของกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มและยางพาราของบริษัทกลุ่ม อุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น.....	134



## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
<p>ตัวแปรที่เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ NPV, IRR, B/C ratio และ Discounted payback period ของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่ได้จากน้ำเสียของกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม และยางพารา ของบริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Sensitivity analysis.....</p> <p>การวิเคราะห์ความแม่นยำของวิธีการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริง.....</p> <p>ข้อเสนอแนะ.....</p>	<p>135</p> <p>136</p> <p>136</p>
<p>บรรณานุกรม.....</p>	<p>137</p>
<p>ภาคผนวก.....</p> <p style="padding-left: 20px;">ภาคผนวก ก.....</p> <p style="padding-left: 20px;">ภาคผนวก ข.....</p>	<p>140</p> <p>141</p> <p>145</p>
<p>ประวัติย่อของผู้วิจัย.....</p>	<p>149</p>

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	แนวทางที่ใช้ในการจำแนกชนิดของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ.....	18
2-2	สรุปข้อเด่น-ข้อจำกัดของระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพรูปแบบต่าง ๆ.....	31
2-3	การเปรียบเทียบเทคโนโลยีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ.....	33
3-1	ชนิดของน้ำเสียและเหตุผลที่เลือกใช้ระบบน้ำเสียแต่ละชนิด.....	46
3-2	ส่วนที่เป็นงบลงทุนส่วนโรงไฟฟ้า.....	58
3-3	งบลงทุนส่วนที่เป็นบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ.....	59
3-4	ค่าแรงในส่วนของบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ.....	60
3-5	ค่าแรงส่วนของโรงไฟฟ้า.....	60
3-6	ค่าแรงในส่วนของแผนกวิศวกรรม.....	61
4-1	ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อบำบัดน้ำเสียของบริษัทกลุ่ม อุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Moving average ที่ $k = 2$ และ 4 months.....	66
4-2	ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบยางพาราของ บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Moving Average ที่ $k = 2$ และ 4 months.....	68
4-3	ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อบำบัดน้ำเสียของ บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Weighted moving average ที่ $k = 2$ months.....	71
4-4	ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบยางพาราของ กลุ่มบริษัทอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Weighted moving average ที่ $k = 2$ months.....	73
4-5	ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากบ่อบำบัดน้ำเสียของบริษัทกลุ่ม อุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Exponential smoothing.....	76
4-6	ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบยางพาราของ บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Exponential smoothing.....	78
4-7	ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากบ่อบำบัดน้ำเสียของบริษัทกลุ่ม อุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Stationary data with additive seasonal effects.....	81

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-8	ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบยางพาราของ บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Stationary data with additive seasonal effects.....	83
4-9	ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อบำบัดน้ำเสียของบริษัทกลุ่ม อุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Double moving average.....	86
4-10	ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบยางพาราของ บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Double moving average.....	88
4-11	ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อบำบัดน้ำเสียของ บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Double exponential smoothing.....	91
4-12	ผลการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพในกระบวนการอบยางพาราของ บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Double exponential smoothing.....	93
4-13	ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อบำบัดน้ำเสียของ บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Linear regression.....	96
4-14	ผลการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพในกระบวนการอบยางพารา ของบริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Linear Regression.....	98
4-15	ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อบำบัดน้ำเสียของ บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Quadratic trend model.....	101
4-16	ผลการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพในกระบวนการอบยางพาราของ บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Quadratic trend model.....	103
4-17	ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อบำบัดน้ำเสียของ บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Holt-winter's method with additive.....	106
4-18	แสดงผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบยางพาราของ บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Holt-winter's method with additive seasonal effects.....	108
4-19	สรุปผลค่า MSE ของการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ด้วยการพยากรณ์ทั้ง 9 วิธี.....	109

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-20	สรุปผลค่า MSE ของการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบ ยางพาราด้วยการพยากรณ์ทั้ง 9 วิธี..... 110
4-21	ผลการพยากรณ์ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ใน กระบวนการอบยางพารา และปริมาณก๊าซชีวภาพหลงเหลือในอีก 10 ปีข้างหน้าตั้งแต่ พ.ศ. 2559-2568 ด้วยวิธี Stationary data with seasonal effects..... 112
4-22	กระแสเงินสดกำไร/ขาดทุนของโครงการตลอดอายุโครงการ 10 ปีที่อัตราคิดลด มีค่าเท่ากับร้อยละ 10..... 125
4-23	การเปลี่ยนแปลงของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของโครงการเมื่อทำการเปลี่ยนแปลง งบลงทุน อัตราคิดลด กำลังผลิตและอัตรารับซื้อที่ -10%, -5%, 5%, 10%..... 126
4-24	การเปลี่ยนแปลงอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ของโครงการเมื่อทำการเปลี่ยนแปลง งบลงทุน อัตราคิดลด กำลังผลิตและอัตรารับซื้อที่ -10%, -5%, 5%, 10%..... 128
4-25	การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างกำไรต่อทุนของโครงการ (B/C ratio) เมื่อ ทำการเปลี่ยนแปลง งบลงทุน อัตราคิดลด กำลังผลิตและอัตรารับซื้อที่ -10%, -5%, 5%, 10%..... 129
4-26	การเปลี่ยนแปลงระยะเวลาคืนทุนแบบอัตราคิดลด (Discounted payback period) เมื่อทำการเปลี่ยนแปลง งบลงทุน อัตราคิดลด กำลังผลิตและอัตรารับซื้อที่ -10%, -5%, 5%, 10%..... 130
4-27	เปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นและปริมาณก๊าซชีวภาพที่พยากรณ์ได้ ระหว่างปี พ.ศ. 2559-พ.ศ. 2560..... 132

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1-1 บริษัท ไทยอีสเทิร์น ไบโอพาวเวอร์ จำกัด	2
2-1 ลำดับขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไม่ใช้อากาศ	14
2-2 ถึงปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์	20
2-3 ถึงตกตะกอน	20
2-4 ระบบบ่อเปิดแบบไม่ใช้อากาศ	23
2-5 ลักษณะของบ่อเปิดแบบไม่ใช้อากาศตัดแปลง	25
2-6 ลักษณะของถังกรองไร้อากาศ ถึงแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์	28
2-7 ลักษณะถังแบบฟลูอิดไดซ์เบด	30
3-1 ลำดับขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	42
3-2 กราฟแสดงปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพในแต่ละเดือนตั้งแต่เดือน มกราคม 2554- ธันวาคม 2559	44
3-3 กราฟแสดงปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพในกระบวนการอบยางพาราแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม 2554-ธันวาคม 2559	45
3-4 การกำจัดความชื้นและละอองน้ำออกจากก๊าซชีวภาพโดยสารทำความเย็น	47
3-5 ลักษณะของหอดูดซึมแบบ Bio trickling filter	48
3-6 กระบวนการทำงานของเทคโนโลยี	49
3-7 ชุดอุปกรณ์ Gas train ที่ใช้กับเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ	50
3-8 วาล์วปิด-เปิดด้วยมือ	50
3-9 หม้อกรอง	51
3-10 ส่วนประกอบของ Pressure regulator	52
3-11 องค์ประกอบของโซลินอยด์วาล์วคู่	53
3-12 อุปกรณ์ชุด Gas train ของเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ	54
3-13 เครื่องยนต์สันดาปใน 4 จังหวะ	55
3-14 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมกริดกับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	56
3-15 อัตรารับซื้อแบบ Feed in tariff ของกลุ่มพลังงานชีวภาพ	62

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริงตั้งแต่เดือนมีนาคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Moving average ที่ $k = 2$ months.....	67
4-2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริงตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Moving average ที่ $k = 4$ months.....	67
4-3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้จริงในกระบวนการอบยางพาราตั้งแต่เดือนมีนาคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Moving average ที่ $k = 2$ months.....	69
4-4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้จริงในกระบวนการอบยางพาราตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Moving average ที่ $k = 4$ months.....	69
4-5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริง ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Weighted moving average ที่ $k = 2$ months.....	72
4-6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้จริงในกระบวนการอบยางพาราตั้งแต่เดือนมีนาคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Weighted moving average ที่ $k = 2$ months.....	74
4-7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริงตั้งแต่เดือนมกราคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Exponential smoothing.....	77
4-8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้จริงในกระบวนการอบยางพาราตั้งแต่เดือนมกราคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Exponential smoothing.....	79

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริง ตั้งแต่เดือนมกราคม 2557-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Exponential smoothing.....	82
4-10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้จริงในกระบวนการอบยางพาราตั้งแต่เดือนมกราคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Stationary data with additive seasonal effects.....	84
4-11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริง ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Double moving average.....	87
4-12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้จริงในกระบวนการอบยางพารา ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Double moving average.....	89
4-13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริง ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Double exponential smoothing.....	92
4-14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้จริงในกระบวนการอบยางพารา ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Double exponential smoothing.....	94
4-15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริง ตั้งแต่เดือนมกราคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Linear regression.....	97
4-16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้จริงในกระบวนการอบยางพารา ตั้งแต่เดือนมกราคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Linear regression.....	99
4-17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริง ตั้งแต่เดือนมกราคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Quadratic trend model.....	102

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพกับปริมาณ ก๊าซชีวภาพที่ใช้จริงในกระบวนการอบยางพารา ตั้งแต่เดือนมกราคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Quadratic trend model.....	104
4-19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพกับปริมาณ ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริง ตั้งแต่เดือนมกราคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Holt-winter's method with additive seasonal effects.....	107
4-20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพกับปริมาณ ก๊าซชีวภาพที่ใช้จริงในกระบวนการอบยางพารา ตั้งแต่เดือนมกราคม 2556- ธันวาคม 2558 โดยวิธี Holt-winter's method with additive seasonal effects.....	109
4-21 กราฟแสดงการพยากรณ์ก๊าซชีวภาพเกิดจากบ่อบำบัดน้ำเสียบริษัทกลุ่มอุตสาหกรรม ไทยอีสเทิร์น ในอีก 10 ปีข้างหน้า ตั้งแต่เดือนมกราคม 2559-ธันวาคม 2568 ด้วยวิธี Stationary data with seasonal effect.....	122
4-22 กราฟแสดงการพยากรณ์ก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบยางพาราของบริษัท กลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น ในอีก 10 ปีข้างหน้า ตั้งแต่เดือนมกราคม 2559- ธันวาคม 2568 ด้วยวิธี Stationary data with seasonal effect .....	123
4-23 การเปลี่ยนแปลงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของโครงการเมื่อทำการเปลี่ยนแปลง งบลงทุน อัตราคิดลด กำลังผลิตและอัตรารับซื้อที่ -10%, -5%, 5%, 10%.....	127
4-24 การเปลี่ยนแปลงผลตอบแทนภายใน (IRR) ของโครงการเมื่อทำการเปลี่ยนแปลง งบลงทุน อัตราคิดลด กำลังผลิตและอัตรารับซื้อที่ -10%, -5%, 5%, 10%.....	128
4-25 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนกำไรต่อทุน (B/C ratio) ของโครงการเมื่อ ทำการเปลี่ยนแปลงงบลงทุน อัตราคิดลด กำลังผลิตและอัตรารับซื้อที่ -10%, -5%, 5%, 10%.....	129
4-26 การเปลี่ยนแปลง ระยะเวลาคืนทุนแบบอัตราคิดลด ของโครงการเมื่อทำการ เปลี่ยนแปลงงบลงทุน อัตราคิดลด กำลังผลิตและอัตรารับซื้อที่ -10%, -5%, 5%, 10%.....	131
5-1 กราฟแสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นและปริมาณก๊าซชีวภาพที่พยากรณ์ได้ ระหว่างปี พ.ศ. 2559-พ.ศ. 2560.....	136



# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทยมีการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นหลัก โดยมีสัดส่วนถึงร้อยละ 72 ซึ่งนับว่าสูงมาก จึงทำให้ไทยต้องพึ่งพาก๊าซธรรมชาติจากแหล่งก๊าซธรรมชาติของประเทศเพื่อนบ้าน เช่น พม่า (แหล่งยาดานา) มาเลเซีย (แหล่ง JDA) และในอนาคตอาจมาจากพื้นที่ทับซ้อนระหว่างไทย-กัมพูชาด้วยอีกแหล่งหนึ่ง

ด้วยปัจจัยที่ว่าไทยยังต้องพึ่งพาพลังงานไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้านก็ถือเป็นปัจจัยเสี่ยงในด้านความมั่นคงพลังงานประการหนึ่ง ซึ่งแนวโน้มการนำเข้าพลังงานไฟฟ้าก็ไม่มีทีท่าว่าจะน้อยลงในอนาคตอันใกล้ ดูได้จากแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2553-2573 (Power development plan 2010) จะเพิ่มสัดส่วนการซื้อไฟฟ้าจากเพื่อนบ้านเป็นร้อยละ 25 ของกำลังการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด ดังนั้น “พลังงานทดแทน” จึงกลายเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความมั่นคงทางพลังงานของไทยปัจจัยหนึ่ง โดยแผน Power development plan 2010 ของกระทรวงพลังงานได้เพิ่มสัดส่วนของพลังงานทดแทนขึ้นมาเป็นร้อยละ 20 ของกำลังการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด (ชัยพร เจริญพานิช, 2554)

พลังงานจากก๊าซชีวภาพก็เป็นพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่ง ที่สามารถนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าของไทยได้ เนื่องจากประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตรที่เกี่ยวข้องกับการผลิตน้ำมันปาล์ม และยางพาราเป็นจำนวนมากซึ่งอุตสาหกรรมประเภทนี้จะมีน้ำเสียที่สามารถนำมาผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถนำมาผลิตไฟฟ้าได้ ซึ่งในอดีตน้ำเสียเหล่านี้จะถูกบำบัดแบบบ่อบำบัด ซึ่งจะส่งกลิ่นเหม็นรบกวนให้กับประชาชนที่อาศัยบริเวณใกล้เคียง อีกทั้งยังเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งจะถูกนำมาเป็นข้อกีดกันด้านการค้าระหว่างประเทศ ซึ่งผู้ผลิตหรือผู้ส่งออกจะต้องปฏิบัติตามมาตรฐานอย่างเข้มงวด ดังนั้นการนำน้ำเสียจากโรงงานประเภทดังกล่าวมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ นอกจากจะสามารถเป็นพลังงานทดแทนแล้ว ยังแก้ไขปัญหามลพิษในรูปของการบำบัดน้ำเสีย การปล่อยก๊าซเรือนกระจก และการลดต้นทุนด้านการบำบัดน้ำเสีย อีกด้วย

บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น ตำบลเขาชก อำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี ก็เป็นกลุ่มของบริษัทที่มีการผลิตน้ำมันปาล์มและยางพารากลุ่มหนึ่งที่มีปริมาณน้ำเสียจำนวนมาก ทำให้ต้องมีการเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียเป็นจำนวนมากเช่นกัน อีกทั้งยังมีปัญหาในเรื่องของกลิ่นเหม็นที่เกิดจากน้ำเสียที่มาจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มและยางพารา เป็นเหตุให้

ทางบริษัท ฯ มีความสนใจที่จะผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต จึงได้จัดตั้งบริษัท ไทยอีสเทิร์น ไบโอ พาวเวอร์ จำกัด ซึ่งในช่วงแรกเป็นเพียงการนำก๊าซชีวภาพที่ได้จากบ่อบำบัดน้ำเสียบ่อแรก (ระบบ CSRT) เป็นโรงงานแปรรูปอย่างพารา ต่อมามีการสร้างบ่อบำบัดน้ำเสียบ่อที่สอง (ระบบ MCL) เพื่อรองรับน้ำเสียที่เกิดจากการขยายการผลิตน้ำมันปาล์ม ทำให้ได้ก๊าซชีวภาพที่เกินความต้องการในการอบยางแท่งทำให้บริษัท ฯ จำเป็นที่จะต้องเผาก๊าซชีวภาพที่ได้ทิ้งด้วยระบบ Flare เพื่อรักษาระดับความดันของก๊าซชีวภาพทำให้เกิดการสูญเสียก๊าซชีวภาพอย่างเปล่าประโยชน์

ด้วยสาเหตุดังกล่าว บริษัท ไทยอีสเทิร์น ไบโอ พาวเวอร์ จำกัด มีความสนใจที่จะนำก๊าซชีวภาพที่เกินความต้องการมาผลิตไฟฟ้า เพื่อลดการสูญเสียของก๊าซชีวภาพที่เกินความต้องการเพิ่มรายได้ของบริษัท ฯ และเป็นการตอบสนองนโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP2015) ที่ต้องการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจากพลังงานทดแทนของประเทศไทยเป็นร้อยละ 25 ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าทั้งหมดของกำลังการผลิตไฟฟ้า เพื่อเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยให้ประเทศไทยมีความมั่นคงด้านพลังงาน อีกทั้งยังสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งอ้างอิงสำหรับผู้ประกอบการที่สนใจจะลงทุน โครงการที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับการศึกษาในครั้งนี้ ดังนั้นจึงเหมาะสมแก่การทำการศึกษาคืบหน้าไปได้ของโครงการโรงผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ กรณีศึกษาบริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น



ภาพที่ 1-1 บริษัท ไทยอีสเทิร์น ไบโอ พาวเวอร์ จำกัด

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาศักยภาพของแหล่งก๊าซชีวภาพที่ได้จากน้ำเสียของกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม และยางพารา เพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าของบริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น
2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่ได้จากน้ำเสียของกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม และยางพารา ของบริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น
3. เพื่อศึกษาตัวแปรที่เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ NPV IRR B/C ratio และ Discounted payback period ของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่ได้จากน้ำเสียของกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม และยางพารา ของบริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยใช้การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (Sensitivity analysis) ซึ่งมีตัวแปรดังกล่าว ได้แก่ ราคาซื้อไฟฟ้า กำลังผลิตไฟฟ้า อัตราคิดลด และต้นทุนคงที่ (Fixed cost)
4. เพื่อเป็นแหล่งอ้างอิงให้กับผู้ประกอบการที่ต้องการลงทุนสำหรับโครงการที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับกรณีศึกษาในครั้งนี้

### ขอบเขตของการวิจัย

1. การศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่ได้จากน้ำเสียในกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มและยางพารา จะวิเคราะห์ความคุ้มค่าจากมูลค่าปัจจุบันของโครงการ (NPV) อัตราผลตอบแทนโครงการ (IRR) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อทุน (B/C ratio) และระยะเวลาคืนทุน (Discounted payback period) เท่านั้น
2. ในการวิจัยครั้งนี้จะทำการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่จะเกิดขึ้น และจะพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพในกระบวนการอบยางพารา เพื่อหาปริมาณก๊าซชีวภาพคงเหลือที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้ามาคำนวณหาศักยภาพของแหล่งก๊าซชีวภาพ
3. การวิจัยในครั้งนี้จะทำการวิเคราะห์ตัวแปร ได้แก่ ราคาการขายไฟฟ้า ต้นทุนคงที่ อัตราคิดลด และกำลังผลิตไฟฟ้า ว่าปัจจัยใดที่ส่งผลกระทบต่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนโครงการ (IRR) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อทุน (B/C ratio) และระยะเวลาคืนทุน (Discounted payback period) โดยใช้การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (Sensitivity analysis)

## สมมติฐานของการวิจัย

1. ค่าแรงงานและเงินเดือนบุคลากรจะประกอบด้วยผู้จัดการวิศวกรช่างไฟฟ้าและ  
คนงานซึ่งจากเงื่อนไขที่กำหนดขึ้น คือ จะเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.5 ในทุก ๆ ปี ของค่าแรงงานและ  
เงินเดือนบุคลากรตลอดทั้งโครงการ
2. ค่าใช้จ่ายการเดินระบบในการผลิตไฟฟ้าและค่าบำรุงรักษาเงื่อนไขที่กำหนดขึ้น คือ  
เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.5 ของทุก ๆ ปี
3. กำหนดให้อายุโครงการเท่ากับ 10 ปี ตามอายุการใช้งานทางเทคนิคของโรงไฟฟ้า  
ชีวมวลขนาดเล็ก
4. ในการศึกษาครั้งนี้มีอัตราคิดลดร้อยละ 10 ที่อัตราดอกเบี้ย 10% ซึ่งเป็นอัตราดอกเบี้ย  
พันธบัตรรัฐบาลในระยะสั้นและระยะยาวเนื่องจากการลงทุน โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับ  
ชุมชนเป็น โครงการที่เอกชนเป็นผู้ลงทุน ดังนั้นการคิดอัตราส่วนลดจึงยึดตามดอกเบี้ยพันธบัตร  
รัฐบาลและเป็นค่าอัตราคิดลดที่อยู่ในช่วงอัตราคิดลด 8-15% ของประเทศกำลังพัฒนา
5. กำหนดให้มีจำนวนวันที่ใช้ผลิตไฟฟ้าทั้งสิ้น 335 วัน และจำนวนวันที่ใช้บำรุง  
การรักษารองผลิตไฟฟ้าเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพทั้งสิ้น 30 วัน ดังนั้นในแต่ละปีจะมีชั่วโมง  
การเดินเครื่อง 8,040 ชั่วโมง (24 ชั่วโมง x 335 วัน)
6. กำหนดให้มีการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้ากับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย  
ประเภทผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSSP) โดยได้รับเงินอัตรารับซื้อไฟฟ้าส่วนคงที่ (Fit fix: Fit)  
เท่ากับ 3.76 บาท/ หน่วย ได้รับเงินอัตรารับซื้อไฟฟ้าในรูปแบบพิเศษในช่วง 8 ปีแรก เท่ากับ 0.5  
บาท/ หน่วย

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ทราบถึงศักยภาพของแหล่งก๊าซชีวภาพที่ได้จากน้ำเสียของกระบวนการผลิตน้ำมัน  
ปาล์ม และยางพารา เพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า ของกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น
2. ทราบถึงความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ  
ที่ได้จากน้ำเสียของกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม และยางพารา ของกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น
3. ทราบถึงตัวแปรที่เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ NPV, IRR, B/C ratio และ Discounted  
payback period ของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่ได้จากน้ำเสียของกระบวนการผลิต  
น้ำมันปาล์ม และยางพารา ของกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยใช้การวิเคราะห์ความอ่อนไหว  
ของโครงการ (Sensitivity analysis) เพื่อเป็นการเฝ้าระวังตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อโครงการ  
มากที่สุด

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาความเป็นไปได้ของศักยภาพและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าจากน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม และยางพาราของกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น ตำบลเขาชก อำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี โดยมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

#### 1. แนวคิดพื้นฐานของการวิเคราะห์โครงการ

การวิเคราะห์โครงการ (Project analysis) เป็นวิธีการแสดงการใช้ทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดภายใต้จุดมุ่งหมายหรือความต้องการของสังคมในรูปแบบที่สะดวกและเหมาะสมเพราะการวิเคราะห์โครงการจะมีการประเมินถึงผลตอบแทน (Benefit) และค่าใช้จ่าย (Cost) ต่าง ๆ ของแต่ละโครงการแล้วปรับเป็นตัวร่วม (Common denominator) ซึ่งถ้าหากผลตอบแทนมีมากกว่าค่าใช้จ่ายตามที่ได้ปรับแล้ว โครงการนั้นก็จะเป็นโครงการที่ให้ผลตอบแทนคุ้มค่า การวิเคราะห์โครงการจึงมีส่วนช่วยต่อการตัดสินใจที่จะใช้ทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพตามหลักวิชาการ (ประสิทธิ์ ตงยั้งศิริ, 2542)

แนวคิดเบื้องต้นในการวิเคราะห์ทางการเงินของโครงการใด ๆ เป็นการเปรียบเทียบการลงทุนหรือต้นทุน (Costs) กับรายได้ (Income) หรือผลตอบแทน (Benefits) เพื่อที่จะพิจารณาความเหมาะสมของโครงการที่ให้ผลตอบแทนจากการลงทุนนั้น ๆ ซึ่งมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ที่สำคัญดังนี้

1.1 การจัดเตรียมงบประมาณกระแสเงินเข้า (Inflows) ซึ่งเป็นรายการที่เกี่ยวกับรายได้หรือผลตอบแทนที่ได้จากการลงทุนกระแสเงินออก (Outflows) ซึ่งเป็นรายการที่เกี่ยวกับค่าใช้จ่ายหรือเงินทุนที่ใช้ในการลงทุน

1.2 การคำนวณผลตอบแทนสุทธิของการลงทุน โดยนำกระแสเงินออกหรือกระแสค่าใช้จ่ายที่คิดจากโครงการลงทุนลบกระแสเงินเข้าหรือกระแสรายได้จากโครงการลงทุน

1.3 ขั้นตอนการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนและอัตราผลตอบแทนทางการเงินภายในจากโครงการลงทุน

การวิเคราะห์ทางการเงินของโรงไฟฟ้าชีวมวลที่มีเชื้อเพลิงเป็นก๊าซชีวภาพที่ได้จากน้ำเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม และยางพารา ของกลุ่มอุตสาหกรรมอีสเทิร์น

ตำบลเขาชก อำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี เป็นการพิจารณาถึงผลประโยชน์สุทธิทางการเงินที่มีต่อเจ้าของกิจการหรือเอกชนโดยอาศัยการพิจารณาด้านต้นทุนและผลประโยชน์ (Cost-benefit) ของโครงการ โดยใช้ราคาตลาด (Market price) ในการตีค่าซึ่งจะพิจารณาว่าโครงการดังกล่าวจะให้ผลตอบแทนคุ้มค่าน่าลงทุนเป็นอย่างไรต้นทุนและประโยชน์ทางการเงินที่จะต้องนำมาใช้ในการวิเคราะห์กระแสเงินเข้าและออก ของโครงการ โรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวลที่ใช้เชื้อเพลิงดังกล่าวเป็นเชื้อเพลิง จะต้องประกอบด้วยต้นทุนประเภทต่าง ๆ ดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Investment costs) หมายถึง มูลค่าของทรัพยากรที่ใช้ไปเพื่อเป็นพื้นฐานหรือสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกในการผลิตค่าใช้จ่ายในการลงทุนหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเงินลงทุนในโครงการเป็นเงินลงทุนในทรัพย์สินถาวรที่มีอายุใช้งานมากกว่า 1 ปี และโครงการจำเป็นต้องใช้ในการดำเนินงาน เช่น ค่าลงทุนเครื่องจักรอุปกรณ์และการติดตั้งโรงจักรผลิตไฟฟ้าและระบบต่าง ๆ ของโรงไฟฟ้ารวมทั้งระบบสายส่งไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าไปเชื่อมต่อกับระบบส่งไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

2. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษา (Operating & Maintenance cost) หมายถึง มูลค่าของทรัพยากรที่ใช้ไปเพื่อการดำเนินงานของโครงการหรือ จำนวนเงินที่โครงการจ่ายออกไปเพื่อการดำเนินงานตามปกติของโครงการนั่นเองประกอบด้วยค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ดังนี้

2.1 ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาซ่อมแซมอุปกรณ์เครื่องจักรผลิตไฟฟ้าโดยเริ่มจ่ายตั้งแต่ปีที่เริ่มทำการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยจนถึงสิ้นสุดอายุโครงการ

2.2 ค่าใช้จ่ายในการบริหารและควบคุมงานซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายด้านค่าจ้างแรงงานในการดูแลควบคุมระบบผลิตไฟฟ้าโดยมีระดับค่าจ้างแรงงานแตกต่างกันไปตามหน้าที่ความรับผิดชอบโดยคิดจากจำนวนตำแหน่งบุคลากรคูณด้วยอัตราค่าจ้างประจำตำแหน่งจะเริ่มจ่ายตั้งแต่ปีที่เริ่มทำการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยจนถึงสิ้นสุดอายุโครงการ

2.3 ค่าใช้จ่ายด้านการวิเคราะห์คุณภาพ

2.4 ค่าใช้จ่ายด้านสาธารณูปโภค เช่น ค่าน้ำค่าไฟฟ้าภายในโรงไฟฟ้าชีวมวล

2.5 ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับจัดซื้อเชื้อเพลิงวัตถุดิบสำหรับการผลิตไฟฟ้า

3. ผลตอบแทนโครงการที่มีตัวตน (Tangible benefits) หมายถึง ผลตอบแทนที่สามารถคิดเป็นมูลค่าหรือตัวเงินได้ เช่น ผลตอบแทนจากการขายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและผลพลอยได้จากการขายปุ๋ย

## 2. การวิเคราะห์ทางการเงินของโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน (Financial analysis)

การวิเคราะห์แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ การวิเคราะห์รายได้ของการจำหน่ายไฟฟ้า การวิเคราะห์งบกระแสเงินสด และการวิเคราะห์การลงทุน

2.1 การวิเคราะห์รายได้ของการจำหน่ายไฟฟ้า (Income analysis) เป็นการตรวจสอบผลการดำเนินงานของโรงไฟฟ้าในปีใดปีหนึ่งเพื่อให้ผู้ประกอบการโรงไฟฟ้ารู้ว่าการใช้ทุนแรงงานได้ผลตอบแทนคุ้มหรือไม่กำไรหรือขาดทุน

2.2 การวิเคราะห์งบกระแสเงินสด (Cash flow analysis) เป็นการตรวจสอบสภาพคล่องของการเกษตรรายจ่ายเงินสดรายได้เงินสดและเงินสดที่เหลือในแต่ละปี

2.3 การวิเคราะห์การลงทุน (Investment analysis) โดยต้องมีการกำหนดสมมติฐานการคำนวณต้นทุน และรายได้ ได้แก่ อายุโครงการมีอายุที่เพิ่มขึ้นกับอายุของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่สามารถผลิตไฟฟ้าในระดับที่เหมาะสม จากนั้นกำหนดเงินลงทุนต้นทุนและรายได้ในแต่ละปีและหาอัตราผลตอบแทน (Net present value: NPV), (Internal rate of return: IRR), B/C ratio และ (Pay back period: PB) (ชูชีพ พิพัฒน์ศิริ, 2544)

### 3. หลักเกณฑ์ในการวัดผลการลงทุน

ในการวิเคราะห์จะใช้หลักเกณฑ์การตัดสินใจ 4 หลักเกณฑ์ คือ ระยะเวลาคืนทุน (Payback period: PB) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit-cost ratio: B/C ratio) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value: NPV) และอัตราส่วนผลตอบแทนภายใน (Internal rate return: IRR) ซึ่งในทุกหลักเกณฑ์ดังกล่าวจะต้องคิดลดให้กระแสเงินสด (Cash flow) เหล่านั้นเป็นมูลค่าปัจจุบันก่อนซึ่งเป็นการพิจารณาถึงมูลค่าของเงินตามกาลเวลาที่ขึ้นเพราะการลงทุนในโครงการมักผูกพันกับระยะเวลาช่วงใดช่วงหนึ่ง (ชูชีพ พิพัฒน์ศิริ, 2544) โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value: NPV) คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของรายได้ที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปีตลอดอายุของโครงการกับมูลค่าปัจจุบันของรายจ่ายที่จ่ายออกไปซึ่งคิดจากสมการที่ (2-1)-(2-3)

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \quad (2-1)$$

$$\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (2-2)$$

$$NPV = PVB - PVC \quad (2-3)$$

เมื่อ

$B_t$  = ผลตอบแทนในปี  $t$

$C_t$  = ต้นทุนในปี  $t$

$r$  = อัตราคิดลด

$t$  = ระยะเวลาของโครงการปีที่ 1 ถึง  $n$

$n$  = จำนวนปีทั้งสิ้นของโครงการ

PVB = มูลค่าปัจจุบันของกระแสผลตอบแทนรวม

PVC = มูลค่าปัจจุบันของกระแสต้นทุนรวม

หลักการตัดสินใจในการลงทุนของโครงการคือถ้ามูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่ามากกว่าศูนย์ แสดงว่าผลประโยชน์ในอนาคตคิดมูลค่าปัจจุบันแล้วมีค่ามากกว่าเงินลงทุน กล่าวคือการลงทุนในโครงการนั้นได้รับผลตอบแทนคุ้มค่าการลงทุน แต่ถ้ามูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าน้อยกว่าศูนย์แสดงว่าโครงการนั้นไม่คุ้มค่ากับการลงทุน

3.2 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit-cost ratio: B/C ratio) คือ เกณฑ์ที่แสดงถึงอัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสผลตอบแทนกับมูลค่าปัจจุบันของกระแสค่าใช้จ่ายตลอดอายุของโครงการซึ่งสามารถคิดได้จากสมการที่ 2-4 และสมการที่ 2-5

$$B/C \text{ Ratio} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (2-4)$$

$$B/C \text{ Ratio} = \frac{PVB}{PVC} \quad (2-5)$$

เมื่อ

$B_t$  = ผลตอบแทนในปี  $t$

$C_t$  = ต้นทุนในปี  $t$

$r$  = อัตราคิดลด

$t$  = ระยะเวลาของโครงการปีที่ 1 ถึง  $n$

$n$  = จำนวนปีทั้งสิ้นของโครงการ

PVB = มูลค่าปัจจุบันของกระแสผลตอบแทนรวม

PVC = มูลค่าปัจจุบันของกระแสต้นทุนรวม



การตัดสินใจในการลงทุนเมื่อค่าของอัตราผลตอบแทนต่อต้นทุนที่ได้ออกมา มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าเป็นโครงการที่สมควรลงทุน แต่ถ้าค่าของอัตราผลตอบแทนต่อต้นทุนมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าไม่สมควรลงทุนในโครงการนั้น

3.3 อัตราผลตอบแทนโครงการ (Internal rate of return: IRR) คือ อัตราส่วนลดที่ทำให้ NPV มีค่าเท่ากับศูนย์ ค่าของ IRR จะคำนวณได้จากสมการที่ 2-6

$$IRR = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} = 0 \quad 2-6$$

เมื่อ

$B_t$  = ผลตอบแทนในปี t

$C_t$  = ต้นทุนในปี t

r = อัตราคิดลด

t = ระยะเวลาของโครงการปีที่ 1 ถึง n

n = จำนวนปีทั้งสิ้นของโครงการ

หลักในการตัดสินใจ คือ ถ้าผู้ลงทุนมีเงินทุนไม่จำกัดควรรับทุกโครงการที่มีค่า IRR เท่ากับหรือสูงกว่าค่าเสียโอกาสของทุน หรือ ค่าอัตราคิดลดของโครงการ หรือ ดอกเบี้ยเงินกู้ของธนาคาร ถ้า IRR ของโครงการต่ำกว่าค่าเสียโอกาสของทุนหรือ ค่าอัตราคิดลดของโครงการ หรือ ดอกเบี้ยเงินกู้ของธนาคาร หรือ ต่ำกว่าอัตราเป้าหมายที่ต้องการแล้วก็ไม่ควรลงทุน

3.4 ระยะเวลาคืนทุน (Discounted payback period: DPB) เป็นระยะเวลาที่โครงการจะให้มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิรวมกันแล้วมีค่าเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนในการลงทุน โดยหลักเกณฑ์การตัดสินใจเลือกโครงการ คือ จะพิจารณาเลือกโครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด

4. การเลือกอัตราคิดลด (Choosing the discount rate) เพื่อใช้ในการคำนวณหามูลค่าปัจจุบัน (Present worth) สามารถแยกออกได้เป็น 3 อัตรา ได้แก่

4.1 อัตราตัดขาด (Cut-off rate) ใช้สำหรับคำนวณหาค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน หรืออัตราที่ต่ำกว่านี้จะไม่เป็นที่ยอมรับสำหรับอัตราผลตอบแทนภายในลดลงสำหรับการวิเคราะห์ทางการเงิน Cut-off rate โดยปกติ คือ ต้นทุนหน่วยสุดท้ายของเงินตรา (Marginal cost of money) ที่มีต่อกิจการหรืออัตราที่วิสาหกิจจะสามารถกู้ยืมเงินได้

ส่วนการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจ Cut-off rate ที่ใช้ คือ ค่าเสียโอกาสของทุน (Opportunity cost of capital) ซึ่งเป็นอัตราที่สะท้อนถึงการเลือกของสังคมโดยส่วนรวมระหว่างผลตอบแทนในปัจจุบัน และอนาคตไม่มีใครเลยที่จะทราบว่าค่าเสียโอกาสของทุนที่แท้จริงเป็นเท่าใดค่าเสียโอกาสของทุนในประเทศกำลังพัฒนาส่วนใหญ่จะมีค่าในรูปที่แท้จริง (In real terms) อยู่ระหว่างร้อยละ 8 ถึง 15 ต่อปี ดังนั้นอัตราที่เลือกใช้กันโดยทั่วไปตาม The rule of thumb คือ ร้อยละ 12 ต่อปี

4.2 อัตรากู้ยืม (Borrowing rate) อัตราคิดลดที่เลือกใช้สำหรับการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจแบบที่สอง คือ อัตรากู้ยืม (Borrowing rate) ที่ประเทศต้องจ่ายเพื่อที่จะใช้กับ โครงการเมื่อประเทศคาดว่าจะต้องมีการกู้ยืมเงินจากต่างประเทศมาเพื่อการลงทุนโครงการ

4.3 อัตราความชอบตามเวลาทางสังคม (Social time preference rate) โดยทั่วไปอัตราคิดลดที่ใช้กับผลตอบแทนอนาคตต่อสังคมโดยส่วนรวมจะมีค่าต่ำกว่าอัตราคิดลดต่อบุคคลเพราะสังคมมีช่วงเวลา (Time horizon) ที่ยาวนานกว่าของบุคคลนั่นเอง ซึ่งหมายความว่า อัตราคิดลดที่ใช้กับโครงการสาธารณะ (Public projects) จะต่ำกว่าที่ใช้กับโครงการเอกชน (Private projects) อัตราความชอบตามเวลาทางสังคมนี้จะแตกต่างไปจากค่าเสียโอกาสของทุนตรงที่ว่าค่าเสียโอกาสของทุนมาจากกิจกรรมการลงทุนทั้งภาครัฐและเอกชนและยังให้น้ำหนักที่เหมือนกันต่อผลตอบแทนอนาคตจากกิจกรรมทั้ง 2 ชนิด (ชูชีพ พิพัฒน์ศิริ, 2544)

ในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้อัตราคิดลดที่อัตราดอกเบี้ย 10% ซึ่งเป็นอัตราดอกเบี้ยพันธบัตรรัฐบาลในระยะสั้นและระยะยาวเนื่องจากการลงทุนโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชนเป็นโครงการที่เอกชนเป็นผู้ลงทุนดังนั้นการคิดอัตราส่วนลดจึงยึดตามดอกเบี้ยพันธบัตรรัฐบาลและเป็นค่าอัตราคิดลดที่อยู่ในช่วงอัตราคิดลด 8-15% ของประเทศกำลังพัฒนา

## 5. การวิเคราะห์ความไวของโครงการ (Sensitivity analysis)

การวิเคราะห์ความไวของโครงการ ตัวแปรที่สำคัญในการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน ได้แก่ ความผันแปรของต้นทุนรวม ความผันแปรของราคา และความผันแปรของปริมาณการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยดังกล่าวอาจเกิดขึ้นเฉพาะปัจจัยใดปัจจัยหนึ่ง หรืออาจเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันได้ ซึ่งถ้ามีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลกระทบต่อผลตอบแทนสุทธิของโครงการ การวิเคราะห์ความไว คือ การประเมินความทนต่อเหตุการณ์ในอนาคตที่อาจจะเปลี่ยนแปลงไปจากสถานการณ์เดิมของโครงการที่จัดตั้งขึ้น ซึ่งจะทำให้รู้ว่าอะไรจะเกิดขึ้นกับโครงการในกรณีที่กระแสการไหลของต้นทุนและผลได้ไม่เป็นไปตามที่คาดหวังไว้ ตามแผนเดิม เช่น ต้นทุนของโครงการสูงขึ้นร้อยละ 2 ในกรณีนี้จะมีอะไรเกิดขึ้นกับค่าที่คำนวณไว้เดิมของค่า IRR NPV และ B/C Ratio หรือไม่ สิ่งที่จะนำมาพิจารณาความไว ได้แก่

### 5.1 ราคาสินค้าทั้งที่เป็นราคาปัจจัยการผลิต และผลผลิตในโครงการมี

การเปลี่ยนแปลงไป โดยจะต้องมีการสมมติให้ราคามีการเปลี่ยนแปลงไปทั้งทางที่สูงขึ้น และต่ำลง เพื่อหาผลกระทบของการปรับตัวของราคาที่มีต่อความเป็นไปได้ของโครงการ

5.2 ต้นทุนของโครงการที่สูงขึ้น-ผลผลิตที่เปลี่ยนแปลงไป โดยสามารถแยกวิเคราะห์ได้ดังนี้ ต้นทุนรวม (Total cost: TC) = ค่าใช้จ่ายในการลงทุน + ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน  
 ผลตอบแทน (Benefit) หรือรายได้รวม (Total revenue: TR) = ราคา x ปริมาณ  
 (ธินินยัฐ นาคประเสริฐ, 2554)

## 6. แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับพลังงานทดแทน

พลังงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ดังนี้

6.1 พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป อาจเรียกว่า พลังงานสิ้นเปลือง หรือพลังงานฟอสซิล เช่น ถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น ส่วนพลังงานแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนนำกลับมาใช้

6.2 พลังงานที่ใช้แล้วไม่หมดไป อาจเรียกว่า พลังงานหมุนเวียน ซึ่งถือเป็นพลังงานทดแทน (Alternative energy) ชนิดหนึ่ง ซึ่งเมื่อใช้ไปแล้วสามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น พลังงานแสง ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นต้น

พลังงานทดแทน (Alternative energy) หมายถึง พลังงานที่ใช้แทนพลังงานหลักที่ใช้อยู่ ณ ปัจจุบัน ส่วนใหญ่จะเป็น พลังงานสิ้นเปลือง หรือพลังงานฟอสซิล เช่น น้ำมัน ถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ

ชีวมวล (Biomass) หมายถึง วัสดุหรือสารที่ได้จากสิ่งมีชีวิต เช่น ข้าวสาร รำ แกลบ และฟางข้าว ได้มาจากต้นข้าว และมูลสุกร ได้มาจากการเลี้ยงสุกร เป็นต้น ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้ สามารถผลิตได้ทันในหนึ่งช่วงอายุของคน จึงจัดเป็นพลังงานหมุนเวียน แต่ในทางตรงกันข้ามน้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน ได้มาจากการทับถมซากพืชและสัตว์เป็นระยะเวลาหลายร้อยล้านปี ไม่ถือว่าเป็นชีวมวล เพราะไม่สามารถผลิตได้ทันในหนึ่งช่วงอายุของคน ซึ่งสามารถนำพลังงานชีวมวลมาแปรรูปเป็นพลังงานความร้อน หรือนำมาผลิตไฟฟ้าได้โดย 3 วิธีดังนี้ 1) การเผาไหม้โดยตรง (Direct combustion) เมื่อนำชีวมวลมาเผา จะให้ความร้อนออกมาตามค่าความร้อนของชนิดชีวมวล ความร้อนที่ได้จากการเผาสามารถนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูง ไอน้ำนี้จะถูกนำไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป ตัวอย่างชีวมวลประเภทนี้คือ เศษวัสดุทางการเกษตร และเศษไม้ 2) การผลิตก๊าซ (Gasification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งหรือชีวมวลให้เป็นแก๊สเชื้อเพลิง มีองค์ประกอบของแก๊สมีเทน ไฮโดรเจน และ คาร์บอนมอนอกไซด์ สามารถนำไปใช้กับกังหันแก๊ส (Gas turbine) 3) การหมัก (Fermentation) เป็นการนำชีวมวล

มาหมักด้วยแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศ ชีวมวลจะถูกย่อยสลายและแตกตัว เกิดแก๊สชีวภาพ (Biogas) ที่มีองค์ประกอบของแก๊สมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทนใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สำหรับผลิตไฟฟ้า

## 7. ความหมายและขั้นตอนของการเกิดแก๊สชีวภาพโดยกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic digestion)

7.1 แก๊สชีวภาพ (Biogas) เป็นพลังงานสะอาดที่เกิดจากการนำของเสีย เช่น มูลสัตว์ น้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ขยะและของเหลือใช้ทางการเกษตร มาผ่านกระบวนการหมักเพื่อให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic digestion) โดยแบคทีเรียหลายชนิด เมื่อสภาวะแวดล้อมเหมาะสม โดยองค์ประกอบของแก๊สชีวภาพที่ได้จากการหมักนั้น จะประกอบไปด้วย แก๊สมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) ประมาณ 50-70% แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ประมาณ 20-50% ส่วนที่เหลือเป็นแก๊สอื่น เช่น แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) แอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) และน้ำ ( $\text{H}_2\text{O}$ ) นอกจากนี้ยังมีสิ่งปนเปื้อนอื่น ๆ เช่น ซิลอกเซน (Siloxane) โฟม คราบ (Scum) เมือก และตะกอน เป็นต้น บางครั้งอาจพบปริมาณแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ สูงถึง 1% (10,000 Part per million: ppm) ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารซัลเฟต ( $\text{SO}_2$ )

7.2 ขั้นตอนการเกิดแก๊สชีวภาพโดยกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic digestion) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

7.2.1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เป็นขั้นตอนของการย่อยสลายสารอินทรีย์โครงสร้างโมเลกุลใหญ่ ทั้งที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เป็นต้น ซึ่งผลของปฏิกิริยาในกระบวนการนี้ จะได้สารประกอบอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน เป็นต้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่างของ (PH) ระยะเวลาที่เก็บของน้ำเสียและองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนนี้ ได้แก่ แบคทีเรีย กลุ่มไฮโดรไลติก (Hydrolytic bacteria) และกลุ่มเฟอร์เมนเตทีฟ (Fermentative bacteria)

7.2.2 กระบวนการอะซิโดเจเนซิส (Acidogenesis) ในกระบวนการนี้สารประกอบอินทรีย์โครงสร้างโมเลกุลเล็กที่ละลายน้ำ (กรดไขมัน กลูโคส และกรดอะมิโน) ซึ่งถูกสร้างมาจากกระบวนการไฮโดรไลซิสจะถูก แบคทีเรียที่สามารถอยู่ได้ในสภาพที่มีอากาศและไม่ใช้อากาศ (Facultative bacteria) ซึ่งใช้เป็นแหล่งอาหารและผลิตพลังงาน ซึ่งในกระบวนการนี้ (กรดไขมัน กลูโคส และกรดอะมิโนจะถูกย่อยเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acid) ได้แก่ กรดอะซิติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) กรดโพรพิโอนิก ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ ) กรดบิวทริก ( $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$ ) นอกจากนี้

ยังได้สารอื่น เช่น เอทานอล (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) ไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ซึ่งแบคทีเรียที่อยู่ได้ทั้งที่มีอากาศและไม่มีอากาศ (Facultative bacteria) กลุ่มนี้จะอยู่ในกลุ่มของแบคทีเรียที่ผลิตกรด (Acid forming bacteria) และจะถูกเรียกแตกต่างกันไปตามชนิดของสารอินทรีย์นั้น ๆ ที่มันสามารถย่อยสลายได้ ต่อมา สารอินทรีย์ระเหยง่าย และสารอื่น ๆ ดังกล่าวข้างต้น จะถูกแบคทีเรียกลุ่มอะซิโตเจนิค (Acetogenic bacteria) เปลี่ยนให้เป็นซิเตต ฟอร์มेट ก๊าซไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ซึ่งสารเหล่านี้เป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตก๊าซมีเทน นอกจากนี้ปฏิกิริยาที่เกิดจากแบคทีเรียกลุ่มอะซิโตเจนิคยังเป็นกระบวนการสำคัญในการหลีกเลี่ยงการสะสมของกรดระเหยง่าย และก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งถ้ามีปริมาณที่มากเกินไปอาจทำให้ระบบไม่สามารถผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งแบคทีเรียกลุ่ม อะซิโตเจนิค อาจเรียกว่า (Hydrogen forming bacteria) ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้มีทั้งสามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้และผลิตไม่ได้ แต่ทั้งสองชนิดสามารถผลิตกรดอินทรีย์ได้ด้วยจึงถูกรวมไปในกลุ่มของแบคทีเรียที่ผลิตกรด (Acid forming bacteria) หรืออาจเรียกแบคทีเรียกลุ่มนี้ว่ากลุ่มไม่ผลิตก๊าซมีเทน (Non-methanogenic bacteria)

