การวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วลมในเขตพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์
Wind Speed Data Analysis in Kalasin Province, Thailand

พนิดา สุขสมพร้อม[1], เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต[2], สุภชัย พลน้ำเที่ยง[3]
Panida Suksomprom[1], Kiatfa Tangchaichit[2], Supachai Polnumtiang[3]
Received: 10 July 2019; Revised: 13 August 2019; Accepted: 10 September 2019

บทคัดย่อ
งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาศักยภาพความเร็วลมเฉพาะเขตพื้นที่บริเวณสถานีวัดความเร็วลมภายในจังหวัดกาฬสินธุ์ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยเสาวัดลมแบบโครงถักมีความสูง 120 เมตรเหนือพื้นดิน (AGL) และติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วลม (Anemometer) และทิศทางลม (Wind Vane) ที่ระดับความสูง 60, 90 และ 120 เมตร ทำการบันทึกข้อมูลลมทุก ๆ 10 นาทีที่กล่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) เป็นระยะเวลา 5 ปีติดต่อกัน เริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม 2555 ถึง เดือนธันวาคม 2559 ข้อมูลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ในเชิงสถิติโดยใช้การกระจายตัวแบบไวบูลล์ (Weibull Distribution Function) เป็นรายปี รายเดือน และรายวัน ผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าความเร็วลมเฉลี่ยทั้งปี คือ 3.12, 3.62 และ 3.93 เมตรต่อวินาที กำลังลม (Power Density, W/m^2) มีค่าตั้งแต่ 37, 56 และ 72 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่ระดับความสูง 60, 90 และ 120 เมตรเหนือพื้นดินตามลำดับ ทิศทางการกระจายลมส่วนใหญ่จากทิศทางตะวันออกเฉียงเหนือไปยังทิศใต้ ในช่วงเวลากลางคืนความเร็วลมจะสูงกว่าในช่วงเวลากลางวัน และมีค่า shape (k), scale parameter (c) เฉลี่ยที่ตำแหน่งนี้มีค่าอยู่ในช่วง 2.00 ถึง 2.05 และ 3.60 ถึง 4.50 เมตรต่อวินาที จากการวิเคราะห์ข้อมูลลมที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ถือได้ว่าความเร็วลมมีค่าค่อนข้างต่ำ ดังนั้นกังหันลมขนาดเล็กจึงเหมาะสำหรับแหล่งพลังงานทางเลือก เพื่อลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานและมลพิษต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ*:* พลังงานลม ศักยภาพลม ความเร็วลม จังหวัดกาฬสินธุ์ ไวบูลล์ฟังก์ชั่น

Abstract
The objective of this research was to study wind speed data at Kalasin province in the upper northeast of Thailand. Wind speed and direction at 60, 90 and 120 meter height above ground level (AGL) on a 120 m Guy Mast triangle tower, were recorded and analyzed for the 5-year period from January 2012 until December 2016. TheWeibull Distribution Function was used to analyze data yearly, monthly, and by daily periods. The wind speeds were found to be 3.12, 3.62 and 3.93 m/s and Power Density in this area was 37, 56, 72 W/m^2 at 60, 90 and 120 meter height AGL respectively. The wind direction was mostly from between northeast to south and had shape (k) and scale parameter (c) mean values between 2.00 to 2.05 and 3.60 to 4.50 m/s. sares

Keywords*:* Wind Energy, Wind Potential, Wind Speed, Kalasin Province, Weibull Function

[1] นักศึกษาปริญญาโท, [2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์, [3] นักศึกษาปริญญาเอก, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002, ศูนย์วิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยขอนแก่น (AERD-KKU)

[1] Masters student, [2] Assistant Professor, [3] PhD student, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Muang District, Khon Kaen, 40002, Thailand.

** Corresponding author; Assistant Professor Dr.Kiatfa Tangchaichit, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Muang District, Khon Kaen, 40002, Thailand., Center for Alternative Energy Research and Development, Khon Kean University (AERD-KKU). kiatfa@kkumail.com*

บทนำ

พลังงานถือได้ว่าเป็นสิ่งสำคัญที่ทุกประเทศทั่วโลกให้ความสนใจและเป็นปัจจัยสำคัญในการขับเคลื่อน เศรษฐกิจ เป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำเนินชีวิตของประชาชน เนื่องจากความต้องการทางด้านพลังงานมีความต้องการเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นในทุกปี ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนางานวิจัยด้านพลังงานทางเลือกอื่น ๆ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล หรือแม้แต่พลังงานลมที่หาได้ในประเทศไทย[1] เป็นต้น เพื่อเสริมสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานให้ประเทศมีพลังงานใช้อย่างเพียงพอและมีประสิทธิภาพ

