การวิเคราะห์พลวัตระบบสำหรับอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในประเทศไทย

AN ANALYSIS SYSTEM DYNAMICS FOR RENEWABLE ENERGY POWER PLANTS INDUSTRY IN THAILAND

อนุรักษ์ กิตติศักดิ์สุนทร *ภัทรเวช ธาราเวชรักษ์ ชูศักดิ์ พรสิงห์**

Anurak Kittisaksuntorn, *Pattrawet Tharawetcharak, Choosak Pornsing**

หน่วยวิจัยการจัดการงานวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
Engineering Management Research Unit, Department of Industrial Engineering and Management,
Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University.

***Corresponding author, e-mail:** *pornsing_c@su.ac.th*

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นการศึกษาแบบจำลองพลวัตระบบอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในประเทศไทย ซึ่งเริ่มจากการศึกษาข้อมูลทุติยภูมิเกี่ยวกับสถานการณ์การผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในประเทศไทย หลังจากนั้นได้นำข้อมูลที่สอดคล้องมาสร้างเป็นแบบจำลองพลวัตระบบโดยโปรแกรม Vensim PLE x32 และได้ทดสอบปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการสนับสนุนการผลิตกระแสไฟฟ้านานถึง 12 ปี ผลการวิจัยพบว่า แบบจำลองจำลองพลวัตระบบอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนสามารถคำนวณผลกำไรจากการขายกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในปีที่ 12 สามลำดับแรก ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์มีผลกำไรมากถึง 15,851,300.00 บาท พลังงานลม 9,636,300.00 บาท และพลังงานก๊าซชีวภาพ 2,682,550.00 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564) ทำให้ทราบได้ว่ามีแนวโน้มสนับสนุนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนไปในทิศทางเดียวกัน และสามารถนำไปใช้พยากรณ์สภาวะการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: พลวัตระบบ พลังงานทดแทน อุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

Abstract

This research is a study of the System Dynamics on the renewable energy industry in Thailand. We began with the review of secondary data about the electricity generating situation in Thailand. After that, the System Dynamics model was constructed by using Vensim PLE x32 program. The model was tested on various factors through 12 years of electricity generating: The results showed that, the System Dynamics of the renewable energy industry can calculate the profits from the sell of electricity from renewable energy in the 12 years. The first three orders, by profit, are: Solar energy profit up to 15,851,300.00 baht, Wind energy profit up

to 9,636,300.00 baht, and Biogas energy profit up to 2,682,550.00 baht. When compare the results to Alternative Energy Development Plan: AEDP (2012-2021), we found that our results correlate to the AEDP (2012-2021) plan. Additionally, the model can be used to forecast the state of the electricity generating from renewable energy very well.

Keywords: System Dynamics, Renewable Energy, Renewable Energy Power Plants Industry

บทนำ

ในปัจจุบันไฟฟ้าได้เข้ามาเป็นปัจจัยหนึ่งในการดำรงชีวิตประจำวัน และเป็นกำลังของอุตสาหกรรมทุกแห่งในการขับเคลื่อนกิจกรรมที่ก่อให้เกิดมูลค่าทางเศรษฐกิจ ซึ่งทำให้อัตราการใช้ไฟฟ้าในประเทศไทยเพิ่มขึ้นต่อเนื่องอย่างทวีคูณ [1] โดยการไฟฟ้านครหลวงได้มีการเปิดเผยข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าในปี 2558 มากถึง 49,782.50 ล้านหน่วยต่อปี ทำให้ประเทศไทยต้องนำเข้าพลังงานไฟฟ้าจากต่างประเทศเข้ามาหล่อเลี้ยงอุตสาหกรรมต่างๆ ให้เกิดการขับเคลื่อนได้อย่างต่อเนื่อง อันเป็นเหตุมาจากวัตถุดิบหลักหรือพลังงานฟอสซิล (Fossil Fuels) ที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศนั้นลดลง ยิ่งไปกว่านั้น ยังทำให้ประเทศไทยใช้ต้นทุนในการจัดสรรพลังงานต่อปีอย่างมหาศาล จึงเกิดสภาวะการผันผวนทางด้านราคาอย่างรุนแรงตามสถานการณ์น้ำมันสำรองของโลกที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งส่งผลกระทบต่อโครงสร้างเศรษฐกิจภายในประเทศอีกด้วย [1]

จากความรุนแรงของสภาวะการแข่งขันทางเศรษฐกิจทำให้หน่วยงานภาครัฐเข้ามามีบทบาทในการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนมากขึ้น โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้จัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564) ที่เป็นการศึกษา การพัฒนา การส่งเสริม และการเผยแพร่พลังงานทดแทนที่สะอาด อาทิ พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานจากชีวมวล เชื้อเพลิงชีวภาพ ก๊าซชีวภาพ และพลังงานจากขยะ เหล่านี้เป็นพลังงานที่สะอาด ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในท้องถิ่น ตลอดจนเป็นการลดต้นทุนการนำเข้าและการใช้พลังงานฟอสซิลจากต่างประเทศอีกด้วย [1-4]

