

# การวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานลมในเขตพื้นที่จังหวัดหนองคาย

## Wind Energy Data Analysis in Nong Khai, Thailand

สุกชัย พลน้ำเที่ยง<sup>1</sup> เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

\* ศูนย์วิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยขอนแก่น (AERD-KKU)

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

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงศักยภาพพลังงานลมเฉพาะพื้นที่ในบริเวณสถานีวัดความเร็วลมภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่น วิทยาเขตจังหวัดหนองคาย โดยเสาวัดลมที่มีความสูง 120 เมตรจากระดับพื้นดิน จากนั้นทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วและทิศทางของลมที่ระดับความสูง 60, 90 และ 120 เมตรและยังมีการติดตั้งอุปกรณ์วัดความชื้น ความดัน และอุณหภูมิที่เสาวัดลมอีกด้วย ข้อมูลลมทุกๆ 10 นาทีจะถูกบันทึกที่กล่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) เป็นเวลาติดต่อกัน 4 ปี คือ เริ่มตั้งแต่ เดือนมกราคม 2012 ถึง เดือนธันวาคม 2015 ข้อมูลลมที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ในเชิงสถิติเป็น รายปี รายเดือน และรายวัน โดยใช้การกระจายตัวแบบไวบูลล์ (Weibull Distribution Function) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าความเร็วลมเฉลี่ยทั้งปีที่ระดับความสูง 60, 90 และ 120 เมตรเหนือพื้นดิน คือ 2.84, 3.41 และ 3.96 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ทิศทางลมส่วนใหญ่พัดมาจากทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ในช่วงเวลากลางคืนความเร็วลมจะสูงกว่าในช่วงของเวลากลางวัน shape และ scale parameter เฉลี่ยที่ตำแหน่งนี้มีค่าอยู่ในช่วง 1.67 ถึง 1.82 และ 3.19 ถึง 4.43 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ กำลังลม (Power Density,  $W/m^2$ ) มีค่าตั้งแต่ 36, 55 และ 98 วัตต์ต่อตารางเมตรที่ความสูง 60, 90 และ 120 เมตรตามลำดับ ข้อมูลลมที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ถือว่าเป็นความเร็วที่ค่อนข้างต่ำ ไม่เหมาะสมกับการติดตั้งกังหันลมขนาดใหญ่เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์ แต่อาจจะนำไปประยุกต์ใช้กับการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการดำเนินการเกษตร เช่น การทำกังหันลมขนาดเล็กเพื่อการสูบน้ำ เป็นต้น

คำสำคัญ: พลังงานลม, จังหวัดหนองคาย, ไวบูลล์ฟังก์ชัน

### Abstract

In this paper, wind energy data of Nong Khai region was analyzed base on 10-min time interval recorded with 4-year data from January 2012 to December 2015, the wind mast station is located on area of Khon Kaen University (KKU) at Nong Khai campus. Wind speed and direction at height of 60, 90 and 120 meter above ground level (agl) were recorded. The result showed that annual mean wind speed of 2.84, 3.41 and 3.96 m/s at 60, 90 and 120 m agl were reported in this study and the majority of wind direction was East (E) and North-East (NE) direction. The annual Weibull shape and scale parameter were showed that 1.67 to 1.82 and 3.19 to 4.43 m/s, respectively. Wind Power Density in this area was 36, 55, 98  $W/m^2$  at height of 60, 90 and 120 m agl, respectively. The wind speed data from this study is quite low, therefore it is not suitable for grid connection but might be suitable for local application such as water pumping.

**Keywords:** Wind Energy, Nong Khai Province, Weibull Function

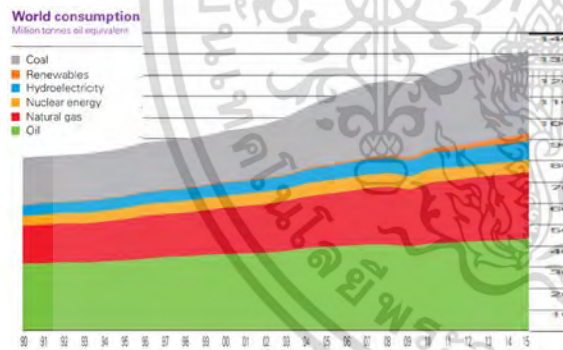
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้การใช้พลังงานในทุกประเทศทั่วโลกมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องดังรูปที่ 1 [1] อันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของประชากรโลก โดยเฉพาะการนำเชื้อเพลิงจากฟอสซิล (Fossil) มาเป็นแหล่งของพลังงานซึ่งจะก่อให้เกิดมลพิษตามมาด้วย จึงทำให้แต่ละประเทศต่างก็พยายามค้นหาพลังงานทางเลือกอื่น เช่น พลังงานจากลม แสงอาทิตย์ และแหล่งพลังงานทางเลือกอื่นๆ เข้ามามีบทบาทเพื่อแทนที่การใช้พลังงานที่มาจากฟอสซิลเพื่อลดมลพิษและการนำเข้ามาของพลังงาน

พลังงานจากลมเป็นพลังงานสะอาดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ไม่มีต้นทุน ไม่มีวันหมด แต่การที่จะนำพลังงานจากลมมาใช้ประโยชน์ต้องใช้ต้นทุนในการผลิตค่อนข้างสูง เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงความเป็นไปได้และต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลลมที่ใช้เวลาต่อเนื่องหลายปีเพื่อให้แน่ใจว่าจะเกิดความคุ้มค่าในการลงทุนด้วย

