

การจัดทำแผนที่ด้วยความละเอียดสูง เพื่อประเมินศักยภาพพลังงานลมในพื้นที่จังหวัดชัยภูมิ

High-Resolution mapping for wind energy potential assessment in Chaiyaphum Province

ภูชิษฐ์พงศ์ พิมพาจันทร์¹, สุภชัย พลน้ำเที่ยง^{2*}, สุพิชชา ถวิลไพร³ และ เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต²
Puchitpong Pimpajan¹, Supachai polnumtiang^{2*}, Supitcha Tawinprai³ and Kiatfa Tangchaichit²

Received: 8 March 2024 ; Revised: 6 June 2024 ; Accepted: 14 August 2024

บทคัดย่อ

การจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานลมเพื่อประเมินศักยภาพพลังงานลมในพื้นที่จังหวัดชัยภูมิและค้นหาพื้นที่ที่มีศักยภาพสำหรับการติดตั้งกังหันลมโดยจัดทำแผนที่ลมในระดับไมโครสเกล ซึ่งอาศัยการสร้างแบบจำลองบรรยากาศร่วมกันระหว่าง Mesoscale Compressible Community Model (MC2) และ Microscale Model (Ms-micro) ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 200 เมตร โดยอาศัยข้อมูลสภาพอากาศจากฐาน NCEP/FNL Operational Global Analysis เป็นระยะเวลา 10 ปี ผลจากแผนที่ลมที่ระดับความสูง 150 เมตรพบว่า จังหวัดชัยภูมิมีความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ประมาณ 3.34 เมตรต่อวินาที ซึ่งพื้นที่ที่มีความเร็วลมมากกว่า 3.51 เมตรต่อวินาที ได้แก่ พื้นที่ตำบลกุดเลาะ, ตำบลท่ามะไฟหวาน, ตำบลชัยสืทอง, ตำบลสระโพนทองและตำบลท่าหินโงม ผลการวิเคราะห์ด้านพลังงานพบว่า การใช้กังหันลมขนาด 2.5 เมกะวัตต์สามารถผลิตพลังงานได้เหมาะสมที่สุดเมื่อเทียบกับกังหันลมรุ่นอื่น งานวิจัยนี้พื้นที่อำเภอกุดเลาะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงที่สุดจากทุกพื้นที่โดยสูงถึง 20,994 เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี และมีค่าต้นทุนพลังงานหรือ COE ต่ำสุดที่ 0.53 มีคาปาซิตีแฟคเตอร์ 24% แสดงให้เห็นถึงศักยภาพพลังงานลมที่เหมาะสมสำหรับการประเมินเพื่อลงทุนติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานลมเพิ่มเติมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

คำสำคัญ: ศักยภาพของพลังงานลม, แผนที่ทรัพยากรลม แบบจำลองบรรยากาศ, แบบจำลองการไหลของลม, จังหวัดชัยภูมิ

Abstract

Assessing wind power capacity Evaluate the wind energy potential in Chaiyaphum Province and identify suitable locations for wind turbine installation. involves generating microscale wind maps. This study utilized collaborative atmospheric modeling combining Mesoscale Compressible Community Model (MC2) and Microscale Model (Ms-micro) with a spatial resolution of 200 m, using the atmospheric database from NCEP/FNL for 10 years. At an altitude of 150 m, the wind map data indicate that Chaiyaphum province has an average wind speed of 3.34 m/s. Locations experiencing wind speeds over 3.51 m/s are Kut Lo Subdistrict, Tha Ma Fai Wan Subdistrict, Sap Si Thong Subdistrict, Sa Phon Thong Subdistrict, and Tha Hin Non Ngam Subdistrict. Energy research determined that a 2.5 MW generates the highest power output compared to other turbines. The Kut Lo District region generated the maximum electrical energy among all places, producing 20,994 MWh/year in this investigation. The 24% capacity factor indicates the potential of wind energy for assessing the feasibility of investing in new wind power facilities in the northeastern portion of Thailand.

Keywords: Wind energy potential, wind resource maps, atmospheric modeling, wind flow modeling, Chaiyaphum Province

¹ นักศึกษาปริญญาโท, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

² อาจารย์, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

³ อาจารย์, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

* ติดต่อผู้พิมพ์: สุภชัย พลน้ำเที่ยง อีเมล: supapol@kku.ac.th

¹ Master degree student, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Muang District, Khon Kaen 40002, Thailand.

² Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Muang District, Khon Kaen 40002, Thailand.

³ Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus, Muang District, Khon Kaen 40000, Thailand.

* Corresponding author: Supachai Polnumtiang, Email: supapol@kku.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันทั่วโลกมีแนวโน้มในการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น โดยพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งการใช้พลังงานฟอสซิลนั้นก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ ส่งผลให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นจนเป็นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศอย่างฉับพลันและกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม จากปัญหาดังกล่าว ทั่วโลกจึงได้ตระหนักถึงความสำคัญของการใช้พลังงานทดแทนเพื่อแก้วิกฤติทางสภาพอากาศ (Martinez & Iglesias, 2022) โดยมีเป้าหมายเพื่อลดอุณหภูมิของโลกและลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศให้เป็นศูนย์ (Net-zero) ภายในปี 2573 (Dominic, 2021) พลังงานทดแทนนั้นเป็นพลังงานสะอาดที่ใช้แล้วไม่หมดไป ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานน้ำ, พลังงานชีวมวล, และพลังงานลม เมื่อกล่าวถึงพลังงานลมนั้น ถือได้ว่าเป็นพลังงานทดแทนที่เป็นที่นิยมในหลายประเทศ โดยในปี พ.ศ. 2564 จากรายงานพบว่าทั่วโลกมีกำลังการผลิตจากพลังงานลมรวมกันสูงถึง 845 GW (Gibb *et al.*, 2022) ในส่วนของประเทศไทยนั้นกำลังผลิตจากพลังงานลมรวมกันที่ 1,545 MW โดยส่วนใหญ่กำลังการผลิตอยู่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ติดตั้งที่จังหวัดนครราชสีมา อำเภอสีคิ้ว ตำบลห้วยยางอำเภอด่านขุนทด ไปจนถึง อำเภอเทพสถิต ชับใหญ่ และอื่นๆ ในจังหวัดชัยภูมิ

(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2566b) ทั้งหน่วยงานภาครัฐและเอกชนได้เล็งเห็นถึงความสำคัญต่อการพัฒนาด้านพลังงานลมที่เป็นพลังงานหมุนเวียน เพื่อมาทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลและก๊าซธรรมชาติที่ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ โดยในปี 2566 ประเทศไทยมีการนำเข้าพลังงานมีปริมาณทั้งหมด 50,165 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe) คิดเป็นอัตราเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.3 และมีการผลิตพลังงานหมุนเวียนและพลังงานอื่นรวมไปถึงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมเป็นปริมาณทั้งหมด 13,443 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe) คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 37.4 มีอัตราเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.1 จากปี 2565 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2566a) กระทรวงพลังงานได้วางแผนเพื่อพัฒนาและเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนโดยการประกาศใช้แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan 2018-2037 : AEDP 2018-2037) หรือแผน AEDP มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนรวมเท่ากับ 20,766 MW และพลังงานลมก็เป็นหนึ่งในพลังงานหมุนเวียนที่มีความสำคัญต่อการผลิตไฟฟ้าและจัดอยู่ในแผนเพิ่มกำลังการผลิต โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมให้เป็น 2,989 MW ภายในปี พ.ศ. 2580 (EPPO, 2020) จะเห็น

ได้ว่าพลังงานลมนั้นเป็นตัวเลือกที่สำคัญต่อการศึกษาวิจัยและพัฒนาเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด และตอบสนองต่อนโยบายพลังงานทดแทนของประเทศ และนโยบายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศของโลกอีกด้วย

