การพัฒนาแบบจำลองการคิดต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ
A Costing Model Development for Electricity Generated from Waste Water used in Crude Palm Oil Mill

ธิเบศร์ จันทวงศ์ วศ.บ. (Thibet Jantawong, B.Eng)[1]
สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน วศ.ม. (Suthas Ratanakuakangwan, M.Eng)[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาแบบจำลองที่ใช้ในการคิดต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยค่าที่ประเมินได้สามารถนำไปใช้ได้ ครอบคลุมกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากน้ำเสียในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในปัจจุบัน โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มส่วนใหญ่มีน้ำเสียจากกระบวนการผลิตประมาณ 70-80% ของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตทั้งหมด ในงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์สมการผลิตโดยใช้แบบจำลอง Cobb Douglas เพื่อใช้ในการประมาณ การผลิตไฟฟ้าต่อไป ซึ่งปัจจัยที่นำมาศึกษาได้แก่ ปัจจัยทุน แรงงาน วัตถุดิบ และเปอร์เซ็นต์มีเทน นำใช้ในการประมาณการต้นทุนการผลิตไฟฟ้า

ผลการศึกษาภายใต้แบบจำลอง Cobb Douglas ในรูปสมการ $Y_i = 0.957359\ K_i^{0.0409033}\ M_i^{0.47096}\ C_i^{0.886801}$ พบว่า ปัจจัยการผลิตที่มีนัยสำคัญต่อปริมาณการผลิตกระแสไฟฟ้าในระดับความเชื่อมั่น 95% คือ ปริมาณวัตถุดิบ และเปอร์เซ็นต์มีเทนในก๊าซชีวภาพ ในส่วนปัจจัยอื่นๆที่เหลือ มีนัยสำคัญน้อยกว่าร้อยละ 90 สมการต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำเสียในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มคือ C (y) = 36,509.18 + (0.69 Y) โดยมีค่า 36,509.18 บาทต่อวันเป็นต้นทุนคงที่ และ 0.69 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง เป็นต้นทุนแปรผัน ซึ่งแปรผันตามปริมาณการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงงานในแต่ละวัน กรณีตัวอย่างในแบบจำลองสถานการณ์ ใช้ปัจจัยทุนที่ 50.64 เมกกะวัตต์ต่อชั่วโมง ปัจจัยวัตถุดิบ 702 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ปัจจัยเปอร์เซ็นต์มีเทนในก๊าซชีวภาพ 56% ซึ่งจะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 40,058 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน จะสามารถคำนวณต้นทุนการผลิตรวม ต้นทุนคงที่รวม และต้นทุนแปรผันรวม เป็นจำนวน 63,991 บาท บาท 36,509 บาท และ 27,482 บาท ตามลำดับ และสามารถคำนวณต้นทุนเฉลี่ย ต้นทุนคงที่เฉลี่ย ต้นทุนแปรผันเฉลี่ย เป็นจำนวน 1.60 บาทต่อกิโลวัตต์, 0.91 บาทต่อกิโลวัตต์ และ 0.69 บาทต่อกิโลวัตต์ ตามลำดับ

คำสำคัญ : โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม น้ำมันปาล์มดิบ แบบจำลองการคิดต้นทุน การผลิตไฟฟ้า ก๊าซชีวภาพ

Abstract

The objective of this study is to develop a mathematical model for an electricity generated from palm oil mill's waste water which can be applicable in an electricity production process from an effluent released by current palm oil mill, most of palm oil mill has its effluent at approximately 70-80% of raw material used in the production. The Cobb-Douglas Production was used to analyze the estimate of an electricity production with these factors; capital, labor, raw material, and the percentage of Methane to anticipate the cost of its production.

[1] นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[2] รองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

The result of this study showed that subjected to Cobb-Douglas model; $Y_i = 0.957359 K_i^{0.0409033} M_i^{0.47096} C_i^{0.886801}$ is that the factors of power productions are raw materials and the percentage of Methane which have more effected in process at 95% confident interval. Other factors are lower than 90% confident interval, which are not significance in this case. The cost function of electricity generating from the palm oil's waste water is (y) = 36,509.18 + (0.69 Y), which is fixed cost 36,509.18 bath, the variable cost is 0.69 Baht/KW-H which depends on the daily electricity production of the factory. In this case, 50.64 MWH/Day for capital factor, 702 m3/Day for raw material factor, and 56 Methane percentage in biogas are used. From that, the electricity amount of 40,058 KW-H can be produced per day, which provides the calculation of total production cost, fixed cost, and variable cost of 63,991Baht, 36,509 Baht, and 27,482 Baht respectively. The average cost, average fixed cost, and average variable cost can also be calculated as 1.60 Baht/KW, 0.91 Baht/KW, and 0.69 Baht/KW respectively.