พลังงานลมถือเป็นพลังงานทางเลือกรูปแบบหนึ่ง เป็นพลังงานหมุนเวียนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ สะอาด ใช้แล้วไม่หมดไป ไม่สร้างมลพิษทางสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการใช้พลังงานหมุนเวียนซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกมาทดแทนพลังงานที่ใช้ในปัจจุบัน เพื่อลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและก๊าซธรรมชาติที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ นับว่าทางเลือกที่ดี เนื่องจากพลังงานลมใช้ต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง เป็นพลังงานที่ไม่ได้เกิดขึ้นสม่ำเสมอตลอดทั้งปี เพราะฉะนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษา เก็บข้อมูลเป็นระยะเวลานานอย่างน้อย 1 ปีขึ้นไป[2] เพื่อที่จะได้ผลการประเมินที่ถูกต้องแม่นยำ ใกล้เคียงกับศักยภาพพลังงานลมที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่เพื่อประโยชน์และความคุ้มค่าในการลงทุน หากผลการประเมินศักยภาพพลังงานลมในพื้นที่มีศักยภาพที่จะผลิตไฟฟ้าได้ก็จะก่อให้เกิดประโยชน์อย่างสูง ในการติดตั้งฟาร์มกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้านั้นต้องมีการประเมินศักยภาพพลังงานลมก่อน ดังเช่น ในประเทศจีน[3] สหรัฐอเมริกา[4] เยอรมัน[5] และอินเดีย[6] เป็นต้น สำหรับประเทศไทยได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อประเมินศักยภาพของแหล่งพลังงานลมในช่วง 10 กว่าปีที่ผ่านมาจากหน่วยงานต่าง ๆ โดยอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา การจัดทำแผนที่พลังงานลม และการศึกษาเพื่อประเมินศักยภาพพลังงานลมเฉพาะแหล่ง[7-10] และในปัจจุบันกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานลมของประเทศไทยอยู่ที่ 627.82 เมกะวัตต์ ในปี พ.ศ.2560[11] และรัฐบาลได้ทำการตั้งเป้าหมายให้ได้ 3,002 เมกกะวัตต์ ในปี พ.ศ.2036[12] ตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกของประเทศไทย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอส่วนหนึ่งของผลการศึกษาพื้นที่ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทยซึ่งเป็นพื้นที่ราบสูงและมีความเป็นไปได้ในการศึกษาวิจัยเฉพาะแหล่ง “การวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วลมในเขตพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์” โดยได้นำเสนอผลการศึกษาความเร็วลมเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 5 ปี เป็นรายปี รายเดือนและรายวัน และทิศทางการกระจายลมส่วนใหญ่ เพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานลม และเพื่อเป็นฐานข้อมูลประกอบการตัดสินใจที่จะพัฒนาการติดตั้งฟาร์มกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์

เพื่อประเมินศักยภาพพลังงานลมเฉพาะแหล่งในเขตพื้นที่โรงเรียนบ้านคำบอน ตำบลยางอู้ม อำเภอท่าคันจังหวัดกาฬสินธุ์ และเพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการลงทุนติดตั้งกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ความเร็วลมเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ที่ระดับความสูง 60, 90 และ 120 เมตร หาได้จากสมการที่ (1) และ (2)

$$V_m = \frac{1}{n}\left[\sum_{i=1}^{n} V_i\right] \quad (1)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(V_i - V_m)^2 \quad (2)$$

เมื่อ V_m คือ ความเร็วเฉลี่ย
n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด
σ คือ ค่าของ Standard Deviation (SD)

สัมประสิทธิ์แรงเฉือนของลม (Wind Shear Coeffient (WSC), α)

หาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตำแหน่งวัดลมและความเร็วลมที่วัดได้จากสมการที่ (3)

$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^{\alpha} \quad (3)$$

เมื่อ h คือ ระดับความสูง

การวิเคราะห์การกระจายตัวของความเร็วลมไวบูลล์ฟังก์ชั่น (Wibull Distribution Function)

ไวบูลล์ฟังชั่นประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ที่สำคัญ 2 ตัว คือ Shape Parameter (k) และ Scale Parameter (c) การหาค่า k, c และการแจกแจงความถี่สะสม (Cumulative distribution, F(v)) สามารถหาได้จากสมการที่ (4-8) ค่าพารามิเตอร์รูปร่าง k มีความสัมพันธ์กับทิศทางและความเร็วลมของลม ถ้า k มีค่าต่ำแสดงว่ามีความเร็วลมต่ำ และ

