บทความวิจัย

# การเลือกรูปแบบการเดินเครื่องของโรงไฟฟ้าแฝด เพื่อให้ได้ต้นทุนต่ำสุด โดยใช้แบบจำลองกำหนดการที่ไม่ใช่เชิงเส้น

สรญา หม่องพราหมณ์* และ พัฒน์ พัฒนรังสรรค์
สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ธุรกิจ คณะเศรษฐศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 06 2424 9854 อีเมล: soraya.mon@ku.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.09.012
รับเมื่อ 29 มีนาคม 2564 แก้ไขเมื่อ 21 พฤษภาคม 2564 ตอบรับเมื่อ 25 พฤษภาคม 2564 เผยแพร่ออนไลน์ 19 กันยายน 2565
© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

**บทคัดย่อ**

ในปัจจุบันก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย บริษัท AAA จำกัด เป็นผู้ผลิตไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ ซึ่งมีลักษณะเป็นโรงไฟฟ้า Block คู่ หรือที่เรียกกันว่าโรงไฟฟ้าแฝด มีการจำหน่ายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตและลูกค้าอุตสาหกรรม รวมทั้งมีการจำหน่ายไอน้ำให้ลูกค้าอุตสาหกรรม งานศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดรูปแบบการเดินเครื่องอุปกรณ์หลัก และการจัดสรรลูกค้าอุตสาหกรรมให้กับแต่ละโรงไฟฟ้าที่มีความเหมาะสมที่สุดด้วยแบบจำลองกำหนดการที่ไม่ใช่เชิงเส้น (Non-linear Programming Model) ซึ่งทำให้ต้นทุนรวมของบริษัทต่ำที่สุด ประกอบด้วยต้นทุนการผลิตโดยสะท้อนมาอยู่ในรูปของหน่วยกังหันก๊าซ (Heat Rate) ของโรงไฟฟ้าแต่ละโรงไฟฟ้า นอกจากนี้ต้นทุนรวมยังรวมถึงต้นทุนการซ่อมบำรุง และต้นทุนค่าเสียโอกาสอื่นๆ อีกด้วย ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดในการเดินเครื่องตามสัญญาการซื้อขายของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ที่มีความแตกต่างกันในด้านกำลังการผลิต และปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ ผลการศึกษาพบว่ารูปแบบการเดินเครื่องที่ทำให้ต้นทุนรวมของบริษัทต่ำที่สุดคือ โรงไฟฟ้า A1 เดินเครื่องกังหันก๊าซ GT11 1 เครื่อง เครื่องผลิตไอน้ำแบบนำความร้อนกลับมาใช้ HRSG11 1 เครื่อง และกังหันไอน้ำ 1 เครื่อง โรงไฟฟ้า A2 เดินเครื่องกังหันก๊าซ GT21 และ GT22 ทั้ง 2 เครื่อง เครื่องผลิตไอน้ำแบบนำความร้อนกลับมาใช้ HRSG21 และ HRSG22 ทั้ง 2 เครื่อง และกังหันไอน้ำ 1 เครื่อง ด้วยรูปแบบการเดินเครื่องนี้ Heat Rate ของโรงไฟฟ้า A1 จะมีค่าเท่ากับ 7484.41 บีทียูต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง และโรงไฟฟ้า A2 เท่ากับ 7775.29 บีทียูต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งบริษัทจะสามารถลดต้นทุนรวมได้ 19,620.34 บาทต่อชั่วโมง หรือ 87,276,183.53 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 6.14 ของต้นทุนที่เกิดจากการเดินเครื่องในรูปแบบปัจจุบัน การศึกษานี้สามารถนำไปปรับใช้กับกรณีที่บริษัทมีโรงไฟฟ้ามากกว่า 2 โรงไฟฟ้า รวมถึงกรณีมีลูกค้าไฟฟ้า หรือไอน้ำมากกว่า 1 ราย และโรงไฟฟ้าอื่นๆ ที่มีลักษณะเป็นโรงไฟฟ้าแฝดได้ รวมถึงการนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้กับการวางแผนการผลิตในอุตสาหกรรมอื่นๆ ต่อไป

**คำสำคัญ**: ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก โรงไฟฟ้าความร้อนร่วม โรงไฟฟ้าแฝด กำหนดการที่ไม่ใช่เชิงเส้น

การอ้างอิงบทความ: สรญา หม่องพราหมณ์ และ พัฒน์ พัฒนรังสรรค์, "การเลือกรูปแบบการเดินเครื่องของโรงไฟฟ้าแฝด เพื่อให้ได้ต้นทุนต่ำสุด โดยใช้แบบจำลองกำหนดการที่ไม่ใช่เชิงเส้น," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 33, ฉบับที่ 2, หน้า 413–423, เม.ย.–มิ.ย. 2566.

วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 33 ฉบับที่ 2 เม.ย.–มิ.ย. 2566
*The Journal of KMUTNB., Vol. 33, No. 2, Apr.–Jun. 2023*

Research Article

# Operating Patterns Selection of Dual Combine Cycle Co-generation Power Plant to Achieve the Lowest Cost Using a Non-linear Programming Model

Soraya Mongpram* and Pat Pattanarangsun
Department of Business Economics, Faculty of Economics at Si Racha, Kasetsart University Sriracha Campus, Chon Buri, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 06 2424 9854, E–mail: soraya.mon@ku.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.09.012
Received 29 March 2021; Revised 21 May 2021; Accepted 25 May 2021; Published online: 19 September 2022
© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

**Abstract**

At present, natural gas is the main fuel for electricity generation in Thailand. "AAA Co., Ltd." is a small power producer using natural gas and is a dual power plant which supplies electricity to the Electricity Generating Authority of Thailand and industrial customers. Besides, the steam from power generation is sold to industrial customers. This study aimed to find the optimal patterns of operating the main machines and equipment along with an allocation plan to each industrial customer. A non-linear optimization technique was used to obtain the lowest total cost, i.e. production costs, maintenance costs and opportunity costs under the operation conditions as issued by the Electricity Generating Authority of Thailand. As results, the operating patterns that can be attributed to the lowest total costs are as follows: 1) power plant A1, operated by a gas turbine (GT11), a heat recovery steam generator (HRSG11) and a steam turbine (ST10). The Heat Rate of power plant A1 is 7484.41 BTU per kWh. 2) power plant A2 operated by both gas turbines (GT21 and GT22), both heat recovery steam generators (HRSG21 and HRSG22) and one steam turbine. The Heat Rate of power plant A2 is 7775.29 BTU per kWh. According to this pattern, the company can save 19,620.34 baht per hour or 87,276,183.53 baht per year, accounting for 6.14% of the total cost incurred from the current pattern. Additionally, this study can be extended to other cases including the conditions when a company has more than 2 power plants, when there are more than one steam-electric power customers, or in case of any dual power plants. These findings can also be applied for production planning in other industries in the future.