อย่างไรก็ดี ยังมีความคลุมเครือของการพัฒนาพลังงานทดแทนของห่วงโซ่อุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าถึงปัจจัยต่างๆ ตั้งแต่ต้นน้ำยังปลายน้ำที่ส่งผลต่อการเพิ่มขีดความสามารถในการพัฒนากระบวนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างเช่นรายงานการปิดตัวของโรงไฟฟ้าชีวมวลมากกว่า 10 แห่ง ในปี 2558 [5] อันเนื่องมาจากไม่มีการบริหารจัดการแบ่งพื้นที่หรือโซนนิ่งที่ชัดเจน ทำให้เกิดปัญหาต้นทุนการจัดซื้อวัตถุดิบเพื่อผลิตไฟฟ้าสูงขึ้น ในทางกลับกันยังมีโรงไฟฟ้าชีวมวลอีกหลายแห่งอยู่รอดที่ยังสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อเป็นไปตามระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวลตามรูปแบบมาตรการส่งเสริมการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (Feed in Tariff: FiT) ได้เป็นอย่างดี ดังนั้น การจัดการปัญหาดังกล่าวจึงเป็นการจัดการระบบที่มีความซับซ้อนเป็นอย่างมาก อาทิ การเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการเลือกชนิดของพลังงานทดแทนที่จะนำมาผลิตกระแสไฟฟ้า การเลือกพื้นที่บริเวณจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน การจัดการพลังงานทดแทนให้มีความพอเพียงต่อกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า และจุดคุ้มทุนของการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น [5-6]

การวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาพลวัตระบบของอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในประเทศไทย ภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัดของปัจจัยต่างๆ อย่างเช่น แหล่งทรัพยากรของพลังงานทดแทนที่สำคัญและต้นทุนในการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน เป็นต้น ซึ่งปัญหาเหล่านี้มีความซับซ้อนอย่างมาก ถ้าหากการวิเคราะห์ผลลัพธ์ในเชิงคณิตศาสตร์อาจได้ผลลัพธ์ที่ไม่ตรงประเด็นและคลาดเคลื่อนได้ ปัญหาลักษณะนี้จึงเหมาะกับวิธีการจำลองเชิงตัวเลขมาใช้ในการคำนวณหาผลลัพธ์แทน ซึ่งเป็นการทดลองระบบแบบซ้ำๆ และเน้นตัวแบบนามธรรมทางคณิตศาสตร์ เช่น แผนภูมิกราฟและแผนภูมิรูปภาพ เป็นต้น ดังนั้น การวิจัยนี้จึงได้เลือกพลวัตระบบ (System Dynamics) ซึ่งเป็นวิธีการแก้ปัญหาในรูปแบบสต๊อกและโฟล์ (Stocks and Flows) ที่มีความยืดหยุ่นของระบบ ค่าตัวแปรของเวลา อัตราการรักษาระดับสะสมของพลังงานทดแทน ผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งส่งผลกระทบต่อปัจจัยอื่น และค่าตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงผันตามเวลาที่เปลี่ยนไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาตัวแบบพลวัตระบบและแนวโน้มที่เป็นไปได้ในการจัดตั้งอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในประเทศไทย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองพลวัตระบบ (System Dynamics Model) ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่ออุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าพลังงานทดแทนในประเทศไทย โดยเริ่มจากการศึกษาสถานการณ์และสภาวะที่เกิดขึ้นกับอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนที่มีอยู่ในประเทศไทย จากข้อมูลทุติยภูมิและข้อมูลปฐมภูมิ จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนตามแบบจำลองพลวัตระบบ เพื่อให้ทราบถึงแนวทางการผลักดันขีดความสามารถของอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าอย่างยั่งยืน ซึ่งมีวิธีดำเนินการวิจัยดังนี้ [7-8]

1. การศึกษาสถานการณ์ของอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

การวิจัยในครั้งนี้เริ่มจากการศึกษาข้อมูลทุติยภูมิและข้อมูลปฐมภูมิเกี่ยวกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในปัจจุบันของอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในประเทศไทย และแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนในประเทศไทย รวมถึงขั้นตอนต่างๆ ในการจัดหาพลังงานทดแทนมาผลิตไฟฟ้าตั้งแต่จุดเริ่มต้นยังจุดสุดท้ายของกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน เพื่อให้ทราบถึงทิศทางการหมุนเวียนของระบบการจัดการพลังงานทดแทน และต้นตอของสาเหตุที่เกิดปัญหา จากนั้นจะนำข้อมูลทั้งหมดมาสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในประเทศไทยต่อไป

2. การสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

การสร้างแบบจำลองพลวัตระบบสามารถช่วยในการวิเคราะห์กระบวนดำเนินงานและการจัดการพลังงานทดแทนที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไฟฟ้าได้อย่างชัดเจนและเป็นรูปธรรมมากยิ่งขึ้น ซึ่งประกอบไปด้วย (1) ศึกษาค้นคว้าข้อมูลทุติยภูมิและข้อมูลปฐมภูมิ (2) สร้างแบบจำลอง (3) สังเคราะห์ความเสถียรภาพจากแบบจำลองโดยใช้ทฤษฎีพลวัตระบบ นอกจากนั้นยังทำการประเมินความถูกต้องของแบบจำลองพลวัตระบบเพื่อให้เกิดความเหมาะสมแก่การนำไปใช้ได้อย่างแท้จริง ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้ (1) การประเมินความถูกต้องของแบบจำลอง (Verification) เป็นการประเมินความสัมพันธ์ขององค์ประกอบและค่าตัวแปรต่างๆ ว่ามีความเชื่อมโยงกัน