Keywords : Palm Oil Mill, Crude Palm Oil, Costing Model, Biogas, Electricity, Production Function, Cost Function

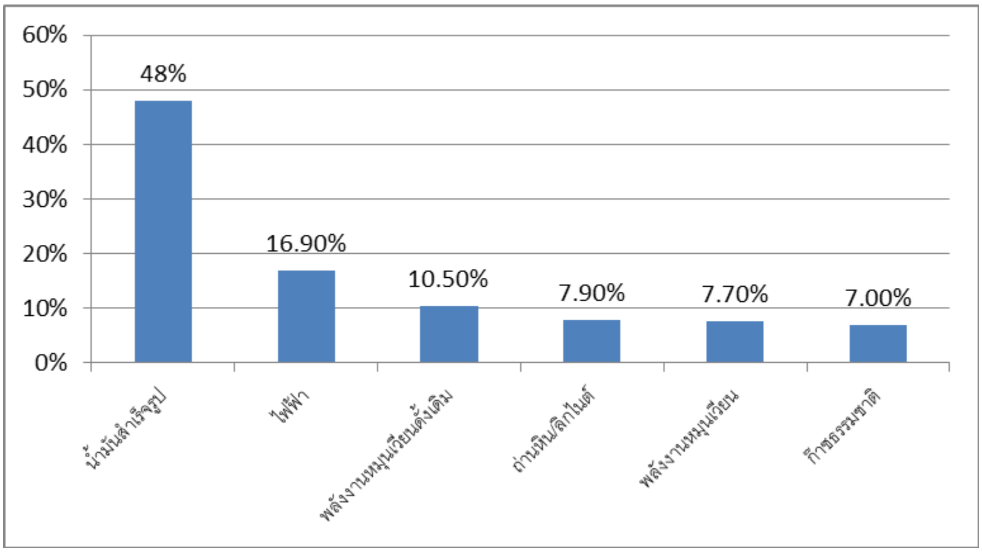
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Y_i	=	ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้
K_i	=	ปัจจัยทุน – กำลังการผลิตเต็มที่ (KWH/Day)
L_i	=	ปัจจัยแรงงาน (man-hr/day)
M_i	=	ปัจจัยปริมาณวัตถุดิบ (m3/Day)
C_i	=	จำนวนเปอร์เซ็นต์มีเทนในก๊าซชีวภาพ (Percentage)
$\beta_1,\beta_2,\beta_3,\beta_4$	=	ค่าความยืดหยุ่นของปัจจัย
KW-H/Day	=	หน่วยปริมาณกระแสไฟฟ้า
OPE_i	=	ค่าใช้จ่ายการดำเนินงาน
INS_i	=	ค่าประกันภัย (Industrial All Risk Insurance)
$Const_i$	=	ค่าที่ปรึกษา (Consultant)
INT_i	=	ดอกเบี้ยจ่าย (Interest on Investment)
$ELEC_i$	=	ต้นทุนไฟฟ้าในกระบวนการผลิต
DA	=	ค่าเสื่อมราคา (Depreciation Cost)
MC	=	ต้นทุนวัตถุดิบ
LC	=	ต้นทุนแรงงาน
RM	=	ค่าซ่อมแซม และบำรุงรักษา (Repair and Maintenance Cost)
DC	=	ต้นทุนการขนส่ง (Delivery Cost)
TC	=	ต้นทุนรวม (Total Cost)
TFC	=	ต้นทุนคงที่รวม (Total Fixed Cost)
TVC	=	ต้นทุนแปรผันรวม (Total Variable Cost)
DC	=	ค่าเสื่อมราคา (Depreciation Cost)

IC	=	เงินลงทุน (Investment Cost)
SV	=	มูลค่าซาก (Salvage Value)
N	=	อายุการใช้งาน (Useful life in years)