**Keywords**: Small Power Plant Producer, Combine Cycle Co-generation Power Plant, Dual Power Plant, Non-linear Programming

Please cite this article as: S. Mongpram and P. Pattanarangsun, "Operating patterns selection of dual combine cycle co-generation power plant to achieve the lowest cost using a non-linear programming model," *The Journal of KMUTNB*, vol. 33, no. 2, pp. 413–423, Apr.–Jun. 2023 (in Thai).

**1. บทนำ**

ปัจจุบันโรงไฟฟ้าประเภทผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายเล็กมีจำนวนมากถ้าเทียบกับผู้ผลิตไฟฟ้าประเภทอื่นๆ และจากรูปแบบการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าของบริษัท AAA จำกัด ซึ่งเป็นผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายเล็กที่มีลักษณะเป็นโรงไฟฟ้าแฝด ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าโคเจนเนอเรชัน โดยเครื่องจักรหลักของโรงไฟฟ้า 1 โรงไฟฟ้า ประกอบไปด้วยกังหันก๊าซ 2 เครื่อง เครื่องผลิตไอน้ำแบบนำความร้อนกลับมาใช้ 2 เครื่อง และกังหันไอน้ำ 1 เครื่อง มีการผลิตทั้งไฟฟ้าและไอน้ำในการจำหน่ายลูกค้า ซึ่งปัจจุบันมีรูปแบบการเดินเครื่องในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าต่ำ คือ โรงไฟฟ้า A1 เดินเครื่องกังหันก๊าซ 2 เครื่อง เครื่องผลิตไอน้ำแบบนำความร้อนกลับมาใช้ 2 เครื่อง และกังหันไอน้ำ 1 เครื่อง เพื่อจำหน่ายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตและลูกค้าไฟฟ้า 2 ราย รวมถึงจำหน่ายไอน้ำลูกค้าไอน้ำ และในส่วนของโรงไฟฟ้า A2 เดินเครื่องกังหันก๊าซ 1 เครื่อง เครื่องผลิตไอน้ำแบบนำความร้อนกลับมาใช้ 1 เครื่อง และกังหันไอน้ำ 1 เครื่อง โดยในปัจจุบันทางบริษัท AAA จำกัด มีลักษณะการเดินเครื่องโดยสลับการหยุดเดินเครื่องของกังหันก๊าซในช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำ 15 วันต่อเครื่องกังหันก๊าซ 1 เครื่อง จากรูปแบบการเดินเครื่องนี้บริษัทพบว่า เกิดต้นทุนการซ่อมบำรุงที่อยู่นอกหนือจากการวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักร อีกทั้งจากรูปแบบการเดินเครื่องในปัจจุบันนี้ ทางบริษัทยังไม่ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบการเดินเครื่องที่ดีที่สุด ที่ทำให้หน่วยกังหันก๊าซ (Heat Rate) ของโรงไฟฟ้าทั้ง 2 โรงไฟฟ้า มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งสามารถสะท้อนมาในรูปต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุดภายใต้เงื่อนไขต่างๆ อาทิ ข้อจำกัดในการผลิตไฟฟ้าของแต่ละโรงไฟฟ้า ปริมาณพลังไฟฟ้าที่ต้องจำหน่ายลูกค้า ซึ่งอยู่ภายใต้สัญญาการซื้อขายไฟฟ้ากับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จึงมีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อการศึกษารูปแบบที่เหมาะสมในการเดินเครื่องของโรงไฟฟ้าแฝด บริษัท AAA จำกัด โดยการหาค่าความเหมาะสมด้วยโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ ด้วยโปรแกรมที่ไม่ใช่เชิงเส้น (Non-linear Programming)

สำหรับโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม หรือโรงไฟฟ้า Combine Cycle ด้วยโรงไฟฟ้า 2 ประเภท ได้แก่ โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ (Gas Turbine Power Plant) และโรงไฟฟ้าพลังความร้อน (Thermal Power Plant) โรงไฟฟ้าประเภทนี้จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ และโรงไฟฟ้าพลังความร้อน สำหรับโรงไฟฟ้าประเภทนี้มีอุปกรณ์หลักดังนี้ กังหันก๊าซ เครื่องกำเนิดไอน้ำจากความร้อนทิ้ง และกังหันไอน้ำ ซึ่งเครื่องจักรต้นกำลังของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมนั่นคือ กังหันก๊าซนั้นเอง [1]

สำหรับการแก้ปัญหาโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์สามารถใช้เทคนิคได้หลายวิธี อาทิ แบบโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) และไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear Programming) เป็นเทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการหาคำตอบเพื่อให้บรรลุเป้าหมายสูงสุดหรือต่ำสุดภายใต้ขอบเขตจำกัด [2] โดยพิจารณาจากสมการจุดประสงค์ และสมการข้อจำกัดว่ามีรูปแบบเป็นสมการเชิงเส้นหรือไม่

การนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้เป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหานั้น เห็นได้อย่างแพร่หลายทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยเฉพาะงานวิจัยทางด้านการผลิต (Operation Research) ยกตัวอย่างเช่น การนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการแก้ปัญหาในหลากหลายอุตสาหกรรม ชัยมงคล และคณะ [3]

เมื่อกล่าวถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นกับธุรกิจ สามารถมองได้หลากหลายมุม หนึ่งในนั้นคือ ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งหมายถึง ค่าใช้จ่ายที่จำเป็นต่อการผลิตทุกชนิด โดยต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์นั้น ประกอบไปด้วย ต้นทุนชัดแจ้ง (Explicit Cost) ต้นทุนไม่ชัดแจ้ง (Implicit Cost) ซึ่งหนึ่งในต้นทุนไม่ชัดแจ้งที่หน่วยธุรกิจใช้ประกอบการตัดสินใจคือ ต้นทุนค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost) หรือต้นทุนในการเลือก (Alternative Cost) หมายถึง มูลค่าทรัพยากรในทางเลือกที่ดีที่สุดทางอื่นที่หน่วยธุรกิจไม่ได้เลือกนั่นเอง [2]

จากการศึกษาพบว่า มีการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการแก้ปัญหาในหลากหลายอุตสาหกรรม อาทิ ชัยมงคล และคณะ ได้ทำการศึกษาการจัดการโซ่อุปทานมะพร้าวน้ำหอมโดยประยุกต์ใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบจำนวนเต็มผสม เพื่อวางแผนในการจัดหาวัตถุดิบและการวางแผนการผลิต โดยใช้โปรแกรมเส้นตรงในการคำนวณหา

