การศึกษาการเชื่อมโยงน้ำและความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการผลิตน้ำประปาของเมืองพัทยาในประเทศไทย

THE STUDY OF WATER-ENERGY NEXUS WITH WATER SUPPLY SYSTEM OF PATTAYA CITY IN THAILAND

สุรศักดิ์ จันทร์ฉาย[1] ศุภรัชชัย วรรัตน์[2*] และ อำนาจ ผดุงศิลป์[3]
[1]นักศึกษา บัณฑิตศึกษาการจัดการทางวิศวกรรม วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ 110/1-4 ถนนประชาชื่น เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210, surasak_69@yahoo.com
[2*]อาจารย์ บัณฑิตศึกษาการจัดการทางวิศวกรรม วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ 110/1-4 ถนนประชาชื่น เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210, vorarat@dpu.ac.th
[3]อาจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาอุทิศ เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140, aumnad.phdu@kmutt.ac.th

Surasak Janchai[1], Suparatchai Vorarat[2*] and Aumnad Phdungsilp[3]
[1]Ph.D. student, Graduate Program in Engineering Management, College of Innovative Technology and Engineering, Dhurakij Pundit University, 110/1-4 Prachachuen Road, Laksi, Bangkok 10210, Thailand, surasak_69@yahoo.com
[2*]Lecturer, Graduate Program in Engineering Management, College of Innovative Technology and Engineering, Dhurakij Pundit University, 110/1-4 Prachachuen Road, Laksi, Bangkok 10210, Thailand, vorarat@dpu.ac.th
[3]Lecturer, Energy Management Technology Program, School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 126 Pracha Uthit Road, Thung Khru, Bangkok 10140, Thailand, aumnad.phdu@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

เมืองท่องเที่ยวใช้ทรัพยากรน้ำและพลังงานต่าง ๆ มากกว่าเมืองประเภทอื่น ๆ ดังนั้นการเชื่อมต่อทรัพยากรน้ำ พลังงาน และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นเรื่องที่ควรได้รับการจัดการอย่างเร่งด่วน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเชื่อมโยงระหว่างระบบ

จ่ายน้ำประปาและการใช้พลังงาน โดยการปรับปรุงระบบจ่ายน้ำประปาเพื่อลดการผลิตน้ำประปาและประเมินการลดการปลดปล่อย CO_2 ในระบบผลิตน้ำประปาจากการใช้ไฟฟ้าที่ลดลง ในการปรับปรุงระบบจ่ายน้ำประปาได้ทำการติดตั้งวาล์วควบคุมการจ่ายน้ำประปาชนิดวาล์วควบคุมไฟฟ้าที่สถานีจ่ายน้ำประปา 5 สถานีในพื้นที่กรณีศึกษา (เมืองพัทยา) ระบบจ่ายน้ำประปาได้รับการออกแบบในแบบจำลอง EPANET เพื่อจำลองและตรวจสอบความสามารถในการจ่ายน้ำในท่อบริการสถานีจ่ายน้ำ 5 สถานี ซึ่งมีอัตราการไหลระหว่าง 500-1,300 m^3/hour และแรงดันระหว่าง 20-45 m ระบบจ่ายน้ำถูกจำลองและวิเคราะห์ เพื่อหาอัตราการไหลและแรงดันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการจ่ายน้ำต่ำสุดที่สถานีจ่ายน้ำแต่ละแห่ง ผลการวิจัยพบว่า การลดปริมาณการจ่ายน้ำประปาทำให้ปริมาณการผลิตน้ำประปาลดลง จากเดิมผลิตรวม 115,200 m^3/day คงเหลือการผลิต 78,480 m^3/day ปริมาณการใช้ไฟฟ้าอยู่ที่ 12,856 kWh/day และการปลดปล่อย CO_2 ที่เกี่ยวข้องกับพลังงานอยู่ที่ 7,483 $kgCO_2eq$/day การปรับวาล์วควบคุมแต่ละสถานีทั้งหมด 5 สถานี ยิ่งไปกว่านั้นพบว่า สถานีมาบประชันของเดิมมีการปลดปล่อย CO_2 มากถึง 1,247 $kgCO_2eq$/day หลังปรับวาล์วลดลงเหลือ 873 $kgCO_2eq$/day สถานีบางละมุงเดิมการปลดปล่อย 2,027 $kgCO_2eq$/day หลังปรับวาล์วลดลงเหลือ 1,294 $kgCO_2eq$/day สถานีซากนอกเดิมมีการปลดปล่อย 779 $kgCO_2eq$/day หลังปรับวาล์วลดลงเหลือ 390 $kgCO_2eq$/day สถานีนาจอมเทียนเดิมปลดปล่อยมากถึง 1,715 $kgCO_2eq$/day หลังปรับวาล์วลดลงเหลือ 1,590 $kgCO_2eq$/day สถานีชัยพรวิถีเดิมปลดปล่อยมากถึง 1,715 $kgCO_2eq$/day หลังปรับวาล์วลดลงเหลือ 951 $kgCO_2eq$/day และสามารถควบคุมอัตราการไหลตามความต้องการน้ำประปา ส่งผลให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อวันอยู่ที่ 8,759 kWh/day ปริมาณการใช้ไฟฟ้าและการปลดปล่อย CO_2 ลดลง 1,495,400 MWh/year และ 870,530 tCO_2eq/year ตามลำดับ

คำสำคัญ: การประหยัดพลังงาน, การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอน, การเชื่อมโยงน้ำและพลังงาน, การจัดการน้ำ

ABSTRACT

Tourism cities use more water and energy resources than other city types. Therefore, the water-energy nexus and CO_2 emissions are urgent issues to manage. This paper studies the nexus between water distribution systems and energy usage. It studies the improvements of the water distribution system to reduce water production and estimates energy-related CO_2 emission reductions in water supply systems. The water supply systems are improved by installing electric control values in a case study (Pattaya city) at five water supply stations. Moreover, it was found that the original Mabprachan station emitted CO_2 as much as

1,247 $kgCO_2eq/day$ after adjusting the valves to 873 $kgCO_2eq/day$. The original Bang Lamung station emitted 2,027 $kgCO_2eq/day$ after adjusting the valves to 1,294 $kgCO_2eq/day$. The original wreck station was liberated 779 $kgCO_2eq/day$ after valve adjustment was reduced to 390 $kgCO_2eq/day$, former Na Jomtien station emitted up to 1,715 $kgCO_2eq/day$ after valve adjusted down to 1,590 $kgCO_2eq/day$, old Chaiyaphon Way station emitted up to 1,715 $kgCO_2eq/day$ after valve adjustment reduced to 951 $kgCO_2eq/day$. The water supply systems are designed in the EPANET model to simulate and investigate the water supply capability in the service pipes of five water supply stations with flow rates between 800-1,300 m^3/hour and pressures between 20-45 m. Results are shown that the water supply reductions decreased the amounts of water production from the original production of 115,200 m^3/day to 78,480 m^3/day. The electricity consumption is 12,856 kWh/day, and the energy-related CO_2 emissions are 7,483 $kgCO_2eq/day$. Adjusting electric control values at the five stations regulates the flow rate and follows the water supply demand. Consequently, the electricity consumption is 8,759 kWh/day. Total electricity consumption and CO_2 emissions are reduced by 1,495,400 MWh/year and 870,530 $tCO_2eq/year$, respectively.