สำหรับในต่างประเทศนั้น ประเทศจีนถือได้ว่าเป็นประเทศที่มีกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมมากที่สุดในโลก และรองลงมาคือประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีกำลังผลิตเท่ากับ 145,362 MW และ 74,471 MW ตามลำดับ เมื่อสิ้นปี 2015 [2]



รูปที่ 1 แนวโน้มการใช้พลังงานจากฟอสซิลของโลก

ในประเทศฮ่องกง Z.R. Shu และคณะ [3] ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลสถิติลมเป็นเวลา 6 ปี โดยใช้ฟังก์ชันไวบูลล์ (Weibull Function) จากสถานีวัดลมทั้งหมดจำนวน 4 สถานี ผลที่ได้คือ Scale parameter และ Shape parameter จะมีค่าอยู่ในช่วง 2.85 ถึง 10.19 และ 1.65 ถึง 1.99 ตามลำดับ ประเทศเกาหลีใต้ถือได้ว่าเป็นประเทศที่มีการศึกษาถึงเรื่องพลังงานลมด้วยเช่นกัน ความเร็วลมที่ Youngwang [4] เฉลี่ยอยู่ที่ 7.122 เมตรต่อวินาที ในประเทศบราซิล Laerte de Araujo Lima และคณะ[5] ได้มีการวัดความเร็วลมและพบว่ามีความเร็วลมรายปี 4.74 และ 5.38 เมตรต่อวินาที ที่ Paraiba ตามลำดับ

สำหรับในประเทศไทย การพัฒนาพลังงานลมได้เริ่มต้นจากการที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ) ได้ทำการติดตั้งกังหันลมขนาดใหญ่ตัวแรกขนาด 150 kW ที่แหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ตในปี 1996 ซึ่งมีความเร็วลมเฉลี่ยรายปีประมาณ 5 เมตรต่อวินาที [6] ส่วนการติดตั้งกังหันลมในเชิงพาณิชย์แห่งแรกอยู่ที่ยอดเขาชายเที่ยงเหนือเขื่อนลำนะคง จังหวัดนครราชสีมา โดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ) ในปี 2009 ได้ทำการติดตั้งกังหันลมจำนวน 2 ตัว ขนาดตัวละ 1250 kW ซึ่งบริเวณนั้นมีความเร็วลมเฉลี่ยที่ 6.7 เมตรต่อวินาที [7]

ปัจจุบันกำลังการผลิตรวมของกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานลมของประเทศไทยอยู่ที่ 224.5 MW ในปี 2014 [8] และรัฐบาลได้ทำการตั้งเป้าหมายให้ได้ 3,002 MW ในปี พ.ศ. 2036 [9] ตามแผนนโยบายและพัฒนากำลังการผลิตของประเทศไทย

พื้นที่ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทยซึ่งเป็นพื้นที่ราบสูงและมีความเป็นไปได้ในการศึกษาวิจัยแหล่งพลังงานลมเฉพาะแหล่ง (Micro Siting) เพื่อค้นหาพื้นที่ที่มีแหล่งลมดี และตอบสนองเป้าหมายทางด้านความมั่นคงทางด้านพลังงานของทางรัฐบาล ทางคณะวิจัยจึงได้ทำการคัดเลือกพื้นที่ในเขตมหาวิทยาลัยขอนแก่น วิทยาเขตจังหวัดหนองคายในการศึกษาครั้งนี้

2. ระเบียบวิธีในการวิจัย

2.1) สถานีวัดความเร็วลม

การคัดเลือกสถานีที่มีขึ้นตอนคือ การทบทวนความเร็วลมจากแผนที่ลมและข้อมูลที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา คณะทำงานได้ทำการลงพื้นที่จริงเพื่อวัดลมที่ระดับ 10 เมตรและเมื่อพิจารณาจากปัจจัยอื่นๆ เช่น ขนาดของพื้นที่ สิ่งอำนวยความสะดวกและการได้รับความยินยอมจากเจ้าของพื้นที่ คณะทำงานจึงได้ทำการเลือกพื้นที่ภายในบริเวณมหาวิทยาลัยขอนแก่น วิทยาเขตตำบลหนองกอมเกาะ อำเภอเมืองจังหวัดหนองคาย ดังแสดงพิกัดในรูปที่ 2 เสาวัดลมตั้งอยู่ที่พิกัด 17°48.276"N, 102°44.649"E ที่ระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเล 178.15 เมตร ระยะห่างจากแม่น้ำโขงและตัวเมืองหนองคายลงมาทางทิศใต้ประมาณ 9 กิโลเมตร ซึ่งตำแหน่งนี้เป็นที่โล่งไม่มีสิ่งกีดขวางที่กั้นการไหลกระแสลมอยู่บริเวณใกล้เคียง ดังแสดงในรูป 3(A)

2.2) รายละเอียดของเสาและอุปกรณ์วัดความเร็วลม

เสาวัดความเร็วลมที่นิยมกันโดยทั่วไปมีอยู่ 2 แบบคือ 1. แบบเสาที่อ่อนกลมเดี่ยวยึดด้วยลวดสลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

