

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลาง กรณีศึกษาพื้นที่จังหวัดลำปาง

ปิ่นจิตตา นรเศรษฐ์ปัญญา¹, กศิตา จิตตสำเร็จ² และวุฒิพล ลินธนาวัฒน์^{3*}

สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

99 หมู่ 18 ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

Received: 31 January 2022; Revised: 21 March 2022; Accepted: 6 May 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะพื้นที่และความเหมาะสมในการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลางในจังหวัดลำปาง และคิดค้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการผลิตและกระจายกระแสไฟฟ้าสู่ชุมชน ผลการศึกษาสรุปได้ว่า การคัดเลือกอ่างเก็บน้ำสำหรับการวิเคราะห์ความเหมาะสมการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำโดยนำวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ (Exponential smoothing Holt-Winter method) มาทำการพยากรณ์ปริมาณน้ำล้นหน้า 3 ปี ของอ่างเก็บน้ำขนาดกลาง 29 แห่ง พบว่ามีอ่างเก็บน้ำจำนวน 17 แห่งที่สามารถจัดตั้งโรงไฟฟ้าขนาดกลางและสามารถนำไปวิเคราะห์ต่อไปได้ คิดเป็นร้อยละ 58.62 ของจำนวนอ่างเก็บน้ำทั้งหมด จากนั้นเมื่อนำอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมมาคัดเลือกประเภทกังหัน พบว่าสามารถเลือกใช้กังหันได้ 2 ประเภท ได้แก่ กังหันน้ำแรงสuction Kaplan จำนวน 13 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 76.47 ของอ่างเก็บน้ำทั้งหมดที่สามารถจัดตั้งโรงไฟฟ้าขนาดกลาง และกังหันน้ำแรงกระแทก Crossflow จำนวน 4 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 23.53 ของอ่างเก็บน้ำทั้งหมดที่สามารถจัดตั้งโรงไฟฟ้าขนาดกลาง เมื่อนำข้อมูลข้างต้นมาใช้ในการวางแผนการผลิตและการกระจายกระแสไฟฟ้าสู่ชุมชนโดยอาศัยแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed-integer linear programming) พบว่ามีพื้นที่ที่เหมาะสมในการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำจำนวน 3 แห่ง ได้แก่ อ่างเก็บน้ำแม่ทก อ่างเก็บน้ำแม่ตำ และอ่างเก็บน้ำแม่วะ โดยจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ชุมชนบ้านหลาย 21.21 กิโลวัตต์, ชุมชนสบแม่ท่า 301.04 กิโลวัตต์ และชุมชนหัวทุ่ง 297.15 กิโลวัตต์ ตามลำดับ จากผลการศึกษาดังกล่าวเป็นเพียงการนำเสนอวิธีการเชิงปริมาณเพื่อประเมินการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ อย่างไรก็ตามในการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำยังต้องมีการศึกษาปัจจัยด้านอื่น ๆ ในเชิงคุณภาพควบคู่กันเพื่อเป็นองค์ประกอบในการตัดสินใจขั้นสุดท้าย

คำสำคัญ: อ่างเก็บน้ำขนาดกลาง, เครื่องกังหันน้ำ, วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์, ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นแบบผสม

* Corresponding author. E-mail: wutiphol@mathstat.sci.tu.ac.th

^{1,2,3} สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต)

Efficiency Analysis of Hydroelectric Power Plant Establishment for Medium Reservoirs: A Case Study of Lampang Province

Pandhita Norasretpanya¹, Kasita Jittasamroeng² and Wutiphol Sintunavarat^{3*}

Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology,
Thammasat University Rangsit Campus,
99 Moo 18, Klong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120, Thailand

Received: 31 January 2022; Revised: 21 March 2022; Accepted: 6 May 2022

Abstract

The purpose of this research is to study the characteristics and suitability for the establishment of medium-sized hydroelectric power plants in Lampang province and invent a mathematical model for planning the production and distribution of electricity to the community. The obtained results of this research conclude that the selection of reservoirs for the feasibility analysis of hydropower plant establishments by using the Exponential smoothing Holt-Winter method to forecast water volumes three years in advance of 29 medium-sized reservoirs found that 17 reservoirs were able to establish medium-sized power plants and could be analyzed further, which is 58.62% of the total number of reservoirs. Afterward, a suitable turbine type was chosen based on the appropriate reservoirs. It was found that two types of turbines could be used: 13 Kaplan reflex hydro turbines, representing 76.47 percent of all reservoirs capable of establishing medium-sized power plants, and 4 Crossflow impact hydro turbines, representing 23.53 percent of all reservoirs capable of establishing medium-sized power plants. The above information was applied in planning the production and distribution of electricity to communities through a mixed-integer linear programming model. The presented model found that there are three suitable areas for the establishment of hydroelectric power plants, including Mae Tok reservoir, Mae Tam reservoir, and Mae Wa reservoir. In addition, each reservoir distributes electric power to Ban Lai community of 21.21 KW, to Sop Mae Tam community of 301.04 KW, and Hua Thung community of 297.15 KW, respectively. According to the results of this research It is merely a quantitative approach to assess the establishment of hydroelectric power plants. However, in establishing a hydroelectric power plant, other qualitative factors need to be studied in parallel as a final decision component.

Keywords: medium sized reservoir, hydro turbine, exponential smoothing Holt-Winter method, mixed-integer linear programming model

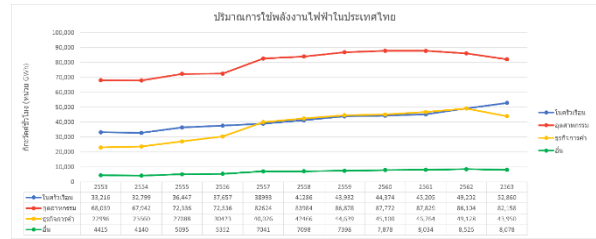
* Corresponding author. E-mail: wutiphol@mathstat.sci.tu.ac.th

^{1,2,3} Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University Rangsit Campus 12120, Thailand