เมื่อปี 2557 ได้มีการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานลมในระดับประเทศโดยใช้แบบจำลองบรรยากาศ KAMM (Karlsruhe Atmospheric Mesoscale Model) เทียบกับข้อมูลลมจากสถานีวัดลม 4 สถานีทั่วประเทศตั้งแต่ปี ค.ศ.1995 ถึง ค.ศ.2009 พบว่าประเทศไทยมีความเร็วลมเฉลี่ย 3 ถึง 4 เมตรต่อวินาที ซึ่งพื้นที่ภาคเหนือและภูเขาสูงทางภาคใต้จะมีความเร็วลมสูงถึง 6 เมตรต่อวินาที จึงเหมาะกับการติดตั้งกังหันลมความเร็วลมต่ำ (Janjai *et al.*, 2014) ในส่วนของการศึกษาศักยภาพพลังงานลมเฉพาะแหล่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในปี 2565 มีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของฟาร์มกังหันลมอำเภอเทพารักษ์ จังหวัดนครราชสีมา (Deepo *et al.*, 2021) โดยใช้กังหันลม 6 รุ่นที่มีขนาด 18 เมกะวัตต์ และความสูง 157 เมตร และอาศัยระบบ SCADA ในการวัดข้อมูลและรวบรวมข้อมูลเป็นเวลาหนึ่งปีพบว่ามีกำลังการผลิตกังหันลมประจำปี 38.82% การผลิตพลังงานทั้งหมดอยู่ที่ 64.99 จิกะวัตต์ ชั่วโมง ต่อปีและมีความเร็วเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเดือนกรกฎาคม โดยมีความเร็วเฉลี่ย 7.61 เมตรต่อวินาที ต่อในปี 2566 มีการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานลม ในพื้นที่ 4 จังหวัด คือหนองคาย อุดรธานี สกลนคร และจังหวัดกาฬสินธุ์ (Tawinprai *et al.*, 2023a) โดยใช้แบบจำลอง Mesoscale Compressible Community (MC2) สำหรับแผนที่ระดับเมโซ และใช้โมเดล MS-Micro สำหรับการจำลองแผนที่ระดับไมโคร พบว่าพื้นที่บนภูเขาในจังหวัดกาฬสินธุ์มีความเร็วลมดีและศักยภาพในการผลิตพลังงานมากที่สุด

ซึ่งการประเมินทรัพยากรลมในระดับประเทศนั้นไม่เพียงพอต่อการระบุพื้นที่ที่เฉพาะเจาะจงในระดับจังหวัด ดังนั้นแผนที่ทรัพยากรลมที่ใช้กริดที่มีความละเอียดสูงนั้น สามารถให้ข้อมูลที่บ่งชี้ถึงศักยภาพของลมเฉพาะแหล่งได้เหมาะสมกว่า

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการประเมินศักยภาพพลังงานลมเฉพาะแหล่งในพื้นที่จังหวัดชัยภูมิ โดยการจัดทำแผนที่ทรัพยากรลมโดยใช้แบบจำลองบรรยากาศใน WEST Toolkit ทั้งระดับเมโสสเกลและไมโครสเกล ร่วมกับข้อมูลภูมิอากาศจากฐานข้อมูล NCEP/FNL Operational Global Analysis (Research Data Archive, 2023) ในช่วงเวลา 10 ปี ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2555 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2565 เพื่อสำรวจหาพื้นที่ที่มีศักยภาพพลังงานลมเหมาะสมสำหรับการติดตั้งกังหันลมในพื้นที่จังหวัดชัยภูมิ โดยประเมินจากพลังงานที่ผลิตได้ต่อปีและค่าปายซีดีแฟคเตอร์ของกังหันลม

พื้นที่ศึกษาของโครงการ

พื้นที่ศึกษาวิจัยจังหวัดชัยภูมิ ซึ่งอยู่ในทิศตะวันตกของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีพื้นที่รวมประมาณ 12,778 ตารางกิโลเมตร (กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2022) ซึ่งที่ตั้งของจังหวัด อยู่ระหว่างละติจูดที่ $15^{\circ}19'49.364''$ N ถึง $15^{\circ}19'49.364''$ N และลองจิจูดที่ $101^{\circ}18'52.351''$ E ถึง $101^{\circ}18'52.351''$ E ทางทิศตะวันตกมีพื้นที่ติดกับจังหวัดเพชรบูรณ์ ทางทิศใต้มีพื้นที่ติดกับจังหวัดลพบุรีและจังหวัดนครราชสีมา แสดงใน Figure 1

พื้นที่ที่ต้องการศึกษานั้น มีลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปประกอบด้วยป่าไม้และภูเขาคิดเป็นร้อยละ 50 ของพื้นที่จังหวัด (กลุ่มงานยุทธศาสตร์และข้อมูลเพื่อการพัฒนาจังหวัด สำนักงานจังหวัดชัยภูมิ, 2567) ซึ่งเป็นเทือกเขาแนวยาวตั้งแต่มูลน้ำเหนือจนถึงส่วนใต้ของจังหวัดและมีความสูงเหนือระดับน้ำทะเล 1,336 เมตร ลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ผิวในพื้นที่วิจัยแสดงใน Figure 2

