

การจำลองและการประเมินสมรรถนะด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์  
ของระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริด สำหรับการจัดการพลังงานบนเกาะฮัง จังหวัดกระบี่  
The Modeling and Techno-Economics Performance Evaluation of a  
Microgrid Power Generation System for Energy Management on Hang Island  
of Krabi in Thailand

เยาวพา นาเกลือ (Yoawapa Naklua)<sup>1\*</sup> ดร.จอมภพ แวศักดิ์ (Dr.Jompob Waewsak)\*\*

วีระศักดิ์ ไชยชาญ (Weerasak Chaichan)\*\*\* ดร.รวมพร นิคม (Dr.Ruamporn Nikom)\*\*\*\*

ดร.โชคชัย เหมือนมาศ (Dr.Chokchai Mueanmas)\*\*\*\* Dr.Yves Gagnon\*\*\*\*\*

(Received: January 7, 2025; Revised: April 21, 2025; Accepted: April 24, 2025)

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการจำลองและการประเมินสมรรถนะด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดสำหรับเกาะฮัง จังหวัดกระบี่ ประเทศไทย ซึ่งเป็นพื้นที่ห่างไกลจากสายส่งไฟฟ้าหลักและขาดแคลนระบบไฟฟ้าที่มีเสถียรภาพ โดยใช้โปรแกรม HOMER Pro® (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources Pro®) สำหรับประเมินสมรรถนะด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ โดยรองรับความต้องการโหลดไฟฟ้าของประชากรบ้านเกาะฮังทั้งหมด 161 ครัวเรือน ซึ่งมีความต้องการโหลดไฟฟ้ารวม (Load demand) อยู่ที่ 3,664 กิโลวัตต์ต่อวัน และความต้องการโหลดไฟฟ้าสูงสุดต่อวัน (Peak load) ที่ 426 กิโลวัตต์ต่อปี โดยกำหนดการจำลองระบบเป็น 2 รูปแบบหลักคือ ระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานที่ทำงานอย่างอิสระโดยไม่เชื่อมต่อกับโครงข่ายสายส่งไฟฟ้าหลัก (Stand-alone หรือ Off-grid) และในรูปแบบที่เชื่อมต่อกับโครงข่ายสายส่งไฟฟ้าหลัก (Grid-connected) ผลการวิจัยพบว่าแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดของระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานประเภท Stand-alone ประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดกำลังผลิต 4,025 กิโลวัตต์สูงสุด และกังหันลมผลิตไฟฟ้า ขนาดกำลังผลิต 250 กิโลวัตต์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ขนาด 470 กิโลวัตต์ ระบบเก็บพลังงานแบตเตอรี่ ขนาด 2,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง และอุปกรณ์แปลงพลังงานไฟฟ้าขนาด 3,280 กิโลวัตต์ โดยระบบนี้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด คือ มีค่าต้นทุนปัจจุบันสุทธิ (NPC) ต่ำสุดที่ 20.4 ล้านบาทหรือสุทธิต่อโครงการและมีค่าต้นทุนต่อหน่วยพลังงาน (LCOE) ต่ำสุดที่ 0.5267 บาท/หน่วย

<sup>1</sup>Corresponding author: joomy.yoawapa@gmail.com

\*นิสิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยทักษิณ (วิทยาเขตพัทลุง)

Student in Master of Energy Engineering Program, Faculty of Engineering, Thaksin University (Phatthalung Campus)

\*\*รองศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ (วิทยาเขตพัทลุง)

Associate Professor, Department of Energy Engineering, Faculty of Engineering, Thaksin University (Phatthalung Campus)

\*\*\*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย (วิทยาเขตตรัง)

Assistant Professor, Department of Electrical engineering, Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya (Trang Campus)

\*\*\*\*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ (วิทยาเขตพัทลุง)

Assistant Professor, Department of Energy Engineering, Faculty of Engineering, Thaksin University (Phatthalung Campus)

\*\*\*\*\*Professor, Université de Moncton Edmundston, New Brunswick, Canada

สหรัฐอเมริกาโลวัตต์ชั่วโมง ในด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ระบบนี้มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 714.8 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยไฟฟ้า (EF) 0.5419 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง และแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดของระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานประเภท Grid-connected ประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดกำลังผลิตที่ 3,664 กิโลวัตต์สูงสุด เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ขนาด 470 กิโลวัตต์ ระบบเก็บพลังงานแบบแบตเตอรี่ ขนาด 1,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง และอุปกรณ์แปลงพลังงานไฟฟ้าขนาด 1,900 กิโลวัตต์ โดยมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบมากที่สุด คือมีค่า NPC ต่ำสุดที่ 2.73 ล้านเหรียญสหรัฐต่อโครงการ มีค่า LCOE ต่ำสุดที่ 0.1532 เหรียญสหรัฐต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง และมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 405.2 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี คิดเป็นค่า EF 0.3072 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง โดยค่า EF ที่ได้จากทั้งสองระบบ ถือว่ามีปริมาณที่ใกล้เคียงหรือน้อยกว่าเมื่อเทียบกับค่า EF ของระบบผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งประเทศไทย ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 0.5082 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

## ABSTRACT

This paper presents modeling and techno-economics performance evaluation of a microgrid power generation system for energy management on Hang Island, Krabi Province, Thailand, which is located in a remote area and far away from high-voltage transmission lines as well as lacks of electric system stability. HOMER Pro® (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources Pro®) was used for designing and simulating system, technical parameters and economics. The need of electricity consumption of people in Hang Island, a total of 161 households, with the highest effectiveness load demand of 3,664 kW/day and the peak electrical load per day of 426 kW. The model was categorized into 2 modes: stand-alone and grid-connected hybrid renewable energy microgrid power generation systems. The optimum result of the stand-alone hybrid renewable energy microgrid power generation system consisted of a solar PV power with a 4,025 kWp, a 250-kW wind turbine generator, a 470-kW diesel generator with a 2,000-kWh battery energy storage system (BESS), and a 3,280-kW inverter. The net present cost (NPC) was 20.4 million US\$/project with the lowest LCOE of 0.5267 US\$/kWh while the CO<sub>2</sub> emission was 714.8 tonnesCO<sub>2</sub>e/year that the emission factor (EF) for this power generation system is 0.5419 kgCO<sub>2</sub>e/kWh. For the grid-connected hybrid renewable energy microgrid power generation system, the optimum system comprised of a 3,664 kWp solar PV, a 470-kW diesel generator, a 1,000 kWh BESS, and a 1,900-kW inverter. This alternative solution had the NPC of 2.73 million US\$/project, a minimum LCOE of 0.1532 US\$/kWh and CO<sub>2</sub> emission of 405.2 tonnesCO<sub>2</sub>e/year that the emission factor (EF) for this power generation system is 0.3072 kgCO<sub>2</sub>e/kWh. The EF values from both systems are comparable to or lower than the national average EF in Thailand, which is 0.5082 kg CO<sub>2</sub>e/kWh.