ถูกต้องหรือไม่ (2) การประเมินความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้ (Validation) เป็นการนำผลลัพธ์จากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับข้อมูลทุติยภูมิว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่

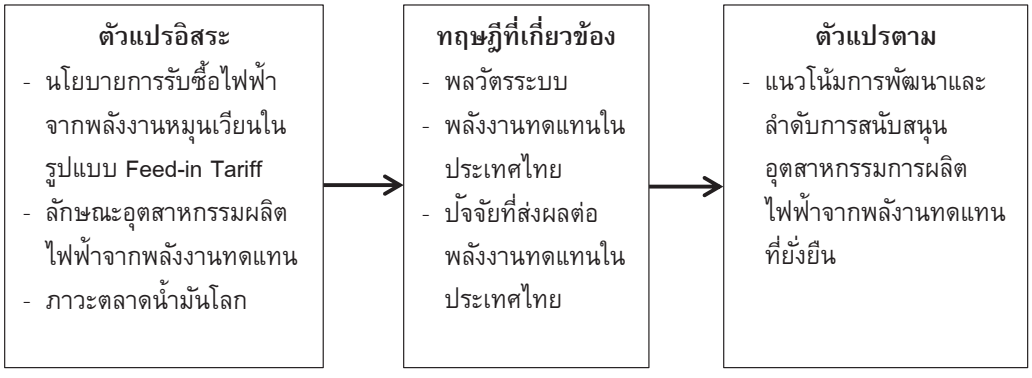
3. ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

การวิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนของการสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนออกเป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

3.1 ศึกษาถึงปัญหาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อกำหนดขอบเขตของปัญหา

การศึกษาปัญหาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องจะมุ่งไปที่แหล่งพลังงานทดแทนที่ใช้สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทยเป็นส่วนใหญ่ 6 ชนิด ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำขนาดเล็ก พลังงานชีวมวล พลังงานก๊าซชีวภาพ และพลังงานขยะ เพื่อนำประเด็นต่างๆ ไปกำหนดเป็นขอบเขตของการวิจัยต่อไป

3.2 ออกแบบกรอบแนวคิดเพื่อหาขอบเขตและตัวแปรที่เกี่ยวข้องตามกรอบแนวคิดการวิจัยดังแสดงใน ภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

เมื่อพิจารณาภาพที่ 1 การวิจัยครั้งนี้เริ่มจากการศึกษาข้อมูลทุติยภูมิและข้อมูลปฐมภูมิเกี่ยวกับปัจจัยต่างๆ ของกลุ่มตัวอย่างอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำขนาดเล็ก พลังงานชีวมวล พลังงานก๊าซชีวภาพ และพลังงานขยะ ที่ส่งผลต่ออุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน ทั้งด้านที่เป็นข้อดีและข้อเสีย เพื่อวิเคราะห์ความสอดคล้องของข้อมูลทุติยภูมิกับข้อมูลปฐมภูมิ จากนั้นนำข้อมูลจากการวิเคราะห์ไปสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อจัดทำแบบจำลองพลวัตระบบของอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

3.3 เก็บข้อมูลและค้นหาสมการ

การศึกษาข้อมูลที่มีความเกี่ยวข้องกับการวิจัยเพื่อนำมาสร้างเป็นแบบจำลอง โดยนำตัวแปรมาเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างกันเป็นพลวัตระบบด้วยโปรแกรม Vensim PLE x32 โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณสามารถเขียนได้ดังต่อไปนี้

3.3.1 สมการที่ใช้ในการคำนวณกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าในในแต่ละชนิดของอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

พลังงานแสงอาทิตย์	$Y_1 = 6.3349x^2 + 178.3x$
พลังงานลม	$Y_2 = 16.407x^2 + 54.422x + 77.981$
พลังงานน้ำขนาดเล็ก	$Y_3 = 0.5774x^2 + 16.103x + 48.026$
พลังงานชีวมวล	$Y_4 = 11.075x^2 + 143.79x + 1478.8$
พลังงานก๊าซชีวภาพ	$Y_5 = 1.1861x^2 + 61.199x + 37.77$
พลังงานขยะ	$Y_6 = 2.5636x^2 + 1.9752x + 8.3671$

เมื่อ Y คือ กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า (เมกะวัตต์)
x คือ ระยะเวลา (ปี)

3.3.2 สมการที่ใช้ในการคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหนึ่งหน่วยไฟฟ้าในแต่ละชนิดของอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

พลังงานแสงอาทิตย์	$Z_1 = 14674e^{-0.303X}$
พลังงานลม	$Z_2 = 4964.1e^{-0.167X}$
พลังงานน้ำขนาดเล็ก	$Z_3 = 4014.5e^{-0.082X}$
พลังงานชีวมวล	$Z_4 = 4547.2e^{-0.071X}$
พลังงานก๊าซชีวภาพ	$Z_5 = 6214.2e^{-0.157X}$
พลังงานขยะ	$Z_6 = 5520.9e^{-0.113X}$

เมื่อ Z คือ ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหนึ่งหน่วยไฟฟ้า (บาทต่อเมกะวัตต์)
x คือ ระยะเวลา (ปี)

