

การศึกษาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมสำหรับ จังหวัดนครพนม

A Study of Wind Energy Potential for Electricity in Nakhon Phanom Province, Thailand

พนิดา สุขสมพร้อม¹ เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต^{1,2} ศิโรรัตน์ พัฒนไพโรจน์^{1,*}

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

² ศูนย์วิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยขอนแก่น (AERD-KKU)

*Corresponding author e-mail: siropa@kku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ศึกษาศักยภาพพลังงานลมเฉพาะพื้นที่ของจังหวัดนครพนมเป็นระยะเวลา 1 รอบฤดูกาล (1 ปี) เริ่มตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ.2562 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ.2563 เก็บข้อมูลความเร็วลมและทิศทางลมที่ความสูงสองระดับคือ 60, 90 เมตรเหนือพื้นดิน ข้อมูลที่ได้ถูกนำไปประเมินศักยภาพของพลังงานลมเฉพาะพื้นที่โดยอาศัยการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลอง WAsP 10.0 วิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีจากกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังการผลิตติดตั้ง ขนาด 0.85, 2.0, 3.3 และ 4.5 เมกะวัตต์ ที่ความสูงต่าง ๆ รวมทั้งประเมินประสิทธิภาพกังหันลม (CF) กังหันลมที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในงานวิจัยนี้คือ G3.3 MW สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้ารายปี (AEP) 7,756 เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี โดยมีประสิทธิภาพกังหันลม (CF) 26.83%

คำสำคัญ : ความเร็วลม การแจกแจงแบบไวบูลล์ กังหันลม จังหวัดนครพนม

Abstract

This research aims to study the wind energy potential in Nakhon Phanom province of Thailand for 1-year from April 2019 to Mar 2020. The direction and speed of the wind were obtained at 60 and 90 m height above ground level, ground level is 163 m above sea level. The annual energy production (AEP) and capacity factor of the wind turbine generator size of 0.85 MW, 2.0 MW 3.3 MW and 4.5 MW were analyzed using WAsP 10.0; the results shown that generator size 3.3 MW had the highest capacity factor of 26.83% estimating to give 7,756 MWh/year.

Key words : Wind Speed, Weibull Distribution, Wind Turbine, Nakhon Phanom province

1. บทนำ

ในสถานการณ์ปัจจุบันพลังงานลมเป็นหนึ่งในพลังงานหมุนเวียนที่มีแนวโน้มเป็นตัวเลือกที่มีความน่าสนใจมากขึ้นทั้งในกลุ่มนักวิจัยและนักลงทุน [1] อันเนื่องมาจากปัญหาทางด้านปรากฏการณ์ภาวะโลกร้อนและสภาวะด้านเศรษฐกิจที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน การพัฒนาและใช้พลังงานในประเทศให้เกิดประโยชน์สูงสุดเพื่อเป็นการแก้ปัญหาอย่างยั่งยืน การลดการนำเข้าของแหล่งพลังงานจากต่างประเทศ และลดการใช้พลังงานจากฟอสซิลแล้วหันมาใช้พลังงานหมุนเวียนมากขึ้นแทน

เทคโนโลยีพลังงานลม คือการนำลมมาใช้ประโยชน์จะต้องอาศัยกังหันลมในการเปลี่ยนพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลม เป็นพลังงานกลก่อนนำไปใช้ประโยชน์ พลังงานลมเป็นพลังงานที่ยั่งยืน ใช้ไม่มีวันหมด และที่สำคัญกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากลมยังไม่ปล่อยของเสียที่เป็นอันตรายต่อสภาพแวดล้อม [2] ซึ่งก่อนที่จะนำพลังงานลมมาใช้พัฒนาให้เกิดประโยชน์นั้นจำเป็นต้องทำขั้นตอนการศึกษาเพื่อทำการประเมินสถานที่ที่มีศักยภาพพลังงานลมที่เพียงพอสำหรับการผลิตไฟฟ้า [3] ซึ่งการประเมินแหล่งพลังงานลมนั้นมีอยู่มากมายหลายประเทศทั่วโลก เช่น ยุโรป [4-5] อเมริกา [6] แอฟริกา [7-8] และเอเชีย [9-10] โดยส่วนใหญ่การศึกษาได้มุ่งเน้นไปที่ความเร็วลมเฉลี่ยรายปี การกระจายตัวของทิศทางลม การแจกแจงไวบูลล์ (Weibull Distribution) กำลังลมและการผลิตพลังงานไฟฟ้ารายปี แต่อย่างไรก็ตามการเลือกใช้กังหันลมที่เหมาะสมรวมถึงการเลือกสถานที่ที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นเพื่อความแม่นยำและช่วยลดความเสี่ยงในการลงทุน ดังนั้นการพิจารณาความเป็นไปได้ในการลงทุนสามารถพิจารณาได้จากภายใต้ข้อมูลต่าง ๆ ของประเทศตัวอย่างเช่น มีรายงานว่าในหมู่เกาะพีจี คาบสมุทรซูลา [11] พบความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ 5.65 m/s, 6.38 m/s ที่ความสูง 20 m และ 34 m การกระจายตัวของทิศทางลมทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ และแผนที่พลังงานลมจาก WAsP รัศมี 5 km ผลิตพลังงานไฟฟ้ารายปีอยู่ที่ 450 MWh จาก