พารามิเตอร์ระดับ c สัมพันธ์กับอัตราเร็วลมเฉลี่ยถ้าความเร็วลมเฉลี่ยมีค่าสูง c ค่าจะสูงตามไปด้วย

$$f(V) = \left(\frac{k}{c}\right)\left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^{k}\right] \quad (4)$$

$$k = \left(\frac{\sigma}{V_m}\right)^{-1.086} \quad (5)$$

$$c = \frac{V_m}{\Gamma(1+1/\mathrm{k})} \quad (6)$$

$$\Gamma(\mathrm{x}) = \int_0^{\infty} t^{x-1} \exp(-t)\, dt \quad (7)$$

$$\mathrm{F(v)} = 1 - \exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^{k}\right] \quad (8)$$

เมื่อ Γ คือ Gamma Function

k คือ พารามิเตอร์รูปร่างของไวบูลล์

c คือ พารามิเตอร์ระดับของไวบูลล์

v คือ ความเร็วของลม (เมตรต่อวินาที)

ความหนาแน่นของกำลังลม (Wind Power Density (WPD), W/m^2)

เป็นปริมาณต่อพื้นที่หน้าตัด กำลังลมจะแปรผันกำลังสามกับความเร็วลม สิ่งที่มีผลต่อความเร็วลมคือ ความเร็ว (V) และความหนาแน่นของอากาศ (ρ_{Air}) ดังสมการที่ (9)

$$WPD = \frac{1}{2}\rho_{Air}V^3 \quad (9)$$

วิธีการดำเนินงานวิจัย

เสาวัดลมแบบโครงถักสามเหลี่ยมความสูง 120 เมตร ติดตั้งที่บริเวณจังหวัดกาฬสินธุ์ที่ ละติจูด (Deg) 16.900 °N ลองติจูด (Deg) 103.329 °E และติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วแบบถ้วย (Anemometer) และทิศทางลม (Wind Vane) ที่ระดับความสูง 60, 90 และ 120 เมตรเหนือพื้นดินตามลำดับ ดังใน Figure 1-2 และ Table 1 ข้อมูลลมทุก ๆ 10 นาทีจะถูกส่งมายังกล่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) เป็นระยะเวลา 5 ปีติดต่อกัน เริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม 2555 ถึง เดือนธันวาคม 2559 ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาวิเคราะห์ในทางสถิติ ค่าเฉลี่ยรายปี รายเดือน และ รายวัน รวมทั้งการกระจายตัวของข้อมูลแบบไวบูลล์[13-15] เพื่อหาค่า Shape และ Scale Parameter ในแต่ละระดับความสูงที่ต่างกันเหนือพื้นดิน การ์ดบันทึกข้อมูลของกล่องบันทึกข้อมูล บันทึกลงสู่คอมพิวเตอร์ ข้อมูลลมที่ได้จากกล่องบันทึกข้อมูลจะเป็นนามสกุล .RWD ด้วยความถี่ 1 วันต่อ 1 ไฟล์ และ จากนั้นจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการแปลงไฟล์เป็นไฟล์ นามสกุล .TXT จากนั้นจะนำไปจัดเรียงในโปรแกรม Microsoft Excel และทำการวิเคราะห์ต่อไป

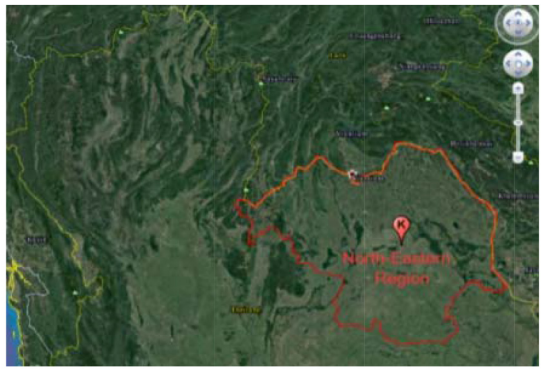

Figure 1 Wine measurement site (K)

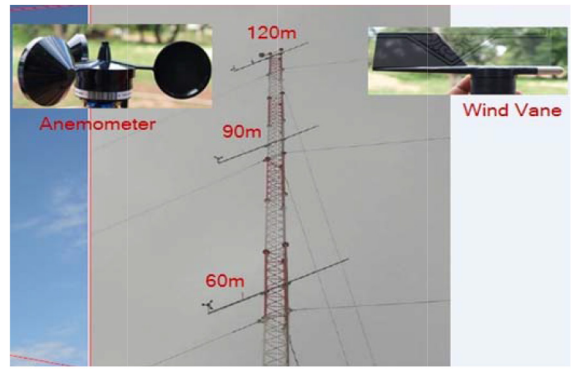

Figure 2 Wind mast and all equipments

Table 1 Wind mast and all equipments

Model	Detail	Manufacturer
120 m mast tower	Guyed Lattice Mast	NRG System
Anemometer NRG#40C	3-cup type, Measuring range 1-96 m/s	
Wind Vane NRG#200P	Measuring range 0-360 degree, -55 to 60 degree C	