บทนำ

พลังงานเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจ และการดำเนินชีวิตของประชาชน ซึ่งในแต่ละปีนั้นประเทศไทยได้มีการใช้พลังงานเป็นจำนวนมาก ดังภาพที่ 1 แสดงปริมาณการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามชนิดพลังงาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแต่ละปีประเทศไทยมีการใช้พลังงานจากน้ำมันมากที่สุด เมื่อเทียบกับพลังงานชนิดอื่นๆ โดยมีการใช้พลังงานจากน้ำมันสำเร็จรูปถึง 48% รองลงมาคือพลังงานไฟฟ้า 18.9% ซึ่งการใช้พลังงานจากน้ำมันสำเร็จรูปในจำนวนมาก ทำให้ประเทศต้องนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศในปริมาณที่สูง เนื่องมาจากพลังงานจากน้ำมันนั้นเป็นพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งอาจจะหมดไปในอนาคตอันใกล้นี้ ประกอบกับระดับราคาน้ำมันที่สูงในปัจจุบัน ส่งผลกระทบต่อสภาพเศรษฐกิจ ความเป็นอยู่ของประชาชน ทำให้หลายประเทศรวมทั้งประเทศไทย มีความตื่นตัวพยายามหาแหล่งพลังงานทดแทนอื่นๆมาใช้ ส่งผลให้พลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ มีบทบาทเพิ่มมากขึ้น พลังงานหมุนเวียนที่กล่าวถึงนี้ได้แก่ พลังงานจากลม น้ำ และแสงอาทิตย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พลังงานจากกลุ่มชีวมวลและชีวภาพที่กำลังเป็นที่น่าสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ประกอบกับรัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนที่ผลิตได้ภายในประเทศ ประกอบด้วยพลังงานจากแสงอาทิตย์ ลม น้ำ ชีวมวล และก๊าซชีวภาพ (เอทานอลและไบโอดีเซล) ซึ่งทางภาครัฐได้มีการปรับปรุงแผนพัฒนาและส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน 15 ปี เป็นแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555 – 2564) เพื่อผลักดันในการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้การใช้พลังงานทดแทนในรูปไฟฟ้า ความร้อนและเชื้อเพลิงชีวภาพในปี 2555 เพิ่มขึ้นจากปี 2554 ในปริมาณร้อยละ 14.3 คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 9.9 ของการใช้พลังงานทั้งหมด



ภาพที่ 1 แสดงปริมาณการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นสุดท้ายจำแนกตามชนิดพลังงาน
(ศูนย์สารสนเทศข้อมูลพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555)

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นสุดท้ายจำแนกตามชนิดพลังงาน

การใช้พลังงานขั้นสุดท้าย จำแนกตามชนิดพลังงาน	ปริมาณ (พันตันเทียบเท่าน้ำมัน)			อัตราการเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	
	2553	**2554**	**2555**	**2554**	**2555**
การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายรวม	**70,248**	**70,562**	**73,316**	**0.40**	**3.90**
พลังงานเชิงพาณิชย์	**56,829**	**57,424**	**59,956**	**1.00**	**4.40**
• น้ำมันสำเร็จรูป	32,069	33,067	35,187	3.00	6.40
• ไฟฟ้า	12,724	12,671	13,861	-0.40	9.40
• ถ่านหิน / ลิกไนต์	8,240	7,201	5,794	-12.60	-19.50
• ก๊าซธรรมชาติ	3,769	4,485	5,114	19.00	14.00
พลังงานหมุนเวียน *	4,534	4,556	5,635	0.50	23.70
พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม **	8,885	8,582	7,725	3.40	-10.00

* ประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ ฟืน แกลบ กากอ้อย วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ขยะ และก๊าซชีวภาพ