กังหันลม Vestas V27 225 kW กำลังการผลิต 22.77% และได้พบรายงานว่าในเขตอุตสาหกรรม เมืองจูปิลล์ ซาอุดีอาระเบีย [12] ความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ 3.34, 4.79 และ 5.35 m/s ที่ความสูง 10, 50, 90 m ทิศทางลมที่พัฒมานั้นมาจากทางตะวันตกเฉียงเหนือ แรงเคลื่อนของลมค่าเป็น 0.217 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกำลังลมคือ 50.92, 116.03 และ 168.46 W/m² ตามลำดับ กังหันลมขนาด 3 MW ผลิตพลังงานไฟฟ้ารายปีอยู่ที่ 6285 MWh โดยมีกำลังการผลิตอยู่ที่ 25%

สำหรับประเทศไทยการศึกษาการประเมินศักยภาพพลังงานลมในช่วง 10 กว่าปีที่ผ่านมาจากหน่วยงานต่างๆ โดยได้มีการวิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาแต่ในทางอุตุนิยมวิทยามีความสูงเพียง 10 m (AGL) ซึ่งในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมจำเป็นต้องทราบศักยภาพความเร็วลมที่ความสูง 50 m (AGL) ขึ้นไป [13] และปัจจุบันจากแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP) พ.ศ.2561-2580 ประเทศไทยกำหนดเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมไว้รวม 3,000 MW เมื่อสิ้นสุดแผนในปี 2580 โดยปัจจุบันมี การ ผลิต ไฟ ฟ้า จาก พ ลั ง ง า น ล ม เข้า ระบบ (COD) แล้ว รวมทั้งสิ้น 1,421 MW [14] แต่เนื่องจากในประเทศไทย การศึกษาการประเมินศักยภาพพลังงานลมนั้นยังถือได้ว่ามีไม่มากนักถ้าเทียบกับต่างประเทศ พลังงานลมจึงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจในการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพพลังงานลมเพื่อผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมในจังหวัดนครพนม ซึ่งอยู่ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย เป็นพื้นที่ราบสูงและมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นสถานที่ที่มีศักยภาพพลังงานลมเพียงพอต่อการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ซึ่งสภาพภูมิอากาศส่วนใหญ่เป็น ล ม ม ร สุม ป ระ ก อ บ คั ว ย ล ม ม ร สุม ตะวันออกเฉียงเหนือที่เกิดขึ้นตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงมีนาคม ส่วนลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้เกิดขึ้นจากเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม [15] ในการศึกษาในครั้งนี้โดยได้ตรวจวัดความเร็วลมเป็นระยะเวลา 1 รอบฤดูกาล (1 ปี)

ที่ความสูงสองระดับคือ 60, 90 m นำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลรายปี รายเดือน รายวัน ทิศทางการกระจายตัวของลม ความหนาแน่นของกำลังลม และศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้ารายปี ปัจจัยกำลังการผลิตของกังหันลมเชิงพาณิชย์ ทั้งนี้เพื่อเป็นข้อมูลในการประเมินศักยภาพพลังงานลมเฉพาะพื้นที่และสามารถเพื่อนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการผลิตไฟฟ้าต่อไปในอนาคต รวมทั้งการคัดเลือกกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าในเหมาะสมต่อพื้นที่อีกด้วย

2.ตำแหน่งที่ตั้งเสาวัดลมและวิธีตรวจวัดลม

พื้นที่ในการติดตั้งเสาวัดลมที่บริเวณตำบลน้ำกล้า อำเภอดงหลวง จังหวัดนครพนม ตั้งอยู่ที่พิกัด ละติจูด N 16°86' ลองจิจูด E 104°72' เสาวัดลมแบบ โครงถักสามเหลี่ยมความสูง 100 เมตร ระดับความสูงเหนือน้ำทะเล 163.0 m แสดงดังรูปที่ 1-2

เมื่อติดตั้งเสาวัดลมและอุปกรณ์เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer) แบบสามถ้วย NRG#40C และเครื่องวัดทิศทางลมหรือสรลม (Wind Vane) NRG#200P ของบริษัท NRG Systems ผลิตในสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานที่ทั่วโลกยอมรับ ดังตารางที่ 1 ที่ระดับความสูง 60 และ 90 m ตามลำดับ เก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 1 รอบฤดูกาล (1 ปี) ตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563 ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยทุก ๆ 10 นาที จะถูกบันทึกไว้ที่เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) นำมาวิเคราะห์หาศักยภาพพลังงานลมโดยใช้หลักการทางสถิติ และโปรแกรม WAsP 10.0