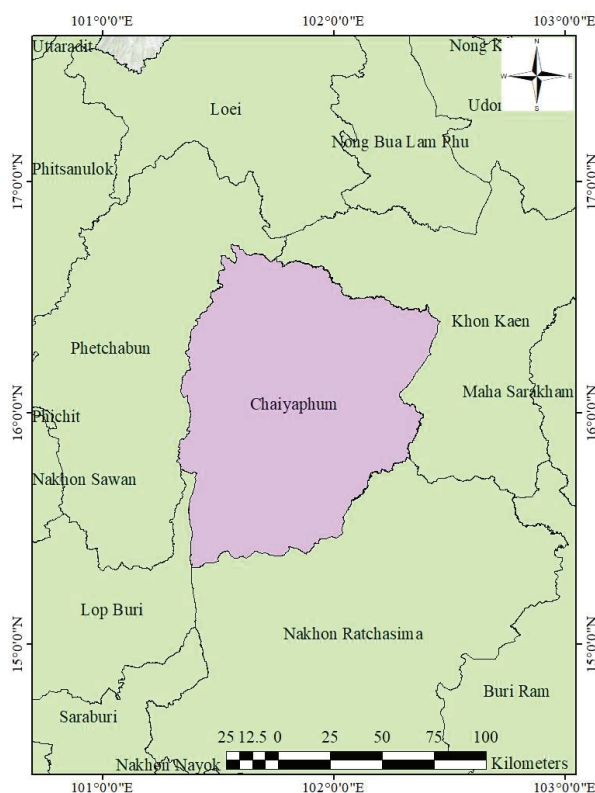


Figure 1 The location of the research area

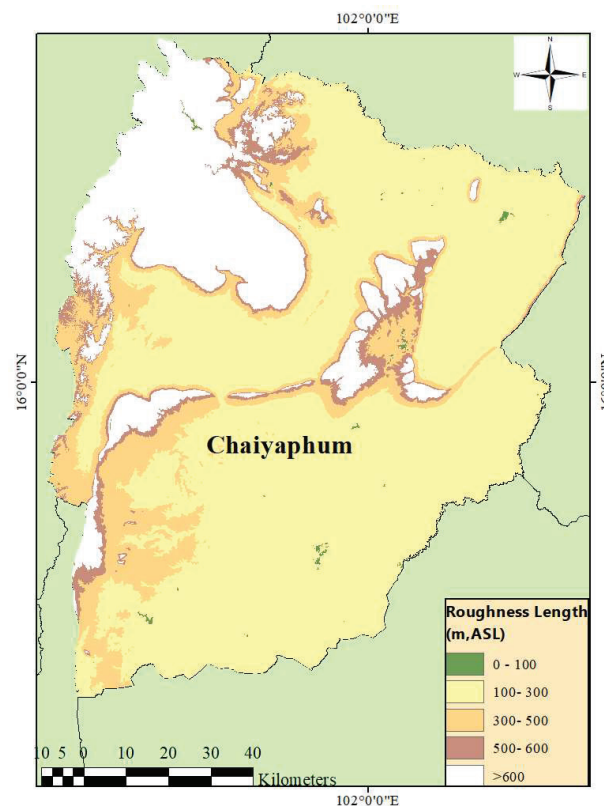


Figure 2 Digital Elevation Model (DEM) of the study area

ระเบียบวิธีการวิจัย

ในการสร้างแผนที่ทรัพยากรลมนั้น เริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลสภาพอากาศจากฐานข้อมูล NCEP/FNL Operational Global Analysis ซึ่งจะเก็บข้อมูลสภาพอากาศจากระบบสื่อสารโลก (Global Telecommunications System, GTS) ทุก 6 ชั่วโมงเป็นระยะเวลา 10 ปีตั้งแต่ปี 2555 ถึง 2565 จากนั้นจึงนำข้อมูลดังกล่าวมาจัดเรียงโดยอาศัย 3 ตัวแปรได้แก่ความเร็วของลม, ทิศทางลม, และลมเฉือน เพื่อนำไปคำนวณความถี่ในการเกิดลม (Gasset and Yu, 2022) ในส่วนของข้อมูลภูมิศาสตร์ทางกายภาพ เช่น ความสูงสิ่งก่อสร้าง, พืชพรรณที่ปกคลุมพื้นดิน รวมไปถึงความสูงของพื้นผิวนั้น อยู่ในฐานข้อมูล GenGeo ซึ่งถูกรวบรวมไว้ใน WEST Toolkit โดยข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลสำหรับการสร้างแบบจำลองบรรยากาศเพื่อนำไปสร้างแผนที่ทรัพยากรลม

ในส่วนของการสร้างแบบจำลองของชั้นบรรยากาศจะใช้ซอฟต์แวร์ WEST (Wind Energy Simulation Toolkit) โดยจะแบ่งเป็น 2 ระดับหลัก ได้แก่ ระดับเมโซสเกลและระดับไมโครสเกล โดยในระดับเมโซนั้นจะเป็นการสร้างแบบจำลองระดับปานกลาง โดยใช้แบบจำลอง MC2 ที่ความละเอียดเชิงพื้นที่ 3 กิโลเมตร หรือคิดเป็นพื้นที่ประมาณ 400×400 กิโลเมตร (Tawinprai et al., 2023b) หลังจากกระบวนการสร้างแบบจำลองระดับเมโซจะได้ข้อมูลทางสถิติของลมที่เกิดขึ้นในพื้นที่วิจัย จากนั้นจึงนำข้อมูลสถิติดังกล่าวเป็นข้อมูล

นำเข้าสำหรับการสร้างแบบจำลองระดับไมโครโดยใช้แบบจำลอง MS-Micro ที่ความละเอียดเชิงพื้นที่ 200 เมตร หรือคิดเป็นพื้นที่ประมาณ 40 x 40 กิโลเมตรจนครอบคลุมพื้นที่วิจัยอย่างสมบูรณ์ (Gasset *et al.*, 2012) โดยในส่วน of แบบจำลองระดับไมโครสเกลไม่สามารถใช้ฐานข้อมูล GenGeo ได้เนื่องจากความละเอียดของข้อมูลไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลลักษณะภูมิประเทศที่มีความละเอียดสูงและข้อมูลการใช้ที่ดินจากกรมพัฒนาการใช้ที่ดิน (Land Development Department 2022) ในการสร้างแบบจำลอง

หลังจากกระบวนการสร้างแบบจำลองบรรยากาศในระดับไมโคร ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนถูกส่งออกไปเพื่อทำการสอบเทียบความเร็วและความถี่ของการเกิดลมกับข้อมูลจากเสาวัดลม จากนั้นจึงส่งออกผลลัพธ์ดังกล่าวไปยังซอฟต์แวร์ ArcGIS เพื่อแสดงผลเป็นแผนที่ทรัพยากรลม จากนั้นจึงทำการคำนวณพลังงานที่ผลิตได้ต่อปีและค่าค่าปาส์ดีแฟคเตอร์ โดยแผนผังระเบียบวิธีวิจัยแสดงใน Figure 3

Table 1 Geographic features and average wind speed at an altitude of 150 m (AGL)

Altitude (m, AGL)	Mean wind speed (m/s)	Wind speed range (m/s)
90	2.78	1.24 – 4.26
150	3.34	1.86 - 4.93

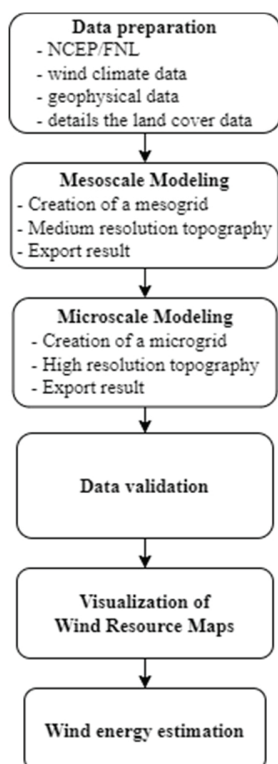


Figure 3 Research method scheme

ข้อมูลการตรวจวัด

ในการสร้างแผนที่ทรัพยากรลมนั้น จำเป็นจะต้องสอบเทียบข้อมูลความเร็วลมที่ได้จากแบบจำลองกับค่าตรวจวัดเพื่อประเมินประสิทธิภาพและความแม่นยำของแผนที่ดังกล่าว โดยข้อมูลตรวจวัดดังกล่าวถูกเก็บรวบรวมจากเสาวัดลมซึ่งตั้งอยู่ที่จังหวัดชัยภูมิ โดยตำแหน่งที่ตั้งของเสาวัดลมแสดงใน Figure 4 ซึ่งเสาวัดลมดังกล่าวตั้งอยู่ที่ละติจูดที่ 16.11 (°N) และลองจิจูดที่ 102.09 (°E) ช่วงเวลาที่ตรวจวัดระหว่างปี พ.ศ. 2559 ถึง 2563 และมีระดับความสูงเหนือพื้นดิน 90 เมตร (Above Ground Level, AGL)

ความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจวัดสามารถนำมาอ้างถึงในรูปของประสิทธิภาพของแบบจำลองการไหลของลม โดยการประมาณค่าทางสถิติที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ใช้อัตราส่วนความเร็วลมที่ได้จากการวัดจริงต่อค่าที่ได้จากแบบจำลอง (M/P Ratio) และเปอร์เซ็นต์ ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์เฉลี่ย (Percent Mean Relative Error, PMRE) โดยการคำนวณค่าทางสถิติดังกล่าวจะใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดของเสาวัดลมและข้อมูลที่ได้จากแผนที่ทรัพยากรลมที่ความสูงระดับเดียวกัน ในการคำนวณดังสมการที่แสดงในสมการ (1) และ (2) ต่อไปนี้ (Tawinprai *et al.* 2022)