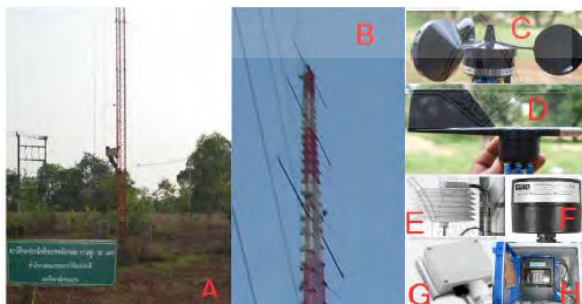
(Guyed Monopole Mast) ซึ่งมีข้อดีคือ ติดตั้งง่าย ใช้งบประมาณและพื้นที่ในการติดตั้งน้อย แต่มีข้อเสียคือไม่เหมาะกับความสูงที่มากนัก และ 2. แบบโครงถักสามเหลี่ยมยึดด้วยลวดสลิง (Guyed Lattice Mast) เสาแบบนี้นิยมใช้ในระดัความสูง 100-150 เมตร แต่ก็มีข้อเสียคือใช้งบประมาณและพื้นที่ในการติดตั้งค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้เลือกใช้เสาวัดลมแบบโครงถักสามเหลี่ยมความสูง 120 เมตร ดังแสดงในรูป 3(A-B)

ในการติดตั้งเสาวัดความเร็วลมจะทำการว่าจ้างบริษัทผู้รับเหมาที่มีประสบการณ์ในด้านนี้โดยตรง เนื่องจากเสาวัดลมมีความสูงมากอีกทั้งใช้เวลาในการเก็บข้อมูลเป็นเวลาหลายปีและต้องเป็นไปตามมาตรฐานการตรวจวัดลม IEC

อุปกรณ์วัดความเร็วแบบถ้วย (3-cup Anemometer) รูปที่ 3(C) และทิศทางของลม (Wind Vane) รูปที่ 3(D) จะถูกติดตั้งบนเสาวัดลมที่ระดับความสูงต่างกันคือ 120, 90 และ 60 เมตรเหนือระดับพื้นดิน ดังรูปที่ 3(B) รายละเอียดดังตารางที่ 1 นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ความชื้น และความดันของอากาศด้วย (E-G) ข้อมูลลมทุกๆ 10 นาทีจะถูกส่งมาบันทึกในกล่องบันทึกข้อมูล (Data Logger, H) เป็นเวลา 4 ปี ติดต่อกันระหว่างช่วงตั้งแต่เดือน มกราคม 2012 ถึง เดือน ธันวาคม 2015



รูปที่ 2 ที่ตั้งของสถานีวัดลม



รูปที่ 3 การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ บนเสาวัดลม

ตารางที่ 1 อุปกรณ์ที่ติดตั้งบนเสาวัดลม[10]

รุ่น	ผู้ผลิต	รายละเอียด
Anemometer NRG #40C	NRG System	- ชนิด 3 ถ้วย - ช่วงความเร็วลมทำงาน 1-96 m/s - ความถี่ (Hz)แปรผันกับความเร็วลม - TF (m/s)=(Hz*0.765)+0.35
Wind Vane NRG #200P	NRG System	- Measuring Rang 0-360 ° - ช่วงทำงาน -55 ถึง 60 °C - ช่วงทำงาน 0 ถึง 100% RH - อายุใช้งาน 2 ถึง 6 ปี
Pressure Sensor NRG BP#20	NRG System	- ช่วงอุณหภูมิอากาศ 10 ถึง 50 °C - ช่วงความดัน 15 ถึง 115 kPa
Thermometer NRG #110S	NRG System	- ช่วงอุณหภูมิอากาศ -40 ถึง 53 °C
RH Sensor NRG #RH-5X	NRG System	- ช่วงทำงาน Max 100%RH

### 2.3) การจัดเก็บข้อมูลลม

ข้อมูลลมทั้งหมด 4 ปีติดต่อกันจะถูกบันทึกลงในกล่องบันทึกข้อมูลทุก 10 นาที ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาวิเคราะห์ในทางสถิติ ค่าเฉลี่ย รายปี รายเดือน และรายวัน รวมทั้งการกระจายตัวของข้อมูลแบบไวบูลล์ เพื่อหาค่า Shape และ Scale Parameter ในแต่ละระดับความสูงที่ต่างกันเหนือพื้นดิน

ในการจัดเก็บข้อมูลลมทางคณะทำงานจะทำการจัดเก็บโดยตรงที่สถานีวัดลม จากการนำการ์ดบันทึกข้อมูลของกล่อง Data Logger เพื่อบันทึกข้อมูลสู่คอมพิวเตอร์ ข้อมูลลมที่ได้จากกล่อง Data Logger จะเป็นนามสกุล .RWD ด้วยความถี่ 1 วันต่อ 1 ไฟล์ และจากนั้นจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการแปลงไฟล์เป็นไฟล์นามสกุล .TXT จากนั้นจะนำไปจัดเรียงในโปรแกรม Microsoft Excel และทำการวิเคราะห์ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 4

### 2.4) ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

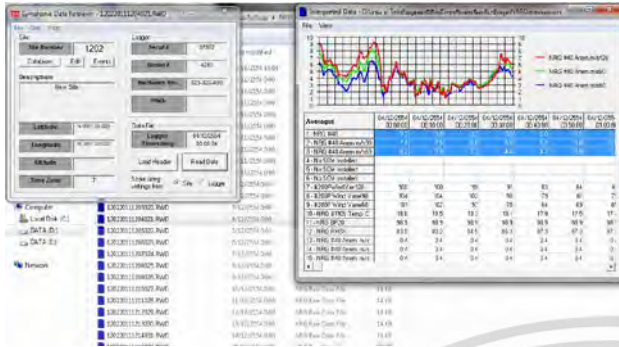
ความเร็วลมเฉลี่ย (Mean Wind Speed) และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation,  $\sigma$ ) หาได้จากสมการ (1) และ (2)

