การพยากรณ์ความเร็วลมที่มีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ถดถอย กรณีศึกษา : ชั้น 7 อาคารวิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

ศิริชัย ตราทอง[1] ปิยะมาศ ไชยนอก[2] และบพิตร ไชยนอก[1]

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[2] กลุ่มวิชาศึกษาทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
[*]bopitch@npru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการสร้างแบบจำลองทำนายความเร็วลมด้วยวิธีการวิเคราะห์ถดถอย โดยใช้ข้อมูลความเร็วลมและความเข้มแสง ด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry pi3 เป็นตัวควบคุม ติดตั้งที่ระดับความสูง 25 เมตรจากพื้นดิน ที่มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลในช่วงเดือนกันยายน – เดือนธันวาคม 2562 พบว่าประสิทธิภาพของแบบจำลองการทำนายความเร็วลม ที่ทดสอบด้วยเกณฑ์รากของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error) อยู่ที่ประมาณ 0.71

คำสำคัญ: พลังงานลม การวิเคราะห์ถดถอย ไมโครคอนโทรลเลอร์

A wind speed prediction for electric generation using regression analysis method Case study : 7th floor Engineering and Technology Building, Nakhon Pathom Rajabhat University.

Sirichai Tarthong[1], Piyamas Chainok[2] and Bopit Chainok[1]
1. Industrial Computer Technology Department, Faculty of Science and Technology,
Nakhon Pathom Rajabhat University.

2. General Education Department, Faculty of Science and Technology,
Pathumwan Institute of Technology
*Corresponding Author; email: bopitch@npru.ac.th

Abstract

This research presents the wind speed prediction model with linear regression analysis. Which was using wind speed and light intensity data. The system consist of Raspberry Pi3 microcontroller and sensors.. A controller Installed at an altitude of 25 meters from the ground at Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom Province. The period of collection was during September - December 2019. The experimental results showed that the efficiency of the wind speed prediction model tested with the root mean square error of approximately 0.71.

Keywords: Wind energy, Linear Regression, Micro-controller.

1. บทนำ

ในปัจจุบันสภาพอากาศเป็นเรื่องที่ยากต่อการคาดเดา โดยเฉพาะช่วงที่กำลังจะเปลี่ยนผ่านฤดูกาล สภาพอากาศจะแปรปรวนกว่าปกติ คณะผู้จัดทำจึงเล็งเห็นถึงช่องทางที่จะสามารถใช้ประโยชน์จากสภาพอากาศดังกล่าวได้ โดยเฉพาะการใช้ความเร็วลมมาเป็นพลังงานไฟฟ้า ถ้าทราบช่วงเวลาและความเร็วลมที่สามารถนำมาแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ดีที่สุดและหาความสัมพันธ์อื่นๆ ที่มีผลต่อความเร็วลม (บพิตร ไชยนอก และคณะ, 2562) เช่น ความเข้มของแสง ความกดอากาศ อุณภูมิ ความชื้น และปริมาณน้ำฝน เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นของสภาพอากาศ ซึ่งมีผลต่อความเร็วลม โดยใช้หลักการ Machine learning เข้ามาเป็นเครื่องมือในการพยากรณ์

งานวิจัยนี้สร้างระบบตรวจวัดสภาพภูมิอากาศและเก็บข้อมูลทางสภาพภูมิอากาศ โดยใช้ Raspberry Pi 3 Model B เป็นอุปกรณ์ในการประมวลผล (นิฏฐิตา เชิดชู และคณะ, 2562) และรับค่าข้อมูลสภาพภูมิอากาศจาก เซนเซอร์ ได้แก่ ความเร็วลม ทิศทางลม ความชื้น (Nitthita Chirdchoo และคณะ, 2562) ความกดอากาศ ความเข้มแสง และปริมาณน้ำฝน ที่ติดตั้งบนพื้นอาคารชั้น 7 ดาดฟ้าอาคารวิศวกรรมและเทคโนโลยี (ETB) มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ระดับความสูง 25 เมตรจากพื้นดิน พื้นอาคารชั้น 7 อาคาร ETB โดยทำการเก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 5 กันยายน 2562 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2562 โดยเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูล SQLite บันทึกข้อมูลในทุก 1 นาที จากนั้นทำการนำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย และนำมาวิเคราะห์โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบถดถอยเชิงเส้น เปรียบเทียบกันระหว่างปริมาณความเข้มแสงและความเร็วลม