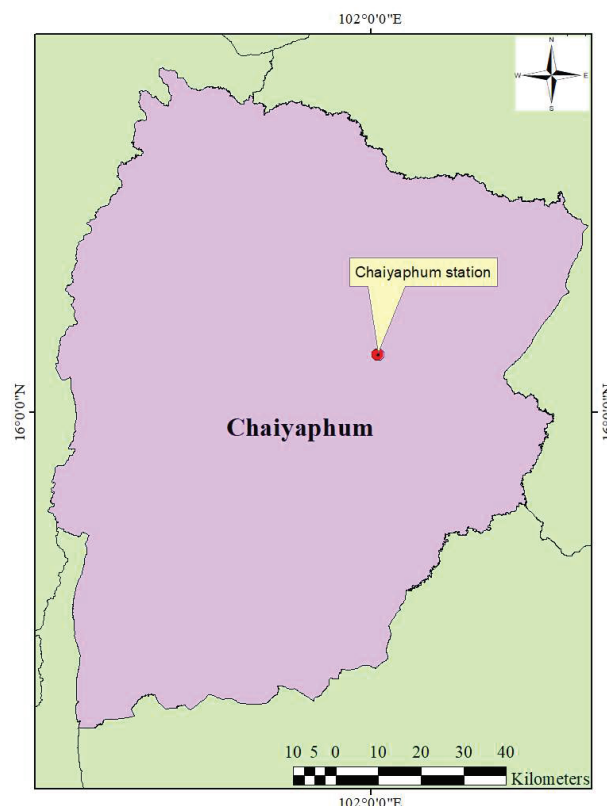


Figure 4 The location of wind measurement masts within the research area

$$M/P = \frac{\text{Observed wind speed}}{\text{Predict wind speed}} \quad (1)$$

$$PRME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{O_i - P_i}{O_i} \right) \times 100\% \quad (2)$$

O_i คือ ความเร็วลมที่ได้จากการตรวจวัด (เมตรต่อวินาที)

P_i คือ ความเร็วที่ได้จากแบบจำลอง (เมตรต่อวินาที)

n คือ จำนวนตัวแทนข้อมูลในช่วงเวลาทำการวิจัย

การประเมินศักยภาพพลังงานลม

ในการประเมินศักยภาพพลังงานลมในเฉพาะพื้นที่เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการจัดตั้งและพัฒนาโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมขนาดไม่เกิน 10 MW (VSPP 10 MW) จะอาศัยข้อมูลความเร็วลมและความถี่ของลมที่เกิดขึ้นในท้องถิ่นนั้น มาคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี ในขั้นตอนนี้ผลลัพธ์ของความเร็วลมที่ได้จาก GIS จะถูกนำมาจัดเรียงตามช่วงความเร็วลมและความถี่ของการเกิดลมต่อปี จากนั้นจึงนำผลการจัดเรียงที่ได้มาคำนวณหาพลังงานที่ผลิตได้ต่อปี (Annual Energy Production, AEP) และคาปาซิตีแฟกเตอร์ (Capacity Factor, CF) หรือ อัตราส่วนร้อยละของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจริงในรอบ 1 ปี ตามสมการ 3 และสมการ 4 (Kim *et al.*, 2022)

$$AEP = 8,760 \int_{U_{cut\ in}}^{U_{cut\ out}} P_t(u) f(u) du \quad (3)$$

$$CF = \frac{AEP}{N \times P_r} \times 8,760 \quad (4)$$

โดยที่

$U_{cut\ out}$ คือ ความเร็วสูงสุดที่กังหันลมหยุดทำงาน (เมตรต่อวินาที)

$U_{cut\ in}$ คือ ความเร็วเริ่มต้นที่กังหันเริ่มทำงาน (เมตรต่อวินาที)

8,760 คือ จำนวนชั่วโมงในหนึ่งปี (ชั่วโมง/ปี)

$P_r(u)$ คือ เส้นโค้งกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลม

P_r คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดของกังหันลมที่สามารถผลิตได้ (MW)

N คือ จำนวนกังหันลม

$f(u)$ คือ ฟังก์ชันความถี่ของการเกิดลม

ในงานวิจัยนี้ คิดการสูญเสียการผลิตอันเนื่องมาจากการหยุดทำงานของกังหันลม รวมถึงการเกิดกระแสอากาศปั่นป่วน (wake) และการหยุดทำงานของการเชื่อมต่อโครงข่ายอยู่ที่ประมาณ 10% (Polnumtiang & Tangchaichit, 2022a)

การประเมินความเป็นไปได้ของโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานลม

การศึกษานี้เป็นการสำรวจความเป็นไปได้ขอโรงไฟฟ้าพลังงานลมในพื้นที่จังหวัดชัยภูมิ โดยการวิเคราะห์การลงทุนโดยรวมที่จำเป็นสำหรับโครงการติดตั้งพลังงานลมตลอดอายุการใช้งาน โดยพิจารณาจากผลผลิตพลังงาน การวิเคราะห์นี้ดำเนินการโดยการคำนวณต้นทุนพลังงาน (COE) ภายใต้สมมุติฐานของโรงไฟฟ้าพลังงานลมขนาดไม่เกิน 10 MW (VSPP 10 MW)

ในการวิจัยนี้ COE จะกำหนดโดยการหารการลงทุนโดยรวมและการจ่ายเงินรายปีของกังหันแต่ละเครื่องด้วยพลังงานที่ปล่อยออกมาของกังหันลมตลอดอายุการใช้งาน แต่ การคำนวณนี้แสดงโดยสมการที่ 5 (Polnumtiang & Tangchaichit, 2022b)

$$COE = \frac{Comr \frac{(1+r)^i - 1}{(1+r)^i} + I}{AEP \times N} \quad (5)$$

โดยที่ C_{omr} แทนต้นทุนการดำเนินงาน การบำรุงรักษา และการซ่อมแซม คำนวณเป็น 2% ของราคากังหันลม (USD/kW) i คืออัตราดอกเบี้ยคือ 7% r คืออัตราคิดลดที่ตั้งไว้ที่ 7% และ y คิดเป็น 1.2% ของอัตราเงินเฟ้อ (Bank of Thailand, 2023) คือ ต้นทุนเริ่มต้น ได้แก่ ต้นทุนที่ดิน ราคากังหัน ค่าติดตั้ง และการรวมโครงข่าย โดยคำนวณเป็นร้อยละ 30 ของราคากังหันลม (USD) และ AEP แทนค่ารายปี การผลิตพลังงานของฟาร์มกังหันลม หน่วยเป็นเมกะวัตต์-ชั่วโมงต่อปี (MWh/ปี) ราคากังหันลมอยู่ที่ประมาณ 1,175 USD/kW ตามข้อมูลจากสำนักงานพลังงานทดแทนระหว่างประเทศ (IRENA, 2023)

ผลการวิจัยและอภิปราย

แผนที่ทรัพยากรลม

แผนที่ทรัพยากรลมระดับเมโซที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 3 กิโลเมตร ที่ระดับความสูง 90 และ 150 เมตร (AGL) แสดงใน Figure 5 – 6 ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันแผนที่ทรัพยากรลมระดับไมโครที่มีความละเอียดพื้นที่ 200 เมตรที่ระดับความสูง 90 และ 150 เมตร (AGL) แสดงดัง แสดงใน Figure 7 - 8 ตามลำดับ

จากแผนที่ทั้งระดับเมโซและไมโครที่ได้มีค่าความเร็วลมตั้งแต่ 1.86 ถึง 4.93 เมตรต่อวินาทีและในบริเวณพื้นที่ภูเขาในจังหวัดชัยภูมิมีความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.79 ถึง 4.93 เมตรต่อวินาที รายละเอียดของความเร็วมเฉพาะในพื้นที่จังหวัดชัยภูมิ แสดงดัง Table 1 เมื่อพิจารณาถึงลักษณะของลมปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการใช้ของลมเหนือสิ่งกีดขวางในพื้นที่เฉพาะ ได้แก่การปกคลุมของพืชพรรณ, พฤติกรรมสิ่งแวดล้อม, ความสูงของภูมิประเทศ, โครงสร้างของสิ่งก่อสร้าง, ความขรุขระของพื้นผิว และมรสุมท้องถิ่น นอกจากนี้การใช้ของลมยังได้รับอิทธิพลจากแรงเฉื่อยของลม โดยการไหลของลมที่ชั้นล่างที่อยู่เหนือพื้นดินนั้น จะถูกลักษณะของภูเขาด้านการไหล ทำให้เกิดแรงเสียดทานหรือแรงต้านที่กระทำต่อบรรยากาศชั้นล่าง ส่งผลให้ความเร็วลมใกล้พื้นผิวโลกมีแนวโน้มลดลงในพื้นที่ที่มีความขรุขระสูง (Mundu *et al.*, 2022) จากลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดชัยภูมิที่มีภูเขาสูงในตอนบนของประเทศ