**คำสำคัญ:** ไมโครกริด ไฮบริด พลังงานหมุนเวียน

**Keywords:** Microgrid, Hybrid, Renewable energy

## บทนำ

พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีวิตและการขับเคลื่อนการดำเนินกิจกรรมทุกภาคส่วน ซึ่งมีปริมาณความต้องการใช้งานเพิ่มสูงขึ้นทุกปี พลังงานหมุนเวียนจึงถูกสนใจนำมาใช้งานสำหรับการผลิตไฟฟ้าเนื่องจากเป็นพลังงานที่สะอาดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จากรายงานสถานะพลังงานหมุนเวียนของโลก ในปี พ.ศ. 2566 พลังงานหมุนเวียนสามารถผลิตไฟฟ้าทั่วโลกได้ทั้งหมด 30.3% ซึ่งใกล้เคียงกับปี พ.ศ. 2565 (29.4%) และเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2554 ถึง 19% [1] ดังนั้น ผู้วิจัยได้ศึกษาระบบไมโครกริด (Microgrid) ที่ประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน (Hybrid) ทำงานร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานเพื่อการจัดการพลังงานไฟฟ้า จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น การประยุกต์ใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดแบบไฮบริดจากพลังงานหมุนเวียนบนเกาะสมุย ภาคใต้ของประเทศไทย [2] การกำหนดขนาดระบบผลิตไฟฟ้าแบบไฮบริดที่แยกตัวเป็นอิสระจากโครงข่ายไฟฟ้าหลักบนเกาะม่อนปุระ ประเทศบังกลาเทศ [3] หรือการจำลองและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบพลังงานหมุนเวียนแบบไฮบริดนอกเขตสายส่งสำหรับการผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ชนบทของประเทศอินเดีย [4] พบว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าในพื้นที่ชนบทเหล่านี้มีอุปสรรคต่าง ๆ เช่น การส่งจ่ายไฟฟ้าที่ยากลำบากในภูมิประเทศที่ทุรกันดาร เป็นหุบเขาหรือเกาะที่ห่างไกล ประชากรค่อนข้างน้อย ตลอดจนรายได้ของประชากรที่ไม่มีความพร้อมเพียงพอ [4] ดังนั้น ระบบไมโครกริดจึงเป็นระบบไฟฟ้าชนิดแรงดันต่ำหรือแรงดันระดับกลางขนาดเล็ก ที่สามารถทำหน้าที่บริหารจัดการการผลิตและการใช้ไฟฟ้าให้เป็นไปอย่างเหมาะสม โดยเน้นการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้งานเองภายในระบบเป็นหลักและใช้ระบบโครงข่ายไฟฟ้าหลักเพื่อเสริมความมั่นคงของระบบให้ยั่งยืน [5]

ผู้วิจัยได้เลือกเกาะฮัง ตำบลเกาะศรีบอยา อำเภอนือคล่อง จังหวัดกระบี่ เป็นพื้นที่ศึกษา เนื่องจากบ้านเกาะฮังมีจำนวนประชากรค่อนข้างน้อย เป็นการอยู่อาศัยของผู้น้องถิ่น ไม่ใช่พื้นที่เกาะท่องเที่ยว และยังคงไม่มีการพิจารณาเดินระบบสายส่งไฟฟ้าเข้ามา จากการสำรวจพบว่า ศักยภาพของพลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสมที่สุดในเกาะฮังคือ พลังงานแสงอาทิตย์ โดยได้รับรังสีอาทิตย์สูงสุดในช่วง 18-20 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน และมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศอยู่ที่ 17.6 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน [6] และจากผลการตรวจวัด ใน ปี พ.ศ. 2563 มีค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีที่ 15.31 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน หรือ 4.25 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน [7] พลังงานอีกประเภทคือพลังงานลม โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ มีอัตราเร็วลมเฉลี่ย 1.68 – 3.08 เมตรต่อวินาที ที่ระดับความสูง 10 เมตรเหนือพื้นดิน และกำลังลมสูงสุด อยู่ที่ 18.2 เมตรต่อวินาที ที่ระดับความสูง 10 เมตรเหนือพื้นดิน ซึ่งเป็นลมทิศตะวันตกก่อนไปทางเหนือเล็กน้อยในเดือนมิถุนายน [8] ซึ่งกำลังลมเหล่านี้สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยอาศัยกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่มีแนวโน้มได้รับความนิยมในการใช้งานมากขึ้น เพราะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าพลังงานสิ้นเปลืองทั่วไป [9] เพื่อเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนในระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริด

HOMER Pro® (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources Pro®) ได้รับการพัฒนาโดย National Renewable Energy Laboratory (NREL) ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อการออกแบบและจำลองระบบผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด รวมถึงประเมินสถานการณ์ด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบ โดยสามารถออกแบบขนาด จำนวน ปริมาณ ตามความต้องการใช้งานโหลดไฟฟ้าสำหรับระบบพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน และวิเคราะห์ค่าเศรษฐศาสตร์ของเทคโนโลยีระบบไฟฟ้า นอกโครงข่ายและโครงข่ายไฟฟ้า [10] รวมถึงความเป็นไปได้ของระบบ จากแหล่งพลังงานร่วมกับอุปกรณ์ด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ให้เกิดสมดุลพลังงาน และรับส่งไฟฟ้าหรือความร้อนที่ระบบสามารถรองรับความต้องการใช้งานโหลดไฟฟ้าได้ [11] ให้ครอบคลุมประชากรบ้านเกาะฮังทั้งหมด 161 ครัวเรือนอย่างเพียงพอและมีประสิทธิภาพ แม้ว่าในอนาคต พื้นที่เกาะฮังแห่งนี้อาจได้รับการสนับสนุนสายส่งไฟฟ้าหลักเข้ามา แต่การใช้พลังงานหมุนเวียนก็ช่วยแก้ไขปัญหาค่าขาดแคลนระบบไฟฟ้าได้อย่างมั่นคงและยั่งยืน เป็นการยกระดับคุณภาพชีวิตความเป็นอยู่ของประชากรให้ดีขึ้น เพื่อสามารถเข้าถึงสิทธิขั้นพื้นฐานของประชาชนคนไทยอย่างเท่าเทียมต่อไป