ผลการวิจัยและอภิปราย

ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยรายปี (Annual Mean Wind Speed)

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยเป็นระยะเวลา 5 ปีติดต่อกัน เริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม 2555 ถึง เดือนธันวาคม 2559 ที่ระดับความสูง 60, 90 และ 120 เมตรเหนือพื้นดิน (AGL) โดยพบว่าความเร็วลมเฉลี่ยที่บริเวณสถานีวัดความเร็วลมภายในจังหวัดกาฬสินธุ์มีค่าอยู่ในช่วง 3.12- 3.93 เมตรต่อวินาที ผลจากงานวิจัยนี้พบว่า ที่ระดับความสูง 120 เมตรจะมีความเร็วลมสูงสุดและลดลงมาตามระดับความสูงที่ 90 เมตร และที่ระดับความสูง 60 เมตร ตามลำดับ การกระจายตัวของทิศทางลมที่ระดับความสูงทั้ง 3 ระดับดังแสดงใน Figure 3 ทิศทางลมถูกแจกแจงโดยใช้โปรแกรม WIND PLOT[16] ทิศทางลมส่วนใหญ่พัดมาจากทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือไปยังทิศใต้ ซึ่งเป็นมรสุมประจำฤดูพื้นที่ของประเทศไทย ความเร็วลมเฉลี่ย ที่ได้จัดว่าเป็นความเร็วลม Class 1[17] ซึ่งถือว่าเป็นความเร็วลมที่ค่อนข้างต่ำ

ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน (Monthly Wind Speed Variation)

ความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนในแต่ละปีตั้งแต่ พ.ศ.2555 ถึง พ.ศ. 2559 รวม 5 ปี ดังแสดงใน Figure 4 พบว่าความเร็วลมค่อนข้างคงที่ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงสิงหาคมและความเร็วลมเฉลี่ยมีความเร็วสูงสุดในช่วงฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม จะมีแนวโน้มลดลงในช่วงฤดูฝนเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม และความเร็วลมในฤดูหนาวมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากฤดูฝนเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ดังแสดงใน Table 2

ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยรายวัน (Daily Wind Speed)

ลมจะมีความเร็วในช่วงเวลากลางคืนมากกว่าช่วงเวลากลางวันในทุกระดับความสูงเหนือพื้นดิน ซึ่งช่วงเวลากลางวันความเร็วลมค่อนข้างเสถียร ดังแสดงใน Figure 5 และ Table 3 ซึ่งเปรียบเทียบ ความเร็วลมในช่วงเวลากลางวันและกลางคืนในแต่ละระดับความสูง