จึงส่งผลให้พื้นที่ดังกล่าวมีความเร็วลมสูงกว่าบริเวณอื่นในจังหวัดชัยภูมิ ดังแสดงในแผนที่ทรัพยากรลม Figure 5 – 8

ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองระดับเมโซของแผนที่ทรัพยากรลมกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด จะทำการเปรียบเทียบในระดับความสูงเดียวกัน ผลการคำนวณค่า MP ratio และ PMRE แสดงใน Table 2 ค่า MP ratio ที่ได้นั้นอยู่ในช่วง 1.21 ถึง 1.22 เมตรต่อวินาที แสดงให้เห็นว่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ได้จากแผนที่ในระดับเมโซมีแนวโน้มที่จะมีค่าน้อยกว่าค่าความเร็วลมเฉลี่ยจากที่เก็บข้อมูลของเสาวัดลม นอกจากนี้ค่า PMRE อยู่ในช่วง 17.29 ถึง 18.27% ซึ่งอยู่ในช่วงต่ำกว่า 20% (Waewsak *et al.*, 2015) ได้แสดงให้เห็นว่าแผนที่ความเร็วลมที่ได้จากแบบจำลองระดับเมโซในและไมโครสเกลในงานวิจัยนี้ เหมาะสมในการประเมินความเป็นไปได้ในการติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานลมในพื้นที่จังหวัดชัยภูมิ

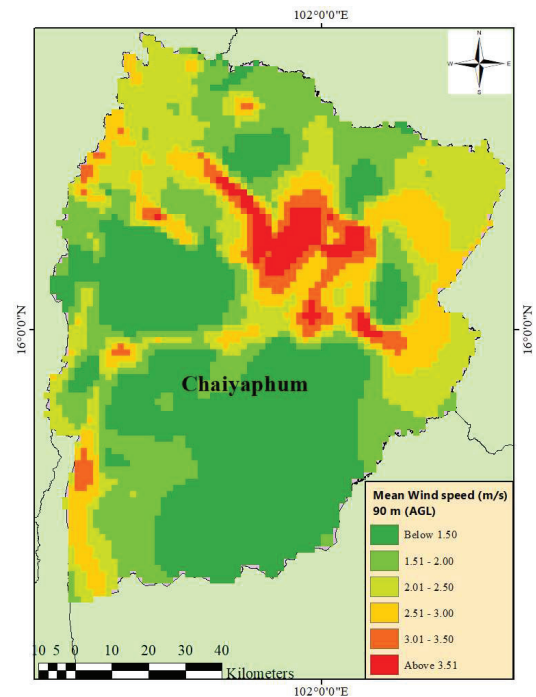


Figure 5 Mesoscale wind resource map of Chaiyaphum province at an altitude of 90 m

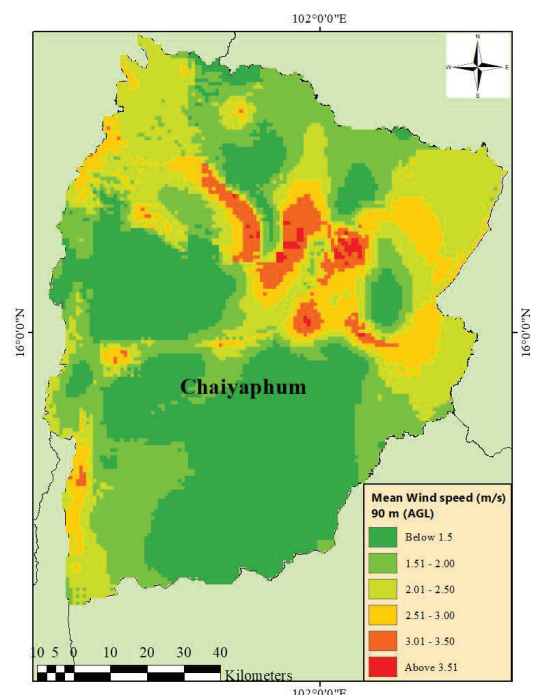


Figure 6 Mesoscale wind resource map of Chaiyaphum province at an altitude of 150 m

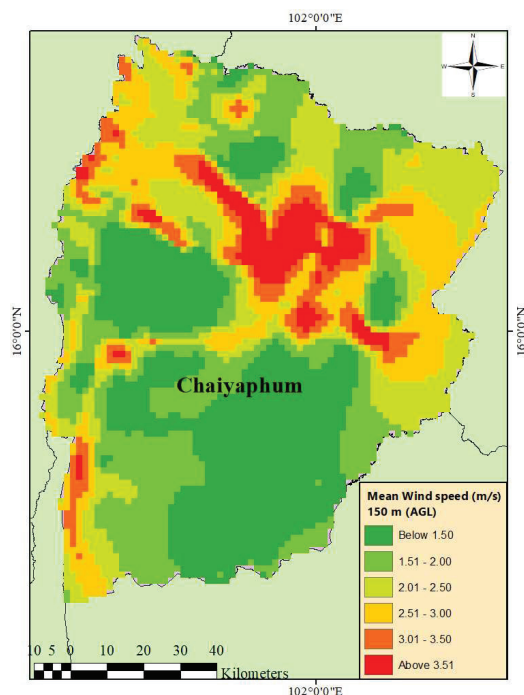


Figure 7 Microscale wind resource map of Chaiyaphum province at an altitude of 90 m

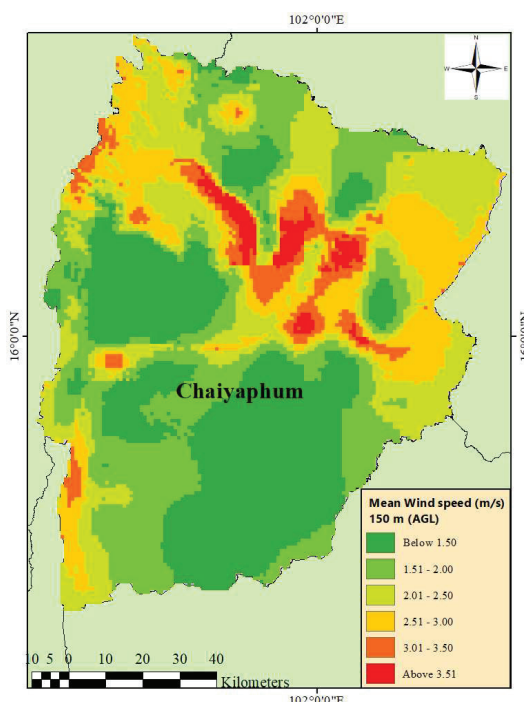


Figure 8 Microscale wind resource map of Chaiyaphum province at an altitude of 150

การคัดเลือกกังหันลม

ในการเลือกกังหันลมที่เหมาะสมกับความเร็วลมในพื้นที่วิจัยนี้จะประเมินจากความเร็วลมและความถี่ที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่วิจัยจากแผนที่ทรัพยากรลมที่ระดับความสูง 150 เมตรเหนือพื้นดิน มาใช้เพื่อระบุความเร็วขั้นต่ำที่ทำให้กังหันลมเริ่มหมุนเพื่อผลิตพลังงาน แสดงดัง Table 1 ซึ่งแสดงถึงความเร็วลมที่เกิดขึ้นในพื้นที่จังหวัดชัยภูมิมีค่าตั้งแต่ 1.86 ถึง 4.93 เมตรต่อวินาที นั้นแสดงให้เห็นถึงความเร็วเริ่มต้นที่ทำให้กังหันลมเริ่มหมุนเพื่อทำงานคือ 2 เมตรต่อวินาที