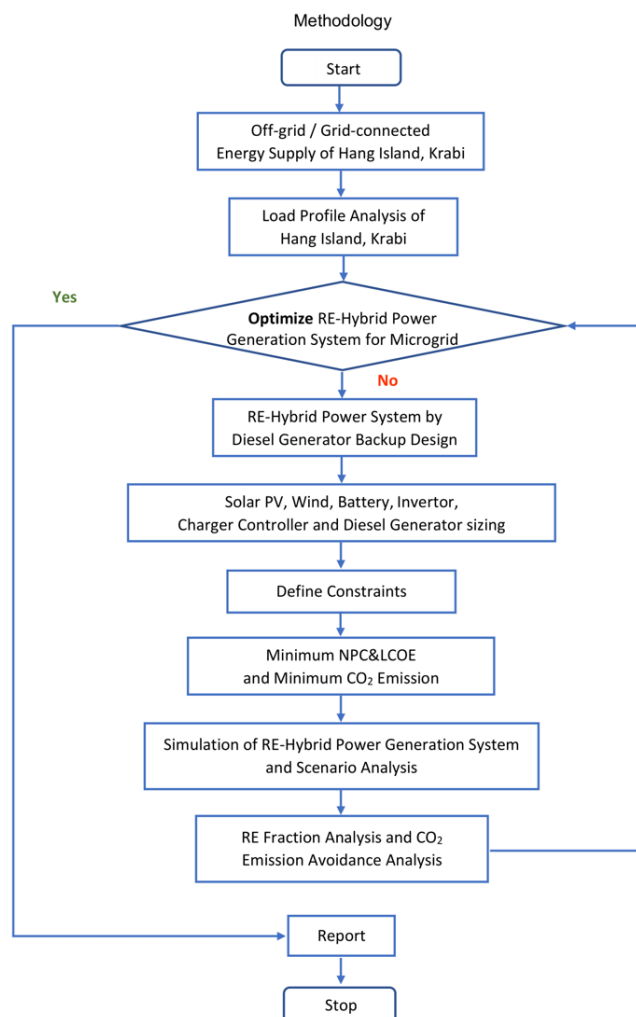
## วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อจำลองระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดที่จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในพื้นที่เกาะฮัง ตำบลเกาะศรีบอยา อำเภอนือคลอง จังหวัดกระบี่ ได้เพียงพอต่อความต้องการใช้งานขั้นพื้นฐานของครัวเรือนและใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. เพื่อประเมินสมรรถนะด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากการจำลองอย่างมีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

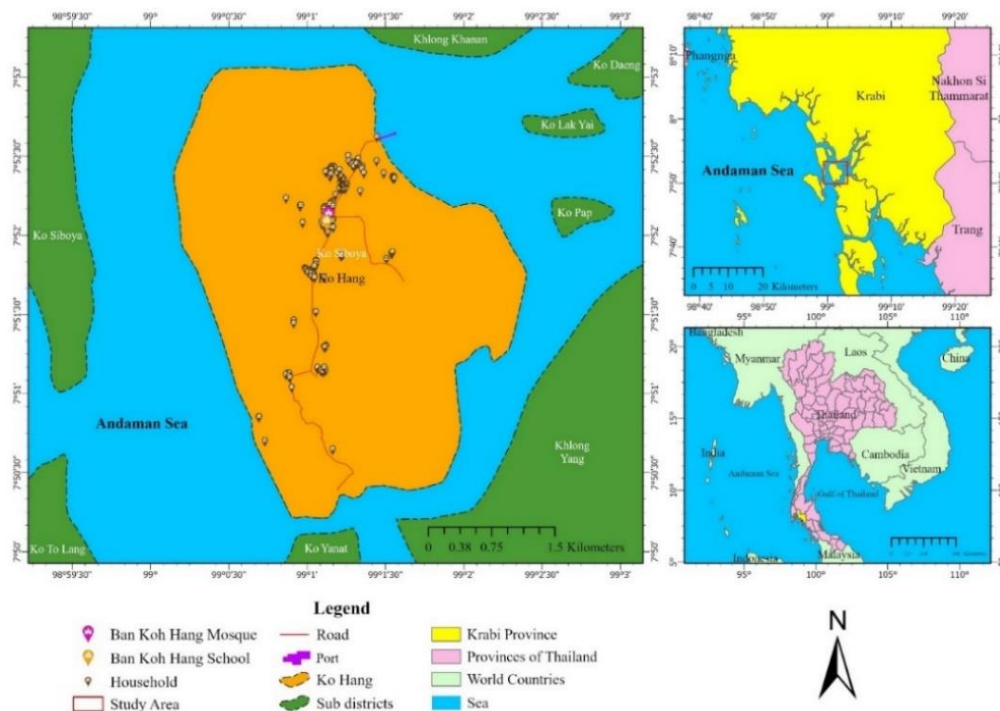
ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัยสำหรับการประเมินทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน แสดงดังภาพที่ 1 โดยใช้โปรแกรม HOMER Pro® ในการออกแบบ วิเคราะห์ และวางแผนการทำงานระบบ ครอบคลุมด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ เช่น การจัดการพลังงานได้อย่างเหมาะสม การคำนวณต้นทุนปัจจุบันสุทธิทั้งหมด ต้นทุนด้านพลังงานที่น้อยที่สุด และสามารถรองรับความต้องการใช้งานโหลดไฟฟ้าของประชากรกลุ่มเป้าหมายได้อย่างเพียงพอและมีประสิทธิภาพสูงสุด [12]