** ประกอบด้วย ฟืน ถ่าย แกลบ และ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

ประเทศไทยถือเป็นประเทศเกษตรกรรม ที่มีปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และอุตสาหกรรมการเกษตรเป็นจำนวนมาก ซึ่งปริมาณวัสดุเหลือใช้เหล่านี้มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นพลังงานทดแทนได้เป็นอย่างดี อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งในอุตสาหกรรมหลักของประเทศ ที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจ เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อการบริโภคภายในประเทศ และเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่างๆ โดยส่วนใหญ่ที่ตั้งโรงงานจะอยู่ในเขตพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย โดยปกติกระบวนการผลิตจะมี 5 ขั้นตอน 1) กระบวนการนึ่ง 2) กระบวนการแยกผลปาล์ม 3) กระบวนการกวน 4) กระบวนการบีบแยกน้ำมัน และ 5) กระบวนการทำความสะอาดน้ำมัน ในกระบวนการผลิตทั้งหมดนี้จะเกิดของเสีย และวัสดุเหลือใช้ ในรูปแบบกากของแข็ง และของเหลวสามารถเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานทางเลือกได้ ปัจจุบันกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบจะได้น้ำมันดิบประมาณ 18-22 เปอร์เซ็นต์ ส่วนได้ที่เกิดจากกระบวนการผลิต (By-Product) อยู่จำนวนไม่น้อยหรือประมาณร้อยละ 78-82 เปอร์เซ็นต์ ของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิตทั้งหมด ผลพลอยได้ดังกล่าวนี้ ได้แก่ ทะลายปาล์มเปล่า (Empty Fruit Bunch) เส้นใย (Fiber) กะลาฝุ่น (Shell) น้ำที่อยู่ในทะลายปาล์ม (Condensate) และน้ำเสีย (Waste Water) โดยน้ำทิ้งจะเกิดจากกระบวนการที่หลากหลาย ได้แก่ กระบวนการทำความสะอาดน้ำมัน น้ำควบแน่นจากหม้อนึ่ง การกรองทราย น้ำชำระล้าง และการแยกน้ำออกจากน้ำมัน (Igwe, 2007) การผลิตกระแสไฟฟ้าจากผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบนั้นจำเป็นต้องใช้เงินลงทุนมาก พร้อมทั้งการดำเนินงานต่างๆ ในกระบวนการผลิต จึงมีความจำเป็นที่ต้องทำการวิเคราะห์ต้นทุนที่เกิดขึ้น โดยการสร้างแบบจำลอง (Simulation) ในการคิดต้นทุนของกระบวนการผลิตไฟฟ้า ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการประกอบการตัดสินใจการลงทุนในอนาคตได้ ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ภาครัฐใช้มาตรการส่งเสริมการลงทุน การให้ส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า (Adder) หรือการสนับสนุนให้เป็นโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด (CDM) เพื่อให้ผู้ประกอบการสามารถนำปริมาณคาร์บอนเครดิตที่ได้ ไปขายให้กับประเทศที่ต้องการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ ซึ่งจะเป็นรายได้กลับมาช่วยทำให้การลงทุนในโครงการผลิตพลังงานทดแทนมีความ คุ้มค่าในการลงทุนมากขึ้นอีกทางหนึ่ง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

พัฒนาแบบจำลองการคิดต้นทุนของการผลิตกระแสไฟฟ้า จากน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

ระเบียบการวิจัย

- ศึกษากระบวนการผลิต หลักการทำงานของเครื่องจักรของอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันการเกิดน้ำเสียในโรงงาน
- ศึกษาวิธีการนำของเสียที่เกิดขึ้นไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า
- ศึกษาฟังก์ชั่นที่เกี่ยวข้องกับการผลิต (Production Function) ปัจจัยที่ใช้ในการผลิต รวมทั้งปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยสร้าง Cobb Douglas Production Function (ศรัณย์ วรรธนัจฉริยา, 2539)
- ศึกษาประเภทของต้นทุน ส่วนองค์ประกอบของต้นทุน
- กำหนดกลุ่มเป้าหมายในการสำรวจข้อมูล โรงงานกรณีศึกษาที่มีขนาดกำลังการผลิต 45 ตันทะลายปาล์มดิบ ต่อชั่วโมงในเขตพื้นที่ภาคใต้
- ทำการสำภาษณ์ เก็บข้อมูลเบื้องต้น เพื่อใช้ประเมินต้นทุนในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำเสีย ได้แก่ ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา สภาพทั่วไปของโรงงาน กำลังการผลิตส่วนโรงสกัด อัตราการเกิดน้ำเสีย คุณลักษณะของน้ำเสีย เป็นต้น
- หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ กับไฟฟ้าที่โรงงานตัวอย่างสามารถผลิตได้ที่ได้ โดยข้อมูลที่รวมรวมได้ มาจากการสำรวจ สัมภาษณ์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- ดำเนินการสอบถามราคาเครื่องจักรอุปกรณ์ และราคาปั๊ม ที่ใช้ในกระบวนการผลิตทั้งการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ผู้ดูแลหรือผู้แทนจำหน่ายเครื่องจักร
- วิเคราะห์โดยกาสร้างฟังก์ชั่นการผลิต (Production Function) ซึ่งใช้ข้อมูลจากความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆได้ได้ทำการวิเคราะห์
- จำลองสถานการณ์เพื่อใช้ในการประเมินต้นทุนของโรงงาน
- วิเคราะห์โครงสร้างต้นทุนโดยการสร้างฟังก์ชันต้นทุน (Cost Function)
- จำลองสถานการณ์ในการผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อใช้ประมาณการต้นทุนของโรงงาน
- สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้และเป็นรูปแบบในการสร้างแบบจำลองเพื่อประเมินต้นทุนของกิจกรรมอื่นๆต่อไป
- จัดทำรายงาน