3.4 วิเคราะห์ผลที่ได้จากแบบจำลองพลวัตระบบ

การวิเคราะห์ผลที่ได้จากแบบจำลองพลวัตระบบจะคำนึงถึงสถานการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการจัดตั้งอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนทั้งหมด 6 ชนิด เพื่อให้ทราบถึงกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า ต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหนึ่งหน่วยไฟฟ้า และยอดขายกระแสไฟฟ้าในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมตั้งแต่ปี 2553 ถึง 2564

3.5 สรุปผล

ผลสรุปของการวิจัยในครั้งนี้จะส่งผลถึงลำดับของการสนับสนุนและการจัดตั้งอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนทั้ง 6 ชนิด ที่มีอยู่ในประเทศไทย เพื่อให้เกิดความมั่นคงของพลังงานทดแทนในประเทศไทยได้อย่างยั่งยืน

ผลการวิจัย

การวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลองพลวัตระบบของอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนที่สำคัญในประเทศไทยทั้ง 6 ชนิด ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) พลังงานลม (Wind Energy) พลังงานน้ำขนาดเล็ก (Small Hydro Energy) พลังงานชีวมวล (Biomass Energy) พลังงานก๊าซชีวภาพ (Biogas Energy) และพลังงานขยะ (Waste Energy) ดังแสดง

ในภาพที่ 2 ซึ่งแบบจำลองพลวัตระบบของอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแต่ละชนิดจะประกอบไปด้วยตัวแปรหลักดังรายละเอียดต่อไปนี้

Time คือ ระยะเวลาที่ใช้ในแบบจำลอง

LCOE of ... คือ ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเฉลี่ยต่อหนึ่งหน่วยไฟฟ้า

Total LCOE of ... คือ ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเฉลี่ย

Constant of ... คือ ค่าคงที่ของสมการเลขชี้กำลัง (Exponential)

e of ... คือ ค่ายกกำลังของสมการเลขชี้กำลัง (Exponential)

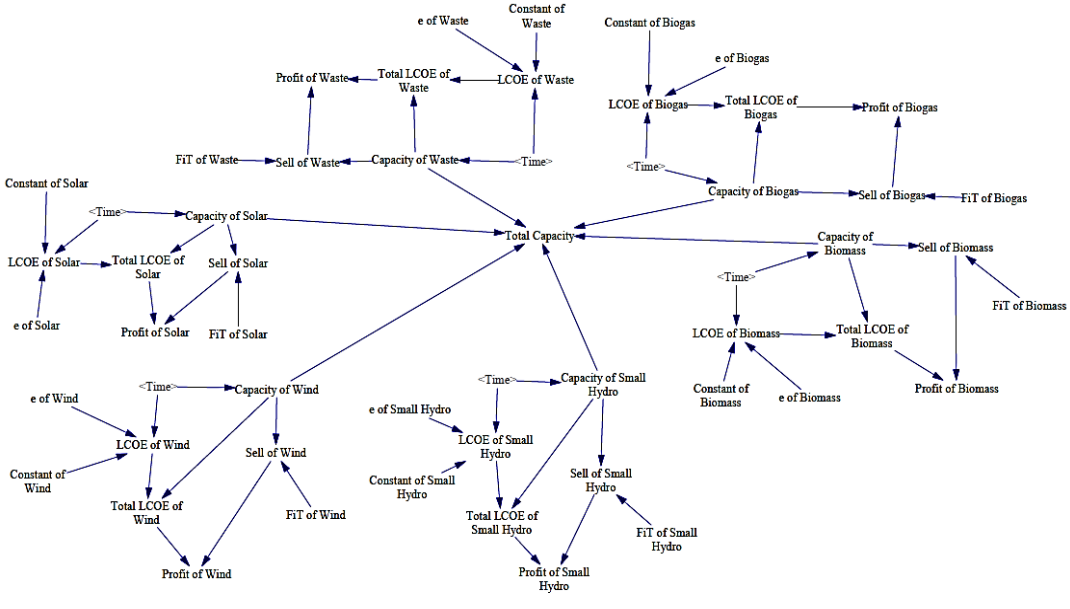
Capacity of ... คือ กำลังผลิตติดตั้งของอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในแต่ละปี

FiT of ... คือ มาตรการส่งเสริมการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

Sell of ... คือ จำนวนเงินที่ขายได้จากอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

Profit of ... คือ ผลกำไร/ขาดทุน ที่เกิดขึ้นของอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

(... แทนด้วยอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแต่ละประเภท คือ Solar Energy, Wind Energy, Small Hydro Energy, Biomass Energy, Biogas Energy และ Waste Energy)



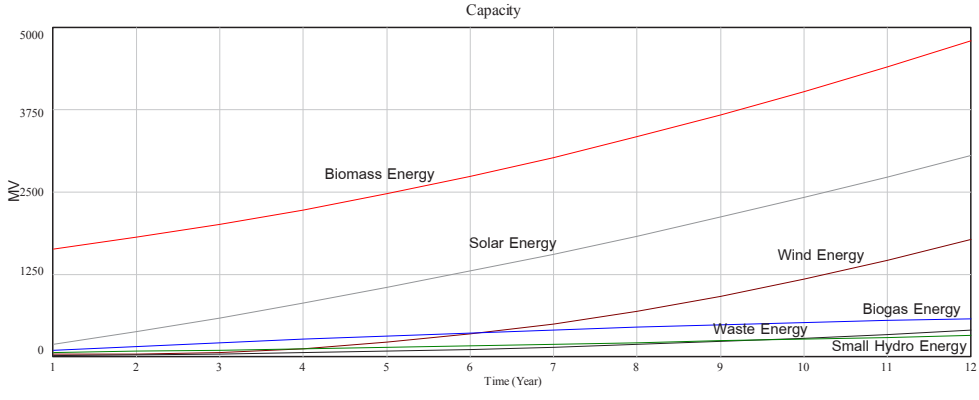
ภาพที่ 2 แบบจำลองพลวัตระบบของอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในประเทศไทย

จากภาพที่ 2 สามารถวิเคราะห์ผลของกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าในแต่ละปี ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในแต่ละปี และผลกำไรของกระแสไฟฟ้าที่ขายได้โดยใช้โปรแกรม Vensim PLE x32 ได้ดังต่อไปนี้

1. กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมตั้งแต่ปี 2553 ถึง 2564

กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมจากการทดสอบแบบจำลองพลวัตระบบด้วยโปรแกรม Vensim PLE x32

โดยกำหนดค่าการทดสอบเริ่มตั้งแต่ปี 2553 ถึง 2564 รวม 12 ปี ดังแสดงในภาพที่ 3 พบว่ากำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนของทุกอุตสาหกรรมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องแบบพหุนาม (Polynomial) เมื่อพิจารณาภาพที่ 3 สามารถทราบได้ว่ากำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวล ซึ่งมีกำลังการผลิตมากที่สุดในปีแรกถึง 1,633.67 เมกะวัตต์ จนกระทั่งในปีที่ 12 มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 4,799.08 เมกะวัตต์ รองลงมาคือ กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีกำลังการผลิตในปีแรกอยู่ที่ 184.64 เมกะวัตต์ และในปีที่ 12 มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 3,052.47 เมกะวัตต์ กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมโดยมีกำลังการผลิตในปีแรกอยู่ที่ 39.97 เมกะวัตต์ และในปีที่ 12 มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 1,787.52 เมกะวัตต์ และกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนอื่นๆ ซึ่งจัดลำดับดังตารางที่ 1



ภาพที่ 3 กำลังการผลิตของอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน 12 ปี

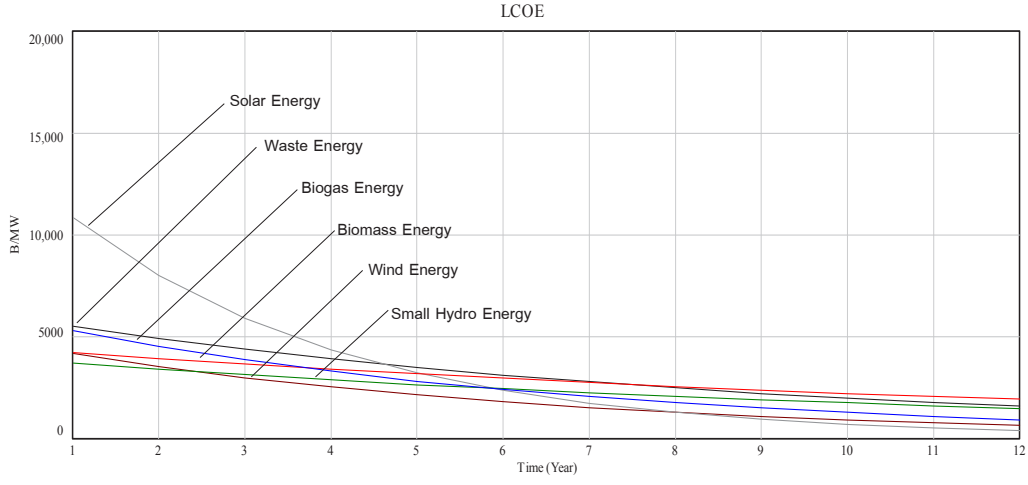
ตารางที่ 1 ลำดับกำลังการผลิตของอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน 12 ปี

ชนิดของอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน	ปีที่ 1 (เมกะวัตต์)	ปีที่ 2 (เมกะวัตต์)	ปีที่ 3 (เมกะวัตต์)	ปีที่ 4 (เมกะวัตต์)	ปีที่ 5 (เมกะวัตต์)	ปีที่ 6 (เมกะวัตต์)	ปีที่ 7 (เมกะวัตต์)	ปีที่ 8 (เมกะวัตต์)	ปีที่ 9 (เมกะวัตต์)	ปีที่ 10 (เมกะวัตต์)	ปีที่ 11 (เมกะวัตต์)	ปีที่ 12 (เมกะวัตต์)
1. พลังงานชีวมวล	1,633.67	1,810.68	2,009.85	2,231.16	2,474.63	2,740.24	3,028.01	3,337.92	3,669.99	4,024.20	4,400.57	4,799.08
2. พลังงานแสงอาทิตย์	184.64	381.96	591.96	814.63	1,049.97	1,298.08	1,558.73	1,832.12	2,118.19	2,416.97	2,728.37	3,052.47
3. พลังงานลม	39.97	34.77	62.38	122.81	216.05	342.10	500.97	692.65	917.15	1,174.46	1,464.96	1,787.52
4. พลังงานก๊าซชีวภาพ	97.78	155.42	210.69	263.59	314.11	362.26	408.04	451.45	492.49	531.15	567.44	601.36
5. พลังงานขยะ	12.91	22.57	37.37	57.29	82.33	112.51	147.81	188.24	233.80	284.48	340.29	401.23
6. พลังงานน้ำขนาดเล็ก	64.71	82.54	101.53	121.68	142.98	165.43	189.04	213.80	239.72	266.80	295.02	324.41