ต้นทุนดำเนินการรวมต่ำสุด ซึ่งจะคำนึงถึงการวางแผนการเก็บเกี่ยวมะพร้าวน้ำหอม ปริมาณอุปสงค์ลูกค้า และการเลือกใช้ยานพาหนะที่เหมาะสมอย่างอุตสาหกรรมพลังงานมีการใช้โปรแกรมเชิงเส้นแก้ปัญหาได้เช่นกัน [3] Yoo ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้น วัตถุประสงค์เพื่อสามารสร้างกำลังการผลิตไฟฟ้าที่ปริมาณสูงที่สุดได้ โดยผู้ศึกษาได้ศึกษาเขื่อนอเนกประสงค์ยงดัมที่ตั้งอยู่บนแม่น้ำกีมในประเทศเกาหลีใต้ ในการศึกษาได้คำนึงถึงผลกระทบ และความไวของแบบจำลองต่อการกักเก็บและการปล่อยน้ำภายในเขื่อน [4]

ในส่วนของการศึกษารูปแบบการเดินเครื่องของโรงไฟฟ้าแฝดนั้น ธนากร ได้ทำการศึกษาไว้ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า โดยการใช้โปรแกรม Plant Information เพื่อศึกษาแนวทางการเดินเครื่องที่เหมาะสม โดยได้ทำการศึกษารูปแบบการเดินเครื่อง 4 รูปแบบ แล้วทำการศึกษารูปแบบการเดินเครื่องที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ และประเมินรายได้สุทธิเฉลี่ยต่อวัน จากการศึกษาพบว่า การเดินเครื่องรูปแบบที่ 4 โดยเดินเครื่องกังหันก๊าซ 3 เครื่อง และกังหันไอน้ำ 2 เครื่อง ที่มีการเชื่อมต่อไฟฟ้าและไอน้ำระหว่างโรงไฟฟ้าแฝดแบบโคเจนเนอร์เรชันในช่วงออฟพีค ทำให้ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้ามีค่าสูง และรายได้สุทธิเฉลี่ยต่อวันได้มากที่สุด ซึ่งการศึกษาแนวทางการเดินเครื่องที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าแฝดนั้น พิจารณาจากต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุดภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัด โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [5]

จากการศึกษาพบว่า รูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่จะใช้นั้น ขึ้นอยู่กับรูปแบบสมการจุดประสงค์และสมการข้อจำกัด ซึ่งในการศึกษาแนวทางการเดินเครื่องที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าแฝด สมการจุดประสงค์และสมการข้อจำกัดเป็นสมการไม่ใช่เชิงเส้น ดังนั้นเครื่องมือที่ใช้จึงเป็นโปรแกรมไม่เป็นเชิงเส้น เช่นเดียวกับการออกแบบแผนอัคคีภัยโดยแบบจำลองหาความเหมาะสม: กรณีศึกษาโรงเรียนมัธยมปลาเพอร์รี่ ของทวีภัทร์ และ VanWey [6]

## 2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

สำหรับการศึกษาครั้งนี้กำหนดขอบเขตในการศึกษา ผู้วิจัยจะทำการศึกษาบริษัท AAA จำกัด ซึ่งประกอบธุรกิจผลิตไฟฟ้า เป็นผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายเล็ก ประกอบด้วยโรงไฟฟ้า 2 โรงไฟฟ้า ได้แก่ โรงไฟฟ้า A1 และโรงไฟฟ้า A2 ซึ่งโรงไฟฟ้าแต่ละโรงไฟฟ้ามีกำลังการผลิตรวมเท่ากับ 135 เมกะวัตต์ โรงไฟฟ้าแต่ละโรงไฟฟ้านั้น ประกอบด้วยกังหันก๊าซ 2 เครื่อง เครื่องกำเนิดไอน้ำจากความร้อนทิ้งทั้ง 2 เครื่อง และกังหันไอน้ำ 1 เครื่อง มีการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้ากับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต 90 เมกะวัตต์ต่อ 1 โรงไฟฟ้า นอกจากการจำหน่ายไฟฟ้าให้กับทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแล้วบริษัท AAA จำกัด ยังมีการจำหน่ายไฟฟ้าให้กับลูกค้า 2 ราย โดยลูกค้าไฟฟ้า B จำนวน 25 เมกะวัตต์ และลูกค้าไฟฟ้า C จำนวน 15 เมกะวัตต์ นอกจากนี้บริษัท AAA จำกัด ได้จำหน่ายไอน้ำให้กับลูกค้าอุตสาหกรรม 1 ราย จำนวน 20 ตันต่อชั่วโมง สำหรับการเดินเครื่องของโรงไฟฟ้านั้น แบ่งช่วงเวลาเดินเครื่องเป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง ในช่วงเวลาดังกล่าวการไฟฟ้าฝ่ายผลิตจะสั่งการให้โรงไฟฟ้าแต่ละโรงไฟฟ้าเดินเครื่อง 90 เมกะวัตต์ ตามสัญญาการซื้อขายไฟฟ้า โดยในช่วงเวลานี้โรงไฟฟ้า A1 และ A2 จะทำการเดินเครื่องจักรหลักทั้งหมด คือเดินเครื่องกังหันก๊าซ 2 เครื่อง เครื่องกำเนิดไอน้ำจากความร้อนทิ้ง 2 เครื่อง และกังหันไอน้ำ 1 เครื่อง เพื่อจำหน่ายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต นอกจากนี้ยังจำหน่ายไฟฟ้าและไอน้ำให้กับลูกค้าอุตสาหกรรมอีกด้วย และช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำ ในช่วงเวลาดังกล่าวการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยมีการสั่งการเดินเครื่องร้อยละ 65 ของสัญญาการซื้อขายไฟฟ้า คือ 59 เมกะวัตต์ โดยในช่วงเวลานี้โรงไฟฟ้า A1 และ A2 จะสลับการหยุดเดินกังหันก๊าซ 1 เครื่อง จาก 4 เครื่อง และสลับกันทุก 15 วัน ด้วยจำนวนเครื่องที่มีจำนวนมากนั้น พบว่า ในโรงไฟฟ้าแฝด สามารถเลือกรูปแบบการเดินเครื่องได้หลากหลายในช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำ โดยปัจจุบันพบว่า โรงไฟฟ้า A1 มี Heat Rate เท่ากับ 7667.46 บีทียูต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง และโรงไฟฟ้า A2 มี Heat Rate เท่ากับ 7717.68 บีทียูต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง นอกจากนี้พบว่าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงบริษัท AAA จำกัด ต้องทำการเดินเครื่องจักรหลักทุกเครื่อง ทำให้เกิดต้นทุนอื่นนอกเหนือจากต้นทุนการผลิตอีกด้วย ซึ่งหากจะกล่าวถึงรูปแบบ