1. บทนำ

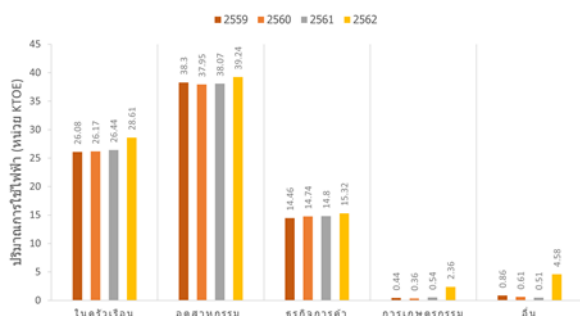
ในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าถือเป็นพลังงานที่เป็นปัจจัยที่สำคัญในการขับเคลื่อน เศรษฐกิจ การใช้ชีวิตของประชาชน ในภาคครัวเรือน การบริโภคในภาคธุรกิจ การท่องเที่ยว และกิจกรรมอื่น ๆ อีกมากมายที่ต้องพึ่งพาพลังงานไฟฟ้า นอกจากนี้ยังมีการคาดการณ์ว่าในอนาคตข้างหน้าจะมีความต้องการในการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นอีกเรื่อย ๆ เพื่อรองรับการเติบโต การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร และสิ่งอื่น ๆ ที่มาจากการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว

การใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2563 มีปริมาณ 15,970 ktoe ซึ่งการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละภาคเศรษฐกิจในปี พ.ศ. 2563 พบว่า โดยรวมมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นประกอบด้วย การใช้พลังงานในภาคเกษตรกรรม มีปริมาณ 39.91 ktoe ภาคอุตสาหกรรม มีปริมาณ 9,054.80 ktoe ภาคครัวเรือน มีปริมาณ 4,197.32 ktoe ภาคธุรกิจการค้า มีปริมาณ 2,546.09 ktoe ภาคขนส่ง มีปริมาณ 11.63 ktoe และภาคอื่น ๆ มีปริมาณ 120.70 ktoe ทั้งนี้ภาคเศรษฐกิจที่เป็นการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายมากที่สุด คือ ภาคอุตสาหกรรม คิดเป็นร้อยละ 56.70 รองลงมาเป็นการใช้ในภาคครัวเรือน ภาคธุรกิจการค้า ภาคเกษตรกรรม ภาคอื่น ๆ และภาคการขนส่ง ร้อยละ 26.28, 15.94, 0.76, 0.25 และ 0.07 ตามลำดับ (ดูรูปที่ 1 ประกอบ) และจากข้อมูลกระทรวงพลังงานพบว่าในปี พ.ศ. 2561 ประเทศไทยมีการผลิตกระแสไฟฟ้าใช้เองภายในหน่วยงานรัฐบาล หรือ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) อยู่ที่ 35.13% โดยสัดส่วนที่เหลืออีก 64.87% รับมาจากหน่วยงานภาคเอกชน ซึ่งแบ่งเป็นซื้อจากประเทศลาว 12.55% เอกชนรายใหญ่ 32.78 % และเอกชนรายเล็ก 20.84% (อ้างอิงจาก [1])



รูปที่ 1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยแยกตามภาคเศรษฐกิจตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 – พ.ศ. 2563

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณที่สูงมาก โดยการผลิตไฟฟ้าส่วนใหญ่ภายในประเทศเป็นการผลิตไฟฟ้าจากทรัพยากรธรรมชาติ อาทิ น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นทรัพยากรใช้แล้วหมดไป และก่อปัญหาในเรื่องของการก่อมลพิษ ทางคณะผู้จัดทำจึงเล็งเห็นความสำคัญในการนำพลังงานทดแทน หรือไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานหมุนเวียนด้านพลังงานน้ำมาศึกษาในการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลาง เพื่อลดปัญหาการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไป และเป็นการพัฒนาอย่างยั่งยืน สามารถเข้าถึงแหล่งผู้ใช้ พื้นที่ชุมชนที่อยู่ห่างไกลเนื่องจากไฟฟ้าเข้าไม่ถึง ดังนั้น คณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะทำการศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาที่กล่าวข้างต้น โดยเลือกพื้นที่ในจังหวัดลำปาง เนื่องจากเป็นพื้นที่ทางภาคเหนือที่มีอ่างเก็บน้ำขนาดกลางจำนวนมากเหมาะสำหรับทำการศึกษาวิเคราะห์การจัดตั้งโรงงานไฟฟ้า พร้อมกันนี้ทางคณะผู้จัดทำจะคิดค้นแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed-integer linear programming) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และวางแผนการกระจายกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงงานไฟฟ้าพลังงานน้ำให้ทุกพื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดเพื่อรองรับต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าในจังหวัดลำปางที่เพิ่มมากขึ้น ดังข้อมูลในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายสาขาจังหวัดลำปาง ปี พ.ศ. 2559 - พ.ศ. 2562

2. การทบทวนวรรณกรรม

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลางในพื้นที่จังหวัดลำปาง ได้ทำการศึกษาข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

2.1. โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ

งานวิจัยเกี่ยวกับโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำมีจำนวนมาก แต่มีงานวิจัยส่วนน้อยที่มีการดำเนินการเกี่ยวกับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยหลัก 3 เรื่องที่มีความสอดคล้องกับแผนการดำเนินงานของบทความวิจัยฉบับนี้

ในปี พ.ศ. 2553 อีลิเย่ สนิโซ [2] ศึกษาการออกแบบติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำและทดสอบระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าที่สร้างขึ้น พร้อมทั้งเสนอแนวทางการเลือกใช้กังหันผลิตไฟฟ้าแบบคอปยาว (Kaplan hydro turbine) ที่สามารถใช้กับลำธารที่มีความสูงของหัวน้ำต่ำมาทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ และแบ่งการปล่อยน้ำออกเป็น 3 รูปแบบ คือ 1) ปล่อยน้ำในปริมาณ 30% (ปริมาณหนึ่งในสามของท่อ) 2) ปล่อยน้ำในปริมาณ 50% (ปริมาณหนึ่งในสองของท่อ) 3) ปล่อยน้ำในปริมาณ 100% (เต็มท่อ) เพื่อทำการวัดแรงเคลื่อนและความถี่ไฟฟ้าด้วยเครื่องมือวัดมัลติมิเตอร์ดิจิทัล (Digital multimeter) ต่อมาในปี พ.ศ. 2555 ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [3] ได้ศึกษาการประเมินศักยภาพพลังงานน้ำขนาดเล็กประกอบด้วย 2 ปัจจัยหลัก คือ 1) กำลังไฟฟ้าที่ได้จากน้ำตก (หน่วยเป็น