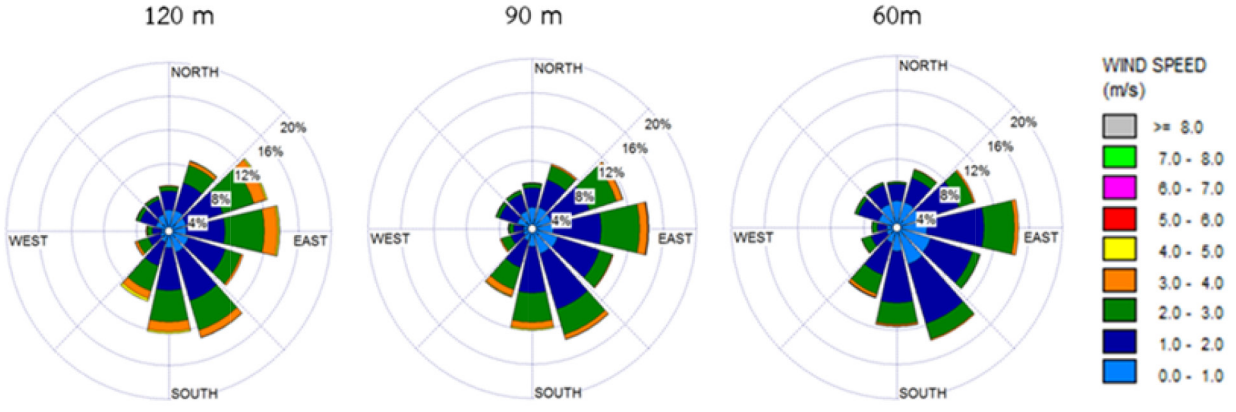

Figure 3 Wind direction at 120, 90, 60 m AGL

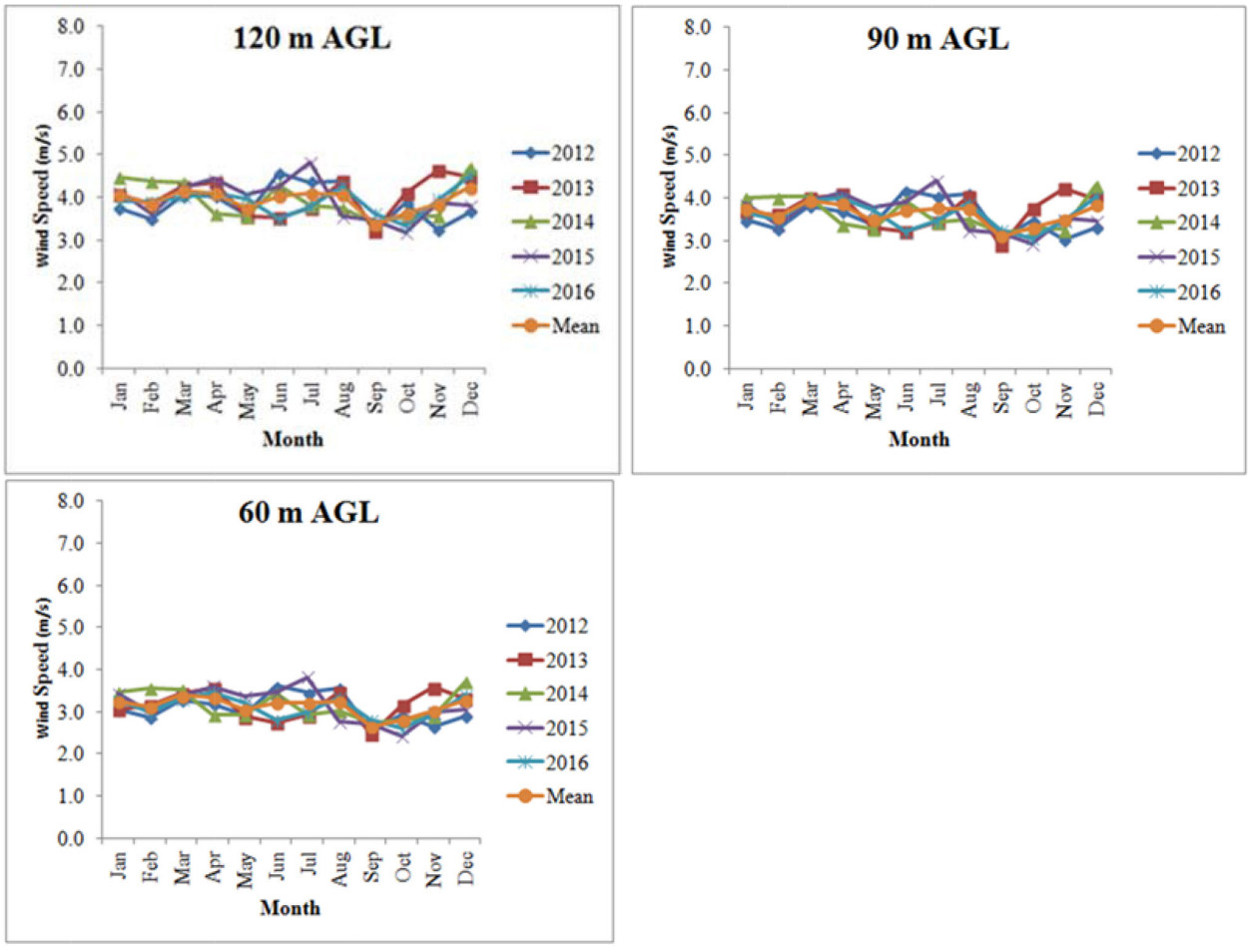

Figure 4 Monthly wind speed variation

Table 2 Seasonal wind speed distribution (m/s)

Seasonal	Height above ground level (m)		
	120 m	90 m	60 m
Winter	3.99	3.65	3.16
Summer	4.00	3.75	3.26
Rainy	3.83	3.51	3.01