ดังนั้น กังหันลมที่มีความเร็วเริ่มต้นที่ 2 เมตรต่อวินาทีจึงถูกเลือกเพื่อใช้ในการประเมินพลังงานที่ผลิตได้ต่อปีในพื้นที่วิจัยนี้ สมบัติทางกลของกังหันลมแสดงดัง Table 3 และแสดงเส้นโค้งกำลังดังใน Figure 9

การประเมินพลังงานที่ผลิตได้

ผลการประเมินภายใต้นโยบายพลังงานลมของประเทศไทยที่มีผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP 10 MW) พลังงานที่ผลิตได้ต่อปี (AEP) และค่าปาสิตีแฟกเตอร์ (CF) ของกังหันลมทั้ง 4 รุ่นแสดงดัง Figure 11 - 12 จากพลังงานที่ผลิตได้ต่อปีแสดงให้เห็นว่ากังหันลมที่ผลิตพลังงานได้สูงใกล้เคียงกัน 2 รุ่นคือ G126-2.5 MW และ G132-3.3 MW โดยในพื้นที่ตำบลกุดเลาะ (Kut lo) และท่ามะไฟหวาน (Tha mafai wan) ที่สามารถผลิตพลังงานได้ใกล้เคียงกัน แต่พื้นที่สามารถผลิตพลังงานได้สูงที่สุดคือตำบลกุดเลาะที่ 20,993 เมกะวัตต์ ชั่วโมงต่อปีซึ่งสอดคล้องกับความเร็วลมที่เกิดขึ้นในพื้นที่ดังกล่าว และจากข้อมูลลมดังกล่าวพบว่าค่าค่าปาสิตีแฟกเตอร์ในจังหวัดชัยภูมิจะอยู่ในช่วง 5.20% ถึง 23.97%

การประเมินความเป็นไปได้ของโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานลม

จากผลการประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์จากสมการที่ 5 ซึ่งการคำนวณไม่รวมค่าขนส่งและภาษีมายังประเทศไทย การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ได้ดำเนินการบนพื้นที่ที่มีศักยภาพดังแสดงใน Figure 11 และ 12 โดยการใช้การคำนวณ COE มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานลมในจังหวัดชัยภูมิ COE ดังที่ระบุใน Figure 13 แตกต่างกันไป

ระหว่าง 0.043 ถึง 0.207 USD/kWh กังหันลม G126-2.5 MW ให้ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกังหันอื่นๆ ที่มีกำลังการผลิตเท่ากัน พบว่าในทุกพื้นที่ที่คัดเลือกมา มีค่าต้นทุนพลังงานใกล้เคียงกันอยู่ระหว่าง 0.043 – 0.052 USD/kWh โดยเมื่อเปรียบเทียบการประเมินต้นทุนพลังงานกับพื้นที่จังหวัดอุดรธานี ที่มีค่าต้นทุนพลังงานอยู่ที่ 0.079 USD/kWh (Tawinprai et al., 2023a) พบว่าศักยภาพพลังงานลมและคุณลักษณะของกังหันลมมีผลต่อต้นทุนพลังงาน

Table 2 The validation of the average wind speed between wind resource maps with the two wind masts

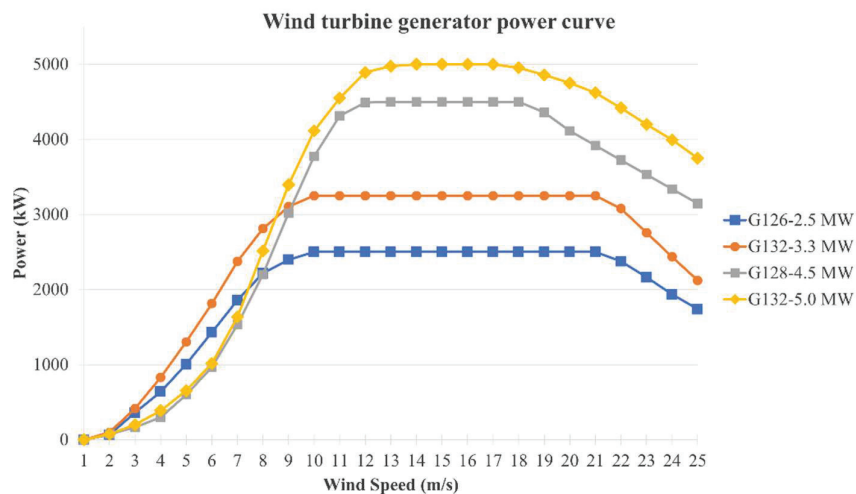
Elevation (m, AGL)	Measured (m/s)	Mesoscale (m/s)	M/P ratio of mesoscale (m/s)	PMRE ratio for mesoscale (%)
90	4.74	3.874	1.22	18.27%
150	5.02	4.152	1.21	17.29%

Table 3 The mechanical properties of the wind turbine generators. Source Adapted from Pierrot (2016, 2018a, 2018b, 2018c).

Wind turbine generator	Number of wind turbine	Cut-in speed (m/s)	Rate speed (m/s)	Cut-out Speed (m/s)	Rotor diameter (m)
G126-2.5 MW	4	2	12.5	27	128
G132-3.3 MW	3	2	10	25	132
G128-4.5 MW	2	2	10	25	128
G132-5.0 MW	2	2	11	25	132

Table 4 Annual wind frequency (hour/year)

Wind speed (m/s)	Banrai	Kulto	Saphonthong	Sapsithong	Thahinnngom	Thamafaiwan
1	0	0	0	0	0	0
2	2119	0	67	0	0	0
3	5215	1251	3210	4273	2559	2278
4	1426	7509	5483	4487	6201	5869
5	0	0	0	0	0	613
Sum	8760	8760	8760	8760	8760	8760