2. ต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหนึ่งหน่วยไฟฟ้าในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมตั้งแต่ปี 2553 ถึง 2564

ทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหนึ่งหน่วยไฟฟ้าในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม ซึ่งผลที่ได้จากแบบจำลองพลวัตระบบด้วยโปรแกรม Vensim PLE x32 ทั้งหมด 12 ปี พบว่า ในปีแรกต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีต้นทุนในการผลิตเฉลี่ยต่อหนึ่งหน่วยไฟฟ้าสูงสุดมากถึง 10,838.20 บาทต่อเมกะวัตต์ และมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องแบบเลขชี้กำลัง (Exponential) จนกระทั่งในปีที่ 12 เหลือต้นทุน

ในการผลิตเพียงแค่ 386.77 บาทต่อเมกะวัตต์ รองลงมาคือ ต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานขยะ ซึ่งมีต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าในปีแรก 4,931.00 บาทต่อเมกะวัตต์ จนถึงปีที่ 12 ลดลงเหลือ 1,422.68 บาทต่อเมกะวัตต์ และต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานก๊าซชีวภาพในปีแรก 5,311.30 บาทต่อเมกะวัตต์ จนถึงปีที่ 12 ลดลงเหลือ 944.44 บาทต่อเมกะวัตต์ และต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนอื่นๆ ดังแสดงในภาพที่ 4 และตารางที่ 2



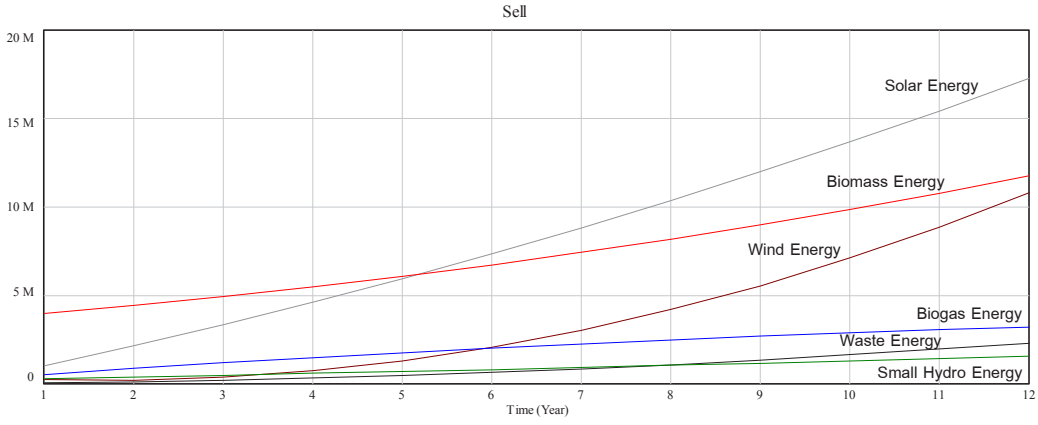
ภาพที่ 4 ต้นทุนการผลิตของอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน 12 ปี

ตารางที่ 2 ลำดับต้นทุนการผลิตของอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน 12 ปี

ชนิดของอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน	ปีที่ 1 (บาทต่อเมกะวัตต์)	ปีที่ 2 (บาทต่อเมกะวัตต์)	ปีที่ 3 (บาทต่อเมกะวัตต์)	ปีที่ 4 (บาทต่อเมกะวัตต์)	ปีที่ 5 (บาทต่อเมกะวัตต์)	ปีที่ 6 (บาทต่อเมกะวัตต์)	ปีที่ 7 (บาทต่อเมกะวัตต์)	ปีที่ 8 (บาทต่อเมกะวัตต์)	ปีที่ 9 (บาทต่อเมกะวัตต์)	ปีที่ 10 (บาทต่อเมกะวัตต์)	ปีที่ 11 (บาทต่อเมกะวัตต์)	ปีที่ 12 (บาทต่อเมกะวัตต์)
1. พลังงานแสงอาทิตย์	10,838.2	8,005.10	1,912.60	1,367.00	3,225.50	2,382.30	1,759.60	,299.60	959.90	708.98	523.65	386.77
2. พลังงานขยะ	4,931.00	4,404.12	3,933.54	3,513.25	3,137.86	2,802.58	2,503.13	2,235.67	1,996.79	1,783.43	1,592.88	1,422.68
3. พลังงานก๊าซชีวภาพ	5,311.30	4,539.59	3,880.01	3,316.26	2,834.42	2,422.59	2,070.60	1,769.75	1,512.61	1,292.83	1,104.99	944.44
4. พลังงานชีวมวล	4,235.54	3,945.25	3,674.85	3,422.98	3,188.38	2,969.85	2,766.30	2,576.71	2,400.10	2,235.60	2,082.38	1,939.66
5. พลังงานลม	4,200.62	3,554.56	3,007.87	2,545.26	2,153.80	1,822.54	1,542.23	1,305.04	1,104.32	934.48	790.75	669.14
6. พลังงานน้ำขนาดเล็ก	3,698.45	3,407.28	3,139.03	2,891.90	2,664.22	2,454.48	2,261.24	2,083.22	1,919.21	1,768.11	1,628.91	1,500.67