วัตต์) และ 2) พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตได้ (หน่วยเป็น กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง) สามารถคำนวณทางคณิตศาสตร์ได้จากข้อมูลด้านแหล่งน้ำประกอบด้วยอัตราการไหลของน้ำ (Flow rate) และความสูงของน้ำ (Head) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยด้านอื่น ๆ ที่มีความสำคัญและความจำเป็นที่นำมาพิจารณาในการประเมินศักยภาพของพลังงานน้ำเช่น ปริมาณความต้องการใช้ในปัจจุบันและในอนาคตของผู้ใช้น้ำบริเวณลุ่มน้ำและปริมาณน้ำไหลต่ำสุดที่ต้องคงไว้, ข้อมูลด้านอุทกธรณีวิทยาและลักษณะพื้นที่, การวิเคราะห์ผลกระทบของโครงการต่อสภาพแวดล้อม เป็นต้น และในปี พ.ศ. 2560 ศร วงศ์ชัย วันนะสดี และ เกียรติยุทธ กวีญาณ [4] ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กที่สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวจากสถานีวัดน้ำ 4 สถานี เพื่อหาพลังงานไฟฟ้าต่อปีและวิเคราะห์จุดคุ้มทุนในการสร้างโครงการ ซึ่งจะพิจารณากังหัน 3 แบบ ได้แก่ ฟรานซิส (Francis) เพนตัน (Pelton) และคาปาลาน (Kaplan) โดยใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณหาอัตราการไหลของลำน้ำ

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการศึกษาด้านการสร้างและพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำด้วยกังหันน้ำขนาดเล็ก คณะผู้จัดทำจึงนำเรื่องการคำนวณอัตราการไหลของน้ำ อัตราการไหลออกแบบ ประสิทธิภาพการทำงานของกังหันน้ำ และการหาลำกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานน้ำมาปรับใช้ในการคำนวณกำลังการผลิตและคัดเลือกประเภทของกังหันที่เหมาะสม

2.2. วิธีการพยากรณ์

การพยากรณ์เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการนำข้อมูลในอดีตมาทำนายการเกิดเหตุการณ์ในอนาคตได้อย่างแม่นยำ โดยวิธีการพยากรณ์มีหลากหลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละรูปแบบจะมีความเหมาะสมกับประเภทข้อมูลที่แตกต่างกัน คณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยยกตัวอย่างการศึกษาจำนวน 3 เรื่อง ดังนี้

ในปี พ.ศ. 2543 จักรกฤษ กิตตินากุล [5] ศึกษาเปรียบเทียบการวิเคราะห์ข้อมูลตามฤดูกาลโดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins technique) และวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเตอร์ (Exponential smoothing Holt-Winter method) ซึ่งใช้ข้อมูลอนุกรม

เวลาที่มีฤดูกาลในการวิเคราะห์ คือ ปริมาณน้ำฝนจังหวัดเชียงใหม่ และพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean square error : MSE) ผลการศึกษาพบว่าวิธีปรับให้เรียบของเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเตอร์มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีบอกซ์-เจนกินส์ ต่อมาในปี พ.ศ. 2558 วราจกนา กิรติวิบูลย์ [6] ศึกษาปริมาณน้ำฝนในอดีตของอำเภอเมือง จังหวัดน่าน โดยใช้วิธีการทางสถิติเพื่อพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนได้แก่ วิธีของบอกซ์-เจนกินส์ วิธีปรับให้เรียบของเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเตอร์ และวิธีพยากรณ์รวม ซึ่งผลการวิจัยพบว่าวิธีพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมกับข้อมูล คือ วิธีการพยากรณ์รวม และในปี พ.ศ. 2560 ชมปานตา และ ยุภาวดี สารัญญฤทธิ์ [7] ศึกษาปริมาณน้ำฝนรายเดือนในจังหวัดนครสวรรค์ โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์ทางสถิติ และเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของวิธีการพยากรณ์ต่าง ๆ 3 วิธี ได้แก่ วิธีแยกส่วนประกอบ วิธีทำให้เรียบของเอกซ์โพเนนเชียลแบบวินเตอร์แบบคูณและวิธีของบอกซ์-เจนกินส์ ซึ่งพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ผลการวิจัยสรุปผลได้ว่าวิธีปรับให้เรียบของเอกซ์โพเนนเชียลแบบวินเตอร์แบบคูณเป็นวิธีที่เหมาะสมกับข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนมากที่สุด รองลงมาคือวิธีบอกซ์-เจนกินส์

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมา เป็นการศึกษาการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนโดยเปรียบเทียบวิธีการทางพยากรณ์หลายตัวแบบเพื่อหาตัวแบบที่ให้ค่าพยากรณ์ที่ดีที่สุด ซึ่งจากการศึกษาค้นคว้าคณะผู้จัดทำไม่สามารถหาวิธีการพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำได้โดยตรง ดังนั้นจึงเลือกใช้วิธีปรับให้เรียบของเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเตอร์ เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้ค่าพยากรณ์ได้แม่นยำกับข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยจะใช้วิธีการดังกล่าวในการพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำขนาดกลางเพื่อใช้ในการตัดสินใจจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำในพื้นที่จังหวัดลำปางและนำปริมาณน้ำที่ได้จากการพยากรณ์ไปใช้ในการคำนวณกำลังการผลิตและประเภทของกังหันน้ำที่เหมาะสมต่อไป

2.3. การหาตำแหน่งที่ตั้งและการขนส่ง

เนื่องจากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวางแผนและกระจายกระแสไฟฟ้าสู่ชุมชน จึงมีการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ

การหาตำแหน่งที่ตั้งและการขนส่ง สำหรับนำมาปรับใช้ในการสร้างตัวแบบตามวัตถุประสงค์ โดยคณะผู้จัดทำได้ทำการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

ในปี พ.ศ. 2557 ปรุฬห์ มะยะเฉียว [8] ทำการสำรวจวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งโดยมุ่งเน้นอธิบายลักษณะของปัญหาต่าง ๆ ผลการศึกษาพบว่าการแก้ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบ่งเป็น 2 แนวทาง คือ การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ และการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ซึ่งต้องพิจารณาถึงปัจจัยและทรัพยากรการผลิต ในลำดับต่อมาจะเป็นงานวิจัยที่นำเสนอการประยุกต์ใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น (Linear programming model) ในการดำเนินธุรกิจและใช้ซอฟต์แวร์ในการหาผลเฉลย โดยในปี พ.ศ.2560 เพชรายุทธ แซ่หลี่ และ อภิชัย ฤทธิวิรุฬห์ [9] ศึกษาการสร้างแบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบ ในการวางแผนแรงงานสำหรับการผลิตชิงตง เพื่อให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำที่สุด โดยใช้ Open Solver ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ประเภท add-in ใน Microsoft Excel ในการหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด และต่อมาในปี พ.ศ.2563 วลัยลักษณ์ อัคริธรงค์ และ สิวินีย์ ปงลังกา [10] ศึกษาการใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการเลือกตำแหน่งที่ตั้งคลังสินค้าให้กับ บริษัทไพรสมิไทยดิสทริบิวชั่น จำกัด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่งสินค้าไปให้ลูกค้าได้สะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น โดยใช้โปรแกรม LINGO ในการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด

จากงานวิจัยสามเรื่องดังกล่าวในส่วนสุดท้ายนี้ช่วยให้คณะผู้จัดทำเล็งเห็นวิธีการที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการวางแผนการผลิตและกระจายกระแสไฟฟ้าให้กับชุมชนรอบอ่างเก็บน้ำ โดยเลือกใช้ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม ในการสร้างตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และใช้ Open Solver เป็นซอฟต์แวร์ในการหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด

3. ระเบียบวิธีวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการของงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ การจัดเก็บข้อมูล การพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ การคำนวณกำลังการผลิตและประเภทของกังหัน และการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1. การจัดเก็บข้อมูล

ในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้ทำการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลประเภททุติยภูมิจากแหล่งข้อมูล ดังต่อไปนี้

- 1) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยเก็บข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าภาคครัวเรือนจำนวน 7 อำเภอ ได้แก่ ห้างฉัตร เถินเสริมงาม ลำปาง เกาะคา จาว และแม่ทะ
- 2) สำนักงานชลประทานที่ 2 จังหวัดลำปาง โดยเก็บข้อมูลปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำย้อนหลัง 5 ปี ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2559 - ธันวาคม พ.ศ. 2563 พร้อมทั้งเก็บข้อมูลจำนวนและขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำ
- 3) Google map และ Google earth โดยเก็บข้อมูลด้านลักษณะพื้นที่ และเส้นทางการนำจ่ายกระแสไฟฟ้า
- 4) สำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง โดยเก็บข้อมูลรายชื่อชุมชนและจำนวนครัวเรือน

3.2. พยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ

ในขั้นตอนนี้จะนำข้อมูลปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำย้อนหลัง 5 ปี ตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ. 2559 - ธันวาคม พ.ศ. 2563 จำนวน 60 ชุด มาทำการพยากรณ์ปริมาณน้ำล่วงหน้า 3 ปี เพื่อวิเคราะห์อ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมสำหรับการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ โดยใช้วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ หลังจากการคำนวณจะแบ่งค่าพยากรณ์ออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

- 1) ปริมาณน้ำที่พยากรณ์ได้น้อยกว่า 0.50 ล้าน ลบ.ม.
 - 2) ปริมาณน้ำที่พยากรณ์ได้ตั้งแต่ 0.51 แต่ไม่เกิน 1.50 ล้าน ลบ.ม.
 - 3) ปริมาณน้ำที่พยากรณ์ได้มากกว่า 1.51 ล้าน ลบ.ม.
- ทั้งนี้กลุ่มที่สามารถนำไปคำนวณต่อในขั้นตอนต่อไป คือ กลุ่มที่ 2 และ 3 เนื่องจากเป็นกลุ่มที่มีปริมาณน้ำเพียงพอที่จะทำให้เกิดความสูงของหัวน้ำและอัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสมในการหมุนกังหันน้ำ

3.3. การพิจารณาประเภทของกังหันและคำนวณกำลังการผลิต

ในขั้นตอนนี้จะนำอ่างเก็บน้ำที่ผ่านเกณฑ์ในหัวข้อที่ 3.2 มาทำการคัดเลือกประเภทกังหันให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำโดยการเลือกชนิดของกังหันน้ำขึ้นอยู่กับระดับความสูงของ

หัวน้ำและความเร็วจำเพาะเป็นหลักซึ่งกังหันน้ำแต่ละประเภทมีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความเร็วจำเพาะและระดับความสูงของหัวน้ำที่เหมาะสมกับกังหันน้ำแต่ละประเภท (อ้างอิงจาก [11])

ชนิดกังหันน้ำ	ความสูงของหัวน้ำ (m)	ความเร็วจำเพาะ (rpm)
Crossflow	1 - 30	20 - 200
Francis	14 - 450	30 - 400
Kaplan	1 - 70	200 - 1000
Pelton	มากกว่า 150	10 - 30

ข้อมูลความเร็วจำเพาะในตารางที่ 1 สามารถคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$S = \frac{n\sqrt{P}}{H^{1.25}}$$

โดย S แทน ความเร็วจำเพาะ

n แทน ประสิทธิภาพของกังหันน้ำ (%)

P แทน กำลังการผลิตไฟฟ้าของอ่างเก็บน้ำ (KW)

ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$P = 9.81 \times H \times \text{อัตราการไหล (m/s)}$$

H แทน ความสูงของหัวน้ำของอ่างเก็บน้ำ (m)

จากนั้นเมื่อทราบกำลังการผลิตไฟฟ้าของอ่างเก็บน้ำจะสามารถหากำลังการผลิตไฟฟ้า w ได้ดังนี้

$$w = 0.5 \times P$$

3.4. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.1-3.3 ที่ผ่านมา จะทราบจำนวนอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมในการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ ประเภทของกังหัน และกำลังการผลิตไฟฟ้า ในขั้นตอนนี้จึงเป็นการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับวางแผนการผลิตและกระจายกระแสไฟฟ้าสู่ชุมชนรอบอ่างเก็บน้ำ โดยใช้ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ดัชนี (Indices)

i แทน โรงงานไฟฟ้า โดยที่ $i \in \{1,2,3,\dots,n\}$

j แทน ชุมชนในจังหวัดลำปาง โดยที่ $j \in \{1,2,3,\dots,m\}$

พารามิเตอร์ (Parameters)

E_j = ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในชุมชน j

S_i = ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้า i สามารถผลิตได้
ต่อหนึ่งกังหัน

D_{ij} = ระยะทางระหว่างโรงไฟฟ้า i ถึงชุมชน j

L_{ij} = ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จะสูญเสียไปจากระยะทาง

ระหว่างโรงไฟฟ้า i ถึงชุมชน j

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)

$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{เมื่อเลือกปล่อยกระแสไฟฟ้าจาก} \\ & \text{โรงงาน } i \text{ ไปชุมชน } j \\ 0 & \text{เมื่อไม่มีการปล่อยกระแสไฟฟ้าจาก} \\ & \text{โรงงาน } i \text{ ไปชุมชน } j \end{cases}$