KEYWORDS: Energy-Savings, Carbon Emissions, Water-Energy Nexus, Water Management

1. บทนำ

พลังงานและน้ำเป็นทรัพยากรที่มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาการเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ อย่างไรก็ตามบางภูมิภาคอาจประสบปัญหาการขาดแคลนแหล่งพลังงานและน้ำที่จำเป็นต่อการพัฒนาประเทศ จากการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วอย่างที่ไม่เคยมีการวางแผนมาก่อน และเมื่อมีการเติบโตทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราความต้องการการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน ส่งผลให้การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) นั้นสูงขึ้นอย่างเป็นนัยสำคัญและเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) [1] ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาจากการเพิ่มขึ้นของนักท่องเที่ยว โรงแรม และอาคารที่อยู่อาศัย (Residential Building) ขนาดใหญ่ของเมืองท่องเที่ยวในประเทศไทย เช่น พัทยาและภูเก็ต เป็นต้น ตลอดจนการเพิ่มขึ้นของประชากรที่ย้ายถิ่นฐานเพื่อมาประกอบอาชีพและอยู่อาศัย ส่งผลให้เกิดปัญหาทางด้านความยั่งยืนของทรัพยากร สิ่งแวดล้อม และสังคม

ท่ามกลางปัญหาที่เกิดขึ้นในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา ทำให้มีผู้ให้ความสนใจศึกษาในเรื่องการเชื่อมโยงของทรัพยากรน้ำและพลังงานมากขึ้น เพื่อจัดการการใช้พลังงานให้เหมาะสมกับความต้องการพลังงานและการจัดการน้ำประปาที่ใช้ในเมือง โดยพบความเชื่อมโยงว่าหากได้รับ

การพัฒนาเพื่อส่งเสริมการใช้น้ำอย่างคุ้มค่า จะนำมาสู่การลดการใช้พลังงานและลดการปลดปล่อย CO_2 จากระบบน้ำอย่างมีนัยสำคัญ [2] ดังนั้นเพื่อรองรับการขยายตัวของภาคบริการ ภาคการท่องเที่ยวและการขยายตัวของเขตเมือง ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความต้องการการใช้น้ำเพื่ออุปโภค-บริโภค ทรัพยากรน้ำจึงมีอิทธิพลอย่างมากในระดับภูมิภาคและระดับชาติ [3] ทำให้การพัฒนาแหล่งน้ำและการใช้น้ำในเมืองอย่างยั่งยืนกลายเป็นปัญหาระดับโลก สิ่งสำคัญคือต้องปกป้องความปลอดภัยของน้ำดื่มและลดความกังวลด้านทรัพยากรน้ำที่มีอยู่ บริหารการจ่ายน้ำให้เหมาะสมกับความต้องการการใช้น้ำของประชาชน รวมถึงการปรับตัวเข้ากับสภาพภูมิอากาศ [4]

ดังนั้นการจัดการนโยบายแบบบูรณาการ การจัดการควบคุมประสิทธิภาพการจ่ายน้ำและลดพลังงานไฟฟ้า ต้องได้รับการศึกษาเพื่อพัฒนาส่งเสริมให้มีการใช้น้ำและพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการพัฒนาความยั่งยืนของเมืองท่องเที่ยว งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเชื่อมโยงของการใช้น้ำและพลังงานเพื่อให้บริการในเมืองท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน การศึกษานี้ใช้เมืองพัทยาเป็นกรณีศึกษา เพื่อทำการวิเคราะห์การเชื่อมโยงน้ำ พลังงาน และส่งเสริมความยั่งยืนของทรัพยากรน้ำและพลังงานในระยะยาว เนื่องจากเมืองท่องเที่ยวมีการใช้ทรัพยากรน้ำและพลังงานเพื่อการให้บริการเมืองมากกว่าเมืองประเภทอื่น ๆ ดังนั้นระบบการจัดการน้ำและพลังงานจึงมีความสำคัญต่อการตอบสนองความต้องการระยะยาวสำหรับบริการในเมืองท่องเที่ยว

2. ทบทวนวรรณกรรม

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาทบทวนวรรณกรรม เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยรวมถึงกรอบแนวคิด ระเบียบวิธีการวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับความเชื่อมโยงของพลังงานและน้ำในเขตเมือง จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า การใช้พลังงานในการสูบ-ส่งจ่ายน้ำประปาเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับเครือข่ายการจ่ายน้ำประปาขนาดใหญ่ เนื่องจากโครงข่ายการส่งน้ำประปาเป็นระบบโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่ที่ต้องใช้พลังงานในการจ่ายน้ำให้มีปริมาณและแรงดันน้ำที่เพียงพอต่อความต้องการ โดยการประเมินการใช้พลังงานในระบบโครงข่ายการจ่ายน้ำประปานั้น สามารถแสดงถึงประสิทธิภาพของระบบจ่ายน้ำประปาโดยการศึกษาการสมดุลพลังงาน ซึ่งประกอบไปด้วยองค์ประกอบสามประการ 1) พลังงานจากการสูบ-ส่งน้ำประปาที่จ่ายให้กับระบบ 2) พลังงานออกจากระบบผ่านทางการสูญเสียน้ำจากรอยรั่วซึมของท่อส่งน้ำประปา และ 3) พลังงานที่สูญเสียไปจากแรงเสียดทานในท่อจ่ายน้ำประปา ซึ่งสิ่งสำคัญที่สุดคือประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแต่ละองค์ประกอบต่าง ๆ เพื่อวางแผนจัดการ และเลือกวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงท่อจ่ายน้ำประปา เช่น การลดการสูญเสียของน้ำประปาในระบบท่อส่งและท่อจ่าย หรือการปรับปรุงความสามารถในการสูบ-ส่งน้ำประปาโดยการเพิ่มขนาดท่อส่งน้ำประปาให้ใหญ่ขึ้น [5] โดยผลลัพธ์

ของการสมดุลพลังงาน จะสามารถสรุปสิ่งที่วิเคราะห์ได้ว่าควรดำเนินการซ่อมแซมรอยรั่ว หรือเปลี่ยนขนาดท่อสูบ-ส่งน้ำประปาก่อนหรือหลัง