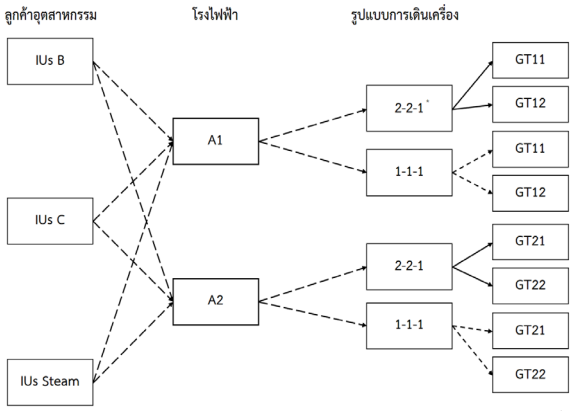
การเดินเครื่องที่เหมาะสมกับต้นทุนของโรงไฟฟ้านั้น ต้องทำการศึกษาหลักการทำงานของเครื่องจักร ต้นทุนการผลิตและต้นทุนการซ่อมบำรุง เป็นต้น โดยผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาแนวทางการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าที่เหมาะสม ซึ่งมีรายละเอียดการศึกษาดังนี้

### 2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากการศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลเครื่องจักรโรงไฟฟ้า A1 และ A2 ข้อมูลกำลังการผลิตของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง ข้อมูลปริมาณไฟฟ้าและไอน้ำ สำหรับจำหน่ายลูกค้า และรูปแบบการเดินเครื่อง

สำหรับรูปแบบการเดินเครื่องที่แสดงในรูปที่ 1 รูปแบบการเดินเครื่อง x-y-z นั้น แสดงถึงจำนวนเครื่องจักรที่ทำการเดินเครื่องของโรงไฟฟ้านั้นๆ ตัวแปร x หมายถึง จำนวนเครื่องกังหันก๊าซที่เดินเครื่องของโรงไฟฟ้านั้น ตัวแปร y หมายถึง จำนวนเครื่องผลิตไอน้ำแบบนำความร้อนกลับมาใช้ที่เดินเครื่องของโรงไฟฟ้านั้น และตัวแปร z หมายถึง จำนวนเครื่องกังหันไอน้ำที่เดินเครื่องของโรงไฟฟ้านั้น ตัวอย่างเช่น โรงไฟฟ้า A1 เลือกรูปแบบการเดินเครื่อง 2-2-1 หมายถึง โรงไฟฟ้า A1 เดินเครื่องกังหันก๊าซจำนวน 2 เครื่อง เครื่องผลิตไอน้ำแบบนำความร้อนกลับมาใช้จำนวน 2 เครื่อง และที่เครื่องกังหันไอน้ำจำนวน 1 เครื่อง โดยลูกค้า 1 รายนั้น สามารถรับไฟฟ้าหรือไอน้ำจากโรงไฟฟ้าได้เพียง 1 โรงไฟฟ้าเท่านั้น นอกจากนี้ในช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำนั้น โรงไฟฟ้าทั้ง 2 โรงไฟฟ้าต้องจำหน่ายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต 59 เมกะวัตต์ เพื่อให้ทราบถึงลักษณะเฉพาะของกังหันก๊าซแต่ละเครื่อง ผู้ศึกษาจึงทำการทดสอบสมรรถนะกังหันก๊าซ (Performance Test) โดยใช้สมการประสิทธิภาพของกังหันก๊าซ (Brayton Cycle; $\eta_{Brayton}$) [4] ดังสมการที่ (1) เมื่อทำการทดสอบสมรรถนะกังหันก๊าซจะทำให้ทราบต้นทุนการผลิตของก๊าซกังหันก๊าซแต่ละเครื่อง

$$\eta_{Brayton} = 1 - \left( \frac{T_1}{T_2} \times \frac{\left( \frac{T_4}{T_1} - 1 \right)}{\left( \frac{T_3}{T_2} - 1 \right)} \right) \quad (1)$$




เส้นประ หมายถึงทางเลือกต้องเลือกได้อย่างใดอย่างหนึ่ง
เส้นทึบ หมายถึงรูปแบบที่ต้องดำเนินการปฏิบัติ

**รูปที่ 1** รูปแบบการเดินเครื่องของบริษัท AAA จำกัด

นอกจากนี้การเดินเครื่องและหยุดเครื่องจักรยังก่อให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ของโรงไฟฟ้า ทำให้มีค่าใช้จ่ายจากการซ่อมอุปกรณ์นั้นๆ จากการศึกษาพบว่า เมื่อการหยุดเดินเครื่อง 1 ชั่วโมง จะก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการซ่อมเครื่องจักรที่เสียหายจากการหยุดเดินเครื่องจักรหลักทั้งกังหันก๊าซและเครื่องกำเนิดไอน้ำจากความร้อนทิ้ง จากข้อมูลการเดินเครื่องข้างต้นจะสามารถนำไปสร้างแบบจำลองได้ในลำดับถัดไป

### 2.2 ดัชนี (Index)

$i$ คือ ชื่อโรงไฟฟ้า โดยที่ $i$ = 1, 2

$j$ คือ หมายเลขของกังหันก๊าซ โดยที่ $i$ = 1, 2

### 2.3 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

ตัวแปรตัดสินใจของแบบจำลองนี้ตัวแปร ได้แก่ $Y_{11}$, $Y_{12}$, $Y_{21}$, $Y_{22}$, $Y_3$, $Y_4$, $Y_5$, $Y_6$, $Y_7$, $Y_8$, $Y_9$ และ $Y_{10}$ ถูกกำหนดเป็นตัวแปรหุ่น (Dummy Variable) ที่มีค่าเป็น 1 และ 0 โดยมีรายละเอียดดังนี้