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

Linear Regression

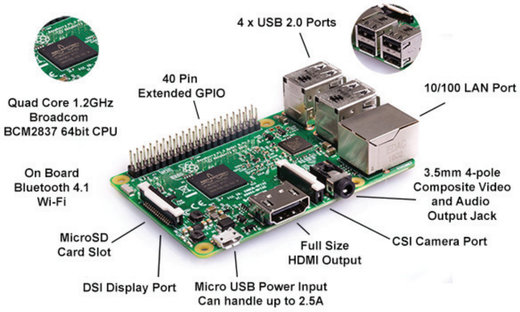
การวิเคราะห์การถดถอย Linear Regression (Nagesh Singh Chauhan, 2562) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของตัวแปร วัตถุประสงค์หลักของการวิเคราะห์การถดถอยคือ การประมาณค่าของตัวแปรตัวหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า ตัวแปรตาม (Dependent Variable) นิยมเขียนแทนด้วย Y โดยอาศัยความรู้จากตัวแปรอื่น ซึ่งเรียกว่า ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) นิยมเขียนแทนด้วย X หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่า ใช้ความรู้ หรือข้อมูลสารสนเทศจาก X เป็นเกณฑ์ในการประมาณ Y ถ้าใช้ตัวแปร X เพียงตัวแปรเดียวในการประมาณค่า Y และความสัมพันธ์ของ Y และ X เป็นเชิงเส้นตรง เรียกว่า การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression)

สำหรับการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ เป็นการศึกษาระดับ หรือขนาดของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรสองตัวแปรว่ามีมากน้อยเพียงใด เครื่องมือที่ใช้วัดเรียกว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) นิยมเขียนแทนด้วย r โดยวัดออกมาเป็นตัวเลขที่มีค่าอยู่ระหว่าง -1 กับ 1 ถ้า r มีค่าใกล้ 1 แสดงว่า ตัวแปรสองตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันมากและมีทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ถ้า X มีค่ามาก Y จะมีค่ามากด้วย ถ้า r มีค่าใกล้ -1 แสดงว่า ตัวแปรสองตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันมากเช่นกันแต่มีทิศทางตรงข้ามกัน กล่าวคือ ถ้า X มีค่ามาก Y จะมีค่าน้อย หรือ X มีค่าน้อย Y จะมีค่ามาก ถ้า X และ Y ม ี ความสัมพันธ์กันน้อย ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r จะเข้าใกล้ 0

3. อุปกรณ์

3.1 Raspberry pi 3

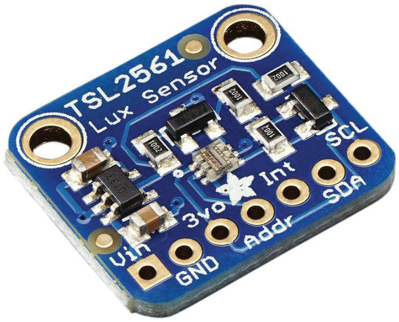
Raspberry pi 3 เป็นคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก จัดอยู่ในกลุ่มคอมพิวเตอร์แบบฝังตัว ใช้โปรแกรมภาษา python ในการพัฒนา สามารถต่ออุปกณ์อินพุต/เอาต์พุต ร่วมกับเซ็นเซอร์ต่างๆ สามารถต่อเข้ากับจอคอมพิวเตอร์และเชื่อมต่อกับเมาส์ คีย์บอร์ด หรืออุปกรณ์อินพุต ผ่านทางพอร์ต USB เชื่อมต่อเครือข่ายด้วย RJ45 นอกจากนี้ยังมี Bluetooth และ WIFI 802.11n แสดงได้ในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 Raspberry pi 3
ที่มา : http://www.store.anman.co.th/