การใช้พลังงานในการจัดการทรัพยากรน้ำและสิ่งแวดล้อมให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดคือ การเพิ่มประสิทธิภาพการจ่ายน้ำให้เหมาะสมกับความต้องการการใช้น้ำ การควบคุมอัตราการไหลและแรงดันน้ำในท่อจ่ายน้ำ และการใช้พลังงานให้เหมาะสมในการสูบ-ส่งน้ำให้กับความต้องการการใช้น้ำ โดยในงานวิจัยของ Ramos et al [6] ได้พัฒนากรอบแนวความคิดและวิธีการดำเนินการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบจ่ายน้ำ ประกอบไปด้วยสามวิธีการหลัก ๆ ดังนี้ 1) การใช้ระบบควบคุมแรงดันในท่อส่งน้ำที่มีระบบแรงดันสูงเกินความจำเป็นเพื่อลดแรงดันน้ำในเส้นท่อ 2) บริหารการจ่ายน้ำให้เหมาะสมกับช่วงเวลาการใช้น้ำและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และ 3) ใช้แหล่งพลังงานหมุนเวียนอื่นเพื่อทดแทนพลังงานที่ใช้จากไฟฟ้าเป็นหลักที่จ่ายไฟฟ้าให้กับสถานีสูบน้ำ จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องยังพบว่า การใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์สมดุลพลังงานและประสิทธิการจ่ายน้ำเป็นเครื่องมือที่ได้รับความนิยมและให้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือ ในงานวิจัยของ Aly et al [7] ได้พัฒนาแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม EPANET วิเคราะห์และเปรียบเทียบในแต่ละ WDN (Water Distribution Network) เดิมที่มีอยู่กับการสร้างแบบจำลอง WDN รูปแบบใหม่ 2 กรณี เพื่อใช้เปรียบเทียบการจ่ายน้ำของ WDN ว่ารูปแบบใดมีประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานได้สูงสุดเพื่อใช้เป็นแนวทางในการลด CO_2 ได้ในอนาคต โดยในการออกแบบ WDN ใหม่ได้คำนวณหาค่าการลงทุนตลอดทั้งวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Cost) และการปลดปล่อย CO_2 ตลอดทั้งวัฏจักรชีวิต (Life Cycle CO_2 Emissions) เพื่อใช้ในการหาทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับลงทุนและการปลดปล่อย CO_2

สำหรับการศึกษาการเชื่อมโยงพลังงานและน้ำในเขตเมืองขนาดใหญ่ที่มีความต้องการการใช้น้ำเป็นปริมาณมาก ทำให้รูปแบบจ่ายน้ำนั้นมีโครงข่ายเป็นจำนวนมาก มีความซับซ้อนของโครงข่ายและทำให้เกิดน้ำสูญเสียระหว่างโครงข่ายการจ่ายน้ำได้ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องบริหารจัดการการจ่ายน้ำในเมืองและใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยเมืองมิลาน ประเทศอิตาลี ได้ใช้วิธีการลดการใช้พลังงานในระบบจ่ายน้ำและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบสูบน้ำให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำจ่าย โดยระบบจ่ายน้ำของเมืองมิลานเป็นระบบจ่ายน้ำประปาขนาดใหญ่ประกอบไปด้วยสถานีสูบและส่งน้ำจำนวน 26 แห่ง จ่ายน้ำประปาเพื่อบริการประชากรถึง 1.3 ล้านคน และมีเครื่องสูบและส่งน้ำที่ทำงานเฉพาะในเวลากลางวัน 103 เครื่อง โดยการจ่ายน้ำประปาที่ผ่านมาของเมือง มิลานนั้นเป็นการจ่ายน้ำตลอดทั้งวัน โดยไม่ได้พิจารณาช่วงเวลาการจ่ายน้ำที่เหมาะสมกับความต้องการการใช้น้ำของประชากร ในการวิจัยได้ใช้แบบจำลอง EPANET ทำการวิเคราะห์เครือข่ายจ่ายน้ำ (WDN) ให้มีความสมบูรณ์ โดยได้ทำการวางแผนกำหนดเวลาจ่ายน้ำและหยุดจ่ายน้ำของเครื่องสูบน้ำบางเครื่อง เพื่อลดการใช้พลังงานในช่วงเวลาที่มีการใช้น้ำลดลง

และเพื่อควบคุมแรงดันน้ำในเส้นท่อให้เหมาะสม เพื่อให้จ่ายน้ำได้เพียงพอต่อความต้องการของประชาชน [8]

ในงานวิจัยของ Engström et al [9] ได้นำกรอบแนวคิดการเชื่อมโยงพลังงานและน้ำมาใช้ในการวิจัยในมหานครนิวยอร์ก ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อทำการประเมินความต้องการการใช้พลังงานและน้ำในภาคที่อยู่อาศัยครอบคลุมตั้งแต่สุขภัณฑ์ห้องน้ำแบบประหยัดน้ำรวมถึงการติดตั้งหลังคาเขียว (Green Roof) ให้เพิ่มมากขึ้น โดยทำการศึกษาการลดปริมาณการจ่ายน้ำจากการใช้สุขภัณฑ์ประหยัดน้ำและศึกษาการลดใช้พลังงานไฟฟ้าโดยการติดตั้ง Green Roof เพิ่มขึ้นเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร จากนั้นนำพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงมาคำนวณหาค่าการปลดปล่อย CO_2 และสร้างผังความสัมพันธ์การเข้า-ออกของน้ำและพลังงาน โดยผลลัพธ์สามารถลดการใช้พลังงานและช่วยลด CO_2 ได้เป็นอย่างมากรวมถึงลดการปลดปล่อยมลพิษอื่น ๆ ได้อีกด้วย ในทำนองเดียวกันการนำเสนอมาตรการใหม่ ๆ ในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานจะสามารถลดปริมาณการใช้น้ำในมหานครนิวยอร์กได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามมาตรการต่าง ๆ ที่ทำให้การใช้พลังงานนั้นลดลงไม่จำเป็นที่จะต้องเป็นการลดการใช้น้ำให้ได้มากที่สุด การกำหนดมาตรการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ทรัพยากรผ่านการตัดสินใจแบบบูรณาการนั้นเป็นส่วนสำคัญในการเชื่อมโยงพลังงานต่าง ๆ ให้สัมพันธ์กันซึ่งทำให้เกิดประสิทธิภาพได้สูงสุดเช่นกัน