ภาพที่ 1 ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

## 2. พื้นที่ศึกษาวิจัย: บ้านเกาะฮัง ตำบลเกาะศรีบอยา อำเภอเหนือคลอง จังหวัดกระบี่

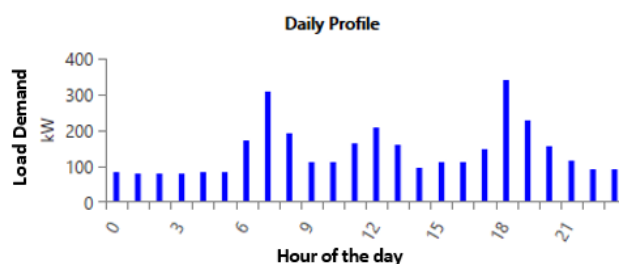
เกาะฮัง ตั้งอยู่ในเขตบริเวณฝั่งทะเลอันดามัน ห่างจากชายฝั่งภาคพื้นดินของตำบลเกาะศรีบอยา อำเภอเหนือคลอง จังหวัดกระบี่ ในระยะ 1 กิโลเมตร มีขนาดพื้นที่ 9,647.16 ไร่ (ประมาณ 15.44 ตารางกิโลเมตร) โดย 1 ใน 3 ของพื้นที่ทั้งหมดเป็นป่าธรรมชาติ ส่วนที่เหลือ คือพื้นที่อยู่อาศัย ซึ่งมีการทำเกษตรกรรม (ปาล์มน้ำมัน/ยางพารา) การทำประมง (ปลา/ปู/หอย) และการเลี้ยงสัตว์ (วัว/แพะ) ของบางครัวเรือน เกาะฮังมีพื้นที่อยู่ในเขตใกล้เคียงกับเกาะจำ และเกาะปู โดยพิกัดของเกาะฮัง อยู่ที่ละติจูด 7.864817 หรือ 7° 46' 50" เหนือ และลองจิจูด 99.01914 หรือ 98° 58' 60" ตะวันออก บ้านเกาะฮัง มีครัวเรือนโดยประมาณ 161 ครัวเรือน โรงเรียน 1 แห่ง มัสยิด 1 แห่ง และที่พักสงฆ์ 1 แห่ง มีจำนวนประชากรทั้งหมด 508 คน (ข้อมูลจากองค์การบริหารส่วนตำบลเกาะศรีบอยา, มกราคม 2566)



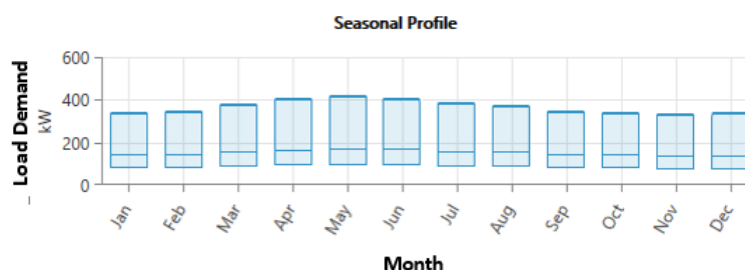
ภาพที่ 2 พื้นที่ศึกษาและการกระจายตัวของบ้านเรือนบนเกาะฮัง ตำบลเกาะศรีบอยา อำเภอเหนือคลอง จังหวัดกระบี่

## 3. ความต้องการโหลดไฟฟ้า

จากความต้องการโหลดไฟฟ้ารายวันและรายเดือนของพื้นที่เกาะฮัง ทั้งหมด 161 ครัวเรือน (ข้อมูลจากองค์การบริหารส่วนตำบลเกาะศรีบอยา, มกราคม 2566) จำลองด้วยโปรแกรม HOMER Pro® ประเภทที่อยู่อาศัย [3] ที่ความต้องการโหลดไฟฟ้ารวม (Load demand) อยู่ที่ 3,664 กิโลวัตต์ต่อวัน และความต้องการโหลดไฟฟ้าสูงสุดในหนึ่งวัน (Peak load) ที่ 426 กิโลวัตต์ต่อปี โดยภาพที่ 3 แสดงความต้องการโหลดไฟฟ้าในระหว่างวันของครัวเรือนบนเกาะฮัง เก็บข้อมูลทุกชั่วโมง วิเคราะห์ได้ว่า ข้อมูลมีค่าสูงอยู่ใน 2 ช่วงเวลา คือช่วงเช้าก่อนไปทำงานและช่วงเย็นหลังจากเลิกงาน ส่วนภาพที่ 4 แสดงความต้องการโหลดไฟฟ้าในแต่ละเดือนของครัวเรือนบนเกาะฮัง เก็บข้อมูลทุกวัน ซึ่งมีค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่ามาตรฐานที่ใช้งานในเดือนนั้นๆ วิเคราะห์ได้ว่า ข้อมูลมีค่าสูงขึ้นในช่วงฤดูร้อน (เมษายน-มิถุนายน) และช่วงต้นปี และปลายปี มีค่าลดลงกว่าเดือนอื่นๆ ตามการใช้งานไฟฟ้าในชีวิตประจำวันทั่วไป



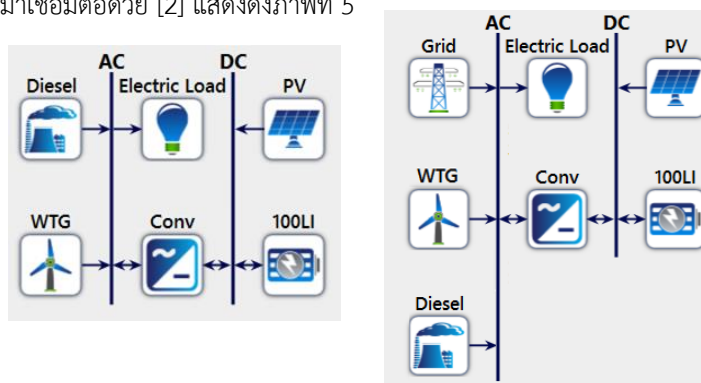
ภาพที่ 3 ความต้องการโหลดไฟฟ้าในระหว่างวันของครัวเรือนในพื้นที่เกาะฮัง