**Figure 9** The power curve of chosen wind turbine generators.

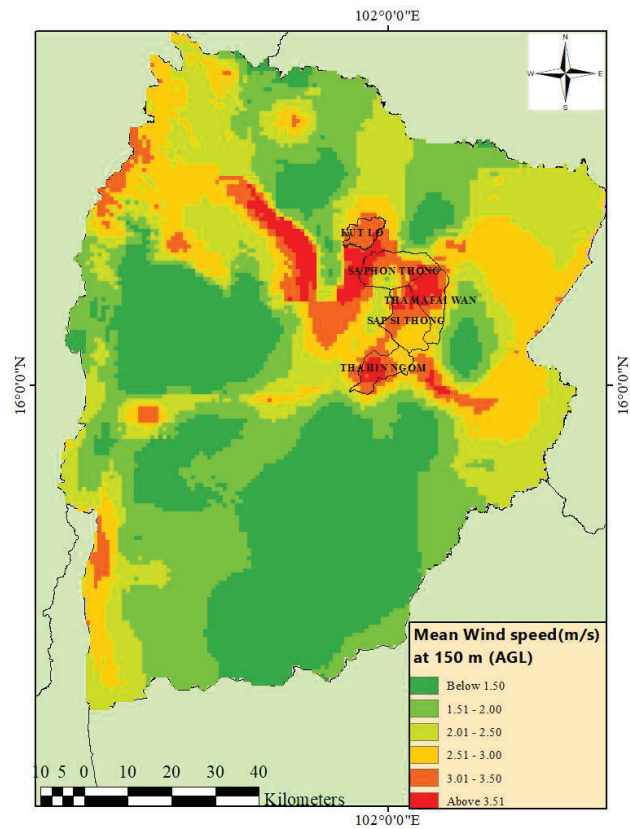


Figure 10 Sub-district with high wind energy potential

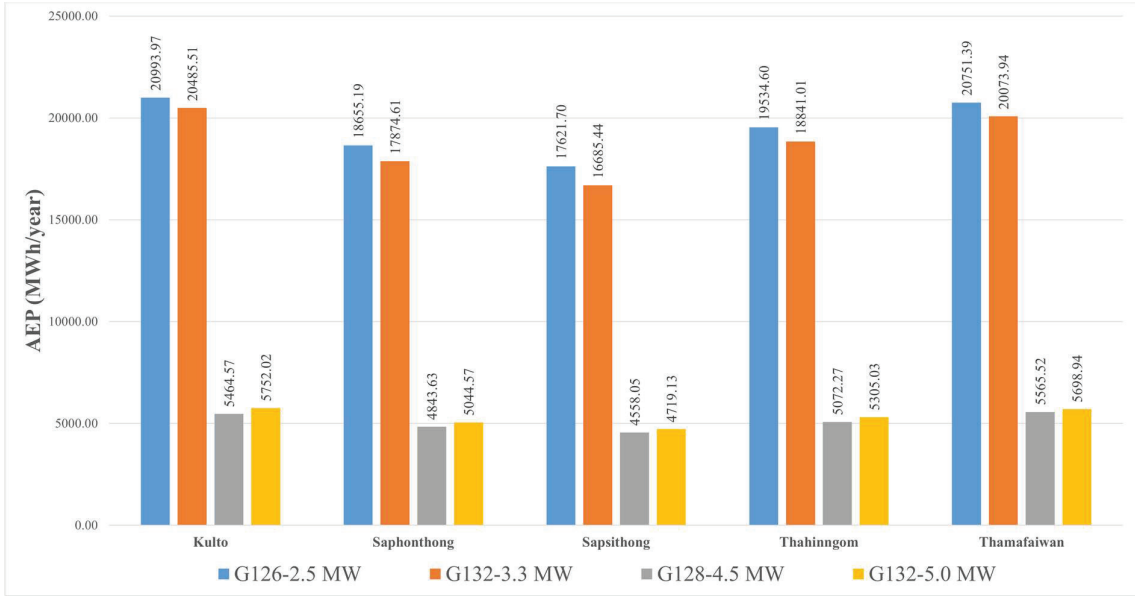


Figure 11 The annual energy production of each site under 10 MW
Very Small Power Producer (VSPP) wind power plants.

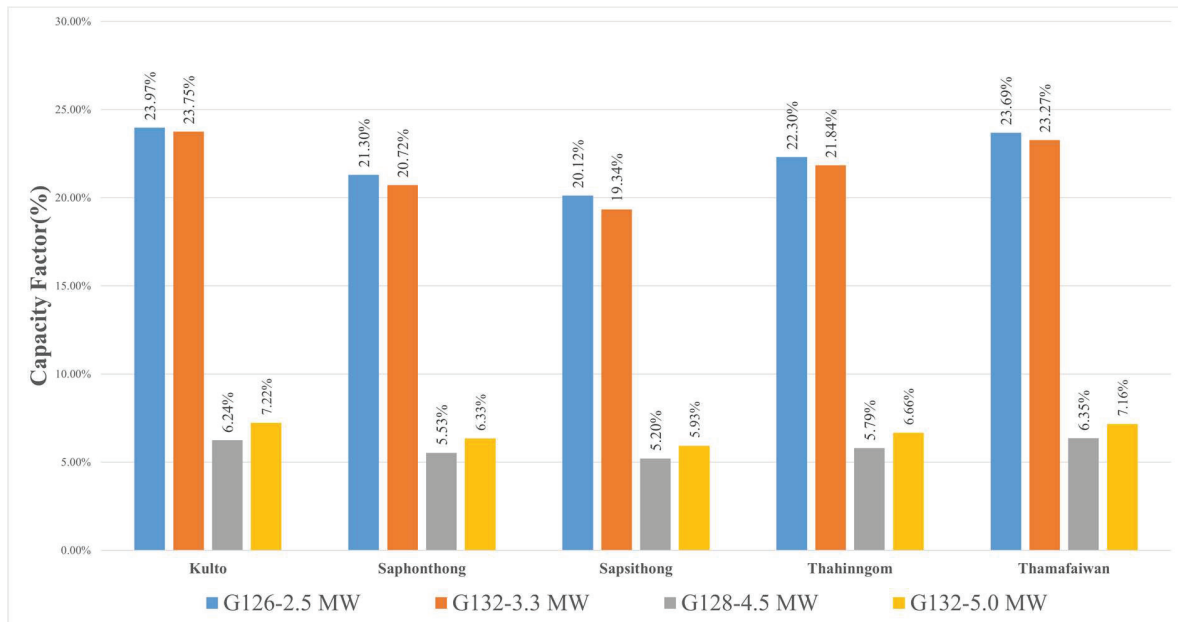


Figure 12 The capacity factor of each site under 10 MW Very Small Power Producer (VSPP) wind power plants.

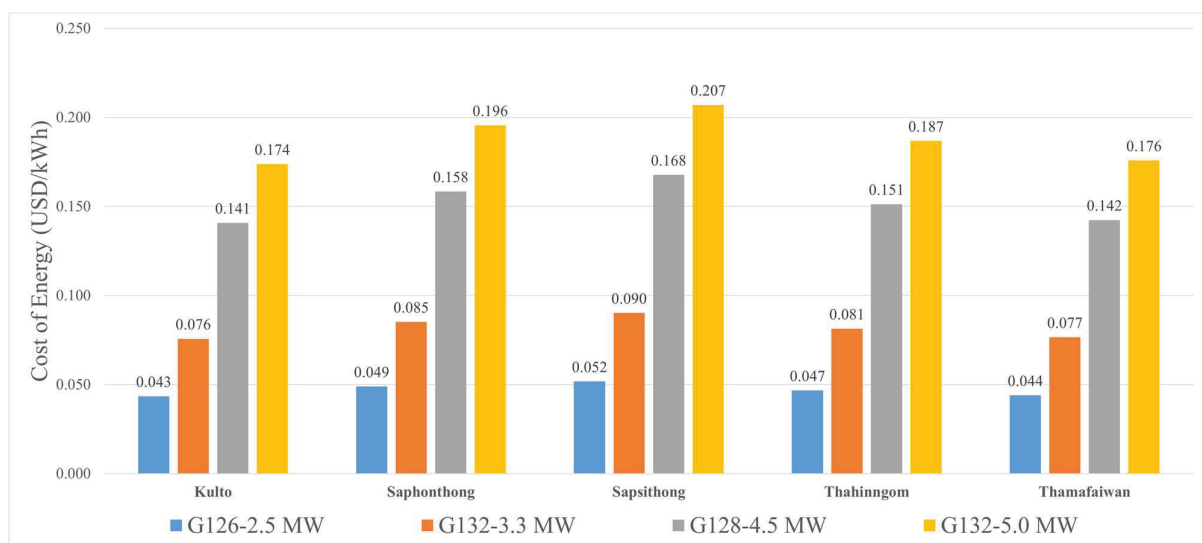


Figure 13 Energy costs for the probable sites under the VSPP 10 MW wind power projects.

สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยที่ดำเนินการในปัจจุบันนี้ได้แสดงให้เห็นว่าพื้นที่จังหวัดชัยภูมินั้นมีภูมิประเทศที่มีทรัพยากรลมที่มีศักยภาพที่เพียงพอต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากลม จากการสร้างแผนที่ความเร็วลมในพื้นที่ดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงการกระจายของลมที่พบมากในที่ราบสูงบริเวณภูเขาและนอกเหนือจากฟาร์มกังหันลมส่วนใหญ่ที่ตั้งอยู่ใน อำเภอชัยภูมิและ อำเภอเทพสถิต เป็นส่วนใหญ่ จากผลการจำลองของแผนที่ศักยภาพพลังงานลม แต่ยังมีพื้นที่อื่นที่มีศักยภาพเพียงพอสำหรับการติดตั้งฟาร์มกังหันลมเช่น 5 ตำบล