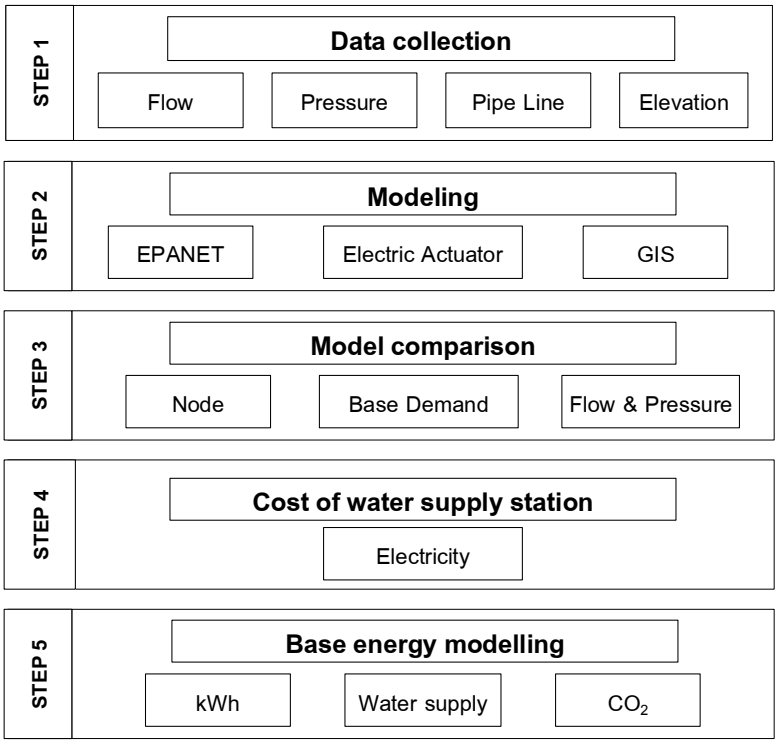
จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การจัดการการจ่ายน้ำประปาให้เหมาะสมกับความต้องการใช้น้ำ และการลดการใช้พลังงานของการสูบและส่งน้ำในระบบโครงข่ายการจ่ายน้ำเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการจัดการพลังงานและน้ำในเขตเมือง โดยในงานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคและแนวคิดในการลดการใช้พลังงานในระบบโครงข่ายการจ่ายน้ำมาใช้ในการออกแบบ WDN โดยในการศึกษานี้ได้เลือกใช้แบบจำลอง EPANET ถูกคิดค้นโดย Lewis ในปี 2000 [10] ซึ่งมีข้อดีคือสามารถวิเคราะห์พฤติกรรมทางด้าน Hydraulic และ Water Quality กับโครงข่ายเส้นท่อภายใต้แรงดัน โครงข่ายประกอบด้วย ท่อ Node เครื่องสูบน้ำ วาล์ว และถังเก็บน้ำ หรืออ่างเก็บน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ยิ่งไปกว่านั้นแบบจำลอง EPANET สามารถหาอัตราการไหลในแต่ละเส้นท่อ แรงดันในแต่ละจุด ตลอดจนได้รับการออกแบบให้เป็นเครื่องมือวิจัยสำหรับการเพิ่มองค์ความรู้ในการเคลื่อนที่ของน้ำ และจุดสิ้นสุดของน้ำในระบบจ่ายน้ำ ตัวอย่างเช่น ออกแบบโปรแกรมสุ่มตัวอย่าง ปรับเทียบแบบจำลอง Hydraulic วิเคราะห์ Residual Chorine เป็นต้น

ในการวิเคราะห์ระบบจ่ายน้ำในพื้นที่กรณีศึกษา (พัทยา) เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในระดับประเทศและระดับนานาชาติ โดยทำการจำลองผ่าน EPANET เพื่อทำการวิเคราะห์หาความสามารถในการจ่ายน้ำให้กับเขตเมืองกรณีศึกษา โดยใช้วาล์วควบคุมไฟฟ้าปรับปริมาณการไหลของน้ำในแต่ละ WDN ให้เพียงพอต่อความต้องการการใช้น้ำขั้นต่ำสุด ทำการคำนวณหาปริมาณน้ำจ่ายที่ลดลงซึ่งแปรผันตรงกับปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตและการสูบและส่งน้ำประปา รวมถึงการคำนวนค่าการปลดปล่อย CO_2 ที่เกิดขึ้น

3. วิธีการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการทำวิจัย

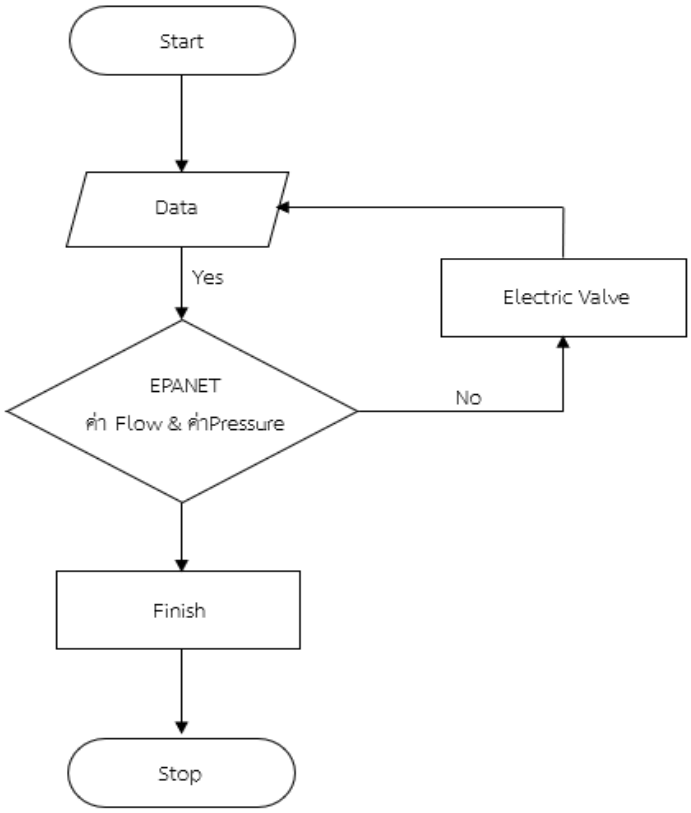
การวิจัยนี้สามารถแยกขั้นตอนการทำวิจัยออกเป็น 5 ขั้นตอนด้วยกัน (ดังแสดงในรูปที่ 1) คือ ขั้นตอนที่ 1 ทำการเก็บข้อมูล ความยาวท่อประปา ระดับความสูงในพื้นที่จ่ายน้ำ ความต้องการใช้น้ำ และแรงดันในเส้นท่อจ่ายน้ำไม่ให้สูงเกินความสามารถรับแรงดันของคุณสมบัติท่อจ่ายน้ำและไม่ให้ต่ำกว่าค่าแรงดันต่ำสุดของการประปาส่วนภูมิภาค (กปภ.) ในพื้นที่วิจัย ขั้นตอนที่ 2 แยก WDN 5 สถานีจ่ายน้ำออกจากกัน ทำการปรับวาล์วควบคุมไฟฟ้าทุกสถานีจ่ายน้ำ เริ่มต้นจาก 100% ลดลงถึงจุดที่แรงดันต่ำสุดที่ กปภ. ยอมรับและคำนวณปริมาณต่ำสุดของการปรับวาล์ว โดยใช้แบบจำลอง EPANET เป็นเครื่องมือวิเคราะห์แรงดันในเส้นท่อประปา ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาปริมาณจ่ายน้ำประปาจากน้ำประปาที่ไหลผ่านวาล์วที่ปรับลดของแต่ละสถานีจ่ายน้ำ 5 สถานี โดยแยกตรวจสอบปริมาณจ่ายน้ำประปาของแต่ละสถานีออกจากกัน ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหาค่าไฟฟ้าที่ลดลงจากต้นทุนการผลิตน้ำประปา (ค่าไฟฟ้าต่อลูกบาศก์เมตร) และนำมาเปรียบเทียบกับน้ำประปาที่ผลิตก่อนมีขั้นตอนปรับลดปริมาณจ่ายน้ำประปา และขั้นตอนที่ 5 นำปริมาณไฟฟ้าที่ลดลงจากการผลิตน้ำประปามาคำนวณหาปริมาณการปลดปล่อย CO_2 ที่ลดลง