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $V_m$  คือ ความเร็วลมเฉลี่ย  $n$  คือจำนวนข้อมูลทั้งหมด และ  $\sigma$  คือ ค่าของ Standard Deviation (SD)

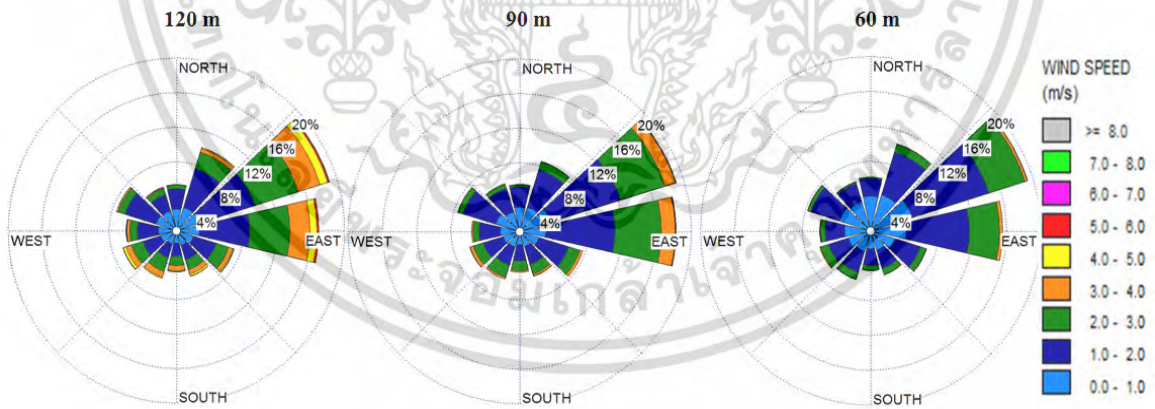


รูปที่ 4 แสดงการจัดการข้อมูลลม

สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของลม (Wind Shear Coefficient (WSC),  $\alpha$ ) หาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตำแหน่งวัดลมและความเร็วลมที่วัดได้ซึ่งในแต่ละพื้นที่ก็จะมีค่าแตกต่างกันออกไป การคำนวณจากสมการที่ (3)

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

เมื่อ  $h$  คือระดับความสูง WSC จะมีประโยชน์ในการคำนวณความเร็วลมนอกช่วงที่ทำการ



รูปที่ 5 ทิศทางลมเฉลี่ยทั้งปีที่จังหวัดหนองคายของทุกระดับความสูง

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

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

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

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

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

วัดจริง (Extrapolation Method [11]) ดังตัวอย่างเช่นในงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดความเร็วลมที่ระดับ 60, 90 และ 120 เมตรเหนือพื้นดินและจากค่าของ WSC ที่ได้สามารถคำนวณหาความเร็วลมที่ความสูง 150 เมตรเหนือพื้นดินได้ด้วย

การกระจายตัวของความเร็วลมโดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นแบบเบ้ไปข้างใดข้างหนึ่ง (Skew Function) ซึ่งไม่ใช้การกระจายตัวแบบสมมาตร (Normal Distribution) ฟังก์ชันที่นิยมเพื่อนำมาแสดงอย่างแพร่หลายคือ ไวบูลล์ฟังก์ชัน (Weibull Function) [3, 4, 5, 11, 16, 17] และเรย์เลย์ฟังก์ชัน (Rayleigh Function) ไวบูลล์ฟังก์ชันจะประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ที่สำคัญ 2 ตัว คือ Shape Parameter ( $k$ ) และ Scale Parameter ( $c$ ) การหาค่า  $k, c$  และการแจกแจงความถี่สะสม (Cumulative distribution,  $F(v)$ ) สามารถหาได้จากสมการ (4-8) เมื่อ  $\Gamma$  คือ Gamma Function [3]

เรย์เลย์ฟังก์ชัน (Rayleigh Function) ถือเป็นกรณีพิเศษของไวบูลล์ฟังก์ชัน ซึ่งคงที่ค่าตัวประกอบรูปร่าง shape parameter ( $k$ ) ไว้เท่ากับ 2 ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างฟังก์ชันไวบูลล์และเรย์เลย์ฟังก์ชันคือไวบูลล์จะให้ความแม่นยำกว่า [12] เนื่องจากค่า  $k$  ของไวบูลล์ เป็นตัวแปรที่เหมาะสมของลมในแต่ละพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่นของกำลังลม (Wind Power Density (WPD),  $W/m^2$ ) หาได้จากสามการที่ (9) ซึ่งเป็นปริมาณต่อพื้นที่หน้าตัด กำลังลมจะแปรผันกำลังสามกับความเร็วม สิ่งที่มีผลต่อกำลังลมคือ ความเร็วลม ( $V$ ) และความหนาแน่นของอากาศ ( $\rho_{Air}$ ) ดังสมการที่ (9)