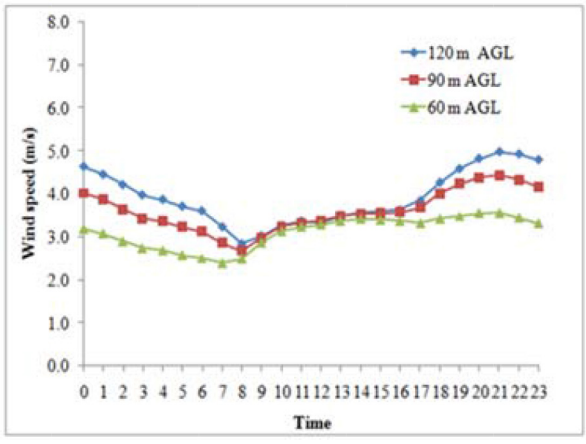

Figure 5 Time of day

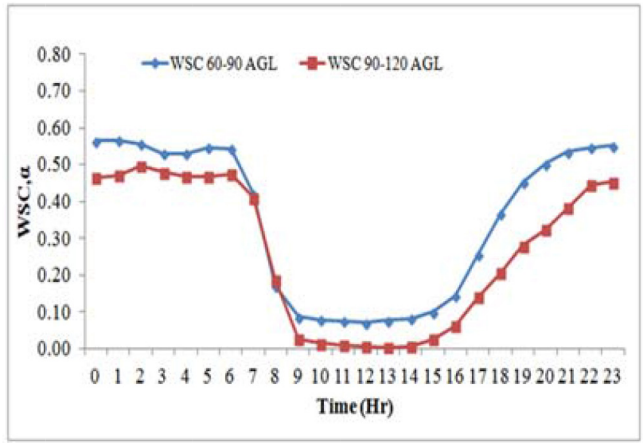

Figure 6 Wind ShearCoefficient

Table 3 wind speed variation in day and night (m/s)

Time	Height above ground level (m)		
	120 m	90 m	60 m
Day (07.00-18.00 น.)	3.46	3.36	3.14
Night (18.00-07.00 น.)	4.29	3.86	3.04

แรงเฉือนลม (Wind Shear Coefficient (WSC))

Figure 6 แรงเฉือนลมแสดงให้เห็นว่า WSC เฉลี่ยของบริเวณสถานีวัดความเร็วลม ระหว่าง 60-90 เมตร คือ 0.35 WSC ระหว่าง 90-120 เมตร คือ 0.26 WSC เริ่มเพิ่มขึ้นในเวลา 16.00 น. จนถึง 0.00 น. (เที่ยงคืน) และค่อนข้างเสถียรจนกระทั่งเวลา 6.00น. – 9.00 น. ลดลงอย่างฉับพลันภายในเวลา 3 ชั่งโมง ส่วนสาเหตุที่ WSC ระหว่าง 60-90 เมตร มีค่ามากเนื่องมาจากการได้รับอิทธิพลของความขรุขระของพื้นผิวดิน (Surface Roughness)

การแจกแจงการกระจายตัวของข้อมูลเฉลี่ย

จากการการใช้ไวบูลล์ฟังก์ชั่นหาการกระจายตัวของความเร็วลมที่ระดับความสูง 60, 90 และ 120 เมตรเหนือพื้นดิน ดังแสดงใน Figure 7 โดยมี Shape และ Scale พารามิเตอร์เฉลี่ย ดัง Table 4

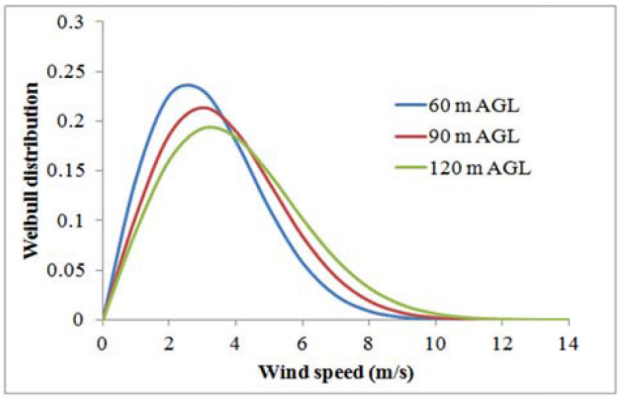

Figure 7 Weibull distribution curve 2012-1016

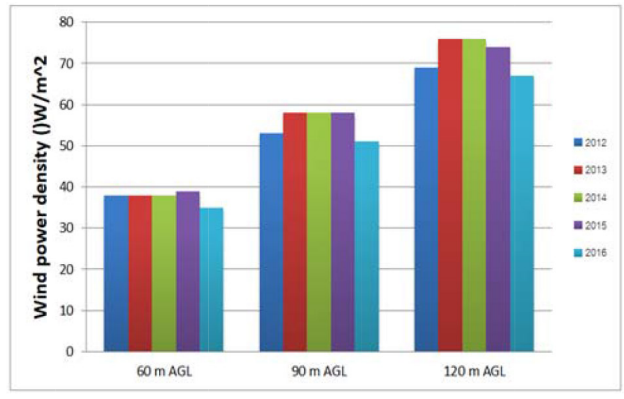

Figure 8 Wind Power Density (W/m^2)