7.2.3 กระบวนการผลิตก๊าซมีเทน (Methanogenesis) เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะแบบไม่ใช้อากาศซึ่งผลิตที่ได้ คือ ก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และก๊าซอื่น ๆ ในปริมาณเล็กน้อย เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซแอมโมเนีย สารตั้งต้นของขั้นตอนนี้เป็นผลผลิตที่ได้มาจากระยะก่อนการผลิตกรด (Acidogenesis) โดยสารตั้งต้นที่มีความสำคัญมาก คือ กรดอะซิติก ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ 2-7 และสมการที่ 2-8

Acetophilic methanogen

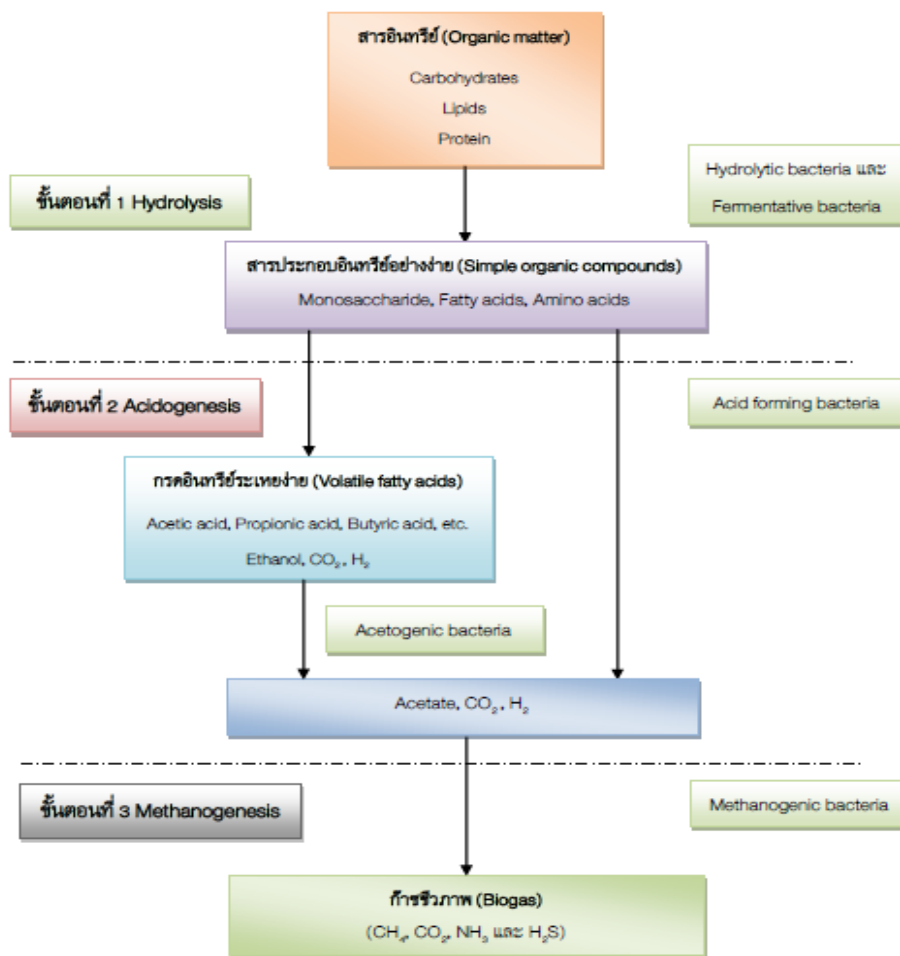


Hydrogenophilic methanogen



แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนี้มีความเฉพาะเจาะจงสูง คือ แบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน (Methanogenic producing bacteria) คือ มีแบคทีเรียอะซิโตคลาสติก เมทาโนจีนิก แบคทีเรีย (Acetoclastic methanogenic) ซึ่งอยู่ในกลุ่ม อะซิโตฟิลิกเมทาโนเจ (Acetophilic methanogen) ที่ใช้กรดอะซิติกในการผลิตก๊าซมีเทน และ Hydrogenophilic methanogen คือ กลุ่มแบคทีเรียที่ใช้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนในการผลิตก๊าซ มีเทน ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมมาก และมีอัตรา

การเจริญเติบโตต่ำกว่าแบคทีเรียกลุ่มอื่น ๆ ดังนั้นการควบคุมปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง เป็นต้น จึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งจะถูกสรุปลำดับขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน ดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 ลำดับขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไม่ใช้ออกซิเจน

(Breure, A.M. and Andel, J.G., 1987)

## 8. ปัจจัยที่ส่งผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน จำเป็นต้องอาศัยการทำงานของแบคทีเรียหลายชนิดที่เจริญเติบโตร่วมกัน ดังนั้น ในการเริ่มต้นเดินระบบจึงต้องมีสภาวะแวดล้อม และปัจจัยที่เหมาะสม

ไม่เช่นนั้นแบคทีเรียกลุ่มที่ผลิตก๊าซมีเทนอาจจะไม่เจริญเติบโตทำให้ระบบล้มเหลวได้ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวมีดังนี้

### 8.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิ มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนแบบไม่ใช้อากาศ ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมจะเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาของแบคทีเรียกับสารอินทรีย์ที่จะใช้ในการผลิตก๊าซมีเทน เราสามารถแบ่งอุณหภูมิที่มีผลต่อองค์ประกอบของเซลล์และกิจกรรมของเอนไซม์ภายในเซลล์ เป็น 3 ช่วง

8.1.1 ช่วงไซโครฟิลิก (Psychrophilic) เป็นช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 20

องศาเซลเซียส

8.1.2 ช่วงมีโซฟิลิก (Mesophilic) เป็นช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20-45 องศาเซลเซียส

8.1.3 ช่วงเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) เป็นช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า 45

องศาเซลเซียส

สำหรับช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเกิดก๊าซมีเทนจะอยู่ในช่วง 30-38 องศาเซลเซียส และช่วง 48-57 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิในช่วง Thermophilic คือ มีอุณหภูมิสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส นั้น อาจทำให้ Thermophilic bacteria ที่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ไม่ดีเท่ากับ Mesophilic bacteria ตายได้ ซึ่งจะส่งผลให้ระบบล้มเหลวและการเกินระบบอุณหภูมิที่สูงยังสิ้นเปลืองพลังงานในการควบคุมอุณหภูมิของถังปฏิกรณ์อีกด้วย ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซมีเทนในสภาวะไม่ใช้อากาศนั้นควรจะอยู่ที่ช่วง 30-35 องศาเซลเซียส และช่วงที่ยอมรับได้อยู่ที่ 25-40 องศาเซลเซียส

### 8.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมกับระบบย่อยสารอินทรีย์โดยไม่ใช้อากาศนั้นควรอยู่ที่ 6.6-7.4 ซึ่งเป็นค่าที่แบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนสามารถเจริญเติบโตได้ดี โดยปกติภายในถังปฏิกรณ์จะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นประจำ โดยมีสาเหตุการป้อนสารอินทรีย์มากเกินไปทำให้แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด ผลิตกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและกรดอะซิติกที่มีปริมาณมากทำให้แบคทีเรียที่เรียกกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนไม่สามารถนำไปใช้ได้ทันทีที่มีการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง ดังนั้นระบบต้องมีความสามารถในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างได้ดีเพื่อรองรับปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระบบ หากระบบมีค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) มากพอก็จะสามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างในระบบได้

### 8.3 ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity: Alk)

ค่าความเป็นด่างเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณบัฟเฟอร์ (Buffering capacity) ของระบบ ซึ่งเป็นความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง และยังเป็นปัจจัยที่ช่วยในการรักษาเสถียรภาพของระบบ คือ ถ้าระบบมีค่าความเป็นด่างสูง แสดงว่าระบบมีปริมาณบัฟเฟอร์สูง สามารถรักษาค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบให้คงตัวอยู่ได้นาน โดยไม่เกิดการแปรปรวนของค่าความเป็นกรด-ด่างได้ง่ายเมื่อมีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเพิ่มขึ้นในระบบ โดยพบว่าค่าความเป็นด่างภายในระบบควรมีอยู่ในช่วง 1,000-3,000 มิลลิกรัม ของ  $\text{CaCO}_3$ / ลิตร และไม่ควรถ่ำกว่า 1000 มิลลิกรัม ของ  $\text{CaCO}_3$ / ลิตร เพื่อช่วยในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบทำให้ระบบทำงานปกติ

### 8.4 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acids: VFA)

ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายมีความสำคัญในการตรวจสอบสถานะสมดุลของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ กรดอินทรีย์ระเหยง่าย ได้แก่ กรดอะซิติก กรดบิวทิริก และกรดโพรพิโอนิก เป็นต้น สารเหล่านี้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสถานะไม่ใช้อากาศของแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด หากพบว่ามีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายมากขึ้นมักเป็นสัญญาณเตือนถึงความล้มเหลวของระบบ เนื่องจากการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายมากเกินไป (มากกว่า 2,000 มิลลิกรัม ของกรดอะซิติก/ ลิตร) โดยจะส่งผลต่อค่าความเป็นด่างของระบบลดลงและถ้าไม่ลดปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายลง จนทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าต่ำกว่า 6.5 จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนและถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบลดลงถึง 4.5-5 ก็จะทำให้ระบบล้มเหลวได้ ดังนั้นปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายไม่ควรเกิน 2,000 มิลลิกรัม ของกรดอะซิติก/ ลิตร) และการควบคุมที่ดีที่สุดควรให้สัดส่วนระหว่างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อค่าความเป็นด่างไม่ควรเกิน 0.3-0.4

วิธีการแก้ไขให้ระบบกลับสู่สภาพสมดุลอาจทำได้ดังนี้ 1) ตรวจสอบที่มาของการป้อนสารอินทรีย์ที่มากเกินไป 2) ลดการป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบ และควรมีบ่อเก็บน้ำเสียสำรอง 3) กรณีฉุกเฉินอาจใช้วิธีการเติมสารเคมีที่เป็นด่างเพื่อลดความเป็นกรด เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) และ โซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) เป็นต้น แต่ไม่ควรใช้ปูนขาว ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) เพราะจะทำให้เกิดการอุดตันในระบบได้

### 8.5 อัตราภาระการรับสารอินทรีย์ (Organic loading rate: OLR)

อัตราภาระการรับสารอินทรีย์ มีหน่วยเป็นน้ำหนักของซีโอดีที่อยู่ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดต่อปริมาตรของบ่อบำบัดต่อวัน ( $\text{kg COD/m}^3 \cdot \text{วัน}$ ) อัตราการรับสารอินทรีย์มี



ความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัด (Feeding rate) ซึ่งเป็นปัจจุบันที่สำคัญที่สุดในการรักษาเสถียรภาพของระบบให้คงที่

การเปลี่ยนอัตราการการรับสารอินทรีย์สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

8.5.1 ทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดซึ่งวิธีนี้จะมีผลต่อระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย (Hydraulic retention time: HRT) ภายในระบบบำบัดด้วย

8.5.2 การเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของน้ำเสีย ซึ่งวิธีนี้ทำได้ยากเนื่องจากน้ำเสียของโรงงานแต่ละประเภทมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ดังนั้นในทางปฏิบัติ การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่า โดยต้องมีการควบคุมอัตราไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดให้มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่เหมาะสมในการสัมผัสกันระหว่างแบคทีเรียกับสารอินทรีย์ในน้ำเสียเพื่อให้ระบบบำบัดสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

#### 8.6 สารพิษ (Toxic substances)

โดยทั่วไปในน้ำเสียมักมีสารพิษหลายชนิดปะปนเป็นองค์ประกอบอยู่ซึ่งระดับความเป็นพิษจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารนั้น ๆ หากมีการสะสมของสารบางอย่างในถังปฏิกรณ์มากเกินไป จะทำให้แบคทีเรียถูกยับยั้งการเจริญเติบโต จะทำให้แบคทีเรียตาย และส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง สารพิษที่ส่งผลกระทบต่อระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ ได้แก่ สารพิษของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายซึ่งมีผลต่อแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน และพิษของสารโลหะหนักชนิดต่าง ๆ เช่น พิษของแอมโมเนียไอออน ( $\text{NH}_4$ ) เป็นต้น สำหรับสารโลหะหนักบางชนิดที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เช่น นิกเกิล (Ni) โคบอลต์ (Co) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) แต่ก็ต้องการในปริมาณที่ต่ำมาก (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

### 9. การจำแนกประเภท และเปรียบเทียบเทคโนโลยีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ชนิดของถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซชีวภาพสามารถจำแนกประเภทได้หลายแบบ ซึ่งแนวทางที่ใช้ในการจำแนก อาทิเช่น สภาพของจุลินทรีย์ที่อยู่ในถังปฏิกรณ์ ปริมาณความเข้มข้นของของแข็งในถังปฏิกรณ์ สภาวะอุณหภูมิที่ควบคุมในถังปฏิกรณ์ เป็นต้น (ผนังของถังปฏิกรณ์อาจเป็นโลหะหรือบ่อดิน) ดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 แนวทางที่ใช้ในการจำแนกชนิดของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

แนวทางที่ใช้จำแนก	ชนิดของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	
สภาพของจุลินทรีย์ที่อยู่ในถัง	Suspended growth	Attached growth
ความเข้มข้นของของแข็ง ในถัง (กรณีอินทรีย์สารมีความชื้นต่ำ เช่น Solid waste เป็นต้น)	Wet system	Dry system
อุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์	Meso (hilic (20-45C°)	Thermophilic (45-60C°)
ลักษณะการป้อนน้ำเสีย	Batch	Continuous
ตามขั้นตอนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ	Single-stage reactor	Two-stage reactor
จำนวนประเภทน้ำเสีย/ ของเสียที่ป้อน	Single substrate	Co-substrate

สำหรับงานวิจัยฉบับนี้จะแบ่งชนิดของถังปฏิกรณ์บำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ โดยจำแนกตามสภาพของจุลินทรีย์ที่อยู่ในถังปฏิกรณ์ ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

9.1 ถังปฏิกรณ์ที่มีเชื้อจุลินทรีย์อยู่ในสภาพแขวนลอย (Suspended growth) ถังประเภทนี้ มีเชื้อจุลินทรีย์ที่อาศัย และเจริญเติบโตในสภาพแขวนลอย โดยจุลินทรีย์ที่แขวนลอยในถังจะมีการกระจายตัวทั่วทั้งถัง ด้วยการกวนผสม หรือตะกอนจุลินทรีย์มีความเข้มข้นแบบไล่ระดับ (Sludge profile) ไปตามการไหลของน้ำเสีย เช่น ความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์ด้านล่างของถังปฏิกรณ์สูงกว่าด้านบนของถัง เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศนั้นจะมีจุลินทรีย์ที่เติบโตช้า คือ จุลินทรีย์กลุ่มผลิตก๊าซมีเทน ดังนั้นการรักษาเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มนี้ให้อยู่ในระบบได้นานเป็นเรื่องสำคัญ ซึ่งสามารถทำได้โดย

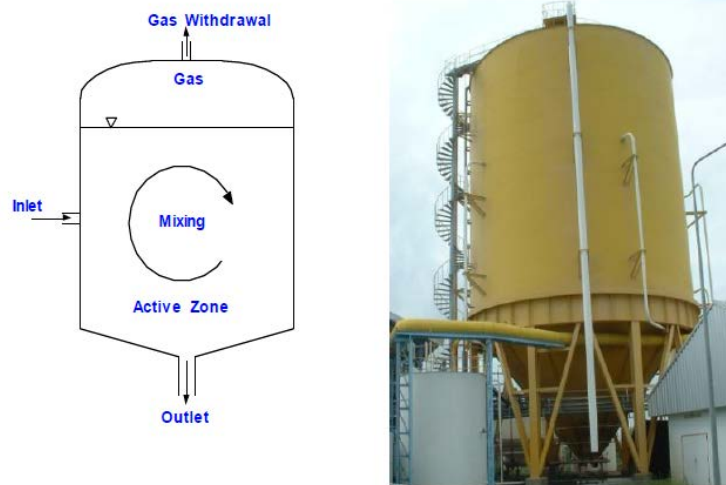
9.1.1 การมีปริมาตรของเหลวในระบบมาก ทำให้ระยะเวลาที่กักเก็บน้ำสูง (Hydraulic retention time: HRT) สูง คือ ใช้ถังปฏิกรณ์ที่มีขนาดใหญ่หรือ ชะลอการไหลของน้ำเสีย หรือ มีบ่อพักสำรอง

9.1.2 การแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำ และนำตะกอนจุลินทรีย์กลับเข้ามาในถังปฏิกรณ์อีกครั้ง ซึ่งจะทำให้เวลากักเก็บของแข็ง (Solid retention time: SRT) มากกว่าระยะเวลาการเก็บน้ำ (Hydraulic retention time: HRT)

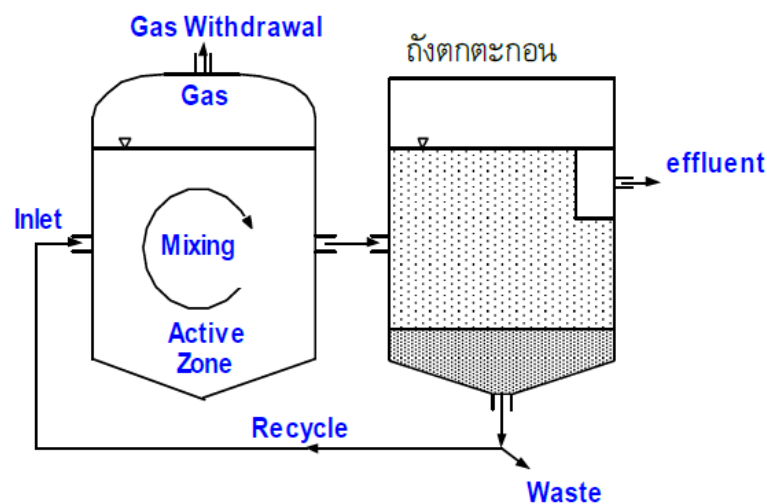
9.1.3 การสร้างตะกอนจุลินทรีย์ให้เกาะตัวเป็นเม็ด (Granule) และแยกออกจากน้ำได้ง่าย ซึ่งกรณีนี้จะทำให้ระยะเวลาการกักเก็บของแข็ง (SRT) นานกว่า ระยะเวลาการกักเก็บน้ำ (HRT)

ตัวอย่างถังปฏิกรณ์แบบไม่ใช้อากาศที่มีลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์แขวนลอย อยู่ในถังปฏิกรณ์ ที่นิยมใช้เพื่อบำบัดน้ำเสีย และผลิตก๊าซชีวภาพในโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ ถังปฏิกรณ์แบบกวนผสม (CSTR) และถังแบบ AC ถังปฏิกรณ์แบบตะกอนลอย (UASB) ระบบบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic covered lagoon) ระบบบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศดัดแปลง (Modified covered lagoon) ระบบแผ่นกั้นแบบไม่ใช้อากาศ (ABR) ระบบบ่อแบบราง Plug flow anaerobic digester โดยรายละเอียดมีดังนี้

ถังปฏิกรณ์แบบกวนผสม (Continuously stirred tank reactor: CSTR) และถังแบบ Anaerobic contact: AC ถังปฏิกรณ์ในรูปแบบนี้ มีทั้งของเหลวและของแข็งภายในเกิดการกวนผสมอย่างดี วิธีการกวนผสมมักทำโดยการติดตั้งใบกวน ซึ่งใบกวนจะมีรูปทรงต่าง ๆ เช่น แบบ Paddle แบบ Impeller และแบบสกรู (Screw) การติดตั้งใบกวนมักจะมีทั้งการติดแบบแนวตั้ง แนวราบ และแนวเอียง อย่างไรก็ตามการกวนด้วยใบพัดมักจะมีปัญหาเรื่องการบำรุงรักษาใบพัดไม่ให้สึกกร่อน เนื่องจากใบพัดมักจะขึ้นสนิมหรือถูกกัดกร่อนได้ง่าย ดังนั้นจึงมีการใช้ปั๊มไฟในการช่วยกวน โดยสูบของเหลวหมุนวน หรือสูบก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมาใช้กวนผสม ไม่ว่าจะเป็นการหมุนวนน้ำ หรือก๊าซชีวภาพ (Gas diffuser) จะใช้หัวพ่น (Jet mixer) กรณีของการใช้ปั๊มเพื่อหมุนวนของเหลวหรือก๊าซเพื่อช่วยในการผสมนี้อาจจะสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าการกวนด้วยใบพัด แต่จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในเรื่องของการบำรุงรักษา โดยหลักการแล้วการกวนนั้นจะช่วยให้ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ และเชื้อจุลินทรีย์ เท่ากันทั่วทั้งถัง (Completely mixed) ทำให้การสัมผัสระหว่างสารอินทรีย์ และจุลินทรีย์ ทำปฏิกิริยาการย่อยสลายได้ดี โดยชนิดของถังแบบกวนผสม และแบบ AC จะแสดงในภาพที่ 2-2 และ 2-3 ตามลำดับ ซึ่งถังแบบ Anaerobic contact (AC) นั้น ก็คือถังกวนผสมที่เพิ่มถังตะกอนจุลินทรีย์ เพื่อนำจุลินทรีย์กลับเข้าถังปฏิกรณ์หลักอีกครั้ง เพื่อรักษาจุลินทรีย์ให้อยู่ในระบบได้นาน



ภาพที่ 2-2 ถังปฏิกรณ์แบบกวนผสม (Continuously stirred tank reactor: CSTR)



ภาพที่ 2-3 ถังตกตะกอน Anaerobic contact

จุดเด่นของถังปฏิกรณ์แบบกวนผสม และ Anaerobic contact มีดังนี้ 1) ด้วยรูปแบบของถังกวนผสม ทำให้การกวนผสมของสารอินทรีย์และจุลินทรีย์ภายในถังเป็นไปอย่างสม่ำเสมอเหมาะกับน้ำเสียหรือของเสียที่มีความเข้มข้นของของแข็งสูงจึงสามารถป้อนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง (High concentration) ได้ และหากน้ำเสียนั้นมีสารแขวนลอยสูง (High suspended solid content) ก็ไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนแยกตะกอนออกมาก่อนเข้าถังปฏิกรณ์ 2) ช่วยลดการเกิดปัญหาในกรณีที่มีการปนเปื้อนของสารที่ผลยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ เช่น กรณีถ้าน้ำเสียนั้นมีสารพิษปนอยู่องค์ประกอบ เช่น Solid digester ขยะมูลฝอย ของเสียจากฟาร์ม

น้ำเสียจากเอทานอล (ที่ใช้โมลาสเป็นวัตถุดิบ) เป็นต้น สิ่งทีกล่าวมาข้างต้นจะไม่ทำให้ระบบหยุดหรือล้มเหลวเนื่องจาก มีการกวนผสมภายในถังปฏิกรณ์อย่างสม่ำเสมอ จึงสามารถเจือจางความเข้มข้นของสารดังกล่าวได้ 3) การตรวจวัด และควบคุมระบบไม่ยุ่งยากซับซ้อน เพียงแต่ต้องทำให้เกิดการกวนผสมสมบูรณ์จริง (Completely mixed) และไม่เกิด Dead zone ตรงจุดที่การกวนเข้าไม่ถึง ซึ่งมีผลทำให้เกิดการตกตะกอนของของแข็งอาจทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง

ข้อจำกัดและอุปสรรคของถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์และ Anaerobic contact มีดังนี้

1) เนื่องจากความเข้มข้นภายในถังเท่ากัน ดังนั้นระยะเวลากักเก็บของแข็ง (Solid retention time: SRT) ซึ่งรวมไปถึงจุลินทรีย์ที่อยู่ในถังจะเท่ากับระยะเวลาที่กักเก็บน้ำเสีย (Hydraulic retention time: HRT) ทำให้ต้องออกแบบถังปฏิกรณ์ให้มีขนาดใหญ่ กรณีที่ของเสียหรือน้ำเสียเป็นวัตถุที่มีขนาดใหญ่ และย่อยสลายได้ยาก 2) ความเข้มข้นของของแข็งไม่ควรเกิน 10% TS (โดยทั่วไปควรรักษาให้อยู่ในระดับ 5% TS (Total solid) เนื่องจากหากความเข้มข้นของแข็งสูงจะไม่สามารถทำให้เกิดการกวนผสมที่ดีได้ 3) ปัญหาเชื้อจุลินทรีย์ในระบบลดลงอย่างรวดเร็ว ถ้าหาก SRT และ HRT ไม่สูงพอที่จะให้จุลินทรีย์ในกลุ่มสร้างก๊าซมีเทน ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตช้า สามารถเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณได้มากเทียบเท่ากับที่หลุดออกมาจากระบบไป ซึ่งอาจแก้ปัญหาโดยการมีถังตกตะกอนซึ่งเรียกว่า Anaerobic contact: AC เพื่อนำจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทนกลับมาใช้ใหม่ แต่ต้องมีการแยกก๊าซ (Degassing) ออกก่อนที่จะเข้าถังตกตะกอน 4) จากการที่ถังปฏิกรณ์มีลักษณะการกวนผสมภายในถังทำให้ความเข้มข้นของสารอินทรีย์และเชื้อจุลินทรีย์เท่ากันทุกจุด ซึ่งลักษณะดังกล่าวทำให้น้ำเสียที่ออกจากระบบ และตะกอนจุลินทรีย์ยังมีความสกปรกอยู่ไม่สามารถ ปล่อยทิ้งได้โดยตรงทำให้ต้องการระบบบำบัดขั้นต่อไป ทั้งนี้สำหรับระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ รูปแบบ Two-stage reactor อาจจะใช้ CSRT เป็นถังปฏิกรณ์ใบแรก (1<sup>st</sup> stage AD reactor) 5) มักพบปัญหาเรื่องการชำระของอุปกรณ์ใบกวน อยู่เป็นประจำ ดังนั้นจึงต้องการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ

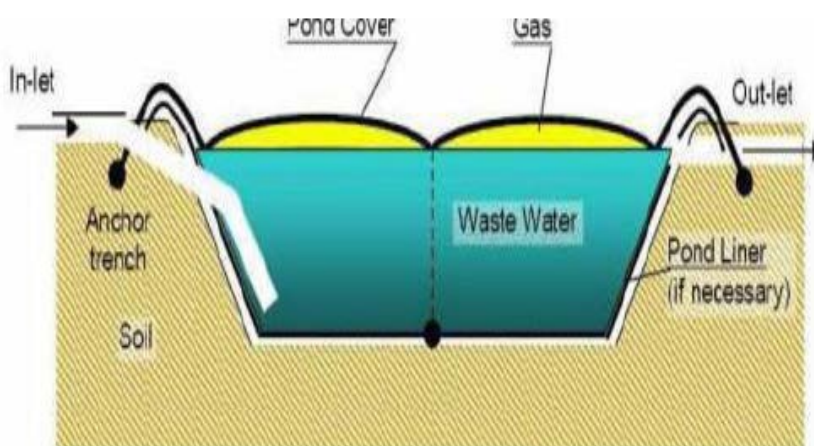
การตรวจสอบบำรุงรักษาถังกวนสมบูรณ์ และ Anaerobic contact 1) ควรมีการตรวจสอบการทำงานของใบกวนอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ใบกวนมีสภาพพร้อมใช้งานตลอดเวลา 2) ถ้าใช้การกวนที่มีเพลลาออกจากถัง ควรมีการตรวจเช็คการรั่วซึมของก๊าซชีวภาพอย่างสม่ำเสมอ 3) ควรทำการตรวจสอบปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในถังอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจาก ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบ

ระบบบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic covered lagoon) ระบบนี้ตัวถังปฏิกรณ์มีลักษณะเป็นบ่อดินขนาดใหญ่ โดยปกติบ่อควรมีความลึกไม่ต่ำกว่า 6 เมตร และปิดคลุมด้วยแผ่น

พลาสติก PVC หรือ HDPE ที่ด้านบนเพื่อกักเก็บก๊าซชีวภาพโดยเก็บก๊าซภายใต้ความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศเล็กน้อย (ทำให้แผ่นโป่งขึ้น) ตัวผนังและพื้นบ่อดิน จะมีการปูพื้นเพื่อป้องกันน้ำเสียปนเปื้อนสู่น้ำใต้ดิน วัสดุที่ใช้ปูพื้น เช่น พลาสติกทำด้วย PVC หรือ HDPE เป็นต้น ในการยึดแผ่นพลาสติกทำได้ทั้งการใช้ดินกดทับปลายขอบแผ่นพลาสติก หรือใช้น้ำ Seal ไว้ที่ปลายขอบพลาสติกถูกยึดจมในรางน้ำองค์ประกอบภายในบ่อทำอย่าง ไม่ซับซ้อน คือ ประกอบด้วยท่อป้อนน้ำเสีย (น้ำเสียไหลเข้าบ่อ) และท่อที่น้ำเสียไหลออกซึ่งอยู่ด้านตรงข้ามกัน โดยอาจจะมีการต่อออกมาจากบ่อเตรียมไว้สำหรับดักกากตะกอนก็ได้ การก่อสร้างและติดตั้งอุปกรณ์ค่อนข้างง่าย และมีราคาถูกเมื่อเทียบกับระบบอื่น ดังนั้นระบบนี้จึงนิยมใช้หากไม่มีข้อจำกัดเรื่องพื้นที่และกฎหมายสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวด ดังภาพที่ 2-4

ในระบบ Anaerobic covered lagoon ท่อป้อนน้ำเสียจะถูกต่อลงด้านล่างของบ่อ ซึ่งบ่อจะมีความลึกประมาณ 3-5 เมตร หรือมากกว่านั้น น้ำเสียที่ป้อนเข้าบ่อเกิดการตกตะกอนบริเวณก้นบ่อรวมทั้งเกิดการย่อยเป็นกรดอินทรีย์ และผลิตก๊าซชีวภาพตามลำดับ เนื่องจากความเข้มข้นเชื้อจุลินทรีย์ต่ำกว่าระบบอื่นและบ่อมีขนาดใหญ่ ทำให้ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสียของระบบนี้ค่อนข้างนาน ดังนั้นระบบนี้จึงจัดเป็นระบบที่มีอัตราการรองรับภาระสารอินทรีย์ต่ำ (Low rate anaerobic digestion) แต่เนื่องจากระบบเป็นบ่อขนาดใหญ่ ดังนั้นเมื่อรับน้ำเสียที่มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติอย่างรวดเร็ว เช่น COD SS PH สารพิษ และปริมาณน้ำเสียที่สูงขึ้น (Volumetric shock load) จึงไม่เกิดผลกระทบมากนัก

อย่างไรก็ตามปัญหาสำคัญที่มักเกิดขึ้นในการใช้งานระบบดังกล่าว ได้แก่ ปัญหาการสะสมของตะกอนภายในบ่อ เนื่องจากบ่อเป็นบ่อขนาดใหญ่ มีระยะเวลาที่กักเก็บน้ำเสียนาน ทำให้มีการตกตะกอนของแข็งภายในบ่อ ทำให้ปริมาณของแข็งที่ออกมากับน้ำเสียขาออกมีเพียงร้อยละ 2 เท่านั้น แม้ว่าน้ำเสียขาเข้าจะมีของแข็งสูง เช่น น้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ ซึ่งมีสัดส่วนของของแข็งที่ย่อยสลายยากสูงประมาณร้อยละ 10-20 ดังนั้นจึงเกิดการสะสมตะกอนภายในบ่อจนทำให้ปริมาตรของบ่อลดลงประสิทธิภาพการทำงานลดลง นอกจากนี้การที่ตะกอนสะสมมาก อาจทำให้เกิดการกีดขวางการไหลของน้ำ และเนื่องจากบ่อมีพื้นที่หน้าตัดมากทำให้ความเร็วไหลขึ้นของก๊าซ (Gas up flow velocity) ต่ำ ทำให้มีการกวนผสมต่ำและถ้าเกิด Scum (ตะกอนแข็งบนผิวน้ำเสีย) จะทำให้มีการขัดขวางการคลายตัวออกจากผิวน้ำ และส่งผลต่อการดึงก๊าซออกจากระบบ



ภาพที่ 2-4 ระบบบ่อเปิดแบบไม่ใช้อากาศ Anaerobic covered lagoon

(สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2553)

จุดเด่นของถังปฏิกรณ์แบบบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศ มีดังนี้ 1) การก่อสร้างทำได้ง่ายรวดเร็วและเงินลงทุนต่ำ 2) เนื่องจากมีบ่อขนาดใหญ่ ปริมาตรของระบบมากเมื่อน้ำเสียที่ป้อนเข้ามีการเปลี่ยนแปลงสมบัติอย่างรวดเร็ว เช่น COD SS pH สารพิษ และความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่สูงขึ้น (Organic shock load) จึงทำให้ได้รับผลกระทบน้อยเนื่องจากขนาดของบ่อ 3) เหมาะกับน้ำเสียหรือของเสียที่มีความเข้มข้นของแข็งสูง และของเสียที่มีสิ่งที่เป็นพิษเจือปน ซึ่งปกติจะใช้กันในกรณีที่เป็นของเสียจากฟาร์ม น้ำเสียจากเอทานอล (ที่ใช้โมลาสเป็นวัตถุดิบ) เป็นต้น และ 4) ประสิทธิภาพในการบำบัดสูง (โดยเฉพาะของแข็งแขวนลอย)

ข้อจำกัดและอุปสรรคของถังปฏิกรณ์แบบบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศ มีดังนี้

1) ต้องการพื้นที่ก่อสร้างมากที่สุดในบรรดากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพทุกประเภท เนื่องจากอัตราการรับภาระสารอินทรีย์เชิงปริมาณต่ำ (Low organic loading rate) 2) การกวนผสมไม่ดี เนื่องจาก

ใช้การกวนเป็นไปโดยธรรมชาติ (อาศัยก๊าซที่เกิดขึ้น) 3) การใช้งานบ่อไม่เต็มประสิทธิภาพโดยมีโอกาสนี้ที่มีการไหลลัดวงจรของน้ำเสียสูงจากการกวนผสมของตะกอน ทำให้เกิดบริเวณที่เป็น Dead zone ได้มาก 4) การกำจัดตะกอนที่สะสมในบ่อทำได้ยาก 5) ถ้าระบบล้มเหลวหรือความเข้มข้นของมีเทนลดลง จะรับรู้ได้ช้า (ถ้าไม่มีการตรวจวิเคราะห์สม่ำเสมอ) และการแก้ไขระบบกลับมาสู่สภาวะปกติทำได้ช้า และ 6) อาจมีปัญหาเรื่องการรั่วซึมของแผ่นพลาสติกที่คลุมบ่อและขบวนการดูดก๊าซออกจากบ่อ กรณีที่มีก๊าซไม่มากพอและมีน้ำท่วมขัง ดังนั้นควรมีการดูแลแผ่นพลาสติกที่คลุมบ่อให้ตั้งอยู่ตลอดเวลา

การตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศ 1) ตรวจสอบการชำรุดของแผ่นพลาสติกที่ปิดคลุมบ่อ รวมทั้งการรั่วซึมของก๊าซจากการยึดขอบแผ่นพลาสติก (ไม่ว่าจะเป็นแบบใช้น้ำหรือใช้ดินทับ) และบริเวณ Seal ต่าง ๆ 2) หมั่นตรวจวัดความดันภายในแผ่นพลาสติกที่คลุมบ่อไม่ให้สูงเกินความทนทานของแผ่นพลาสติก 3) เนื่องจากท่อก๊าซส่วนใหญ่ออกจากถังได้ระดับผิวดิน ควรหมั่นตรวจสอบการระบายน้ำในท่อก๊าซเพื่อป้องกันการขัดขวางการไหลของก๊าซ และ 4) เนื่องจากปัญหาการสะสมของตะกอนภายในบ่อ ดังนั้นการแก้ปัญหาการสะสมของตะกอนทั้งที่อยู่ด้านล่างของบ่อและที่ผิวน้ำ สามารถทำได้โดยการขุดลอกบ่อซึ่งต้องเปิดพลาสติกคลุมบ่อออก และการติดตั้งท่อระบายตะกอนเพื่อดึงกากตะกอนขึ้นมาจากบ่อ หลักการทำงานของท่อระบายตะกอนจะอาศัยแรงดันก๊าซที่อยู่ด้านในซึ่งกดลงที่ผิวน้ำ กากตะกอนแข็งจะไหลออกจากท่อที่ติดตั้งไว้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากบ่อมีขนาดใหญ่มากทำให้การดึงกากตะกอนแข็งออกจากบ่ออาจจะทำไม่ได้ทั่วทั้งบ่อแม้ว่าจะทำการติดตั้งท่อระบายตะกอนไว้หลาย ๆ จุดรอบบ่อซึ่งในที่สุดอาจจะต้องเปิดพลาสติกคลุมบ่อเพื่อขุดลอกตะกอนออก

ระบบบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศดัดแปลง (Modified anaerobic covered lagoon) ระบบนี้ตัวถังปฏิกรณ์มีลักษณะแบบเดียวกับบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic covered lagoon) แต่มีการปรับปรุง/ ดัดแปลง เพื่อแก้ไขข้อจำกัดของบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศทำให้บ่อมีประสิทธิภาพสูงขึ้น มีปริมาตรบ่อเล็กลง ดังภาพที่ 2-5 การดัดแปลงนั้นทำได้หลายแบบ เช่น 1) เพิ่มบ่อและให้มีการไหลเป็นอนุกรมกัน ตามขั้นตอนการย่อยสลายในสภาวะไม่ใช้อากาศ เช่น เป็นบ่อหมักกรดและบ่อผลิตมีเทน ตามลำดับ 2) การเพิ่มบ่อเพื่อวัตถุประสงค์ของการดึงตะกอนย้อนกลับมาใช้ใหม่ (การเพิ่มบ่อตะกอน และมีท่อป้อนตะกอนย้อนกลับ เหมือนกับระบบ Anaerobic contact ที่มีการดึงจุลินทรีย์ที่อยู่ในตะกอนกลับมาใช้ใหม่ 3) การเพิ่มท่อกระจายน้ำเข้าไปทั่วบ่อ เพิ่มการกระจายน้ำ และมีการวนน้ำย้อนกลับเพื่อเพิ่มการกวนผสม และ 4) การเพิ่มจุดรวบรวมกากตะกอน และท่อระบายกากตะกอน





ภาพที่ 2-5 ลักษณะของบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศดัดแปลง (Modified anaerobic covered lagoon)

จุดเด่นของถังปฏิกรณ์แบบบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศดัดแปลง มีดังนี้

- 1) การก่อสร้างได้ง่าย แต่เงินลงทุนสูงขึ้นจากการดัดแปลงเพิ่มเติมจาก Anaerobic covered lagoon
- 2) ระบบมีผลกระทบต่อน้ำเสียที่ป้อนเข้ามีการเปลี่ยนแปลงสมบัติอย่างรวดเร็ว เช่น COD SS pH และสารพิษ
- 3) เหมาะกับน้ำเสียหรือของเสียที่มีความเข้มข้นของแข็งสูง และของเสียเป็นพิษเฉียบพลัน ซึ่งโดยปกติจะใช้กับของเสียจากฟาร์ม น้ำเสียจากเอทานอลที่ใช้โมลาสเป็นวัตถุดิบ และ
- 4) ประสิทธิภาพในการบำบัดสูง (โดยเฉพาะของแข็งแขวนลอย)

ข้อจำกัดและอุปสรรคของถังปฏิกรณ์แบบบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศดัดแปลง

- 1) อัตราการระบารับสารอินทรีย์ต่ำ ต้องการพื้นที่ระบบมาก
- 2) ถ้าระบบล้นเหลวหรือความเข้มข้นของมีเทนลดลง จะรับรู้ได้ช้า (ถ้าไม่มีการตรวจวิเคราะห์อย่างสม่ำเสมอ) และการทำให้ระบบกลับมาทำงานปกติทำได้ช้า
- 3) อาจจะมีปัญหาเรื่องการฉีกขาดของแผ่นพลาสติก และกรณีมีก๊าซไม่มากพอ แผ่นพลาสติกอาจมีการกิดขวางการดูดก๊าซออกจากบ่อ ควรมีการดูแลแผ่นพลาสติกที่คลุมบ่อให้ตั้งอยู่เสมอ และ
- 4) ต้องการพื้นที่ก่อสร้างขนาดใหญ่รองจากบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศ

การตรวจสอบและการบำรุงรักษาระบบบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศตัดแปลง

1) ตรวจสอบการชำรุดของแผ่นพลาสติกที่ปิดคลุมบ่อ รวมทั้งการรั่วซึมของก๊าซจากการยึดขอบแผ่นพลาสติก (ไม่ว่าจะเป็นแบบใช้น้ำ หรือใช้ดินทับ) และบริเวณ Seal ต่าง ๆ 2) หมั่นตรวจวัดความดันภายในแผ่นพลาสติกที่คลุมบ่อไม่ให้สูงเกินความทนทานของแผ่นพลาสติก 3) เนื่องจากท่อก๊าซส่วนใหญ่ออกจากถังได้ระดับผิวดิน ควรหมั่นตรวจสอบการระบายน้ำในท่อก๊าซเพื่อป้องกันการขัดขวางการไหลของก๊าซ 4) ควรหมั่นตรวจสอบท่อกระจายน้ำเข้าบ่อไม่ให้มีการอุดตัน เพื่อให้การกระจายน้ำเข้าบ่อบำบัดเป็นไปอย่างทั่วถึง และตรวจสอบท่อวนน้ำย้อนกลับไม่ให้มีการอุดตัน ซึ่งจะทำให้เกิดการกวนผสมภายในบ่อบำบัดดียิ่งขึ้น และ 5) อาจมีการสะสมของตะกอนภายในบ่อได้เช่นเดียวกับระบบบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศ ดังนั้นควรหมั่นตรวจสอบระบบท่อดึงตะกอนไม่ให้มีการอุดตัน เพื่อการดึงตะกอนออกเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้สามารถแก้ไขปัญหาการสะสมของตะกอนทั้งที่อยู่ทางด้านล่างของบ่อและที่ผิวน้ำได้ดียิ่งขึ้น

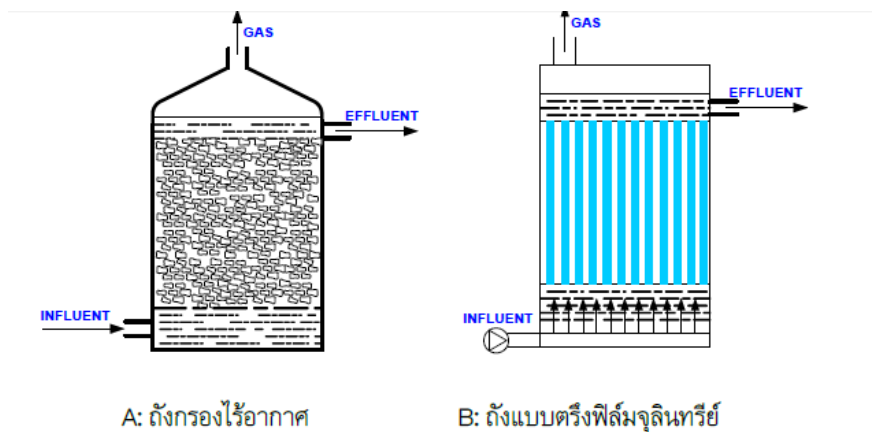
#### 9.2 ถึงปฏิบัติการที่เชื้อจุลินทรีย์เกาะอยู่บนวัสดุตัวกลาง (Attached growth)

ระบบนี้พัฒนาขึ้นตามแนวคิดของ Yong และ McCarty บนแนวคิดที่ว่า ประสิทธิภาพของกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศมีความสัมพันธ์ กับระยะเวลาที่เก็บกักเชื้อจุลินทรีย์ ในถังปฏิบัติการ (ขึ้นอยู่กับปริมาณของจุลินทรีย์ที่อยู่ในถัง) ดังนั้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการเก็บกักเชื้อจุลินทรีย์ให้ดียิ่งขึ้น จึงทำการใส่ตัวกลางลงในถังปฏิบัติการเพื่อให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ และถูกตรึงอยู่ที่ผิวของวัสดุตัวกลาง ซึ่งเป็นแผ่นฟิล์มหนาเพื่อทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ตัวกลางในถังปฏิบัติการสามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม ตามลักษณะที่อยู่ในถัง คือ ตัวกลางที่ถูกยึดติดอยู่กับที่ (Fixed bed) และตัวกลางที่เคลื่อนที่ (Mobile bed)

ถังปฏิบัติการที่วัสดุตัวกลางถูกยึดอยู่กับที่ มีการใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ ระบบแบบถังกรองไม่ใช้อากาศ (Anaerobic filter) และระบบแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้อากาศ (Anaerobic fixed film) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ถังกรองไม่ใช้อากาศ (Anaerobic filter: AF) และถังแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ปิดไม่ใช้อากาศ (Anaerobic fixed film: AFF) คือ การมีวัสดุตัวกลางให้เชื้อจุลินทรีย์ยึดเกาะจะช่วยให้เก็บรักษาเชื้ออยู่ในระบบได้มาก ซึ่งเป็นผลดีต่อประสิทธิภาพของระบบอย่างแน่นอน โดยความแตกต่างของถังปฏิบัติการที่วัสดุตัวกลางถูกยึดติดอยู่กับที่ทั้ง 2 รูปแบบ คือ การจัดเรียงตัวกลางในถังปฏิบัติการ โดยถังกรองแบบไม่ใช้อากาศจะบรรจุตัวกลางในลักษณะสุ่ม (Random packed) ทำให้ตัวกลางไม่จัดเรียงอย่างสม่ำเสมอ ส่วนถังปฏิบัติการแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้อากาศ ออกแบบให้วัสดุตัวกลางจัดเรียงอย่างเป็นระเบียบ การจัดเรียงตัวกลางที่ต่างกันของถังกรอง