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

### 3. ผลการวิจัย

#### 3.1) ข้อมูลลมเฉลี่ยรายปี (Annual Mean Wind Speed)

ตารางที่ 2 เป็นการแสดงถึงความเร็วลมเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของลมทั้ง 4 ปี ที่ระดับความสูง 60, 90 และ 120 เมตรเหนือพื้นดิน

ตารางที่ 2 ความเร็วลมเฉลี่ยรายปีที่จังหวัดหนองคาย

ความสูง (m)	ความเร็วลม (m/s)	SD (m/s)
120	3.96	2.46
90	3.41	1.86
60	2.84	1.63

ผลจากงานวิจัยนี้พบว่า ที่ระดับความสูง 120 เมตรจะมีความเร็วลมสูงสุดและลดลงตามระดับความสูงที่ 90 เมตร และที่ระดับความสูง 60 เมตร ตามลำดับ การกระจายตัวของทิศทางลมที่ระดับความสูงทั้ง 3 ระดับ ดังแสดงในรูปที่ 5 ทิศทางลมถูกแจกแจงโดยใช้โปรแกรม WIND PLOT [13] ลมส่วนใหญ่จะพัดมาจากทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นลมมรสุมประจำฤดูพื้นที่ของประเทศไทย ความเร็วลมเฉลี่ยที่ได้จัดว่าเป็นความเร็วลม Class 1 [14] ซึ่งเป็นความเร็วลมที่ค่อนข้างจะต่ำ

#### 3.2) ข้อมูลลมเฉลี่ยรายเดือน (Monthly Wind Speed Variation)

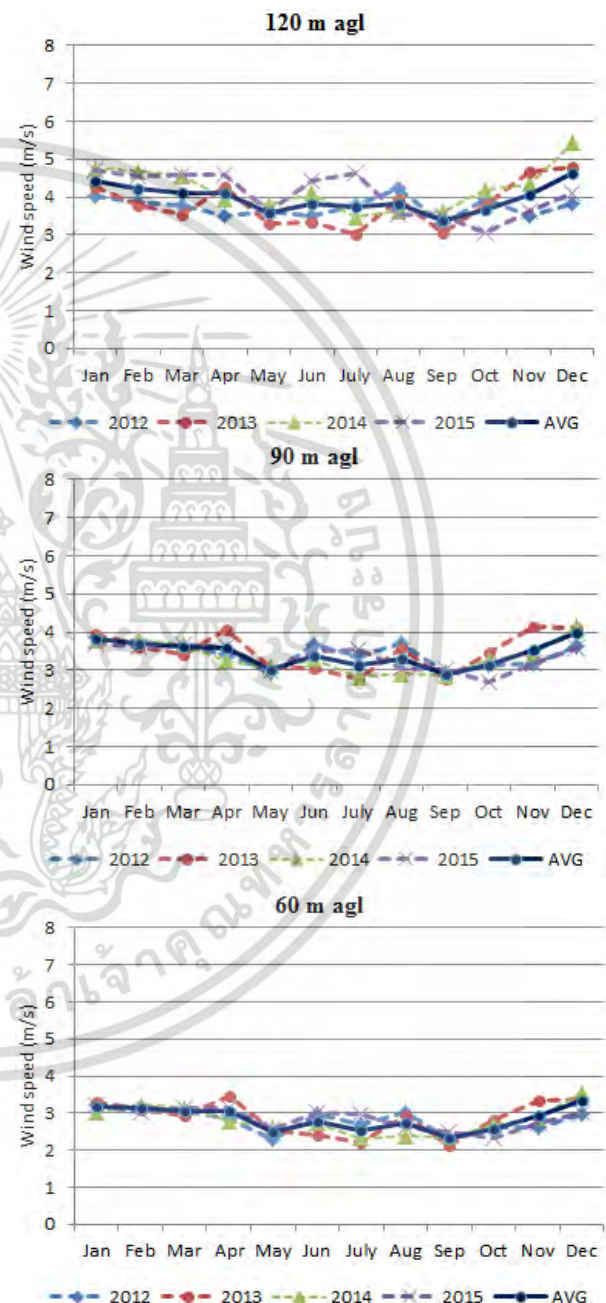
ความเร็วลมเฉลี่ยในแต่ละปี ดังแสดงในรูปที่ 6 ความเร็วลมเฉลี่ยจะมีความเร็วสูงสุดในช่วงฤดูหนาวที่เริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม จะมีแนวโน้มลดลงในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝนตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความเร็วลมเฉลี่ยในแต่ละฤดูกาล

ฤดูกาล	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)		
	120 m	90 m	60 m
ฤดูหนาว (พ.ย. – ม.ค.)	4.33	3.72	3.10
ฤดูร้อน (ก.พ. – พ.ค.)	4.00	3.48	2.94
ฤดูฝน (มิ.ย. – ต.ค.)	3.70	3.17	2.60

#### 3.3) ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยรายวัน (Daily Wind Speed)

ลมจะมีความเร็วในช่วงเวลากลางคืนมากกว่าช่วงเวลากลางวันในทุกระดับความสูงเหนือพื้นดิน ดังแสดงในกราฟรูปที่ 7 และตารางที่ 4 ซึ่งเปรียบเทียบความเร็วลมในช่วงเวลากลางวันและกลางคืนในแต่ละระดับความสูง