ภาพที่ 4 ความต้องการใช้งานโหลดไฟฟ้าในแต่ละเดือนของครัวเรือนในพื้นที่เกาะฮัง

## 4. แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดแบบผสมผสานพลังงานหมุนเวียน

ผู้วิจัยได้ใช้งานโปรแกรม HOMER Pro® เพื่อกำหนดรูปแบบการจำลองระบบเป็น 2 ประเภทหลักคือ ระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดแบบผสมผสานพลังงานหมุนเวียนที่ทำงานอิสระโดยไม่เชื่อมต่อกับโครงข่ายสายส่งไฟฟ้าหลัก (Stand-alone หรือ Off-grid) และระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดแบบผสมผสานพลังงานหมุนเวียนที่เชื่อมต่อกับโครงข่ายสายส่งไฟฟ้าหลัก (Grid-connected) โดยเลือกใช้งานส่วนประกอบทางเทคนิค ประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดแผงละ 650 kW (Solar PV : PV) กังหันลมผลิตไฟฟ้า ขนาดเครื่องละ 650 kW (Wind Turbine Generator : WTG) ระบบเก็บพลังงานแบบแบตเตอรี่ ชนิดลิเทียมไอออน ขนาดก้อนละ 100 kWh (Battery Generic Li-Ion 100 kWh : 100LI) ร่วมกับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Diesel Generator : Diesel) และอุปกรณ์แปลงพลังงานไฟฟ้า (Converter : Conv) ที่ถูกออกแบบและจำลองขนาดโดยอัตโนมัติขึ้นกับแต่ละระบบ ให้รองรับกับโหลดไฟฟ้าที่กำหนดไว้ (Electric Load) หรือในรูปแบบที่มีสายส่งไฟฟ้าหลัก (Grid) เข้ามาเชื่อมต่อด้วย [2] แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดแบบผสมผสานพลังงานหมุนเวียนประเภทที่ 1

แบบทำงานอิสระโดยไม่เชื่อมต่อกับโครงข่ายสายส่งไฟฟ้าหลัก (ซ้าย)

แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดแบบผสมผสานพลังงานหมุนเวียนประเภทที่ 2

แบบเชื่อมต่อกับโครงข่ายสายส่งไฟฟ้าหลัก (ขวา)

##### 5. การประเมินทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริด

ส่วนประกอบทางเทคนิคของระบบตามรายการที่ได้อธิบายในข้อ 4 ข้างต้นนั้น ถูกนำมาออกแบบและจำลองปริมาณการใช้งานด้วยโปรแกรม HOMER Pro® โดยมีคุณลักษณะของแต่ละอุปกรณ์ดังตารางที่ 1 [13] ซึ่งในการจำลอง จะทำการหาสภาวะของระบบที่เหมาะสมที่สุด เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนปัจจุบันสุทธิ (Net Present Cost : NPC) ต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยปรับลดโดยเฉลี่ย (Levelized Cost of Electricity : LCOE) และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub> emission) ภายใต้ปัจจัยควบคุม ได้แก่ ราคาน้ำมันดีเซลเฉลี่ยที่ 1.1 เหรียญสหรัฐต่อลิตร [14] ราคาขายไฟฟ้าที่ 0.140 เหรียญสหรัฐต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง [15] ราคารับซื้อไฟฟ้าคืนที่ 0.060 เหรียญสหรัฐต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง [16] ดัชนีโอกาสเกิดไฟฟ้าดับ (Loss of Load Expectation; LOLE) อยู่ที่ 0.7 วันต่อปี [17] ระยะเวลาโครงการ 20 ปี อัตราคิดลด (Discount rate) ร้อยละ 6 อัตราเงินเฟ้อทั่วไป (Inflation rate) ร้อยละ 2.5 [18] และอัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ 35.941 บาทต่อเหรียญสหรัฐ [19]

**ตารางที่ 1** คุณลักษณะของส่วนประกอบทางเทคนิคของระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดแบบผสมผสานพลังงานหมุนเวียน

| Parameter             | Solar PV<br>(Trina Vertex<br>650 kW) |       | Wind Turbine<br>Generator<br>(Greef GH –<br>3 kW) |         | Battery<br>Generic<br>Li-Ion<br>100 kWh |       | Diesel Generator<br>(Autosize<br>Genset) |           | Converter<br>Generic<br>(Autosize) |       |
|-----------------------|--------------------------------------|-------|---------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------|-------|------------------------------------------|-----------|------------------------------------|-------|
|                       | Value                                | Unit  | Value                                             | Unit    | Value                                   | Unit  | Value                                    | Unit      | Value                              | Unit  |
| Rated Power           | 0.65                                 | kW    | 3                                                 | kW      | -                                       | -     | 10                                       | kW        | 10                                 | kW    |
| Derating Power        | 88                                   | %     | -                                                 | -       | -                                       | -     | -                                        | -         | -                                  | -     |
| Cut-in Speed          | -                                    | -     | 2.8                                               | m/s     | -                                       | -     | -                                        | -         | -                                  | -     |
| Cut-out speed         | -                                    | -     | 25                                                | m/s     | -                                       | -     | -                                        | -         | -                                  | -     |
| Rated Speed           | -                                    | -     | 3-10                                              | m/s     | -                                       | -     | -                                        | -         | -                                  | -     |
| Hub Height            | -                                    | -     | 16                                                | m       | -                                       | -     | -                                        | -         | -                                  | -     |
| Nominal Voltage       | -                                    | -     | -                                                 | -       | 600                                     | V     | -                                        | -         | -                                  | -     |
| Max Charging Current  | -                                    | -     | -                                                 | -       | 167                                     | A     | -                                        | -         | -                                  | -     |
| Min State of Charge   | -                                    | -     | -                                                 | -       | 20                                      | %     | -                                        | -         | -                                  | -     |
| Round Trip Efficiency | -                                    | -     | -                                                 | -       | 90                                      | %     | -                                        | -         | -                                  | -     |
| Capital Cost (CapEx)  | 600                                  | \$/kW | 666,670                                           | \$/Unit | 45,166                                  | \$    | 500                                      | \$        | 750                                | \$    |
| Replacement           | 0                                    | \$    | 0                                                 | \$      | 45,166                                  | \$    | 500                                      | \$        | 750                                | \$    |
| Cost/kW               |                                      |       |                                                   |         |                                         |       |                                          |           |                                    |       |
| O&M Cost/kW           | 14                                   | \$/yr | 20,000                                            | \$/yr   | 200                                     | \$/yr | 0.03                                     | \$/Op.hr. | 15                                 | \$/yr |
| Lifetime              | 25                                   | yr    | 20                                                | yr      | 8                                       | yr    | 87,600                                   | hr        | 15                                 | yr    |

##### ผลการวิจัย

1. แบบจำลองประเภทที่ 1: ระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานในรูปแบบที่ทำงานอิสระโดยไม่เชื่อมต่อกับโครงข่ายสายส่งไฟฟ้าหลัก (Stand-alone หรือ Off-grid)