รูปที่ 1 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

3.2 การจำลองระบบจ่ายน้ำประปา

ในการจำลองระบบจ่ายน้ำประปาเริ่มต้นจากใส่ข้อมูลทางด้านปริมาณการจ่ายน้ำประปา ความยาวท่อ ขนาดท่อ ระดับความสูงต่ำของพื้นที่จ่ายน้ำประปา แยก WDN จากแผนที่ GIS เริ่มทำการปรับวาล์วจ่ายน้ำประปาที่สถานีจ่ายน้ำแยกแต่ละสถานี ลดปริมาณการจ่ายน้ำประปาโดยใช้ EPANET ทำการวิเคราะห์เพื่อหาแรงดันในเส้นท่อจุดใดจุดหนึ่งต่ำสุดที่ กปภ. ยอมรับและทำการหาปริมาณการจ่ายน้ำประปาที่ลดลง รูปที่ 2 แสดงการจำลองระบบจ่ายน้ำประปาในการศึกษานี้



รูปที่ 2 การจำลองระบบประปาใน EPANET

EPANET เป็นซอฟต์แวร์ที่จำลองพฤติกรรมของเครือข่ายท่อน้ำภายใต้แรงกดดันระหว่างการขยายตัว เครือข่ายประกอบด้วยท่อโนด (Node) หรือท่อสองท่อขึ้นไปมาบรรจบกัน เครื่องสูบ วาล์ว และถังเก็บน้ำหรืออ่างเก็บน้ำ อัตราการไหลของท่อแต่ละท่อสามารถกำหนดได้ผ่าน EPANET นอกจากนี้ยังสามารถวัดแรงดันน้ำและระดับน้ำในถังแต่ละ Node โดย EPANET มีความสามารถในการใช้งานการวิเคราะห์ที่หลากหลาย เช่น ระบบการจ่ายน้ำ EPANET สามารถช่วยในการวิเคราะห์ทางเลือกต่างๆ สำหรับกลยุทธ์การจัดการคุณภาพน้ำเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วทั้งระบบ รวมถึง

การเปลี่ยนแหล่งน้ำ การปรับเปลี่ยนตารางเวลาของเครื่องสูบน้ำ การเติมน้ำในถัง และการกำหนดท่อที่ต้องทำความสะอาด เป็นต้น EPANET จัดเตรียมสภาพแวดล้อมสำหรับการปรับเปลี่ยนอินพุตของเครือข่าย ดำเนินการจำลองคุณภาพน้ำในระบบไฮดรอลิก และแสดงข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ รวมถึงแผนที่ เครือข่ายมีรหัสสีและมาพร้อมกับตารางข้อมูลและแผนภูมิอนุกรมเวลา [11]

3.3 สมการที่เกี่ยวข้อง

สมการทางชลศาสตร์ของการไหลในท่อเป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน คือ สมดุลของมวล พลังงาน และสมดุลโมเมนตัม การคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางท่อแสดงในสมการ (1)

$$Q = AV \tag{1}$$

โดยที่ Q = Quantitative flow rate (m^3/s)

A = Cross-sectional area of the flow (m^2)

V = Average velocity of flow (m/s)

สมการการสูญเสียหลักที่เกิดจากแรงเสียดทานในเส้นท่อคำนวณโดยใช้สูตรของ Hazen-Williams แสดงได้ในสมการ (2)

$$h_f = \frac{10.66Q^{1.85}}{C^{1.85}D^{4.87}} \times L \tag{2}$$

โดยที่ h_f = Friction loss (m)

L = Length of pipe (m)

Q = Quantitative flow rate (m^3/s)

C = Quantitative flow rate (m^3/s)

D = Inside diameter (m)

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อ (C) ของสูตร Hazen-Williams สำหรับท่อประเภทต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสำหรับท่อประเภทต่าง ๆ

Pipe material	C
Welded steel pipe	140
Steel pipe (long service life)	100
New cast iron pipe	130
Cast iron pipe lasts	100
Cement	140
Asphalt paving	140
Asbestos cement pipe	130
Plastic pipe	150

การสูญเสียรอง (Secondary loss) คำนวณโดยใช้สูตรของ Hazen-Williams ดังแสดงในสมการที่ (3) การสูญเสียทั้งหมดที่น้ำไหลผ่านเส้นท่อ แสดงในสมการที่ (4)

$$h_m = \frac{kv^2}{2g} \tag{3}$$

โดยที่ h_m = Secondary loss (m)

k = Coefficient of loss

v = Flow velocity (m/s)

g = Acceleration due to gravity (m/s^2)

$$\text{Total head loss} = h_f + h_m \tag{4}$$

การคำนวณปริมาณการปลดปล่อย CO_2 ที่เกิดขึ้นจากการใช้ไฟฟ้า [12] สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5)

$$GHG_{(CO2\ eq)} = A \times EF \tag{5}$$

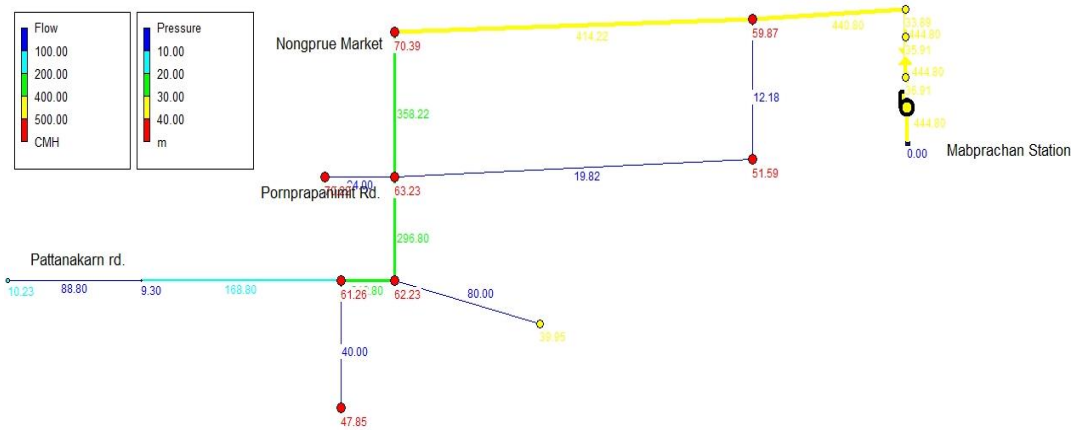
โดยที่ $GHG_{(CO2\ eq)}$ = ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อย (CO_2eq)

A = ข้อมูลกิจกรรมจากการใช้ไฟฟ้า (kWh)

EF = ค่าสัมประสิทธิการปลดปล่อย CO_2 ($kgCO_2eq/kWh$)