วิธีการเก็บข้อมูล

- **โรงงานกลุ่มตัวอย่าง (Population)** โรงงานตัวอย่างที่ทำการเก็บข้อมูล เป็นโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ที่มีกำลังผลิตอยู่ในช่วง 45 ตันทะลายต่อชั่วโมง ซึ่งตั้งอยู่บริเวณพื้นที่ภาคใต้ โดยทำการเก็บตัวอย่างโรงงานละ 15 ข้อมูล รวมทั้งสิ้น 30 ข้อมูล
- **ปริมาณน้ำเสียของโรงงาน (m^3/Day)** ทำการเก็บข้อมูลปริมาณน้ำเสียของแต่ละโรงงานในแต่ละวัน โดยวัด Flow meter การปล่อยน้ำเสียของโรงงาน
- กำลังการผลิตไฟฟ้า **(KW/H)** ทำการเก็บข้อมูลกำลังการผลิตเครื่องจักรของแต่ละโรงงาน โดยนำกำลังการผลิตของ Gas Engine แต่ละเครื่องรวมกัน

• **จำนวนแรงงาน (Hr/Day)** ทำการเก็บข้อมูลจำนวนแรงงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตคิดเป็นชั่วโมงต่อวัน ซึ่งจะมีเจ้าหน้าที่ประจำอยู่แต่ละจุดของเครื่องจักร

• **ค่าเฉลี่ยสัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพ (%CH4)** ทำการเก็บข้อมูล สัดส่วนก๊าซมีเทนเฉลี่ย (%CH) ในแต่ละวัน โดยอ่านค่าจาก Data Logger

• **ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น (Nm3/Day)** ทำการเก็บข้อมูล ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน โดยอ่านค่าจาก Gas Flow Meter ที่ติดตั้งอยู่บริเวณท่อส่งก๊าซ

• **ค่าเฉลี่ยการผลิตไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยก๊าซชีวภาพ (KWH/Nm3)** ทำการเก็บข้อมูล อัตราการผลิตการผลิตไฟฟ้าต่อก๊าซชีวภาพ 1 หน่วย ซึ่งวัดจากค่าเฉลี่ยการผลิตไฟฟ้าต่อวัน โดยอ่านค่าจาก Data Logger

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยได้ทำกาวเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วน คือส่วนแรกเป็นการวิเคราะห์สมการการผลิตกระแสไฟฟ้า จากน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ส่วนที่สองเป็นการวิเคราะห์ความยืดหยุ่นการผลิตอันเนื่องมาจากปัจจัยการผลิต ส่วนสุดท้ายเป็นการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า ผลการศึกษาเป็นดังนี้

1. การวิเคราะห์สมการการผลิตซึ่งวิเคราะห์โดยใช้ Cob Douglas Production Function

$$Y_i = 0.957359\, K_i^{0.0409033}\, M_i^{0.47096}\, C_i^{0.886801} \qquad (1)$$

จาก สมการที่ 1 สามารถเขียนเป็นสมการในรูปของ Natural logarithms ได้ดังนี้

$$\ln y = 0.957359 + 0.0409033 \ln K + 0.47096 \ln M + 0.886801 \ln C \qquad (2)$$

ค่า P – Value ของปัจจัย K, M, C จะเท่ากับ 0.535025, 0.003071, 0.000023 ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่าปัจจัยที่มีผลปริมาณกระแสไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลานั้นๆ คือ ปัจจัยวัตถุดิบ (M) และปัจจัย % มีเทน (C) ส่วนปัจจัยแรงงาน (L) จะไม่ถูกนำมาพิจารณาในสมการเนื่องจากไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าสัมประสิทธิ์เชิงพหุการกำหนด (The Multiple Coefficient of Determination : R-Square) มีค่าเท่ากับ 0.7068 แสดงว่าตัวแปรอิสระต่างๆ ซึ่งได้แก่ ปัจจัยทุน (K) ปัจจัยปริมาณวัตถุดิบ (M) และจำนวนเปอร์เซ็นต์มีเทนในก๊าซชีวภาพ (C) สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตกระแสไฟฟ้า (Y) ได้ร้อยละ 70.68 โดยส่วนที่เหลืออาจเกิดจากปัจจัยอื่นๆที่ไม่ได้อยู่ในสมการนี้ ในขณะเดียวการแบบจำลองนี้ ประกอบด้วยหลากหลายตัวแปร จึงเลือกใช้ค่า R-Square (adj) มีค่าเท่ากับ 0.6730 แสดงว่าตัวแปรอิสระต่างๆนี้ สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงผลผลิตกระแสไฟฟ้า ได้ร้อยละ 67.30 เนื่องจากมีความเหมาะสมในการอธิบายแบบจำลอง ที่ประกอบด้วยหลายตัวแปรมากกว่าค่า R-Square ซึ่งโดยปกติค่า R-Square และ R-Square (adj) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 หมายถึง โดยหากค่า R-Square = 1 และ R-Square (adj) = 1 หมายถึงความแปรปรวนของตัวแปรตาม ถูกอธิบายได้จากสมการถดถอย หรือตัวแปรอิสระ K,M, และ C ได้ทั้งหมดร้อยละ 100 แต่หากค่า R-Square = 0 หมายถึง ความแปรปรวนของตัวแปรตาม ไม่สามารถถูกอธิบายได้จากสมการถดถอย หรือตัวแปรอิสระ K,M และ Cได้เลย คือร้อยละ 0 ดังนั้นยิ่งค่า R-Square และค่า R-Square (adj) ของแบบจำลองมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าแบบจำลองสามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรได้เป็นอย่างดี