ไร้อากาศ และถึงแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ ทำให้ลักษณะการยึดเกาะของจุลินทรีย์ในระบบทั้ง 2 รูปแบบแตกต่างกัน คือ ในถังกรองไร้อากาศแม้การมีตัวกลางจะช่วยเก็บรักษาเชื้อได้ดีขึ้น แต่ผลจากลักษณะตัวกลางที่จัดเรียงไม่เป็นระเบียบ ทำให้ช่องว่างระหว่างตัวกลางในถังกรองไร้อากาศไม่สม่ำเสมอและจุลินทรีย์ในระบบส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตแบบที่แขวนลอยอยู่ในสารละลายระหว่างช่องว่างของวัสดุตัวกลาง ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการอุดตัน (Clogging) และเกิดการไหลลัดวงจร (Short circuit) ของน้ำเสียหากเกินระบบในระยะยาว ส่วนในถังปฏิกรณ์แบบตรึงฟิล์มที่ตัวกลางมีการจัดเรียงอย่างเป็นระเบียบ ช่องว่างระหว่างตัวกลางภายในถังสม่ำเสมอ จุลินทรีย์ในระบบตรึงฟิล์มส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตแบบยึดเกาะบนผิววัสดุตัวกลาง (Surface attachment) สามารถลดปัญหาการอุดตันได้เป็นอย่างดี และยังคงความสามารถในการเก็บกักเชื้อจุลินทรีย์ไว้ด้วย ชนิดและลักษณะของตัวกลางมีหลายแบบ เช่น Glass bead, Red drain clay, Sand พลาสติกชนิดต่าง ๆ วัสดุมีรูพรุน Needle punched polyesters, Polyurethane foam, Sintered glass, Waste tire rubber, Poly (Acrylonitrile-acrylamide) และ Corrugated plastic เป็นต้น โดยตัวกลางที่ดีจะต้องมีพื้นที่ผิวสูง เพราะทำให้มีบริเวณที่ให้จุลินทรีย์ยึดเกาะได้มาก โดยทั่วไปตัวกลางที่ใช้จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) อยู่ในช่วง  $90-300 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ระบบนี้อาจมีการป้อนน้ำเสียจากด้านล่างของถังปฏิกรณ์ (UP-flow) หรือ ป้อนจากด้านบน (Down-flow) การป้อนแบบล่างขึ้นบนจะนิยมมากกว่า เนื่องจากจะลดปัญหาการอุดตันลงได้ ดังภาพที่ 2-9 แสดงลักษณะของถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic filter) และระบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ (Anaerobic fixed film) เมื่อน้ำเสียป้อนเข้าถังปฏิกรณ์ผ่านตัวกลาง ตัวกลางจะทำหน้าที่กระจายการไหลของน้ำเสียให้เข้าสู่ระบบอย่างสม่ำเสมอ และท่วมตัวกลางอยู่ตลอดเวลา ทำให้น้ำเสียสัมผัสกับจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่กับตัวกลางอย่างทั่วถึง และจุลินทรีย์จับสารอินทรีย์ในน้ำเสียไปย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศทำให้น้ำที่ไหลออกจากระบบมีความใส โดยไม่ต้องใช้ถังตกตะกอน ดังนั้นระบบนี้จึงสามารถรับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูงได้ดี อย่างไรก็ตามข้อเสียของระบบนี้ ก็คือ ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นจากค่าวัสดุตัวกลางที่ใช้



รูปถ่ายระบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์

ภาพที่ 2-6 ลักษณะของถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic filter) ถังแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ (Anaerobic fixed film)

จุดเด่นของระบบกรองไม่ใช้อากาศ และระบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ 1) มีอัตราการบารสารอินทรีย์สูง 2) จุลินทรีย์ในระบบซึ่งยึดเกาะอยู่บนวัสดุตัวกลางอย่างแน่นหนา ทำให้ไม่หลุดออกนอกถังปฏิกรณ์ได้ง่ายเหมือนระบบจุลินทรีย์แบบแขวนลอย 3) ฟิล์มจุลินทรีย์สามารถทนต่อสารพิษได้ดี (Toxicity resistance) เนื่องจากจุลินทรีย์ที่อยู่ชั้นในของฟิล์มจะไม่ได้สัมผัสกับสารพิษหรือได้รับสารพิษที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าฟิล์มที่ผิวนอก จึงสามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของน้ำเสียได้ดี เช่น ปริมาณน้ำเสียที่เพิ่มขึ้น pH ความเข้มข้นของสารอาหาร และน้ำเสียที่มีสารพิษ เป็นต้น และ 4) Re-startup หรือ Recovery ภายหลังจากที่ระบบล้มเหลวได้เร็ว

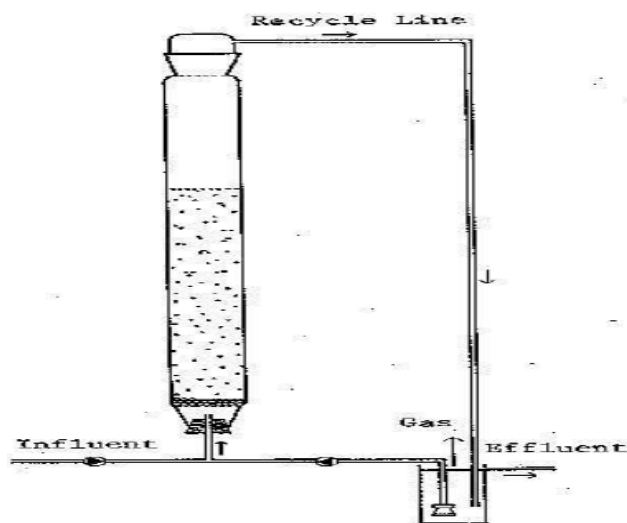
ข้อจำกัดและอุปสรรคของระบบกรองไม่ใช้อากาศ (Anaerobic filter; AF) และระบบตรึงฟิล์ม (Anaerobic fixed film: AFF) 1) ต้องลงทุนในส่วนของวัสดุตัวกลางเพิ่มมากขึ้น 2) ในกรณีของการใส่ตัวกลางแบบสุ่ม หรือระบบแบบกรองไม่ใช้อากาศ จะเกิดปัญหาอุดตันได้ง่าย

ทำให้เกิดการไหลล้นดวงจร 3) การเริ่มต้นระบบอาจจะทำได้ช้า เนื่องจากต้องมีการเลี้ยงให้เชื้อจุลินทรีย์ไปติดที่ตัวกลาง และ 4) การตรวจสอบกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ผิวตัวกลางทำได้ยาก ควรจัดเตรียมช่องสำหรับเก็บตัวอย่างเชื้อจุลินทรีย์บนตัวกลาง

การตรวจสอบบำรุงรักษาถังกรองไม่ใช้อากาศและถังแบบครึ่งฟิล์ม 1) โดยระบบท่อลำเลียงน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกรณ์เป็นส่วนสำคัญที่จะต้องหมั่นตรวจสอบเพื่อให้ระบบท่อมีการกระจายน้ำอย่างสม่ำเสมอและทั่วถึง เพื่อให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับน้ำเสียได้อย่างทั่วถึง 2) หมั่นตรวจสอบและระมัดระวังไม่ให้ท่อลำเลียงน้ำเสียมีการอุดตัน 3) ควรทำการตรวจสอบปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในถังอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากปริมาณตะกอนจุลินทรีย์มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบ และเพื่อป้องกันการไหลล้นดวงจรน้ำเสีย และ 4) ควรทำการตรวจสอบการอุดตันของตัวกลางในถังปฏิกรณ์ด้วย ถ้าหากพบว่าเกิดการอุดตันของตัวกลางขึ้น จะทำให้น้ำเสียเกิดการไหลล้นดวงจรขึ้นได้ ซึ่งมีผลทำให้น้ำเสียไหลออกจากถังปฏิกรณ์ไม่สม่ำเสมอ

ถังปฏิกรณ์ชนิดที่วัสดุตัวกลางเคลื่อนที่ได้แก่ ถังปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบด โดยมีรายละเอียดดังนี้

ถังปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบด (Anaerobic fluidized bed) ถังปฏิกรณ์ชนิดนี้จะมีตัวกลางขนาดเล็กเพื่อให้จุลินทรีย์ที่เกิดเป็นฟิล์มชีวะยัดเกาะ โดยตัวกลางสามารถเคลื่อนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสีย ตัวกลางเป็น Inert เคลื่อนไหวโดยอาศัยแรงยกของ น้ำที่เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ทางด้านล่าง ดังภาพที่ 2-7 ตัวกลางที่นิยมใช้ ได้แก่ กรวด แอนทราไซต์ ตัวกลางที่ทำจากพลาสติกเป็นต้น โดยตัวกลางที่ใช้ควรมีพื้นที่ผิวมากเพื่อให้จุลินทรีย์ยัดเกาะได้ดี และควรมีน้ำหนักเบา เนื่องจากถังปฏิกรณ์ แบบฟลูอิดไดซ์เบด จะต้องใช้พลังงานสูงมากในการทำให้ตัวกลางมีการเคลื่อนไหวอยู่ในน้ำเสีย ดังนั้นในประเทศไทยถังปฏิกรณ์แบบนี้ จึงยังไม่มีนำมาใช้จริงในภาคอุตสาหกรรม



ภาพที่ 2-7 ลักษณะถังแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Anaerobic fluidize bed)

จุดเด่นและข้อจำกัดของเทคโนโลยีและการเปรียบเทียบทางเทคโนโลยี

การนำเทคโนโลยีแต่ละรูปแบบมาเปรียบเทียบกัน และให้ระบุว่าเทคโนโลยีใดที่สุดหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับน้ำเสียของโรงงานประเภทนั้น ๆ เป็นเรื่องยากและอาจจะไม่ถูกต้องนัก หากจะระบุลงไปทันทีโดยไม่นำข้อมูลอื่น ๆ มาพิจารณาด้วย เนื่องจากแม้ในอุตสาหกรรมประเภทเดียวกัน น้ำเสียของแต่ละโรงงานยังมีลักษณะสมบัติที่แตกต่างกันไป เฉพาะตัว นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสภาพการดำเนินงาน และความพร้อมของโรงงานเอง รวมถึงรายละเอียดของเทคโนโลยีที่ผู้ออกแบบระบบในแต่ละรายเลือกใช้ที่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นการที่จะชี้ชัดว่าเทคโนโลยีประเภทใดดีกว่ากัน โดยไม่คำนึงถึงสภาพของโรงงานและความแตกต่างของเทคโนโลยี เป็นเรื่องไม่ถูกต้อง อย่งไรก็ตามเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ และผลิตก๊าซชีวภาพแต่ละประเภทก็มีข้อมูลและจุดเด่น และข้อจำกัดของเทคโนโลยีที่สามารถระบุได้ และเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป ดังแสดงในตารางที่ 2-2 โดยสรุปข้อเด่นและข้อจำกัดของเทคโนโลยีระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่ใช้ผลิตก๊าซชีวภาพตามประเภทของเทคโนโลยีที่มีการใช้งานอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทยมาสรุปไว้ ส่วนตารางที่ 2-3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างเทคโนโลยี โดยข้อมูลที่เปรียบเทียบ ได้แก่ อัตรารับภาระการรับสารอินทรีย์ พื้นที่ก่อสร้างที่ต้องการ ทักษะของผู้ดูแลระบบ และความต้องการในการบำรุงรักษา ซึ่งสามารถนำข้อมูลจากตารางทั้ง 2 นี้ เป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลเบื้องต้นในการพิจารณาเลือกรูปแบบของเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย ซึ่งส่วนใหญ่มักจะใช้ถึง UASB (Up flow anaerobic sludge blanket) คือ ประสิทธิภาพร้อยละ 40 ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่

ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย ส่วนอีก 6 ประเภทมีร้อยละของการใช้ใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 7-11 จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ใช้กันอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมของประเทศไทย

ตารางที่ 2-2 สรุปข้อเด่น-ข้อจำกัดของระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพรูปแบบต่าง ๆ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

ลำดับที่	ชนิดของระบบ	ข้อเด่น	ข้อจำกัด
1	ถังปฏิกรณ์แบบกวน สมบูรณ์ (Continuously stirred tank reactor: CSTR)	- การกวนผสมของสารอินทรีย์ และจุลินทรีย์ภายในถังเป็นไป อย่างสม่ำเสมอ สามารถรับ น้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงได้ดี - รับภาระน้ำเสียหรือของเสียที่ มีความเข้มข้นของของแข็งสูง ได้ดี - รับของเสียที่มีสิ่งเป็นพิษเจือ ปนได้ดี เนื่องจากการกวนผสม ช่วยเจือจาง - การตรวจวัดและการควบคุม ระบบทำได้ง่าย	- ความเข้มข้นของของแข็งไม่ควรเกิน 10% TS มิฉะนั้นการกวนผสม อาจเกิดขึ้นได้ไม่ดี - ถังปฏิกรณ์ต้องมีขนาดใหญ่ เพื่อ แก้ปัญหาเชื้อจุลินทรีย์ในระบบลดลง เนื่องจากการหลุดออกนอกระบบได้ง่าย - มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในการใช้พลังงาน กวนผสม - น้ำเสียที่ออกจากระบบยังมีค่า ความสกปรกสูงอยู่ - มีปัญหาเรื่องการชำระชุดของอุปกรณ์ ใบกวน
2	ระบบบ่อปิดแบบไม่ใช้ อากาศดัดแปลง (Modified anaerobic covered lagoon)	- การก่อสร้างทำได้ง่าย - บ่อมีผลกระทบต่ำถึงแม้ว่าน้ำ เสียที่ป้อนเข้ามีการเปลี่ยนแปลง สมบัติอย่างรวดเร็ว - เหมาะกับน้ำเสียหรือของเสียที่ มีความเข้มข้นของแข็งสูง	- อัตราการระเหยสารอินทรีย์ต่ำ - ต้องการพื้นที่ระบบมาก - ประสิทธิภาพการย่อยสลายต่ำ การกวนผสมไม่ดี - อาจเกิดปัญหาเรื่องการนิกขาด หรือการขวางการดูดก๊าซออกจาก บ่อกรณีที่มีก๊าซไม่มากพอ ควรมี การดูแลเป็นพลาสติกให้ตั้งอยู่ ตลอดเวลา

ตารางที่ 2-2 (ต่อ)

ลำดับที่	ชนิดของระบบ	ข้อเด่น	ข้อจำกัด
3	ถังกรองไม่ใช้อากาศ (Anaerobic filter: AF/ ถังตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ (Anaerobic fixed film: AFF)	- มีอัตราการรับสารอินทรีย์ได้สูง (High organic loading rate) - จุลินทรีย์หลุดออกถึงปฏิกรณ์ ได้ยาก - สามารถรองรับชนิดน้ำเสียที่มี การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ กะทันหันได้ดี	- มีต้นทุนในส่วนของตัวกลาง เพิ่มขึ้น - เกิดปัญหาอุดตันได้ง่ายและเกิด การไหลลัดวงจร ในกรณีที่มี การจัดเรียงตัวกลางอย่างไม่เป็น ระเบียบ - การเริ่มต้นระบบอาจทำได้ช้ากว่า เนื่องจากต้องมีการเลี้ยงให้ เชื้อจุลินทรีย์ไปติดที่ตัวกลาง
4	ถังกรองไม่ใช้อากาศ (Anaerobic filter: AF/ ถังตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ (Anaerobic fixed film: AFF)	- มีอัตราการรับสารอินทรีย์ได้สูง (High organic loading rate) - จุลินทรีย์หลุดออกถึงปฏิกรณ์ ได้ยาก - สามารถรองรับชนิดน้ำเสียที่มี การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ กะทันหันได้ดี	- มีต้นทุนในส่วนของตัวกลาง เพิ่มขึ้น - เกิดปัญหาอุดตันได้ง่ายและ เกิดการไหลลัดวงจร ในกรณีที่มี การจัดเรียงตัวกลางอย่างไม่เป็น ระเบียบ - การเริ่มต้นระบบอาจทำได้ช้ากว่า เนื่องจากต้องมีการเลี้ยงให้ เชื้อจุลินทรีย์ไปติดที่ตัวกลาง



ตารางที่ 2-3 การเปรียบเทียบเทคโนโลยีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ  
(กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

ถังปฏิกรณ์	อัตรา รับภาระ การรับ สารอินทรีย์*	พื้นที่ ก่อสร้าง	ทักษะการ เดินระบบ	การ บำรุงรักษา	เงิน ลงทุน	ค่าใช้จ่ายใน การเดิน ระบบ
ถังปฏิกรณ์แบบกวน สมบูรณ์ (CSTR)	ปานกลาง	น้อย/ ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	ปานกลาง/ สูง
ถังปฏิกรณ์แบบ (UASB)	สูง	น้อย	สูง	สูง	สูง	ปานกลาง/ สูง
ระบบบ่อบีดแบบไม่ใช้ อากาศ	ต่ำ	มาก	น้อย	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
ระบบบ่อบีดแบบไม่ใช้ อากาศตัดแปลง	ต่ำ/ ปานกลาง	มาก	น้อย	ต่ำ	ต่ำ/ ปานกลาง	ต่ำ/ ปานกลาง
ถังแบบกรองไร้อากาศ และแบบตรึงฟิล์ม จุลินทรีย์	สูง	น้อย	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	ปานกลาง

อัตรารับภาระสารอินทรีย์ (kg COD/m<sup>3</sup>/day) ต่ำ: <2 kg COD/m<sup>3</sup>/day, ปานกลาง: 2-4 kg COD/m<sup>3</sup>/day, สูง: >4 kg COD/m<sup>3</sup>/day

พื้นที่ก่อสร้าง (คิดที่ความลึกน้อยกว่า 6 เมตร) น้อย: < 42 m<sup>2</sup>/ตัน COD,  
ปานกลาง: 42-84 m<sup>2</sup>/ตัน COD, มาก: >84 m<sup>2</sup>/ตัน COD

ทักษะการเดินระบบ น้อย: อย่างน้อยต้องเข้าใจหลักการของกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ ปานกลาง: ต้องเข้าใจหลักการของกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพและหลักการทำงานของอุปกรณ์ในระบบ สูง: เข้าใจหลักการของกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ การทำงานของอุปกรณ์ในระบบ และการตรวจสอบจุลินทรีย์ในระบบ

การบำรุงรักษา ต่ำ: ต้องการการดูแลอุปกรณ์/ เครื่องจักร (ท่อ ปิ๊ม วาล์ว) อย่างสม่ำเสมอแต่ไม่ซับซ้อน สูง: ต้องการการดูแลอุปกรณ์/ เครื่องจักรมากและซับซ้อน เช่น Solenoid valve ระบบควบคุมการป้อนและป้องกันน้ำไหลย้อนกลับ ระบบควบคุมแรงดันก๊าซ เป็นต้น

**10. การพยากรณ์ ปริมาณก๊าซชีวภาพและการพยากรณ์การใช้ก๊าซชีวภาพในการอบยาง**  
 ในการศึกษานี้จะทำการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่จะเกิดขึ้นและพยากรณ์ปริมาณ  
 การใช้ก๊าซชีวภาพในกระบวนการอบยาง แบบ Moving average, Weighted moving average,  
 Exponential smoothing, Stationary data with additive seasonal effects, Double moving average,  
 Double exponential smoothing, Linear regression, Quadratic trend model และ Holt-winter's  
 method for additive seasonal effects (Cliff tagsdale, Managerial decision modeling 6E)  
 หลังจากนั้นจะเลือกวิธีที่มีค่า MSE น้อยที่สุดมาใช้ในการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นใน  
 อีก 10 ปีข้างหน้า เพื่อหาปริมาณก๊าซชีวภาพคงเหลือที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า

10.1 การพยากรณ์แบบ Moving average เป็นการพยากรณ์ข้อมูลที่เป็น Stationary  
 data ซึ่งสามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ 2-9

$$\hat{Y}_{t+1} = (Y_t + Y_{t-1} + \dots + Y_{t-k+1})/k \quad (2-9)$$

$\hat{Y}_{t+1}$  = ปริมาณก๊าซชีวภาพ ณ เวลาที่จะทำการพยากรณ์

$Y_t$  = ปริมาณก๊าซชีวภาพในเวลา  $t$

$k$  = ช่วงเวลาที่ใช้ในการเฉลี่ย (โดยที่  $k \geq 2$ )

$t$  = เวลาของโครงการ ณ เวลานั้น (โดยที่  $t = 1$  ถึง เวลาสุดท้ายที่มีข้อมูลจริง)

10.2 การพยากรณ์แบบ Weighted moving average เป็นการพยากรณ์ข้อมูลที่เป็น  
 Stationary data ซึ่งสามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ 2-10

$$\hat{Y}_{t+1} = w_1 Y_t + w_2 Y_{t-1} + \dots + w_k Y_{t-k+1} \quad (2-10)$$

$\hat{Y}_{t+1}$  = ปริมาณก๊าซชีวภาพ ณ เวลาที่จะทำการพยากรณ์

$Y_t$  = ปริมาณก๊าซชีวภาพเวลา  $t$

$k$  = ช่วงเวลาที่ใช้ในการเฉลี่ย (โดยที่  $k \geq 2$ )

$t$  = เวลาของโครงการ ณ เวลานั้น (โดยที่  $t = 1$  ถึง เวลาสุดท้ายที่มีข้อมูลจริง)

$w_1$  = ค่าถ่วงน้ำหนักหน้า  $Y_t$ ;  $w_1 + w_2 = 1$

$w_2$  = ค่าถ่วงน้ำหนักหน้า  $Y_{t-1}$ ;  $w_1 + w_2 = 1$

$w_k = 1/k$

10.3 การพยากรณ์แบบ Exponential smoothing เป็นการพยากรณ์ข้อมูลที่เป็น  
 Stationary data ซึ่งสามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ 2-11

$$\hat{Y}_{t+1} = Y_t + \alpha(Y_t - \hat{Y}_t) \quad (2-11)$$

$\hat{Y}_{t+1}$  = ปริมาณก๊าซชีวภาพ ณ เวลาที่จะทำการพยากรณ์

$Y_t$  = ปริมาณน้ำเสียในเวลา  $t$

$\alpha$  = ค่าสัมประสิทธิ์;  $0 \leq \alpha \leq 1$

$t$  = เวลาของโครงการ ณ เวลานั้น (โดยที่  $t = 1$  ถึง เวลาสุดท้ายที่มีข้อมูลจริง)

10.4 การพยากรณ์แบบ Stationary data with additive seasonal effects เป็น  
การพยากรณ์ข้อมูลที่เป็น Stationary data ที่มีลักษณะขึ้นและลงเป็นฤดูกาล ซึ่งสามารถคำนวณได้  
ดังสมการที่ 2-12

$$\hat{Y}_{t+n} = E_t + S_{t+n-p} \quad (2-12)$$

เมื่อ  $\hat{Y}_{t+n}$  = ปริมาณก๊าซชีวภาพ ณ เวลาที่จะทำการพยากรณ์

$E_t$  = ค่า expected level of time series;  $E_t = \alpha(Y_t - S_{t-p}) + (1-\alpha)E_{t-1}$

โดยที่  $0 \leq \alpha \leq 1$

$S_t$  = ค่า Seasonal factor ณ เวลาที่  $t$ ;  $S_t = \beta(Y_t - E_t) + (1-\beta)S_{t-p}$  โดยที่  $0 \leq \beta \leq 1$

1

10.5 การพยากรณ์แบบ Double moving average เป็นการพยากรณ์ของข้อมูลที่มี  
ลักษณะเป็น Non-stationary data ซึ่งจะมี วิธีการ 3 ขั้นตอนดังนี้

10.5.1 การหาค่า Moving average สำหรับช่วงเวลาที่ทำการพยากรณ์ จำนวน  $k$   
ดังสมการที่ 2-13

$$M_t = (Y_t + Y_{t-1} + \dots + Y_{t-k+1})/k \quad (2-13)$$

เมื่อ  $M_t$  = ค่า Moving average ในเวลาที่  $t$ ; สำหรับช่วงเวลาที่ทำการพยากรณ์

จำนวน  $k$

$Y_t$  = ปริมาณน้ำเสียในเวลา  $t$

$k$  = ช่วงเวลาที่ใช้ในการเฉลี่ย (โดยที่  $k \geq 2$ )

$t$  = เวลาของโครงการ ณ เวลานั้น (โดยที่  $t = 1$  ถึง เวลาสุดท้ายที่มีข้อมูลจริง)

10.5.2 การหาค่า Double moving average สำหรับช่วงเวลาที่ทำการพยากรณ์  
จำนวน  $k$  ดังสมการที่ 2-14

$$D_t = (M_t + M_{t-1} + \dots + M_{t-k+1})/k \quad (2-14)$$

เมื่อ  $D_t$  = ค่า Double Moving average ในเวลาที่  $t$ ; สำหรับช่วงเวลาที่ทำการพยากรณ์  
จำนวน  $k$

$M_t$  = ค่า Moving average ในเวลาที่  $t$

$k$  = ช่วงเวลาที่ทำการพยากรณ์ (โดยที่  $k \geq 2$ )

$t$  = เวลาของโครงการเวลา ณ ช่วงเวลานั้น (โดยที่  $t = 1$  ถึง เวลาสุดท้ายที่มี

ข้อมูลจริง)

10.5.3 การทำนายค่าโดยวิธี แบบ Double moving average สามารถคำนวณได้  
จากสมการที่ 2-15

$$\hat{Y}_{t+n} = E_t + nT_t \quad (2-15)$$

เมื่อ  $\hat{Y}_{t+n}$  = ปริมาณก๊าซชีวภาพ ณ เวลาที่จะทำการพยากรณ์

$E_t$  = ค่า Estimated level;  $2Mt-Dt$

$T_t$  = ค่า Estimated trend;  $2(Mt-Dt)/(k-1)$

$t$  = เวลาของโครงการเวลา ณ ช่วงเวลานั้น (โดยที่  $t = 1$  ถึง เวลาสุดท้ายที่มี

มีข้อมูลจริง)

$n$  = เวลาถัดไปที่จะทำการพยากรณ์ (ที่  $n = 1$  ถึง ปีสุดท้ายของ  
การพยากรณ์)

10.6 การพยากรณ์แบบ Linear regression model เป็นการพยากรณ์ข้อมูลที่มี  
ลักษณะเป็น Non-stationary data อีกวิธีหนึ่งโดยจะให้ เวลาเป็นตัวแปรอิสระ ดังสมการที่ 2-16

$$\hat{Y}_t = b_0 + b_1X_{1t} \quad (2-16)$$

เมื่อ  $\hat{Y}_t$  = ปริมาณก๊าซชีวภาพ ณ เวลาที่จะทำการพยากรณ์ ณ เวลาที่  $t$

$b_0$  = จุดตัดแกน Y ของสมการ

$b_1$  = ค่าความชัน ของสมการ

$X_{1t}$  = ค่าของตัวแปรอิสระของเวลาที่  $t$

$t$  = เวลาของโครงการ ณ เวลานั้น ๆ โดยที่  $t = 1$  ถึง เวลาสุดท้ายที่จะทำนาย

จากสมการที่ 2-16 เป็นสมการเส้นตรงที่วิ่งผ่านค่าที่น้อยที่สุดของค่าส่วนต่าง ระหว่าง  
ค่าจริงและค่าการทำนาย ทั้งหมดยกกำลังสอง ซึ่งสามารถแสดงเป็นเส้นแนวโน้มที่เป็นเส้นตรงใน  
ข้อมูลที่ลักษณะขึ้นและลง หรือเป็นข้อมูลแบบ Non-stationary data

10.7 การพยากรณ์แบบ Quadratic trend model เป็นการพยากรณ์ข้อมูลที่มี

ลักษณะเป็น Non-stationary data อีกวิธีหนึ่งซึ่งจะใช้เมื่อในกรณีที่ ค่าจริงอยู่เหนือหรือต่ำกว่าเส้นสมการ linear regression เพียงอย่างเดียว ทำให้การพยากรณ์เกิดความคลาดเคลื่อนจึงควรใช้ Quadratic trend model เข้ามาช่วยในการพยากรณ์แทน โดยจะมีการเพิ่มตัวแปรอิสระ ( $X_{2t}=t^2$ ) ขึ้นมาอีกหนึ่งตัว คือ เวลายกกำลังสองซึ่งจะทำให้เป็นสมการเส้นโค้ง ดังสมการที่ 2-17

$$\hat{Y}_t = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 \quad (2-17)$$

เมื่อ  $\hat{Y}_t$  = ปริมาณก๊าซชีวภาพ ณ เวลาที่จะทำการพยากรณ์ ณ เวลาที่  $t$

$b_0$  = จุดตัดแกน Y ของสมการ

$b_1$  = สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร  $X_1$

$b_2$  = สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร  $X_2$

$X_1$  = ค่าของตัวแปรอิสระของเวลาที่  $t$

$X_2$  = ค่าของตัวแปรอิสระของเวลาที่  $t^2$

$t$  = เวลาของโครงการ ณ เวลานั้น ๆ โดยที่  $t = 1$  ถึง เวลาสุดท้ายที่จะทำนาย

10.8 การพยากรณ์แบบ Double exponential smoothing เป็นการพยากรณ์ข้อมูลที่มีลักษณะเป็น Non-stationary data สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2-18

$$\hat{Y}_{t+n} = E_t + nT_t \quad (2-18)$$

$\hat{Y}_{t+n}$  = ปริมาณก๊าซชีวภาพ ณ เวลาที่จะทำการพยากรณ์

$E_t$  = ค่า Base level;  $E_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(E_{t-1} + T_{t-1})$  โดยที่  $0 \leq \alpha \leq 1$

$T_t$  = ค่า Trend;  $\beta(E_t - E_{t-1}) + (1-\beta) T_{t-1}$  โดยที่  $0 \leq \beta \leq 1$

10.9 การพยากรณ์แบบ Holt-winter's method for additive seasonal effects เป็นการพยากรณ์ข้อมูลที่มีลักษณะเป็น Non-stationary data ที่มีลักษณะขึ้นหรือลงเป็นฤดูกาลสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2-19

$$\hat{Y}_{t+n} = E_t + nT_t + S_{t+n-p} \quad (2-19)$$

เมื่อ  $\hat{Y}_{t+n}$  = ปริมาณก๊าซชีวภาพ ณ เวลาที่จะทำการพยากรณ์

$E_t$  = ค่า Expected level of time series;  $E_t = \alpha(Y_t - S_{t-p}) + (1-\alpha)(E_{t-1} + T_{t-1})$

โดยที่  $0 \leq \alpha \leq 1$

$S_t$  = ค่า Seasonal factor ณ เวลาที่  $t$ ;  $S_t = \gamma(Y_t - E_t) + (1-\gamma)S_{t-p}$  โดยที่  $0 \leq \gamma \leq 1$

$T_t$  = ค่า Trend;  $\beta(E_t - E_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1}$  โดยที่  $0 \leq \beta \leq 1$

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จะมีการวัดค่าความเที่ยงตรงของการพยากรณ์ทั้ง 3 แบบข้างต้น โดยใช้ค่า Mean square error: MSE ในการเปรียบเทียบค่าความเที่ยงตรงของการพยากรณ์ทั้ง 3 แบบ และจะเลือกแบบที่มีค่า MSE น้อยที่สุดมาใช้ในการพยากรณ์ ส่วนการหาค่า MSE สามารถหาได้ดังสมการที่ 2-20

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_i^n [Y_i - \hat{Y}_i]^2 \quad (2-20)$$

เมื่อ  $\hat{Y}_i$  = ปริมาณก๊าซชีวภาพที่พยากรณ์ ณ เวลาที่  $i$

$Y_i$  = ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริง ณ เวลาที่  $i$

$i$  = จำนวนของเวลา ณ ช่วงเวลานั้น

$n$  = จำนวนของเวลาสุดท้ายที่จะทำการพยากรณ์

(Cliff Ragsdale, 2007)

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กฤตภาส สิงคบุตร, วิษชากร จารุศิริ และปฐมทัศน์ จิระเดชะ (2554) ได้ทำการศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมของการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารในมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง โดยมีการเปรียบเทียบเทคโนโลยี 3 แบบ ได้แก่ Plug flow anaerobic digester, CSTR แบบ 1-stage และ CSTR แบบ Anaerobic mixed reactor (AMR) โดยให้แต่ละระบบมีขนาดการรองรับเศษอาหารประมาณ 200 กิโลกรัมต่อวัน โดยเดินระบบ 365 วันต่อปี และมีอายุโครงการ 15 ปี ปรากฏว่า ระบบที่มีความเหมาะสมและเกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด คือ ระบบ CSTR แบบ 1-stage สามารถผลิตก๊าซชีวภาพโดยเฉลี่ย 4,147 กิโลกรัมต่อปี มีผลตอบแทนภายในเท่ากับ 47.10% และมีระยะเวลาคืนทุน คือ 2.12 ปี

อรทัย วรรณวิสันต์ (2552) ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการลงทุนผลิตก๊าซชีวภาพของฟาร์มสุกร โดยที่มุ่งเน้นเรื่องความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพและลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าของฟาร์มสุกร มากน้อยเพียงใด เมื่อนำก๊าซชีวภาพที่ได้มาผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในฟาร์มสุกร ทั้งนี้ในเรื่องของความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์นั้นจะมีการวิเคราะห์ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback period) ผลปรากฏว่าโครงการมีการลงทุนสูงถึง 5,200,000 บาท และคิดอัตราคิดลดที่ 8.45% ให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 2,324,303 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เท่ากับ 16% และมีระยะเวลาคืนทุน (PB) เท่ากับ 5.3 ปี

กิตติญา กฤตยรังสิต (2554) ได้ทำการศึกษาวิจัยต้นทุนและผลตอบแทนของโรงไฟฟ้า ก๊าซชีวภาพจากวัสดุการเกษตร โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 จะเป็นการวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าจากการติดตั้งโรงไฟฟ้าที่มีอัตราการผลิตไฟฟ้าที่แตกต่างกัน โดยจะแบ่งตามขนาด ตั้งแต่ 200 500 และ 1,000 กิโลวัตต์ ส่วนที่ 2 จะเป็นการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ สำหรับโรงไฟฟ้าแต่ละขนาดที่กล่าวมาข้างต้น ผลการวิจัยปรากฏว่า เครื่องจักร 200 กิโลวัตต์ มีความคุ้มค่าที่อัตราการผลิตก๊าซมีเทน 0.4-0.6 ลบ.ม.CH<sub>4</sub> ต่อ กิโลกรัม และมีต้นทุนวัตถุดิบไม่เกิน 0.2 บาทต่อกิโลกรัม ในขณะที่ เครื่องจักรขนาด 500 กิโลวัตต์ มีความคุ้มค่าที่อัตราการผลิตก๊าซมีเทน 0.1-0.6 ลบ.ม.CH<sub>4</sub> ต่อ กิโลกรัม และมีต้นทุนวัตถุดิบไม่เกิน 0.5 บาทต่อกิโลกรัม ส่วน เครื่องจักรขนาด 1,000 กิโลวัตต์ มีความคุ้มค่าที่อัตราการผลิตก๊าซมีเทนที่ มีเทน 0.1-0.6 ลบ.ม.CH<sub>4</sub> ต่อ กิโลกรัม และมีต้นทุนวัตถุดิบไม่เกิน 0.6 บาทต่อกิโลกรัม และพบว่าหากต้องการให้เกิดความคุ้มค่ามากกว่านี้ควรให้มีการเน้นในเรื่องเทคนิคการเดินระบบ นอกจากนี้รัฐบาลควรที่จะมีการสนับสนุน ราคารับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเพื่อเพิ่มความน่าสนใจในการลงทุน

สำนักงานวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร (2554) ได้ทำการศึกษาวิจัยความคุ้มค่าในการผลิต ก๊าซชีวภาพจากของเสียในฟาร์มสุกรภายใต้กลไกการพัฒนาที่สะอาด โดยจะทำการศึกษาจากฟาร์ม สุกรที่เข้าร่วมโครงการ CDM ของกรมปศุสัตว์จำนวน 10 ฟาร์ม กำหนดอายุโครงการ 10 ปี และมีอัตรา คิดลดร้อยละ 7 ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์จะถูกนำไปใช้ในการตัดสินใจสร้างระบบก๊าซ ชีวภาพภายใต้กลไกการพัฒนาที่สะอาดในฟาร์มของเกษตรกรผู้สนใจ จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่า ทางเศรษฐศาสตร์ทั้งกรณีที่ได้รับเงินอุดหนุนและไม่ได้รับเงินอุดหนุน ปรากฏว่า มูลค่าปัจจุบัน สุทธิ (NPV) มีค่าเท่ากับ 188.16 และ 131.00 ล้านบาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อทุน (BCR) มีค่า เท่ากับ 1.56 และ 1.36 อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เท่ากับ 44.85% และ 24.69% ตามลำดับ และ จากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของทั้ง 2 กรณีข้างต้น โดยจะให้มีการเปลี่ยนแปลงในส่วนของ ราคารับที่ลดลงและ ต้นทุนที่สูงขึ้นปรากฏว่า การลงทุนในการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียในฟาร์ม สุกรภายใต้กลไกการพัฒนาที่สะอาดจะไม่สามารถลงทุนต่อไปได้หากผลตอบแทนของโครงการลดลง มากกว่าร้อยละ 62.87 และ 54.10 และหากต้นทุนของโครงการเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 55.57 และ 38.69 ลำดับ

ปริพัฒน์ จึงชัยชนะ และสุภาวัฒน์ วรรณภัทรกิจ (2555) ได้ทำการศึกษาวิจัยศักยภาพ การผลิตไฟฟ้าด้วยไบโอแก๊สจากขยะกรณีศึกษาตลาดไท โดยใช้เทคโนโลยีในการผลิตก๊าซชีวภาพ แบบ Dry fermentation จากนั้นจึงเอาก๊าซชีวภาพที่ได้มาผลิตกระแสไฟฟ้า โดยผลจากการศึกษา ปรากฏว่า ในปี 2553 ปริมาณขยะในตลาดไทมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 94.19 ตันต่อวัน ซึ่งจะสามารถ นำมาผลิตก๊าซชีวภาพได้ 17,807 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 12,643-24,929

kWh ในกรณีที่มี Adder ต่ำสุด จะมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการเท่ากับ 144,561,595 บาท และมีค่าอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการเท่ากับร้อยละ 28.93 และในกรณีที่มีค่า Adder สูงสุดจะมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการเท่ากับ 232,162,873 บาท และมีค่าอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการเท่ากับร้อยละ 48.01

ชาติรี วัฒนศิลป์, วรรัตน์ บัณฑิตประกร และ พระพิพัฒน์ ภาสบุตร (2553) ได้ทำการศึกษาวิจัยความเป็นไปได้ของตำแหน่งและขนาดของโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพที่ได้เชื้อเพลิงจากมูลโคนม โดยในการศึกษากครั้งนี้จะทำการศึกษาร่วมโคนมจำนวน 733 ฟาร์ม มีโคนมทั้งหมด 18,962 ตัว และมีการกำหนดตำแหน่งและเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่สุดที่จะตั้งโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพทั้งหมด 3 แห่ง โดยจะพิจารณาจากประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเทคโนโลยี 5 แบบ ได้แก่ ระบบแบบการไหล ระบบแบบปิดคลุมบ่อ ระบบแบบกวนสมบูรณ์ ระบบแบบตรึงฟิล์ม และระบบแบบผสมเทคโนโลยี โดยผลการศึกษาพบว่าขนาดที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากมูลโคนมคือ 952 กิโลวัตต์ โดยใช้ระบบการผลิตก๊าซชีวภาพแบบการไหลขึ้น และตำแหน่งที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพที่สหกรณ์โคนมในเขตปฏิรูปที่ดินลำพูนกลางซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีค่าขนส่งน้อยที่สุด และผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่อัตราคิดลดที่ร้อยละ 6 และมีอายุโครงการ 15 ปี พบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับ 57,420,269 บาท อัตราผลตอบแทนต่อทุนเท่ากับ 1.37 และมีอัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 21.16%

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นพบว่าการสร้างโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ค่อนข้างสูงซึ่งบ่งบอกได้ว่าพลังงานทดแทนที่ได้จากก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานที่เหมาะสมและนำลงทุนในประเทศไทย ซึ่งรัฐบาลควรที่จะทำการสนับสนุนเพื่อมีการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นนโยบายด้านพลังงานของประเทศ ลดการพึ่งพาด้านพลังงานสิ้นเปลืองจากต่างประเทศเพิ่มความมั่นคงด้านพลังงาน อีกทั้งยังช่วยในเรื่องของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อลดปัญหาโลกร้อนและช่วยแก้ปัญหาปากถิ่นเหมิ้นจากขยะและมูลสัตว์



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### ประเภทของงานวิจัย

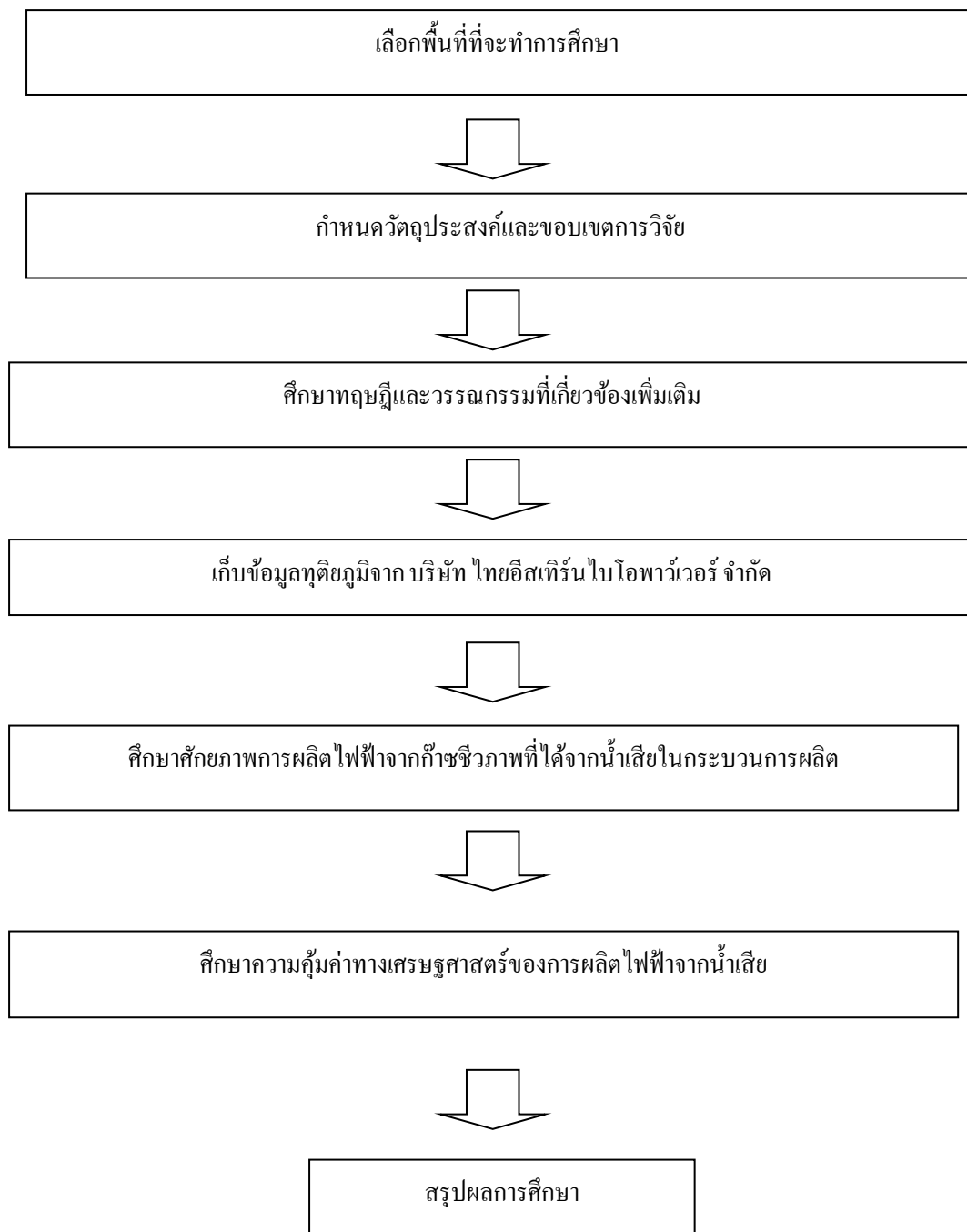
งานวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการโรงผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ กรณีศึกษา บริษัท กลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยจะเป็นการวิจัยในเชิงปริมาณ (Quantitative research) เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์ศักยภาพและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าจากน้ำเสีย

#### ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินดังนี้

1. เลือกพื้นที่การศึกษา
2. กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย
3. ศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
4. เก็บข้อมูลทุติยภูมิกับ บริษัท ไทยอีสเทิร์นไบโอ โปรวาร์เวอ์ จำกัด
5. ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากน้ำเสีย
6. ศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์
7. สรุปผล

ซึ่งลำดับขั้นตอนทั้งหมดจะถูกสรุปในภาพที่ 3-1



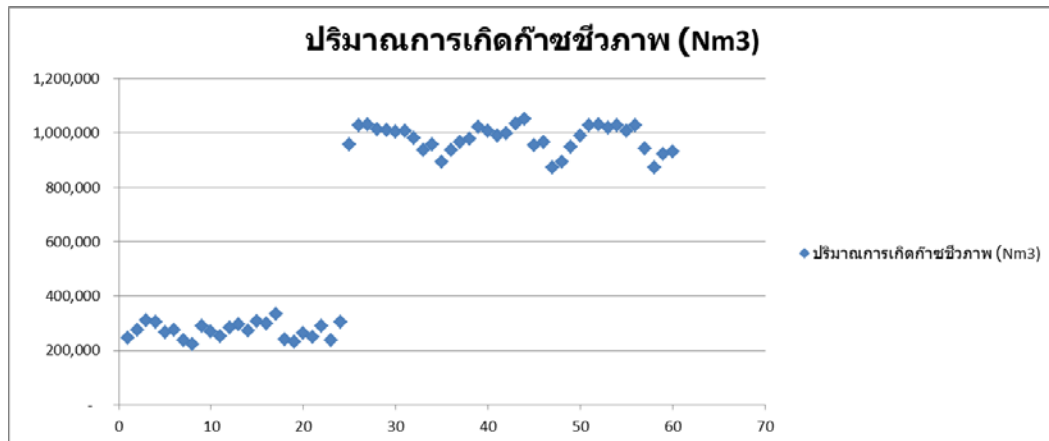
ภาพที่ 3-1 ลำดับขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

## 1. การเลือกพื้นที่การศึกษา

สำหรับสาเหตุที่เลือกพื้นที่นี้มาใช้ในการศึกษาเนื่องจากบริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น เป็นบริษัทที่มีผลผลิตการเกษตร ได้แก่ ข้าวพารา และน้ำมันปาล์ม ซึ่งหลังจากกระบวนการจะมีน้ำเสียออกมาเป็นจำนวนมาก ซึ่งเริ่มแรกในช่วงปี พ.ศ. 2555 ได้มีการนำน้ำเสียที่ได้มาใช้ในการกระบวนการอบขางพารา ต่อมาในช่วงปี พ.ศ. 2556 ได้ทำการก่อสร้างบ่อบำบัดน้ำเสียเพื่อเพิ่มทำให้มีปริมาณก๊าซชีวภาพเกินความต้องการ ทำให้บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น มีความสนใจที่จะนำก๊าซชีวภาพที่เหลือจากกระบวนการอบขางพารามาใช้ในการมาผลิตไฟฟ้า จึงได้ก่อตั้ง บริษัท ไทยอีสเทิร์น ไบโอฟาวเวอร์ จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทก่อตั้งเพื่อบริการจัดการการผลิตไฟฟ้า และเพื่อลดการสูญเสียของก๊าซชีวภาพที่เกินความต้องการ เพิ่มรายได้ของบริษัท ฯ อีกทั้งยังเป็นการตอบสนองนโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP 2015) ที่ต้องการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจากพลังงานทดแทนของประเทศไทยเป็นร้อยละ 25 ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าทั้งหมดของกำลังการผลิตไฟฟ้าเพื่อเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยให้ประเทศไทยมีความมั่นคงด้านพลังงาน ดังนั้นจึงเหมาะสมแก่การศึกษาความเป็นไปได้ของ โครงการ โรงผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพของกลุ่มอุตสาหกรรมไทย อีสเทิร์น นอกจากนี้ทางบริษัทได้ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องของข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นอย่างดี จึงทำการเลือกพื้นที่นี้มาใช้ในการศึกษาครั้งนี้