รูปที่ 6 ความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนในแต่ละปี

#### 3.4) แรงเฉือนลม (Wind Shear Coefficient (WSC))

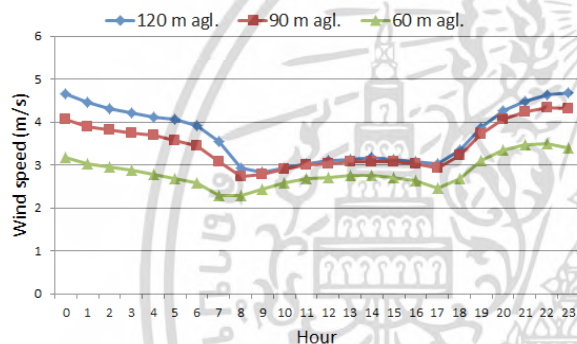
ในรูปที่ 8 แรงเฉือนลมจะมีความสอดคล้องกันกับความเร็วลมในรูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่า WSC เฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เขียนเห็นชอบที่จะเผยแพร่ผลการวิจัยนี้ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของบริเวณสถานีวัดความเร็วลม ระหว่าง 60-90 m คือ 0.48 WSC ระหว่าง90-120m คือ 0.23 และ WSC ระหว่าง 60-120m คือ 0.38 ส่วนสาเหตุที่ WSC ระหว่าง 60-90m มีค่ามากเนื่องมาจากการได้รับอิทธิพลของความขรุขระของพื้นผิว (Surface Roughness) ในขณะเดียวกันความเร็วลมนอกช่วงที่ความสูง 150 เมตรเหนือพื้นดินก็สามารถใช้สมการที่ (3) ซึ่งได้เท่ากับ 4.17 เมตรต่อวินาทีเมื่อใช้ค่า WSC เท่ากับ 0.23

**3.5) การแจกแจงการกระจายตัวของข้อมูลลมเฉลี่ย**

ได้จากการการใช้ไวบูลล์ฟังก์ชันที่ระดับความสูง 60, 90 และ 120 เมตรเหนือพื้นดิน ดังแสดงในรูปที่ 9 โดยมี Shape และ Scale พารามิเตอร์เฉลี่ยและแยกตามรายปี ตามตารางที่ 5 และความถี่สะสม (Cumulative Weibull Distribution) ดังรูปที่ 10



รูปที่ 7 แสดงความเร็วลมรายชั่วโมง

ตารางที่ 4 แสดงความเร็วลมเฉลี่ยเปรียบเทียบในเวลากลางวันและกลางคืน

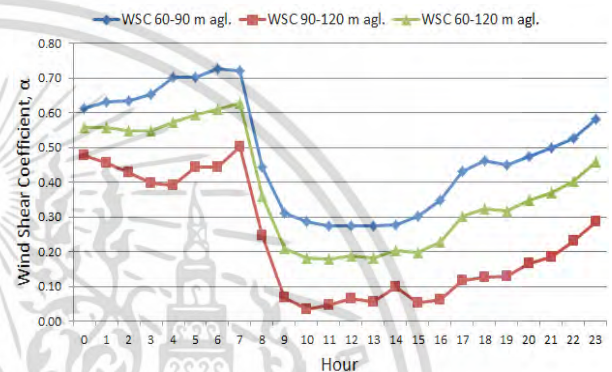
ช่วงเวลา	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)		
	120 m	90 m	60 m
กลางวัน (07.00-18.00 น.)	3.08	2.98	2.58
กลางคืน (18.00-07.00 น.)	4.23	3.86	3.04

กังหันลมเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพื่อเปลี่ยนพลังงานจลน์จากลมเป็นพลังงานไฟฟ้า กังหันลมทั่วไปจะมีความเร็วลมที่เริ่มต้นทำงาน (Cut in speed) ที่ประมาณ 3-5 m/s และจุดที่หยุดการทำงานเพื่อป้องกันความเสียหาย (Cut out speed) ที่ 25 m/s จากรูปที่ 9 และ 10 เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาเปรียบเทียบกับกังหันลมที่มี cut in speed ที่ 3, 4 และ 5 m/s จะได้สัดส่วนความน่าจะเป็นของความเร็วลมที่มีค่ามากกว่า Cut in speed ดังแสดงในตารางที่ 7 เมื่อพิจารณาจำนวนข้อมูลที่มีมากกว่า 3 m/s จะมีสัดส่วนแค่ 58.7%, 53.4% และ 41% ที่ความสูง 120 m, 90 m และ 60 m ตามลำดับ และจะสอดคล้องกันที่

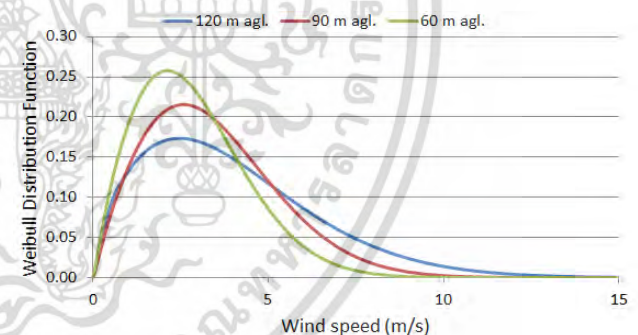
ความเร็ว 4 m/s และ 5m/s อีกด้วย โดยเฉพาะความเร็วลมที่มากกว่า 5 m/s ที่ความสูง 60 m มีสัดส่วนที่ไม่ถึง 10%