รูปที่ 1 ตำแหน่งที่ตั้งเสาวัดลม



รูปที่ 2 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเร็วลมบนเสาที่ความสูง 2 ระดับ

ตารางที่ 1 อุปกรณ์ที่ติดตั้งบนเสาวัดลม

อุปกรณ์	รายละเอียด	ผู้ผลิต
เสาวัดลม 100 เมตร	โครงถักสามเหลี่ยม	NRG System
Anemometer NRG#40C	-ชนิด 3 ถ้วย -ช่วงความเร็วลมทำงาน 1-96 m/s -ความถี่ (Hz)แปรผันกับความเร็วม -TF (m/s)=(Hz*0.765)+0.35	
Wind Vane NRG#200P	-Measuring Rang 0-360° -ช่วงทำงาน -55 ถึง 60 c ° -ช่วงทำงาน 0 ถึง100% RH	

3.ผลและการอภิปราย

3.1 ลักษณะความเร็วลมเฉลี่ยรายปี, รายเดือนและรายชั่วโมง

ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563 ที่ความสูงแตกต่างกันสองระดับคือ 60 และ 90 เมตรเหนือพื้นดิน ความเร็วลมเฉลี่ยรายปี แสดงดังรูปที่ 3 พบว่าความเร็วลมมีความแปรผันไม่มากนักในระยะเวลา 1 รอบปี รูปที่ 4 และตารางที่ 2 แสดงความเร็วลมเฉลี่ยในแต่ละเดือนจะพบว่าความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดในเดือนธันวาคมเท่ากับ 5.07 และ 4.53 เมตรต่อวินาที และต่ำสุดในเดือนพฤษภาคม เท่ากับ 3.49 และ 2.99 เมตรต่อวินาที ที่ความสูง 90 และ 60 เมตร ตามลำดับ รูปที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมรายชั่วโมง พบว่าในช่วงเวลากลางคืน (18.00-06.00 น.) จะมี

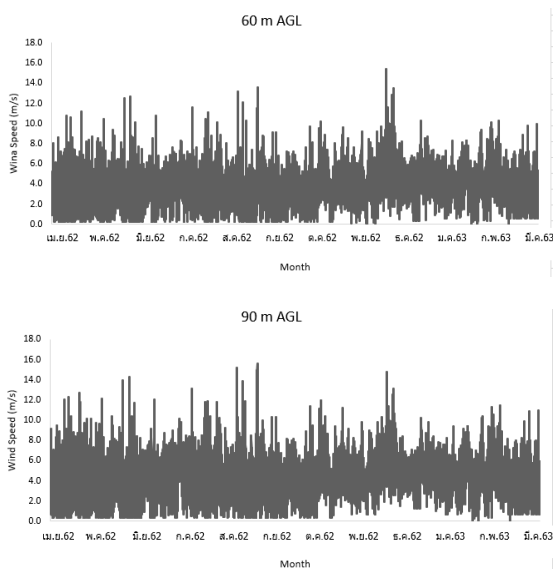
ความเร็วลมมากกว่าช่วงเวลากลางวัน (06.00-18.00 น.) ในช่วงกลางวันลมจะค่อนข้างเสถียร ตารางที่ 3 แสดงพารามิเตอร์การกระจายตัว k, c และกำลังลมเฉลี่ยตามฤดูกาล โดยฤดูหนาว (พ.ย.-ม.ค.), ฤดูร้อน (ก.พ.-พ.ค.), ฤดูฝน (มิ.ย.-ต.ค.)

ความเร็วลมเฉลี่ย (U_m) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) หาได้โดยใช้สมการ (1) และ (2)

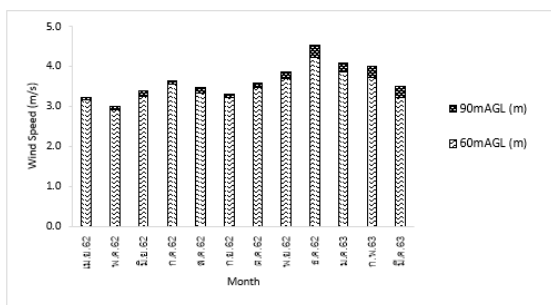
$$U_m = \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N U_i \right] \quad (1)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^N (U_i - U_m)^2 \right] \quad (2)$$