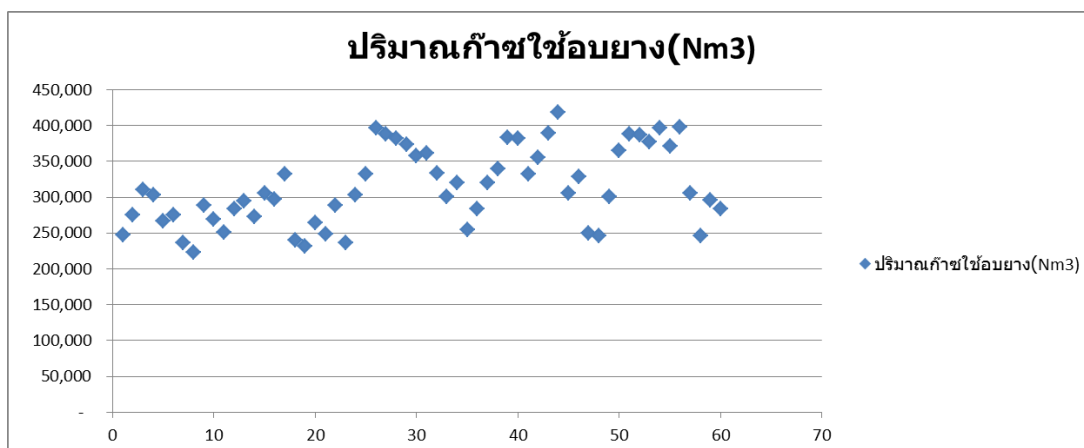
## 2. การเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจาก บริษัท ไทยอีสเทิร์น ไบโอฟาวเวอร์ จำกัด

การเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากน้ำเสียในกระบวนการผลิต น้ำมันปาล์ม และขางพารา ของกลุ่มอุตสาหกรรม ไทยอีสเทิร์น โดยได้ประสานงานกับทางบริษัทเพื่อเข้าขอเยี่ยมชมพื้นที่และข้อมูลเพื่อใช้ในการงานวิจัยในครั้งนี้ โดยได้ข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเป็นรายเดือนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554-พ.ศ. 2558 โดยเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่ เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2558 ซึ่งได้นำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างกราฟผลตามภาพที่ 3-2 และภาพที่ 3-3 ได้ดังนี้



ภาพที่ 3-2 กราฟแสดงปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพในแต่ละเดือนตั้งแต่เดือน มกราคม 2554- ธันวาคม 2559

จากภาพที่ 3-2 พบว่าข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นใน บริษัท ไทยอีสเทิร์น ไปโอพาว์เวอร์ จำกัด จะสังเกตได้ว่าในปี พ.ศ. 2556-พ.ศ. 2558 มีการปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่ 978,006 Nm<sup>3</sup> ซึ่งเพิ่มประมาณ 3.5 เท่า เทียบกับปี พ.ศ. 2555 เนื่องจากบริษัท ฯ มีการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียเพิ่มเติมในเดือนมิถุนายน 2555 และเริ่มใช้ในเดือนมกราคม 2556 เนื่องจากบริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์นมีการขยายกำลังผลิตน้ำมันปาล์มทำให้จำเป็นต้องมีการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียเพิ่มขึ้นอีก เพื่อรองรับน้ำเสียจากการขยายกำลังผลิตน้ำมันปาล์ม



ภาพที่ 3-3 กราฟแสดงปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพในกระบวนการอบยางพาราแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม 2554-ธันวาคม 2559

จากภาพที่ 3-3 แสดงข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบยางพาราซึ่งก๊าซชีวภาพจะถูกจ่ายไปที่หัวเผาของเตาอบจำนวน 2 เตาซึ่งมีอัตราสิ้นเปลืองประมาณ 300 Nm<sup>3</sup>/ ชั่วโมง/ เตา และมีอัตราสิ้นเปลืองก๊าซชีวภาพไม่เกิน 432,000 Nm<sup>3</sup>/ เดือน ซึ่งมีปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพในกระบวนการอบยางพาราเฉลี่ยประมาณ 313,252 Nm<sup>3</sup>/ เดือน

### 3. การศึกษาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่ได้จากน้ำเสียในกระบวนการผลิต น้ำมันปาล์ม และยางพาราของกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น

สำหรับหัวข้อนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 5 หัวข้อย่อย ได้แก่ การพยากรณ์ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นภายใน 10 ปีข้างหน้าตามอายุโครงการ การนำเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับชนิดน้ำเสียมาใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ การพัฒนาคุณภาพของก๊าซชีวภาพและเทคโนโลยีที่ใช้การผลิตกระแสไฟฟ้าที่มีเชื้อเพลิงเป็นก๊าซชีวภาพ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อม Grid กับกริดไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเพื่อทำการจ่ายไฟฟ้าที่ผลิตได้เข้าสู่ระบบ และการหาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นว่าเหมาะสมที่จะติดตั้งเครื่องผลิตไฟฟ้าขนาดเท่าไร

3.1 การพยากรณ์ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นและปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพในกระบวนการอบยางพาราภายใน 10 ปีข้างหน้าตามอายุโครงการ

ในการวิจัยครั้งนี้จะทำการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่จะเกิดขึ้นและปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพใน 10 ปีข้างหน้า โดยจะมีการหาค่า Mean square error: MSE ของวิธีการพยากรณ์ 9 แบบ ได้แก่ Moving average, Weighted moving average, Exponential smoothing, Stationary data with additive seasonal effects, Double moving average, Double exponential smoothing, Linear

regression, Quadratic trend model และ Holt-winter's method for additive seasonal effects หลังจากนั้นจะเลือกวิธีที่มีค่า MSE น้อยที่สุดมาใช้ในการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในอีก 10 ปีข้างหน้าตามอายุโครงการ โดยสูตรที่ใช้ในการพยากรณ์ทั้ง 9 แบบ และการหาค่า MSE โดยวิธีการคำนวณ ได้ถูกกล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อการพยากรณ์ ปริมาณก๊าซชีวภาพและการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพในการอบขบวนการพยากรณ์ ปริมาณก๊าซชีวภาพและการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพในการอบขบวนการ

### 3.2 การนำเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับชนิดน้ำเสียมาใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ

เทคโนโลยีระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมกับชนิดน้ำเสียของกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น นั้นทางกลุ่มได้เลือกมา 2 ระบบ ได้แก่ Continuously stirred tank reactor: CSTR และ Modify covered lagoon: MCL โดยเลือกตามความเหมาะสมของน้ำเสียแต่ละชนิด รายละเอียดดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ชนิดของน้ำเสียและเหตุผลที่เลือกใช้ระบบน้ำเสียแต่ละชนิด

ลำดับที่	วัตถุดิบ	เทคโนโลยีที่เลือก	เหตุผลและความเหมาะสม
1	น้ำเสียจากปาล์มและ ขางพารา	Continuously stirred tank reactor: CSTR	เนื่องจากน้ำเสียจากน้ำมันปาล์ม และขางพารามีภาระสารอินทรีย์สูง และสารของแข็งแขวงลอยสูงจึง เลือกระบบนี้มาบำบัดน้ำเสีย
2	น้ำเสียจากปาล์มและ ขางพารา	Modify cover lagoon: MCL	เนื่องจากบ่อที่ใช้ระบบ CSTR มี ราคาสูงจึงได้มีการใช้ระบบ MCL (ก่อนที่ส่งน้ำเสียเข้าบ่อหมักมีการ กวนผสมเล็กน้อยแล้วค่อยส่งเข้า บ่อหมัก) เพื่อรองรับปริมาณน้ำเสีย จากปาล์มและขางพาราเนื่องจากมี ต้นทุนต่ำกว่าระบบ CSTR

### 3.3 การพัฒนาคุณภาพของก๊าซชีวภาพและเทคโนโลยีที่ใช้การผลิตกระแสไฟฟ้าที่มีเชื้อเพลิงเป็นก๊าซชีวภาพ

#### 3.3.1 การพัฒนาคุณภาพของก๊าซชีวภาพ

การพัฒนาคุณภาพของก๊าซชีวภาพจะพิจารณาจากองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ส่วนใหญ่ประกอบด้วย ก๊าซมีเทน ความชื้นละอองน้ำ และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งนอกจากก๊าซมีเทนแล้ว องค์ประกอบอื่น ไม่จำเป็นต่อกระบวนการเผาไหม้ทั้งสิ้นจึงต้องทำการกำจัดออกไปจากก๊าซชีวภาพ

#### การกำจัดความชื้นและละอองน้ำ

ในการวิจัยครั้งนี้จะใช้เทคโนโลยีที่ใช้กำจัดความชื้นและละอองน้ำในก๊าซชีวภาพ คือ ระบบใช้การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซชีวภาพกับสารทำความเย็น ซึ่งมีองค์ประกอบ 2 ส่วน

##### 3.3.1.1 คอมเพรสเซอร์อัดสารทำความเย็นและคอนเดนเซอร์

##### 3.3.1.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซชีวภาพกับสารทำความเย็น

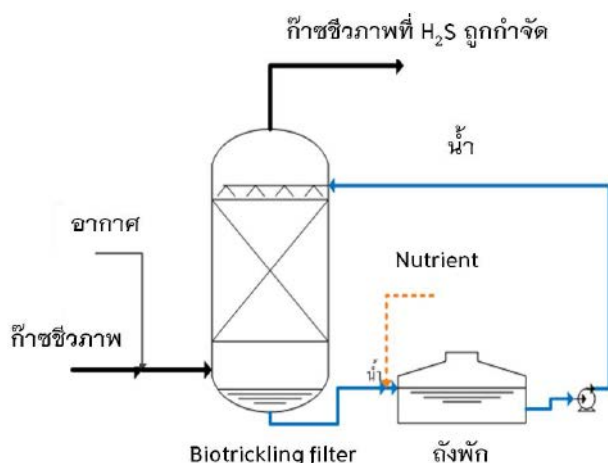
สารทำความเย็นจากคอมเพรสเซอร์จะไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับก๊าซชีวภาพ ที่ส่วนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยก๊าซชีวภาพจะวิ่งอยู่ในท่อส่วนสารทำความเย็นจะอยู่ใน shell ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่ออุณหภูมิของก๊าซชีวภาพลดลงเหลืออยู่ที่ 12-15 องศาเซลเซียส ความชื้นและละอองน้ำจะกลั่นตัวเป็นน้ำแยกออกจากก๊าซชีวภาพและระบายออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทางวาล์วระบายน้ำอัตโนมัติ ดังภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-4 การกำจัดความชื้นและละอองน้ำออกจากก๊าซชีวภาพโดยสารทำความเย็น (คู่มือการปฏิบัติงาน เกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และ การใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

### การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

การกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จะใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า Biotrickling filter technology เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กำจัด ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยการเติมอากาศเข้าที่ก๊าซชีวภาพ โดยจะมีการควบคุมปริมาณอากาศที่เติมเข้าที่ก๊าซชีวภาพซึ่งไม่ควรเกิน 3% (v/v) หลังจากนั้นก๊าซ จะไหลผ่านหอดูดซึมจากล่างขึ้นบน ซึ่งในหอดูดซึมจะมีการสเปรย์น้ำที่เป็นด่าง และใส่ตัวกลาง พลาสติกที่มีแบคทีเรียประเภท Sulphide oxidizing bacteria ที่คอยเปลี่ยนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ ถูกเปลี่ยนเป็นสารละลายในน้ำด่างให้เป็นกำมะถันแล้วเกาะติดที่ตัวกลางพลาสติก ซึ่งถังแบบ Biotrickling filter จะถูกแสดงในภาพที่ 3-5



ภาพที่ 3-5 ลักษณะของหอดูดซึมแบบ Bio trickling filter

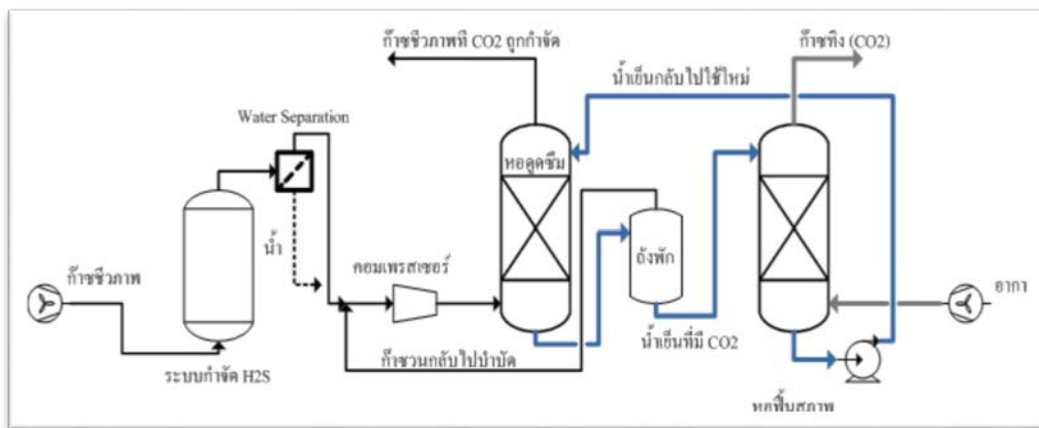
(คู่มือการปฏิบัติงาน เกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

### การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพมีจุดมุ่งหมายเพื่อจะเพิ่มค่า ความร้อนของก๊าซชีวภาพให้สูงขึ้น หรือเป็นการควบคุมความเข้มข้นของก๊าซมีเทนให้คงที่ และ เพิ่มประสิทธิภาพของก๊าซชีวภาพไปด้วยสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับพาหนะหรือทดแทน ก๊าซธรรมชาติ อีกทั้งยังลดความเป็นกรด (เมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำจะเป็นกรดอ่อน) ซึ่งทางกลุ่มบริษัทได้ใช้เทคโนโลยี Water scrubber technology มาใช้ในการกำจัดก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์โดยมีหลักการดังนี้



Water scrubber technology เป็นเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือ มีอัดก๊าซชีวภาพผ่านหอดูดซึม โดยจะอาศัยคุณสมบัติของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สามารถละลายน้ำในสถานะที่ความดันสูงและอุณหภูมิต่ำ ซึ่งเทคโนโลยีประเภทนี้จะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ หอดูดซึมและหอ Stripper (ใช้พื้นฟูน้ำที่มี ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่) ส่วนหลักการทำงานของระบบนี้จะเริ่มจาก นำก๊าซชีวภาพที่ผ่านการกำจัดความชื้น ละอองน้ำ และ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ มาอัดด้วยคอมเพรสเซอร์ให้มีความดันสูงประมาณ 13 บาร์ (เพื่อเพิ่มความสามารถในการละลาย) ก๊าซชีวภาพที่มีความดันสูงจะไหลผ่านเข้าหอดูดซึมจากด้านล่างและจะไหลสวนกับน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำประมาณ 10 องศาเซลเซียส ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำ และถูกแยกออกจากก๊าซชีวภาพ และก๊าซชีวภาพที่มีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนสูงจะไหลออกทางด้านบนของหอดูดซึม ส่วนน้ำที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่จะไหลออกทางด้านล่าง และเข้าสู่ถังพักเพื่อลดความดัน ก๊าซชีวภาพที่ปนมาจะถูกวนกลับไปอัดแรงดันที่คอมเพรสเซอร์ใหม่ ส่วนน้ำก็จะเข้าสู่หอพื้นสภาพ (Stripper tower) ที่มีการเติมอากาศเพื่อไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากน้ำแล้ววนกลับไปใช้เพื่อใช้ในการละลายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อีกครั้งที่หอดูดซึม ซึ่งกระบวนการของเทคโนโลยีนี้จะถูกแสดงในภาพที่ 3-6

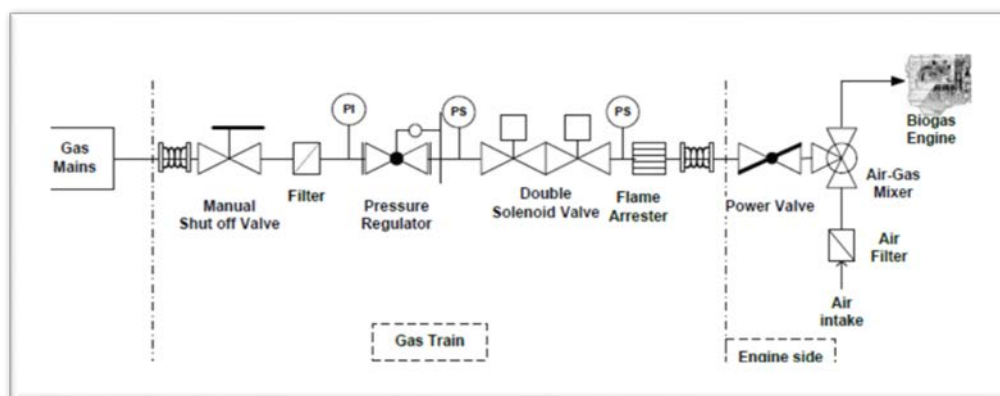


ภาพที่ 3-6 กระบวนการทำงานของเทคโนโลยี Water scrubber technology

### 3.3.2 เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า

หลังจากที่ก๊าซชีวภาพได้ผ่านการพัฒนาคุณภาพที่กล่าวมาในหัวข้อ การพัฒนาคุณภาพของก๊าซชีวภาพแล้วก็พร้อมที่จะนำมาใช้กับเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้แต่ก่อนที่จะเข้าเครื่องผลิตไฟฟ้านั้นจะต้องผ่านชุดอุปกรณ์ที่เรียกว่า Gas t train ซึ่งมีหน้าที่ในการจ่ายก๊าซได้

อย่างเหมาะสมทั้งความดันและอัตราการไหล ซึ่งประกอบไปด้วย วาล์วปิด-เปิดก๊าซด้วยมือ (Manual shut off valve) หม้อกรองก๊าซ (Filter) วาล์วควบคุมความดันก๊าซ (Pressure regulator) โซลินอยด์วาล์วคู่พร้อมระบบตรวจพิสูจน์ (Double solenoid valve with proving system) อุปกรณ์ป้องกันการไหลย้อนของก๊าซชีวภาพ (Flame arrestor) ตัวอย่างอุปกรณ์ Gas train ที่ใช้กับเครื่องผลิตไฟฟ้าจะถูกแสดงในภาพที่ 3-7 หลังจากผ่านชุด Gas train ก๊าซชีวภาพจะถูกส่งเข้าไปที่เครื่องผลิตไฟฟ้า



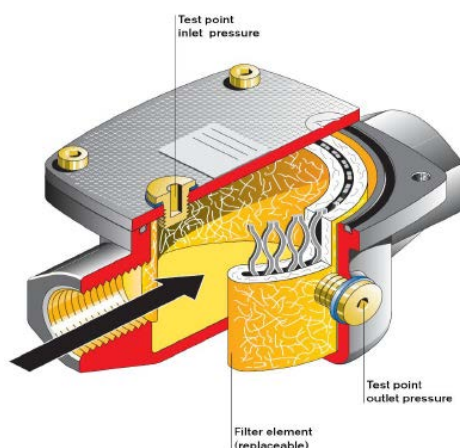
ภาพที่ 3-7 ชุดอุปกรณ์ Gas train ที่ใช้กับเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ

3.3.2.1 วาล์วปิด-เปิดด้วยมือ (Manual shut off valve) เป็นวาล์วปิด-เปิดด้วยมือหรือค้ำมจับ เพื่อจ่ายก๊าซในชุดอุปกรณ์โดยทั่วไปจะติดตั้งส่วนต้นหรือปลายของท่อย่อยกับอุปกรณ์ใช้ก๊าซ ตัวอย่างวาล์วปิด-เปิดด้วยมือ (Manual shut off valve) ถูกแสดงในภาพที่ 3-8



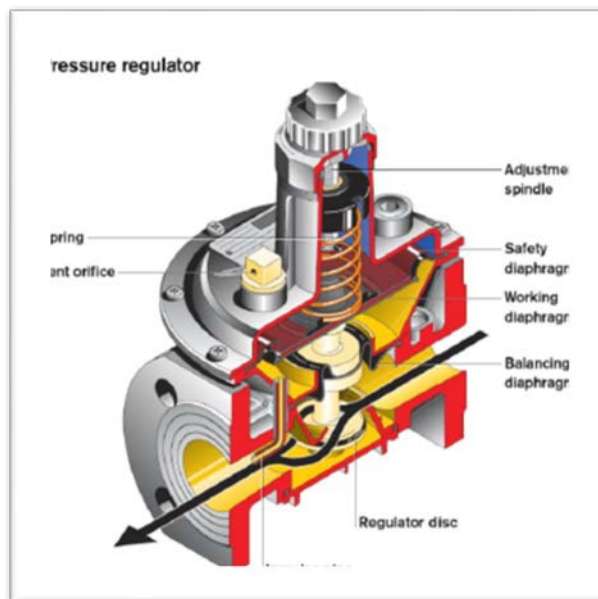
ภาพที่ 3-8 วาล์วปิด-เปิดด้วยมือ (Manual shut off valve)

3.3.2.2 หม้อกรอง (Filter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการดักกรองแยก ฝุ่นผง หรืออนุภาคของแข็งต่าง ๆ ที่ปนมากับก๊าซเพื่อป้องกันไม่ให้เข้าไปในอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ



ภาพที่ 3-9 หม้อกรอง (Filter) (Weishaupt, 1997)

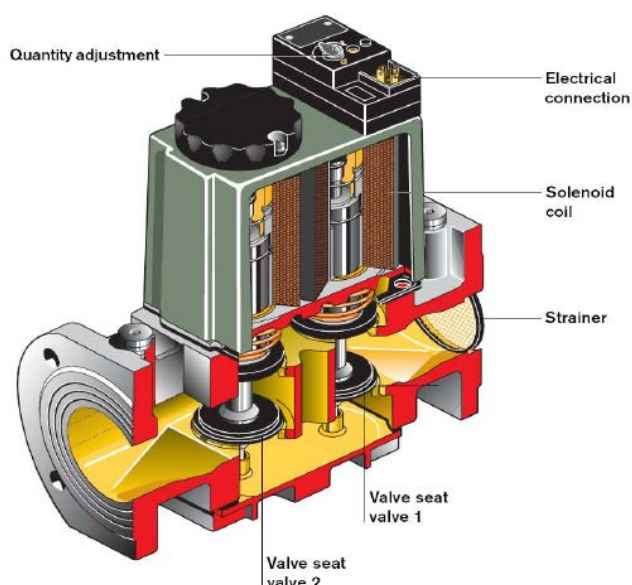
3.3.2.3 วาล์วควบคุมความดัน (Pressure regulator) เป็นวาล์วที่ใช้ควบคุมความดันของก๊าซจากต้นทางไปยังอุปกรณ์ปลายทางให้มีความดันปลายทางขาออกคงที่ วาล์วปรับความดันมีหลายชนิดควรเลือกให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่จะใช้งานด้วย เช่น เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพบางรุ่นต้องการความดันที่สูงกว่า (Positive) หรือต่ำกว่า (Negative) ความดันบรรยากาศเล็กน้อย ดังนั้นควรเลือกวาล์วปรับความดันที่สามารถลดความดันก๊าซให้ได้เท่ากับความดันบรรยากาศหรืออาจจะเรียกวาล์วชนิดนี้ว่า Zero governor



ภาพที่ 3-10 ส่วนประกอบของ Pressure regulator (Weishaupt, 1997)

3.3.2.4 โซลินอยด์วาล์วคู่ (Double solenoid valves หรือ Safety shut off valve) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ปิด-เปิดก๊าซอัตโนมัติ ซึ่งถ้ามีอัตราการไหลของก๊าซผิดปกติมันจะตัดการจ่ายก๊าซเข้าเครื่องจักรทันที ซึ่งโซลินอยด์ดังกล่าวอาจจะสร้างแยกกันไม่เกิน 1 เมตร หรือสร้างในตัวเรือนเดียวกันก็ได้ สำหรับเครื่องจักรที่มีขนาด 3000 kw เป็นต้นไปให้มีระบบตรวจสอบก๊าซรั่วที่โซลินอยด์วาล์วคู่ด้วย

Solenoid valve DMV-D



ภาพที่ 3-11 องค์ประกอบของโซลินอยด์วาล์วคู่ (Double solenoid valves) (สำนักเทคโนโลยี  
ความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม,2553)

#### เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า

หลังจากที่ก๊าซชีวภาพผ่านชุดอุปกรณ์ Gas train ก๊าซจะถูกปรับความดันและอัตราการไหล ต่อมาจะถูกส่งไปที่อุปกรณ์ที่ใช้ในการผสมก๊าซชีวภาพกับอากาศที่เรียกว่า Air-gas mixer แล้วจึงส่งไปที่เครื่องจักร ส่วนเครื่องจักรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้จะเป็นเครื่องแบบ สันดาปใน 4 จังหวะ โดยก๊าซชีวภาพจะถูกสูบเข้ากระบอกสูบในเครื่องยนต์ ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นเพื่ออัดความดันในกระบอกสูบ เกิดการจุดระเบิดพร้อมดันลูกสูบและคายไอเสีย ลูกสูบที่เคลื่อนที่ขึ้นลงเชื่อมต่อกับเพลาลูกเบี้ยว พลังงานที่ได้จากการขับเพลาลูกเบี้ยวให้หมุนจะถูกส่งไปที่ชุดกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป

เครื่องยนต์ 4 จังหวะ เดิมที่เป็นเครื่องที่ใช้กับก๊าซธรรมชาติแต่ถูกดัดแปลงมาให้สามารถใช้กับก๊าซชีวภาพได้ เป็นเครื่องยนต์ชนิดจุดระเบิดด้วยหัวเทียน (Lgnition spark plug) ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วงไม่เกิน 34-40% ของขนาดเครื่องยนต์ ส่วนใหญ่เครื่องยนต์ชนิดนี้ที่มีขายในตลาดจะมีขนาดตั้งแต่ 1 kW ถึง 2 MW และทำงานที่ 1500 รอบต่อนาที

ชุดอุปกรณ์ของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้านี้ประกอบด้วย 1) ชุดอุปกรณ์ Gas train ควบคุมอัตราการไหลและความดันก๊าซชีวภาพ ดังภาพที่ 3-12 2) เครื่องยนต์สันดาป ใน 4 จังหวะ ดังภาพที่ 3-10 3) ระบบควบคุมอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง เพื่อทำการวัดปริมาณเชื้อเพลิงและควบคุมอัตราการป้อนอากาศเข้าผสมกับเชื้อเพลิงในอัตราส่วนที่กำหนดโดยวาล์วควบคุมเชื้อเพลิงทำหน้าที่เร่งหรือหรืออัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่จะเข้าไปผสมกับอากาศที่คาร์บูเรเตอร์หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า หัวผสม (Mixer) โดยตัวควบคุมการทำงานของวาล์ว (Actuator) จะรับสัญญาณจากระบบควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ซึ่งได้รับสัญญาณจาก Sensor ตรวจจับความเร็วรอบมาอีกทอดหนึ่ง และ 4) คาร์บูเรเตอร์ชุดผสมเชื้อเพลิงกับอากาศทำหน้าที่ผสมอากาศกับเชื้อเพลิงให้ทั่วถึงก่อนเผาไหม้ในกระบอกสูบ



ภาพที่ 3-12 อุปกรณ์ชุด Gas train ของเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ (สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2553)



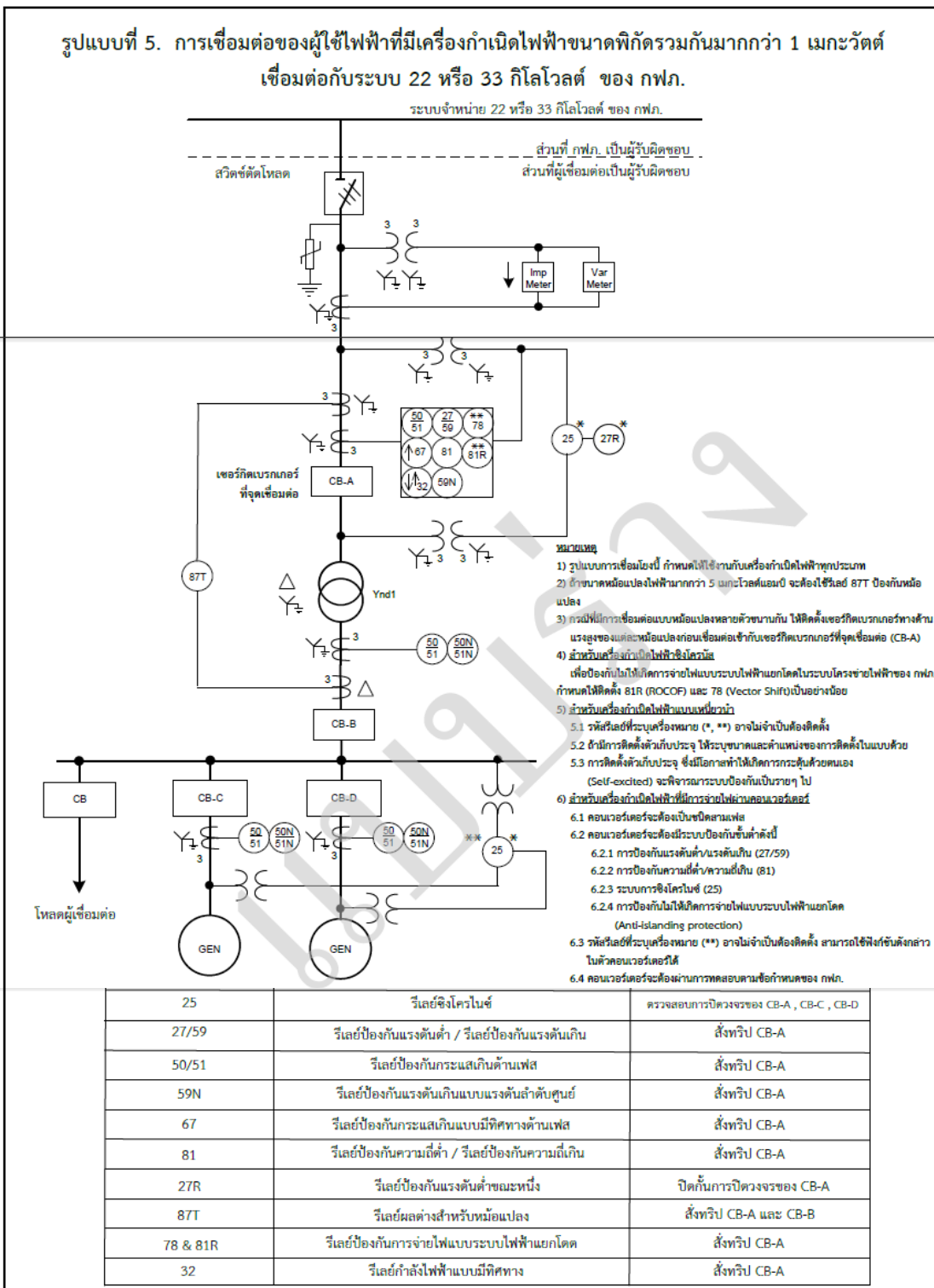
ภาพที่ 3-13 เครื่องยนต์สันดาปใน 4 จังหวะ

เครื่องยนต์ 4 จังหวะที่ใช้กับก๊าซชีวภาพขนาดปานกลางขึ้นไป (>500kW) จะมีระบบอัดส่วนผสมของก๊าซกับอากาศก่อน (Pre-compression) โดยใช้ Turbocharger แล้วจึงลดอุณหภูมิส่วนผสมก่อนเข้ากระบอกสูบ ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สูงขึ้น บ่อยครั้งที่เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพมักจะเผาไหม้ในช่วงที่ความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพเจือจาง (Lean burn range) คือ ช่วง  $1.3 < \lambda < 1.6$  ( $\lambda$  หมายถึง อัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ใช้จริงต่ออัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี) ซึ่งจะมีผลกับประสิทธิภาพของเครื่องยนต์แม้จะมี Turbocharger ทำให้มีประสิทธิภาพต่ำลงมาเล็กน้อยอยู่ในช่วง 33-39% อย่างไรก็ตามถ้ามีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพมาก ๆ จะทำให้เครื่องยนต์ทำงานไม่เสถียรหรืออาจทำให้เครื่องนี้ออกได้ ดังนั้นจึงควรรักษาความเข้มข้นของก๊าซมีเทนให้ไม่ต่ำกว่า 45%

ในการศึกษาครั้งนี้จะเลือกวิธีผลิตไฟฟ้าด้วยวิธีเครื่องยนต์ Gas engine เนื่องจากในตลาดไม่มีการผลิตเครื่องยนต์ Steam turbine ที่มีกำลังผลิตไฟฟ้าตั้งแต่ 0.2- 2 MW ดังนั้นการศึกษานี้จึงเหมาะสมที่จะเลือก เครื่องผลิตไฟฟ้า (Generator) ที่มีกำลังผลิตเท่ากับ 2 Mw เนื่องจากมีปริมาณก๊าซเหลือเพียงพอที่จะติดตั้งและเป็นขนาดกำลังผลิตที่มีขายจริงในปัจจุบัน

3.2.3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อม Grid กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเพื่อทำการจ่ายไฟฟ้าที่ผลิตได้เข้าสู่ระบบจะถูกแสดงในภาพที่ 3-14

รูปแบบที่ 5. การเชื่อมต่อของผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดพิกัดรวมกันมากกว่า 1 เมกะวัตต์  
เชื่อมต่อกับระบบ 22 หรือ 33 กิโลโวลต์ ของ กฟภ.



ภาพที่ 3-14 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมกริดกับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค  
(การไฟฟ้านครหลวง, 2558)



3.2.3.5 การหาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นว่าเหมาะสมที่จะติดตั้งเครื่องผลิตไฟฟ้าขนาดเท่าไร

การหาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้านั้นจะต้องเริ่มคิดที่ว่าบริษัทมีปริมาณก๊าซชีวภาพเหลือเท่าไรจากการใช้ก๊าซชีวภาพในกระบวนการอบยางและปริมาณก๊าซที่เหลือเพียงพอสำหรับการติดตั้งโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพขนาดเท่าไร โดยจะใช้ค่าพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ใน 10 ปีข้างหน้าตามอายุโครงการ มาลบกับค่าพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพในการอบยางพารา ในอีก 10 ปีข้างหน้าตามอายุโครงการ หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาเฉลี่ยเพื่อใช้ในการคำนวณหาขนาดของเครื่องผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ซึ่งในการศึกษาค้างนี้จะนำวิธีพยากรณ์ทั้ง 9 วิธี ดังนี้

- 1) Moving average
- 2) Weighted moving average
- 3) Exponential smoothing
- 4) Stationary data with additive seasonal effects
- 5) Double moving average
- 6) Double exponential smoothing
- 7) Linear regression
- 8) Quadratic trend model และ
- 9) Holt-winter's method with additive seasonal effects

โดยจะเลือกการพยากรณ์วิธีที่มีค่า MSE (Mean square error) ที่มีค่าน้อยที่สุดมาใช้ในการพยากรณ์ โดยแต่ละวิธีมีรายละเอียดการคำนวณ (ข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ในการศึกษาค้างนี้จะป็นข้อมูลปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2556-2558 เนื่องจากปี พ.ศ. 2554-2555 ยังไม่มีการสร้างบ่อบำบัดน้ำเสียระบบ Modify cover lagoon: MCL เพิ่มเติมเพื่อรองรับปริมาณการผลิตน้ำมันปาล์มทำให้ปริมาณก๊าซแตกต่างกันมาก ส่วนในปี พ.ศ. 2556-2558 จากข้อมูลพบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อบำบัดทั้งสองบ่อยังไม่เต็มประสิทธิภาพของบ่อบำบัดที่สร้างเพิ่มเติมซึ่งถ้ารวมกับบ่อบำบัดที่มีอยู่แล้วจะสามารถเก็บก๊าซชีวภาพได้ถึง 1,310,000 คิวต่อเดือน) ในการศึกษาค้างนี้จะขอแสดงวิธีการพยากรณ์เพียงแต่ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเท่านั้น เนื่องการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบยางพาราจะใช้วิธีเดียวกัน โดยการคำนวณดังกล่าวจะถูกแสดงในบทที่ 4

หลังจากที่พยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นและปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบยางพารา แล้วเราจะหาค่าการพยากรณ์ของปริมาณก๊าซคงเหลือเพื่อนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าโดยนำค่าพยากรณ์ของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นลบค่าพยากรณ์ของปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการอบยางพารา

จากค่าพยากรณ์ที่ได้ปริมาณก๊าซที่เหลือจากกระบวนการอบยางแล้วก็นำมาหาค่าศักยภาพการผลิตไฟฟ้าได้ดังนี้

$$= \frac{\text{ปริมาณก๊าซชีวภาพ (Nm}^3\text{)} \times \text{ค่าความร้อนก๊าซชีวภาพ } \left(\frac{\text{MJ}}{\text{Nm}^3}\right) \times \text{ประสิทธิภาพเครื่องผลิตไฟฟ้า}}{3.6 \left(\frac{\text{MJ}}{\text{kwh}}\right) \times 1000 \left(\frac{\text{kwh}}{\text{Mwh}}\right) \times 335 \left(\frac{\text{วัน}}{\text{ปี}}\right) \times 24 \left(\frac{\text{ช. ม.}}{\text{วัน}}\right)}$$

#### 4. การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าจากน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มและยางพารา

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้เครื่องมือ 4 ตัว ในการวัดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราส่วนระหว่าง กำไรต่อทุน (B/C ratio) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ระยะเวลาคืนทุนแบบอัตราคิดลด (Discounted payback period) นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าทั้ง 4 ดังกล่าวข้างต้น โดยใช้ Sensitivity analysis (สมการคำนวณและวิธีการวิเคราะห์ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อการวิเคราะห์ทางการเงินของโครงการ โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน) แต่ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์เราต้องทราบถึงงบลงทุน รายรับ และรายจ่ายของโครงการเสียก่อน โดยมีดังนี้

4.1 งบลงทุนของโครงการ (Fixed cost) ประกอบไปด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่เป็นโรงไฟฟ้าและส่วนที่เป็นบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ ดังตารางที่ 3-2 และตารางที่ 3-3 ตามลำดับ

ตารางที่ 3-2 ส่วนที่เป็นงบลงทุนส่วนโรงไฟฟ้า

ลำดับที่	รายการ	ราคา (บาท)
1	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า กำลังการผลิต 2MW/hr.	16,000,000
2	ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	1,380,300
3	อุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	8,063,520
4	หม้อแปลงไฟฟ้า 3,000 kVA และ 250 kVA	1,513,200
5	อาคาร Power house	4,682,199
6	ติดตั้งระบบท่อเข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	80,000
7	ติดตั้งระบบ SCADA	1,534,915

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

ลำดับที่	รายการ	ราคา (บาท)
8	ติดตั้งไฟฟ้าแรงสูง	4,292,626
9	ติดตั้งระบบแสงสว่างของอาคาร	1,038,153
10	ติดตั้งมอเตอร์วัดค่านแรงสูง 2 ตัว	1,412,400
11	ติดตั้งระบบ Absorption	4,500,000
12	หลังคาคลุม Absorption chiller	298,209
13	ติดตั้งอุปกรณ์ล่อฟ้า	270,329
14	ค่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	1,875,070
	รวม	30,940,922

ตารางที่ 3-3 งบลงทุนส่วนที่เป็นบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ

ลำดับที่	รายการ	งบประมาณที่ใช้
1	ค่าดำเนินการก่อสร้างโครงการบ่อหมัก CSTR#1	30,000,000
2	ค่าดำเนินการก่อสร้างโครงการบ่อหมัก MCL#2	20,000,000
3	ระบบการทำความสะอาดเชื้อเพลิงชีวภาพ	1,700,000
4	ระบบการกำจัดความชื้นและอุณหภูมิ	3,000,000
5	เครื่องวัดคุณภาพก๊าซชีวภาพ	600,000
6	ระบบ Flare gas	2,000,000
7	Flow gas meter	250,000
8	Blower gas	500,000
9	ระบบท่อ	10,000,000
10	ค่าดำเนินการติดตั้งระบบไฟฟ้าและควบคุม	20,000,000
11	ระบบไฟฟ้า	10,000,000
	รวม	98,050,000

จากตารางที่ 3-2 และตารางที่ 3-3 สรุปได้ว่างบลงทุนที่ใช้ในการสร้างโรงไฟฟ้า ก๊าซชีวภาพขนาด 2 MW จะเท่ากับ 128,990,922 บาท

4.2 รายจ่ายประจำปีของโครงการ (Variable cost) ประกอบด้วยค่าแรงงาน ค่าไฟฟ้า และค่าน้ำในอาคารสำนักงานของโรงไฟฟ้า รายจ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 บ่อ และ ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักรในส่วนของการผลิตก๊าซชีวภาพและส่วนที่เป็นโรงไฟฟ้า รายละเอียดดัง ตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 ค่าแรงในส่วนของบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ

ตำแหน่ง	เงินเดือน	จำนวน	คิดที่ 1 ปี
ผจก.	35,000.00	1	420,000
หัวหน้าแผนก	20,000.00	1	240,000
เจ้าหน้าที่	15,000.00	5	900,000
พนักงาน	10,000.00	6	720,000
ปฏิบัติการ	8,000.00	15	1,440,000
รวม	88,000.00	28	3,720,000

ตารางที่ 3-5 ค่าแรงส่วนของโรงไฟฟ้า

ตำแหน่ง	เงินเดือน	จำนวน	คิดที่ 1 ปี
หัวหน้า	15,000	1	180,000
เจ้าหน้าที่	12,000	6	864,000
รวม	27,000	7.00	1,044,000

ตารางที่ 3-6 ค่าแรงในส่วนของแผนกวิศวกรรม

ตำแหน่ง	เงินเดือน	จำนวน	คิดที่ 1 ปี
หัวหน้า	15,000	1	180,000
เจ้าหน้าที่	12,000	6	864,000
รวม	27,000	7	1,044,000

4.3 ค่าแรง จากตารางที่ 3-4-ตารางที่ 3-6 รวมรายได้ทั้งหมดได้เท่ากับ 5,808,000 บาท/ปี และจะมีอัตราเพิ่มเงินเดือนที่ ร้อยละ 1.5 ทุกปี

4.4 ค่าไฟฟ้าและค่าน้ำในอาคารสำนักงานของโรงไฟฟ้าเท่ากับ 13,000,000 บาท/ปี หรือประมาณ 1,083,333.33 บาท/เดือน และจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.5 ต่อปี

4.5 รายจ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 บ่อ เท่ากับ 4,000,000 บาท/ปี หรือประมาณ 333,333.33 บาท/เดือน และจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.5 ต่อปี

4.6 รายจ่ายด้านค่าบำรุงรักษา ประกอบด้วย

ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักรเครื่องปั้นไฟฟ้า เท่ากับ 1,752,000 บาท/ปี ส่วนของบ่อก๊าซชีวภาพเท่ากับ 3,000,000 บาท/ปี รวมเป็น 4,752,000 บาท/ปี และจะเพิ่มร้อยละ 0.5 ต่อปี

4.7 รายรับของโครงการ\_รายรับของโครงการจะได้จากการขายไฟฟ้าด้วยระบบรับซื้อที่เป็นนโยบายของรัฐ คือ ระบบ Feed in tariff แสดงในภาพที่ 3-12

อัตรารับซื้อไฟฟ้าในรูปแบบ FIT ที่ประกาศใช้ในปี 2558 : สำหรับโครงการ VSPP กลุ่มพลังงานชีวมวล						
กำลังผลิต (MW)	FIT (บาท/หน่วย)			ระยะเวลา สนับสนุน (ปี)	FIT Premium (บาท/หน่วย)	
	FIT <sub>F</sub>	FIT <sub>V,2560</sub>	FIT <sup>(1)</sup>		สำหรับโครงการ กลุ่มเชื้อเพลิงชีวมวล (8 ปีแรก)	สำหรับโครงการในพื้นที่ จังหวัดชายแดนภาคใต้ <sup>(2)</sup> (ตลอดอายุโครงการ)
<b>1) ชยะ (การจัดการขยะแบบผสมผสาน)</b>						
กำลังผลิตติดตั้ง ≤ 1 MW	3.13	3.21	6.34	20 ปี	0.70	0.50
กำลังผลิตติดตั้ง > 1-3 MW	2.61	3.21	5.82	20 ปี	0.70	0.50
กำลังผลิตติดตั้ง > 3 MW	2.39	2.69	5.08	20 ปี	0.70	0.50
<b>2) ชยะ (หลุมฝังกลบขยะ)</b>						
ทุกขนาด	5.60	-	5.60	10 ปี	-	0.50
<b>3) ชีวมวล</b>						
กำลังผลิตติดตั้ง ≤ 1 MW	3.13	2.21	5.34	20 ปี	0.50	0.50
กำลังผลิตติดตั้ง > 1-3 MW	2.61	2.21	4.82	20 ปี	0.40	0.50
กำลังผลิตติดตั้ง > 3 MW	2.39	1.85	4.24	20 ปี	0.30	0.50
<b>4) ก๊าซชีวภาพ (น้ำเสีย/ของเสีย)</b>						
ทุกขนาด	3.76	-	3.76	20 ปี	0.50	0.50
<b>5) ก๊าซชีวภาพ (พืชพลังงาน)</b>						
ทุกขนาด	2.79	2.55	5.34	20 ปี	0.50	0.50

หมายเหตุ (1) อัตรา FITV จะเพิ่มขึ้นต่อเนื่องตามอัตราเงินเฟ้อขั้นพื้นฐาน (Core Inflation)

(2) โครงการในพื้นที่จังหวัดยะลา ปัตตานี นราธิวาส และ 4 อำเภอในจังหวัดสงขลา ได้แก่ อ.จะนะ อ.เทพา อ.สะบ้าย้อย และ อ.นาทวี

### ภาพที่ 3-15 อัตรารับซื้อแบบ Feed in tariff ของกลุ่มพลังงานชีวมวล

(สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2558)

จากภาพที่ 3-15 จะพบว่าราคาซื้อไฟฟ้าในส่วนที่เป็นก๊าซชีวภาพทุกขนาดจะรับซื้อที่ 3.76 บาทต่อหน่วยตลอดอายุสัญญา 20 ปี และเพิ่มในส่วนของ Fit premium อีก 0.5 บาทใน 8 ปีแรก ดังนั้นรายได้ใน 8 ปีแรกเท่ากับ 2000kW (กำลังเครื่องผลิตไฟฟ้า \*8,040 ชั่วโมง การผลิตต่อปี) \*4.26 บาทต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ 68,500,800 บาทต่อปี ในช่วง 8 ปีแรก และ 60,460,800 บาทต่อปี ในปีถัดไป

#### 4.8 ข้อกำหนดในการคำนวณ

4.8.1 ค่าแรงงานและเงินเดือนบุคลากรจะประกอบด้วยผู้จัดการวิศวกรช่างไฟฟ้า และคนงานซึ่งจากเงื่อนไขที่กำหนดขึ้น คือ จะเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.5 ในทุก ๆ ปี ของค่าแรงงานและเงินเดือนบุคลากรตลอดทั้งโครงการ

4.8.2 ค่าน้ำค่าไฟฟ้าและค่าน้ำในอาคาร ค่าเดินระบบน้ำเสีย 2 บ่อและค่าบำรุงรักษาเงื่อนไขที่กำหนดขึ้น คือ เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.5 ของทุก ๆ ปี

4.8.3 กำหนดให้อายุโครงการเท่ากับ 10 ปี ตามอายุการใช้งานทางเทคนิคของโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก

4.8.4 ในการศึกษาครั้งนี้มีอัตราคิดลดร้อยละ 10 ที่อัตราดอกเบี้ย 10% ซึ่งเป็นอัตราดอกเบี้ยพันธบัตรรัฐบาลในระยะสั้นและระยะยาวเนื่องจากการลงทุนโรงไฟฟ้าชีวมวล

ขนาดเล็กสำหรับชุมชนเป็น โครงการที่เอกชนเป็นผู้ลงทุนดังนั้นการคิดอัตราส่วนลดจึงยึดตาม ดอกเบี้ยพันธบัตรรัฐบาลและเป็นค่าอัตราคิดลดที่อยู่ในช่วงอัตราคิดลด 8-15% ของประเทศกำลัง พัฒนา

4.8.5 กำหนดให้กำลังการผลิตทั้งสิ้น 335 วัน มีจำนวนวันที่จะบำรุงการรักษารักษา 30 วัน ดังนั้นในแต่ละปีจะมีชั่วโมงการเดินเครื่อง 8,040 ชั่วโมง (24 ชั่วโมง x 335 วัน)