**3.6) กำลังลม (Wind Power Density,  $W/m^2$ )**

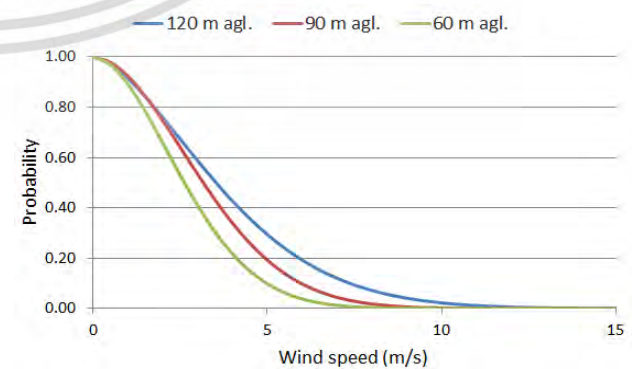
กำลังลมเฉลี่ยที่ความสูงต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 6 กำลังลมจะแปรผันกำลังสามกับความเร็วลม ซึ่งเป็นสมการไม่เชิงเส้น (Non-Linear) เมื่อลมมีความเร็วมากกำลังลมก็จะมีค่ามากตามไปด้วย อีกประการหนึ่งคือกำลังลมจะแปรผันตรงกับความหนาแน่นของอากาศพื้นที่บนภูเขาสูงมาก ค่าความหนาแน่นของอากาศจะเบาบางซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อกำลังลมที่ได้



รูปที่ 8 Daily Wind Shear Coefficient



รูปที่ 9 การกระจายตัวของข้อมูลลมเฉลี่ย



รูปที่ 10 การกระจายตัวแบบสะสมของความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7) อุณหภูมิของอากาศ (Air Temperature, T) ความดันบรรยากาศ (Air Pressure, P) และความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, RH) ของอากาศที่สถานีวัดลม

ได้ถูกบันทึกไว้ที่กล่องบันทึกข้อมูลเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 11 และ 12 จะเห็นว่าอุณหภูมิที่สถานีวัดลมจะลดต่ำลงในช่วงฤดูหนาว เดือน พฤศจิกายน ถึง เดือนมกราคม และจะสูงขึ้นในช่วงเดือนเมษายนไปจนถึงเดือนมิถุนายน ส่วนความดันบรรยากาศจะสูงสุดในฤดูหนาวช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึง เดือนมกราคม และในส่วนของความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศก็จะสูงสุดในฤดูฝนระหว่างเดือนมิถุนายนถึงตุลาคม

ตารางที่ 5 พารามิเตอร์การกระจายตัวรายปี

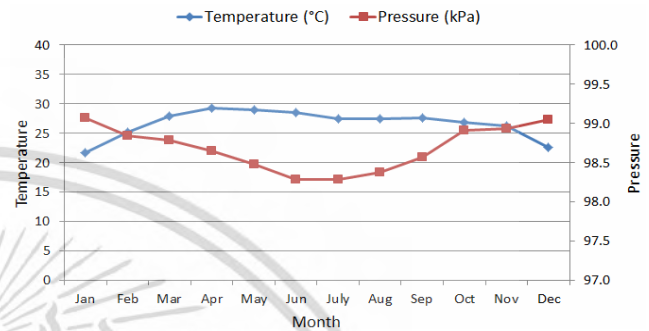
Year	Parameter	ความสูง (m)		
		120	90	60
2012	V (m/s)	3.74	3.43	2.81
	SD (m/s)	2.18	1.84	1.64
	C (m/s)	4.21	3.87	3.16
	k	1.79	1.97	1.80
2013	V (m/s)	3.80	3.50	2.87
	SD (m/s)	2.22	1.91	1.68
	C (m/s)	4.28	3.94	3.23
	k	1.80	1.93	1.79
2014	V (m/s)	4.20	3.36	2.80
	SD (m/s)	2.80	1.86	1.64
	C (m/s)	4.67	3.78	3.15
	k	1.55	1.90	1.79
2015	V (m/s)	4.07	3.35	2.86
	SD (m/s)	2.56	1.82	1.58
	C (m/s)	4.55	3.77	3.22
	k	1.65	1.94	1.90
Average	V (m/s)	3.96	3.41	2.84
	SD (m/s)	2.46	1.86	1.63
	C (m/s)	4.43	3.84	3.19
	k	1.67	1.93	1.82

ตารางที่ 6 กำลังลมเฉลี่ยที่ความสูงต่างกัน

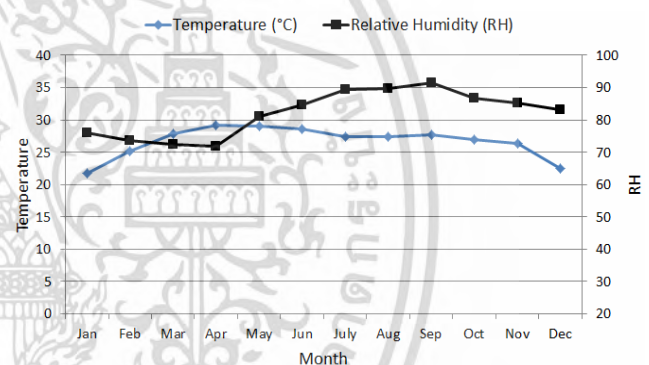
ความสูง	ความเร็วลม(m/s)	กำลังลม( $W/m^2$ )
120 m	3.96	98
90 m	3.41	55
60 m	2.84	34