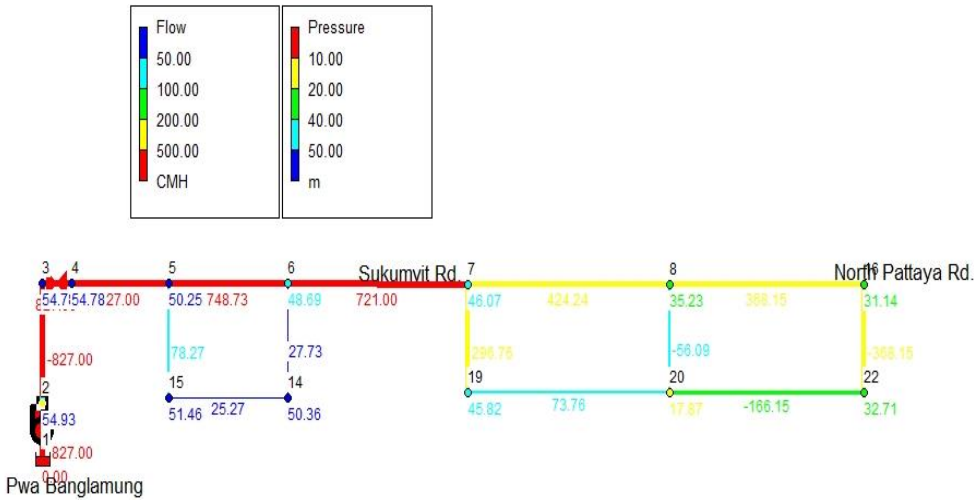
3.4 กรณีศึกษาเมืองพัทยา

ในการศึกษานี้ได้ใช้เมืองพัทยาเป็นกรณีศึกษา พัทยามีพื้นที่ประมาณ 22.2 ตารางกิโลเมตร ปริมาณการใช้น้ำต่อวันคือ 300,000,000 ลิตร [13] การศึกษานี้ใช้แบบ WDN ของการประปาศึกษาสถานีจ่ายน้ำ 5 แห่ง สถานีจ่ายน้ำเหล่านี้ครอบคลุมทั่วเมืองพัทยา รวมถึงอาคารขนาดใหญ่ เช่น โรงแรมและห้างสรรพสินค้า โดยได้แสดงตัวอย่างแผนที่เส้นส่งน้ำของแหล่งจ่ายน้ำ 2 สถานี ได้แก่ สถานีจ่ายน้ำมาบประชันและสถานีจ่ายน้ำบางละมุง (ดังรูปที่ 3 และ 4) โดยสมมุติฐานที่ใช้ในการจำลองผ่าน EPANET เพื่อหาค่าแรงดันน้ำ (Pressure) ในเส้นท่อจ่ายน้ำและปริมาณการจ่ายน้ำ (Flow) ประกอบด้วย (1) ค่าต่ำสุดที่ยอมรับได้จากแรงดันน้ำไม่ควรต่ำกว่า 5 เมตร และ (2) ค่าแรงดันน้ำในเส้นท่อสูงสุดไม่ควรเกิน 65 เมตรซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่วัสดุและอุปกรณ์ประกอบท่อสามารถทนรับแรงดันได้



รูปที่ 3 สถานีจ่ายน้ำมาบประชัน

สถานีจ่ายน้ำมาบประชัน (รูปที่ 3) เป็นสถานีจ่ายน้ำที่ใช้ระบบจ่ายน้ำด้วยเครื่องสูบส่งน้ำแรงดัน อัตราการจ่ายน้ำผ่านประตูน้ำเส้นสีเหลือง 440.80 m^3/hour ผ่าน Node ที่แรงดัน 59.87 m อัตราการจ่ายน้ำ 414.22 m^3/hour ผ่าน Node (Nongprue Market) ที่แรงดัน 70.39 m เนื่องจากการจ่ายน้ำสถานีมาบประชันเป็นพื้นที่ที่มีเส้นชันความสูงแตกต่างกันมาก ครอบคลุมพื้นที่บริเวณชุมชนอ่างเก็บน้ำมาบประชัน ตลาดหนองปรือ และบริเวณถนนพัฒนาการ ซึ่งบริเวณดังกล่าวพฤติกรรมการใช้น้ำประปาของประชากรในพื้นที่นั้นส่วนมากจะเป็นบ้านพักอาศัยและร้านค้าขนาดเล็ก โดยมีอัตราน้ำจ่ายเข้าพื้นที่ 600 m^3/hour มีจำนวนผู้ใช้น้ำที่รับผิดชอบในพื้นที่ประมาณ 15,000 ราย



รูปที่ 4 สถานีจ่ายน้ำบางละมุง

สถานีจ่ายน้ำบางละมุง (รูปที่ 4) เป็นสถานีจ่ายน้ำที่ใช้ระบบจ่ายน้ำด้วยเครื่องสูบส่งน้ำแรงดันสูง อัตราการจ่ายน้ำเส้นสีแดง Node 5 แรงดัน 50.25 m อัตราการไหล 748.73 m3/hour ผ่าน Node 6 ที่แรงดัน 46.07 m จ่ายผ่านถึง Node 7 ด้วยอัตราการจ่ายน้ำ 721m^3/hour ที่แรงดัน 70.39 m สถานีจ่ายน้ำนี้ ครอบคุลมพื้นที่ชุนชนบ้านบางละมุง ชุมชนนาเกลือ และบริเวณชายหาดพัทยาเหนือ พื้นที่ที่รับน้ำจากสถานีจ่ายน้ำบางละมุงนั้นส่วนใหญ่นั้นเป็นพื้นที่ติดชายหาดทำให้มีโรงแรมและคอนโดมิเนียมเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากเพื่อรองรับนักท่องเที่ยวที่เข้ามาพักอาศัย ส่งผลให้มีอัตราความต้องการการใช้น้ำสูงขึ้นตามไปด้วย โดยมีอัตราน้ำจ่ายเข้าพื้นที่ 800 m^3/hour จำนวนผู้ใช้น้ำที่รับผิดชอบในพื้นที่จำนวน 8,500 ราย

จากการศึกษาการจ่ายน้ำพื้นที่จ่ายน้ำเมืองพัทยาทั้ง 5 สถานี ซึ่งมีผู้ใช้น้ำรวมเป็นจำนวน 43,700 ราย มีปริมาณการจ่ายน้ำ 3,850 m^3/hour จากข้อมูลพบว่าจำนวนผู้ใช้น้ำไม่สัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณการจ่ายน้ำ เช่น สถานีจ่ายน้ำมาบประชัน อัตราน้ำจ่ายเข้าพื้นที่ 600 m^3/hour มีจำนวนผู้ใช้น้ำจำนวน 15,000 ราย เปรียบเทียบกับ สถานีจ่ายน้ำบางละมุง อัตราน้ำจ่ายเข้าพื้นที่ 800 m^3/hour จำนวนผู้ใช้น้ำจำนวน 8,500 ราย เนื่องจากสถานีจ่ายน้ำบางละมุงจ่ายน้ำให้ผู้ใช้น้ำรายใหญ่เช่นโรงแรมและคอนโดมิเนียม

4. ผลการศึกษา

ผลการศึกษาระบบการจ่ายน้ำทั้ง 5 สถานี ก่อนทำการติดตั้งวาล์วควบคุมการจ่ายน้ำเปรียบเทียบกับหลังการติดตั้งวาล์วควบคุมการจ่ายน้ำ พบว่าค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลในเครือข่ายการจ่ายน้ำประปาและแรงดันแสดงไว้ในตารางที่ 2 รวมถึงปริมาณการปลดปล่อย CO_2