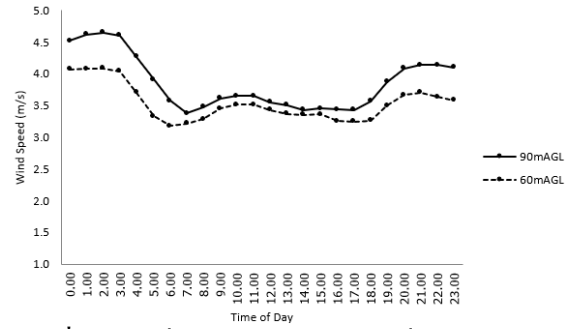
โดยที่ U_m คือ ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s), U_i คือ ความเร็วลมเฉลี่ยตลอดช่วงเวลา (m/s), N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด, σ คือ ค่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมเฉลี่ยรายปี



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมง

ตารางที่ 2 ความเร็วลมเฉลี่ย (เมตรต่อวินาที)

เดือน	ความสูง (m)	
	90mAGL	60mAGL
เม.ย.62	3.79	3.23
พ.ค.62	3.49	2.99
มิ.ย.62	3.90	3.40
ก.ค.62	4.26	3.64
ส.ค.62	3.99	3.47
ก.ย.62	3.86	3.31
ต.ค.62	4.18	3.58
พ.ย.62	4.44	3.86
ธ.ค.62	5.07	4.53
ม.ค.63	4.62	4.09
ก.พ.63	4.46	4.00
มี.ค.63	3.87	3.49
ความเร็วลมเฉลี่ยตลอดทั้งปี (m/s)	4.16	3.63

3.2 การแจกแจงไวบูลล์ (Weibull distribution function) และทิศทางลม

การแจกแจงไวบูลล์เป็นการแจกแจงทางสถิติประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ 2 ตัว ใช้แทนลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลลมทางสถิติ คือ Shape Parameter (k) และ Scale Parameter (c) [16] สามารถหาได้จากสมการที่ (3-5)

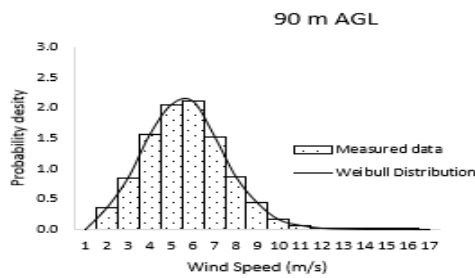
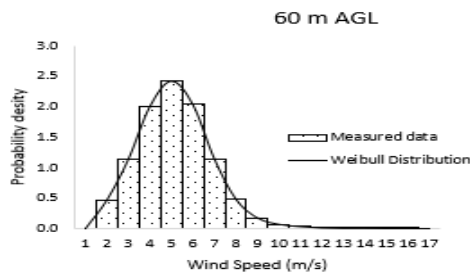
$$f(U) = \frac{k}{c} \left(\frac{U}{c} \right)^{k-1} \exp \left(- \left(\frac{U}{c} \right)^k \right)$$

$$k > 0, v > 0, c > 0 \quad (3)$$

$$k = \left(\frac{\sigma}{\bar{U}} \right)^{-1.086} \quad 1 \leq k \leq 10$$

$$c = \frac{\bar{U}}{\Gamma\left(1 + \left(\frac{1}{k}\right)\right)}$$

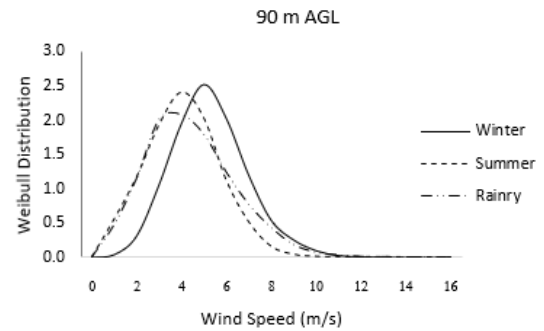
โดยที่ k คือ พารามิเตอร์รูปร่างของไวบูลล์, c คือ พารามิเตอร์ระดับของไวบูลล์ (m/s), Γ คือ Gamma Function



รูปที่ 5 การแจกแจงความถี่ความเร็วลมและเส้นโค้งไวบูลล์

รูปที่ 5 แสดงการแจกแจงความถี่ความเร็วลมและเส้นโค้งไวบูลล์ที่ความสูง 60 และ 90 เมตร พบว่ามีความสัมพันธ์ที่ดีระหว่าง 2 พารามิเตอร์เส้นโค้งไวบูลล์กับความเร็วลม โดยทั่วไปความเร็วเริ่มต้นของกังหันลม (cut-in speed) ส่วนใหญ่มีค่า 3 เมตรต่อวินาที และจากเส้นโค้งไวบูลล์ของงานวิจัยนี้ พบว่าส่วนใหญ่มีการแจกแจงความถี่ลมสูงกว่า 3 เมตรต่อวินาทีขึ้นไปอยู่ที่ 45.6% และ 52.4% ที่ความสูง 60, 90 เมตรตามลำดับ นอกจากนี้ รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบเส้นโค้งไวบูลล์ในแต่ละฤดูกาล พารามิเตอร์ k คือ 2.78, 2.49, 2.04 ในฤดูหนาว, ฤดูร้อนและฤดูฝน ตามลำดับที่ความสูง 90 เมตร และคล้ายกันที่ความสูง 60 เมตร ตารางที่ 3 แสดงพารามิเตอร์ k, c และความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละฤดูกาล

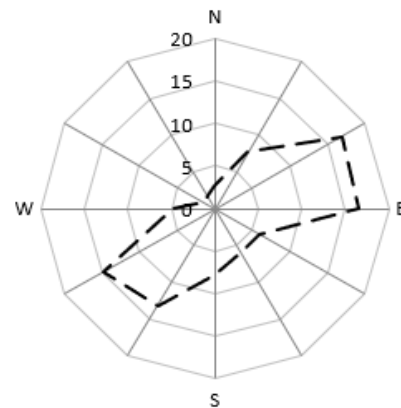
- (4) พบว่าความเร็วลมสูงสุดในฤดูหนาว 4.13 เมตรต่อวินาที และค่าพารามิเตอร์ c พบค่าสูงสุดในฤดูหนาว 4.70 เมตรต่อวินาที ที่ความสูง 90 เมตร พารามิเตอร์ k พบค่าสูงสุดในฤดูหนาว และต่ำสุดในฤดูฝน พบข้อมูลคล้ายกันที่ความสูง 60 เมตรรูปที่ 7 แสดงถึงทิศทางการกระจายตัวของลมเฉลี่ยตลอดทั้งปีที่ความสูง 90 เมตร ทิศทางของลมส่วนใหญ่พัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือไปยังทิศตะวันตกเฉียงใต้ สำหรับพื้นที่
- (5)



รูปที่ 6 เส้นโค้งไวบูลล์เฉลี่ยตามฤดูกาล

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ k, c และกำลังลมเฉลี่ยตามฤดูกาล

เดือน	ความสูง (m)					
	60 mAGL			90 mAGL		
	U (m/s)	c (m/s)	k	U (m/s)	c (m/s)	k
ฤดูหนาว	4.13	4.70	2.64	4.60	5.20	2.78
ฤดูร้อน	3.54	4.00	2.54	3.89	4.10	2.49
ฤดูฝน	3.43	3.90	2.12	3.64	4.40	2.04
รายปี	3.67	4.20	2.38	4.19	4.70	2.47



รูปที่ 7 ทิศทางการกระจายตัวของลมเฉลี่ยรายปีที่ความสูง 90 เมตร

3.3 ความหนาแน่นของกำลังลมและค่าสัมประสิทธิ์แรงลมเหนือ

ความหนาแน่นของกำลังลมพื้นที่นี้หาได้โดยใช้สมการที่ (6) โดย (P) ความหนาแน่นของกำลังลม และใช้ความหนาแน่นของอากาศมาตรฐานเท่ากับ 1.225 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร [17]

$$P = \frac{1}{2} \rho U^3$$

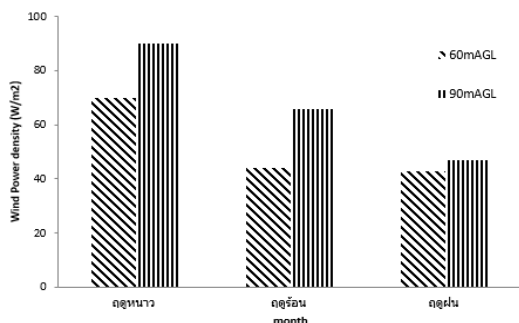
ค่าสัมประสิทธิ์แรงลมเหนือ (WSC, α) หาได้จากสมการที่ (7)

$$\alpha = \frac{\ln(U_2) - \ln(U_1)}{\ln(Z_2) - \ln(Z_1)}$$

โดยที่ U_1 และ U_2 คือความเร็วลมเฉลี่ยที่ความสูง Z_1 และ Z_2 ตามลำดับ

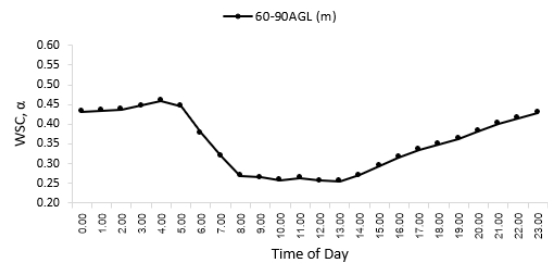
รูปที่ 8 แสดงค่าความหนาแน่นกำลังลมเฉลี่ยตามฤดูกาล ค่าจะเพิ่มขึ้นตามความสูงและพบค่าสูงสุดในฤดูหนาว 90, 66 และ 47 วัตต์ต่อตารางเมตร ในฤดูร้อน, ฤดูฝน ที่ความสูง 90 เมตร ตามลำดับ และ 70, 44, 43 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่ความสูง 60 เมตร ในฤดูหนาว, ฤดูร้อน และฤดูฝน