3.2 Lux Sensor (TSL2561)

TSL2561 เซนเซอร์ที่ใช้ตรวจวัดปริมาณความเข้มแสง เพื่อตรวจวัดความสว่างของพื้นที่ TSL2561 วัดความเข้มแบบดิจิทัล หาปริมาณแสงที่กระทบลงบนวัตถุต่อพื้นที่ในหน่วยเป็นลูเมนต่อตารางเมตร หรือ ลักซ์ (Lux) เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ต I2C รองรับการใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่แรงดัน 3.3 โวลต์และ 5 โวลต์ โดยมีวงจรแปลงอยู่บนสัญญาณมอดูล แสดงได้ในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 TSL2561 Lux Sensor
ที่มา : https://www.elfadistrelec.pl/en/tsl2561

3.3 สถานีอากาศ

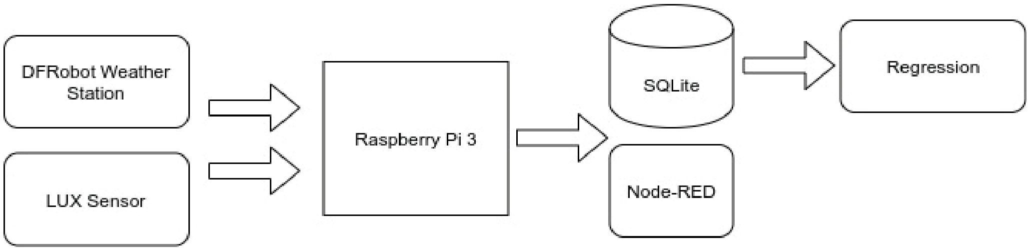
เป็นอุปกรณ์ที่มีชุดเซนเซอร์ในการตรวจวัดสภาพอากาศ ได้แก่ ความเร็วลม ทิศทางลม ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ความชื้น ความกดอากาศ โดยนำชุดเซนเซอร์มาใช้ร่วมกับ Raspberry pi 3 เพื่อบันทึกค่าความเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่ส่งผลต่อความเร็วลมในแต่ละช่วงเวลา แสดงได้ในภาพที่ 3

ภาพที่ 3 DFRobot Weather Station
ที่มา : https://www.dfrobot.com/blog-465.html

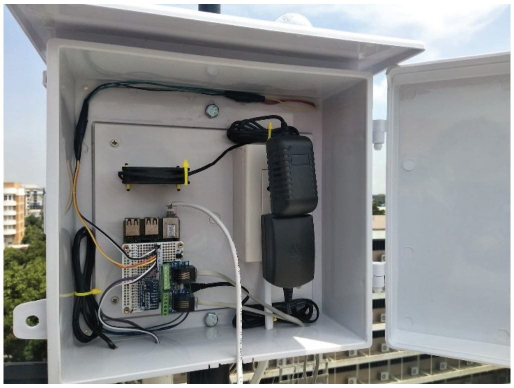
4. การออกแบบและการพัฒนา

4.1 การทำงานของระบบ

เมื่อเริ่มทำงานค่าของเซนเซอร์ จะถูกบักทึกลงไปยังฐานข้อมูล SQLite ที่ติดตั้งอยู่ใน Raspberry Pi 3 โดยบันทึกค่าความเร็วและทิศทางลม อุณหภูมิ ความชื้น ความกดอากาศ ความเข้มแสง ปริมาณน้ำฝน ลงฐานข้อมูลทุก 1 นาที โดยสามารถดูข้อมูลผ่านทาง UI Dashboard ของ Node-red ได้ ผังการทำงานของระบบแสดงได้ในภาพที่ 4 ส่วนการรูปภาพการอุปกรณ์จริงและการติดตั้งแสดงได้ในภาพที่ 5 และ 6 ตามลำดับ