3. ยอดขายกระแสไฟฟ้าในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมตั้งแต่ปี 2553 ถึง 2564

จำนวนเงินที่ขายกระแสไฟฟ้าในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม ซึ่งผลที่ได้จากแบบจำลองพลวัตระบบด้วยโปรแกรม Vensim PLE x32 ทั้งหมด 12 ปี พบว่า ทุกกลุ่มอุตสาหกรรมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แปรผันตามการเพิ่มขึ้นของกำลังการผลิต การติดตั้ง และการรับซื้อกระแสไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนในหน่วยบาทต่อเมกะวัตต์ (Feed-in Tariff: FiT) ซึ่งในปีที่ 12 นั้น พลังงานแสงอาทิตย์มียอดขายสูงสุดมากถึง 17,277,000.00 บาท รองลงมาคือ พลังงานชีวมวลมียอดขายมากถึง 11,767,000.00 บาท พลังงานลม 10,832,100.00 บาท และยอดขายกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนอื่นๆ ดังแสดงในภาพที่ 5 และตารางที่ 3



ภาพที่ 5 ยอดขายกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน 12 ปี

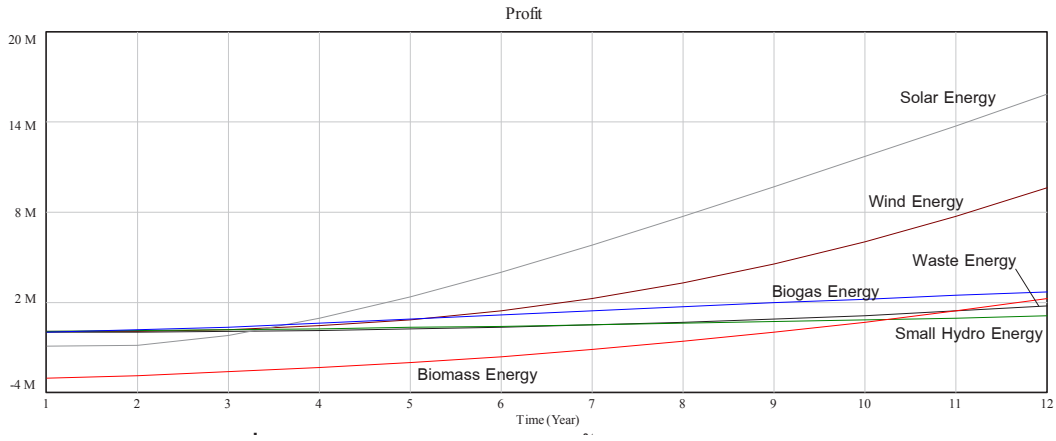
ตารางที่ 3 ลำดับยอดขายกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน 12 ปี ของแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม

ลำดับที่	ชนิดของอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน	อัตราการรับซื้อ* (บาทต่อเมกะวัตต์)	ยอดขายปีที่ 1 (บาท)	ยอดขายปีที่ 12 (บาท)
1	พลังงานแสงอาทิตย์	5,660.00	1,045,060.00	17,277,000.00
2	พลังงานชีวมวล	4,240.00	4,926,740.00	11,767,000.00
3	พลังงานลม	6,060.00	242,194.00	10,832,100.00
4	พลังงานก๊าซชีวภาพ	3,760.00	800,400.00	3,226,700.00
5	พลังงานขยะ	5,600.00	72,273.10	2,246,880.00
6	พลังงานน้ำขนาดเล็ก	4,900.00	317,061.00	1,589,600.00

*อัตราการรับซื้อกระแสไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนตามมาตรการส่งเสริมการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในหน่วยบาทต่อเมกะวัตต์ ในรูปแบบ Feed-in Tariff (FiT) [5, 9]

4. ผลกำไรจากการขายกระแสไฟฟ้าในแต่ละชนิดของอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนตั้งแต่ปี 2553 ถึง 2564

ผลกำไรจากการขายกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนตามนโยบายการรับซื้อกระแสไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนตามมาตรการส่งเสริมการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในหน่วยบาทต่อเมกะวัตต์ ในรูปแบบ Feed-in Tariff (FiT) พบว่า กำไรจากการขายกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีผลกำไรในปีที่ 12 มากสุดถึง 15,851,300.00 บาท เนื่องจากในช่วงแรกมีต้นทุนเพื่อลงทุนด้านเทคโนโลยีเข้ามาเกี่ยวข้องจึงทำให้ผลกำไรในช่วงแรกนั้นตกต่ำ อย่างไรก็ตามเมื่อดำเนินการผลิตไฟฟ้ามากขึ้นจะทำให้ผลกำไรแปรผันตามกำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเพราะไม่มีต้นทุนของการลงทุนทางเทคโนโลยีและยังมีค่าบำรุงรักษาต่ำอีกด้วย รองลงมาเป็นพลังงานลมมีผลกำไร 9,636,300.00 บาท พลังงานก๊าซชีวภาพ 2,682,550.00 บาท และผลกำไรของอุตสาหกรรมอื่นๆ ดังแสดงในภาพที่ 6 และตารางที่ 4