อย่างไรก็ตามความหนาแน่นของกำลังลมที่วัดได้บริเวณพื้นที่นี้ยังถือได้ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างต่ำ [18] สำหรับการติดตั้งกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์ ตาม $\bar{P}/A < 100 \text{ W/m}^2$ ต่ำ , $\bar{P}/A \approx 400 \text{ W/m}^2$ ดี $\bar{P}/A > 700 \text{ W/m}^2$ ดีมาก



รูปที่ 8 ความหนาแน่นกำลังลมเฉลี่ยตามฤดูกาล

รูปที่ 9 แสดงถึงค่าสัมประสิทธิ์แรงลมเหนือเฉลี่ย (WSC) ของความสูงระหว่าง 60-90 เมตร มีค่าเท่ากับ 0.35 ค่า WSC มีค่าค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของความขรุขระของพื้นผิวของบริเวณสถานีวัดลม โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 14.00 น. และเพิ่มขึ้นค่อนข้างคงที่จนถึง 0.00 น. จากนั้นจะมีค่าค่อนข้างคงที่ และมีการลดลงอย่างฉับพลันในช่วงเช้า 06.00 น.-09.00 น. เนื่องมาจากได้รับอิทธิพลความร้อนจากแสงอาทิตย์ ในขณะที่เดียวกันสามารถทำนายค่าความเร็วลมนอกช่วงที่ความสูงสูงกว่า 90 เมตร ที่ได้ทำการวัดจริงได้ โดยใช้สมการที่ (7) เมื่อใช้ค่า WSC (α) เท่ากับ 0.35



รูปที่ 9 ค่าสัมประสิทธิ์แรงลมเหนือ

3.3 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีและประสิทธิภาพกังหันลม

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปี (AEP) และประสิทธิภาพกังหันลม (CF) หาได้จากสมการที่ (8) และ (9)

$$AEP = 8760 \int_{U_{ci}}^{U_{co}} P_t(u) f(u) du$$

$$C_f = \frac{AEP}{P_r \times 8760}$$

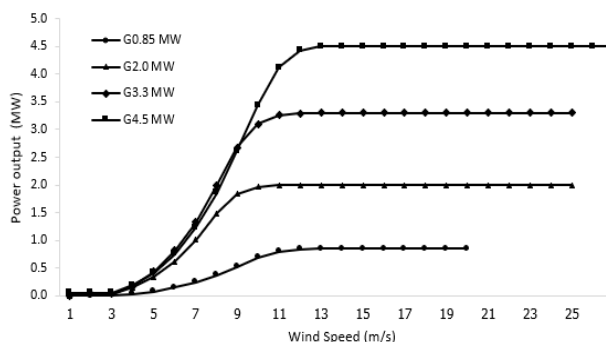
โดยที่ U_{ci} และ U_{co} คือ cut-in speed และ cut-off speed ของกังหันลม P_t เส้นโค้งกำลังของกังหันลม และ P_r ขนาดกำลังของกังหันลม

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกกังหันลมเชิงพาณิชย์มา 4 ตัว เป็นกังหันลมแกนนอน ข้อดีของกังหันลมชนิดนี้มีพื้นที่ในการรับลมมาก, แรงบิดรอบแกนสูง, ความเร็วรอบสูง และคงที่ มีประสิทธิภาพสูง แต่กังหันลมชนิดนี้มีข้อจำกัดคือต้องการเสาขนาดใหญ่เพื่อรองรับชุดเกียร์

และเจนเนอเรเตอร์ที่อยู่บนเสา ต้องมีระบบควบคุมเพื่อหาทิศทางลมและมีเสียงดังในการทำงานเพราะความเร็วรอบสูง ข้อมูลทางเทคนิคแสดงตารางที่ 4 และ รูปที่ 9 เพื่อวิเคราะห์การประเมินการผลิตพลังงานไฟฟ้ารายปี (AEP) จากแบบจำลอง WASP 10.0 และ ประเมินประสิทธิภาพกังหันลม (CF; Capacity Factor)