ตารางที่ 2 สถานการณ์การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริด ตามแบบจำลองประเภทที่ 1

| Scenario No. | Optimum Sizing |          |             |            |           | Grid | Economics        |               | Environment                                             |
|--------------|----------------|----------|-------------|------------|-----------|------|------------------|---------------|---------------------------------------------------------|
|              | PV (kW)        | WTG (kW) | Diesel (kW) | BESS (kWh) | Conv (kW) |      | NPC (Million \$) | LCOE (\$/kWh) | CO <sub>2</sub> Emission (tonnes CO <sub>2</sub> eq/yr) |
| 1            | 4,025          | 250      | 470         | 2,000      | 3,280     | No   | 20.4             | 0.5267        | 714.8                                                   |
| 2            | 3,537          | 500      | 470         | 3,000      | 3,230     | No   | 24.6             | 0.6344        | 690.2                                                   |
| 3            | 0              | 2,000    | 470         | 5,000      | 3,450     | No   | 26.9             | 0.6943        | 783.1                                                   |
| 4            | 10,992         | 0        | 470         | 5,000      | 3,590     | No   | 22.3             | 0.6458        | 766.8                                                   |
| 5            | 0              | 0        | 520         | 1,500      | 2,480     | No   | 16.7             | 0.4072        | 865.5                                                   |

ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นในตารางที่ 2 ในสถานการณ์ที่ 1 – 4 แสดงถึงผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานในรูปแบบ Stand-alone หรือ Off-grid และสถานการณ์ที่ 5 แสดงระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานสิ้นเปลือง (เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่) ในรูปแบบ Stand-alone หรือ Off-grid ซึ่งเป็นสถานการณ์ตัวเทียบกรณีพื้นฐาน (Base case) ที่ไม่ได้มีการนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้งานร่วม จากผลลัพธ์ทั้งหมด สามารถสรุปได้ว่า สถานการณ์ที่ 1 เป็นแบบจำลองที่ดีที่สุดของระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานในรูปแบบ Stand-alone หรือ Off-grid เนื่องจากมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบมากที่สุด คือ มีค่าต้นทุน NPC ต่ำสุด อยู่ที่ 20.4 ล้านบาทต่อโครงการ และมีค่าต้นทุน LCOE ต่ำสุด อยู่ที่ 0.5267 บาทต่อหน่วยไฟฟ้า ส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับการปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub> ของสถานการณ์นี้มีค่าอยู่ที่ 714.8 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยไฟฟ้า (EF) 0.5419 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ถือว่ามีปริมาณที่ใกล้เคียงกับค่า EF ของระบบผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งประเทศไทย [20] ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 0.5082 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์เชิงเศรษฐศาสตร์และสัดส่วนการใช้พลังงานหมุนเวียนจากสถานการณ์การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริด ตามแบบจำลองประเภทที่ 1

| Scenario No. | NPC (Million \$) | CapEx (Million \$) | OpEx (\$)  | Renewable Fraction (%) |
|--------------|------------------|--------------------|------------|------------------------|
| 1            | 20.4             | 3.41               | 586,663.10 | 91.2                   |
| 2            | 24.6             | 3.52               | 726,895.80 | 91.5                   |
| 3            | 26.9             | 3.13               | 820,488.60 | 38.7                   |
| 4            | 22.3             | 3.64               | 691,134.20 | 56.4                   |
| 5            | 16.7             | 3.08               | 562,579.40 | 0                      |

ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นในตารางที่ 3 แสดงถึงผลลัพธ์เชิงเศรษฐศาสตร์ตามสถานการณ์การจำลองระบบ ในตารางที่ 2 ที่แตกต่างกัน พบว่า มูลค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของแต่ละสถานการณ์นั้น มีค่าต้นทุนปัจจุบันสุทธิ (NPC) แปรผกผันกับค่าลงทุนในสินทรัพย์ถาวรของโครงการ (CapEx) แต่กลับแปรผันตรงกับค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานโครงการ (OpEx) หากเปรียบเทียบแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานในรูปแบบ Stand-alone หรือ Off-grid พบว่า สถานการณ์ที่ 1 มีค่าต้นทุน NPC ต่ำสุด อยู่ที่ 20.4 ล้านบาทต่อโครงการ มีค่าใช้จ่าย OpEx ต่ำสุดอยู่ที่ 586,663.10 บาทต่อโครงการ ซึ่งสถานการณ์ที่ 2 มีค่าลงทุน CapEx สูงสุดอยู่ที่ 3.52 ล้านบาท

สหรัฐต่อโครงการ และสถานการณ์ที่ 3 มีค่าต้นทุน NPC สูงสุดอยู่ที่ 26.9 ล้าน เหรียญสหรัฐต่อโครงการ มีค่าใช้จ่าย OpEx สูงสุดอยู่ที่ 820,488.60 เหรียญสหรัฐต่อโครงการ แต่กลับมีค่าลงทุน CapEx ต่ำสุดอยู่ที่ 3.13 ล้านเหรียญสหรัฐต่อโครงการ

นอกจากนั้น ตารางที่ 3 ยังแสดงถึงสัดส่วนการใช้พลังงานหมุนเวียนของแต่ละสถานการณ์การจำลองระบบพบว่า สถานการณ์ที่ 1 และ 2 มีสัดส่วนการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบสูงสุดใกล้เคียงกัน อยู่ที่ร้อยละ 91.2 และ 91.5 ตามลำดับ เนื่องจากการใช้พลังงานหมุนเวียนทั้ง 2 ประเภท คือ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลมนั่นเอง

## 2. แบบจำลองประเภทที่ 2: ระบบผลิตไฟฟ้าไม่โครกริตจากพลังงานหมุนเวียนแบบในรูปแบบที่เชื่อมต่อกับโครงข่ายสายส่งไฟฟ้าหลัก (Grid-connected)

ตารางที่ 4 สถานการณ์การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าไม่โครกริต ตามแบบจำลองประเภทที่ 2

| Scenario No. | Optimum Sizing |          |             |            |           |      | Economics        |               | Environment                                             |
|--------------|----------------|----------|-------------|------------|-----------|------|------------------|---------------|---------------------------------------------------------|
|              | PV (kW)        | WTG (kW) | Diesel (kW) | BESS (kWh) | Conv (kW) | Grid | NPC (Million \$) | LCOE (\$/kWh) | CO <sub>2</sub> Emission (tonnes CO <sub>2</sub> eq/yr) |
| 6            | 3,664          | 0        | 470         | 1,000      | 1,900     | Yes  | 2.73             | 0.1532        | 405.2                                                   |
| 7            | 3,600          | 250      | 470         | 1,000      | 1,900     | Yes  | 3.01             | 0.1546        | 378.2                                                   |
| 8            | 0              | 500      | 470         | 2,000      | 2,420     | Yes  | 5.85             | 0.1680        | 508.6                                                   |
| 9            | 0              | 0        | 470         | 1,000      | 1,460     | Yes  | 2.36             | 0.1354        | 542.3                                                   |
| 10           | 0              | 0        | 0           | 0          | 0         | Yes  | 1.84             | 0.1276        | 678.7                                                   |