5. การวิเคราะห์ตัวแปรที่เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ได้แก่ ราคาซื้อขายไฟฟ้า ต้นทุนคงที่ อัตราคิดลด และกำลังผลิตไฟฟ้า อัตราผลตอบแทนโครงการ (IRR) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อทุน (Benefit per cost ratio) และระยะเวลาคืนทุน (Discounted payback period) ของโครงการมากที่สุดโดยใช้ทฤษฎี Sensitivity analysis

จะทำโดยการเปลี่ยนแปลงตัวแปร ได้แก่ ราคาซื้อขายไฟฟ้า ต้นทุนคงที่ อัตราคิดลด และ กำลังการผลิตไฟฟ้า ตั้งแต่ -10% -5% 5% 10% แล้วดูผลกระทบที่เกิดขึ้นกับมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนโครงการ (IRR) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อทุน (Benefit per cost ratio) และระยะเวลาคืนทุน (Discounted payback period) แล้วนำค่าที่ได้มา Plot กราฟเพื่อเปรียบเทียบว่า ปัจจัยใดมีผลกระทบกับตัวชี้วัดทั้ง 4 ตัวของโครงการมากที่สุดเพื่อเป็นข้อระวังในการดำเนิน โครงการซึ่งจะถูกสรุปในบทที่ 4

## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่ได้จากน้ำเสียในกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มและยางพาราของบริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น ซึ่งมีขอบเขตการวิจัยประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนที่ 1 การพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่จะเกิดขึ้น และพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพในกระบวนการอบยางเพื่อหาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เหลือใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ส่วนที่ 2 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าจากน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มและยางพารา และส่วนที่ 3 วิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (Sensitivity analysis) ซึ่งผลการศึกษาที่ได้มีดังนี้

#### การพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่จะเกิดขึ้น และพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพในกระบวนการอบยางเพื่อหาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เหลือใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

ในการวิจัยครั้งนี้จะทำการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่จะเกิดขึ้น และจะพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพในกระบวนการอบยางเพื่อหาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เหลือใช้ในการผลิตไฟฟ้า โดยจะมีการหาค่า Mean square error: MSE ของวิธีการพยากรณ์ 9 แบบ ได้แก่ Moving average, Weighted moving average, Exponential smoothing, Stationary data with additive seasonal effects, Double moving average, Double exponential smoothing, Linear regression, quadratic trend model และ Holt-winter's method for additive seasonal effects โดยจะเลือกวิธีที่มีค่า MSE น้อยที่สุดมาใช้ในการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในอีก 10 ปีข้างหน้าตามอายุโครงการ ในการนี้ผู้วิจัยได้แสดงวิธีการคำนวณการพยากรณ์ทั้ง 9 วิธีพร้อมทั้งผลของการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น และปริมาณก๊าซชีวภาพที่ถูกใช้ในกระบวนการอบยางพาราซึ่งได้ผลดังนี้

#### 1. วิธี Moving average

วิธีที่ 1 Moving average จะพยากรณ์จากสมการ

$$\hat{Y}_{t+1} = (Y_t + Y_{t-1} + \dots + Y_{t-k+1})/k \quad (4-1)$$



$\hat{Y}_{(t+1)}$  = ปริมาณก๊าซชีวภาพ ณ เวลาที่จะทำการพยากรณ์

$Y_t$  = ปริมาณก๊าซชีวภาพในเวลาที  $t$

$k$  = ช่วงเวลาที่ใช้ในการเฉลี่ย (โดยที่  $k \geq 2$ )

$t$  = เวลาของโครงการ ณ เวลานั้น (โดยที่  $t = 1$  ถึง เวลาสุดท้ายที่มีข้อมูลจริง)

ในการทำนายในครั้งนี้จะใช้ค่า  $k = 2$  และ 4 และนำมาเปรียบเทียบค่า MSE เพื่อใช้ในการเลือกค่า  $k$  ที่จะนำมาพยากรณ์ในครั้งนี้

ตัวอย่างค่า  $k = 2$  จะเริ่มพยากรณ์ได้ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2556 เนื่องจากต้องนำปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นใน 2 เดือนแรกมาเฉลี่ยกัน

$$\hat{Y}_3 = (Y_2 + Y_1)/2$$

$$= (956,375 + 1,027,250)/2$$

$$= 991,813 \text{ ค่าพยากรณ์ เดือนมีนาคม 2556}$$

$$\hat{Y}_4 = (Y_3 + Y_2)/2$$

$$= (1,027,250 + 1,030,575)/2$$

$$= 1,028,913 \text{ ค่าพยากรณ์ เดือนเมษายน 2556}$$

ทำไปเรื่อยๆจนถึง  $\hat{Y}_{36}$

ตัวอย่างค่า  $k = 4$  จะเริ่มพยากรณ์ได้ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2556 เนื่องจากต้องนำปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นใน 4 เดือนแรกมาเฉลี่ยกัน

$$\hat{Y}_5 = (Y_4 + Y_3 + Y_2 + Y_1)/4$$

$$= (956,375 + 1,027,250 + 1,030,575 + 1,011,325)/4$$

$$= 1,006,381 \text{ ค่าพยากรณ์เดือนพฤษภาคม 2556}$$

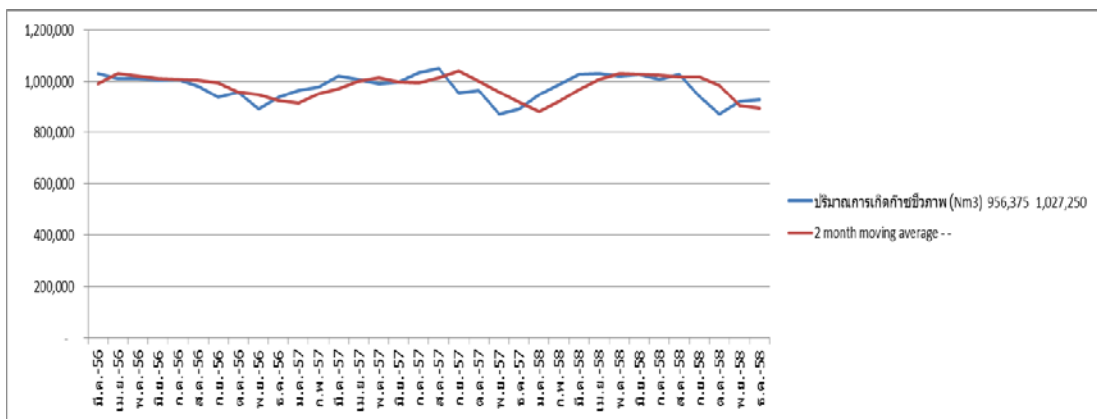
คำนวณไปจนถึง  $\hat{Y}_{36}$  ส่วนการหาค่า MSE จะทำโดยเอาผลต่างของค่าจริงและ

ค่าพยากรณ์มายกกำลัง 2 และหารด้วยจำนวนข้อมูลที่เริ่มทำนาย ส่วนการเปรียบเทียบของค่า  $k = 2$  และ 4 นั้นจะต้องเริ่มจากเดือนพฤษภาคม 2556 เนื่องจากจะต้องคำนวณจากจำนวนข้อมูลที่เท่ากัน

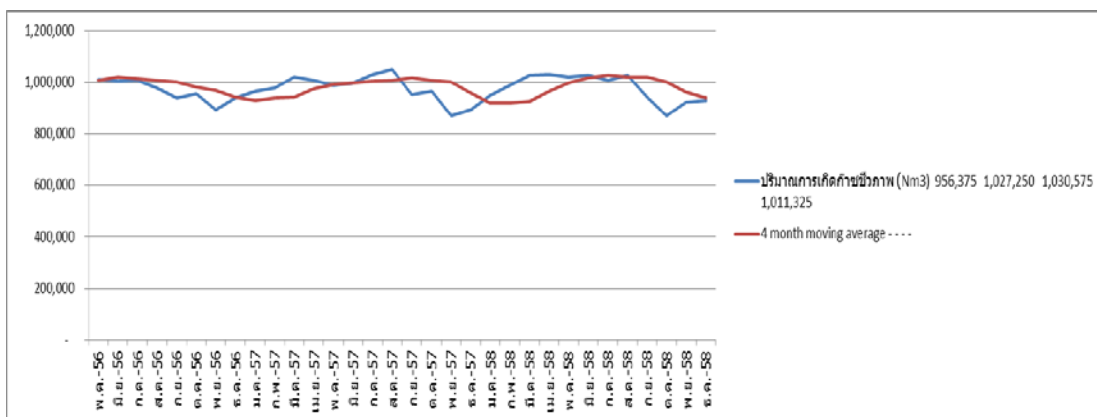
ตารางที่ 4-1 ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อบำบัดน้ำเสียของ  
บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Moving average ที่ k = 2 และ 4 months

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ	2 month moving	4 month moving	MSE 2 months	MSE 4 months
		(Nm <sup>3</sup> )	average	average		
2556	ม.ค.-56	956,375	-	-	2,032,075,793	3,062,596,842
	ก.พ.-56	1,027,250	-	-		
	มี.ค.-56	1,030,575	991,813	-		
	เม.ย.-56	1,011,325	1,028,913	-		
	พ.ค.-56	1,010,765	1,020,950	1,006,381		
	มิ.ย.-56	1,002,995	1,011,045	1,019,979		
	ก.ค.-56	1,007,090	1,006,880	1,013,915		
	ส.ค.-56	979,090	1,005,043	1,008,044		
	ก.ย.-56	937,475	993,090	999,985		
	ต.ค.-56	956,235	958,283	981,663		
	พ.ย.-56	891,730	946,855	969,973		
	ธ.ค.-56	937,615	923,983	941,133		
2557	ม.ค.-57	964,460	914,673	930,764		
	ก.พ.-57	978,705	951,038	937,510		
	มี.ค.-57	1,020,355	971,583	943,128		
	เม.ย.-57	1,006,740	999,530	975,284		
	พ.ค.-57	988,820	1,013,548	992,565		
	มิ.ย.-57	996,730	997,780	998,655		
	ก.ค.-57	1,031,730	992,775	1,003,161		
	ส.ค.-57	1,049,930	1,014,230	1,006,005		
	ก.ย.-57	953,015	1,040,830	1,016,803		
	ต.ค.-57	964,460	1,001,473	1,007,851		
	พ.ย.-57	871,395	958,738	999,784		
	ธ.ค.-57	891,730	917,928	959,700		
2558	ม.ค.-58	948,955	881,563	920,150		
	ก.พ.-58	988,260	920,343	919,135		
	มี.ค.-58	1,027,880	968,608	925,085		
	เม.ย.-58	1,031,030	1,008,070	964,206		
	พ.ค.-58	1,019,375	1,029,455	999,031		
	มิ.ย.-58	1,027,740	1,025,203	1,016,636		
	ก.ค.-58	1,007,615	1,023,558	1,026,506		
	ส.ค.-58	1,027,775	1,017,678	1,021,440		
	ก.ย.-58	941,395	1,017,695	1,020,626		
	ต.ค.-58	871,220	984,585	1,001,131		
	พ.ย.-58	921,235	906,308	962,001		
	ธ.ค.-58	929,145	896,228	940,406		

จากการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อบำบัดน้ำเสียแบบ Moving average พบว่าการพยากรณ์โดยใช้ช่วงของเวลาที่นำมาเฉลี่ย  $k = 2$  months แม่นยำกว่า การใช้ช่วงของเวลาที่นำมาเฉลี่ย  $k = 4$  months เนื่องจากมีค่า MSE น้อยกว่าซึ่งเท่ากับ 2,032,075,793 และ 3,062,596,842 ตามลำดับ จึงยึดการทำนายที่ใช้ช่วงของเวลาที่นำมาเฉลี่ย  $k = 2$  months มาเปรียบเทียบการพยากรณ์วิธีอื่น



ภาพที่ 4-1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริงตั้งแต่เดือน มีนาคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Moving average ที่  $k = 2$  months

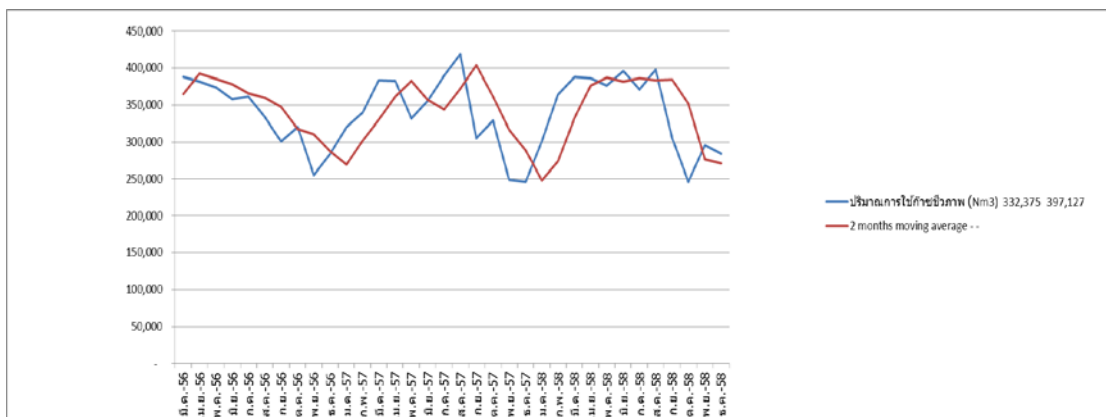


ภาพที่ 4-2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริงตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Moving average ที่  $k = 4$  months

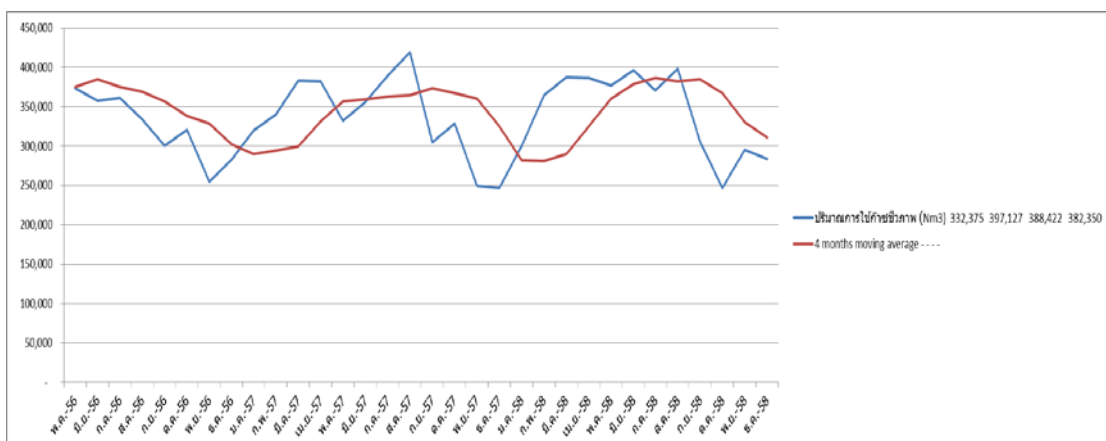
ตารางที่ 4-2 ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบยางพาราของ  
บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Moving average ที่ k = 2 และ 4 months

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ	2 months moving	4 months moving	MSE 2 months	MSE 4 months
		(Nm <sup>3</sup> )	average	average		
2556	ม.ค.-56	332,375	-	-	2,103,167,256	3,055,828,851
	ก.พ.-56	397,127	-	-		
	มี.ค.-56	388,422	364,751	-		
	เม.ย.-56	382,350	392,775	-		
	พ.ค.-56	373,814	385,386	375,069		
	มิ.ย.-56	357,759	378,082	385,428		
	ก.ค.-56	361,349	365,787	375,586		
	ส.ค.-56	333,855	359,554	368,818		
	ก.ย.-56	300,777	347,602	356,694		
	ต.ค.-56	320,454	317,316	338,435		
	พ.ย.-56	255,189	310,616	329,109		
	ธ.ค.-56	283,364	287,822	302,569		
2557	ม.ค.-57	320,004	269,277	289,946		
	ก.พ.-57	339,730	301,684	294,753		
	มี.ค.-57	383,702	329,867	299,572		
	เม.ย.-57	382,504	361,716	331,700		
	พ.ค.-57	331,897	383,103	356,485		
	มิ.ย.-57	355,607	357,201	359,458		
	ก.ค.-57	389,531	343,752	363,428		
	ส.ค.-57	418,947	372,569	364,885		
	ก.ย.-57	305,163	404,239	373,996		
	ต.ค.-57	328,837	362,055	367,312		
	พ.ย.-57	249,242	317,000	360,620		
	ธ.ค.-57	246,607	289,040	325,547		
2558	ม.ค.-58	300,802	247,925	282,462		
	ก.พ.-58	364,685	273,705	281,372		
	มี.ค.-58	387,957	332,744	290,334		
	เม.ย.-58	386,494	376,321	325,013		
	พ.ค.-58	376,712	387,226	359,985		
	มิ.ย.-58	396,317	381,603	378,962		
	ก.ค.-58	370,957	386,515	386,870		
	ส.ค.-58	397,788	383,637	382,620		
	ก.ย.-58	305,442	384,373	385,444		
	ต.ค.-58	246,652	351,615	367,626		
	พ.ย.-58	295,361	276,047	330,210		
	ธ.ค.-58	283,992	271,007	311,311		

จากการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบขางพาราแบบ Moving average พบว่าการพยากรณ์โดยใช้ช่วงของเวลาที่นำมาเฉลี่ย  $k = 2$  months แม่นยำกว่า การใช้ช่วงของเวลาที่นำมาเฉลี่ย  $k = 4$  months เนื่องจากมีค่า MSE น้อยกว่าซึ่งเท่ากับ 2,103,167,256 และ 3,055,828,851 ตามลำดับ จึงยึดการทำนายที่ใช้ช่วงของเวลาที่นำมาเฉลี่ย  $k = 2$  months เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับวิธีการพยากรณ์อื่น



ภาพที่ 4-3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้จริงในกระบวนการอบขางพาราตั้งแต่เดือนมีนาคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Moving average ที่  $k = 2$  months



ภาพที่ 4-4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้จริงในกระบวนการอบขางพาราตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Moving average ที่  $k = 4$  months

## 2. วิธี Weighted moving average

วิธีที่ 2 การพยากรณ์แบบ Weighted moving average เป็นการพยากรณ์ข้อมูลที่เป็น Stationary data ซึ่งสามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ 4-2

$$\hat{Y}_{t+1} = w_1 Y_t + w_2 Y_{t-1} + \dots + w_k Y_{t-k+1} \quad (4-2)$$

$\hat{Y}_{(t+1)}$  = ปริมาณก๊าซชีวภาพ ณ เวลาที่จะทำการพยากรณ์

$Y_t$  = ปริมาณก๊าซชีวภาพเวลาที่  $t$

$k$  = ช่วงเวลาที่ใช้ในการเฉลี่ย (โดยที่  $k \geq 2$ )

$t$  = เวลาของโครงการ ณ เวลานั้น (โดยที่  $t = 1$  ถึง เวลาสุดท้ายที่มีข้อมูลจริง)

$w_1$  = ค่าถ่วงน้ำหนักหน้า  $Y_t$  ;  $w_1 + w_2 = 1$

$w_2$  = ค่าถ่วงน้ำหนักหน้า  $Y_{t-1}$ ;  $w_1 + w_2 = 1$

$w_k = 1/k$

ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ค่า  $k=2$  ทำให้จะเริ่มพยากรณ์ได้ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2556 โดยแทนค่าได้ ดังนี้ (โดยค่า  $w_1$  และ  $w_2$  จะได้มาโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำการแทนค่า  $w_1$  และ  $w_2$  ในสมการเพื่อให้ได้ค่า MSE ที่น้อยที่สุดซึ่งจะได้ค่า  $w_1 = 0.978004677$ ,  $w_2 = 0.021996286$ )

$$\begin{aligned} \hat{Y}_3 &= w_1 Y_2 + w_2 Y_1 \\ &= (0.978004677 * 1,027,250) + (0.021996286 * 956,375) \\ &= 1,025,692 \text{ Nm}^3 \text{ ค่าพยากรณ์เดือนมีนาคม 2556} \end{aligned}$$

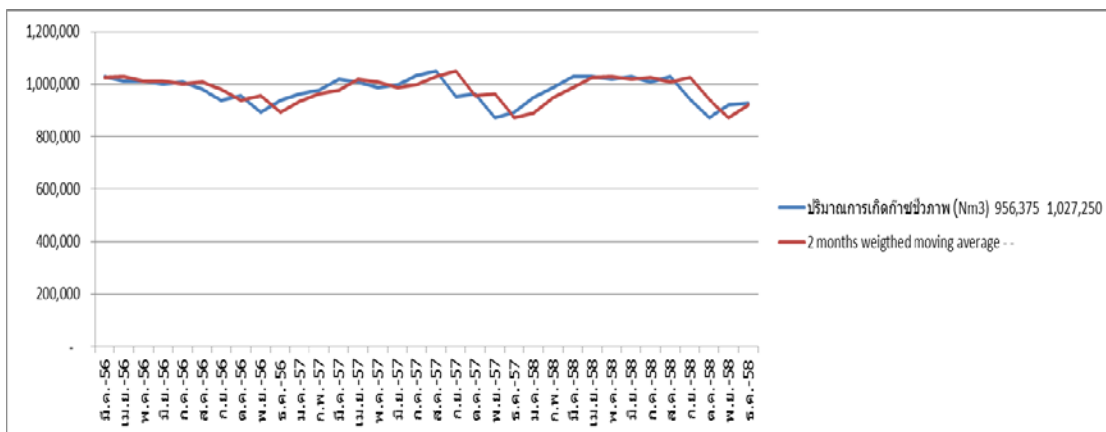
คำนวณไปจนถึง  $\hat{Y}_{36}$  หลังจากนั้นให้หาค่า MSE เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีพยากรณ์

วิธีอื่น

ตารางที่ 4-3 ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อบำบัดน้ำเสียของบริษัท  
กลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Weighted Moving Average ที่  $k = 2$  months

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ 2 months weighthed			
		(Nm3)	moving average		
2556	ม.ค.-56	956,375	-	w1	0.978004677
	ก.พ.-56	1,027,250	-	w2	0.021996286
	มี.ค.-56	1,030,575	1,025,692	sum	1.000000963
	เม.ย.-56	1,011,325	1,030,503		
	พ.ค.-56	1,010,765	1,011,749	MSE	1,626,839,048
	มิ.ย.-56	1,002,995	1,010,778		
	ก.ค.-56	1,007,090	1,003,167		
	ส.ค.-56	979,090	1,007,001		
	ก.ย.-56	937,475	979,707		
	ต.ค.-56	956,235	938,391		
	พ.ย.-56	891,730	955,823		
	ธ.ค.-56	937,615	893,150		
	2557	ม.ค.-57	964,460	936,607	
ก.พ.-57		978,705	963,870		
มี.ค.-57		1,020,355	978,393		
เม.ย.-57		1,006,740	1,019,440		
พ.ค.-57		988,820	1,007,040		
มิ.ย.-57		996,730	989,215		
ก.ค.-57		1,031,730	996,557		
ส.ค.-57		1,049,930	1,030,961		
ก.ย.-57		953,015	1,049,531		
ต.ค.-57		964,460	955,148		
พ.ย.-57		871,395	964,209		
ธ.ค.-57	891,730	873,443			
2558	ม.ค.-58	948,955	891,284		
	ก.พ.-58	988,260	947,697		
	มี.ค.-58	1,027,880	987,396		
	เม.ย.-58	1,031,030	1,027,009		
	พ.ค.-58	1,019,375	1,030,962		
	มิ.ย.-58	1,027,740	1,019,632		
	ก.ค.-58	1,007,615	1,027,557		
	ส.ค.-58	1,027,775	1,008,059		
	ก.ย.-58	941,395	1,027,333		
	ต.ค.-58	871,220	943,296		
	พ.ย.-58	921,235	872,764		
ธ.ค.-58	929,145	920,136			

จากการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อบำบัดน้ำเสียแบบ Weighted moving average ที่ช่วงของการเฉลี่ย  $k = 2$  months พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์  $w_1$  และ  $w_2$  เท่ากับ 0.97 และ 0.022 ตามลำดับและมีค่า  $MSE = 1,626,839,048$



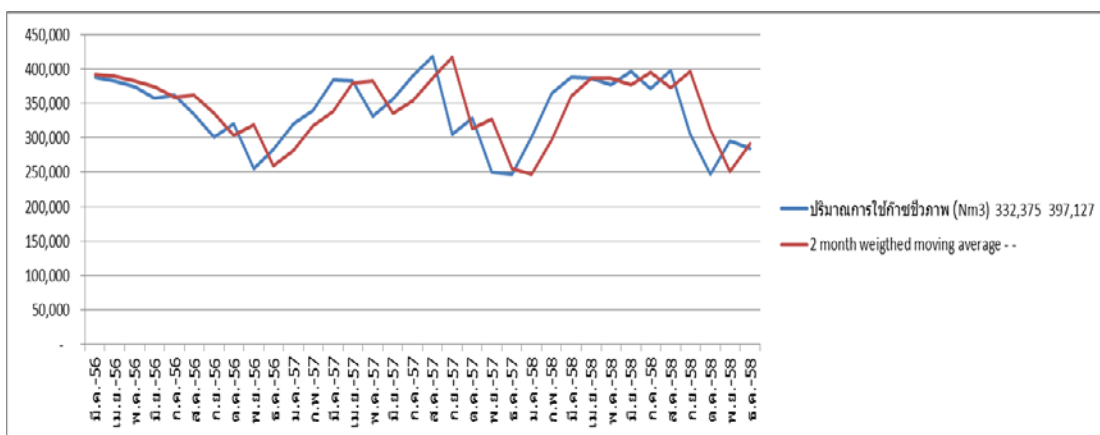
ภาพที่ 4-5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริง ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Weighted moving average ที่  $k = 2$  months



ตารางที่ 4-4 ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบยางพาราของบริษัท  
กลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Weighted moving average ที่  $k = 2$  months

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ 2 month weighed			
		(Nm <sup>3</sup> )	moving average		
2556	ม.ค.-56	332,375	-	w1	0.924257003
	ก.พ.-56	397,127	-	w2	0.075742997
	มี.ค.-56	388,422	392,222	sum	1
	เม.ย.-56	382,350	389,081		
	พ.ค.-56	373,814	382,810	MSE	1,762,466,893
	มิ.ย.-56	357,759	374,461		
	ก.ค.-56	361,349	358,975		
	ส.ค.-56	333,855	361,077		
	ก.ย.-56	300,777	335,937		
	ต.ค.-56	320,454	303,282		
	พ.ย.-56	255,189	318,964		
	ธ.ค.-56	283,364	260,132		
	2557	ม.ค.-57	320,004	281,230	
ก.พ.-57		339,730	317,229		
มี.ค.-57		383,702	338,236		
เม.ย.-57		382,504	380,371		
พ.ค.-57		331,897	382,595		
มิ.ย.-57		355,607	335,730		
ก.ค.-57		389,531	353,811		
ส.ค.-57		418,947	386,961		
ก.ย.-57		305,163	416,719		
ต.ค.-57		328,837	313,781		
2558	พ.ย.-57	249,242	327,044		
	ธ.ค.-57	246,607	255,271		
	ม.ค.-58	300,802	246,807		
	ก.พ.-58	364,685	296,697		
	มี.ค.-58	387,957	359,846		
	เม.ย.-58	386,494	386,194		
	พ.ค.-58	376,712	386,605		
	มิ.ย.-58	396,317	377,453		
	ก.ค.-58	370,957	394,832		
	ส.ค.-58	397,788	372,878		
	ก.ย.-58	305,442	395,756		
	ต.ค.-58	246,652	312,437		
พ.ย.-58	295,361	251,105			
ธ.ค.-58	283,992	291,672			

จากการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบขางพาราแบบ Weighted moving average ที่ช่วงของการเฉลี่ย  $k = 2$  months พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์  $w_1$  และ  $w_2$  เท่ากับ 0.92 และ 0.08 ตามลำดับหมายความว่าข้อปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริงในเดือนที่ 1 ที่จะนำมาเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงของเดือนที่จะทำนายมากกว่าข้อมูลในเดือนที่ 2 และมีค่า  $MSE = 1,762,466,893$



ภาพที่ 4-6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้จริงในกระบวนการอบขางพาราตั้งแต่เดือนมีนาคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Weighted moving average ที่  $k = 2$  months

### 3. วิธี Exponential smoothing

วิธีที่ 3 การพยากรณ์แบบ Exponential smoothing เป็นการพยากรณ์ข้อมูลที่เป็น Stationary data ซึ่งสามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ 4-3

$$\hat{Y}_{t+1} = \hat{Y}_t + \alpha(Y_t - \hat{Y}_t) \quad (4-3)$$

$\hat{Y}_{(t+1)}$  = ปริมาณก๊าซชีวภาพ ณ เวลาที่จะทำการพยากรณ์

$Y_t$  = ปริมาณน้ำเสียในเวลา  $t$

$\alpha$  = ค่าสัมประสิทธิ์;  $0 \leq \alpha \leq 1$

$t$  = เวลาของโครงการ ณ เวลานั้น (โดยที่  $t = 1$  ถึง เวลาสุดท้ายที่มีข้อมูลจริง)

วิธีนี้ปีที่ต้องการพยากรณ์เท่ากับค่าพยากรณ์ของปีก่อนหน้าบวกกับค่า Error ของค่าจริงลบค่าพยากรณ์ปีก่อนหน้าคูณกับค่า  $\alpha$  ซึ่งมีค่า  $0 \leq \alpha \leq 1$  ในที่นี้จะเริ่มต้นพยากรณ์ได้ตั้งแต่กุมภาพันธ์ 2556 โดยเราจะให้ค่าพยากรณ์ของเดือนมกราคม 2556 = ค่าจริงของเดือนมกราคม 2556 ซึ่งมีค่า

เท่ากับ  $956,375 \text{ Nm}^3$  (ค่า  $\alpha$  เป็นค่าที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยการแทนที่ค่า  $\alpha$  ในสมการ เพื่อให้ค่า MSE น้อยที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.977630575)

$$\begin{aligned}\hat{Y}_2 &= \hat{Y}_1 + \alpha(Y_1 - \hat{Y}_1) \\ &= 956,375 + 0.977630575(956,375 - 956,375) \\ &= 956,375 \text{ ค่าพยากรณ์ในเดือนก.พ.2556}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\hat{Y}_3 &= \hat{Y}_2 + \alpha(Y_2 - \hat{Y}_2) \\ &= 956,375 + 0.977630575(1,027,250 - 956,375) \\ &= 1,025,665 \text{ Nm}^3 \text{ ค่าพยากรณ์ในเดือนมีนาคม 2556}\end{aligned}$$

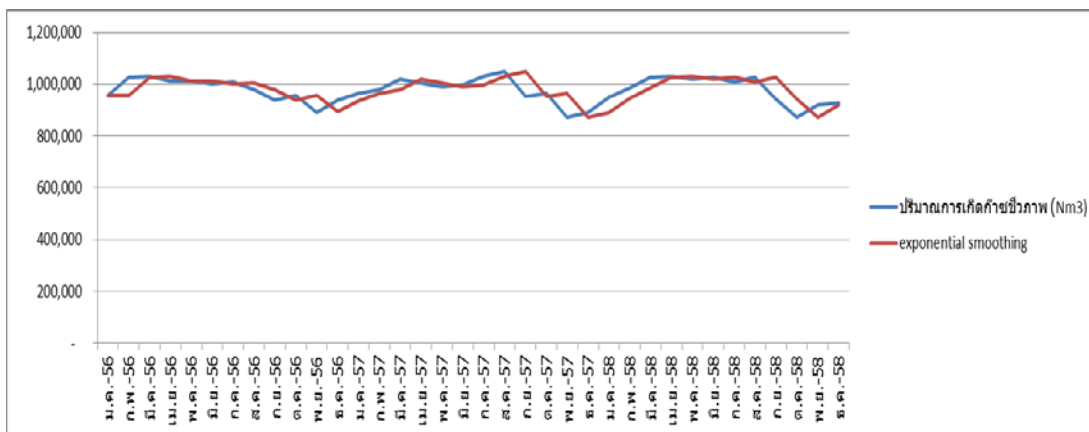
คำนวณไปจนถึง  $\hat{Y}_{36}$  หลังจากนั้นให้หาค่า MSE เพื่อนำมาเปรียบเทียบวิธีพยากรณ์

วิธีอื่น

ตารางที่ 4-5 ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากบ่อบำบัดน้ำเสียของ  
บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Exponential smoothing

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )	Exponential smoothing		
2556	ม.ค.-56	956,375	956,375	alpha	0.977630575
	ก.พ.-56	1,027,250	956,375	MSE	1,675,975,772
	มี.ค.-56	1,030,575	1,025,665		
	เม.ย.-56	1,011,325	1,030,465		
	พ.ค.-56	1,010,765	1,011,753		
	มิ.ย.-56	1,002,995	1,010,787		
	ก.ค.-56	1,007,090	1,003,169		
	ส.ค.-56	979,090	1,007,002		
	ก.ย.-56	937,475	979,714		
	ต.ค.-56	956,235	938,420		
	พ.ย.-56	891,730	955,836		
	ธ.ค.-56	937,615	893,164		
2557	ม.ค.-57	964,460	936,621		
	ก.พ.-57	978,705	963,837		
	มี.ค.-57	1,020,355	978,372		
	เม.ย.-57	1,006,740	1,019,416		
	พ.ค.-57	988,820	1,007,024		
	มิ.ย.-57	996,730	989,227		
	ก.ค.-57	1,031,730	996,562		
	ส.ค.-57	1,049,930	1,030,943		
	ก.ย.-57	953,015	1,049,505		
	ต.ค.-57	964,460	955,173		
	พ.ย.-57	871,395	964,252		
	ธ.ค.-57	891,730	873,472		
2558	ม.ค.-58	948,955	891,322		
	ก.พ.-58	988,260	947,666		
	มี.ค.-58	1,027,880	987,352		
	เม.ย.-58	1,031,030	1,026,973		
	พ.ค.-58	1,019,375	1,030,939		
	มิ.ย.-58	1,027,740	1,019,634		
	ก.ค.-58	1,007,615	1,027,559		
	ส.ค.-58	1,027,775	1,008,061		
	ก.ย.-58	941,395	1,027,334		
	ต.ค.-58	871,220	943,317		
	พ.ย.-58	921,235	872,833		
	ธ.ค.-58	929,145	920,152		

จากการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากบ่อบำบัดน้ำเสียแบบ Exponential smoothing พบว่ากับค่าแอลฟาประมาณ 0.98 ซึ่งหมายความว่า ค่า Exponential smoothing model มีผลกับการเปลี่ยนแปลงในข้อมูลอย่างรวดเร็ว และมีค่า MSE เท่ากับ 1,675,975,772

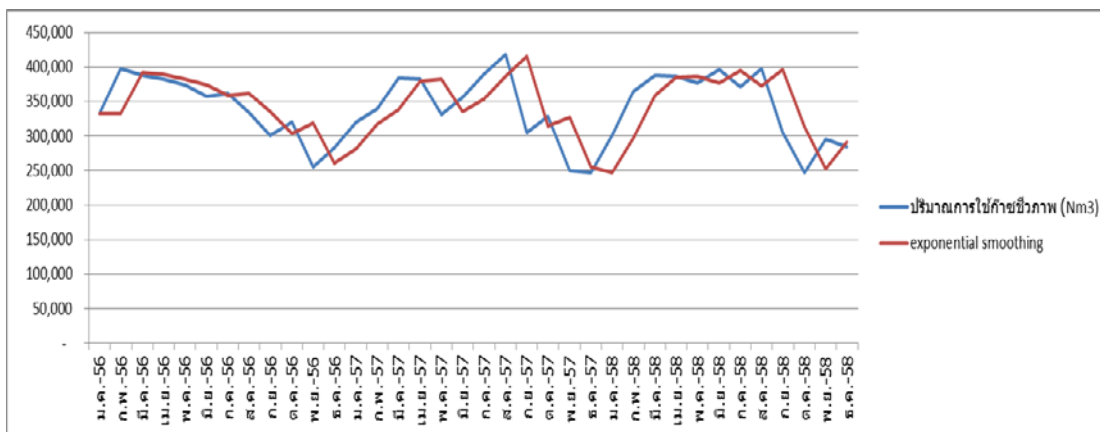


ภาพที่ 4-7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริงตั้งแต่เดือนมกราคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Exponential smoothing

ตารางที่ 4-6 ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบยางพาราของ  
บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Exponential smoothing

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ	Exponential		
		(Nm <sup>3</sup> )	smoothing		
2556	ม.ค.-56	332,375	332,375	alpha	0.918384208
	ก.พ.-56	397,127	332,375	MSE	1,780,334,134
	มี.ค.-56	388,422	391,842		
	เม.ย.-56	382,350	388,701		
	พ.ค.-56	373,814	382,868		
	มิ.ย.-56	357,759	374,553		
	ก.ค.-56	361,349	359,130		
	ส.ค.-56	333,855	361,168		
	ก.ย.-56	300,777	336,084		
	ต.ค.-56	320,454	303,659		
	พ.ย.-56	255,189	319,083		
	ธ.ค.-56	283,364	260,404		
2557	ม.ค.-57	320,004	281,490		
	ก.พ.-57	339,730	316,861		
	มี.ค.-57	383,702	337,864		
	เม.ย.-57	382,504	379,961		
	พ.ค.-57	331,897	382,296		
	มิ.ย.-57	355,607	336,010		
	ก.ค.-57	389,531	354,008		
	ส.ค.-57	418,947	386,632		
	ก.ย.-57	305,163	416,310		
	ต.ค.-57	328,837	314,234		
	พ.ย.-57	249,242	327,645		
	ธ.ค.-57	246,607	255,641		
2558	ม.ค.-58	300,802	247,344		
	ก.พ.-58	364,685	296,439		
	มี.ค.-58	387,957	359,115		
	เม.ย.-58	386,494	385,603		
	พ.ค.-58	376,712	386,421		
	มิ.ย.-58	396,317	377,504		
	ก.ค.-58	370,957	394,782		
	ส.ค.-58	397,788	372,901		
	ก.ย.-58	305,442	395,757		
	ต.ค.-58	246,652	312,813		
	พ.ย.-58	295,361	252,052		
	ธ.ค.-58	283,992	291,826		

จากการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบยางพาราแบบ Exponential smoothing พบว่าค่าแอลฟาประมาณ 0.92 ซึ่งหมายความว่าค่า Exponential smoothing model มีผลกับการเปลี่ยนแปลงในข้อมูลอย่างรวดเร็ว และมีค่า MSE เท่ากับ 1,780,334,134



ภาพที่ 4-8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้จริงในกระบวนการอบยางพาราตั้งแต่เดือนมกราคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Exponential smoothing

#### 4. วิธี Stationary data with additive seasonal effects

วิธีที่ 4 การพยากรณ์แบบ Stationary data with additive seasonal effects เป็นการพยากรณ์ข้อมูลที่เป็น Stationary data ที่มีลักษณะขึ้นและลงเป็นฤดูกาล ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4-4

$$\hat{Y}_{t+n} = E_t + S_{t+n-p} \quad (4-4)$$

$\hat{Y}_{t+n}$  = ปริมาณก๊าซชีวภาพ ณ เวลาที่จะทำการพยากรณ์

$E_t$  = ค่า Expected level of time series;  $E_t = \alpha(Y_t - S_{t-p}) + (1-\alpha)E_{t-1}$  โดยที่  $0 \leq \alpha \leq 1$

$S_t$  = ค่า Seasonal factor ณ เวลาที่  $t$ ;  $S_t = \beta(Y_t - E_t) + (1-\beta)S_{t-p}$  โดยที่  $0 \leq \beta \leq 1$

$Y_t$  = ค่าปริมาณก๊าซจริง ณ ช่วงเวลาที่  $t$

$\alpha$  = ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการที่ใช้หาค่า  $E_t$  ซึ่งเป็นค่าที่แทนในสมการแล้วทำให้

ค่า MSE ของวิธี Stationary data with additive seasonal effects น้อยที่สุด

$\beta$  = ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการที่ใช้หาค่า  $S_t$  ซึ่งเป็นค่าที่แทนในสมการแล้วทำให้

ค่า MSE ของวิธี Stationary data with additive seasonal effects น้อยที่สุด

วิธีนี้เป็นารพยากรณ์ข้อมูลที่มีความคล้ายกันเป็นฤดูกาลช่วงเวลาที  $p$  ในการศึกษาครั้งนี้จะสังเกตได้ว่าปริมาณก๊าซชีวภาพในแต่ละเดือนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2558 จะมีลักษณะคล้ายกันดังนั้นจึงใช้  $p = 12$  และช่วงของการทำนาย  $n = 1$  โดยจะเริ่มการคำนวณดังนี้ คือ ให้หาค่า  $E_t$  ในช่วง 12 เดือนแรกโดยนำปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือนของปี พ.ศ. 2556 มาเฉลี่ยกันซึ่งมีค่าเท่ากับ ดังนั้นค่า  $E_{1-12}$  จะมีค่าเท่ากับ  $979,043 \text{ Nm}^3$  และค่า  $S_t$  ของเดือนที่ 1-12 หาค่าได้โดยการนำค่าก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริง ณ เดือนนั้น ๆ ในปี พ.ศ. 2556 ลบกับค่า  $E_t$  ของเดือนนั้น ๆ ในปี พ.ศ. 2556 ยกตัวอย่างการหาค่า  $S_t$  ของเดือนมกราคม ( $t=1$ ) ในปี พ.ศ.2556 =  $956,375 - 979,043 = -22,668$  ทำอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ จนครบทั้ง 12 เดือนในปี พ.ศ. 2556 ดังนั้นการทำนายจะเริ่มที่เดือนมกราคมของ พ.ศ. 2557 ดังนี้

$$\begin{aligned}\hat{Y}_{13} &= E_{12} + S_{12+1-12} \\ &= 979,043 + (-22,668) \\ &= 956,375 \text{ Nm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\hat{Y}_{14} &= E_{13} + S_{13+1-12} \\ E_{13} &= \alpha(Y_{13} - S_{13-12}) + (1 - \alpha)E_{13-1}\end{aligned}$$

ค่า  $\alpha$  เป็นค่าที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยการแทนที่ค่า  $\alpha$  ในสมการเพื่อทำให้ค่า

MSE น้อยที่สุดซึ่งมีค่า เท่ากับ 0

$$= 0[(964,460 - (-22,668)] + (1-0)(979,043)$$

$$\begin{aligned}\hat{Y}_{14} &= 979,043 + 48,207 \\ &= 1,027,250 \text{ Nm}^3\end{aligned}$$

คำนวณไปจนถึง  $\hat{Y}_{36}$  หลังจากนั้นให้หาค่า MSE เพื่อนำมาเปรียบเทียบวิธีพยากรณ์

วิธีอื่น (ส่วนสมการ  $S_t = B(Y_t - E_t) + (1-B)S_{t-p}$  จะเริ่มใช้ตอนที่หาค่า  $S_{13}$  เป็นค่า Seasonal factor ของเดือนมกราคม 2557)

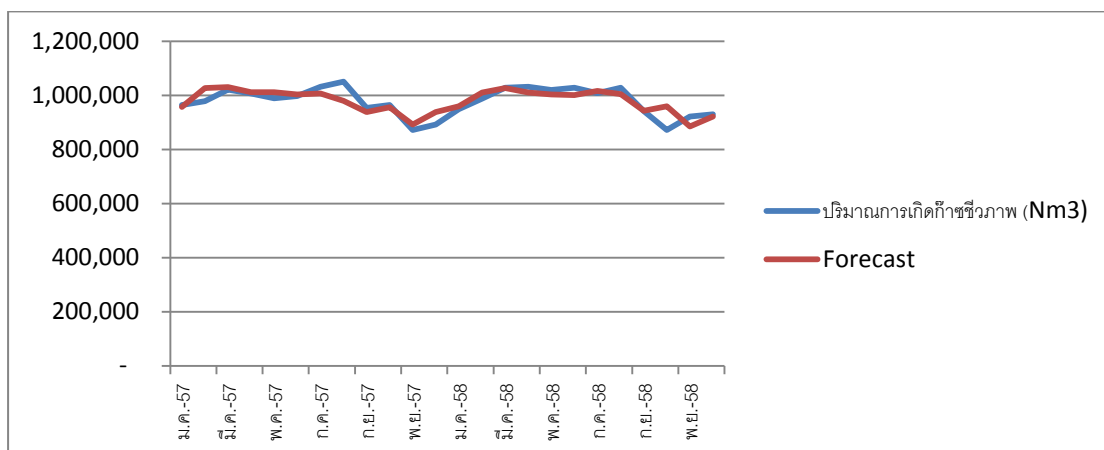


ตารางที่ 4-7 ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากบ่อบำบัดน้ำเสียของบริษัท

กลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Stationary data with additive seasonal effects

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )	Level	Seasonal factor	Forecast		
2556	ม.ค.-56	956,375	979,043	- 22,668	-	alpha	0
	ก.พ.-56	1,027,250	979,043	48,207	-	beta	0.350475463
	มี.ค.-56	1,030,575	979,043	51,532	-	sum	0.350475463
	เม.ย.-56	1,011,325	979,043	32,282	-	MSE	971,647,203
	พ.ค.-56	1,010,765	979,043	31,722	-		
	มิ.ย.-56	1,002,995	979,043	23,952	-		
	ก.ค.-56	1,007,090	979,043	28,047	-		
	ส.ค.-56	979,090	979,043	47	-		
	ก.ย.-56	937,475	979,043	- 41,568	-		
	ต.ค.-56	956,235	979,043	- 22,808	-		
	พ.ย.-56	891,730	979,043	- 87,313	-		
	ธ.ค.-56	937,615	979,043	- 41,428	-		
	2557	ม.ค.-57	964,460	979,043	- 19,834.74	956,375	
ก.พ.-57		978,705	979,043	31,192.84	1,027,250		
มี.ค.-57		1,020,355	979,043	47,949.81	1,030,575		
เม.ย.-57		1,006,740	979,043	30,674.74	1,011,325		
พ.ค.-57		988,820	979,043	24,030.48	1,010,765		
มิ.ย.-57		996,730	979,043	21,755.94	1,002,995		
ก.ค.-57		1,031,730	979,043	36,682.38	1,007,090		
ส.ค.-57		1,049,930	979,043	24,874.35	979,090		
ก.ย.-57		953,015	979,043	- 36,121.94	937,475		
ต.ค.-57		964,460	979,043	- 19,925.67	956,235		
พ.ย.-57		871,395	979,043	- 94,440.25	891,730		
ธ.ค.-57		891,730	979,043	- 57,509.90	937,615		
2558		ม.ค.-58	948,955	979,043	- 23,428.37	959,209	
	ก.พ.-58	988,260	979,043	23,490.73	1,010,236		
	มี.ค.-58	1,027,880	979,043	48,260.63	1,026,993		
	เม.ย.-58	1,031,030	979,043	38,144.05	1,009,718		
	พ.ค.-58	1,019,375	979,043	29,743.65	1,003,074		
	มิ.ย.-58	1,027,740	979,043	31,198.00	1,000,799		
	ก.ค.-58	1,007,615	979,043	33,839.78	1,015,726		
	ส.ค.-58	1,027,775	979,043	33,235.75	1,003,918		
	ก.ย.-58	941,395	979,043	- 36,656.91	942,921		
	ต.ค.-58	871,220	979,043	- 50,731.65	959,118		
	พ.ย.-58	921,235	979,043	- 81,601.66	884,603		
	ธ.ค.-58	929,145	979,043	- 54,842.23	921,533		

จากการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากบ่อบำบัดน้ำเสียแบบ Stationary data with additive seasonal effects พบว่าค่าแอลฟาเท่ากับ 0 หมายความว่า ข้อมูลที่ทำการพยากรณ์เป็นข้อมูลแบบ Non trend, ค่าเบต้าเท่ากับ 0.35 ค่า Seasonal factor ส่งผลกับข้อมูลที่ทำการพยากรณ์ และมีค่า MSE เท่ากับ 971,647,203