ภาพที่ 6 ผลกำไรจากการขายกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน 12 ปี

ตารางที่ 4 ลำดับผลกำไรจากการขายกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน 12 ปี ของแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม

ลำดับที่	ชนิดของอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน	อัตราการรับซื้อ * (บาทต่อเมกะวัตต์)	ยอดขายปีที่ 12 (บาท)
1	พลังงานแสงอาทิตย์	5,660.00	15,851,300.00
2	พลังงานลม	6,060.00	9,636,300.00
3	พลังงานก๊าซชีวภาพ	3,760.00	2,682,550.00
4	พลังงานชีวมวล	4,240.00	2,254,060.00
5	พลังงานขยะ	5,600.00	1,748,280.00
6	พลังงานน้ำขนาดเล็ก	4,900.00	1,102,770.00

*อัตราการรับซื้อกระแสไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนตามมาตรการส่งเสริมการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในหน่วยบาทต่อเมกะวัตต์ ในรูปแบบ Feed-in Tariff (FiT) [5, 9]

สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาแบบจำลองพลวัตระบบของอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน ทางด้านกำลังการผลิต ต้นทุนการผลิตต่อหนึ่งหน่วยไฟฟ้า และยอดขายกระแสไฟฟ้าในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน พบว่า การส่งเสริมนโยบายการจัดตั้งหรือผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในประเทศไทยควรมุ่งเน้นไปที่การผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานก๊าซชีวภาพ ตามลำดับ ซึ่งแหล่งทรัพยากรของพลังงานเหล่านี้สามารถหาได้ตามท้องถิ่นทั่วทุกภูมิภาค อีกทั้ง ถ้าหากจำเป็นต้องนำเข้าทรัพยากรข้างต้นจากต่างประเทศยังคงมีอัตราการนำเข้าที่มีต้นทุนค่อนข้างต่ำ

นอกจากนี้ ผลกำไรจากการทดสอบแบบจำลองพลวัตระบบของอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน ยังสามารถทำให้ทราบถึงแนวโน้มการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนที่ทางภาครัฐบาลและเอกชนได้ร่วมมือกันโดยมีกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงานเป็นแกนนำหลัก ซึ่งตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี นั้น ได้มีการส่งเสริมการผลิตพลังงานความร้อนเพื่อใช้ในการสร้างกระแสไฟฟ้า ตามข้อมูลที่เปิดเผยไว้ในปี 2558 ได้แก่

พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล และพลังงานก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากแบบจำลองพลวัตระบบของการวิจัยในครั้งนี้ ดังนั้น แบบจำลองพลวัตระบบของอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนจากการวิจัยนี้ จึงมีความสอดคล้อง และสามารถนำไปใช้พยากรณ์สภาวะที่จะเกิดขึ้นกับอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนได้เป็นอย่างดี

อย่างไรก็ตามสมการวิเคราะห์พลวัตระบบสำหรับอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนยังมีข้อจำกัดในด้านการคำนวณและวิเคราะห์พลวัตระบบของอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าเท่านั้น ดังนั้น คณะผู้วิจัยจะทำการพัฒนาแบบจำลองและสมการในการวิจัยครั้งต่อไป เพื่อให้สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ได้กับพลวัตระบบอื่นๆ ที่มีความใกล้เคียงกันได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยในครั้งนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน แผนพลังงานทดแทนของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน ในการนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] Metropolitan Electricity Authority. (2016). *Electricity usage statistics*. Retrieved January 20, 2016, from http://www.mea.or.th/profile/index.php?tid=5&mid=125&pid=122

[2] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy. (2016). *Alternative Energy Development Plan 25% in 10 years (AEDP2015)*. Department of Alternative Energy Development and Efficiency.

[3] Electricity Generating Public Co., Ltd. (2015). *Solar Thermal Power*. Retrieved April 12, 2015, from http://www.egco.com/th/energy_knowledge_solar3.a

[4] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy. (2012). *Status of Solar Power in Thailand (2009-2013).* Bangkok: Bureau of Solar Energy Development.

[5] Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy. (2016). *Renewable Energy Policy in Feed-in Tariff*. Retrieved April 14, 2016, from www.eppo.go.th/power/fit-seminar/FiT_2016.pdf

[6] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy. (2014). *Thailand Renewable Energy Report*. Bangkok: Amarin Printing & Publishing Public Co., Ltd.

[7] Linna Hou. (2015). System Dynamics Simulation of Large-Scale Generation System for Designing Wind Power Policy in China. Hindawi Publishing Corporation. *Discrete Dynamics in Nature and Society.* 2015: 1-11.

[8] Kong Chyong, William J. Nuttall.; and David M. Reiner. (2009). Dynamics of the UK natural gas industry: System dynamics modelling and long-term energy policy analysis. *Technological Forecasting & Social Change.* 76. 339-357.

[9] Pita, P., Tia, W., Suksuntornsiri, P., Limpitipanich, P.; & Limmeechockchai, B. (2015). Assessment of Feed-in Tariff Policy in Thailand: Impacts on National Electricity Prices. *Energy Procedia*. 79: 584-589.