$Y_{11}$ คือ โรงไฟฟ้า A1 เดินเครื่องกังหันก๊าซ GT11

= 1 กรณีเครื่องกังหันก๊าซ GT11 ทำการเดินเครื่อง

= 0 กรณีเครื่องกังหันก๊าซ GT11 ไม่ได้ทำการเดินเครื่อง

$Y_{12}$ คือ โรงไฟฟ้า A1 เดินเครื่องกังหันก๊าซ GT12

= 1 กรณีเครื่องกังหันก๊าซ GT12 ทำการเดินเครื่อง

= 0 กรณีเครื่องกังหันก๊าซ GT12 ไม่ได้ทำการเดินเครื่อง

$Y_{21}$ คือ โรงไฟฟ้า A2 เดินเครื่องกังหันก๊าซ GT21

= 1 กรณีเครื่องกังหันก๊าซ GT21 ทำการเดินเครื่อง

= 0 กรณีเครื่องกังหันก๊าซ GT21 ไม่ได้ทำการเดินเครื่อง

$Y_{22}$ คือ โรงไฟฟ้า A1 เดินเครื่องกังหันก๊าซ GT22

= 1 กรณีเครื่องกังหันก๊าซ GT22 ทำการเดินเครื่อง

= 0 กรณีเครื่องกังหันก๊าซ GT22 ไม่ได้ทำการเดินเครื่อง

$Y_3$ คือ การจำหน่ายไฟฟ้าให้กับลูกค้าอุตสาหกรรม B ของโรงไฟฟ้า A1

= 1 กรณีโรงไฟฟ้า A1 จำหน่ายไฟฟ้าให้กับลูกค้าอุตสาหกรรม B

= 0 กรณีโรงไฟฟ้า A1 ไม่ได้จำหน่ายไฟฟ้าให้กับลูกค้าอุตสาหกรรม B

$Y_4$ คือ การจำหน่ายไฟฟ้าให้กับลูกค้าอุตสาหกรรม C ของโรงไฟฟ้า A1

= 1 กรณีโรงไฟฟ้า A1 จำหน่ายไฟฟ้าให้กับลูกค้าอุตสาหกรรม C

= 0 กรณีโรงไฟฟ้า A1 ไม่ได้จำหน่ายไฟฟ้าให้กับลูกค้าอุตสาหกรรม C

$Y_5$ คือ การจำหน่ายไอน้ำให้กับลูกค้าอุตสาหกรรมของโรงไฟฟ้า A1

= 1 กรณีโรงไฟฟ้า A1 จำหน่ายไอน้ำให้กับลูกค้าอุตสาหกรรม

= 0 กรณีโรงไฟฟ้า A1 จำหน่ายไอน้ำให้กับลูกค้าอุตสาหกรรม

$Y_6$ คือ การจำหน่ายไฟฟ้าให้กับลูกค้าอุตสาหกรรม B ของโรงไฟฟ้า A2

= 1 กรณีโรงไฟฟ้า A2 จำหน่ายไฟฟ้าให้กับลูกค้าอุตสาหกรรม B

= 0 กรณีโรงไฟฟ้า A2 ไม่ได้จำหน่ายไฟฟ้าให้กับลูกค้าอุตสาหกรรม B

$Y_7$ คือ การจำหน่ายไฟฟ้าให้กับลูกค้าอุตสาหกรรม C ของโรงไฟฟ้า A1

= 1 กรณีโรงไฟฟ้า A2 จำหน่ายไฟฟ้าให้กับลูกค้าอุตสาหกรรม C

= 0 กรณีโรงไฟฟ้า A2 ไม่ได้จำหน่ายไฟฟ้าให้กับลูกค้าอุตสาหกรรม C

$Y_8$ คือ การจำหน่ายไอน้ำให้กับลูกค้าอุตสาหกรรมของโรงไฟฟ้า A1

= 1 กรณีโรงไฟฟ้า A2 จำหน่ายไอน้ำให้กับลูกค้าอุตสาหกรรม

= 0 กรณีโรงไฟฟ้า A2 ไม่ได้จำหน่ายไอน้ำให้กับลูกค้าอุตสาหกรรม

$Y_9$ คือ โรงไฟฟ้า A1 จำหน่ายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต

= 1 กรณีโรงไฟฟ้า A1 จำหน่ายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต

= 0 กรณีโรงไฟฟ้า A1 ไม่ได้จำหน่ายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต

$Y_{10}$ คือ โรงไฟฟ้า A2 จำหน่ายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต

= 1 กรณีโรงไฟฟ้า A2 จำหน่ายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต

= 0 กรณีโรงไฟฟ้า A2 ไม่ได้จำหน่ายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต

**2.4 ข้อจำกัด (Constraints)**

แบบจำลองมีข้อจำกัด หรือเงื่อนไขในการเดินเครื่องของโรงไฟฟ้า A1 และ A2 โดยสัมประสิทธิ์ที่ระบุในแบบจำลองแสดงถึงปริมาณพลังไฟฟ้า หน่วยเป็นเมกะวัตต์ ดังนี้

$$Y_3 + Y_6 = 1 \quad (2)$$

ข้อจำกัดที่ 1 การจำหน่ายไฟฟ้าให้กับลูกค้าอุตสาหกรรม B นั้น ต้องถูกผลิตโดยโรงไฟฟ้าเพียง 1 โรงไฟฟ้าเท่านั้น

$$Y_4 + Y_7 = 1 \quad (3)$$

ข้อจำกัดที่ 2 การจำหน่ายไฟฟ้าให้กับลูกค้าอุตสาหกรรม C นั้น ต้องถูกผลิตโดยโรงไฟฟ้าเพียง 1 โรงไฟฟ้าเท่านั้น

$$Y_5 + Y_8 = 1 \quad (4)$$

ข้อจำกัดที่ 3 การจำหน่ายไอน้ำให้กับลูกค้าอุตสาหกรรม นั้น ต้องถูกผลิตโดยโรงไฟฟ้าเพียง 1 โรงไฟฟ้าเท่านั้น

$$25Y_3 + 15Y_4 + 5Y_5 + 59Y_9 \leq 135 \quad (5)$$

ข้อจำกัดที่ 4 กำลังการผลิตรวมของโรงไฟฟ้า A1 ต้องไม่เกิน 135 เมกะวัตต์

$$25Y_6 + 15Y_7 + 5Y_8 + 59Y_{10} \leq 135 \quad (6)$$

ข้อจำกัดที่ 5 กำลังการผลิตรวมของโรงไฟฟ้า A2 ต้องไม่เกิน 135 เมกะวัตต์

$$25Y_3 + 15Y_4 + 5Y_5 + 59Y_9 \geq 59 \quad (7)$$

ข้อจำกัดที่ 6 โรงไฟฟ้า A1 ต้องจำหน่ายไฟฟ้าให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิต 59 เมกะวัตต์

$$25Y_6 + 15Y_7 + 5Y_8 + 59Y_9 \geq 59 \quad (8)$$

ข้อจำกัดที่ 7 โรงไฟฟ้า A1 ต้องจำหน่ายไฟฟ้าให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิต 59 เมกะวัตต์

$$25Y_3 + 15Y_4 + 5Y_5 + 25Y_6 + 15Y_7 + 5Y_8 = 45 \quad (9)$$

ข้อจำกัดที่ 8 โรงไฟฟ้า A1 และ A2 จำหน่ายไฟฟ้า และไอน้ำให้ลูกค้าอุตสาหกรรม รวมปริมาณ 45 เมกะวัตต์

$$Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_5 + Y_7 + Y_8 = 3 \quad (10)$$

ข้อจำกัดที่ 9 โรงไฟฟ้า A1 และ A2 จำหน่ายไฟฟ้า และไอน้ำให้ลูกค้าอุตสาหกรรม รวม 3 ราย

$$25(Y_{11} + Y_{12}) = 25Y_3 \quad (11)$$

ข้อจำกัดที่ 10 ถ้าโรงไฟฟ้า A1 มีกำลังการผลิตมากกว่า 65 เมกะวัตต์ กรณีจำหน่ายไฟฟ้าให้กับลูกค้าอุตสาหกรรม B ต้องเดินเครื่องกังหันก๊าซ 2 เครื่อง เครื่องผลิตไอน้ำแบบนำความร้อนกลับมาใช้ 2 เครื่อง และกังหันไอน้ำ 1 เครื่อง