ภาพที่ 4 ผังการทำงานของระบบ

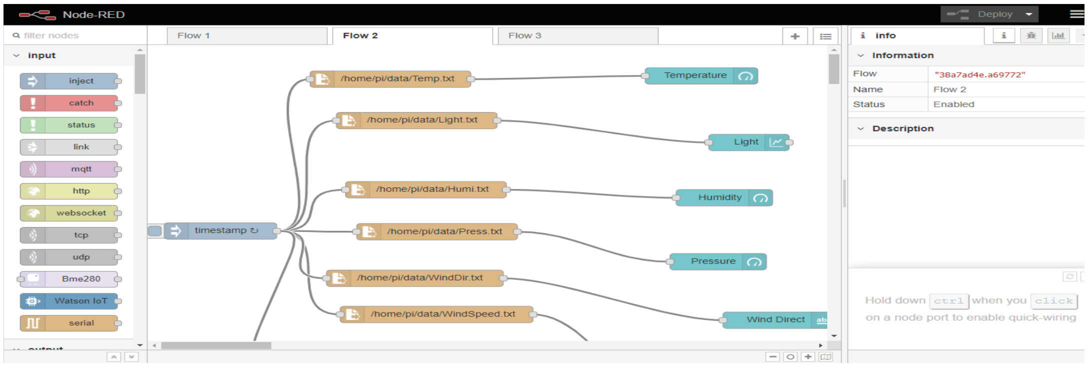


ภาพที่ 5 การเชื่อมต่ออุปกรณ์

ภาพที่ 6 สถานที่ติดตั้งอุปกรณ์

4.2 การออกแบบส่วนมอนิเตอร์ด้วย Node-red

การออกแบบการทำงานในส่วนของ Node-RED เลือกใช้โหนด Timestamp ในการส่งข้อมูลในรูปแบบตั้งเวลา 1 นาที ในการส่งข้อมูลต่อ 1 ครั้ง โหนด Function เป็นโหนดที่รับค่ามากจาก sensor และส่งต่อไปยังโหนด Dashbaord เพื่อแสดงผลในรูปแบบต่างๆ เช่น ดังภาพที่ 8 โดยจะแสดงผลก็ต่อเมื่อโหนด Timestamp ส่งข้อมูลมาตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ แสดงได้ในภาพที่ 7