ตารางที่ 4 ข้อมูลจำเพาะของกังหันลม

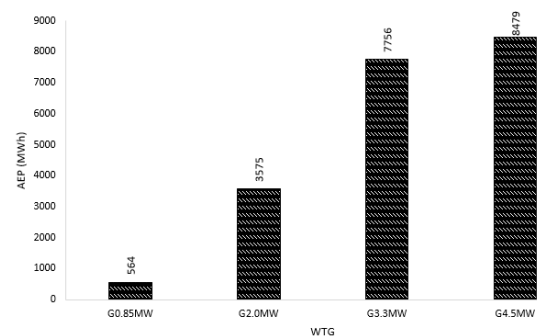
ประเภท	G0.85 MW	G2.0 MW	G3.3 MW	G4.5 MW
Rated output (MW)	0.85	2.0	3.3	4.5
Rotor dimeter (m)	58	114	132	128
Number of blades	3	3	3	3
Hub height (m)	65	93	134	140
Sweep area (m ²)	2,642.0	10,207.0	13,685.0	12,868.0
Cut-in speed (m/s)	3.0	2.5	2.0	1.0
Cut-out speed (m/s)	20.0	25.0	25.0	27.0
Rated wind speed (m/s)	12.5	10.0	10.0	12.0



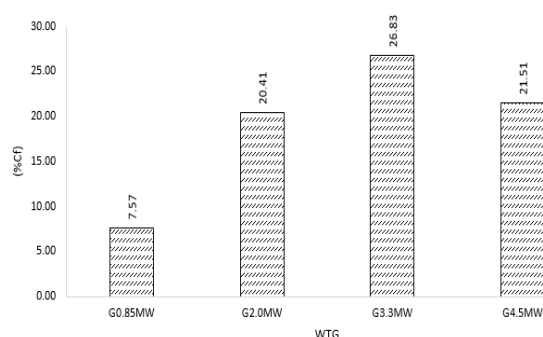
รูปที่ 10 เส้น โต้้งกำลังกังหันลม
(Wind turbines power curves)

การผลิตพลังงานไฟฟ้ารายปี (AEP) แสดงดังรูปที่ 11 สูงสุด 8,479 เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี จากกังหันลม G4.5 MW ตามด้วย 7,756, 3,575 และ 546 เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี จากกังหันลม G3.3, G2.0, G0.85 MW ตามลำดับ ในรูปที่ 12 ประสิทธิภาพกังหันลม (CF) มีค่า 26.83%, 21.51%, 20.41% และ 7.57% สำหรับกังหันลม G3.3, G4.5, G2.0, G0.85 MW ตามลำดับ

การคำนวณประสิทธิภาพกังหันลม (CF) หาได้จากอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ผลิตได้จริงจากกังหันลมต่อพลังงานที่สามารถผลิตได้ในกรณีที่กังหันลมทำงานเต็มพิกัดตลอดเวลา อย่างไรก็ตาม CF เป็นตัวเลือกสำคัญในการตัดสินใจติดตั้งกังหันลม CF ที่คำนวณได้จากกังหันลมที่เลือกมาเป็นกรณีศึกษาสำหรับพื้นที่นี้ยังถือได้ว่ามีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ มีเพียงกังหันลม G3.3 MW ที่มีประสิทธิภาพกังหันลม (CF) ที่ดี ค่า CF ของกังหันลมที่มีประสิทธิภาพดี ณ บริเวณที่มีศักยภาพพลังงานลมสูงอยู่ในช่วง 25% - 40% [19]



รูปที่ 11 การผลิตพลังงานไฟฟ้ารายปี (AEP)



รูปที่ 12 ประสิทธิภาพกังหันลม (CF)

4.สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาศักยภาพพลังงานลมเพื่อผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมในจังหวัดนครพนม ซึ่งอยู่ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยตรวจวัดความเร็วลมเป็นระยะเวลา 1 รอบฤดูกาล (1 ปี) ที่ความสูงสองระดับคือ 60, 90 เมตร พบว่า ความเร็วลมเฉลี่ยตลอดทั้งปีมีค่า 4.16 และ 3.63 เมตรต่อวินาที ที่ความสูง 90 และ 60 เมตรตามลำดับ ในขณะที่ทิศทางลมส่วนใหญ่กระจายตัวจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือไปยังทิศตะวันตกเฉียงใต้ ในช่วงเวลากลางคืน (18.00-06.00 น.) จะมีความเร็วลมมากกว่าช่วงเวลากลางวัน (06.00-18.00 น.) ในช่วงกลางวันความเร็วลมจะค่อนข้างเสถียร การแจกแจงความถี่ลมที่มีค่าสูงกว่า 3 เมตรต่อวินาทีขึ้นไปมีค่า 45.6% และ 52.4% ที่ความสูง 60, 90 เมตรตามลำดับ