Y_i = จำนวนกังหันที่ติดตั้งโรงไฟฟ้า i

ฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective function)

การวางแผนการผลิตกระแสไฟฟ้าต้องการให้มีต้นทุนน้อยที่สุด จึงกำหนดวัตถุประสงค์ให้ผลรวมของจำนวนกังหันติดตั้งน้อยที่สุด เนื่องจากสมมติให้ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งกังหันมีราคาเท่ากันทุกประเภท ซึ่งทำให้ได้ฟังก์ชันจุดประสงค์ ดังนี้

$$\text{Min} \quad \sum_{i=1}^n Y_i$$

เงื่อนไขบังคับ (Constraints)

ในการวางแผนผลิตและจำหน่ายกระแสไฟฟ้าจะพิจารณาถึงเงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้

1) การจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ : ทุกพื้นที่ที่พิจารณาต้องมีการเลือกจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำอย่างน้อย 1 ที่ ดังข้อสมการที่ (1)

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} \geq 1 \quad \forall i \in \{1,2,3,\dots,n\} \quad (1)$$

2) จำนวนกังหันน้ำ : เนื่องจากพื้นที่ในการสร้างโรงไฟฟ้ามีขนาดจำกัดจึงสามารถติดตั้งกังหันน้ำในแต่ละโรงไฟฟ้าได้ไม่เกิน 4 เครื่อง ดังข้อสมการที่ (2)

$$Y_i \leq 4 \quad \forall i \in \{1,2,3,\dots,n\} \quad (2)$$

3) การจำหน่ายกระแสไฟฟ้า : ผลรวมของความต้องการปริมาณไฟฟ้าและปริมาณไฟฟ้าที่จะสูญเสียไปจากระยะทางการจำหน่ายของชุมชนที่มีการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำจะต้องไม่เกินปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ (ต่อกังหัน) กับจำนวนกังหันติดตั้ง ณ โรงไฟฟ้าที่จัดตั้ง ดังข้อสมการที่ (3)

$$\sum_{j=1}^m (E_j + L_{ij}) X_{ij} \leq S_i \times Y_i \quad \forall i \in \{1,2,3,\dots,n\} \quad (3)$$

โดยปริมาณไฟฟ้าที่จะสูญเสียไปจากระยะทาง (L_{ij}) คำนวณได้จากแรงดันตกคร่อมสายไฟ (Voltage Dropped : V_d) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการส่งกระแสไฟฟ้า เพราะหากระยะทางมากแรงดันไฟฟ้าภายในสายไฟจะตกลงจนไม่สามารถนำกระแสไฟฟ้าที่ส่งไปใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ จึงต้องมีการคำนวณกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการจัดส่งไปยังพื้นที่ต่าง ๆ โดยมีสูตรที่ใช้ในการคำนวณแรงดันตกคร่อมไฟฟ้า ดังนี้

$$V_d = I \times R$$

โดยที่ V_d แทน แรงดันตกคร่อมสายไฟ มีหน่วยเป็น โวลต์

I แทน กระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็น

แอมแปร์

R แทน ความต้านทาน มีหน่วยเป็น โอห์ม

ซึ่ง I และ R หาได้จากสูตร ดังนี้

$$I = \frac{P}{V}$$

$$R = 5.88 \times \text{ระยะทาง (กิโลเมตร)} \times \text{จำนวนสายไฟ}$$

เมื่อ P แทน กำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็น วัตต์

V แทน ความต่างศักย์ มีหน่วยเป็น โวลต์

4) ระยะทางการจำหน่ายกระแสไฟฟ้า : การจำหน่ายกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำที่มีการเลือกให้ส่งกระแสไฟฟ้าไปยังชุมชนจะต้องไม่เกินระยะทาง 5 กิโลเมตร ดังข้อสมการที่ (4)

$$D_{ij} \times X_{ij} \leq 5 \quad \forall i \in \{1,2,3,\dots,n\} \quad (4)$$

$$\forall j \in \{1,2,3,\dots,m\},$$

5) เงื่อนไขบังคับของตัวแปรตัดสินใจ ดังเงื่อนไขที่ (5) และ (6)

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in \{1,2,3,\dots,n\} \quad (5)$$

$$\forall j \in \{1,2,3,\dots,m\},$$

$$Y_i \geq 0 \text{ และ } Y_i \text{ เป็นจำนวนเต็ม} \quad (6)$$

$$\forall i \in \{1,2,3,\dots,n\}$$

4. ผลการศึกษา

จากการดำเนินการศึกษาโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ ชนิดและประสิทธิภาพของกังหันน้ำ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยเฉลี่ยต่อปีของชุมชนรอบอ่างเก็บน้ำ ในการวิเคราะห์ตามระเบียบวิธีในหัวข้อที่ 3 ได้ผลลัพธ์เชิงตัวเลขแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ปริมาณจากการพยากรณ์ล่วงหน้า 3 ปี กำลังการผลิตและคัดเลือกประเภทกังหันที่เหมาะสม และการวางแผนการผลิตและการกระจายกระแสไฟฟ้าสู่ชุมชน โดยจะยกตัวอย่างผลการศึกษาของพื้นที่อำเภอสบปราบ ดังนี้

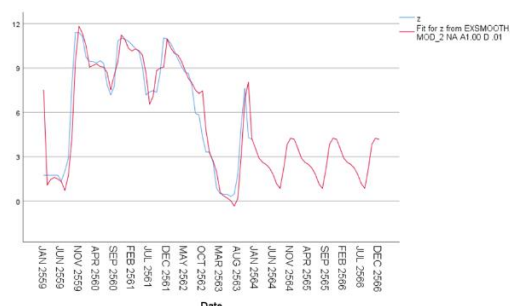
4.1. ตัวอย่างผลลัพธ์จากการพยากรณ์ปริมาณน้ำล่วงหน้า 3 ปี

ค่าพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำล่วงหน้า 3 ปี สามารถดูได้จากตารางที่ 2 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าพยากรณ์ ดูได้จากรูปที่ 3-6

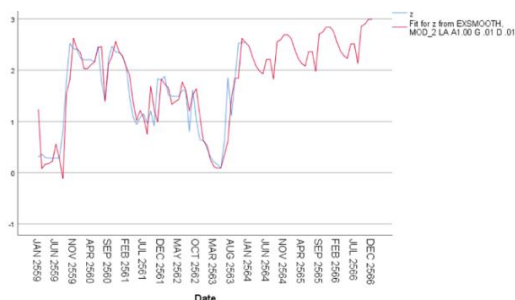
ตารางที่ 2 ผลลัพธ์ค่าพยากรณ์ปริมาณน้ำของอ่างเก็บน้ำในอำเภอสบปราบ ซึ่งมีหน่วยเป็นล้าน ลบ.ม.