2. การวิเคราะห์ความยืดหยุ่นของผลผลิตอันเนื่องมาจากปัจจัยการผลิต

จากการศึกษาวิเคราะห์สมการการผลิตคอบดักลาส ฟังก์ชั่น (Cob Douglas Production Function) โดยค่าสัมประสิทธิ์ของปัจจัยการผลิตแต่ละชนิดที่ได้จากการวิเคราะห์ คือ ค่าความยืดหยุ่นการผลิตของแต่ละปัจจัยการผลิตนั่นเอง ซึ่งหมายความว่าเมื่อมีปัจจัยการผลิตชนิดนั้นๆ เปลี่ยนแปลงไปร้อยละ 1 จะส่งผลให้ผลผลิตเปลี่ยนแปลงไปจำนวนเท่าใด เมื่อกำหนดให้ปัจจัยอื่นๆ คงที่ (วิรุณสิริ ใจมา, 2553) ซึ่งแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าความค่ายืดหยุ่นของปัจจัยการผลิต

ปัจจัย	ค่าความยืดหยุ่น	P-Value
ค่าคงที่ (Constant)	-	0.000000
ปัจจัยทุน (K)	0.040903	0.535025
ปัจจัยแรงงาน (L)	-	-
ปัจจัยปริมาณวัตถุดิบ (M)	0.470960	0.003071
จำนวนเปอร์เซ็นต์มีเทนในก๊าซชีวภาพ (C)	0.886801	0.000023

(การคำนวณโดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม Minitab 14)

จากตารางที่ 2 ปัจจัยทุน (K) และปัจจัยแรงงาน (L) มีค่าสถิติ P-Value สูงกว่า ค่า 0.05 หรือ Alpha ที่ 0.05 โดยจะพิจารณาเฉพาะ ปัจจัยปริมาณวัตถุดิบ (M) และปริมาณออกซิเจนที่ต้องการเพื่อสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (C) เท่านั้น เนื่องจากมีค่าสถิติ P-Value น้อยกว่าค่า 0.05 หรือ Alpha ที่ 0.05

3. การวิเคราะห์ต้นทุน

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบนี้ จะพิจาณาต้นทุนจากวัตถุดิบ การดำเนินงาน และต้นทุนของปัจจัยต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่ง วิเคราะห์องค์ประกอบของต้นทุนได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ต้นทุนคงที่ และต้นทุนแปรผัน ดังตารางที่ 3 – ตารางที่ 5

ตารางที่ 3 แสดงโครงสร้างต้นทุนคงที่ (แสดงต้นทุนคงที่ต่อวัน)

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	หมายเหตุ
1	ค่าใช้จ่ายการดำเนินงาน (OPE)	4,166	บาท/วัน	รายการสมมติฐาน
2	ค่าประกันภัยทรัพย์สิน (INS)	701	บาท/วัน	รายการคำนวณ
3	ค่าที่ปรึกษา (CONST)	1,833	บาท/วัน	รายการคำนวณ
4	ค่าซ่อมบำรุง อะไหล่เครื่องจักร (RM)	3,189	บาท/วัน	รายการคำนวณ
5	ดอกเบี้ยจ่าย (INT)	5,064	บาท/วัน	รายการคำนวณ
6	ค่าเสื่อมราคา (DA)	21,554	บาท/วัน	รายการคำนวณ
	รวมต้นทุนคงที	**36,509**	**บาท/วัน**	

ตารางที่ 4 แสดงโครงสร้างต้นทุนคงที่ (ต้นทุนต่อหน่วยกิโลวัตต์)

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	หมายเหตุ
1	ค่าใช้จ่ายการดำเนินงาน (OPE)	0.08	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง	รายการสมมติฐาน
2	ค่าประกันภัยทรัพย์สิน (INS)	0.01	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง	รายการคำนวณ
3	ค่าที่ปรึกษา (CONST)	0.04	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง	รายการคำนวณ
4	ค่าซ่อมบำรุง อะไหล่เครื่องจักร (RM)	0.06	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง	รายการคำนวณ
5	ดอกเบี้ยจ่าย (INT)	0.10	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง	รายการคำนวณ
6	ค่าเสื่อมราคา (DA)	0.43	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง	รายการคำนวณ
	รวมต้นทุนเฉลี่ย	**0.72**	**บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง**	