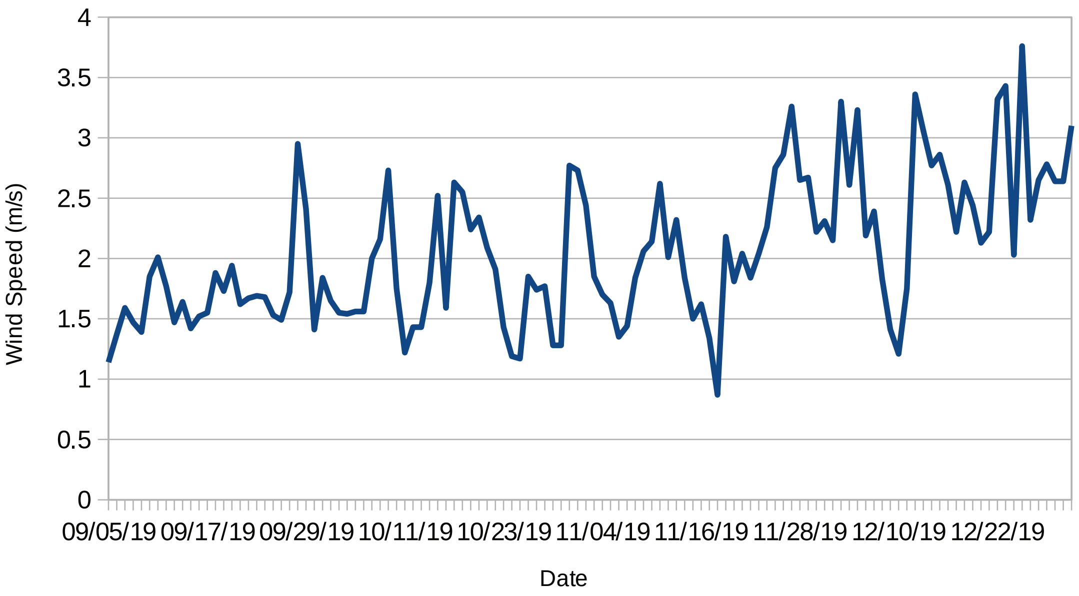


ภาพที่ 7 การออกแบบด้วย Node-red

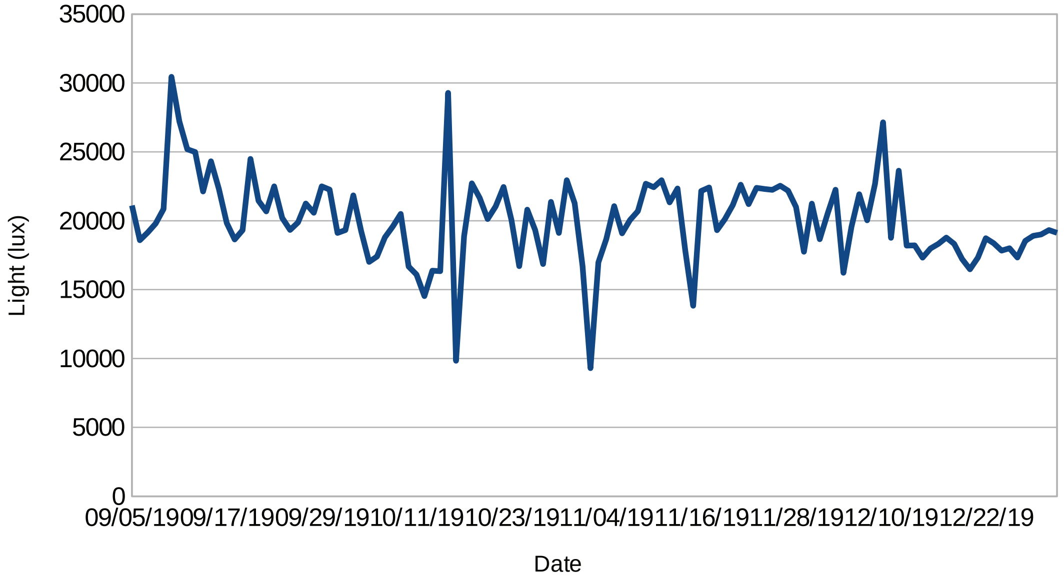
การแสดงผลของ Node-RED Dashboard โดยการใช้มาตรวัดที่ได้จากการออกแบบ แสดงได้ในภาพที่ 8

ภาพที่ 8 Dashboard ของ Node-RED

คณะผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งระบบตรวจวัดความเร็วและทิศทางลมบนดาดฟ้าชั้น 7 บนอาคารวิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม โดยเก็บข้อมูลความเร็วลม ทิศทางลม ความชื้น อุณภูมิ ความกดอากาศ และความเข้มแสง เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 3 เดือน ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 5 กันยายน 2562 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2562 โดยเก็บข้อมูลทุก 1 นาที ข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ประกอบด้วยความเร็วลมและความเข้มแสง ซึ่งข้อมูลดังกล่าว แสดงได้ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ซึ่งข้อมูลจากทั้ง 2 ตารางแสดงเป็นกราฟได้ในภาพที่ 9 และ 10 ตามลำดับ



ภาพที่ 9 ความเร็วลมช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม 2562



ภาพที่ 10 ความเข้มแสงช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม 2562

5. ผลการทดลอง

ผลการทดลองเก็บข้อมูลจากการติดตั้งระบบ โดยเก็บข้อมูลความเร็วลม ทิศทางลม ความชื้น อุณภูมิ ความกดอากาศ และความเข้มแสง เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 3 เดือน ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 5 กันยายน 2562 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2562 โดยเก็บข้อมูลทุก 1 นาที แสดงได้ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ความเร็วลมและความเข้มแสงเฉลี่ยรายวันเดือนกันยายนและตุลาคม 2562