ในส่วนของความหนาแน่นกำลังลมมีค่าอยู่ระหว่าง 50 ถึง 72 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่ความสูง 60, 90 เมตรตามลำดับ พบว่าความเร็วลมสูงสุดในฤดูหนาว 4.13 เมตรต่อวินาที ที่ความสูง 90 เมตร ในส่วนค่าพารามิเตอร์ k พบว่า มีค่าสูงสุดในฤดูหนาว และต่ำสุดในฤดูฝน ค่าสัมประสิทธิ์แรงลมเฉือน (WSC) พบว่าที่ความสูงระหว่าง 60-90 เมตร มีค่าเท่ากับ 0.35 นอกจากนี้การผลิตพลังงานไฟฟ้ารายปี (AEP) 7,756 เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี จากกังหันลม G3.3 MW โดยมีประสิทธิภาพกังหันลม (CF) สูงสุดที่ค่า 26.83% ที่ให้ผลตอบแทนที่ดีกับพื้นที่นี้ ซึ่งจากการประเมินศักยภาพลมพื้นที่นี้ถือได้ว่า มีประสิทธิภาพที่ดี ซึ่งสามารถนำข้อมูลไปประกอบการตัดสินใจในการเลือกติดตั้งกังหันลมที่มีขนาดเหมาะสมในช่วงความเร็วลมสำหรับพื้นที่นี้ และเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ที่สามารถนำไปใช้ได้จริงในการพัฒนาพลังงานลมในพื้นที่อำเภอธาตุพนมต่อไปในอนาคต หรือนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ในด้านการเกษตร

5.กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยขอนแก่น (AERD-KKU) สำหรับการสนับสนุนทุนในการทำวิจัยในครั้งนี้ และผู้ที่มีส่วนร่วมในการดำเนินงาน ในงานวิจัยนี้ทุกท่าน

6.เอกสารอ้างอิง

- [1] Energy and Environment. [online]. Available:<https://sites.google.com/site/energyandenvironment00/sthankarn-phlangngan-khxng-lok.2020>.
- [2] Green Peace Thailand. "Wind Energy," [online]. Available:<https://www.greenpeace.org/thailand/story/8712/wind/>.2020.
- [3] Akpınar EK, Akpınar S, "A statistical analysis of wind speed data used in installation of wind energy conversion systems," Energy Convers Manage, vol.46, pp.515–32, 2005.
- [4] Abbes M, Belhadj J, "Investigation of wind characteristics and wind power potential in El-Kef region, Tunisia," In: 8th international multi-conference. Systems, Signals and Devices; 2011. pp. 1–10.
- [5] Nawri N, Petersen GN, Bjornsson H, Hahmann AN, Jonasson K, Hasager C-B, Clausen N-E. "The wind energy potential of Iceland," Renewable Energy, vol.69, pp.290–9, 2014.
- [6] Wichser C, Klink K, "Low wind speed turbines and wind power potential in Minnesota," USA. Renewable Energy, vol.33, pp.1749–58, 2018.
- [7] Safari B. Modeling, "Wind speed and wind power distributions in Rwanda," Renew Sustain Energy Rev, vol.15, pp.925–35, 2011.
- [8] Al-Abbadi NM, "Wind energy resource assessment for five locations in Saudi Arabia," Renewable Energy, vol.30, pp.1489–99, 2005.

- [9] Nor KM, Shaaban M, Rahman HA, "Feasibility assessment of wind energy resources in Malaysia based on NWP model," *Renewable Energy*, vol.62, pp.147–54, 2014.
- [10] Ki-Yong O, Ji-Young K, Jae-Kyung L, Moo-Sung R, Jun-Shin L, "An assessment of wind energy potential at the demonstration offshore wind farm in Korea," *Energy*, vol.46, pp.555–63, 2012.
- [11] Kaushik S and M.Rafiuddin A, "Wind energy resource assessment for the Fiji islands: Kadavu Island and Suva Peninsula," *Renewable Energy*, vol.89, pp.168-180, 2016.
- [12] M.A.Baseer, J.P.Meyer, Md.Mahbub A, S.Rehman, "Wind speed and power characteristics for Jubail industrial city, Saudi Arabia *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.52, pp.1193-1204, 2015.
- [13] Thailand Renewable Energy for Community Association. "Wind," [online]. Available:<http://www.reca.or.th/library-wind-power.aspx>.
- [14] Thailand Power Development Plan. [online]. Available:<http://www.eppo.go.th/images/POLICY/PDF/PDP2018.pdf>.2020.
- [15] The Meteorological Department. "Wind," [online]. Available:<https://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=52.2020>.
- [16] Weawseang J, Mahin M, Nankongnab N, Thappaya T, Thirawanichayakorn Y, Thirawanichayakorn S and Matan N. Assessment of Micrositing Wind Energy Potential Along the Coasts of Southern Thailand. The National Research Council of Thailand (Wor Chor). 2008.
- [17] Quan, P., & Leephakpreeda, T. Assessment of wind energy potential for selecting wind turbines: An application to Thailand. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 11, 17–26, 2015.
- [18] Amir Dabbaghiyan et al., Evaluation of wind energy potential in the province of Bushehr, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.55, pp.455-466, 2016.
- [19] Chana C, Narit K, Jompob W. Technical Analysis of the Thai Gulf Offshore Wind Farm Power Plant at Pak Phanang District in Nakhon Si Thammarat Province. *Thaksin.J.*, Vol.16 (1) January-June 2013.