เดือน	แม่ทาน	ห้วยสมัย	แม่ทก	แม่เรียง
ม.ค.-64	3.5686	1.0731	1.0973	1.1297
ก.พ.-64	2.9102	1.0546	1.0947	1.1185
มี.ค.-64	2.6268	1.0408	1.0893	1.1163
เม.ย.-64	2.4822	1.0311	1.0849	1.0828
พ.ค.-64	2.2315	0.9924	1.0593	1.0682
มิ.ย.-64	1.8027	0.9873	1.0020	1.0329
ก.ค.-64	1.1631	0.9919	0.9660	0.8662
ส.ค.-64	0.8599	0.8672	0.7359	0.7125
ก.ย.-64	2.2093	1.2509	0.8292	0.8606

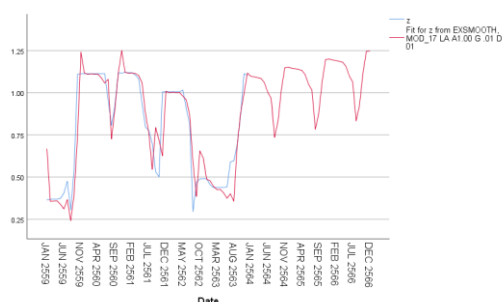
เดือน	แม่ทาน	ห้วยสมัย	แม่ทก	แม่เรียง
ต.ค.-64	3.8374	1.1176	1.0184	0.9656
พ.ย.-64	4.2528	1.1343	1.1476	0.9742
ธ.ค.-64	4.1750	1.0808	1.1514	1.0917
ม.ค.-65	3.5686	1.0515	1.1456	1.1175
ก.พ.-65	2.9102	1.0329	1.1430	1.1062
มี.ค.-65	2.6268	1.0192	1.1377	1.1040
เม.ย.-65	2.4822	1.0094	1.1332	1.0705
พ.ค.-65	2.2315	0.9708	1.1077	1.0560
มิ.ย.-65	1.8027	0.9657	1.0504	1.0207
ก.ค.-65	1.1631	0.9703	1.0144	0.8540
ส.ค.-65	0.8599	0.8455	0.7843	0.7003
ก.ย.-65	2.2093	1.2292	0.8775	0.8484
ต.ค.-65	3.8374	1.0959	1.0667	0.9533
พ.ย.-65	4.2528	1.1126	1.1960	0.9619
ธ.ค.-65	4.1750	1.0592	1.1998	1.0794
ม.ค.-66	3.5686	1.0298	1.1940	1.1052
ก.พ.-66	2.9102	1.0113	1.1914	1.0940
มี.ค.-66	2.6268	0.9975	1.1861	1.0918
เม.ย.-66	2.4822	0.9878	1.1816	1.0583
พ.ค.-66	2.2315	0.9491	1.1560	1.0437
มิ.ย.-66	1.8027	0.9441	1.0988	1.0084
ก.ค.-66	1.1631	0.9487	1.0628	0.8417
ส.ค.-66	0.8599	0.8239	0.8326	0.6880
ก.ย.-66	2.2093	1.2076	0.9259	0.8361
ต.ค.-66	3.8374	1.0743	1.1151	0.9411
พ.ย.-66	4.2528	1.0910	1.2444	0.9497
เฉลี่ยต่อปี	2.6760	1.0302	1.0714	0.9893



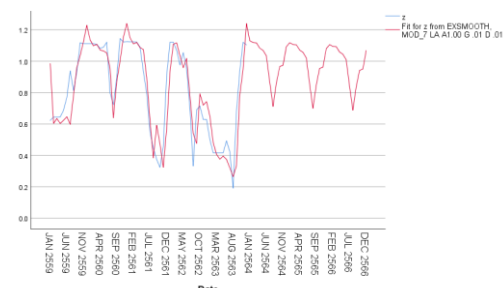
รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าพยากรณ์ปริมาณน้ำอ่างเก็บน้ำแม่ทาน



รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าพยากรณ์ ปริมาณน้ำอ่างเก็บน้ำแม่ห้วยสมย์



รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าพยากรณ์ ปริมาณน้ำอ่างเก็บน้ำแม่ทก



รูปที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าพยากรณ์ ปริมาณน้ำอ่างเก็บน้ำแม่เรียง

จากการพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำของพื้นที่ อำเภอสบปราบ พบว่าอ่างเก็บน้ำในพื้นที่ทั้ง 4 แห่ง สามารถ จัดกลุ่มค่าพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ได้ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

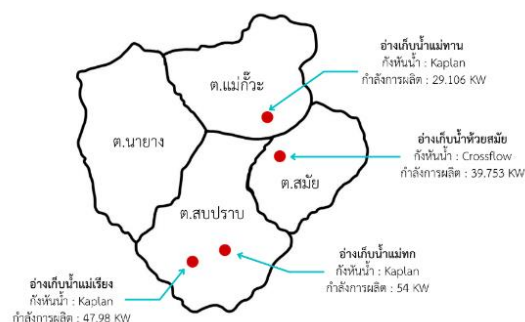
- 1) ปริมาณน้ำที่พยากรณ์ได้ตั้งแต่ 0.51 แต่ไม่เกิน 1.50 ล้าน ลบ.ม ได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยสมย์ แม่ทก และ แม่เรียง
- 2) ปริมาณน้ำที่พยากรณ์ได้มากกว่า 1.51 ล้าน ลบ.ม. ได้แก่ อ่างเก็บน้ำแม่ทาน

4.2 ตัวอย่างผลลัพธ์การคำนวณกำลังการผลิตและคัดเลือกประเภทกังหันที่เหมาะสมกับระดับหัวน้ำของอ่างเก็บน้ำ

การคำนวณกำลังการผลิตและคัดเลือกประเภทกังหันที่เหมาะสมกับระดับหัวน้ำของอ่างเก็บน้ำ สามารถดูได้จาก ตารางที่ 3 และแผนที่แสดงตำแหน่งอ่างเก็บน้ำ ดูได้จาก รูปที่ 7

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์การคำนวณกำลังการผลิตและประเภทกังหันที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำในอำเภอสบปราบ

อ่างเก็บน้ำ	พลังน้ำ (P)	กำลังการผลิต (W)	ความเร็วจำเพาะ (S)	กังหัน
แม่ทาน	32.34	29.10	984.45	Kaplan
ห้วยสมย์	44.17	39.75	144.67	Crossflow
แม่ทก	60.00	54.00	292.44	Kaplan
แม่เรียง	53.32	47.98	210.03	Kaplan



รูปที่ 7 อ่างเก็บน้ำที่มีความเหมาะสมในการวิเคราะห์การจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลางในอำเภอสบปราบ

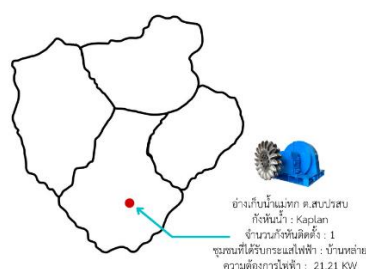
จากการคัดเลือกประเภทของกังหันน้ำ พบว่า มีกังหันน้ำที่สอดคล้อง 2 ประเภท ได้แก่ กังหันน้ำ Kaplan จำนวน 3 เครื่อง และกังหันน้ำ Crossflow จำนวน 1 เครื่อง

4.3 ตัวอย่างผลลัพธ์การวางแผนการผลิตและการกระจายกระแสไฟฟ้าสู่ชุมชน

การวางแผนการผลิตและการกระจายกระแสไฟฟ้าสู่ชุมชน สามารถดูได้จากตารางที่ 4 และแผนที่แสดงตำแหน่งอ่างเก็บน้ำที่ถูกเลือกให้จัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ ดูได้จาก รูปที่ 8

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์จากการวางแผนการผลิตและการกระจายกระแสไฟฟ้าสู่ชุมชนของอ่างเก็บน้ำในอำเภอสบปราบ

อ่างเก็บน้ำ	จำนวนกังหันติดตั้ง	ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ (KW)	ชุมชนที่ได้รับไฟฟ้า	ปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการ (KW)
แม่ทาน	0	-	-	-
ห้วยสมัย	0	-	-	-
แม่เรียง	0	-	-	-
แม่ทก	1	54	บ้านหลาย	21.22



รูปที่ 8 อ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมในการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลางในอำเภอสบปราบ

จากการวางแผนการผลิตและการกระจายกระแสไฟฟ้าสู่ชุมชนของพื้นที่อำเภอสบปราบ พบว่ามีอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม 1 แห่ง คือ อ่างเก็บน้ำแม่ทก ในพื้นที่ตำบลสบปราบ โดยติดตั้งกังหันน้ำจำนวน 1 เครื่อง ผลิตกระแสไฟฟ้าได้จำนวน 54 KW และนำจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับชุมชนบ้านหลาย

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1. สรุปผล

จากการศึกษาและวิจัย เรื่องการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลางในพื้นที่จังหวัดลำปางสามารถสรุปผลการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 การพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำขนาดกลางจำนวน 29 แห่ง สามารถแบ่งกลุ่มค่าพยากรณ์ ได้ดังนี้

1) ปริมาณน้ำที่พยากรณ์น้อยกว่า 0.50 ล้าน ลบ.ม. จำนวน 13 แห่ง ได้แก่ ห้วยหลวงวังวู แม่พริก แม่พริกผาวัง

ชู แม่อ่อน แม่ทรายคำ แม่ฮอน แม่ปอน แม่ยาว แม่ต๋าน้อย แม่ทะ แม่เฟือง และแม่ล้อหัก

2) ปริมาณน้ำที่พยากรณ์ตั้งแต่ 0.51 แต่ไม่เกิน 1.50 ล้าน ลบ.ม. จำนวน 10 แห่ง ได้แก่ แม่ไพร แม่ไฮ แม่กิด แม่อาบ ห้วยสมัย แม่ทก แม่เรียง แม่ค่อม แม่สัน และห้วยหลวง

3) ปริมาณน้ำที่พยากรณ์มากกว่า 1.51 ล้าน ลบ.ม. จำนวน 7 แห่ง ได้แก่ แม่ฟ้า แม่ทาน แม่วะ ห้วยเกียง แม่ธิ แม่เลี้ยงพัฒนา และแม่ต้า

ดังนั้น อ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมสำหรับการพิจารณาการจัดตั้งโรงไฟฟ้า มีจำนวน 17 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 58.62 ของจำนวนอ่างเก็บน้ำขนาดกลางในจังหวัดลำปาง

ส่วนที่ 2 การคัดเลือกประเภทของกังหันของอ่างเก็บน้ำที่มีความเหมาะสมจำนวน 17 แห่ง มีกังหันที่สอดคล้องกับระดับความสูงหัวน้ำและความเร็วจำเพาะ 2 ประเภท ได้แก่ กังหันน้ำแรงส่ดทอน Kaplan มากที่สุด จำนวน 13 แห่ง คิดเป็น ร้อยละ 76.47 และกังหันน้ำประเภทแรงกระแทก Crossflow จำนวน 4 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 23.53 ของจำนวนอ่างเก็บน้ำที่มีความเหมาะสมสำหรับการพิจารณาการจัดตั้งโรงไฟฟ้า

ส่วนที่ 3 การวางแผนการผลิตและการกระจายกระแสไฟฟ้าสู่ชุมชนรอบอ่างเก็บน้ำโดยใช้ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม มีอ่างเก็บน้ำที่ถูกเลือกให้มีการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำจำนวน 3 แห่ง ได้แก่ อ่างเก็บน้ำแม่ทก อ่างเก็บน้ำแม่ต้า และอ่างเก็บน้ำแม่วะ โดยจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ชุมชนบ้านหลาย 21.21 KW, ชุมชนสบแม่ท่า 301.04 KW และชุมชนหัวทุ่ง 297.15 KW ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 42.85 ของจำนวนอ่างเก็บน้ำทั้งหมดที่เหมาะสม

5.2. ข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลางในพื้นที่จังหวัดลำปาง ผลการดำเนินงานเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ คือ สามารถวิเคราะห์ลักษณะพื้นที่และความเหมาะสมในการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลางได้ และสามารถคิดค้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อวางแผนการผลิตและการกระจายกระแสไฟฟ้าสู่ชุมชน สุดท้ายนี้ผู้จัดทำโครงการมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ดังนี้

1) วิธีการพยากรณ์สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมของข้อมูลที่น่ามาพิจารณา โดยวิธีการพยากรณ์ที่ดีที่สุด คือ วิธีการพยากรณ์แบบรวม เนื่องจากการผสมผสานวิธีการจากกระบวนการอื่น ๆ เข้าด้วยกัน จึงทำให้ค่าพยากรณ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด

2) ผลลัพธ์ที่ได้จากโครงการ คือ ตัวต้นแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการพิจารณาการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ ดังนั้น หากมีเงื่อนไขในการพิจารณาการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำเพิ่มเติม ผู้ที่สนใจสามารถเพิ่มสมการ/สมการในแบบจำลองดังกล่าวได้ และสามารถปรับเปลี่ยนข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณตามความเหมาะสมของพื้นที่ที่พิจารณา

3) กรณีที่ต้องการส่งกระแสไฟฟ้าเพื่อช่วยเหลือพื้นที่ที่ขาดแคลนไฟฟ้า สามารถเพิ่มข้อมูลระยะทางลงในข้อมูลที่ใช้ในการพิจารณา เนื่องจากการส่งกระแสไฟฟ้าจะส่งผ่านเสาไฟฟ้าตามท้องถนน ดังนั้นหากต้องการแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถคำนวณระยะทางต่อจากจุดสิ้นสุดของเสาไฟฟ้าเข้าไปถึงชุมชนที่ต้องการได้ทันทีซึ่งจะไม่มีผลกระทบกับตัวแบบที่จัดทำขึ้น แต่อาจมีค่าใช้จ่ายในการจัดตั้งเสาไฟฟ้าเพิ่มเติม

4) บทความวิจัยฉบับนี้เป็น การนำเสนอวิธีการเชิงปริมาณที่สามารถวิเคราะห์ได้ในรูปแบบสถิติ เพื่อประเมินการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ อย่างไรก็ตามในการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำยังต้องมีการศึกษาปัจจัยด้านอื่น ๆ ในเชิงคุณภาพควบคู่กัน ซึ่งความสามารถในการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยประกอบกัน ได้แก่ ความต้องการใช้พลังงาน ต้นทุนทางเศรษฐกิจ ความคุ้มค่าในการลงทุน สภาพแวดล้อม และพื้นที่ในการจัดตั้งที่เหมาะสม ประโยชน์ที่ชุมชนจะได้รับ รวมถึงความคิดเห็นของชุมชนโดยรอบ ดังนั้นจึงต้องศึกษาปัจจัยเหล่านี้เป็นองค์ประกอบในการตัดสินใจขั้นสุดท้าย

5.3. แนวทางการใช้ประโยชน์ของงานวิจัย

1) การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ : สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการพิจารณาการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลางภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน

2) การใช้ประโยชน์เชิงสาธารณะ : สามารถส่งเสริมความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นให้กับประชาชนในการผลิตกระแสไฟฟ้า

ให้ใช้ได้อย่างทั่วถึงและยั่งยืน โดยทำหน้าที่เป็นโรงไฟฟ้าแบบ Non-Firm หรือพลังงานทดแทนที่น่ามาเสริมกับระบบไฟฟ้าหลัก

3) การใช้ประโยชน์เชิงพื้นที่ : สามารถปรับเปลี่ยนเงื่อนไขของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ให้เหมาะสมกับพื้นที่ที่พิจารณาได้ เพื่อให้การวิเคราะห์สอดคล้องกับความต้องการของชุมชน

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณหน่วยงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสำนักงานใหญ่ ที่อำนวยความสะดวกให้ข้อมูลเพื่อศึกษาในงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบพระคุณโครงการปริญญาตรีภาคพิเศษ สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติที่มอบทุนสนับสนุนการทำวิจัยด้านคณิตศาสตร์และสถิติ หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์การจัดการ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงพลังงาน, “รายงานสถิติพลังงาน 2563 (พิมพ์ครั้งที่ 1),” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://shorturl.asia/pJCWX>. [เข้าถึงวันที่ 10 มิถุนายน 2564].
- [2] อีลิเย่ สนิโซ, “พลังงานน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก : การติดตั้งและทดสอบระบบ ณ มูลนิธิสุขแก้ว แก้วแดง,” *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, ปีที่ 1, ฉบับที่ 13, น. 1-9, 2553.
- [3] ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, “โครงการศึกษาความเป็นไปได้และความเหมาะสมของการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนในนิคมสร้างตนเอง 6 แห่ง (พิมพ์ครั้งที่ 1),” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://shorturl.asia/uLmJe>. [เข้าถึงวันที่ 12 มิถุนายน 2564].
- [4] ศรวงศ์ชัย วันนะสดี และ เกียรติยุทธ กวีญาณ, “ศึกษาความเหมาะสมโครงการไฟฟ้าพลังงานน้ำเพื่อการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก,” *วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, 2560.

- [5] จักรกฤษ กิตตินภากุล “การเปรียบเทียบการวิเคราะห์ข้อมูลตามฤดูกาลโดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์และวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโวลท์-วินเตอร์,” วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2543.
- [6] วรางคณา กิรติวิบูลย์, “การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนอำเภอเมือง จังหวัดน่าน,” *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 38, น. 211-223, 2558.
- [7] ชม ปานตา และยุภาวดี สำราญฤทธิ์, “การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในจังหวัดนครสวรรค์โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์ทางสถิติ,” *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์.*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 9, น. 127-142, 2560.
- [8] พรุฬ มะยะเฉียว, “การแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง,” *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, ปีที่ 1, ฉบับที่ 6, น. 132-145, 2557.
- [9] เพชรายุทธ แซ่หลี่ และ อภิชัย ฤตวิรุฬห์. “แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับการวางแผนแรงงานในการผลิตขิงดอง,” *วิศวกรรมสารมหาวิทยาลัยนเรศวร.*, ปีที่ 2, ฉบับที่ 9, น. 48-54, 2560.
- [10] วลัยลักษณ์ อัคริรวงศ์ และ สวินัย ปงลังกา, “การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของคลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้า: กรณีศึกษา บริษัท ไปรษณีย์ไทยดิสทริบิวชั่น จำกัด,” *วารสารสถิติประยุกต์และเทคโนโลยีสารสนเทศ.*, ปีที่ 5, ฉบับที่ 1, น. 10-24, 2563.
- [11] กระทรวงพลังงาน, “คู่มือการติดตั้งเครื่องจักรกลไฟฟ้าพลังงานน้ำและระบบ (พิมพ์ครั้งที่ 1),” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: shorturl.asia/9HnO5. [เข้าถึงวันที่ 18 มิถุนายน 2564].

ภาคผนวก

ผู้อ่านสามารถดูรายละเอียดผลลัพธ์ทั้งหมดได้ทาง QR Code ที่แสดงด้านล่าง