วันที่	ความเร็วลม (m/s)	ความเข้มแสง (lux)	วันที่	ความเร็วลม (m/s)	ความเข้มแสง (lux)
5 กันยายน 2562	1.14	21107	4 ตุลาคม 2562	1.54	19232
6 กันยายน 2562	1.37	18589	5 ตุลาคม 2562	1.56	17016
7 กันยายน 2562	1.59	19151	6 ตุลาคม 2562	1.56	17408
8 กันยายน 2562	1.47	19792	7 ตุลาคม 2562	2.00	18800
9 กันยายน 2562	1.39	20853	8 ตุลาคม 2562	2.16	19589
10 กันยายน 2562	1.85	30451	9 ตุลาคม 2562	2.73	20501
11 กันยายน 2562	2.01	27210	10 ตุลาคม 2562	1.75	16676
12 กันยายน 2562	1.77	25190	11 ตุลาคม 2562	1.22	16093
13 กันยายน 2562	1.47	24987	12 ตุลาคม 2562	1.43	14532
14 กันยายน 2562	1.64	22130	13 ตุลาคม 2562	1.43	16374
15 กันยายน 2562	1.42	24311	14 ตุลาคม 2562	1.80	16333
16 กันยายน 2562	1.52	22314	15 ตุลาคม 2562	2.52	29287
17 กันยายน 2562	1.55	19833	16 ตุลาคม 2562	1.59	9829
18 กันยายน 2562	1.88	18637	17 ตุลาคม 2562	2.63	18865
19 กันยายน 2562	1.73	19312	18 ตุลาคม 2562	2.55	22715

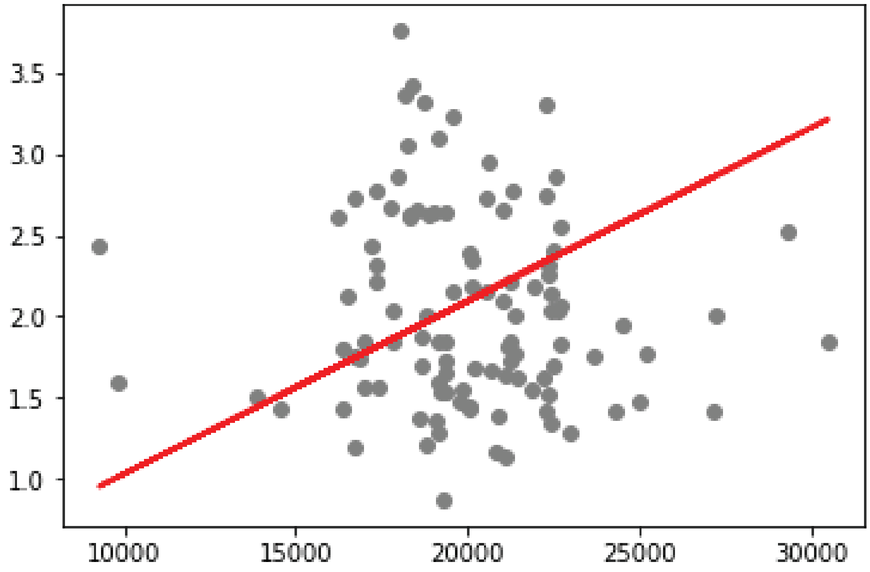
วันที่	**ความเร็วลม (m/s)**	**ความเข้มแสง (lux)**	**วันที่**	**ความเร็วลม (m/s)**	**ความเข้มแสง (lux)**
20 กันยายน 2562	1.94	24488	19 ตุลาคม 2562	2.24	21652
21 กันยายน 2562	1.62	21453	20 ตุลาคม 2562	2.34	20122
22 กันยายน 2562	1.67	20677	21 ตุลาคม 2562	2.09	21043
23 กันยายน 2562	1.69	22495	22 ตุลาคม 2562	1.91	22446
24 กันยายน 2562	1.68	20199	23 ตุลาคม 2562	1.43	20053
25 กันยายน 2562	1.53	19332	24 ตุลาคม 2562	1.19	16708
26 กันยายน 2562	1.49	19874	25 ตุลาคม 2562	1.17	20805
27 กันยายน 2562	1.72	21253	26 ตุลาคม 2562	1.85	19327
28 กันยายน 2562	2.95	20577	27 ตุลาคม 2562	1.74	16860
29 กันยายน 2562	2.41	22495	28 ตุลาคม 2562	1.77	21367
30 กันยายน 2562	1.41	22261	29 ตุลาคม 2562	1.28	19112
1 ตุลาคม 2562	1.84	19115	29 ตุลาคม 2562	1.28	22942
2 ตุลาคม 2562	1.65	19319	30 ตุลาคม 2562	2.77	21267
3 ตุลาคม 2562	1.55	21841	31 ตุลาคม 2562	1.28	19112