Table 4 Summary shape (k), scale parameter (c, m/s) and power (P, W/m^2) 2012-16

Year	Parameter	Height above ground level (m)		
		120	90	60
2012	k	2.10	2.11	2.02
	c	4.5	4.1	3.5
	P	69	53	38
2013	k	2.07	2.09	2.01
	c	4.6	4.2	3.6
	P	76	58	38
2014	k	2.04	2.05	2.01
	c	4.5	4.2	3.6
	P	76	58	38
2015	k	2.00	2.02	1.98
	c	4.5	4.2	3.6
	P	75	58	39
2016	k	2.09	2.07	1.97
	c	4.4	4.0	3.5
	P	67	51	35
Annual	k	2.05	2.07	2.00
	c	4.5	4.1	3.6
	P	72	56	37

Table 5 Wind Power Density (W/m^2)

Height above ground level (m)	Wine speed (m/s)	Wind Power Density (W/m^2)
120	3.93	72
90	3.62	56
60	3.12	37

กำลังลม (Wind Power Density, W/m 2)

กำลังลมเฉลี่ยที่ความสูงต่างๆ ดังแสดงใน Table 5 กำลังลมที่ความสูง 120 เมตร สูงกว่าที่ความสูง 90 และ 60 เมตร ตามลำดับและในปี 2558 พลังงานลมมีค่าสูง ดัง Figure 8 กำลังลมจะแปรผันกำลังสามกับความเร็วลม ซึ่งเป็นสมการไม่เชิงเส้น (Non-Linear) เมื่อลมมีความเร็วมาก กำลังลมก็จะมีค่ามากตามไปด้วย อีกประการหนึ่งคือ กำลังลมจะแปรผันตรงกับความหนาแน่นของอากาศพื้นที่บนภูเขาสูงค่าความหนาแน่นของอากาศจะเบาบางซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อกำลังลมที่ได้ อย่างไรก็ตามกำลังลมที่วัดได้ในเขตพื้นที่นี้ยังถือได้ถือได้จัดว่าอยู่ในระดับที่ต่ำ[18] ไม่เหมาะสมกับการติดตั้งกังหันลมสำหรับการใช้งานเชิงพาณิชย์โดย $\overline{P}/A < 100\ W/m^2$ ต่ำ, $\overline{P}/A \approx 400\ W/m^2$ ดีและ $\overline{P}/A > 700\ W/m^2$ ดีมาก

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาศักยภาพความเร็วลมเฉพาะเขตพื้นที่บริเวณสถานีวัดความเร็วลมภายในจังหวัดกาฬสินธุ์ เป็นระยะเวลา 5 ปีติดต่อกันเริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม 2555 ถึงเดือนธันวาคม2559 เพื่อศึกษาความเร็วลม ไวบูลล์ พารามิเตอร์ ทิศทางลม และกำลังลม พบว่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูง 60, 90 และ120 เมตรเหนือพื้นดิน (AGL) คือ 3.12, 3.62 และ 3.93 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ในขณะที่ทิศทางลมส่วนใหญ่การกระจายตัวจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือไปยังทิศใต้ในช่วงเวลากลางคืนความเร็วลมจะสูงกว่าในช่วงเวลากลางวัน ค่า shape (k), scale parameter (c) เฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.00 ถึง 2.05 และ 3.60 ถึง 4.50 เมตรต่อวินาที และในส่วนของกำลังลม (Power Density, W/m 2) มีค่าอยู่ระหว่าง 37, 56 และ 72 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่ระดับความสูง 60, 90 และ 120 เมตร ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วลมและกำลังลมที่วัดได้ ซึ่งจัดอยู่ใน Wind Class 1 เท่านั้นถือได้ว่าความเร็วลมมีค่าค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ตามกังหันลมขนาดใหญ่นั้นยังไม่เหมาะสมกับการติดตั้งสำหรับการใช้งานเชิงพาณิชย์ เนื่องจากการติดตั้งกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์มีความเร็วลมเฉลี่ยทั้งปี 6 เมตรต่อวินาที ที่ความสูง 50 เมตรเหนือพื้นดินขึ้นไป[17]