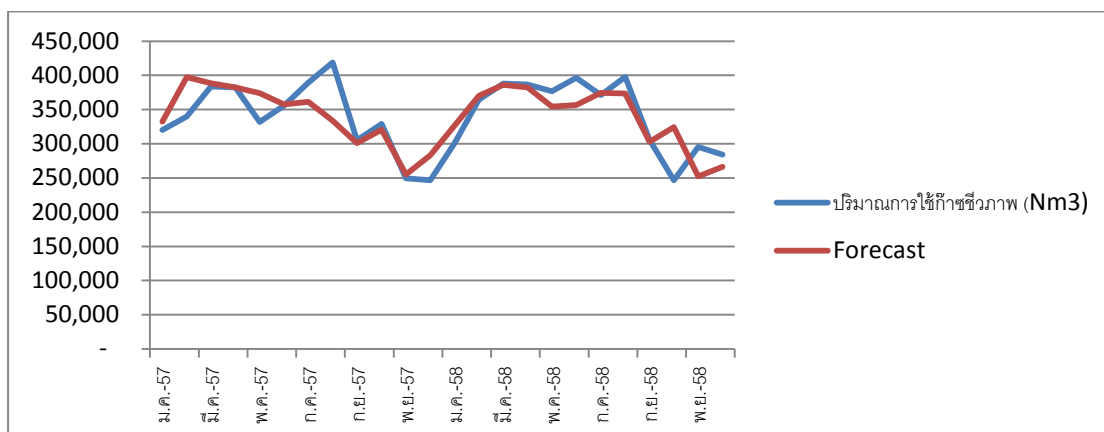


ภาพที่ 4-9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริง ตั้งแต่เดือนมกราคม 2557-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Exponential smoothing

ตารางที่ 4-8 ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบยางพาราของบริษัท  
กลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Stationary data with additive seasonal effects

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ(Nm3)	level	Seasonal factor	Forecast
2556	ม.ค.-56	332,375	340,570	- 8,195	alpha 0
	ก.พ.-56	397,127	340,570	56,557	beta 0.468164173
	มี.ค.-56	388,422	340,570	47,852	sum 0.468164173
	เม.ย.-56	382,350	340,570	41,780	MSE 1,097,306,210
	พ.ค.-56	373,814	340,570	33,244	-
	มิ.ย.-56	357,759	340,570	17,189	-
	ก.ค.-56	361,349	340,570	20,779	-
	ส.ค.-56	333,855	340,570	- 6,715	-
	ก.ย.-56	300,777	340,570	- 39,793	-
	ต.ค.-56	320,454	340,570	- 20,116	-
	พ.ย.-56	255,189	340,570	- 85,381	-
	ธ.ค.-56	283,364	340,570	- 57,206	-
2557	ม.ค.-57	320,004	340,570	- 13,986	332,375
	ก.พ.-57	339,730	340,570	29,686	397,127
	มี.ค.-57	383,702	340,570	45,643	388,422
	เม.ย.-57	382,504	340,570	41,853	382,350
	พ.ค.-57	331,897	340,570	13,620	373,814
	มิ.ย.-57	355,607	340,570	16,182	357,759
	ก.ค.-57	389,531	340,570	33,973	361,349
	ส.ค.-57	418,947	340,570	33,122	333,855
	ก.ย.-57	305,163	340,570	- 37,739	300,777
	ต.ค.-57	328,837	340,570	- 16,191	320,454
	พ.ย.-57	249,242	340,570	- 88,165	255,189
	ธ.ค.-57	246,607	340,570	- 74,414	283,364
2558	ม.ค.-58	300,802	340,570	- 26,056	326,583
	ก.พ.-58	364,685	340,570	27,078	370,256
	มี.ค.-58	387,957	340,570	46,460	386,212
	เม.ย.-58	386,494	340,570	43,759	382,422
	พ.ค.-58	376,712	340,570	24,164	354,190
	มิ.ย.-58	396,317	340,570	34,705	356,752
	ก.ค.-58	370,957	340,570	32,294	374,543
	ส.ค.-58	397,788	340,570	44,403	373,692
	ก.ย.-58	305,442	340,570	- 36,517	302,830
	ต.ค.-58	246,652	340,570	- 52,580	324,379
	พ.ย.-58	295,361	340,570	- 68,054	252,405
	ธ.ค.-58	283,992	340,570	- 66,064	266,156

จากการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบขางพาราแบบ Stationary data with additive seasonal effects พบว่าค่าแอลฟาเท่ากับ 0 หมายความว่า ข้อมูลที่จะทำการพยากรณ์มีค่า Base level คงที่ ค่าเบต้าเท่ากับ 0.47 ค่า Seasonal factor ส่งผลกับข้อมูลทำการพยากรณ์ และมีค่า MSE เท่ากับ 1,097,306,210



ภาพที่ 4-10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้จริงในกระบวนการอบขางพาราตั้งแต่เดือนมกราคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Stationary data with additive seasonal effects

### 5. วิธี Double moving average

วิธีที่ 5 Double moving average เป็นการพยากรณ์ข้อมูลที่เป็น Non stationary data ซึ่งจะสามารถคำนวณได้โดยเริ่มจากการหาค่า Moving average ก่อน โดยจะใช้ช่วง  $k = 2$  ซึ่งแปลว่าค่า  $M_t$  ค่าแรกที่  $t = 2$  หรือจะเริ่มที่เดือนกุมภาพันธ์ของปี พ.ศ. 2556 โดยจะคำนวณจากสมการที่ 4-5

$$M_t = (Y_t + Y_{t-1} + \dots + Y_{t-k+1})/k \quad (4-5)$$

เมื่อ  $M_t$  = ค่า Moving average ในเวลาที่  $t$ ; สำหรับช่วงเวลาที่ทำการพยากรณ์ จำนวน  $k$

$Y_t$  = ปริมาณน้ำเสียในเวลาที่  $t$

$k$  = ช่วงเวลาที่ใช้ในการเฉลี่ย (โดยที่  $k \geq 2$ )

$t$  = เวลาของโครงการ ณ เวลานั้น (โดยที่  $t = 1$  ถึง เวลาสุดท้ายที่มีข้อมูลจริง)

$$M_2 = (Y_2 + Y_{2-1})/2$$

$$= (1,027,250 + 956,375)/2$$

$$= 991,813 \text{ Nm}^3$$

คำนวณไปจนถึง  $M_{36}$  หลังจากนั้นให้หาค่า Double moving average โดยสมการข้างล่าง และกำหนดค่า  $k = 2$  เหมือนกันคั้งนั้นปีแรกที่จะได้ค่า  $D_t$  คือ  $D_3$  หรือเดือนมีนาคมของปี พ.ศ. 2556

$$D_t = (M_t + M_{t-1} + \dots + M_{t-k+1})/k \quad (4-6)$$

เมื่อ  $D_t$  = ค่า Double moving average ในเวลาที่  $t$ ; สำหรับช่วงเวลาที่ทำการพยากรณ์ จำนวน  $k$

$M_t$  = ค่า Moving average ในเวลาที่  $t$

$k$  = ช่วงเวลาที่ทำการพยากรณ์ (โดยที่  $k \geq 2$ )

$t$  = เวลาของโครงการเวลา ณ ช่วงเวลานั้น (โดยที่  $t = 1$  ถึงเวลาสุดท้ายที่มีข้อมูล

จริง)

$$\begin{aligned} D_3 &= (M_3 + M_{3-1})/2 \\ &= (1,028,913 + 991,813)/2 \\ &= 1,010,363 \text{ Nm}^3 \end{aligned}$$

คำนวณไปจนถึง  $D_{36}$  หลังจากนั้นให้หาค่า Estimated level ( $E_t$ ) ซึ่งค่า  $E_t$  ค่าแรกที่กำหนดค่า  $k = 2$  คือ  $E_3$  หรือเดือนมีนาคมของปี พ.ศ. 2556 โดยสมการดังนี้

$$\begin{aligned} M_t &= 2M_t - D_t \\ M_3 &= 2M_3 - D_3 \\ &= 2(1,028,913) - 1,010,363 \\ &= 1,047,463 \text{ Nm}^3 \end{aligned}$$

คำนวณไปจนถึง  $M_{36}$  หลังจากนั้นให้หาค่า Trend ( $T_t$ ) ซึ่งค่า  $T_t$  ค่าแรกที่กำหนดค่า  $k = 2$  คือ  $T_3$  หรือเดือนมีนาคมของปี พ.ศ. 2556 โดยสมการดังนี้

$$\begin{aligned} E_t &= 2(M_t - D_t)/(k-1) \\ E_3 &= 2(M_3 - D_3)/(2-1) \\ &= 2(1,028,913 - 1,010,363)/1 = 37,100 \text{ Nm}^3 \end{aligned}$$

คำนวณไปจนถึง  $T_{36}$  หลังจากนั้นให้ทำการหาค่าทำนาย  $\hat{Y}_t$  ซึ่งค่า  $\hat{Y}_t$  ค่าแรกที่กำหนดค่า  $k = 2$  คือ  $\hat{Y}_3$  หรือเดือนมีนาคมของปี พ.ศ. 2556

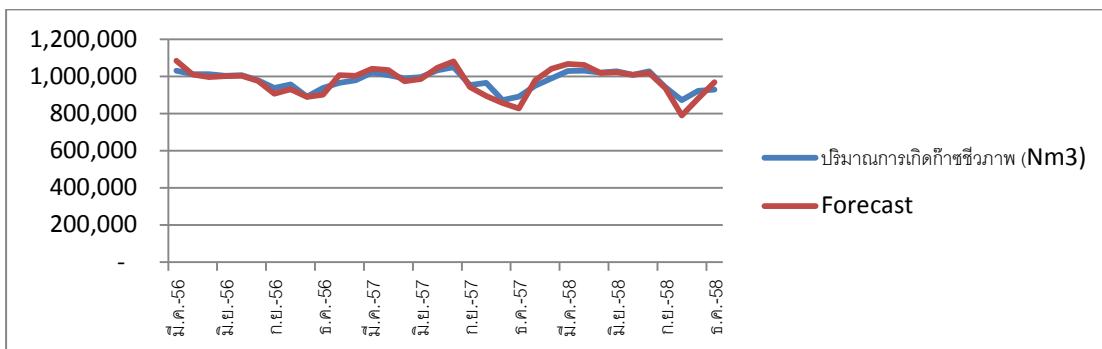
$$\begin{aligned} \hat{Y}_t &= E_t + T_t \\ \hat{Y}_3 &= E_3 + T_3 \\ &= 1,047,463 + 37,100 \end{aligned}$$

$$= 1,084,563 \text{ Nm}^3$$

คำนวณไปจนถึง  $\hat{Y}_{36}$  หลังจากนั้นหาค่า MSE เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีอื่น  
 ตารางที่ 4-9 ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อบำบัดน้ำเสียของ  
 บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Double moving average

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )	Mt k=2	Dt k=2	Level	Trend	Forecast	MSE
2556	ม.ค.-56	956,375	-	-	-	-	-	1,084,746,982
	ก.พ.-56	1,027,250	991,813	-	-	-	-	
	มี.ค.-56	1,030,575	1,028,913	1,010,363	1,047,463	37,100	1,084,563	
	เม.ย.-56	1,011,325	1,020,950	1,024,931	1,016,969	-	7,963	1,009,006
	พ.ค.-56	1,010,765	1,011,045	1,015,998	1,006,093	-	9,905	996,188
	มิ.ย.-56	1,002,995	1,006,880	1,008,963	1,004,798	-	4,165	1,000,633
	ก.ค.-56	1,007,090	1,005,043	1,005,961	1,004,124	-	1,838	1,002,286
	ส.ค.-56	979,090	993,090	999,066	987,114	-	11,953	975,161
	ก.ย.-56	937,475	958,283	975,686	940,879	-	34,808	906,071
	ต.ค.-56	956,235	946,855	952,569	941,141	-	11,428	929,714
2557	พ.ย.-56	891,730	923,983	935,419	912,546	-	22,873	889,674
	ธ.ค.-56	937,615	914,673	919,328	910,018	-	9,310	900,708
	ม.ค.-57	964,460	951,038	932,855	969,220	36,365	1,005,585	
	ก.พ.-57	978,705	971,583	961,310	981,855	20,545	1,002,400	
	มี.ค.-57	1,020,355	999,530	985,556	1,013,504	27,948	1,041,451	
	เม.ย.-57	1,006,740	1,013,548	1,006,539	1,020,556	14,018	1,034,574	
	พ.ค.-57	988,820	997,780	1,005,664	989,896	-	15,768	974,129
	มิ.ย.-57	996,730	992,775	995,278	990,273	-	5,005	985,268
	ก.ค.-57	1,031,730	1,014,230	1,003,503	1,024,958	21,455	1,046,413	
	ส.ค.-57	1,049,930	1,040,830	1,027,530	1,054,130	26,600	1,080,730	
2558	ก.ย.-57	953,015	1,001,473	1,021,151	981,794	-	39,358	942,436
	ต.ค.-57	964,460	958,738	980,105	937,370	-	42,735	894,635
	พ.ย.-57	871,395	917,928	938,333	897,523	-	40,810	856,713
	ธ.ค.-57	891,730	881,563	899,745	863,380	-	36,365	827,015
	ม.ค.-58	948,955	920,343	900,953	939,733	38,780	978,513	
	ก.พ.-58	988,260	968,608	944,475	992,740	48,265	1,041,005	
	มี.ค.-58	1,027,880	1,008,070	988,339	1,027,801	39,463	1,067,264	
	เม.ย.-58	1,031,030	1,029,455	1,018,763	1,040,148	21,385	1,061,533	
	พ.ค.-58	1,019,375	1,025,203	1,027,329	1,023,076	-	4,253	1,018,824
	มิ.ย.-58	1,027,740	1,023,558	1,024,380	1,022,735	-	1,645	1,021,090
2558	ก.ค.-58	1,007,615	1,017,678	1,020,618	1,014,738	-	5,880	1,008,858
	ส.ค.-58	1,027,775	1,017,695	1,017,686	1,017,704	18	1,017,721	
	ก.ย.-58	941,395	984,585	1,001,140	968,030	-	33,110	934,920
	ต.ค.-58	871,220	906,308	945,446	867,169	-	78,278	788,891
	พ.ย.-58	921,235	896,228	901,268	891,188	-	10,080	881,108
	ธ.ค.-58	929,145	925,190	910,709	939,671	28,963	968,634	

จากการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อบำบัดน้ำเสียแบบ Double moving average ผลสรุปค่า MSE ที่ได้มีค่าเท่ากับ 1,084,746,982 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าวิธี Moving average



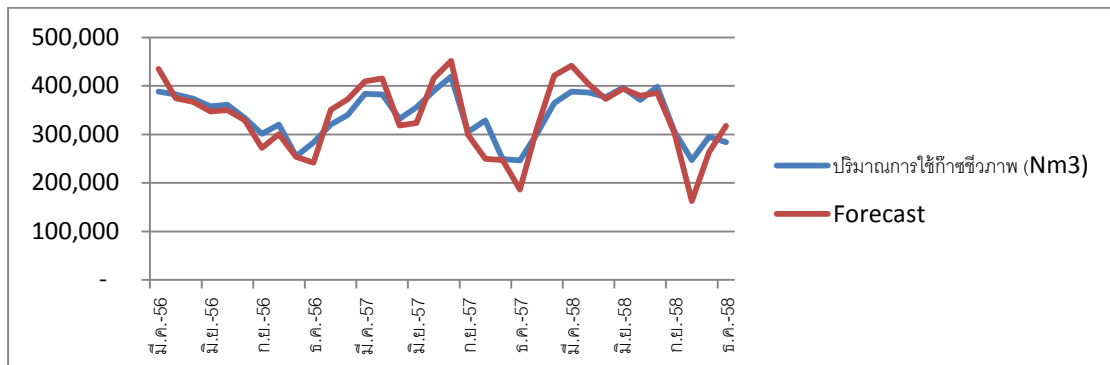
ภาพที่ 4-11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริง ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Double moving average

ตารางที่ 4-10 ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบยางพาราของ  
บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Double moving average



ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ (Nm3)	Mt k=2	Dt k=2	Level	Trend	Forecast	MSE
2556	ม.ค.-56	332,375	-	-	-	-	-	1,121,793,376
	ก.พ.-56	397,127	364,751	-	-	-	-	
	มี.ค.-56	388,422	392,775	378,763	406,786	28,023	434,810	
	เม.ย.-56	382,350	385,386	389,080	381,692	7,388	374,303	
	พ.ค.-56	373,814	378,082	381,734	374,430	7,304	367,126	
	มิ.ย.-56	357,759	365,787	371,934	359,639	12,296	347,343	
	ก.ค.-56	361,349	359,554	362,670	356,438	6,233	350,205	
	ส.ค.-56	333,855	347,602	353,578	341,626	11,952	329,674	
	ก.ย.-56	300,777	317,316	332,459	302,173	30,286	271,887	
	ต.ค.-56	320,454	310,616	313,966	307,265	6,701	300,565	
	พ.ย.-56	255,189	287,822	299,219	276,425	22,794	253,631	
	ธ.ค.-56	283,364	269,277	278,549	260,004	18,545	241,459	
2557	ม.ค.-57	320,004	301,684	285,480	317,888	32,408	350,295	
	ก.พ.-57	339,730	329,867	315,776	343,959	28,183	372,142	
	มี.ค.-57	383,702	361,716	345,792	377,641	31,849	409,490	
	เม.ย.-57	382,504	383,103	372,410	393,797	21,387	415,184	
	พ.ค.-57	331,897	357,201	370,152	344,249	25,903	318,347	
	มิ.ย.-57	355,607	343,752	350,476	337,028	13,449	323,579	
	ก.ค.-57	389,531	372,569	358,161	386,978	28,817	415,795	
	ส.ค.-57	418,947	404,239	388,404	420,074	31,670	451,744	
	ก.ย.-57	305,163	362,055	383,147	340,963	42,184	298,779	
	ต.ค.-57	328,837	317,000	339,528	294,473	45,055	249,418	
	พ.ย.-57	249,242	289,040	303,020	275,059	27,961	247,099	
	ธ.ค.-57	246,607	247,925	268,482	227,367	41,115	186,252	
2558	ม.ค.-58	300,802	273,705	260,815	286,595	25,780	312,375	
	ก.พ.-58	364,685	332,744	303,224	362,263	59,039	421,302	
	มี.ค.-58	387,957	376,321	354,532	398,110	43,577	441,687	
	เม.ย.-58	386,494	387,226	381,773	392,678	10,905	403,582	
	พ.ค.-58	376,712	381,603	384,414	378,792	5,623	373,169	
	มิ.ย.-58	396,317	386,515	384,059	388,970	4,912	393,882	
	ก.ค.-58	370,957	383,637	385,076	382,198	2,878	379,321	
	ส.ค.-58	397,788	384,373	384,005	384,740	735	385,476	
	ก.ย.-58	305,442	351,615	367,994	335,236	32,758	302,479	
	ต.ค.-58	246,652	276,047	313,831	238,263	75,568	162,695	
	พ.ย.-58	295,361	271,007	273,527	268,486	5,040	263,446	
	ธ.ค.-58	283,992	289,677	280,342	299,012	18,670	317,682	

จากการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งพาราแบบ Double moving average ผลสรุปค่า MSE ที่ได้มีค่าเท่ากับ 1,121,793,376 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าวิธี Moving average



ภาพที่ 4-12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้จริงในกระบวนการอบยางพารา ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Double moving average

## 6. วิธี Double exponential smoothing

วิธีที่ 6 Double exponential smoothing เป็นวิธีการพยากรณ์ข้อมูลที่เป็น Non stationary data สามารถพยากรณ์ได้จากสมการ 4-7

$$\hat{Y}_{t+n} = E_t + nT_t \quad (4-7)$$

$\hat{Y}_{t+n}$  = ปริมาณก๊าซชีวภาพ ณ เวลาที่จะทำการพยากรณ์

$E_t$  = ค่า Base level;  $E_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(E_{t-1} + T_{t-1})$  โดยที่  $0 \leq \alpha \leq 1$

$T_t$  = ค่า Trend;  $T_t = \beta(E_t - E_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1}$  โดยที่  $0 \leq \beta \leq 1$

โดยขั้นแรกของการพยากรณ์จะต้องกำหนดค่า  $E_t$  (Base lever) ของเดือนมกราคม พ.ศ. 2556 ( $E_1$ ) ให้เท่ากับค่าจริงของเดือนมกราคม พ.ศ. 2556 และค่า  $T_t$  (Trend) ของเดือนมกราคม พ.ศ. 2556 ( $T_1$ ) ให้มีค่าเท่ากับ 0 หลังจากนั้นให้หาค่า  $E_t$  ของเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2556 ( $E_2$ ) ซึ่งค่า  $\alpha$  จะได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นค่าที่ทำให้ค่า MSE มีค่าน้อยที่สุด ( $\alpha = 0.978$ ) โดยใช้สมการดังนี้

$$E_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(E_{t-1} + T_{t-1})$$

$$E_2 = (0.978)(1,027,250) + (1-0.978)(956,375+0)$$

$$E_2 = 1,025,665$$

ต่อมาให้หาค่า  $T_t$  ของเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2556 ( $E_2$ ) ซึ่งค่า  $\beta$  จะได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นค่าที่ทำให้ค่า MSE มีค่าน้อยที่สุด ( $\beta = 0$ ) โดยใช้สมการดังนี้

$$T_t = \beta(E_t - E_{t-1}) + (1-\beta) T_{t-1}$$

$$T_2 = 0(1,025,665 - 956,375) + (1-0)(0)$$

$$T_2 = 0$$

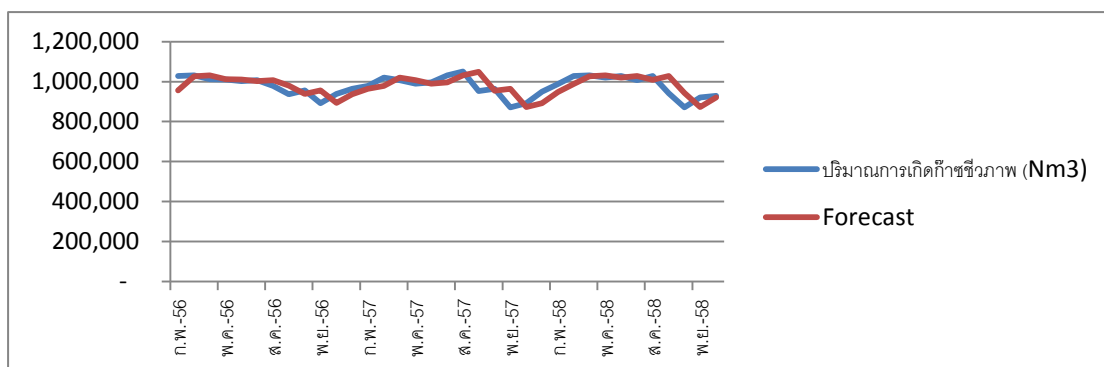
หลังจากนั้นจะเริ่มพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2556 ( $\hat{Y}_2$ ) โดยเอาค่า  $E_2 + T_2 = 1,025,665 + 0 = 1,025,665 \text{ Nm}^3$  จำนวนไปจนถึง  $\hat{Y}_{36}$  แล้วจึงหาค่า MSE เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีพยากรณ์วิธีอื่น ๆ

ตารางที่ 4-11 ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อบำบัดน้ำเสียของ  
บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Double exponential smoothing

ปี พ.ศ.	เดือน	t	ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )	Level	Trend	Forecast		
2556	ม.ค.-56	1	956,375	956,375	0 -	alpha	0.977630594	
	ก.พ.-56	2	1,027,250	1,025,665	-	956,375	beta	0
	มี.ค.-56	3	1,030,575	1,030,465	-	1,025,665	MSE	1,723,860,794
	เม.ย.-56	4	1,011,325	1,011,753	-	1,030,465		
	พ.ค.-56	5	1,010,765	1,010,787	-	1,011,753		
	มิ.ย.-56	6	1,002,995	1,003,169	-	1,010,787		
	ก.ค.-56	7	1,007,090	1,007,002	-	1,003,169		
	ส.ค.-56	8	979,090	979,714	-	1,007,002		
	ก.ย.-56	9	937,475	938,420	-	979,714		
	ต.ค.-56	10	956,235	955,836	-	938,420		
	พ.ย.-56	11	891,730	893,164	-	955,836		
	ธ.ค.-56	12	937,615	936,621	-	893,164		
2557	ม.ค.-57	13	964,460	963,837	-	936,621		
	ก.พ.-57	14	978,705	978,372	-	963,837		
	มี.ค.-57	15	1,020,355	1,019,416	-	978,372		
	เม.ย.-57	16	1,006,740	1,007,024	-	1,019,416		
	พ.ค.-57	17	988,820	989,227	-	1,007,024		
	มิ.ย.-57	18	996,730	996,562	-	989,227		
	ก.ค.-57	19	1,031,730	1,030,943	-	996,562		
	ส.ค.-57	20	1,049,930	1,049,505	-	1,030,943		
	ก.ย.-57	21	953,015	955,173	-	1,049,505		
	ต.ค.-57	22	964,460	964,252	-	955,173		
	พ.ย.-57	23	871,395	873,472	-	964,252		
	ธ.ค.-57	24	891,730	891,322	-	873,472		
2558	ม.ค.-58	25	948,955	947,666	-	891,322		
	ก.พ.-58	26	988,260	987,352	-	947,666		
	มี.ค.-58	27	1,027,880	1,026,973	-	987,352		
	เม.ย.-58	28	1,031,030	1,030,939	-	1,026,973		
	พ.ค.-58	29	1,019,375	1,019,634	-	1,030,939		
	มิ.ย.-58	30	1,027,740	1,027,559	-	1,019,634		
	ก.ค.-58	31	1,007,615	1,008,061	-	1,027,559		
	ส.ค.-58	32	1,027,775	1,027,334	-	1,008,061		
	ก.ย.-58	33	941,395	943,317	-	1,027,334		
	ต.ค.-58	34	871,220	872,833	-	943,317		
	พ.ย.-58	35	921,235	920,152	-	872,833		
	ธ.ค.-58	36	929,145	928,944	-	920,152		

จากการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อน้ำคั้นน้ำเสียแบบ Double Exponential smoothing มีค่า alpha เท่ากับ 0.98 แปลว่าการพยากรณ์ขึ้นอยู่กับค่า base level เป็น

หลักและมีค่า beta เท่ากับ 0 ซึ่งแปลว่าข้อมูลได้มาเป็นข้อมูลแบบ Non-trend และผลสรุปค่า MSE ที่ได้มีค่าเท่ากับ 1,723,860,794 ซึ่งมีค่ามากกว่าวิธี Exponential smoothing



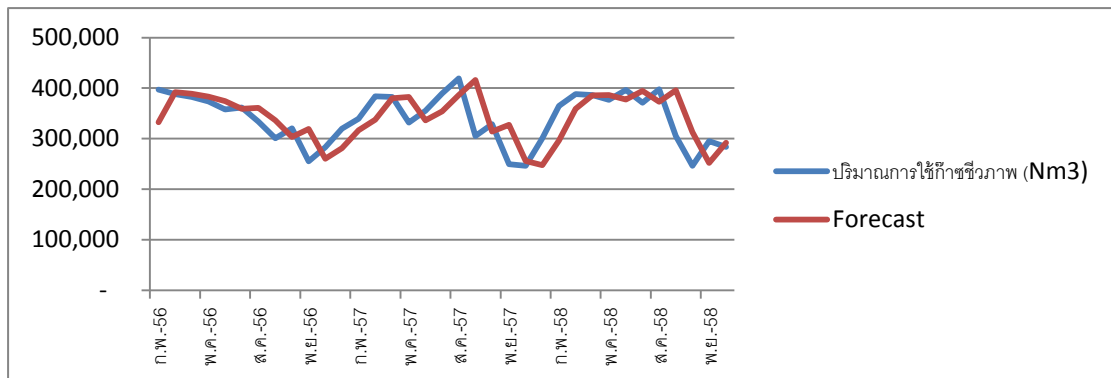
ภาพที่ 4-13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริง ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Double exponential smoothing

ตารางที่ 4-12 ผลการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพในกระบวนการอบยางพาราของ บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Double exponential smoothing

ปี พ.ศ.	เดือน	t	ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ (Nm3)	Level	Trend	Forecast	
2556	ม.ค.-56	1	332,375	332,375	0 -		alpha 0.918384264
	ก.พ.-56	2	397,127	391,842	-	332,375	beta 0
	มี.ค.-56	3	388,422	388,701	-	391,842	MSE 1,831,200,824
	เม.ย.-56	4	382,350	382,868	-	388,701	
	พ.ค.-56	5	373,814	374,553	-	382,868	
	มิ.ย.-56	6	357,759	359,130	-	374,553	
	ก.ค.-56	7	361,349	361,168	-	359,130	
	ส.ค.-56	8	333,855	336,084	-	361,168	
	ก.ย.-56	9	300,777	303,659	-	336,084	
	ต.ค.-56	10	320,454	319,083	-	303,659	
	พ.ย.-56	11	255,189	260,404	-	319,083	
	ธ.ค.-56	12	283,364	281,490	-	260,404	
2557	ม.ค.-57	13	320,004	316,861	-	281,490	
	ก.พ.-57	14	339,730	337,864	-	316,861	
	มี.ค.-57	15	383,702	379,961	-	337,864	
	เม.ย.-57	16	382,504	382,296	-	379,961	
	พ.ค.-57	17	331,897	336,010	-	382,296	
	มิ.ย.-57	18	355,607	354,008	-	336,010	
	ก.ค.-57	19	389,531	386,632	-	354,008	
	ส.ค.-57	20	418,947	416,310	-	386,632	
	ก.ย.-57	21	305,163	314,234	-	416,310	
	ต.ค.-57	22	328,837	327,645	-	314,234	
	พ.ย.-57	23	249,242	255,641	-	327,645	
	ธ.ค.-57	24	246,607	247,344	-	255,641	
2558	ม.ค.-58	25	300,802	296,439	-	247,344	
	ก.พ.-58	26	364,685	359,115	-	296,439	
	มี.ค.-58	27	387,957	385,603	-	359,115	
	เม.ย.-58	28	386,494	386,421	-	385,603	
	พ.ค.-58	29	376,712	377,504	-	386,421	
	มิ.ย.-58	30	396,317	394,782	-	377,504	
	ก.ค.-58	31	370,957	372,901	-	394,782	
	ส.ค.-58	32	397,788	395,757	-	372,901	
	ก.ย.-58	33	305,442	312,813	-	395,757	
	ต.ค.-58	34	246,652	252,052	-	312,813	
	พ.ย.-58	35	295,361	291,826	-	252,052	
	ธ.ค.-58	36	283,992	284,631	-	291,826	

จากการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพในกระบวนการอบยางพาราแบบ Double exponential smoothing มีค่า alpha เท่ากับ 0.92 แปลว่าการพยากรณ์ขึ้นอยู่กับค่า base level เป็นหลัก

และมีค่า beta เท่ากับ 0 ซึ่งแปลว่าข้อมูลได้มาเป็นข้อมูลแบบ Non-trend และผลสรุปค่า MSE ที่ได้ มีค่าเท่ากับ 1,831,200,824 ซึ่งมีค่ามากกว่าวิธี Exponential smoothing



ภาพที่ 4-14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้จริงในกระบวนการอบยางพารา ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Double exponential smoothing

## 7. วิธี Linear regression

วิธีที่ 7 Linear regression เป็นวิธีการพยากรณ์ข้อมูลที่เป็น Non stationary data สามารถพยากรณ์ได้จากสมการที่ 4-8

$$\hat{Y}_t = b_0 + b_1 X_t \quad (4-8)$$

เมื่อ  $\hat{Y}_t$  = ปริมาณก๊าซชีวภาพ ณ เวลาที่จะทำการพยากรณ์ ณ เวลาที่ t

$b_0$  = จุดตัดแกน Y ของสมการ

$b_1$  = ค่าความชันของสมการ

$X_t$  = ค่าของตัวแปรอิสระของเวลาที่ t

t = เวลาของโครงการ ณ เวลานั้น ๆ โดยที่ t = 1 ถึง เวลาสุดท้ายที่จะทำนาย

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X}$$

$$b_1 = \frac{\sum(xy) - (n\bar{x}\bar{y})}{\sum(x^2) - n(\bar{x})^2}$$

$\bar{x}$  = ค่าเฉลี่ยตัวแปรอิสระของเวลาที่ t

$\bar{Y}$  = ค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริง

ขั้นแรกของการพยากรณ์เราต้องหาสมการเส้นตรงให้ได้โดยจะต้องหาค่า  $b_1$  จากสมการ  
ดังนี้

$$b_1 = \frac{\sum(xy) - (n\bar{x}\bar{y})}{\sum(x^2) - n(\bar{x})^2}$$

$$b_1 = \frac{(647781820) - (36 * 18.5 * 978,006)}{16206 - (36 * (18.5)^2)}$$

$$b_1 = -918.96$$

ต่อมาให้หาค่า  $b_0$  จากสมการดังนี้

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X}$$

$$b_0 = 978,006 - (-918.96 * 18.5)$$

$$b_0 = 995006.72$$

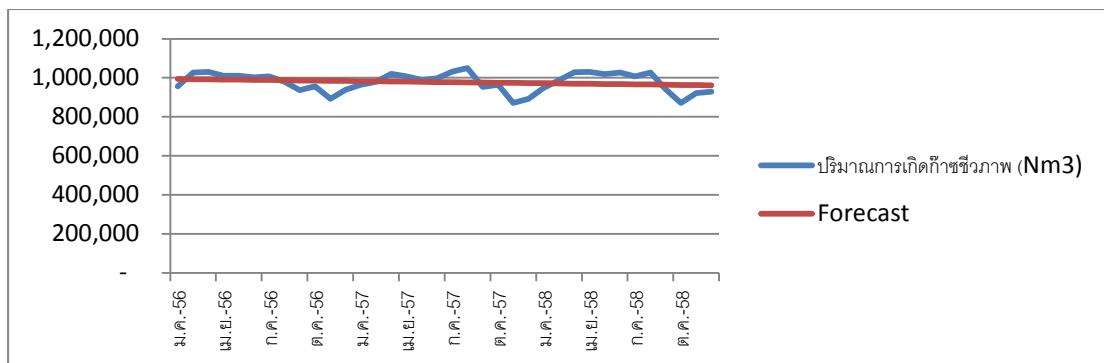
ดังนั้นสมการ Linear regression ที่ได้ คือ  $\hat{Y}_t = 995006.72 + (-918.96 * X_t)$  ซึ่งหลังจากที่ได้สมการ Linear regression แล้วให้เริ่มการทำนายโดยจะเริ่มจากเดือนมกราคม พ.ศ. 2556 โดยค่า  $X_t$  มีค่าเท่ากับ 1 เนื่องจากเป็นข้อมูลแรกและ 2 3 4 ไปเรื่อย ๆ จนถึงข้อมูลสุดท้าย ( $X_{36} = 36$ ) ดังนั้นค่า  $\hat{Y}_1$  มีค่าเท่ากับ  $995006.72 + (-918.96 * 1) = 994,087.76 \text{ Nm}^3$  คำนวณไปจนถึง  $\hat{Y}_{36}$  จากนั้นหาค่า MSE เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีพยากรณ์วิธีอื่น ๆ



## บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Linear regression

ปี พ.ศ.	เดือน	t	ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ		MSE	b0	b1	R square
			(Nm3)	Forecast				
2556	ม.ค.-56	1	956,375	994,088	2,230,834,175	995006.7	-918.9594595	0.039249
	ก.พ.-56	2	1,027,250	993,169				
	มี.ค.-56	3	1,030,575	992,250				
	เม.ย.-56	4	1,011,325	991,331				
	พ.ค.-56	5	1,010,765	990,412				
	มิ.ย.-56	6	1,002,995	989,493				
	ก.ค.-56	7	1,007,090	988,574				
	ส.ค.-56	8	979,090	987,655				
	ก.ย.-56	9	937,475	986,736				
	ต.ค.-56	10	956,235	985,817				
	พ.ย.-56	11	891,730	984,898				
	ธ.ค.-56	12	937,615	983,979				
2557	ม.ค.-57	13	964,460	983,060				
	ก.พ.-57	14	978,705	982,141				
	มี.ค.-57	15	1,020,355	981,222				
	เม.ย.-57	16	1,006,740	980,303				
	พ.ค.-57	17	988,820	979,384				
	มิ.ย.-57	18	996,730	978,465				
	ก.ค.-57	19	1,031,730	977,546				
	ส.ค.-57	20	1,049,930	976,628				
	ก.ย.-57	21	953,015	975,709				
	ต.ค.-57	22	964,460	974,790				
	พ.ย.-57	23	871,395	973,871				
	ธ.ค.-57	24	891,730	972,952				
2558	ม.ค.-58	25	948,955	972,033				
	ก.พ.-58	26	988,260	971,114				
	มี.ค.-58	27	1,027,880	970,195				
	เม.ย.-58	28	1,031,030	969,276				
	พ.ค.-58	29	1,019,375	968,357				
	มิ.ย.-58	30	1,027,740	967,438				
	ก.ค.-58	31	1,007,615	966,519				
	ส.ค.-58	32	1,027,775	965,600				
	ก.ย.-58	33	941,395	964,681				
	ต.ค.-58	34	871,220	963,762				
	พ.ย.-58	35	921,235	962,843				
	ธ.ค.-58	36	929,145	961,924				

จากการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อบำบัดน้ำเสียแบบ Linear regression ผลปรากฏว่าได้ค่าที่เป็นจุดตัดแกน ( $b_0$ ) = 995006.72 และค่าความชันของสมการ ( $b_1$ ) = -918.96 ดังนั้น สมการ Linear regression คือ  $\hat{Y}_t = 995006.72 + (-918.96 * X_t)$  มีค่า R Square เท่ากับ 0.039 ซึ่งถ้าค่า R Square มีค่าใกล้ 1 มากเท่าไรจะยิ่งการพยากรณ์จะยิ่งแม่นยำ และค่า MSE มีค่าเท่ากับ 2,230,834,175

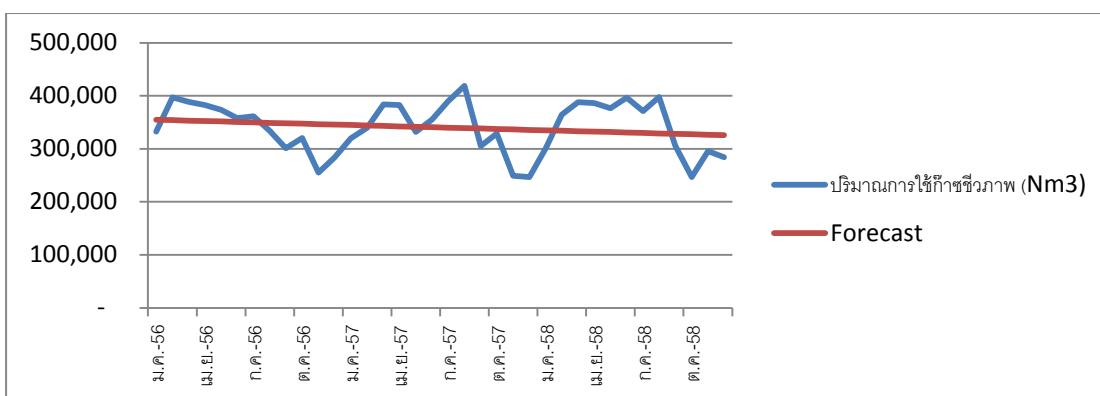


ภาพที่ 4-15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริง ตั้งแต่เดือนมกราคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Linear regression

ตารางที่ 4-14 ผลการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพในกระบวนการอบยางพารา  
ของบริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Linear Regression

ปี พ.ศ.	เดือน	t	ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )	Forecast	MSE	b0	b1	R square
2556	ม.ค.-56	1	332,375	354,848	2,247,931,603	355678.027	-829.796	0.039249
	ก.พ.-56	2	397,127	354,018				
	มี.ค.-56	3	388,422	353,189				
	เม.ย.-56	4	382,350	352,359				
	พ.ค.-56	5	373,814	351,529				
	มิ.ย.-56	6	357,759	350,699				
	ก.ค.-56	7	361,349	349,869				
	ส.ค.-56	8	333,855	349,040				
	ก.ย.-56	9	300,777	348,210				
	ต.ค.-56	10	320,454	347,380				
	พ.ย.-56	11	255,189	346,550				
	ธ.ค.-56	12	283,364	345,720				
2557	ม.ค.-57	13	320,004	344,891				
	ก.พ.-57	14	339,730	344,061				
	มี.ค.-57	15	383,702	343,231				
	เม.ย.-57	16	382,504	342,401				
	พ.ค.-57	17	331,897	341,571				
	มิ.ย.-57	18	355,607	340,742				
	ก.ค.-57	19	389,531	339,912				
	ส.ค.-57	20	418,947	339,082				
	ก.ย.-57	21	305,163	338,252				
	ต.ค.-57	22	328,837	337,423				
	พ.ย.-57	23	249,242	336,593				
	ธ.ค.-57	24	246,607	335,763				
2558	ม.ค.-58	25	300,802	334,933				
	ก.พ.-58	26	364,685	334,103				
	มี.ค.-58	27	387,957	333,274				
	เม.ย.-58	28	386,494	332,444				
	พ.ค.-58	29	376,712	331,614				
	มิ.ย.-58	30	396,317	330,784				
	ก.ค.-58	31	370,957	329,954				
	ส.ค.-58	32	397,788	329,125				
	ก.ย.-58	33	305,442	328,295				
	ต.ค.-58	34	246,652	327,465				
	พ.ย.-58	35	295,361	326,635				
	ธ.ค.-58	36	283,992	325,805				

จากการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพในกระบวนการอบยางพาราแบบ Linear regression ผลปรากฏว่า ได้ค่าที่เป็นจุดตัดแกน ( $b_0$ ) = 355678.03 และค่าความชันของสมการ ( $b_1$ ) = -829.80 ดังนั้น สมการ Linear regression คือ  $\hat{Y}_t = 355678.0 + (-829.80X_t)$  มีค่า R Square เท่ากับ 0.039 ซึ่งถ้าค่า R Square มีค่าใกล้ 1 มากเท่าไรจะยิ่งการพยากรณ์จะยิ่งแม่นยำ และค่า MSE มีค่าเท่ากับ 2,247,931,603



ภาพที่ 4-16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้จริงในกระบวนการอบยางพารา ตั้งแต่เดือนมกราคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Linear regression

## 8. วิธี Quadratic trend model

วิธีที่ 8 Quadratic trend model เป็นวิธีการพยากรณ์ข้อมูลที่เป็น Non stationary data สามารถพยากรณ์ได้จากสมการที่ 4-9

$$\hat{Y}_t = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 \quad (4-9)$$

เมื่อ  $\hat{Y}_t$  = ปริมาณก๊าซชีวภาพ ณ เวลาที่จะทำการพยากรณ์ ณ เวลาที่  $t$

$b_0$  = จุดตัดแกน Y ของสมการ

$b_1$  = สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร  $X_{1t}$

$b_2$  = สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร  $X_{2t}$

$X_1$  = ค่าของตัวแปรอิสระของเวลาที่  $t$

$X_2$  = ค่าของตัวแปรอิสระของเวลาที่  $t^2$

$t$  = เวลาของโครงการ ณ เวลานั้น ๆ โดยที่  $t = 1$  ถึง เวลาสุดท้ายที่จะทำนาย

ขั้นตอนแรกจะเริ่มจากการหาสมการ Quadratic trend model ก่อน โดยจะต้องหาค่าสัมประสิทธิ์

$$b_0 = \{ [\sum x^2 y * \sum_{xx}] - [\sum_{xy} * \sum_{xx^2}] \} / \{ [\sum_{xx} * \sum_{x^2 x^2}] - [\sum_{xx^2}]^2 \}$$

$$b_1 = \{ [\sum_{xy} * \sum_{x^2 x^2}] - [\sum_{x^2 y} * \sum_{xx^2}] \} / \{ [\sum_{xx} * \sum_{x^2 x^2}] - [\sum_{xx^2}]^2 \}$$

$$b_2 = [ \sum y / n ] - \{ b_1 * [ \sum x / n ] \} - \{ b_0 * [ \sum x^2 / n ] \}$$

โดยที่

$$\sum_{xx} = [ \sum x^2 ] - [ (\sum x)^2 / n ]$$

$$\sum_{xy} = [ \sum_{xy} ] - [ (\sum x * \sum y) / n ]$$

$$\sum_{xx^2} = [ \sum x^3 ] - [ (\sum x^2 * \sum x) / n ]$$

$$\sum_{x^2 y} = [ \sum x^2 y ] - [ (\sum x^2 * \sum y) / n ]$$

$$\sum_{x^2 x^2} = [ \sum x^4 ] - [ (\sum x^2)^2 / n ]$$

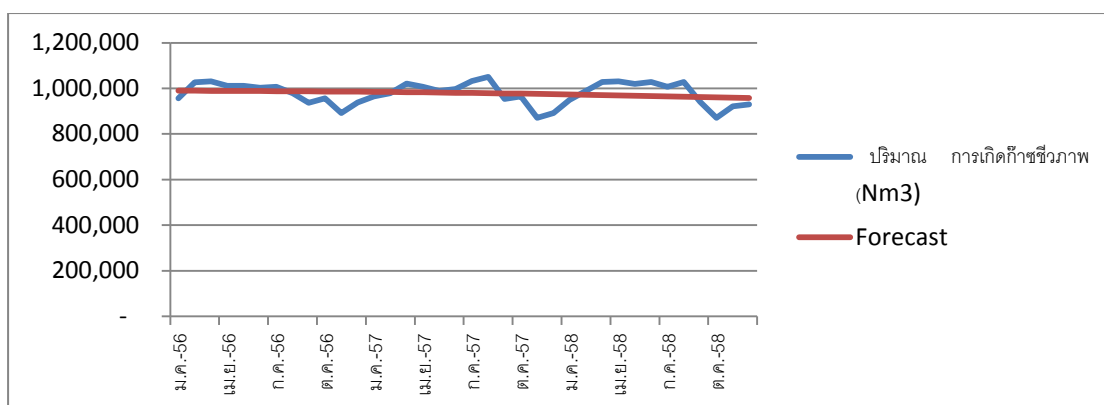
จากสมการดังกล่าวข้างต้นทำให้ได้ค่า  $b_0 = 989883.94 = -110.09$  และ  $b_2 = -21.86$

ดังนั้นสมการ Quadratic trend model คือ  $\hat{Y}_t = 989883.94 + (-110.09 * X_1) + (-21.86 * X_2)$  หลังจากที่ได้สมการ Quadratic trend model แล้วให้เริ่มการทำนาย โดยจะเริ่มจากเดือนมกราคม พ.ศ. 2556 โดยค่า  $X_t$  มีค่าเท่ากับ 1 เนื่องจากเป็นข้อมูลแรกและ 2 3 4 ไปเรื่อย ๆ จนถึงข้อมูลสุดท้าย ( $X_{36} = 36$ ) ดังนั้นค่า  $\hat{Y}_1 = 989883.94 + (-110.09 * 1) + (-21.86 * 1) = 989751.98 \text{ Nm}^3$  ทำอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ จนถึง  $\hat{Y}_{36}$  จากนั้นหาค่า MSE เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีพยากรณ์วิธีอื่น ๆ

ตารางที่ 4-15 ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อบำบัดน้ำเสียของ  
บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Quadratic trend model