ตารางที่ 2 ความเร็วลมและความเข้มแสงเฉลี่ยรายวันเดือนพฤศจิกายนและธันวาคม 2562

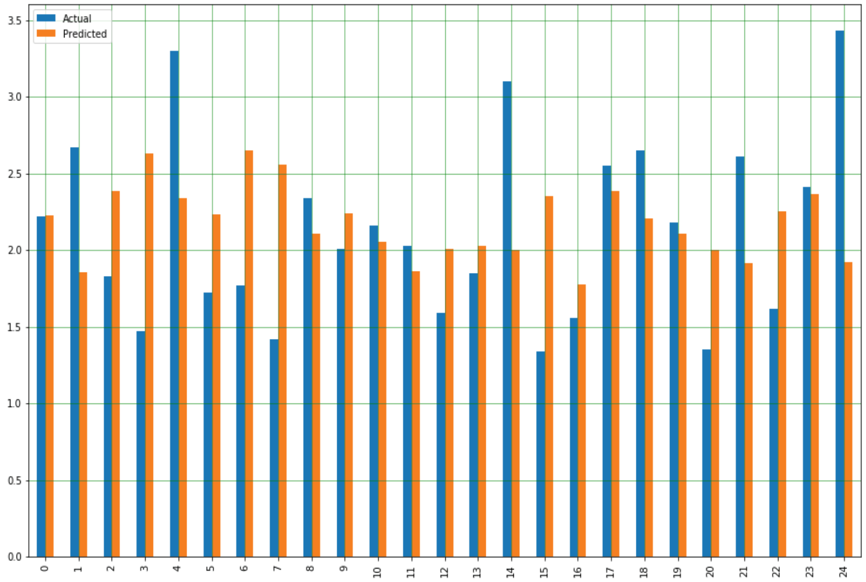
วันที่	**ความเร็วลม (m/s)**	**ความเข้มแสง (lux)**	**วันที่**	**ความเร็วลม (m/s)**	**ความเข้มแสง (lux)**
1 พฤศจิกายน 2562	2.73	16692	1 ธันวาคม 2562	2.31	18661
2 พฤศจิกายน 2562	2.44	9297	2 ธันวาคม 2562	2.15	20523
3 พฤศจิกายน 2562	1.85	16980	3 ธันวาคม 2562	3.30	22254
4 พฤศจิกายน 2562	1.70	18665	4 ธันวาคม 2562	2.61	16215
5 พฤศจิกายน 2562	1.63	21057	5 ธันวาคม 2562	3.23	19558
6 พฤศจิกายน 2562	1.35	19085	6 ธันวาคม 2562	2.19	21926
7 พฤศจิกายน 2562	1.44	20044	7 ธันวาคม 2562	2.39	20033
8 พฤศจิกายน 2562	1.84	20699	8 ธันวาคม 2562	1.83	22687
9 พฤศจิกายน 2562	2.06	22691	9 ธันวาคม 2562	1.41	27148
10 พฤศจิกายน 2562	2.14	22432	10 ธันวาคม 2562	1.21	18757
11 พฤศจิกายน 2562	2.62	22942	11 ธันวาคม 2562	1.75	23632
12 พฤศจิกายน 2562	2.01	21331	12 ธันวาคม 2562	3.36	18194
13 พฤศจิกายน 2562	2.32	22344	13 ธันวาคม 2562	3.06	18213
14 พฤศจิกายน 2562	1.84	17821	14 ธันวาคม 2562	2.77	17326
15 พฤศจิกายน 2562	1.50	13827	15 ธันวาคม 2562	2.86	17988
16 พฤศจิกายน 2562	1.62	22162	16 ธันวาคม 2562	2.61	18322
17 พฤศจิกายน 2562	1.34	22417	17 ธันวาคม 2562	2.22	18773
18 พฤศจิกายน 2562	0.87	19307	18 ธันวาคม 2562	2.63	18324
19 พฤศจิกายน 2562	2.18	20104	19 ธันวาคม 2562	2.44	17221
20 พฤศจิกายน 2562	1.81	21137	20 ธันวาคม 2562	2.13	16472
21 พฤศจิกายน 2562	2.04	22612	21 ธันวาคม 2562	2.22	17324
22 พฤศจิกายน 2562	1.84	21207	22 ธันวาคม 2562	3.32	18734
23 พฤศจิกายน 2562	2.04	22390	23 ธันวาคม 2562	3.43	18372
24 พฤศจิกายน 2562	2.26	22309	24 ธันวาคม 2562	2.03	17832
25 พฤศจิกายน 2562	2.75	22239	25 ธันวาคม 2562	3.76	18001
26 พฤศจิกายน 2562	2.86	22544	26 ธันวาคม 2562	2.32	17328
27 พฤศจิกายน 2562	3.26	22174	27 ธันวาคม 2562	2.65	18543
28 พฤศจิกายน 2562	2.65	20998	28 ธันวาคม 2562	2.78	18904
29 พฤศจิกายน 2562	2.67	17745	29 ธันวาคม 2562	2.64	19003
30 พฤศจิกายน 2562	2.22	21240	30 ธันวาคม 2562	2.64	19322
			31 ธันวาคม 2562	3.10	19122