ตารางที่ 7 สัดส่วนความเร็วลมที่มากกว่า 3, 4 และ 5 m/s

Cut in (m/s)	Cut out(m/s)	% ที่ความสูง (m)		
		120	90	60
3	25	58.7	53.4	41.0
4	25	42.7	33.9	21.7
5	25	29.4	19.2	9.8



รูปที่ 11 อุณหภูมิและความดันของอากาศที่สถานีวัดลม



รูปที่ 12 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

## 4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงศักยภาพพลังงานลมในเขตพื้นที่จังหวัดหนองคาย โดยการเก็บข้อมูลผลการวัดจริงที่ระดับความสูง 60, 90 และ 120 เมตรเหนือพื้นดินเป็นเวลาติดต่อกัน 4 ปี ระหว่างปี 2012 ถึง 2015 ข้อมูลที่ได้แสดงดังนี้

ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูง 120, 90 และ 60 เมตรเหนือพื้นดินคือ 3.96, 3.41 และ 2.84 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ และมีค่าเท่ากับ 4.17 m/s ที่ความสูง 150 เมตรที่ได้จากการคำนวณนอกช่วง ในขณะที่ทิศทางลมส่วนใหญ่จะเป็นทิศตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันออกเฉียง

ค่าของไวบูลล์ Shape parameter ( $k$ ) และ Scale parameter ( $c$ ) ในพื้นที่นี้มีค่าเท่ากับ 1.67 ถึง 1.82 และ 3.19 ถึง 4.43 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ

ในส่วนของการคำนวณมีค่าอยู่ระหว่าง 36, 55 และ 98  $W/m^2$  ที่ความสูง 60, 90 และ 120 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ

จากความเร็วลมเฉลี่ยที่วัดได้และกำลังลม ถือเป็นความเร็วลมที่ค่อนข้างต่ำ ซึ่งจัดอยู่ใน Wind Class 1 [14] เท่านั้น ในขณะที่ความเร็วลมที่เหมาะสมที่จะติดตั้งกังหันลมเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์ควรมีค่าเฉลี่ยทั้งปีตั้งแต่ 5 เมตรต่อวินาทีขึ้นไป [6,7,15] ดังจะเห็นได้จากการลงทุนติดตั้งกังหันลมเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่แหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต และ พื้นที่บนเขาชายเที่ยง อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา ส่วนความเร็วลมในพื้นที่ ตำบลหนองกอมเกาะ อำเภอเมือง จังหวัดหนองคายเป็นความเร็วลมที่ค่อนข้างต่ำซึ่งไม่มีความเหมาะสมที่จะติดตั้งกังหันลมขนาดใหญ่เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์ แต่ความเร็วลมขนาดนี้อาจจะเหมาะสมกับการพัฒนาควบคู่ไปกับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์[16,17] เพื่อใช้ในการเกษตร ตัวอย่างเช่น การนำไปประยุกต์ใช้ในการสูบน้ำของเกษตรกรในพื้นที่ เป็นต้น

## 5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ทำงานวิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช) และ ศูนย์วิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยขอนแก่น (AERD-KKU) สำหรับการสนับสนุนทุนในการทำวิจัยในครั้งนี้

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Statistical Review of World Energy [online]. Available: <https://www.bp.com>. 2017.
- [2] Global wind power by country [online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/wind\\_power\\_by\\_country](http://en.wikipedia.org/wiki/wind_power_by_country). 2017.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Laerte de Araujo Lima et al. "Wind resource evaluation in SJC Paraba-Brazil," Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.16, pp.474-480, 2012.
- [6] Wind turbine installation at Phuket [online]. Available: <http://www.egat.co.th>. 2017.
- [7] Wind turbine installation at Lumtakong [online]. Available: <http://www.egat.co.th>. 2017.
- [8] Wind power in Thailand [online]. Available: [https://en.wikipedia/wiki/Wind\\_power\\_in\\_Thailand](https://en.wikipedia/wiki/Wind_power_in_Thailand). 2017.
- [9] Thailand Power Development Plan [online]. Available: <http://energy.go.th/2015>. 2017.
- [10] NRG system [online]. Available: <http://nrgsystem.com>. 2017.
- [11] Giovanni Gualtieri et al. "Method of extrapolation to the turbine hub height base on power law: A 1-h wind speed vs Weibull distribution extrapolation comparison," Renewable Energy, Vol.43, pp.183-200, 2012.
- [12] Wikanda Sridech et al. "Statistical error in the assessment of annual energy yields of wind turbine," Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand., ETM-031024, 2009.
- [13] Wind Plot [online]. Available: <https://www.weblakes.com>. 2017.
- [14] Jompop Waewsak, "Wind Energy Technology [Book]", pp. 99, 2015.
- [15] Akraphon Janon et al. "An investigation of the Low Performance of the First Wind Farm in Thailand: a case of poor Wind Turbine-Site Matching," Advanced Materials Research, Vol.724, pp.469-475, 2013.
- [16] Pham Quan et al. "Assessment of wind energy potential for selecting wind turbine: An application to Thailand," Sustainable Energy Technologies and Assessments, Vol.11, pp.17-26, 2015.
- [17] Tanate Chaichana and Sumpun Chaitep. "Wind power potential and characteristic analysis of Chiang Mai Thailand," Journal of Mechanical Science and Technology, Vol.24, pp.1475-1479, 2010.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้