$$15(Y_{11} + Y_{12}) = 15Y_4 \quad (12)$$

ข้อจำกัดที่ 11 ถ้าโรงไฟฟ้า A1 มีกำลังการผลิตมากกว่า 65 เมกะวัตต์ กรณีจำหน่ายไฟฟ้าให้กับลูกค้าอุตสาหกรรม C ต้องเดินเครื่องกังหันก๊าซ 2 เครื่อง เครื่องผลิตไอน้ำแบบนำความร้อนกลับมาใช้ 2 เครื่อง และกังหันไอน้ำ 1 เครื่อง

$$25(Y_{21} + Y_{22}) = 25Y_6 \quad (13)$$

ข้อจำกัดที่ 12 ถ้าโรงไฟฟ้า A2 มีกำลังการผลิตมากกว่า 65 เมกะวัตต์ กรณีจำหน่ายไฟฟ้าให้กับลูกค้าอุตสาหกรรม B ต้องเดินเครื่องกังหันก๊าซ 2 เครื่อง เครื่องผลิตไอน้ำแบบนำความร้อนกลับมาใช้ 2 เครื่อง และกังหันไอน้ำ 1 เครื่อง

$$15(Y_{21} + Y_{22}) = 15Y_7 \quad (14)$$

ข้อจำกัดที่ 13 ถ้าโรงไฟฟ้า A2 มีกำลังการผลิตมากกว่า 65 เมกะวัตต์ กรณีจำหน่ายไฟฟ้าให้กับลูกค้าอุตสาหกรรม C ต้องเดินเครื่องกังหันก๊าซ 2 เครื่อง เครื่องผลิตไอน้ำแบบนำความร้อนกลับมาใช้ 2 เครื่อง และกังหันไอน้ำ 1 เครื่อง

$$Y_{11} + Y_{12} \geq 1 \quad (15)$$

ข้อจำกัดที่ 14 โรงไฟฟ้า A1 ต้องเดินเครื่องกังหันก๊าซอย่างน้อย 1 เครื่อง

$$Y_{21} + Y_{22} \geq 1 \quad (16)$$

ข้อจำกัดที่ 15 โรงไฟฟ้า A2 ต้องเดินเครื่องกังหันก๊าซอย่างน้อย 1 เครื่อง

**2.5 สมการเป้าหมาย (Objective Function)**

สมการเป้าหมายในการศึกษาแนวทางการเดินเครื่องที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าแฝด คือเพื่อให้ต้นทุนรวมของบริษัทต่ำที่สุด (Minimum Cost) โดยพิจารณาทั้งการจัดสรรลูกค้าอุตสาหกรรมให้เหมาะสมกับต้นทุนการผลิตของแต่ละโรงไฟฟ้า ไปจนถึงการเลือกรูปแบบการเดินเครื่องจักรหลักให้เหมาะสม ซึ่งจะถูกสะท้อนมาอยู่ในรูปต้นทุนการผลิตและต้นทุนการซ่อมบำรุงของโรงไฟฟ้า ต้นทุนรวมของบริษัท (Total Cost; $TC$) หน่วยเป็นบาทต่อชั่วโมง สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$TC = PC_{Ai} + MC_{ij}$$

- ต้นทุนการผลิต (Production Cost; $PC_i$) เป็นต้นทุนการใช้ก๊าซธรรมชาติในการผลิตไฟฟ้าของแต่ละโรงไฟฟ้า เนื่องจากเครื่องกังหันก๊าซของโรงไฟฟ้าทั้ง 2 โรงไฟฟ้า มีประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน โรงไฟฟ้าทั้ง 2 โรงไฟฟ้า จึงมีการใช้เชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน รวมไปถึงการเลือกรูปแบบการผลิตก็ส่งผลต่อการใช้เชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน และกำลังการผลิตยังส่งผลต่อการใช้เชื้อเพลิงอีกด้วย ต้นทุนการผลิตมีหน่วยเป็นบาทต่อชั่วโมง

$$Production\ Cost = Fuel\ Consumption \times Fuel\ Price$$

โดยที่

$$Fuel\ Consumption = Heat\ Rate \times Power\ output$$

โรงไฟฟ้า A1

$$PC_{A1} = FC_{A1} \times FP$$

เมื่อ

$$FC_{A1} = \frac{((1-(Y_{12}))\times Y_{11}\times HR_{11})+((1-(Y_{11}))\times Y_{12}\times HR_{12}))+(Y_{11}\times Y_{12}\times HR_{10})}{1000}\times MW_{A1}$$

โดยที่

$PC_{A1}$ คือ ต้นทุนการผลิตของโรงไฟฟ้า A1 (บาทต่อชั่วโมง)

$HR_{11}$ คือ อัตราส่วนการใช้เชื้อเพลิงต่อการผลิตไฟฟ้า 1 หน่วยของกังหันก๊าซ GT11 (บีทียูต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง)

$HR_{12}$ คือ อัตราส่วนการใช้เชื้อเพลิงต่อการผลิตไฟฟ้า 1 หน่วยของกังหันก๊าซ GT12 (บีทียูต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง)

$HR_{10}$ คือ อัตราส่วนการใช้เชื้อเพลิงต่อการผลิตไฟฟ้า 1 หน่วย กรณีเดินเครื่องกังหันก๊าซ GT11 และ GT12 (บีทียูต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง)

$MW_{A1}$ คือ กำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า A1 (เมกะวัตต์)

$FC_{A1}$ คือ ปริมาณการใช้ก๊าซของโรงไฟฟ้า A1 (ล้านบีทียู)

$FP$ คือ ราคาก๊าซธรรมชาติ (บาทต่อล้านบีทียู)

โรงไฟฟ้า A2

$$PC_{A2} = FC_{A2} \times FP$$

เมื่อ

$$FC_{A2} = \frac{((1-(Y_{22}))\times Y_{21}\times HR_{11})+((1-(Y_{21}))\times Y_{22}\times HR_{22}))+(Y_{21}\times Y_{22}\times HR_{20})}{1000}\times MW_{A2}$$

โดยที่

$PC_{A2}$ คือ ต้นทุนการผลิตของโรงไฟฟ้า A2 (บาทต่อชั่วโมง)

$HR_{21}$ คือ อัตราส่วนการใช้เชื้อเพลิงต่อการผลิตไฟฟ้า 1 หน่วยของกังหันก๊าซ GT21 (บีทียูต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง)

$HR_{22}$ คือ อัตราส่วนการใช้เชื้อเพลิงต่อการผลิตไฟฟ้า 1 หน่วยของกังหันก๊าซ GT22 (บีทียูต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง)

$HR_{20}$ คือ อัตราส่วนการใช้เชื้อเพลิงต่อการผลิตไฟฟ้า 1 หน่วย กรณีเดินเครื่องกังหันก๊าซ GT21 และ GT22 (บีทียูต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง)

$MW_{A2}$ คือ กำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า A2 (เมกะวัตต์)

$FC_{A2}$ คือ ปริมาณการใช้ก๊าซของโรงไฟฟ้า A2 (ล้านบีทียู)

FP คือ ราคาก๊าซธรรมชาติ (บาทต่อล้านบีทียู)