ตารางที่ 5 แสดงโครงสร้างต้นทุนแปรผัน (ต้นทุนต่อหน่วยกิโลวัตต์)

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	หมายเหตุ
1	วัตถุดิบ (M)	0.32	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง	รายการคำนวณ
2	แรงงาน (L)	0.19	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง	รายการคำนวณ
3	ค่าไฟฟ้า (ELEC)	0.18	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง	รายการคำนวณ
4	ค่าขนส่งวัตถุดิบ (DC)	-	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง	รายการคำนวณ
	ต้นทุนแปรผันเฉลี่ย	**0.69**	**บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง**	

การพัฒนาแบบจำลองการคิดต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยดำเนินงานได้พัฒนาแบบจำลองการคิดต้นทุนจากข้อมูลการดำเนินงาน โดยประมาณการการผลิตในแต่ละระดับการป้อนวัตถุดิบ สามารถเขียนเป็นสมการในรูปของสมการต้นทุนในรูปของสมการ 1 และ 2

$$\mathbf{C(Y) = TFC + TVC} \qquad (3)$$

แทนข้อมูลต้นทุนคงที่ และต้นทุนแปรผัน จากตารางที่ 4 และ 5 ลงในสมการ 3

$$\mathbf{C(Y) = 36{,}509.18 + 0.69\ Y} \qquad (4)$$

โดยที่ Y คือปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ในหน่วย กิโลวัตต์-ชั่วโมง (KWH) ผู้วิจัยได้แสดง กรณีตัวอย่างในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงตัวอย่างการคำนวณต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้า

กรณี 1	ผลิตที่ 23,877 KWH/Day หรือ 23.88 MWH/Day • ต้นทุนคงที่รวม 36,509 บาท/วัน • ต้นทุนแปรผันรวม 16,381 บาท/วัน • ต้นทุนคงที่เฉลี่ย 1.53 บาท/กิโลวัตต์ • ต้นแปรผันคงที่เฉลี่ย 0.69 บาท/กิโลวัตต์ • ต้นทุนเฉลี่ย 2.22 บาท/กิโลวัตต์
กรณี 2	ผลิตที่ 33,095 KWH/Day หรือ 33.09 MWH/Day • ต้นทุนคงที่รวม 36,509 บาท/วัน • ต้นทุนแปรผันรวม 22,705 บาท/วัน • ต้นทุนคงที่เฉลี่ย 1.10 บาท/กิโลวัตต์ • ต้นแปรผันคงที่เฉลี่ย 0.69 บาท/กิโลวัตต์ • ต้นทุนเฉลี่ย 1.79 บาท/กิโลวัตต์
กรณี 3	ผลิตที่ 49,938 KWH/Day หรือ 49.93 MWH/Day • ต้นทุนคงที่รวม 36,509 บาท/วัน • ต้นทุนแปรผันรวม 34,260 บาท/วัน • ต้นทุนคงที่เฉลี่ย 0.73 บาท/กิโลวัตต์ • ต้นแปรผันคงที่เฉลี่ย 0.69 บาท/กิโลวัตต์ • ต้นทุนเฉลี่ย 1.42 บาท/กิโลวัตต์

*กรณีผลิตเกิน 50,640 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/วัน จำเป็นต้องมีการลงทุนเครื่องจักรบางส่วนเพิ่มเติม ทำให้ต้นทุนคงที่รวมและต้นทุนคงที่เฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้น

อภิปรายผล

จากการวิจัย จะเห็นได้ว่าต้นทุนคงที่เกิดจากค่าใช้จ่ายการดำเนินงาน ค่าประกันภัย ค่าที่ปรึกษาเป็นจำนวน 36,509 บาท/วัน โดยที่ทางโรงงานที่มีภาระต้องชำระทุกวัน ต้นทุนคงที่เฉลี่ยจะเริ่มจาก 5.64 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง เมื่อเริ่มผลิตกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 6,469 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/วัน และจะลงลงเรื่อยๆ จนถึง 0.73 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง เมื่อสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้น โดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุดคือ 50,640 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/วัน ส่วนต้นทุนแปรผัน จะแปรผันตรงกับปริมาณผลผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเล่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีต้นทุนการผลิต ที่กล่าวถึงความสัมพันธ์ของต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับปริมาณการผลิต โดยต้นทุนแปรผันจะเปลี่ยนแปลงเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับปริมาณผลผลิตที่ได้ และต้นทุนคงที่จะไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณผลผลิตที่ได้ แต่อาจกล่าวอีกนัยได้ว่า ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (ต้นทุนคงที่เฉลี่ย) จะลดลงเมื่อผลผลิตเพิ่มขึ้นนั่นเอง (วรณี จิเจริญ, 2554)