ในสถานีจ่ายน้ำประปาแต่ละแห่ง เนื่องจากแรงดันที่ปลายท่อต้องไม่ต่ำกว่าแรงดันมาตรฐานที่ กปภ. กำหนดไว้ (แรงดันน้ำต่ำสุดคือ 5 m และแรงดันน้ำสูงสุดคือ 65 m) หลักการและเงื่อนไขปรับวาล์วควบคุมใช้วิธีเปิดวาล์ว 100% และปิดวาล์วตามระบบควบคุมวาล์วที่กำหนด โดยผู้ผลิตวาล์วกำหนดปริมาณน้ำไหลผ่านวาล์ว มีความสัมพันธ์ระหว่างการปิดบานวาล์วและ %น้ำไหลผ่านวาล์ว และใช้ข้อกำหนดแรงดัน (แรงดันน้ำต่ำสุดคือ 5 m และแรงดันน้ำสูงสุดคือ 65 m) เพื่อควบคุมแรงดันน้ำทุก Node ของแต่ละสถานีจ่ายน้ำ ด้วยข้อกำหนดดังกล่าวการจำลองโดยใช้ EPANET ทำให้สามารถระบุพื้นที่จุดเชื่อมต่อแต่ละจุดและเปรียบเทียบแรงดันและอัตราการไหลของแต่ละจุดเชื่อมต่ออื่น ๆ ได้ สามารถช่วยให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียมีข้อมูลช่วยในการตัดสินใจเลือกใช้รูปแบบที่เหมาะสมต่อปริมาณความต้องการการใช้น้ำของแต่ละพื้นที่ได้

ตารางที่ 2 สรุปการจ่ายน้ำของ 5 สถานี

	Model	Flow in (m^3/hr)	Pressure (m)	Water (m^3/day)	Electricity (kWh/day)	Open valve (%)	CO_2 emissions ($kgCO_2eq$/day)
มาบประชัน							
Existing system	Q800H30	800	30	19,200	2,143	100	1,247
FCV Q560	Q560H30	560	30	13,440	1,500	70	873
บางละมุง							
Existing system	Q1300H45	1300	45	31,200	3,482	100	2,027
FCV Q830	Q830H45	830	45	19,920	2,223	64	1,294
ชากนอก							
Existing system	Q500H45	500	45	12,000	1,339	100	779
FCV Q250	Q250H45	250	45	6,000	670	50	390
นาจอมเทียน							
Existing system	Q1100H20	1100	20	26,400	2,946	100	1,715
FCV Q1020	Q1020H45	1020	20	24,480	2,732	93	1,590
ชัยพรวิถี							
Existing system	Q1100H40	1100	40	26,400	2,946	100	1,715
FCV Q610	Q610H40	610	40	14,640	1,634	56	951

หมายเหตุ: ค่าพลังงานไฟฟ้าข้อมูลจากการคำนวณการใช้ไฟฟ้าต่อหน่วยน้ำ 1 m^3 ของการประปาส่วนภูมิภาค

โดยจากผลการศึกษาพบว่า ก่อนการปรับวาล์วการจ่ายน้ำเข้าพื้นที่สถานีมาบประชัน สถานีบางละมุง สถานีชากนอก สถานีนาจอมเทียน และสถานีชัยพรวิถี มีการจ่ายน้ำเข้าพื้นที่มีปริมาณการใช้น้ำเท่ากับ 19,200 m^3/day 31,200 m^3/day 12,000 m^3/day 26,400 m^3/day และ 26,400 m^3/day ตามลำดับ จากนั้นเมื่อทำการปรับวาล์วการจ่ายน้ำเข้าพื้นที่ให้เหมาะสมกับความต้องการการใช้น้ำพบว่า มีปริมาณน้ำที่เข้าพื้นที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญโดยมีปริมาณ 13,440 m^3/day 19,920 m^3/day 6,000 m^3/day 24,480 m^3/day และ14,640 m^3/day ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณการจ่ายน้ำเข้าพื้นที่ลดลงอย่างชัดเจนถึง 30-40% จากระบบจ่ายน้ำแบบเดิม ยกเว้นสถานีจ่ายน้ำนาจอมเทียนเพราะบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่ราบติดชายทะเล และมีระดับความสูงที่สูงกว่าพื้นที่รับน้ำทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องสูบและส่งน้ำแรงดันสูง ซึ่งเมื่อมีการปรับวาล์วการจ่ายน้ำเข้าพื้นที่ก่อนและหลังจุดรับน้ำปลายสายที่ไกลที่สุดจึงไม่มีผลต่อแรงดันขั้นต่ำในการใช้งาน

นอกจากนั้นแล้วผลการศึกษาระหว่างระบบเดิม (Existing System) กับระบบที่ปรับวาล์วจ่ายน้ำยังพบว่า (1) สถานีมาบประชันมีปริมาณน้ำประปาลดลง 5,760 m^3/day การปลดปล่อย CO_2 ลดลง 374 $kgCO_2eq$ (2) สถานีบางละมุงมีปริมาณน้ำประปาลดลงจาก 31,200 m^3/day เหลือ 19,920 m^3/day ในขณะที่การปลดปล่อย CO_2 ลดลงจาก 2,027 $kgCO_2eq$ เหลือ 1,294 $kgCO_2eq$ (3) น้ำประปาของสถานีชากนอกลดลง 6,000 m^3/day ในขณะที่การปลดปล่อย CO_2 ลดลง 389 kg CO_2eq (4) น้ำประปาของสถานีนาจอมเทียนลดลงจาก 26,400 m^3/day เหลือ 24,480 m^3/day ขณะที่การปลดปล่อย CO_2 ลดลงจาก 1,715 $kgCO_2eq$ เหลือ 1,590 $kgCO_2eq$ และ (5) การประปาของสถานีชัยพรวิถีลดลง 11,760 m^3/day ในขณะที่การปลดปล่อย CO_2 ลดลง 764 $kgCO_2eq$ จากการวิเคราะห์รวมทั้ง 5 สถานีพบว่าช่วยลดปริมาณการจ่ายน้ำ 36,720 m^3/day ส่งผลให้ลดการใช้ไฟฟ้า 4,097 kWh/day และลดการปลดปล่อย CO_2 จำนวน 2,385 $kgCO_2eq$/day และยังเชื่อมโยงถึงการใช้น้ำดิบที่นำมาผลิตน้ำประปาลดลงไม่น้อยกว่า 13,402,800 m^3/year

5. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาวิเคราะห์การเชื่อมโยงพลังงานและน้ำโดยวิธีการควบคุมระบบจ่ายน้ำประปา โดยวิธีการปรับวาล์วจ่ายน้ำนั้นส่งผลต่อการลดปริมาณการผลิตน้ำประปา และลดการใช้น้ำดิบจากแหล่งกักเก็บน้ำบนผิวดินในเขตพื้นที่เมืองพัทยา อีกทั้งยังทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลงตามไปด้วย ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณการปลดปล่อย CO_2 ที่ลดลง และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ดีขึ้นต่อการใช้น้ำดิบสำหรับการผลิตน้ำประปาลดลง จากการศึกษาพบว่าหากสามารถควบคุมการจ่ายน้ำจากโครงข่ายระบบจ่ายน้ำของเมืองพัทยาได้โดยการปรับวาล์วควบคุมการจ่ายน้ำของทั้ง 5 สถานีในแบบจำลองทำให้สามารถลดปริมาณจ่ายน้ำประปาทำให้ปริมาณการผลิตน้ำประปาลดลง จากเดิมผลิตเพื่อจ่ายน้ำรวม 5 สถานีจำนวน 115,200 m^3/day คงเหลือการผลิต