- ต้นทุนการซ่อมบำรุง (Maintenance Cost; $MC_{ij}$)

กรณีมีการหยุดเดินเครื่องกังหันแก๊สก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงนอกเหนือจากการวางแผนบำรุงรักษา โดยเทียบเป็นต้นทุนการซ่อมบำรุง ต้นทุนการซ่อมบำรุงมีหน่วยเป็นบาทต่อชั่วโมง

$$MC_{ij} = \sum_i \sum_j ((1 - Y_{ij}) \times SP)$$

โดยที่

SP คือ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเมื่อมีการหยุดเดินเครื่อง (บาท)

สมการเป้าหมายของงานวิจัยนี้ เพื่อให้มีต้นทุนรวมต่ำสุด

แสดงในสมการที่ (17)

$$Min\ TC = PCA_i + MC_{ij} \quad (17)$$

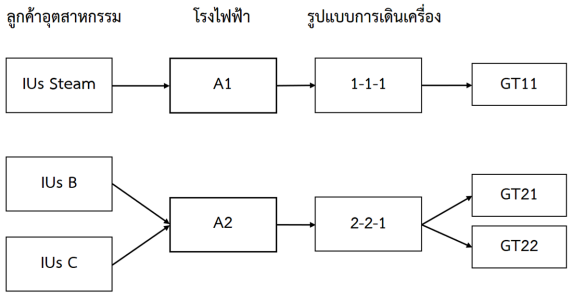
**3. ผลการทดลอง**

ผู้วิจัยทำการทดสอบสมรรถนะกังหันก๊าซได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 1 ทำให้ทราบลักษณะเฉพาะของเครื่องกังหันก๊าซ โดยพบว่า กังหันก๊าซของบริษัท AAA จำกัด มีประสิทธิภาพดังนี้ GT11 เท่ากับ 38.93% ในส่วนของ GT12 เท่ากับ 37.13% สำหรับ GT21 เท่ากับ 37.87% และ GT22 เท่ากับ 37.50%

**ตารางที่ 1** ผลการทดสอบสมรรถนะกังหันก๊าซ

| เครื่องจักร | กำลังการผลิตสูงสุด (เมกะวัตต์) | ประสิทธิภาพกังหันก๊าซ (%) |
|---|---|---|
| GT11 | 47.50 | 38.93 |
| GT12 | 46.50 | 37.13 |
| GT21 | 48.00 | 37.80 |
| GT22 | 47.00 | 37.50 |

จากผลการทดสอบสมรรถนะกังหันก๊าซนั้น พบว่า กังหันก๊าซของบริษัทแต่ละเครื่องของโรงไฟฟ้านั้น มีประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเดินเครื่องกังหันก๊าซแต่ละเครื่องจึงทำให้ต้นทุนการผลิตมีความแตกต่างกัน และทำให้ทราบถึงอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อการผลิตไฟฟ้า 1 หน่วยของกังหันก๊าซ หรือที่นิยมเรียกกัน Heat Rate เนื่องจากกังหันก๊าซเป็นเครื่องจักรต้นกำลังของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ดังนั้น Heat Rate ของโรงไฟฟ้าแต่ละโรงไฟฟ้าในขณะที่เลือกเดินกังหันก๊าซที่แตกต่างกันส่งผลให้ Heat Rate ของโรงไฟฟ้าแต่ละโรงไฟฟ้าแตกต่างกันอีกด้วย นอกจากนี้ยังพบว่ากำลังไฟฟ้าที่กังหันก๊าซที่ผลิตที่กำลังไฟฟ้าแตกต่างกันส่งผลต่อ Heat Rate โดยกรณีที่กังหันก๊าซเดินเครื่องเพื่อผลิตกำลังไฟฟ้าสูงนั้น จะทำให้ Heat Rate ของกังหันก๊าซต่ำกว่าการเดินเครื่องกังหันก๊าซที่กำลังไฟฟ้าต่ำ ซึ่งส่งผลให้การเดินเครื่องกังหันก๊าซที่กำลังไฟฟ้าสูงส่งผลต่อ Heat Rate ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมจะมีค่าต่ำลงด้วยเช่นกัน




**รูปที่ 2** รูปแบบการเดินเครื่องจากผลลัพธ์ของแบบจำลอง

จากนั้นผู้วิจัยใช้เครื่องมือ Non-linear Programing โดยใช้ Excel Solver ในโปรแกรม Microsoft Excel พบว่าตัวแปรตัดสินใจ ซึ่งผลลัพธ์จากแบบจำลองอยู่ในรูปของตัวแปรหุ่น แสดงดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจจากแบบจำลอง

| ตัวแปรตัดสินใจ | ผลลัพธ์จากแบบจำลอง |
|---|---|
| $Y_{11}$ | 1 |
| $Y_{12}$ | 0 |
| $Y_{21}$ | 1 |
| $Y_{22}$ | 1 |
| $Y_3$ | 0 |
| $Y_4$ | 0 |
| $Y_5$ | 1 |
| $Y_6$ | 1 |
| $Y_7$ | 1 |
| $Y_8$ | 0 |
| $Y_9$ | 1 |
| $Y_{10}$ | 1 |

จากผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจนั้น สามารถเขียนแบบจำลองการศึกษาแนวทางการเดินเครื่องที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าแฝดของบริษัท AAA จำกัด เพื่อให้บริษัทมีต้นทุนรวมต่ำที่สุดได้นั้น แสดงดังรูปที่ 2

จากผลลัพท์ของแบบจำลองทำให้ทราบรูปแบบการเดินเครื่องที่ทำให้ได้ต้นทุนต่ำสุด ภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัดนั้น คือในช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำโรงไฟฟ้า A1 ต้องทำการเดินเครื่องกังหันก๊าซ GT11 1 เครื่อง เครื่องผลิตไอน้ำแบบ

นำความร้อนกลับมาใช้ HRSG11 1 เครื่อง และกังหันไอน้ำ 1 เครื่อง โรงไฟฟ้า A2 เดินเครื่องกังหันก๊าซ GT21 และ GT22 ทั้ง 2 เครื่อง เครื่องผลิตไอน้ำแบบนำความร้อนกลับมาใช้ HRSG21 และ HRSG22 ทั้ง 2 เครื่อง และกังหันไอน้ำ 1 เครื่อง โดยโรงไฟฟ้า A1 ผลิตไฟฟ้าเพื่อจำหน่ายให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต และจำหน่ายไอน้ำให้กับลูกค้าไอน้ำจำนวน 20 ตันต่อชั่วโมง และสำหรับโรงไฟฟ้า A2 ทำการผลิตไฟฟ้าจำหน่ายให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ลูกค้าไฟฟ้า B และลูกค้าไฟฟ้า C รายละเอียดดังตารางที่ 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าโรงไฟฟ้า A1 นั้น มี Heat Rate เท่ากับ 7484.74 บีทียูต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง โดยมีกำลังการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 59 เมกะวัตต์ และผลิตไอน้ำ 20 ตันต่อชั่วโมง และโรงไฟฟ้า A2 มี Heat Rate เท่ากับ 7775.29 บีทียูต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง โดยมีกำลังการผลิตเท่ากับ 99 เมกะวัตต์