ปี พ.ศ.	เดือน	t	t <sup>2</sup>	ปริมาณการเกิด ก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )	Forecast	MSE	b0	b1	b2	R Square	
2556	ม.ค.-56	1	1	956,375	989,752	989752	2,226,391,914	989884	-110,099	-21.8611	0.0411618
	ก.พ.-56	2	4	1,027,250	989,576	989576					
	มี.ค.-56	3	9	1,030,575	989,357	989357					
	เม.ย.-56	4	16	1,011,325	989,094	989094					
	พ.ค.-56	5	25	1,010,765	988,787	988787					
	มิ.ย.-56	6	36	1,002,995	988,436	988436					
	ก.ค.-56	7	49	1,007,090	988,042	988042					
	ส.ค.-56	8	64	979,090	987,604	987604					
	ก.ย.-56	9	81	937,475	987,122	987122					
	ต.ค.-56	10	100	956,235	986,597	986597					
	พ.ย.-56	11	121	891,730	986,028	986028					
	ธ.ค.-56	12	144	937,615	985,415	985415					
2557	ม.ค.-57	13	169	964,460	984,758	984758					
	ก.พ.-57	14	196	978,705	984,058	984058					
	มี.ค.-57	15	225	1,020,355	983,314	983314					
	เม.ย.-57	16	256	1,006,740	982,526	982526					
	พ.ค.-57	17	289	988,820	981,694	981694					
	มิ.ย.-57	18	324	996,730	980,819	980819					
	ก.ค.-57	19	361	1,031,730	979,900	979900					
	ส.ค.-57	20	400	1,049,930	978,938	978938					
	ก.ย.-57	21	441	953,015	977,931	977931					
	ต.ค.-57	22	484	964,460	976,881	976881					
	พ.ย.-57	23	529	871,395	975,787	975787					
	ธ.ค.-57	24	576	891,730	974,650	974650					
2558	ม.ค.-58	25	625	948,955	973,468	973468					
	ก.พ.-58	26	676	988,260	972,243	972243					
	มี.ค.-58	27	729	1,027,880	970,975	970975					
	เม.ย.-58	28	784	1,031,030	969,662	969662					
	พ.ค.-58	29	841	1,019,375	968,306	968306					
	มิ.ย.-58	30	900	1,027,740	966,906	966906					
	ก.ค.-58	31	961	1,007,615	965,462	965462					
	ส.ค.-58	32	1024	1,027,775	963,975	963975					
	ก.ย.-58	33	1089	941,395	962,444	962444					
	ต.ค.-58	34	1156	871,220	960,869	960869					
	พ.ย.-58	35	1225	921,235	959,251	959251					
	ธ.ค.-58	36	1296	929,145	957,588	957588					

จากการพยากรณ์ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อบำบัดน้ำเสียแบบ Quadratic trend model ผลปรากฏว่าได้ค่าที่เป็นจุดตัดแกน ( $b_0$ ) = 989883.94 มีสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร  $X_t$  ของสมการ ( $b_1$ ) = -110.099 มีสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร  $X_t^2$  ของสมการ ( $b_2$ ) = - 21.86 ดังนั้นสมการ Quadratic trend model คือ  $\hat{Y}_t = 989883.94 + (-110.099 X_t) + (- 21.86 X_t^2)$  มีค่า R Square เท่ากับ 0.041 ซึ่งถ้าค่า R Square มีค่าใกล้ 1 มากเท่าไรการพยากรณ์จะยิ่งแม่นยำ และค่า MSE มีค่าเท่ากับ 2,226,391,914



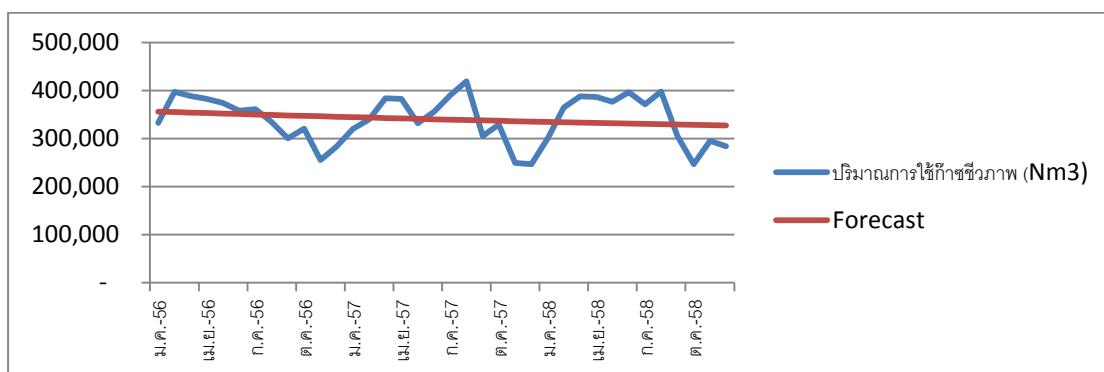
ภาพที่ 4-17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริง ตั้งแต่เดือนมกราคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Quadratic trend model

ตารางที่ 4-16 ผลการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพในกระบวนการอบยางพาราของ  
บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Quadratic trend model

ปี พ.ศ.	เดือน	t	t <sup>2</sup>	ปริมาณการใช้		MSE	b0	b1	b2	R Square
				ก๊าซชีวภาพ (Nm3)	Forecast					
2556	ม.ค.-56	1	1	332,375	356,070	2,247,578,726	357121.9	-1057.77	6.161432	0.03215
	ก.พ.-56	2	4	397,127	355,031					
	มี.ค.-56	3	9	388,422	354,004					
	เม.ย.-56	4	16	382,350	352,989					
	พ.ค.-56	5	25	373,814	351,987					
	มิ.ย.-56	6	36	357,759	350,997					
	ก.ค.-56	7	49	361,349	350,019					
	ส.ค.-56	8	64	333,855	349,054					
	ก.ย.-56	9	81	300,777	348,101					
	ต.ค.-56	10	100	320,454	347,160					
	พ.ย.-56	11	121	255,189	346,232					
	ธ.ค.-56	12	144	283,364	345,316					
2557	ม.ค.-57	13	169	320,004	344,412					
	ก.พ.-57	14	196	339,730	343,521					
	มี.ค.-57	15	225	383,702	342,642					
	เม.ย.-57	16	256	382,504	341,775					
	พ.ค.-57	17	289	331,897	340,920					
	มิ.ย.-57	18	324	355,607	340,078					
	ก.ค.-57	19	361	389,531	339,249					
	ส.ค.-57	20	400	418,947	338,431					
	ก.ย.-57	21	441	305,163	337,626					
	ต.ค.-57	22	484	328,837	336,833					
	พ.ย.-57	23	529	249,242	336,053					
	ธ.ค.-57	24	576	246,607	335,284					
2558	ม.ค.-58	25	625	300,802	334,529					
	ก.พ.-58	26	676	364,685	333,785					
	มี.ค.-58	27	729	387,957	333,054					
	เม.ย.-58	28	784	386,494	332,335					
	พ.ค.-58	29	841	376,712	331,628					
	มิ.ย.-58	30	900	396,317	330,934					
	ก.ค.-58	31	961	370,957	330,252					
	ส.ค.-58	32	1024	397,788	329,583					
	ก.ย.-58	33	1089	305,442	328,925					
	ต.ค.-58	34	1156	246,652	328,280					
	พ.ย.-58	35	1225	295,361	327,648					
	ธ.ค.-58	36	1296	283,992	327,027					



จากการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพในกระบวนการอบยางพาราแบบ Quadratic trend model ผลปรากฏว่าได้ค่าที่เป็นจุดตัดแกน ( $b_0$ ) = 357121.86 มีสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร  $X_t$  ของสมการ ( $b_1$ ) = -1057.77 มีสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร  $X^2_t$  ของสมการ ( $b_2$ ) = 6.16 ดังนั้นสมการ Quadratic trend model คือ  $\hat{Y}_t = 357121.86 + (-1057.77 X_t) + (6.16 X^2_t)$  มีค่า R Square เท่ากับ 0.032 ซึ่งถ้าค่า R Square มีค่าใกล้ 1 มากเท่าไรการพยากรณ์จะยิ่งแม่นยำ และค่า MSE มีค่าเท่ากับ 2,247,578,726



ภาพที่ 4-18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้จริงในกระบวนการอบยางพารา ตั้งแต่เดือนมกราคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Quadratic trend model

### 9. วิธี Holt-winter's method with additive seasonal effects

เป็นวิธีการพยากรณ์ข้อมูลที่เป็น Non stationary data สามารถพยากรณ์ได้จากสมการที่

4-10

$$\hat{Y}_{t+n} = E_t + nT_t + S_{t+n-p} \quad (4-10)$$

เมื่อ  $\hat{Y}_{t+n}$  = ปริมาณก๊าซชีวภาพ ณ เวลาที่จะทำการพยากรณ์

$$E_t = \text{ค่า Expected level of time series; } E_t = \alpha(Y_t - S_{t-p}) + (1-\alpha)(E_{t-1} + T_{t-1})$$

โดยที่  $0 \leq \alpha \leq 1$

$$S_t = \text{ค่า Seasonal factor ณ เวลาที่ } t; S_t = \gamma(Y_t - E_t) + (1-\gamma)S_{t-p} \text{ โดยที่ } 0 \leq \gamma \leq 1$$

$$T_t = \text{ค่า Trend; } \beta(E_t - E_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1} \text{ โดยที่ } 0 \leq \beta \leq 1$$

วิธีนี้เป็นวิธีการพยากรณ์ข้อมูลที่มีความคล้ายกันเป็นฤดูกาลช่วงเวลา  $p$  ในการศึกษาครั้งนี้ จะสังเกตได้ว่าปริมาณก๊าซชีวภาพในแต่ละเดือนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2558 จะมีลักษณะคล้ายกัน

ดังนั้นจึงใช้  $p = 12$  และช่วงของการทำนาย  $n = 1$  โดยจะเริ่มการคำนวณครั้งนี้ คือ ให้หาค่า  $S_t$  (Season factor) ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2556 โดยการนำปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริงในเดือนมกราคม พ.ศ.2556 มาลบกับค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจริงใน พ.ศ.2556 ทำให้ค่า  $S_1$  มีค่าเท่ากับ  $937,615 - 979,043 = -22,668$  ทำไปเรื่อย ๆ จนถึง  $S_{12}$  (Seasonal factor ของเดือนธันวาคม พ.ศ. 2556) ต่อมาให้กำหนดค่า  $T_{12} = 0$  (ค่า Trend ของเดือนธันวาคม พ.ศ. 2556) หลังจากนั้นจึงกำหนดให้ค่า  $E_{12} = Y_{12} - S_1 = 937,615 - (-22,668) = 979,043$

หลังจากนั้นให้เริ่มหาค่า  $E_{13}$  (ค่า  $\alpha$  หาได้โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นค่าที่จะทำให้ค่า MSE มีค่าน้อยที่สุดในที่นี้มีค่าเท่ากับ 0) ดังสมการต่อไปนี้

$$E_t = \alpha(Y_t - S_t) + (1 - \alpha)(E_{t-1} + T_{t-1}) \text{ โดยที่ } 0 \leq \alpha \leq 1$$

$$E_{13} = \alpha(Y_{13} - S_{13-12}) + (1 - \alpha)(E_{13-1} + T_{13-1})$$

$$E_{13} = 0(Y_{13} - S_1) + (1 - 0)(979,043 + 0)$$

$$E_{13} = 979,043$$

ต่อมาให้หาค่า  $T_{13}$  (ค่า  $\gamma$  หาได้โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นค่าที่จะทำให้ค่า MSE มีค่าน้อยที่สุดในที่นี้มีค่าเท่ากับ 0) ดังสมการต่อไปนี้

$$T_t = \beta(E_t - E_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \text{ โดยที่ } 0 \leq \beta \leq 1$$

$$T_{13} = \beta(E_{13} - E_{12}) + (1 - \beta)T_{13-1}$$

$$T_{13} = 0(979,043 - 979,043) + (1 - 0) \cdot 0$$

$$T_{13} = 0$$

และสุดท้ายให้หาค่า  $S_{13}$  (ค่า  $\beta$  หาได้โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นค่าที่จะทำให้ค่า MSE มีค่าน้อยที่สุดในที่นี้มีค่าเท่ากับ 0.35) ดังสมการต่อไปนี้

$$S_t = \gamma(Y_t - E_t) + (1 - \gamma)S_{t-p} \text{ โดยที่ } 0 \leq \gamma \leq 1$$

$$S_{13} = \gamma(Y_{13} - E_{13}) + (1 - \gamma)S_{13-12}$$

$$S_{13} = 0.35(964,460 - 979,043) + (1 - 0.35)(-22,668)$$

$$S_{13} = -19,834.74$$

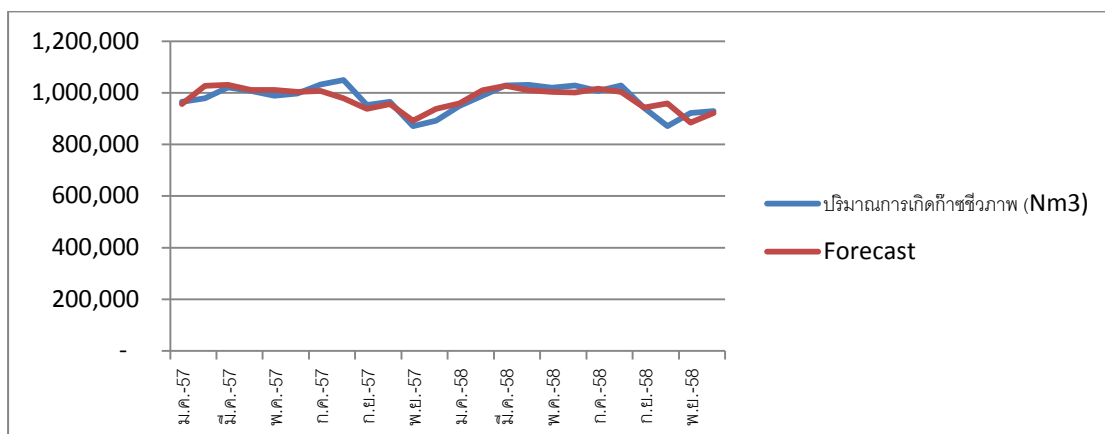
หลังจากที่ได้ค่า  $E_{13}$ ,  $S_{13}$  และ  $T_{13}$  ให้เริ่มทำการพยากรณ์  $\hat{Y}_{13}$  โดยการนำ ค่า  $E_{13}$ ,  $S_{13}$  และ  $T_{13}$  มาบวกกัน ( $\hat{Y}_{13} = 956,375$ ) ทำอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ จนถึง  $\hat{Y}_{36}$  แล้วหาค่า MSE มาเปรียบเทียบกับวิธีการพยากรณ์วิธีอื่น ๆ

ตารางที่ 4-17 ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อบำบัดน้ำเสียของ

บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Holt-winter's method with additive seasonal effects

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการเกิด ก๊าซชีวภาพ (Nm3)	Level	Trend	Seasonal factor	Forecast	
2556	ม.ค.-56	956,375	-	-	22,668	-	alpha 0
	ก.พ.-56	1,027,250	-	-	48,207	-	beta 0
	มี.ค.-56	1,030,575	-	-	51,532	-	gamma 0.350475447
	เม.ย.-56	1,011,325	-	-	32,282	-	
	พ.ค.-56	1,010,765	-	-	31,722	-	MSE 971,647,203
	มิ.ย.-56	1,002,995	-	-	23,952	-	
	ก.ค.-56	1,007,090	-	-	28,047	-	
	ส.ค.-56	979,090	-	-	47	-	
	ก.ย.-56	937,475	-	-	41,568	-	
	ต.ค.-56	956,235	-	-	22,808	-	
	พ.ย.-56	891,730	-	-	87,313	-	
	ธ.ค.-56	937,615	979,043	0	41,428	-	
	2557	ม.ค.-57	964,460	979,043	-	19,834.74	956,375
ก.พ.-57		978,705	979,043	-	31,192.84	1,027,250	
มี.ค.-57		1,020,355	979,043	-	47,949.81	1,030,575	
เม.ย.-57		1,006,740	979,043	-	30,674.74	1,011,325	
พ.ค.-57		988,820	979,043	-	24,030.48	1,010,765	
มิ.ย.-57		996,730	979,043	-	21,755.94	1,002,995	
ก.ค.-57		1,031,730	979,043	-	36,682.38	1,007,090	
ส.ค.-57		1,049,930	979,043	-	24,874.35	979,090	
ก.ย.-57		953,015	979,043	-	36,121.94	937,475	
ต.ค.-57		964,460	979,043	-	19,925.67	956,235	
พ.ย.-57		871,395	979,043	-	94,440.25	891,730	
ธ.ค.-57		891,730	979,043	-	57,509.90	937,615	
2558		ม.ค.-58	948,955	979,043	-	23,428.37	959,209
	ก.พ.-58	988,260	979,043	-	23,490.73	1,010,236	
	มี.ค.-58	1,027,880	979,043	-	48,260.63	1,026,993	
	เม.ย.-58	1,031,030	979,043	-	38,144.04	1,009,718	
	พ.ค.-58	1,019,375	979,043	-	29,743.65	1,003,074	
	มิ.ย.-58	1,027,740	979,043	-	31,198.00	1,000,799	
	ก.ค.-58	1,007,615	979,043	-	33,839.78	1,015,726	
	ส.ค.-58	1,027,775	979,043	-	33,235.75	1,003,918	
	ก.ย.-58	941,395	979,043	-	36,656.91	942,921	
	ต.ค.-58	871,220	979,043	-	50,731.64	959,118	
	พ.ย.-58	921,235	979,043	-	81,601.66	884,603	
	ธ.ค.-58	929,145	979,043	-	54,842.23	921,533	

จากการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากบ่อบำบัดน้ำเสียแบบ Holt-winter's method with additive seasonal effects ผลปรากฏว่า ค่า  $\alpha = 0$ ,  $\beta = 0$  และ  $\gamma = 0.35$  แปลว่าข้อมูลที่เก็บมานั้นมีค่า Base level คงที่ และเป็นข้อมูลแบบ Non-trend นอกจากนี้ข้อมูลที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับค่า Seasonal factor ที่น้ำหนักเท่ากับ 0.35 ส่วนค่า MSE มีค่าเท่ากับ 971,647,203

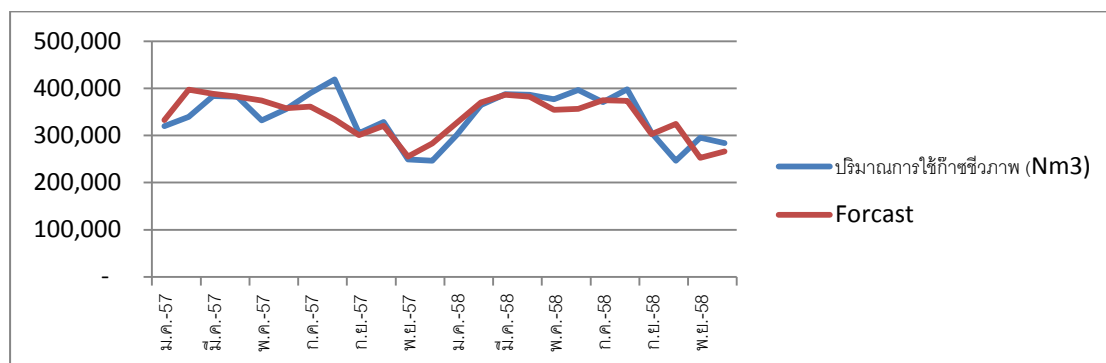


ภาพที่ 4-19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริง ตั้งแต่เดือนมกราคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Holt-winter's method with additive seasonal effects

ตารางที่ 4-18 ผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบยางพาราของ  
บริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Holt-winter's method with additive  
seasonal effects

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการใช้ ก๊าซชีวภาพ (Nm3)	Level	Trend	Seasonal factor	Forecast		
2556	ม.ค.-56	332,375	-	-	8,195	-	alpha	0
	ก.พ.-56	397,127	-	-	56,557	-	beta	0
	มี.ค.-56	388,422	-	-	47,852	-	gamma	0.468164178
	เม.ย.-56	382,350	-	-	41,780	-		
	พ.ค.-56	373,814	-	-	33,244	-	MSE	1,097,306,210
	มิ.ย.-56	357,759	-	-	17,189	-		
	ก.ค.-56	361,349	-	-	20,779	-		
	ส.ค.-56	333,855	-	-	6,715	-		
	ก.ย.-56	300,777	-	-	39,793	-		
	ต.ค.-56	320,454	-	-	20,116	-		
	พ.ย.-56	255,189	-	-	85,381	-		
	ธ.ค.-56	283,364	340,570	0	-	57,206	-	
2557	ม.ค.-57	320,004	340,570	-	-	13,986.24	332,375	
	ก.พ.-57	339,730	340,570	-	-	29,686.20	397,127	
	มี.ค.-57	383,702	340,570	-	-	45,642.68	388,422	
	เม.ย.-57	382,504	340,570	-	-	41,852.51	382,350	
	พ.ค.-57	331,897	340,570	-	-	13,620.38	373,814	
	มิ.ย.-57	355,607	340,570	-	-	16,181.93	357,759	
	ก.ค.-57	389,531	340,570	-	-	33,973.22	361,349	
	ส.ค.-57	418,947	340,570	-	-	33,122.44	333,855	
	ก.ย.-57	305,163	340,570	-	-	37,739.22	300,777	
	ต.ค.-57	328,837	340,570	-	-	16,190.96	320,454	
	พ.ย.-57	249,242	340,570	-	-	88,164.76	255,189	
	ธ.ค.-57	246,607	340,570	-	-	74,413.89	283,364	
2558	ม.ค.-58	300,802	340,570	-	-	26,056.14	326,583	
	ก.พ.-58	364,685	340,570	-	-	27,078.16	370,256	
	มี.ค.-58	387,957	340,570	-	-	46,459.50	386,212	
	เม.ย.-58	386,494	340,570	-	-	43,758.83	382,422	
	พ.ค.-58	376,712	340,570	-	-	24,164.39	354,190	
	มิ.ย.-58	396,317	340,570	-	-	34,705.07	356,752	
	ก.ค.-58	370,957	340,570	-	-	32,294.48	374,543	
	ส.ค.-58	397,788	340,570	-	-	44,403.31	373,692	
	ก.ย.-58	305,442	340,570	-	-	36,516.54	302,830	
	ต.ค.-58	246,652	340,570	-	-	52,579.78	324,379	
	พ.ย.-58	295,361	340,570	-	-	68,054.21	252,405	
	ธ.ค.-58	283,992	340,570	-	-	66,063.57	266,156	

จากการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากบ่อบำบัดน้ำเสียแบบ Holt-winter's method with additive seasonal effects ผลปรากฏว่า ค่า  $\alpha = 0$ ,  $\beta = 0$  และ  $\gamma = 0.47$  แปลว่าข้อมูลที่เกิดขึ้นมีค่า Base level คงที่ และเป็นข้อมูลแบบ Non-trend นอกจากนี้ข้อมูลมีส่วนเกี่ยวข้องกับค่า Seasonal factor ที่น้ำหนักเท่ากับ 0.47 ส่วนค่า MSE มีค่าเท่ากับ 1,097,306,210



ภาพที่ 4-20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้จริงในกระบวนการอบขางพารา ตั้งแต่เดือนมกราคม 2556-ธันวาคม 2558 โดยวิธี Holt-winter's method with additive seasonal effects

## 10. การสรุปผลค่า MSE และการหาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เหลือใช้ในการผลิตไฟฟ้าเพื่อหาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า

ตารางที่ 4-19 สรุปผลค่า MSE ของการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อบำบัดน้ำเสียด้วยการพยากรณ์ทั้ง 9 วิธี

Stationary data		
วิธีที่	วิธีการพยากรณ์	MSE
1	Moving average	2,032,075,793
2	Weighted moving average	1,626,839,048
3	Exponential smoothing	1,675,975,772
4	Stationary addictive seasonal	971,647,203

ตารางที่ 4-19 (ต่อ)

Non stationary data		
วิธีที่	วิธีการพยากรณ์	MSE
5	Double moving average	989,896
6	Linear regression	17
7	Double exponential smoothing	1,030,943
8	Quadratic trend	289
9	Hot-winter additive seasonal	971,647,203

ตารางที่ 4-20 สรุปผลค่า MSE ของการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบ  
 ยางพาราด้วยการพยากรณ์ทั้ง 9 วิธี

Stationary data		
วิธีที่	วิธีการพยากรณ์	MSE
1	Moving average	2,103,167,256
2	Weighted moving average	1,762,466,893
3	Exponential smoothing	1,780,334,134
4	Stationary additive seasonal	1,097,306,210
Non stationary data		
5	Double moving average	1,121,793,376
6	Linear regression	2,247,931,603
7	Double exponential smoothing	1,831,200,824
8	Quadratic trend	2,247,578,726
9	Hot-winter additive seasonal	1,097,306,210

จากตารางที่ 4-19 และตารางที่ 4-20 การพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นและ  
 ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพในกระบวนการอบยางพาราทั้ง 9 วิธี วิธีที่มีค่า MSE น้อยที่สุดคือ วิธี  
 Stationary data with seasonal effects และวิธี Holt-winter's method with additive seasonal effects  
 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 971,647,203 และ 1,097,306,210 ตามลำดับ แต่เนื่องจากค่า Trend เป็น 0 ทำให้

สมการเปลี่ยนจาก  $\hat{Y}_{t+n} = E_t + nT_t + S_{t+n-p}$  ไปเป็น  $\hat{Y}_{t+n} = E_t + S_{t+n-p}$  ซึ่งตรงกับสมการ Stationary data with seasonal effects ดังนั้นจึงใช้วิธี Stationary data with seasonal effects พยากรณ์ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นและปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบยางพาราเนื่องจากค่า MSE ที่ได้จากการพยากรณ์วิธีดังกล่าว มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ซึ่งจะขอยกตัวอย่าง วิธีการพยากรณ์ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในอีก 10 ปีข้างหน้าโดยวิธี Stationary data with seasonal effects การพยากรณ์ปริมาณก๊าซที่เกิดจากน้ำเสียในกระบวนการผลิตดังนี้

เริ่มจากการเอาค่าที่ทำนายได้ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงธันวาคมของปี พ.ศ. 2558 ซึ่งเป็นปีสุดท้ายที่มีข้อมูลจริงไปแทนค่าจริงของปี พ.ศ. 2559 แล้วเริ่มพยากรณ์ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในเดือน มกราคม 2559 โดยใช้สมการ

$$\hat{Y}_{t+n} = E_t + S_{t+n-p}$$

$\hat{Y}_{t+n}$  = ปริมาณก๊าซชีวภาพ ณ เวลาที่จะทำการพยากรณ์

$E_t$  = ค่า Expected level of time series;  $E_t = \alpha(Y_t - S_{t-p}) + (1-\alpha)E_{t-1}$  โดยที่  $0 \leq \alpha \leq 1$

$S_t$  = ค่า Seasonal factor ณ เวลาที่  $t$ ;  $S_t = \beta(Y_t - E_t) + (1-\beta)S_{t-p}$  โดยที่  $0 \leq \beta \leq 1$

$Y_t$  = ค่าปริมาณก๊าซจริง ณ ช่วงเวลาที่  $t$

$\alpha$  = ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการที่ใช้หาค่า  $E_t$  ซึ่งเป็นค่าที่แทนในสมการแล้วทำให้

ค่า MSE ของวิธี Stationary data with additive seasonal effects น้อยที่สุด

$\beta$  = ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการที่ใช้หาค่า  $S_t$  ซึ่งเป็นค่าที่แทนในสมการแล้วทำให้

ค่า MSE ของวิธี Stationary data with additive seasonal effects น้อยที่สุด

$$\begin{aligned}\hat{Y}_{37} &= E_{36} + S_{36+1-12} \\ &= 979,043 - 23,428.37 \\ &= 955,615\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s_{25} &= \beta(Y_{25} - E_{25}) + (1 - \beta)S_{25-12} \\ &= 0.35(948,955 - 979,043) + (1 - 0.35)(-19,834.74) \\ &= -23,428.37\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E_{36} &= \alpha(Y_{36} - S_{36-12}) + (1 - \alpha)E_{36-1} \\ &= 0(929,145 - (-57,509.90)) + 1(979,043) \\ &= 979,043\end{aligned}$$

ทำไปเรื่อย ๆ จาก มกราคม 2559 จนถึงธันวาคม 2559 หลังจากนั้นให้นำค่าทำนายของปี 2559 มาแทนค่าจริงในปี 2560 แล้วกลับเข้าสู่กระบวนการคำนวณซ้ำกับตัวอย่างข้างต้นคำนวณอย่างนี้ไปจนถึงสิ้นสุด ธันวาคม 2568 ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4-21-ตารางที่ 4-23 ตามลำดับ



ตารางที่ 4-21 ผลการพยากรณ์ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบยางพารา และปริมาณก๊าซชีวภาพคงเหลือ ในอีก 10 ปีข้างหน้าตั้งแต่ พ.ศ. 2559-2568 ด้วยวิธี Stationary data with seasonal effects

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )				ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )				ปริมาณ ก๊าซ คงเหลือ
		ปริมาณการเกิด ก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )	Level	Seasonal factor	Forecast	ปริมาณการใช้ก๊าซ ชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )	Level	Seasonal factor	Forecast	
2559	มกราคม	959208.5941	979043.33	-22168.89	955,615	326583.341	340569.58	-20405.45	314,513	641,102
	กุมภาพันธ์	1010236.169	979043.33	26190.127	1,002,534	370255.781	340569.58	28299.148	367,648	634,886
	มีนาคม	1026993.141	979043.33	48151.694	1,027,304	386212.2651	340569.58	46077.097	387,029	640,275
	เมษายน	1009718.07	979043.33	35526.236	1,017,187	382422.0973	340569.58	42866.363	384,328	632,859
	พฤษภาคม	1003073.816	979043.33	27741.324	1,008,787	354189.9624	340569.58	19228.062	364,734	644,053
	มิถุนายน	1000799.271	979043.33	27888.79	1,010,241	356751.5107	340569.58	26033.199	375,275	634,967
	กรกฎาคม	1015725.715	979043.33	34836.039	1,012,883	374542.8027	340569.58	33080.403	372,864	640,019
	สิงหาคม	1003917.682	979043.33	30305.286	1,012,279	373692.0258	340569.58	39122.014	384,973	627,306
	กันยายน	942921.3887	979043.33	-36469.42	942,386	302830.3681	340569.58	-37088.95	304,053	638,333
	ตุลาคม	959117.6607	979043.33	-39934.91	928,312	324378.6203	340569.58	-35543.84	287,990	640,322
	พฤศจิกายน	884603.0815	979043.33	-86101.27	897,442	252404.8277	340569.58	-77469.25	272,515	624,926
	ธันวาคม	921533.4334	979043.33	-55777.18	924,201	266155.6895	340569.58	-69972.89	274,506	649,695

ตารางที่ 4-21 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )				ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )				ปริมาณ ก๊าซ คงเหลือ
		ปริมาณการเกิด ก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )	Level	Seasonal factor	Forecast	ปริมาณการใช้ก๊าซ ชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )	level	Seasonal factor	Forecast	
2560	มกราคม	955614.961	979043.33	-22610.31	956874	314513.4408	340569.58	-23050.9	320,164	636710
	กุมภาพันธ์	1002534.061	979043.33	25244.054	1005233	367647.7409	340569.58	27727.524	368,869	636365
	มีนาคม	1027303.963	979043.33	48189.873	1027195	387029.0875	340569.58	46256.126	386,647	640548
	เมษายน	1017187.379	979043.33	36443.714	1014570	384328.4163	340569.58	43284.185	383,436	631134
	พฤษภาคม	1008786.981	979043.33	28443.089	1006785	364733.9735	340569.58	21539.074	359,798	646987
	มิถุนายน	1010241.336	979043.33	29048.588	1006932	375274.6553	340569.58	30093.059	366,603	640329
	กรกฎาคม	1012883.109	979043.33	34486.873	1013879	372864.0584	340569.58	32712.46	373,650	640229
	สิงหาคม	1012279.086	979043.33	31332.343	1009349	384972.8976	340569.58	41594.53	379,692	629657
	กันยายน	942386.4269	979043.33	-36535.13	942574	304053.0406	340569.58	-36820.97	303,481	639093
	ตุลาคม	928311.6874	979043.33	-43718.9	939108	287989.8014	340569.58	-43519.46	305,026	634083
	พฤศจิกายน	897441.6701	979043.33	-84524.27	892942	272515.3686	340569.58	-73061.47	263,100	629842
	ธันวาคม	924201.1007	979043.33	-55449.51	923266	274506.0111	340569.58	-68142.69	270,597	652669

ตารางที่ 4-21 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )				ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )				ปริมาณก๊าซ คงเหลือ
		ปริมาณการเกิดก๊าซ ชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )	Level	Seasonal factor	Forecast	ปริมาณการใช้ก๊าซ ชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )	level	Seasonal factor	Forecast	
2561	มกราคม	956874.44	979043.33	-22455.6	956433	320164.14	340569.58	-21812.39	317519	638914
	กุมภาพันธ์	1005233.46	979043.33	25575.629	1004287	368868.73	340569.58	27995.138	368297	635990
	มีนาคม	1027195.03	979043.33	48176.493	1027233	386646.68	340569.58	46172.311	386826	640407
	เมษายน	1014569.57	979043.33	36122.16	1015487	383435.95	340569.58	43088.576	383854	631633
	พฤษภาคม	1006784.66	979043.33	28197.137	1007486	359797.65	340569.58	20457.141	362109	645378
	มิถุนายน	1006932.12	979043.33	28642.107	1008092	366602.78	340569.58	28192.378	370663	637429
	กรกฎาคม	1013879.37	979043.33	34609.247	1013530	373649.99	340569.58	32884.718	373282	640248
	สิงหาคม	1009348.62	979043.33	30972.385	1010376	379691.60	340569.58	40436.987	382164	628212
	กันยายน	942573.92	979043.33	-36512.1	942508	303480.63	340569.58	-36946.43	303749	638760
	ตุลาคม	939108.43	979043.33	-42392.7	935324	305025.74	340569.58	-39785.56	297050	638274
	พฤศจิกายน	892942.06	979043.33	-85076.97	894519	263100.33	340569.58	-75125.03	267508	627011
	ธันวาคม	923266.15	979043.33	-55564.35	923594	270596.69	340569.58	-68999.53	272427	651167

ตารางที่ 4-21 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )				ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )				ปริมาณก๊าซ คงเหลือ
		ปริมาณการเกิดก๊าซ ชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )	Level	Seasonal factor	Forecast	ปริมาณการใช้ก๊าซ ชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )	level	Seasonal factor	Forecast	
2562	มกราคม	956433.02	979043.33	-22509.82	956588	317518.68	340569.58	-22392.22	318757	637831
	กุมภาพันธ์	1004287.39	979043.33	25459.42	1004619	368297.11	340569.58	27869.851	368565	636054
	มีนาคม	1027233.21	979043.33	48181.182	1027220	386825.71	340569.58	46211.551	386742	640478
	เมษายน	1015487.05	979043.33	36234.857	1015165	383853.77	340569.58	43180.153	383658	631507
	พฤษภาคม	1007486.42	979043.33	28283.337	1007240	362108.66	340569.58	20963.663	361027	646214
	มิถุนายน	1008091.92	979043.33	28784.569	1007685	370662.64	340569.58	29082.209	368762	638923
	กรกฎาคม	1013530.21	979043.33	34566.358	1013653	373282.04	340569.58	32804.073	373454	640198
	สิงหาคม	1010375.68	979043.33	31098.541	1010016	382164.11	340569.58	40978.907	381007	629009
	กันยายน	942508.21	979043.33	-36520.17	942531	303748.61	340569.58	-36887.7	303623	638908
	ตุลาคม	935324.43	979043.33	-42857.5	936651	297050.13	340569.58	-41533.64	300784	635867
	พฤศจิกายน	894519.06	979043.33	-84883.26	893966	267508.12	340569.58	-74158.95	265445	628522
	ธันวาคม	923593.83	979043.33	-55524.1	923479	272426.89	340569.58	-68598.39	271570	651909

ตารางที่ 4-21 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )				ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )				ปริมาณ ก๊าซ หลงเหลือ
		ปริมาณการเกิด ก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )	Level	Seasonal factor	Forecast	ปริมาณการใช้ก๊าซ ชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )	level	Seasonal factor	Forecast	
2563	มกราคม	956587.73	979043.33	-22490.82	956534	318757.19	340569.58	-22120.77	318177	638356
	กุมภาพันธ์	1004618.96	979043.33	25500.149	1004503	368564.72	340569.58	27928.506	368439	636063
	มีนาคม	1027219.83	979043.33	48179.539	1027225	386741.89	340569.58	46193.18	386781	640443
	เมษายน	1015165.49	979043.33	36195.359	1015278	383658.16	340569.58	43137.28	383750	631528
	พฤษภาคม	1007240.47	979043.33	28253.126	1007327	361026.72	340569.58	20726.528	361533	645793
	มิถุนายน	1007685.44	979043.33	28734.64	1007828	368761.96	340569.58	28665.622	369652	638176
	กรกฎาคม	1013652.58	979043.33	34581.39	1013610	373454.30	340569.58	32841.828	373374	640236
	สิงหาคม	1010015.72	979043.33	31054.326	1010142	381006.57	340569.58	40725.199	381548	628593
	กันยายน	942531.24	979043.33	-36517.34	942523	303623.15	340569.58	-36915.19	303682	638841
	ตุลาคม	936650.63	979043.33	-42694.6	936186	300784.02	340569.58	-40715.25	299036	637150
	พฤศจิกายน	893966.36	979043.33	-84951.15	894160	265444.55	340569.58	-74611.23	266411	627749
	ธันวาคม	923478.98	979043.33	-55538.21	923519	271570.06	340569.58	-68786.18	271971	651548

ตารางที่ 4-21 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )				ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )				ปริมาณ ก๊าซ คงเหลือ
		ปริมาณการเกิดก๊าซ ชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )	Level	Seasonal factor	Forecast	ปริมาณการใช้ก๊าซ ชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )	level	Seasonal factor	Forecast	
2564	มกราคม	956533.51	979043.33	-22497.48	956553	318177.36	340569.58	-22247.85	318449	638104
	กุมภาพันธ์	1004502.75	979043.33	25485.874	1004543	368439.43	340569.58	27901.046	368498	636045
	มีนาคม	1027224.52	979043.33	48180.115	1027223	386781.13	340569.58	46201.781	386763	640460
	เมษายน	1015278.19	979043.33	36209.202	1015239	383749.74	340569.58	43157.352	383707	631532
	พฤษภาคม	1007326.67	979043.33	28263.715	1007296	361533.25	340569.58	20837.546	361296	646000
	มิถุนายน	1007827.90	979043.33	28752.139	1007778	369651.79	340569.58	28860.653	369235	638543
	กรกฎาคม	1013609.69	979043.33	34576.122	1013625	373373.66	340569.58	32824.152	373411	640213
	สิงหาคม	1010141.87	979043.33	31069.822	1010098	381548.49	340569.58	40843.976	381295	628803
	กันยายน	942523.17	979043.33	-36518.33	942526	303681.89	340569.58	-36902.32	303654	638872
	ตุลาคม	936185.83	979043.33	-42751.69	936349	299035.95	340569.58	-41098.39	299854	636494
	พฤศจิกายน	894160.07	979043.33	-84927.36	894092	266410.64	340569.58	-74399.49	265958	628134
	ธันวาคม	923519.23	979043.33	-55533.26	923505	271971.20	340569.58	-68698.26	271783	651722

ตารางที่ 4-21 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )				ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )				ปริมาณ ก๊าซ คงเหลือ
		ปริมาณการเกิด ก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )	Level	Seasonal factor	Forecast	ปริมาณการใช้ก๊าซ ชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )	level	Seasonal factor	Forecast	
2565	มกราคม	956552.51	979043.33	-22495.15	956546	318448.82	340569.58	-22188.35	318322	638224
	กุมภาพันธ์	1004543.48	979043.33	25490.877	1004529	368498.09	340569.58	27913.902	368471	636059
	มีนาคม	1027222.87	979043.33	48179.913	1027223	386762.76	340569.58	46197.754	386771	640452
	เมษายน	1015238.69	979043.33	36204.351	1015253	383706.86	340569.58	43147.955	383727	631526
	พฤษภาคม	1007296.46	979043.33	28260.004	1007307	361296.11	340569.58	20785.571	361407	645900
	มิถุนายน	1007777.97	979043.33	28746.006	1007795	369235.21	340569.58	28769.347	369430	638365
	กรกฎาคม	1013624.72	979043.33	34577.968	1013619	373411.41	340569.58	32832.427	373394	640226
	สิงหาคม	1010097.66	979043.33	31064.391	1010113	381294.78	340569.58	40788.369	381414	628700
	กันยายน	942525.99	979043.33	-36517.98	942525	303654.39	340569.58	-36908.35	303667	638858
	ตุลาคม	936348.73	979043.33	-42731.69	936292	299854.33	340569.58	-40919.02	299471	636820
	พฤศจิกายน	894092.18	979043.33	-84935.7	894116	265958.35	340569.58	-74498.62	266170	627946
	ธันวาคม	923505.13	979043.33	-55535	923510	271783.40	340569.58	-68739.43	271871	651639

ตารางที่ 4-21 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )				ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )				ปริมาณ ก๊าซ คงเหลือ
		ปริมาณการเกิด ก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )	Level	Seasonal factor	Forecast	ปริมาณการใช้ก๊าซ ชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )	level	Seasonal factor	Forecast	
2566	มกราคม	956545.85	979043.33	-22495.96	956548	318321.73	340569.58	-22216.21	318381	638167
	กุมภาพันธ์	1004529.21	979043.33	25489.12	1004534	368470.63	340569.58	27907.883	368483	636051
	มีนาคม	1027223.45	979043.33	48179.98	1027223	386771.36	340569.58	46199.639	386767	640456
	เมษายน	1015252.54	979043.33	36206.05	1015248	383726.93	340569.58	43152.354	383718	631530
	พฤษภาคม	1007307.05	979043.33	28261.30	1007303	361407.13	340569.58	20809.904	361355	645948
	มิถุนายน	1007795.47	979043.33	28748.16	1007789	369430.24	340569.58	28812.093	369339	638450
	กรกฎาคม	1013619.45	979043.33	34577.32	1013621	373393.74	340569.58	32828.553	373402	640219
	สิงหาคม	1010113.16	979043.33	31066.29	1010108	381413.56	340569.58	40814.402	381358	628750
	กันยายน	942525.00	979043.33	-36518.10	942525	303667.26	340569.58	-36905.53	303661	638864
	ตุลาคม	936291.64	979043.33	-42738.70	936312	299471.19	340569.58	-41002.99	299651	636661
	พฤศจิกายน	894115.97	979043.33	-84932.78	894108	266170.09	340569.58	-74452.21	266071	628037
	ธันวาคม	923510.07	979043.33	-55534.39	923508	271871.32	340569.58	-68720.16	271830	651678



ตารางที่ 4-21 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )				ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )				ปริมาณ ก๊าซ คงเหลือ
		ปริมาณการเกิดก๊าซ ชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )	Level	Seasonal factor	Forecast	ปริมาณการใช้ก๊าซ ชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )	level	Seasonal factor	Forecast	
2567	มกราคม	956548.19	979043.33	-22495.68	956547	318381.23	340569.58	-22203.17	318353	638194
	กุมภาพันธ์	1004534.21	979043.33	25489.74	1004532	368483.49	340569.58	27910.701	368477	636055
	มีนาคม	1027223.25	979043.33	48179.96	1027223	386767.34	340569.58	46198.757	386769	640454
	เมษายน	1015247.68	979043.33	36205.46	1015249	383717.54	340569.58	43150.294	383722	631527
	พฤษภาคม	1007303.34	979043.33	28260.85	1007305	361355.15	340569.58	20798.512	361379	645925
	มิถุนายน	1007789.34	979043.33	28747.40	1007791	369338.93	340569.58	28792.081	369382	638410
	กรกฎาคม	1013621.30	979043.33	34577.55	1013621	373402.01	340569.58	32830.367	373398	640223
	สิงหาคม	1010107.72	979043.33	31065.63	1010110	381357.95	340569.58	40802.214	381384	628726
	กันยายน	942525.35	979043.33	-36518.06	942525	303661.24	340569.58	-36906.85	303664	638861
	ตุลาคม	936311.65	979043.33	-42736.24	936305	299650.57	340569.58	-40963.68	299567	636738
	พฤศจิกายน	894107.63	979043.33	-84933.80	894111	266070.96	340569.58	-74473.94	266117	627993
	ธันวาคม	923508.34	979043.33	-55534.60	923509	271830.16	340569.58	-68729.18	271849	651660

ตารางที่ 4-21 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )			ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )			ปริมาณ ก๊าซ คงเหลือ		
		ปริมาณการเกิดก๊าซ ชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )	Level	Seasonal factor	Forecast	ปริมาณการใช้ก๊าซ ชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )	level		Seasonal factor	Forecast
2568	มกราคม	956547.37			956548	318353.38			318366	638181
	กุมภาพันธ์	1004532.46			1004533	368477.47			368480	636053
	มีนาคม	1027223.32			1027223	386769.22			386768	640455
	เมษายน	1015249.38			1015249	383721.94			383720	631529
	พฤษภาคม	1007304.64			1007304	361379.49			361368	645936
	มิถุนายน	1007791.49			1007791	369381.68			369362	638429
	กรกฎาคม	1013620.65			1013621	373398.14			373400	640221
	สิงหาคม	1010109.63			1010109	381383.99			381372	628737
	กันยายน	942525.23			942525	303664.06			303663	638863
	ตุลาคม	936304.64			936307	299566.59			299606	636701
	พฤศจิกายน	894110.56			894110	266117.37			266096	628014
	ธันวาคม	923508.95			923509	271849.43			271840	651668

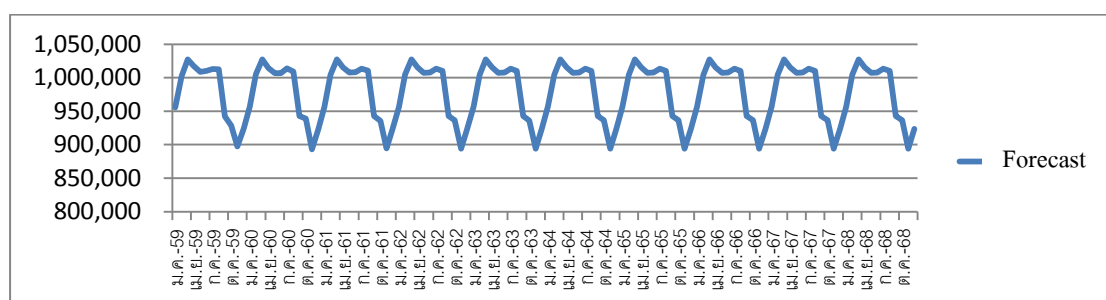
ตารางที่ 4-22 กระแสเงินสดกำไร/ ขาดทุนของโครงการตลอดอายุโครงการ 10 ปี ที่อัตราคิดลดมีค่าเท่ากับร้อยละ 10

ปี	รายรับโครงการ	รายจ่ายโครงการ	กำไรขาดทุน	มูลค่าปัจจุบันของ รายจ่าย	มูลค่าปัจจุบันกำไร/ ขาดทุน	มูลค่าปัจจุบันกำไร/ ขาดทุนสะสม
0	-	-	-	-	-	-128,990,922.00
1	68,500,800.00	-27,560,000.00	40,940,800.00	-25,054,545.450	37,218,909.09	-91,772,012.91
2	68,500,800.00	-27,755,880.00	40,744,920.00	-22,938,743.80	33,673,487.60	-58,098,525.31
3	68,500,800.00	-28,153,214.12	40,347,585.88	-21,151,926.46	30,313,738.45	-27,784,786.85
4	68,500,800.00	-28,763,490.06	39,737,309.94	-19,645,850.74	27,141,117.37	-643,669.49
5	68,500,800.00	-29,604,821.26	38,895,978.74	-18,382,264.79	24,151,342.58	23,507,673.09
6	68,500,800.00	-30,703,102.75	37,797,697.25	-17,331,101.07	21,335,814.71	44,843,487.81
7	68,500,800.00	-32,093,728.92	36,407,071.08	-16,469,157.54	18,682,584.08	63,526,071.89
8	68,500,800.00	-33,824,055.43	34,676,744.57	-15,779,171.49	16,176,957.26	79,703,029.15
9	60,460,800.00	-35,956,877.21	24,503,922.79	-15,249,225.99	10,392,055.29	90,095,084.45
10	60,460,800.00	-38,575,325.28	21,885,474.72	-14,872,457.80	8,437,797.91	98,532,882.36
Total	668,928,000.00	-441,981,417.05	355,937,504.95	-186,874,445.14	227,523,804.36	