ผลลัพธ์ในตารางที่ 4 ในสถานการณ์ที่ 6 – 8 แสดงถึงผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าไม่โครกริตจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานในรูปแบบ Grid-connected, สถานการณ์ที่ 9 แสดงระบบผลิตไฟฟ้าที่มาจากพลังงานสิ้นเปลือง (เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่) ในรูปแบบ Grid-connected และสถานการณ์ที่ 10 แสดงระบบผลิตไฟฟ้าที่มาจาก Grid-connected เพียงอย่างเดียว ซึ่งสถานการณ์ที่ 9 - 10 ถือว่าเป็นตัวเทียบกรณีพื้นฐาน (Base case) ที่ไม่ได้มีการนำพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานมาใช้งาน จากผลลัพธ์ทั้งหมด สามารถสรุปได้ว่า สถานการณ์ 6 เป็นแบบจำลองที่ดีที่สุดของระบบผลิตไฟฟ้าไม่โครกริตจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานในรูปแบบ Grid-connected เนื่องจากมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบมากที่สุด คือ มีค่าต้นทุน NPC ต่ำสุด อยู่ที่ 2.73 ล้านเหรียญสหรัฐต่อโครงการ และมีค่าต้นทุน LCOE ต่ำสุดอยู่ที่ 0.1532 เหรียญสหรัฐต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับการปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub> ของสถานการณ์นี้มีค่าอยู่ที่ 405.2 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยไฟฟ้า (EF) 0.3072 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ถือว่ามีปริมาณที่น้อยกว่าค่า EF ของระบบผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งประเทศไทย [20] ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 0.5082 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

**ตารางที่ 5** ผลลัพธ์เชิงเศรษฐศาสตร์และสัดส่วนการใช้พลังงานหมุนเวียนจากสถานการณ์การจำลองระบบผลิตไฟฟ้า  
ไมโครกริด ตามแบบจำลองประเภทที่ 2

| Scenario No. | NPC (Million \$) | CapEx (Million \$) | OpEx (\$)  | Renewable Fraction (%) |
|--------------|------------------|--------------------|------------|------------------------|
| 6            | 2.73             | 4.90               | 74,775.85  | 88.3                   |
| 7            | 3.01             | 5.23               | 76,745.59  | 89.3                   |
| 8            | 5.85             | 1.07               | 165,086.50 | 23.4                   |
| 9            | 2.36             | 0.88               | 58,985.30  | 0                      |
| 10           | 1.84             | 0.62               | 53,473.40  | 0                      |

ผลลัพธ์ในตารางที่ 5 แสดงถึงผลลัพธ์เชิงเศรษฐศาสตร์ ตามสถานการณ์การจำลองระบบในตารางที่ 4 ที่แตกต่างกัน พบว่า มูลค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของแต่ละสถานการณ์นั้น มีค่าต้นทุนปัจจุบันสุทธิ (NPC) แปรผกผันกับค่าลงทุนในสินทรัพย์ถาวรของโครงการ (CapEx) แต่กลับมีค่าแปรผันตรงกับค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานโครงการ (OpEx) หากเปรียบเทียบในบริบทของแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน ในรูปแบบ Grid-connected พบว่า สถานการณ์ที่ 6 มีค่าต้นทุน NPC ต่ำสุด อยู่ที่ 2.73 ล้านเหรียญสหรัฐต่อโครงการ มีค่าใช้จ่าย OpEx ต่ำสุด อยู่ที่ 74,775.85 เหรียญสหรัฐต่อโครงการ ซึ่งสถานการณ์ที่ 7 มีค่าลงทุน CapEx สูงสุด อยู่ที่ 5.23 ล้านเหรียญสหรัฐต่อโครงการ และสถานการณ์ที่ 8 มีค่าต้นทุน NPC สูงสุด อยู่ที่ 5.85 ล้าน เหรียญสหรัฐต่อโครงการ มีค่าใช้จ่าย OpEx สูงสุด อยู่ที่ 165,086.50 เหรียญสหรัฐต่อโครงการ แต่กลับมีค่าลงทุน CapEx ต่ำสุด อยู่ที่ 1.07 ล้านเหรียญสหรัฐต่อโครงการ

นอกจากนั้น ตารางที่ 5 ยังแสดงถึงสัดส่วนการใช้พลังงานหมุนเวียนของแต่ละสถานการณ์การจำลองระบบ พบว่า สถานการณ์ที่ 6 และ 7 มีสัดส่วนการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบสูงสุดใกล้เคียงกันอยู่ที่ร้อยละ 88.3 และ 89.3 ตามลำดับ เนื่องจากการใช้พลังงานหมุนเวียนทั้ง 2 ประเภท คือ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลมนั่นเอง

## สรุปและอภิปรายผล

ผลลัพธ์การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานด้วยโปรแกรม HOMER Pro® แบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก 10 สถานการณ์ย่อย พบว่า แบบจำลองที่ดีที่สุดของรูปแบบ Stand-alone หรือ Off-grid คือ สถานการณ์ที่ 1 ซึ่งใช้พลังงานหมุนเวียนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาดกำลังผลิต 4,025 กิโลวัตต์ และกังหันพลังงานลม ขนาดกำลังผลิต 250 กิโลวัตต์ ร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ขนาด 470 กิโลวัตต์ ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ ขนาด 2,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง และอุปกรณ์แปลงพลังงานไฟฟ้า ขนาด 3,280 กิโลวัตต์ เพราะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด คือ มีค่าต้นทุน NPC ต่ำสุด อยู่ที่ 20.4 ล้านเหรียญสหรัฐต่อโครงการ และมีค่าต้นทุน LCOE ต่ำสุด อยู่ที่ 0.5267 เหรียญสหรัฐต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง โดยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub> ของสถานการณ์นี้ อยู่ที่ 714.8 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยไฟฟ้า (EF) 0.5419 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