**ตารางที่ 3** Heat Rate และกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำ

| โรงไฟฟ้า | Heat Rate (บีทียูต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง) | กำลังการผลิตไฟฟ้า (เมกะวัตต์) | การผลิตไอน้ำ (ตันต่อชั่วโมง) |
|---|---|---|---|
| A1 | 7,484.41 | 59 | 20 |
| A2 | 7,775.29 | 99 | - |

จากแบบจำลองทำให้ทราบถึงต้นทุนรวมซึ่งประกอบด้วยต้นทุนการผลิตของโรงไฟฟ้าทั้ง 2 โรงไฟฟ้า และต้นทุนการซ่อมบำรุง แสดงดังตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** ผลลัพธ์ของแบบจำลองจากสมการวัตถุประสงค์

| ผลลัพธ์จากแบบจำลอง | | |
|---|---|---|
| ต้นทุนการผลิต (บาท) | โรงไฟฟ้า A1 | 114,960.48 |
| | โรงไฟฟ้า A2 | 184,740.98 |
| ต้นทุนการซ่อมบำรุง (บาท) | | 135.00 |
| **ต้นทุนรวม (บาท)** | | **299,836.46** |

จากตารางที่ 4 ต้นทุนการผลิตของโรงไฟฟ้า A1 เท่ากับ 114,960.48 บาทต่อชั่วโมง และโรงไฟฟ้า A2 เท่ากับ 184,740.98 บาทต่อชั่วโมง ทำให้บริษัทมีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 299,701.46 บาทต่อชั่วโมง นอกจากนี้จากการเดินเครื่องแบบ 1-1-1 ของโรงไฟฟ้า A1 ทำให้เกิดต้นทุนการซ่อมบำรุง ซึ่งมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 135 บาทต่อการหยุดเดินกังหันก๊าซ 1 ชั่วโมง ดังนั้นต้นทุนรวมต่ำที่สุดของบริษัท AAA จำกัด เท่ากับ 299,836.46 บาทต่อชั่วโมง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนรวมของบริษัท จากรูปแบบการเดินเครื่องปัจจุบัน ซึ่งมีต้นทุนรวมเท่ากับ 319,456.80 บาทต่อชั่วโมง พบว่าบริษัท จะสามารถประหยัดต้นทุนไปได้ คิดเป็นร้อยละ 6.14 ของต้นทุนที่เกิดจากการเดินเครื่องในรูปแบบปัจจุบันหรือเท่ากับ 7,276,183.53 บาทต่อปี

## 4. อภิปรายและสรุป

จากการศึกษาปัญหาของบริษัท AAA จำกัด จากการไม่ทราบถึงแนวทางการเดินเครื่องที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าแฝดนั้น จากเครื่องจักรหลักที่มีจำนวนหลายเครื่อง ทำให้บริษัทมีทางเลือกในการเลือกรูปแบบการเดินเครื่องได้มากกว่า 1 รูปแบบ โดยเฉพาะในช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำ ซึ่งการเลือกรูปแบบการเดินเครื่อง และการจัดสรรลูกค้าให้กับโรงไฟฟ้าต่างๆ กรณีที่มีลูกค้ามากกว่า 1 รายนั้น ย่อมส่งผลกระทบ Heat Rate ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม เนื่องจากลักษณะเฉพาะของกังหันก๊าซนั้น การเดินเครื่องกังหันก๊าซที่กำลังไฟฟ้าสูงจะยิ่งทำให้ Heat Rate ของกังหันก๊าซต่ำกว่าการเดินเครื่องกังหันก๊าซที่กำลังไฟฟ้าต่ำ และแน่นอนว่าการเดินเครื่องกังหันก๊าซที่กำลังไฟฟ้าสูงส่งผลต่อ Heat Rate ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมจะมีค่าต่ำลงเช่นกัน ซึ่ง Heat Rate สามารถสะท้อนต้นทุนการผลิตของบริษัทนั่นเอง ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้นอกจากต้นทุนการผลิตแล้ว ยังนำต้นทุนการซ่อมบำรุงมารวมในการคำนวณหาต้นทุนรวมของบริษัท เพื่อให้ครอบคลุมต้นทุนในทุกส่วนที่เกี่ยวเนื่องกัน เพื่อมาใช้เป็นวัตถุประสงค์ของการศึกษา โดยคำนึงถึงต้นทุนรวมต่ำสุดของบริษัท ภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ทั้งข้อจำกัดของเครื่องจักร ปริมาณความต้องการไฟฟ้าของลูกค้าไฟฟ้า ปริมาณความต้องการไอน้ำของลูกค้า โดยการสร้างแบบจำลองโปรแกรมไม่ใช้เชิงเส้น

โดยการแก้ปัญหาแบบจำลองในครั้งนี้ ใช้โปรแกรม Microsoft Excel โดยเครื่องมือ Excel Solver ซึ่งผลลัพธ์ของสมการเป้าหมายมีต้นทุนรวมต่ำที่สุดเท่ากับ 299,836.46 บาท จะทำให้ต้นทุนต่ำกว่ารูปแบบเดิมก่อนการพัฒนาแบบจำลองอยู่ร้อยละ 6.14

โดยแบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นสามารถใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการตัดสินใจเลือกรูปแบบการเดินเครื่องในโรงไฟฟ้าแฝดของบริษัท AAA จำกัด ได้ และยังสามารถนำไปพัฒนาเพื่อใช้กับโรงไฟฟ้าอื่นๆ และอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้อีกด้วย

**เอกสารอ้างอิง**

[1] P. K. Nag, *Power Plant Engineering*, 3rd ed. New Delhi: McGraw Hill, pp. 103–110.

[2] N. Chutiwongse, *Managerial Economics*, Bangkok: Chulalongkorn University Printing, 2013, pp. 240–249 (in Thai).

[3] C. Limpianchob, W. Wongrat, S. Chirnaksorn, and P. Pattanawasanporn, "Aromatic coconuts supply chain management using mixed-integer linear programming," *The Journal of KMUTNB*, vol. 22, no. 3, pp. 601–609, 2012 (in Thai).

[4] J. H. Yoo, "Maximization of hydropower generation through the application of a linear programming model," *Journal of Hydrology*, vol. 376, no. 1–2, pp. 182–187, 2009.

[5] T. Pimsin, "A study on operation methods of twin power plants for efficiency improvement," M.S.thesis, Department of Chemical engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University, 2017 (in Thai).

[6] T. Buranathiti and N. J. VanWey "Design of fire evacuation plan using an optimization model: A case study of perry high school," *HCU Journal of Health Science*," vol. 11, no. 21, pp. 53–63, 2007 (in Thai).