ที่กล่าวไปข้างต้น งานวิจัยนี้มุ่งเน้นพัฒนาแผนที่ทรัพยากรลมในจังหวัดชัยภูมิโดยใช้กริดที่มีความละเอียดสูงร่วมกับแบบจำลอง MC2 และ MS-micro ที่อยู่ใน WEST Toolkit สำหรับการสร้างแบบจำลองระดับเมโซและไมโครตามลำดับ ร่วมกับฐานข้อมูลอากาศ NCEP/FNL, ข้อมูลภูมิประเทศและข้อมูลการใช้ที่ดิน ผลการจำลองแผนที่ทรัพยากรลมที่ใช้กริดที่มีความละเอียด 200 เมตรแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ในจังหวัดชัยภูมิมีศักยภาพความเร็วลม (ความเร็วลมอยู่ในช่วง 3.5 ถึง 4.93 เมตรต่อวินาที) ทั้งหมด 5 พื้นที่ ได้แก่ ตำบลกุดละและ, ตำบลท่ามะไฟหวาน, ตำบลชัยสทอง ตำบลสระโพนทองและตำบล

ทำห็นโนนงาม จากความเร็วลมและความถี่ในการเกิดลมในพื้นที่ที่กล่าวมา ภายใต้นโยบายพลังงานลมของประเทศไทย ที่มีผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP 10 MW) สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด 20,994 เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี (MWh/year) โดยมีต้นทุนพลังงานประมาณต่ำสุดที่ 0.43 ดังนั้นการศึกษาและจัดทำแผนที่ทรัพยากรลมนี้สามารถนำไปใช้ประเมินทรัพยากรลมในท้องถิ่นพื้นที่อื่นได้ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้เป็นเพียงการวิเคราะห์เบื้องต้นเท่านั้นควรจะมีการประเมินแบบรายเดือนเพิ่มและควรมีการปรับปรุงโมเดลการไหลของลมโดยเพิ่มเงื่อนไขอื่นๆ เช่น ทิศทางลม, ความแปรปรวนตามฤดูกาลและผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม-สังคม ที่เกิดจากการติดตั้งกังหันลมของโครงการเพื่อประกอบการตัดสินใจสำหรับผู้ลงทุนต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ภายใต้ทุนวิจัย M.Eng. โครงการนักศึกษาภายใต้สัญญาเลขที่ M-Eng.-ME-001/2566 และขอขอบพระคุณ รศ.ดร. จอมภพ แวตักดิ์ และทีมวิจัยศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณสำหรับข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาและซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการทำแผนที่ และขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนร่วมในการดำเนินงานในงานวิจัยนี้ทุกท่าน

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2566a). รายงานสถานการณ์พลังงานของประเทศไทย เดือนมกราคม-กรกฎาคม 2566. <https://kc.dede.go.th/knowledge-view.aspx?p=505>

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2566b). สัดส่วนการใช้พลังงานทดแทน. https://www.dede.go.th/articles?id=449&menu_id=1

กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2022). ข้อมูลสภาพการใช้ที่ดิน. <https://webapp.1dd.go.th/lpd/LandUseInfor.php>

กลุ่มงานยุทธศาสตร์และข้อมูลเพื่อการพัฒนาจังหวัด สำนักงานจังหวัดชัยภูมิ. (2567, มกราคม 14). ข้อมูลจังหวัดชัยภูมิ. https://www.chaiyaphum.go.th/page_about/about1.php

Bank of Thailand. (2023). *Thailand's macroeconomic indicators*. <https://www.bot.or.th/th/home.html>

Deepo, W., Kongjeen, Y., & Plangklang, B. (2021). Performance analysis of an 18 MW wind farm in Nakhon Ratchasima Province. *Proceeding of the 2021 9th International Electrical Engineering Congress, IEECON 2021*, 121–124. <https://doi.org/10.1109/IEECON51072.2021.9440265>

Dominic, C. (2021, November 12). *Global net zero commitments*. <https://commonslibrary.parliament.uk/global-net-zero-commitments/>

EPPO. (2020). *Power development plan: PDP 2018 revision 1*. In *Energy Policy Plan*. <https://www.egat.co.th/home/egat-development-plan/>

Gasset, N., Landry, M., & Gagnon, Y. (2012). A comparison of wind flow models for wind resource assessment in wind energy applications. *Energies*, 5(11), 4288–4322. <https://doi.org/10.3390/en5114288>

Gibb, D., Ledanois, N., Ranalder, L., & Yaqoob, H. (2022). *Renewables 2022 global status report*. <https://www.ren21.net/gsr-2022/>

IRENA. (2023). *Renewable power generation costs in 2020*. <https://www.irena.org>

Janjai, S., Masiri, I., Promsen, W., Pattarapanitchai, S., Pankaew, P., Laksanaboonsong, J., Bischoff-Gauss, I., & Kalthoff, N. (2014). Evaluation of wind energy potential over Thailand by using an atmospheric mesoscale model and a GIS approach. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 129, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2014.03.010>

Kim, B., Lee, K., Ko, K., & Choi, J. (2022). Offshore wind resource assessment off the coast of Daejeong, Jeju Island using 30-year wind estimates. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18447-7>

Martinez, A., & Iglesias, G. (2022). Climate change impacts on wind energy resources in North America based on the CMIP6 projections. *Science of the Total Environment*, 806. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150580>

Mundu, M. M., Nnamchi, S. N., Ukagwu, K. J., Peter, B. A., Nnamchi, O. A., & Ssempewo, J. I. (2022). Numerical modelling of wind flow for solar power generation in a case study of the tropical zones. *Modeling Earth Systems and Environment*, 8(3), 4123–4134. <https://doi.org/10.1007/s40808-021-01343-w>

Pierrot, M. (2016). *Gamesa G126/2500*. In *Wind Power*. https://www.thewindpower.net/turbine_en_1088_gamesa_g126-2500.php

Pierrot, M. (2018a). *Gamesa G128/4500*. In *Wind Power*. https://www.thewindpower.net/turbine_en_81_gamesa_g128-4500.php

- Pierrot, M. (2018b). Gamesa G132/3300. In *Wind Power*. https://www.thewindpower.net/turbine_en_1105_gamesa_g132-3300.php
- Pierrot, M. (2018c). Gamesa G132/5000. In *Wind Power*. https://www.thewindpower.net/turbine_en_774_gamesa_g132-5000.php
- Polnumtiang, S., & Tangchaichit, K. (2022a). Potential wind power generation at Khon Kaen, Thailand. *Wind and Structures*. <https://doi.org/10.12989/was.2022.35.6.000>
- Polnumtiang, S., & Tangchaichit, K. (2022b). Wind energy resource assessment for Mukdahan, Thailand. *International Journal of Green Energy*, 19(2), 137–148. <https://doi.org/10.1080/15435075.2021.1941039>
- Research Data Archive. (2023). *NCEP FNL operational model global tropospheric analyses, continuing from July 1999*. <https://rda.ucar.edu/datasets/ds083.2/>
- Tawinprai, S., Polnumtiang, S., Suksomprom, P., Waewsak, J., & Tangchaichit, K. (2022). Modeling of wind energy potential using a high-resolution grid over Mekong riverside region in the northeastern part of Thailand. *Theoretical and Applied Climatology*, 150(3–4), 1587–1604. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04235-w>
- Tawinprai, S., Polnumtiang, S., Suksomprom, P., Waewsak, J., & Tangchaichit, K. (2023a). A modelling approach for evaluating the wind resource and power generation using a high-resolution grid at selected regions in the northeast of Thailand. *Modeling Earth Systems and Environment*. <https://doi.org/10.1007/s40808-022-01669-z>
- Tawinprai, S., Polnumtiang, S., Suksomprom, P., Waewsak, J., & Tangchaichit, K. (2023b). A modelling approach for evaluating the wind resource and power generation using a high-resolution grid at selected regions in the northeast of Thailand. *Modeling Earth Systems and Environment*, 9(3), 3229–3241. <https://doi.org/10.1007/s40808-022-01669-z>
- Waewsak, J., Landry, M., & Gagnon, Y. (2015). Offshore wind power potential of the Gulf of Thailand. *Renewable Energy*, 81, 609–626. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.03.069>