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ได้รวบรวมข้อมูล แหล่งข้อมูลจากภาครัฐ เอกชน ทั้งโรงงานกรณีศึกษา และทำการวิเคราะห์ ฟังก์ชั่นการผลิต ฟังก์ชั่นต้นทุน ซึ่งในการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการผลิตกระแสไฟฟ้า คือปริมาณน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และปริมาณเปอร์เซ็นต์มีเทนในก๊าซชีวภาพ เป็นตัวแปรที่สำคัญ ซึ่งตัวแปรเหล่านี้มีผลโดยตรงต่อต้นทุนการผลิตโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ โดยหากสามารถจัดการ หรือสามารถควบคุมตัวแปรทั้งปริมาณน้ำเสีย เปอร์เซ็นต์มีเทน ได้ก็จะสามารถควบคุมต้นทุนของการดำเนินงานได้เช่นกัน

ข้อเสนอแนะ

การสำรวจรวบรวมข้อมูลการผลิต ทั้งปัจจัยการผลิต ผลผลิต ต้นทุนการดำเนินการ ล้วนมีความสำคัญต่อการวิเคราะห์และการสร้างแบบจำลอง โดยการเก็บข้อมูลจะมีความยากลำบากในการเข้าถึงข้อมูลเชิงลึกในแต่ละโรงงาน ดังนั้นหากสามารถเข้าถึงข้อมูลเชิงลึก หรือสามารถเก็บข้อมูลการผลิตได้อย่างละเอียด ซึ่งจำเป็นต้องใช้ทุน และเวลาจำนวนมาก จะสามารถสร้างแบบจำลองที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น การลงทุนในโครงการผลิตไฟฟ้าจากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่างในการดำเนินโครงการ ทั้งเพื่อให้การดำเนินโครงการเป็นไปได้อย่างเรียบร้อย ผู้วิจัยขอยกตัวอย่างดังต่อไปนี้

1. วัตถุดิบ หรือน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่ง ที่ผู้ลงทุนควรคำนึง เนื่องกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ เพื่อให้ได้เป็นพลังงานและนำไปผลิตกระแสไฟฟ้านั้น จำเป็นต้องใช้น้ำเสียของโรงงาน

2. ราคาวัตถุดิบ การขึ้นลงของราคาวัตถุดิบ หรือน้ำเสียนั้นเป็นปัจจัยที่สำคัญเช่นกัน เนื่องจากการซื้อวัตถุดิบจากภายนอกจำเป็นต้องมีค่าน้ำเสียหรือตัววัตถุดิบ ขนส่ง รวมทั้งค่าดำเนินการ เป็นต้นทุนสำหรับโครงการเช่นกัน จึงเหมาะสำหรับการลงทุนในกลุ่มผู้มีโรงงานอยู่เอง ไม่เหมาะกับการลงทุนแบบโดดเดียว (Standalone)

3. ทำเล ที่ตั้ง มีความสำคัญเช่นกัน เนื่องจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพมี กลิ่นที่เป็นลักษณะเฉพาะ บริเวณส่วนผลิตก๊าซชีวภาพจะมีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์มากนัก อาจเป็นมลภาวะสำหรับชุมชนได้ จึงมีความจำเป็นต้องอยู่ห่างไกลชุมชนพอสมควร

4. ระบบความปลอดภัย กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการผลิตพลังงาน และอื่นๆ

รายการอ้างอิง

ศูนย์สารสนเทศข้อมูลพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2555). **สถิติพลังงานของประเทศไทย 2555.** เอกสารรายงานสารสนเทศข้อมูลพลังงานทดแทน กระทรวงพลังงาน

วิรุณสิริ ใจมา. (2553). **เศรษฐศาสตร์จุลภาค 1.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรณี จิเจริญ. (2554). **เศรษฐศาสตร์จุลภาค 2.** (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

ศรัณย์ วรรธนัจฉริยา. (2539). **การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ผลิตทางการเกษตร.** วิทยานิพนธ์เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์เกษตรและทรัพยากร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Igwe, J.C. & Onyegbado, C.C. (2007). A Review of Palm Oil Mill Effluent (POME) Water Treatment. **Global Journal of Environmental Research, 1**(2), 54–62.