ดังนั้นความเร็วลมนี้กังหันลมขนาดเล็กจึงเหมาะสำหรับแหล่งพลังงานทางเลือกเพื่อลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานและมลพิษต่อไปในอนาคต โดยอาจนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการเกษตร เช่น กังหันลมขนาดเล็กเพื่อการสูบน้ำ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และศูนย์วิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยขอนแก่น (AERD-KKU) สำหรับการสนับสนุนทุนในการทำวิจัยในครั้งนี้ และผู้ที่มีส่วนร่วมในการดำเนินงานในงานวิจัยนี้ทุกท่าน

เอกสารอ้างอิง

1. Energy Vision. *สถานการณ์พลังงาน*, [ระบบออไลน์], http://www.dede.go.th/download/state_61/frontpage-jan_nov60.pdf, เข้าดูเมื่อวันที่ 10/04/2562.
2. iEnergyGuru. *พลังงานลม: ลักษณะเฉพาะของลม และเครื่องมือวิเคราะห์*, [ระบบออนไลน์], https://ienergyguru.com/2015/07/พลังงานลม
3. Fa Liua, et al. On wind speed pattern and energy potential in China, *Applied Energy*, vol. 236, 2019, pp. 867–876.
4. Acker T.L., William S.K., Duque E.P.N., Brummels G. and Buechler J. Wind Resource Assessment in the State of Arizona: Inventory, Capacity Factor and Cost, *Renewable Energy*, vol. 32, 2007, pp. 1453-1466.
5. Christopher and JungDirkSchindler. The role of air density in wind energy assessment – A case study from Germany, *Energy*, Vol. 171, 15 March 2019, pp. 385-392.
6. Sanjay Kumar and KaraAtulSharmab. Wind power developments in India, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol 48, August 2015, pp. 264-275
7. วรพงศ์ พวงแก้ว และคณะ. การประเมินศักยภาพของแหล่งพลังงานลมและความเป็นไปได้ในการติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานลมขนาด 0.225-0.75 เมกะวัตต์ ตามแนวชายฝั่งทะเลของจังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดสงขลา, *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, ปีที่ 12 ฉบับที่ 3, ตุลาคม 2552 - มกราคม 2553

8. มานพ พูนน้อย และ เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต (2556). การศึกษาศักยภาพพลังงานลมเฉพาะแหล่งในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย, *วารสารวิจัย มข.,* ปีที่ 18 ฉบับที่ 5, หน้า 803-810
9. สุภชัย พลน้ำเที่ยง และ เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต (2560). การวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานลมในเขตพื้นที่จังหวัดหนองคาย, *วิศวสารลาดกระบัง*, ปีที่ 34 ฉบับที่ 2, มิถุนายน 2560
10. สมพล ชีวมงคลกานต์ และคณะ (2557). ศักยภาพพลังงานลมบริเวณอำเภอปากพนังและอำเภอเชียรใหญ่ของจังหวัดนครศรีธรรมราช, *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, ปีที่ 17 ฉบับที่ 1, มกราคม-มิถุนายน 2557
11. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน. *ผลการดำเนินงานด้านพลังงานทดแทน*, [ระบบออนไลน์], http://www.dede.go.th/download/stat62/2_Calendar_Year_renewable_Energy_2561.pdf, เข้าดูเมื่อวันที่ 11/04/2562.
12. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน. *แผนปฏิบัติการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579*, [ระบบอนไลน์], http://www.dede.go.th/download/files/AEDP%20Action%20Plan_Final.pdf, เข้าดูเมื่อวันที่ 11/04/2562.
13. Z.R.Shu, Q.S.Li and P.W.Chan, Statistical analysis of wind characteristics and wind energy potential in Hong Kong, *Energy Conversion and Management*, Vol.101,pp.644-657, 2015.
14. Myung Eun Lee et al, Assessment of offshore wind energy at Younggwang in Korea, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.21, pp. 131-141, 2013.
15. Laerte de Araojo Lima et al. Wind resource evaluation in SJC Paraba-Brazil, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.16, pp.474-480, 2012.
16. Wind Plot. *Available,* [ระบบออนไลน์], https://www.weblakes.com. 2017.
17. TRECA สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย. พลังงานลม, [ระบบออนไลน์], http://www.reca.or.th/library-wind-power.aspx, เข้าดูเมื่อวันที่16/04/2562.
18. Amir Dabbaghiyan et al., Evaluation of wind energy potential in the province of Bushehr, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.55, 2016, pp.455-466.