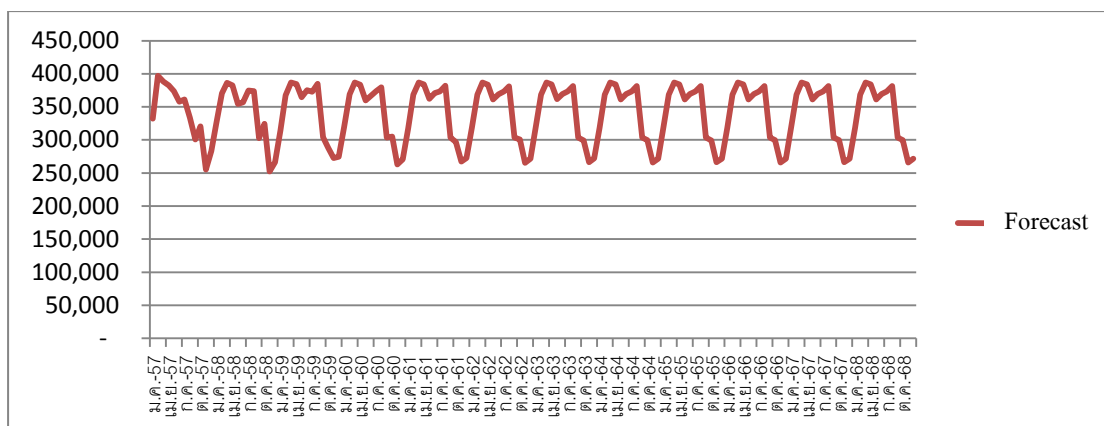
จากตารางที่ 4-21 พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นและปริมาณก๊าซที่ใช้ในกระบวนการอบขางพาราว่ามีค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อบำบัดน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 978,238 Nm<sup>3</sup> ต่อเดือน และค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบขางพารามีค่าเท่ากับ 340,374 Nm<sup>3</sup> ต่อเดือน จึงเหลือปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ผลิตไฟฟ้าเฉลี่ย 637,864 Nm<sup>3</sup> ต่อเดือน หรือ 7,654,371 Nm<sup>3</sup> ต่อปี และหลังจากที่ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าแล้วทำให้สามารถหาค่าศักยภาพการผลิตไฟฟ้าได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 &= \text{ปริมาณก๊าซชีวภาพ (Nm}^3\text{)} \times \text{ค่าความร้อนก๊าซชีวภาพ (MJ/(Nm}^3\text{))} \times \text{ประสิทธิภาพ} \\
 &\text{เครื่องผลิตไฟฟ้า} / (3.6(\text{MJ/kwh}) \times 1000 (\text{kwh/ MWh}) \times 335 (\text{วัน/ ปี}) \times 24 ((\text{ช.ม.})/ \text{วัน})) \\
 &= (7,654,371 \text{ Nm}^3 \times 24.08 \text{ MJ/ Nm}^3 \times 0.35) / (3.6\text{MJ/ kwh} \times 1000 \text{ kwh/ MWh} \times 335\text{วัน/} \\
 &\text{ปี} \times 24\text{ช.ม./ วัน}) \\
 &= 2.25 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

จากการหาค่าศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าของก๊าซชีวภาพที่เหลือปรากฏว่ามีค่าเท่ากับ 2.25 MW ซึ่งเพียงพอกับเครื่องจักรขนาด 2 MW ซึ่งตรงเครื่องจักรที่มีอยู่ในปัจจุบันซึ่งมีตั้งแต่ 200 kw – 2 MW (สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2553) ซึ่งถ้าเลือกใช้ปริมาณเครื่องจักรที่มีกำลังผลิตที่ 2 MW จะต้องมีปริมาณก๊าซชีวภาพคงเหลือต่อเดือนเท่ากับ 572,377.79 Nm<sup>3</sup> ต่อเดือน ซึ่งจากตารางที่ 4-22 พบว่าปริมาณก๊าซคงเหลือทุก ๆ เดือนนับจากมกราคม พ.ศ. 2559-ธันวาคม พ.ศ.2568 มีค่ามากกว่า 572,377.79 Nm<sup>3</sup> แสดงว่ามีปริมาณก๊าซชีวภาพคงเหลือเพียงพอสำหรับการผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังเครื่องจักร 2 MW



ภาพที่ 4-21 กราฟแสดงการพยากรณ์ก๊าซชีวภาพเกิดจากบ่อบำบัดน้ำเสียบริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น ในอีก 10 ปีข้างหน้า ตั้งแต่เดือนมกราคม 2559-ธันวาคม 2568 ด้วยวิธี Stationary data with seasonal effect



ภาพที่ 4-22 กราฟแสดงการพยากรณ์กำลังชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบยางพาราของบริษัท กลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์นในอีก 10 ปีข้างหน้า ตั้งแต่เดือนมกราคม 2559- ธันวาคม 2568 ด้วยวิธี Stationary data with seasonal effect

## การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าจากน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มและยางพารา

จากการวิเคราะห์ทำให้เราทราบถึง งบลงทุน (fixed cost) ต้นทุนแปรผัน (Variable cost) รายได้ของโครงการ และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้เครื่องมือ 4 ตัวในการวัดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราส่วนระหว่าง กำไรต่อทุน (B/C ratio) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ระยะเวลาคืนทุนแบบอัตราคิดลด (Discounted payback period) ซึ่งสรุปผลได้ดังนี้

### 1. งบลงทุนของโครงการ (Fixed Cost)

งบลงทุนของโครงการประกอบไปด้วย 2 ส่วน ได้แก่ส่วนที่เป็นทุนในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าที่มีมูลค่าเท่ากับ 30,940,922 บาท และส่วนที่เป็นบ่อบำบัดน้ำเสีย 98,050,000 บาท สรุปได้ว่างบลงทุนที่ใช้ในการสร้างโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพขนาด 2 MW และมีบ่อบำบัดน้ำเสียแบบ MCL และ CSTR จะเท่ากับ 128,990,922 บาท

### 2. ต้นทุนแปรผันของโครงการ (Variable cost) ประกอบด้วย

2.1 ค่าแรงงาน ส่วนที่เป็นของโรงไฟฟ้า เท่ากับ 1,044,000 บาท/เดือน ส่วนที่เป็นของบ่อบำบัดน้ำเสีย 3,720,000 บาท/เดือน และส่วนที่เป็นแผนกวิศวกรรมอีก 1,044,000 บาท/เดือน รวมค่าแรงงานทั้งหมดเป็น 5,808,000 บาท/ปี และจะมีอัตราเพิ่มเงินเดือนที่ ร้อยละ 1.5 ทุกปี

2.2 ค่าไฟฟ้าและค่าน้ำในอาคารสำนักงานของโรงไฟฟ้า เท่ากับ 13,000,000 บาท/ปี และจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.5/ปี

2.3 รายจ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 บ่อ เท่ากับ 4,000,000 บาทต่อปี และจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.5 ต่อปี

2.4 รายจ่ายด้านค่าบำรุงรักษา ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักรเครื่องปั้นไฟฟ้า เท่ากับ 1,752,000 บาท/ปี ส่วนของบ่อก๊าซชีวภาพเท่ากับ 3,000,000 บาท/ปี รวมเป็น 4,752,000 บาท/ปี และจะเพิ่มร้อยละ 0.5/ปี

### 3. รายรับของโครงการ

พบว่าราคารับซื้อไฟฟ้าในส่วนที่เป็นก๊าซชีวภาพทุกขนาดจะรับซื้อที่ 3.76 บาท/หน่วย ตลอดอายุสัญญา 20 ปี และเพิ่มในส่วนของ Fit premium อีก 0.5 บาทใน 8 ปีแรก ดังนั้นรายได้ใน 8 ปีแรก เท่ากับ 2000kW (กำลังเครื่องผลิตไฟฟ้า x 8040 (ชั่วโมงการผลิต/ปี) x 4.26 บาท/หน่วย ไฟฟ้าที่ผลิตได้ 68,500,800 บาท/ปี ในช่วง 8 ปีแรก และ 60,460,800 บาท/ปี ในปีถัดไป

4. ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้เครื่องมือ 4 ตัว ในการวัดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราส่วนระหว่าง กำไรต่อทุน (B/C ratio) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ระยะเวลาคืนทุนแบบอัตราคิดลด (Discounted payback period) ที่อัตราคิดลดมีค่าเท่ากับร้อยละ 10 และมีอายุโครงการเท่ากับ 10 ปี ซึ่งสรุปผลได้ดังนี้

ตารางที่ 4-22 กระแสเงินสดกำไร/ขาดทุนของโครงการตลอดอายุโครงการ 10 ปีที่อัตราคิดลด  
มีค่าเท่ากับร้อยละ 10

จากตารางที่ 4-22 สรุปผลได้ดังนี้ มูลค่ากำไร/ขาดทุนสะสมของโครงการก่อนคิดมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับ 227,523,804.36 บาท แต่เมื่อคิดมูลค่าปัจจุบันสุทธิของมูลค่ากำไร/ขาดทุนของโครงการที่อัตราคิดลดร้อยละ 10 อายุโครงการ 10 ปี (NPV) มีค่าเท่ากับ 98,532,882.36 บาท เนื่องจากมูลค่าปัจจุบันของผลกำไรสะสมมีค่าเท่ากับ 227,523,804.36 บาท และมูลค่าปัจจุบันสุทธิของรายจ่ายสะสมโครงการมีค่าเท่ากับ 186,874,445.14 บาท ทำให้อัตราส่วนระหว่างกำไรต่อทุน (B/C ratio) เท่ากับ 1.22 อัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการเป็นศูนย์ มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 16 ดังนั้นอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เท่ากับ 16% และสุดท้ายเวลาที่มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิของกำไร/ขาดทุนสะสมโครงการมีค่าเป็นศูนย์อยู่ระหว่างปีที่ 4 และ 5 จึงทำการ Interpolate เพื่อหาระยะเวลาคืนทุนแบบอัตราคิดลด (Discounted payback period) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.03 ปี

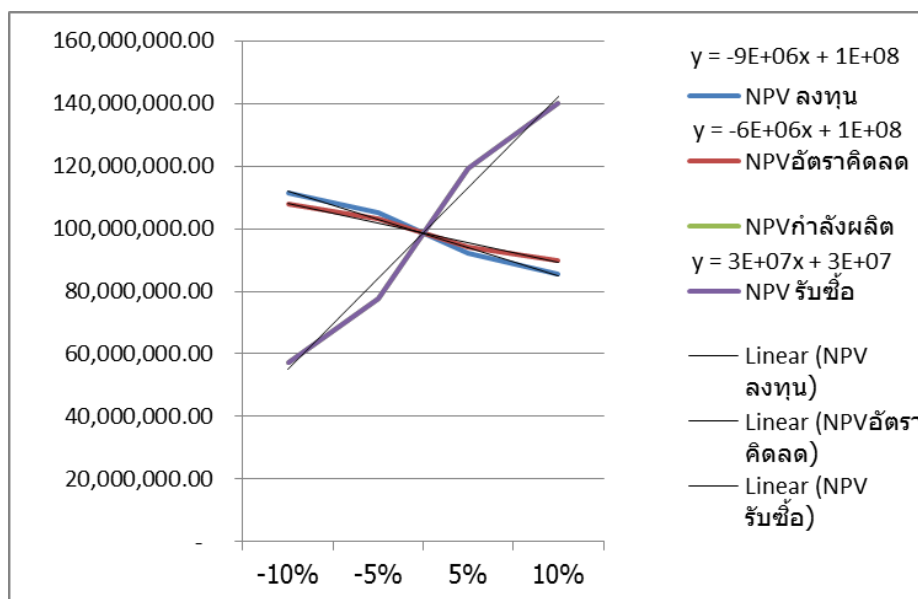
### วิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (Sensitivity analysis)

1. ผลกระทบของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของโครงการเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงงบลงทุน อัตราคิดลด กำลังผลิตและอัตรารับซื้อที่ -10%, -5%, 5%, 10%

ตารางที่ 4-23 การเปลี่ยนแปลงของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของโครงการเมื่อทำการเปลี่ยนแปลง งบลงทุน อัตราคิดลด กำลังผลิตและอัตรารับซื้อที่ -10%, -5%, 5%, 10%

การเปลี่ยนแปลง	NPV ลงทุน	NPV อัตราคิดลด	NPV กำลังผลิต	NPV รับซื้อ
-10%	111,431,974.56	107,833,480.92	57,093,057.41	57,093,057.41
-5%	104,982,428.46	103,109,189.11	77,812,969.88	77,812,969.88
5%	92,083,336.26	94,098,708.06	119,252,794.83	119,252,794.83
10%	85,633,790.16	89,801,084.54	139,972,707.31	139,972,707.30





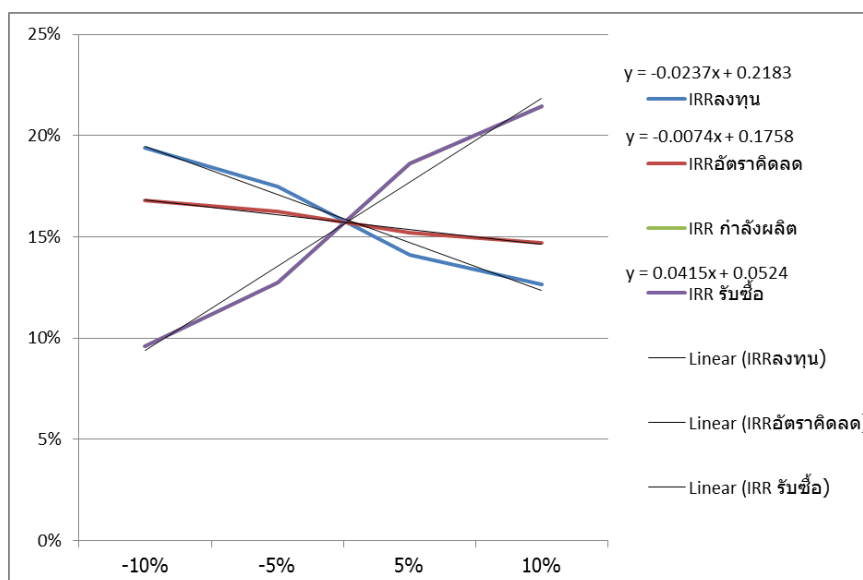
ภาพที่ 4-23 การเปลี่ยนแปลง มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของโครงการเมื่อทำการเปลี่ยนแปลง งบลงทุน อัตราคิดลด กำลังผลิตและอัตรารับซื้อที่ -10%, -5%, 5%, 10%

จากภาพที่ 4-23 พบว่าอัตรารับซื้อและกำลังผลิตส่งผลต่อความอ่อนไหวต่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการมากกว่าตัวแปรอื่น เนื่องจากสมการเส้นตรงระหว่างมูลค่าปัจจุบันสุทธิตัวแปรอื่น ๆ รองลงมา คือ งบลงทุน และอัตราคิดลดตามลำดับ นอกจากนี้จากสมการยังบอกอีกว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิจะแปรผันตามกำลังผลิตและอัตรารับซื้อ (ความชันเป็นบวก) และแปรผกผันกับอัตราคิดลด และงบลงทุน (ความชันเป็นลบ)

2. ผลกระทบของอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ของโครงการเมื่อทำการเปลี่ยนแปลง งบลงทุน อัตราคิดลด กำลังผลิตและอัตรารับซื้อที่ -10%, -5%, 5%, 10%

ตารางที่ 4-24 การเปลี่ยนแปลงอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ของโครงการเมื่อทำการเปลี่ยนแปลง งบลงทุน อัตราคิดลด กำลังผลิตและอัตรารับซื้อที่ -10%, -5%, 5%, 10%

การเปลี่ยนแปลง	IRR ลงทุน	IRR อัตราคิดลด	IRR กำลังผลิต	IRR รับซื้อ
-10%	19%	17%	10%	10%
-5%	17%	16%	13%	13%
5%	14%	15%	19%	19%
10%	13%	15%	21%	21%



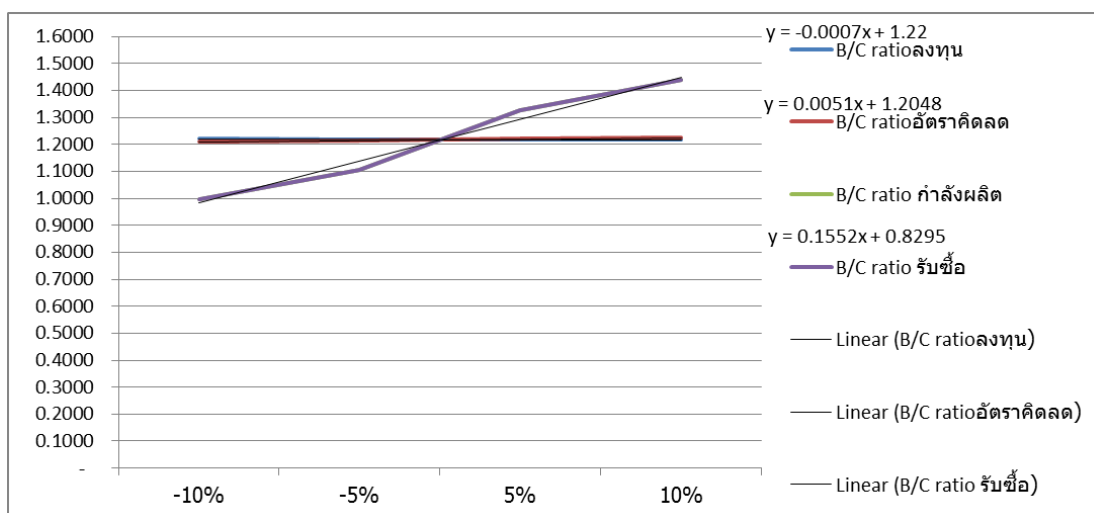
ภาพที่ 4-24 การเปลี่ยนแปลง ผลตอบแทนภายใน (IRR) ของโครงการเมื่อทำการเปลี่ยนแปลง งบลงทุน อัตราคิดลด กำลังผลิตและอัตรารับซื้อที่ -10%, -5%, 5%, 10%

จากภาพที่ 4-24 พบว่าอัตรารับซื้อและกำลังผลิตส่งผลต่อความอ่อนไหวต่อผลตอบแทนภายใน (IRR) ของโครงการมากกว่าตัวแปรอื่น เนื่องจากสมการเส้นตรงระหว่าง มูลค่าปัจจุบันสุทธิกับเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง มีค่าความชันมากกว่าเมื่อเทียบกับตัวแปรอื่น ๆ รองลงมา คือ งบลงทุนและอัตราคิดลดตามลำดับ นอกจากนี้จากสมการยังบอกอีกว่า อัตราผลตอบแทนภายในจะแปรผันตามกำลังผลิตและอัตรารับซื้อ (ความชันเป็นบวก) และแปรผกผันกับ อัตราคิดลด และ งบลงทุน (ความชันเป็นลบ)

3. ผลกระทบของอัตราส่วนระหว่าง กำไรต่อทุนของโครงการ (B/C ratio) เมื่อทำการเปลี่ยนแปลง งบลงทุน อัตราคิดลด กำล้งผลิตและอัตรารับซื้อที่ -10%, -5%, 5%, 10%

ตารางที่ 4-25 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างกำไรต่อทุนของโครงการ (B/C ratio) เมื่อทำการเปลี่ยนแปลง งบลงทุน อัตราคิดลด กำล้งผลิตและอัตรารับซื้อที่ -10%, -5%, 5%, 10%

การเปลี่ยนแปลง	B/C ratio ลงทุน	B/C ratio อัตราคิดลด	B/C ratio กำล้งผลิต	B/C ratio รับซื้อ
-10%	1.2200	1.2102	0.9958	0.9958
-5%	1.2175	1.2139	1.1066	1.1066
5%	1.2175	1.2211	1.3284	1.3284
10%	1.2175	1.2247	1.4393	1.4393



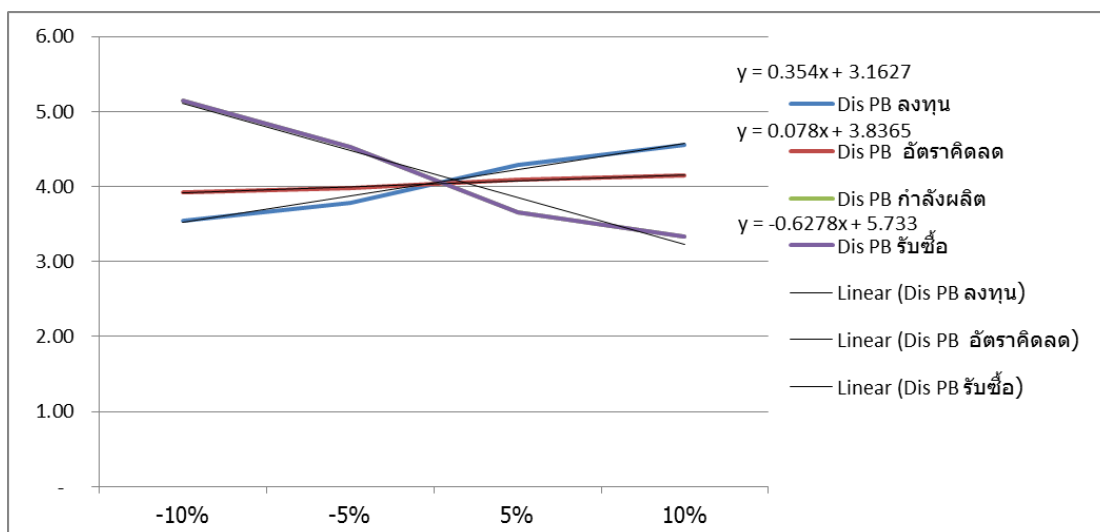
ภาพที่ 4-25 การเปลี่ยนแปลง อัตราส่วนกำไรต่อทุน (B/C ratio) ของโครงการเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงงบลงทุน อัตราคิดลด กำล้งผลิตและอัตรารับซื้อที่ -10%, -5%, 5%, 10%

จากภาพที่ 4-25 พบว่าอัตรารับซื้อและกำลังผลิตส่งผลต่อความอ่อนไหวต่อ อัตราส่วนกำไรต่อทุน (B/C ratio) ของโครงการมากกว่าตัวแปรอื่น เนื่องจากสมการเส้นตรงระหว่าง มูลค่าปัจจุบันสุทธิกับเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง มีค่าความชันมากกว่าเมื่อเทียบกับตัวแปรอื่น ๆ รองลงมาคือ อัตราคิดลดตาม และงบลงทุน ตามลำดับ นอกจากนี้จากสมการยังบอกอีกว่า อัตราส่วนกำไรต่อทุนจะแปรผันตามกำลังผลิต, อัตรารับซื้อ และอัตราคิดลด (ความชันเป็นบวก) และแปรผกผันกับงบลงทุน (ความชันเป็นลบ)

**4. ผลกระทบของระยะเวลาคืนทุนแบบอัตราคิดลด (Discounted payback period) เมื่อทำการเปลี่ยนแปลง งบลงทุน อัตราคิดลด กำลังผลิตและอัตรารับซื้อที่ -10%, -5%, 5%, 10%**

ตารางที่ 4-26 การเปลี่ยนแปลงระยะเวลาคืนทุนแบบอัตราคิดลด (Discounted payback period) เมื่อทำการเปลี่ยนแปลง งบลงทุน อัตราคิดลด กำลังผลิตและอัตรารับซื้อที่ -10%, -5%, 5%, 10%

การเปลี่ยนแปลง	Dis PB ลงทุน	Dis PB อัตราคิดลด	Dis PB กำลังผลิต	Dis PB รับซื้อ
-10%	3.55	3.922905503	5.140792387	5.140792387
-5%	3.79	3.972837003	4.522168527	4.522168527
5%	4.29	4.085290069	3.65355885	3.65355885
10%	4.56	4.145554834	3.337828867	3.337828867



ภาพที่ 4-26 การเปลี่ยนแปลง ระยะเวลาคืนทุนแบบอัตราคิดลด (Discounted payback period) ของโครงการเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงงบลงทุน อัตราคิดลด กำล้งผลิตและอัตรารับซื้อที่ -10%, -5%, 5%, 10%

จากภาพที่ 4-26 พบว่าอัตรารับซื้อและกำล้งผลิตส่งผลต่อความอ่อนไหวต่อ ระยะเวลาคืนทุนแบบอัตราคิดลด (Discounted payback period) ของโครงการมากกว่าตัวแปรอื่น เนื่องจากสมการเส้นตรงระหว่าง มูลค่าปัจจุบันสุทธิกับเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง มีค่าความชันมากกว่าเมื่อเทียบกับตัวแปรอื่น ๆ รองลงมา คือ งบลงทุน และอัตราคิดลด ตามลำดับ นอกจากนี้จากสมการยังบอกอีกว่าระยะเวลาคืนทุนแบบอัตราคิดลดจะแปรผันตามงบลงทุน และอัตราคิดลด (ความชันเป็นบวก) และแปรผกผันกับกำล้งผลิตและ อัตรารับซื้อ (ความชันเป็นลบ)

### การวิเคราะห์ความแม่นยำของวิธีการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริง

เนื่องจากทางบริษัทที่ยกมาเป็นกรณีศึกษาในครั้งนี้ ได้มีเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริงระหว่างปี พ.ศ. 2559-2560 ผู้วิจัยจึงได้ทำการขอข้อมูลดังกล่าวกับทางบริษัท เพื่อนำมาวิเคราะห์ความแม่นยำของวิธีการพยากรณ์ (Stationary data with seasonal effect) โดยนำข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริงมาเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพที่พยากรณ์ได้ซึ่งผลได้ตารางที่ 4-27

ตารางที่ 4-27 เปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นและปริมาณก๊าซชีวภาพที่พยากรณ์ได้  
ระหว่างปี พ.ศ.2559-2560

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณก๊าซชีวภาพ ที่เกิดขึ้นจริง	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจาก การพยากรณ์
2559	มกราคม	286448.00	955614.96
	กุมภาพันธ์	344451.00	1002534.06
	มีนาคม	345950.00	1027303.96
	เมษายน	341000.00	1017187.38
	พฤษภาคม	342732.00	1008786.98
	มิถุนายน	347198.00	1010241.34
	กรกฎาคม	348916.00	1012883.11
	สิงหาคม	348573.00	1012279.09
	กันยายน	242110.00	942386.43
	ตุลาคม	228027.50	928311.69
	พฤศจิกายน	217494.60	897441.67
	ธันวาคม	238238.86	924201.10
2560	มกราคม	285758.24	956874.44
	กุมภาพันธ์	341504.00	1005233.46
	มีนาคม	343690.00	1027195.03
	เมษายน	342899.00	1014569.57
	พฤษภาคม	341128.00	1006784.66
	มิถุนายน	341190.00	1006932.12
	กรกฎาคม	342203.00	1013879.37
	สิงหาคม	341158.00	1009348.62
	กันยายน	248176.00	942573.92
	ตุลาคม	239936.00	939108.43
	พฤศจิกายน	220800.00	892942.06
	ธันวาคม	239000.00	923266.1
ปริมาณเฉลี่ย		302440.88	978244.98

จากตารางที่ 4-27 พบว่าปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจริงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 302,440.88 Nm<sup>3</sup> และปริมาณก๊าซที่เกิดจากการพยากรณ์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 978,244.98 Nm<sup>3</sup> ซึ่งมีค่าเฉลี่ยมากกว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริงถึง 3.23 เท่า เนื่องจากบริษัทได้มีการใช้บ่อบำบัดเพียงบ่อเดียวเท่านั้น แต่จากการศึกษาในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้พยากรณ์ปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากบ่อบำบัด 2 บ่อ ซึ่งเป็นบ่อบำบัดแบบ CSTR (Continuous stirred tank reactor) และ แบบ MCL (Modified cover lagoon) ซึ่งขณะนี้บริษัทได้ใช้บ่อบำบัดแบบ CSTR บ่อเดียวซึ่งมีขนาดเล็กกว่าบ่อบำบัดแบบ MCL

## บทที่ 5

### สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ

#### สรุปผล และอภิปราย

1. สักยภาพของแหล่งก๊าซชีวภาพที่ได้จากน้ำเสียของกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม และยางพาราเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าของบริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น

ในการหาศักยภาพของแหล่งก๊าซชีวภาพนั้น จะทำการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น และปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพในกระบวนการอบยางเพื่อหาปริมาณก๊าซชีวภาพคงเหลือในการผลิตไฟฟ้า โดยจะเลือกวิธีที่มีค่า MSE น้อยที่สุดมาใช้ในการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในอีก 10 ปีข้างหน้า ตามอายุโครงการ ผลปรากฏว่า Stationary data with seasonal effects เป็นวิธีการพยากรณ์ที่มีค่า MSE น้อยที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 971,647,203 และ 1,097,306,210 ตามลำดับ จึงนำวิธีนี้มาใช้กับกรณีศึกษาในครั้งนี้ จากการพยากรณ์พบว่าปริมาณก๊าซคงเหลือที่ในการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ  $7,654,371 \text{ Nm}^3$  ต่อปี  $572,377.79 \text{ Nm}^3$  ต่อเดือน

จากตารางที่ 4-23 พบว่าปริมาณก๊าซคงเหลือทุก ๆ เดือนนับจากมกราคม พ.ศ. 2559-ธันวาคม พ.ศ. 2568 มีค่ามากกว่า  $572,377.79 \text{ Nm}^3$  แสดงว่า มีปริมาณก๊าซชีวภาพคงเหลือพอที่จะติดตั้งเครื่องผลิตไฟฟ้าขนาด 2 Mw ซึ่งตรงเครื่องจักรที่มีอยู่ในปัจจุบันซึ่งมีตั้งแต่ 200 kw-2 Mw (สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2553)

2. ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่ได้จากน้ำเสียของกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม และยางพารา ของบริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น

มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (NPV) มีค่าเท่ากับ 98,532,882 บาท อัตราส่วนระหว่างกำไรต่อทุน (B/C ratio) เท่ากับ 1.22 อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เท่ากับ 16% ระยะเวลาคืนทุนแบบอัตราคิดลด Discounted payback period เท่ากับ 4.03 ปี (คิดลดมีค่าเท่ากับร้อยละ 10 และมีอายุโครงการเท่ากับ 10 ปี) สามารถอภิปรายผลได้ว่า

โครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 98,532,882 บาท ซึ่งมีความหมายว่า เมื่อสิ้นสุดอายุโครงการจะมีกำไรสะสมที่ 226,946,583 บาท และมีมูลค่าปัจจุบันของกำไรที่อัตราคิดลดร้อยละ 10 เท่ากับ 98,532,882 บาท สรุปว่าสามารถลงทุนได้



โครงการมีกำไรต่อทุน (B/C ratio) เท่ากับ 1.22 มีความหมายว่า มูลค่าปัจจุบันของกำไรสุทธิมีค่าเป็น 1.22 เท่าเมื่อเทียบกับกับมูลค่าปัจจุบันของทุน ซึ่งมีความมากกว่า 1 สรุปว่าสามารถลงทุนได้

โครงการมีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เท่ากับ 16% มีความหมายว่าอัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของโครงการเป็นศูนย์มีค่าเท่ากับ 16% ซึ่งมากกว่าอัตราคิดลดของโครงการที่ 10% สรุปว่าสามารถลงทุนได้

โครงการมีระยะเวลาคืนทุนแบบอัตราคิดลด (Discounted payback period) เท่ากับ 4.03 ปี หรือ ประมาณ 4 ปี 10 วัน ซึ่งปัจจุบันระยะเวลาคืนทุนโดยเฉลี่ยของโครงการที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนมีค่าประมาณ 5-6 ปี สรุปได้ว่าเป็นโครงการที่ควรให้ความสนใจโครงการหนึ่งในเรื่องของระยะเวลาคืนทุน

### 3. ตัวแปรที่เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ NPV, IRR, B/C ratio และ Discounted payback period ของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่ได้จากน้ำเสียของกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม และยางพาราของบริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น โดยวิธี Sensitivity analysis

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของโครงการมากที่สุด คือ อัตรารับซื้อและกำลังผลิต รองลงมา คือ งบลงทุนและอัตราคิดลดตามลำดับ นอกจากนี้จากสมการยังบอกอีกว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิจะแปรผันตามกำลังผลิตและอัตรารับซื้อ (ความชันเป็นบวก) และแปรผกผันกับอัตราคิดลด และงบลงทุน (ความชันเป็นลบ)

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลตอบแทนภายใน (IRR) ของโครงการมากที่สุด คือ อัตรารับซื้อและกำลังผลิต รองลงมา คือ งบลงทุนและอัตราคิดลด ตามลำดับ นอกจากนี้จากสมการยังบอกอีกว่า อัตราผลตอบแทนภายในจะแปรผันตามกำลังผลิตและอัตรารับซื้อ (ความชันเป็นบวก) และแปรผกผันกับอัตราคิดลด และงบลงทุน (ความชันเป็นลบ)

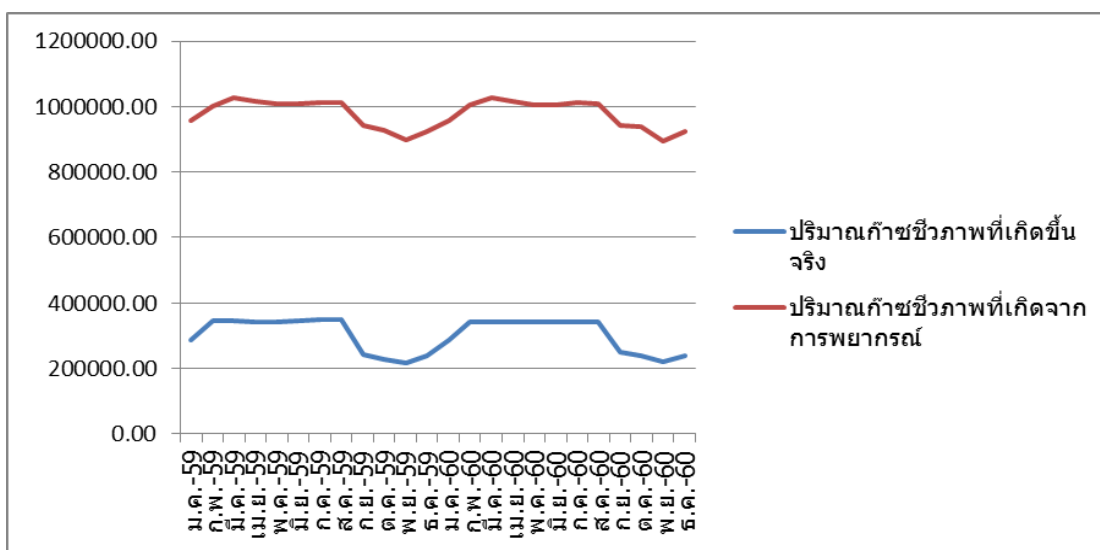
ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราส่วนกำไรต่อทุน (B/C ratio) ของโครงการมากที่สุด คือ อัตรารับซื้อและกำลังผลิต รองลงมา คือ อัตราคิดลดตาม และงบลงทุน ตามลำดับ นอกจากนี้จากสมการยังบอกอีกว่าอัตราส่วนกำไรต่อทุนจะแปรผันตามกำลังผลิต อัตรารับซื้อ และอัตราคิดลด (ความชันเป็นบวก) และแปรผกผันกับงบลงทุน (ความชันเป็นลบ)

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ ระยะเวลาคืนทุนแบบอัตราคิดลด (Discounted payback period) ของโครงการมากที่สุด คือ อัตรารับซื้อและกำลังผลิต รองลงมา คือ งบลงทุน และอัตราคิดลด ตามลำดับ นอกจากนี้จากสมการยังบอกอีกว่าระยะเวลาคืนทุนแบบอัตราคิดลดจะแปรผันตาม

งบลงทุน และอัตราคิดลด (ความชันเป็นบวก) และแปรผกผันกับกำลังผลิตและ อัตรารับซื้อ (ความชันเป็นลบ)

**4. การวิเคราะห์ความแม่นยำของวิธีการพยากรณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริง**

จากตารางที่ 4-29 พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซที่พยากรณ์ได้กับปริมาณที่เกิดขึ้นจริงมีความแตกต่างกันถึง 3.23 เท่า ผู้ทำการวิจัยจึงทำการทดลองสร้างกราฟ เปรียบเทียบระหว่างค่าปริมาณที่เกิดขึ้นจริงและปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากการพยากรณ์ได้ ซึ่ง ได้ผลตามภาพที่ 5-1



ภาพที่ 5-1 กราฟแสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นและปริมาณก๊าซชีวภาพที่พยากรณ์ได้ระหว่างปี พ.ศ.2559-พ.ศ. 2560

จากภาพที่ 5-1 พบว่าแม้ว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณที่เกิดขึ้นจริงกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่พยากรณ์ได้มีความแตกต่างกันถึง 3 เท่า แต่จากภาพที่ 5-1 แสดงให้เห็นว่าลักษณะของเส้นกราฟที่ถูกสร้างจากปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจริงและปริมาณก๊าซชีวภาพที่พยากรณ์ได้ มีลักษณะคล้ายกันซึ่งเป็นข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ดังนั้นผู้วิจัยเห็นว่าการพยากรณ์แบบ Stationary data with seasonal effect เป็นวิธีการที่เหมาะสมที่นำมาใช้ในการพยากรณ์ในครั้งนี้

**ข้อเสนอแนะ**

1. จากผลสรุปค่าความไวของตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อ NPV, IRR, B/C ratio และ Discounted payback period ของโครงการมากที่สุด คือ อัตรารับซื้อและกำลังผลิต ซึ่งในส่วนของกำลังผลิตไฟฟ้าที่จะผลิตได้นั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซชีวภาพหลงเหลือที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าโดย

เครื่องจักร 2 Mw (เครื่องจักร Start up ที่ 0.8-2 Mw) ไม่ควรต่ำกว่า 572,377.79 Nm<sup>3</sup>ต่อเดือน ซึ่งทางบริษัทจำเป็นต้องให้ความสนใจในการผลิตก๊าซชีวภาพของบ่อบำบัดน้ำเสียให้มีค่า BOD, PH และอุณหภูมิที่เหมาะสมหรือให้คงที่กับค่าปัจจุบันเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบที่จะเกิดกับโครงการ ส่วนของอัตรารับซื้อนั้นก็เป็อีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญเนื่องจากผู้ประกอบการต้องพิจารณาอัตรารับซื้อตามนโยบายรัฐบาลเหมาะสมที่จะลงทุนและสามารถดำเนินโครงการได้ตลอดอายุโครงการ

2. การศึกษาในครั้งนี้ยังขาดในส่วนองวิธีการปรับปรุงน้ำเสียให้มีค่า BOD, PH และการรักษาอุณหภูมิ เพื่อให้ น้ำเสียมีสภาพที่เหมาะสมต่อการเกิดกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic digestion) และสามารถผลิตก๊าซชีวภาพในอัตราที่สูงสุดได้ อีกทั้งยังขาดในส่วนองเทคนิคการบำรุงรักษาอุปกรณ์และเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้า รวมถึงการบำรุงรักษาบ่อบำบัดอีกด้วย ซึ่งนักศึกษาท่านอื่นสามารถนำไปศึกษาเพิ่มเติมเป็นงานนิพนธ์ของตนเอง เพื่อให้การศึกษาในครั้งนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และให้ผู้สนใจจะลงทุนในโครงการที่มีลักษณะคล้ายกับการศึกษาในครั้งนี้ได้นำข้อมูลไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

## บรรณานุกรม

- กฤตภาส ดิ่งคิบุตร, วิชชากร จารุศิริ และปฐมทัศน์ จิระเดชะ. (2554). การศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารในมหาวิทยาลัย. วารสารวิจัยพลังงาน (ปีที่ 8 ฉบับที่ 2554/3).
- กิตติญา กฤตยรังสิต. (2554). การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนของโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- การไฟฟ้านครหลวง. (2558). ระบุว่าด้วยการเชื่อมระบบโครงข่าย.
- ชัยพร เขียนพาดิษ. (2554). สถานการณ์ด้านพลังงานของประเทศไทย. เข้าถึงได้จาก <http://www.siamintelligence.com/thailand-energy-tomorrow/>
- ชาติริ วัฒนศิลป์, วรรัตน์ ปัตตประกร และพระพิพัฒน์ ภาสบุตร. (2553). การศึกษาความเป็นไปได้ของตำแหน่งและขนาดของโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพที่ได้เชื้อเพลิงจากมูลโคนมโดยพิจารณา ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์.
- ชูชีพ พิพัฒน์ศิริ. (2544). เศรษฐศาสตร์การวิเคราะห์โครงการ. สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ชินนิษฐ์ นาคประเสริฐ. (2554). การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงินของธุรกิจหอพักให้เช่าแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- ประสิทธิ์ ดงยิ่งศิริ. (2542). การวางแผนและการวิเคราะห์โครงการ. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- ปริพัฒน์ จิงชัยชนะ และสุภาวัฒน์ วรรัชภัทรกิจ. (2555). ประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยไบโอแก๊สจากขยะกรณีศึกษาตลาดไท. วารสารวิจัยพลังงาน (ฉบับที่ 2555/1).
- สำนักงานวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2554). การศึกษาความคุ้มค่าในการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียการเกษตร. เอกสารวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร.
- สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2558). นโยบายการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนในประเทศไทย. เข้าถึงได้จาก [www.eppo.go.th/images/Power/pdf/FT-history/FiT\\_2558.pdf](http://www.eppo.go.th/images/Power/pdf/FT-history/FiT_2558.pdf)
- สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2553). คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพและการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1.

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2553).

*โซลินอยด์วาล์วคู่ (Double solenoid valves)*. คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมและการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม, หน้า 8-6.

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2553).

*วาล์ว ปิด-เปิดก๊าซแบบธรรมดา (Manual shut valve)*. คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมและการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงาน อุตสาหกรรม, หน้า 8-4.

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2553).

*Pressure regulator*. คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุม และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม, หน้า 8-5.

อรทัย วรรณวิสันต์ (2552). *การวิเคราะห์ความเป็นไปได้โครงการลงทุนผลิตก๊าซชีวภาพจาก*

*มูลสัตว์*. วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.

Breure, A.M. & Andel, J.G. (1987). Wise DL ed. Bioenvironmental systems Vol.II. Boca

Raton: CRC Press

Cliff Ragsdale (2007). *6 edition. Managerial Decision Modeling*. Virginia Polytechnic Institute

and State University.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการเกิดก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม  
และขางพาราของกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น

ตารางภาคผนวก ก-1 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต น้ำมันปาล์มและยางพารา  
ของกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น พ.ศ. 2554-พ.ศ. 2558

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )
2554	มกราคม	246,792
	กุมภาพันธ์	275,184
	มีนาคม	310,128
	เมษายน	303,576
	พฤษภาคม	266,448
	มิถุนายน	275,184
	กรกฎาคม	235,872
	สิงหาคม	222,768
	กันยายน	288,288
	ตุลาคม	268,632
	พฤศจิกายน	251,160
	ธันวาคม	283,920
2555	มกราคม	294,840
	กุมภาพันธ์	273,000
	มีนาคม	305,760
	เมษายน	297,024
	พฤษภาคม	331,968
	มิถุนายน	240,240
	กรกฎาคม	231,504
	สิงหาคม	264,264
	กันยายน	248,976
	ตุลาคม	288,288
	พฤศจิกายน	235,872
	ธันวาคม	303,576



## ตารางภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )
2556	มกราคม	956,375
	กุมภาพันธ์	1,027,250
	มีนาคม	1,030,575
	เมษายน	1,011,325
	พฤษภาคม	1,010,765
	มิถุนายน	1,002,995
	กรกฎาคม	1,007,090
	สิงหาคม	979,090
	กันยายน	937,475
	ตุลาคม	956,235
	พฤศจิกายน	891,730
	ธันวาคม	937,615
2557	มกราคม	964,460
	กุมภาพันธ์	978,705
	มีนาคม	1,020,355
	เมษายน	1,006,740
	พฤษภาคม	988,820
	มิถุนายน	996,730
	กรกฎาคม	1,031,730
	สิงหาคม	1,049,930
	กันยายน	953,015
	ตุลาคม	964,460
	พฤศจิกายน	871,395
	ธันวาคม	891,730

## ตารางภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ (Nm <sup>3</sup> )
2558	มกราคม	948,955
	กุมภาพันธ์	988,260
	มีนาคม	1,027,880
	เมษายน	1,031,030
	พฤษภาคม	1,019,375
	มิถุนายน	1,027,740
	กรกฎาคม	1,007,615
	สิงหาคม	1,027,775
	กันยายน	941,395
	ตุลาคม	871,220
	พฤศจิกายน	921,235
	ธันวาคม	929,145

ภาคผนวก ข  
ข้อมูลการเกิดก๊าซชีวภาพที่ใช้ในกระบวนการอบยางพารา  
ของกลุ่มอุตสาหกรรมไทยอีสเทิร์น

ตารางภาคผนวก ข-1 ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพในกระบวนการอบยางพาราของกลุ่มอุตสาหกรรม  
ไทยอีสเทิร์น พ.ศ. 2554-พ.ศ. 2558

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณก๊าซชีวภาพใช้อบยาง (Nm <sup>3</sup> )
2554	มกราคม	246,792
	กุมภาพันธ์	275,184
	มีนาคม	310,128
	เมษายน	303,576
	พฤษภาคม	266,448
	มิถุนายน	275,184
	กรกฎาคม	235,872
	สิงหาคม	222,768
	กันยายน	288,288
	ตุลาคม	268,632
	พฤศจิกายน	251,160
	ธันวาคม	283,920
2555	มกราคม	294,840
	กุมภาพันธ์	273,000
	มีนาคม	305,760
	เมษายน	297,024
	พฤษภาคม	331,968
	มิถุนายน	240,240
	กรกฎาคม	231,504
	สิงหาคม	264,264
	กันยายน	248,976
	ตุลาคม	288,288
	พฤศจิกายน	235,872
	ธันวาคม	303,576

## ตารางภาคผนวก ข-1 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณก๊าซชีวภาพใช้บียง (Nm <sup>3</sup> )
2556	มกราคม	332,375
	กุมภาพันธ์	397,127
	มีนาคม	388,422
	เมษายน	382,350
	พฤษภาคม	373,814
	มิถุนายน	357,759
	กรกฎาคม	361,349
	สิงหาคม	333,855
	กันยายน	300,777
	ตุลาคม	320,454
	พฤศจิกายน	255,189
	ธันวาคม	283,364
2557	มกราคม	320,004
	กุมภาพันธ์	339,730
	มีนาคม	383,702
	เมษายน	382,504
	พฤษภาคม	331,897
	มิถุนายน	355,607
	กรกฎาคม	389,531
	สิงหาคม	418,947
	กันยายน	305,163
	ตุลาคม	328,837
	พฤศจิกายน	249,242
	ธันวาคม	246,607

## ตารางภาคผนวก ข-1 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณก๊าซชีวภาพใช้บียง (Nm <sup>3</sup> )
2558	มกราคม	300,802
	กุมภาพันธ์	364,685
	มีนาคม	387,957
	เมษายน	386,494
	พฤษภาคม	376,712
	มิถุนายน	396,317
	กรกฎาคม	370,957
	สิงหาคม	397,788
	กันยายน	305,442
	ตุลาคม	246,652
	พฤศจิกายน	295,361
	ธันวาคม	283,992