สำหรับแบบจำลองที่ดีที่สุดของรูปแบบ Grid-connected นั้น คือ สถานการณ์ที่ 6 ซึ่งใช้พลังงานหมุนเวียนจากพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว ขนาดกำลังผลิต ที่ 3,664 กิโลวัตต์ ร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ขนาด 470 กิโลวัตต์ ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ ขนาด 1,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง และอุปกรณ์แปลงพลังงานไฟฟ้า ขนาด 1,900 กิโลวัตต์ เพราะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด คือ มีค่าต้นทุน NPC ต่ำสุด อยู่ที่ 2.73 ล้านเหรียญสหรัฐต่อ

โครงการและมีค่าต้นทุน LCOE ต่ำสุดอยู่ที่ 0.1532 เหรียญสหรัฐต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub> อยู่ที่ 405.23 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยไฟฟ้า (EF) 0.3072 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

จากผลลัพธ์ที่แสดงในตารางที่ 3 และ ตารางที่ 5 พบว่า มูลค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของแต่ละสถานการณ์นั้น มีค่าต้นทุนปัจจุบันสุทธิ (NPC) มีค่าแปรผกผันกับค่าลงทุนในสินทรัพย์ถาวรของโครงการ (CapEx) แต่กลับแปรผันตรงกับค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานโครงการ (OpEx) และเมื่อพิจารณาถึงสัดส่วนแหล่งพลังงานหมุนเวียน พบว่า การใช้งานพลังงานหมุนเวียนร่วมกันของพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม จะมีความคุ้มค่าทั้งด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ที่ดีกว่าการใช้งานพลังงานหมุนเวียนเพียงชนิดเดียว ประกอบกับการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลมาเสริมการใช้งาน ก็จะทำให้ระบบมีเสถียรภาพยิ่งขึ้น

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ กองทุนเงินอุดหนุนจากสัญญาโรงกลั่นปิโตรเลียม กระทรวงพลังงาน ที่ได้สนับสนุนทุนการศึกษาวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

1. REN21. Renewables global status report 2024: energy supply [Internet]. 2024 [cited 2024 Apr 1]. Available from: [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2024\\_Supply.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2024_Supply.pdf)
2. Chaichan W, Waewsak J, Nikhom R, Kongruang C, Chiwamongkhonkarn S, Gagnon Y. Optimization of stand-alone and grid-connected hybrid solar/wind/fuel cell power generation for green islands: application to Koh Samui, southern Thailand. *Energy Rep.* 2022;8:480-93.
3. Chowdhury T, Hasan S, Chowdhury H, Hasnat A, Rashedi A, Asyraf MR, et al. Sizing of an island standalone hybrid system considering economic and environmental parameters: a case study. *Energies.* 2022;15(16):6072.
4. Suresh VMM, Kiranmayi R. Modelling and optimization of an off-grid hybrid renewable energy system for electrification in a rural area. *Energy Rep.* 2020;6:594-604.
5. Electricity Generating Authority of Thailand. Smart grid world guide [Internet]. 2019 [cited 2019 Nov 15]. Available from: <https://elibrary.egat.co.th/book-detail/11693>. Thai.
6. Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy. Project to improve solar energy potential map from satellite images for Thailand [Internet]. 2017 [cited 2017 Dec 1]. Available from: [https://www.dede.go.th/ewt\\_news.php?nid=47736](https://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=47736). Thai.
7. Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy. Retrospective solar radiation intensity report in 2020 [Internet]. 2021 [cited 2021 Jun 11]. Available from: <https://pei.dede.go.th/dataset/sed01>. Thai.
8. Meteorological Department. Krabi province climate [Internet]. 2023 [cited 2023 Jan 1]. Available from: <http://climate.tmd.go.th/krabi.pdf>. Thai.
9. Waewsak J. Technologies of wind energy. 1st ed. Bangkok: Chulalongkorn University; 2015.

10. Ghasemi A, Asrari A, Zarif M, Abdelwahed S. Techno-economic analysis of stand-alone hybrid photovoltaic–diesel–battery systems for rural electrification in eastern part of Iran—a step toward sustainable rural development. *Renew Sustain Energy Rev.* 2013;28:456-62.
11. Shahzad MK, Zahid A, ur Rashid T, Rehan MA, Ali M, Ahmad M. Techno-economic feasibility analysis of a solar-biomass off-grid system for the electrification of remote rural areas in Pakistan using HOMER software. *Renew Energy.* 2017;106:264-73.
12. UL Solutions HOMER Software Team. HOMER Pro® [Internet]. 2022 [cited 2022 Feb 1]. Available from: <https://www.homerenergy.com>
13. Alonso AM, Costa D, Messagie M, Coosemans T. Techno-economic assessment on hybrid energy storage systems comprising hydrogen and batteries: a case study in Belgium. *Int J Hydrogen Energy.* 2024;52A:1124-35.
14. Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy, Thailand. Standard retail oil prices [Internet]. 2023 [cited 2023 Sep 1]. Available from: <https://www.eppo.go.th/index.php/th>. Thai.
15. Provincial Electricity Authority. Electricity tariff structure [Internet]. 2023 [cited 2023 Feb 1]. Available from: <https://www.pea.co.th/electricity-tariffs>. Thai.
16. Energy Regulatory Commission. Electricity purchase project [Internet]. 2023 [cited 2023 Apr 1]. Available from: <https://www.erc.or.th/th/power-purchase>. Thai.
17. Electricity Generating Authority of Thailand. Thailand's power development plan 2018–2037 [Internet]. 2023 [cited 2023 Apr 1]. Available from: <https://www.egat.co.th/home/egat-development-plan>. Thai.
18. Bank of Thailand. Monetary policy report, 2nd quarter 2023 [Internet]. 2023 [cited 2023 Mar 31]. Available from: [https://www.bot.or.th/content/dam/bot/documents/th/our-roles/monetary-policy/mpc-publication/monetary-policy-report/MPR\\_2566\\_Q2.pdf](https://www.bot.or.th/content/dam/bot/documents/th/our-roles/monetary-policy/mpc-publication/monetary-policy-report/MPR_2566_Q2.pdf). Thai.
19. Bank of Thailand. Foreign exchange rates [Internet]. 2024 [cited 2024 May 1]. Available from: <https://www.bot.or.th/th/statistics/exchange-rate.html>. Thai.
20. Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization: TGO). [Internet]. 2023 [cited 2023 Sep 27]. Available from: <https://ghgreduction.tgo.or.th/th/download-tver/120-tver-gwp-emission-factor/3377-emission-factor-30-2565.html>. Thai.