78,480 m^3/day ปริมาณการใช้ไฟฟ้าอยู่ที่ 12,856 kWh/day และการปลดปล่อย CO_2 ที่เกี่ยวข้องกับพลังงานอยู่ที่ 7,483 kg CO_2eq/day ผลการวิจัยพบว่าการปรับวาล์วที่แต่ละสถานีจาก 5 สถานีจะควบคุมอัตราการไหลตามความต้องการน้ำประปาส่งผลให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อวันอยู่ที่ 8,759 kWh/day และการปลดปล่อย CO_2 ที่เกี่ยวข้องกับพลังงานอยู่ที่ 5,098 kgCO_2eq/day จากการศึกษาทำให้สามารถเลือกมาตรการด้านพลังงานในระบบจ่ายน้ำประปาทั้ง 5 สถานีในเขตพื้นที่เมืองพัทยาและสามารถใช้เป็นต้นแบบของความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ในการบริหารจัดการพลังงานในระบบจ่ายน้ำประปาใช้วิธีควบคุมระบบจ่ายน้ำประปาด้วยการปรับวาล์วจ่ายน้ำ โดยควบคุมแรงดันน้ำประปาในแต่ละ Node โดยใช้ค่าเกณฑ์มาตรฐานการประปาในการควบคุม (แรงดันน้ำต่ำสุดคือ 5 m และแรงดันน้ำสูงสุดคือ 65 m) ค่าแรงดันต่ำสุดสามารถจ่ายน้ำได้สูงจากระดับท่อจ่ายไม่เกิน 5 เมตร และดันสูงสุดไม่เกิน 65 เมตรจากระดับท่อจ่ายน้ำกำหนดจากผนังท่อรับแรงดันได้สูงสุด ส่งผลต่อการลดปริมาณการจ่ายน้ำประปาและส่งผลต่อการลดปริมาณการผลิตน้ำประปา อีกทั้งยังเป็นแนวทางให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหรือหน่วยงานท้องถิ่นนำหลักการวิเคราะห์และการสร้างแบบจำลอง WDN ในระบบจ่ายน้ำประปานำไปใช้เป็นประโยชน์ต่อนโยบายทางด้านพลังงานได้ในอนาคต เพื่อเปลี่ยนผ่านสังคมไปสู่สังคมคาร์บอนต่ำและมีความยั่งยืนในการใช้ทรัพยกรธรรมชาติ ส่งผลให้เกิดความยั่งยืนในเมืองท่องเที่ยวขนาดใหญ่ตามไปด้วย

References

[1] Cao T, Wang S, Chen B. The energy-water nexus in interregional economic trade from both consumption and production perspectives. Energy Procedia 2018;152:281-6.

[2] Jin P, Fang D, Chen B. Water-energy nexus based on modified multiregional input-output model within China. Energy Procedia 2019;158:4092-8.

[3] Xu W, Xie Y, Cai Y, Ji L, Wang B, Yang Z. Environmentally-extended input-output and ecological network analysis for Energy-Water-CO_2 metabolic system in China. Science of the Total Environment 2021;758:143931.

[4] Ramos HM, Vieira F, Covas DI. Energy efficiency in a water supply system: Energy consumption and CO_2 emission. Water Science Engineering 2010;3(3):331-40.

[5] Phetsasithorn A, editors. Software development for energy assessments in water networks. Proceedings of the 26th National Convention on Civil Engineering; 2021 Jun 23-25; Phitsanulok, Thailand. Bangkok: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang; 2021.

[6] Ramos HM, Morillo JG, Rodríguez Diaz JA, Carravetta A, McNabola A. Sustainable water-energy nexus towards developing countries' water sector efficiency. Energies 2021;14(12):3525.

[7] Aly SM, Awad ME, Mousa MA. Design of flexible and sustainable water networks. Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT) 2021;12(13): 6499-506.

[8] Castro-Gama M, Pan Q, Lanfranchi EA, Jonoski A, Solomatine DP. Pump scheduling for a Large Water Distribution Network. Milan, Italy. Procedia Engineering 2017;186:436-43.

[9] Engström RE, Howells M, Destouni G, Bhatt V, Bazilian M, Rogner HH. Connecting the resource nexus to basic urban service provision – with a focus on water-energy interactions in New York City. Sustainable Cities and Society 2017;31:83-94.

[10] EPANET. EPANET 2.2 User's Manuals [Internet]. 2020 [cited 2020 Aug 12]. Available from: https://epanet22.readthedocs.io/en/latest/.

[11] Abdy Sayyed MAH, Gupta R, Tanyimboh TT. Modelling pressure deficient water distribution networks in EPANET. Procedia Engineering 2014;89:626-31.

[12] Thailand Greenhouse Gas Management Organization. Calculation for emission factor of electricity generation and electricity consumption [Internet]. 2017 [cited 2022 Aug 1]. Available from: https://ghgreduction.tgo.or.th/th/tver-method/tver-tool/energy/item/483-calculation-for-emission-factor-of-electricity-generation-and-electricity-consumption.html. (In Thai)

[13] Report of PCY [Internet]. Translation of Pattaya City yearly report 2019. 2019 [cited 2020 Jan 22]; [138 about screen]. Available from: https://tinyurl.com/8bhk2cea

ประวัติผู้เขียนบทความ

สุรศักดิ์ จันทร์ฉาย นักศึกษาระดับปริญญาเอก วิทยาลัยนวัตกรรมเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ สาขาการจัดการด้านวิศวกรรม มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ที่อยู่110/1-4 ถนนประชาชื่น เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210

E-mail: surasak_69@yahoo.com

งานวิจัยที่สนใจ: การวิเคราะห์และการสร้างแบบจำลองระบบพลังงาน การปลดปล่อยคาร์บอน และเศรษศาสตร์วิศวกรรม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์ ผู้อำนวยการหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิตย์ สาขาการจัดการทางวิศวกรรม วิทยาลัยนวัตกรรมเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ที่อยู่ 110/1-4 ถนนประชาชื่น เขตหลักสี กรุงเทพมหานคร 10210

E-mail: vorarat@dpu.ac.th

งานวิจัยที่สนใจ: การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต และการบำรุงรักษาทางวิศวกรรม

รองศาสตราจารย์ ดร. อำนาจ ผดุงศิลป์ อาจารย์ประจำหลักสูตรเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่อยู่ 126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

E-mail: aumnad.phdu@kmutt.ac.th

งานวิจัยที่สนใจ: การวิเคราะห์และการสร้างแบบจำลองระบบพลังงาน ประสิทธิภาพของสภาพอากาศภายในอาคาร และการปลดปล่อยคาร์บอน

Article History:

Received: March 29, 2023

Revised: July 30, 2023

Accepted: August 9, 2023