6. วิเคราะห์ผลการทดลอง

คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้ jupyter notebook เป็นเครื่องมือในการพัฒนา ใช้ scikit-learn library เป็นเครื่องมือสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้น เพื่อทำนายค่าความเร็วลมจากปริมาณความเข้มแสง สามารถแสดงเป็นแผนภาพการกระจาย (Scatter Plot) ดังในภาพที่ 11 และนำผลมาใช้แบบจำลองเพื่อมาทำการทำนายความเร็วลมเปรียบเทียบกันระกว่างค่าที่วัดได้จริงและค่าที่ได้จากทำนาย แสดงได้ดังภาพที่ 12 พบว่าประสิทธิภาพของแบบจำลอง (Root Mean Squared Error) มีค่าประมาณ 0.71 ซึ่งค่า RMSE ที่คลาดเคลื่อนเยอะอาจจะเกิดจากระบบไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ไม่เสถียร ทำให้ระบบเก็บค่าไม่ต่อเนื่อง



ภาพที่ 11 Regression Line



ภาพที่ 12 Regression Line เปรียบเทียบค่าที่ควาเร็วลมที่วัดได้กับค่าที่ใช้แบบจำลองทำนาย

7. สรุป

Regression model ที่ได้มานั้นสามารถเอาไปใช้ในการคาดการณ์ค่าความเร็วลมในอนาคต โดยจะได้คำตอบโดยประมาณที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงพอสมควร ซึ่งเพียงพอที่จะใช้ค่าความเร็วลมที่คำนวณได้ ไปใช้ในการหาพลังงานไฟฟ้า

8. คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนคปฐม ที่อำนวยความสะดวกในเรื่องของสถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

บพิตร ไชยนอก เกริกไกวัล จักรวรรดิ์ และชัชพิมุข จำลอง (2562). **การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า กรณีศึกษา : ชั้น 7 อาคารวิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.** รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ครั้งที่ 11.

นิฏฐิตา เชิดชู และวีระศักดิ์ ชื่นตา, "**การเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการฟาร์มกุ้งด้วยการลดใช้ไฟฟ้าที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์และควบคุมการเลี้ยงด้วยเทคโนโลยีการเลี้ยงสัตว์น้ำแม่นยำ"** วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, ปีที่ 9, ฉบับที่ 2, หน้า 86-96, กรกฎาคม 2562

Nagesh Singh Chauhan. **A beginner's guide to Linear Regression in Python with Scikit-Learn.** สืบค้นเมื่อวันที่ 13 ธันวาคม 2562 จาก https://towardsdatascience.com/.

Nitthita Chirdchoo and Weerasak Cheunta, "**Detection of shrimp feed with computer vision**" Journal of Interdisciplinary Research Review, vol. 14, no. 5, pp.13-17, Oct, 2019

มานพ พูนน้อย และเกียรติฟ้า ตั้งใจจิต (2556). การศึกษาศักยภาพพลังงานลมเฉพาะแหล่งในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย. **วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น,** 18(5), 803-810.

ธีระศักดิ์ ชำนาญดี และวรสัณฑ์ บูรณากาญจน์ (2557). **การพัฒนาพลังงานทดแทนจากกังหันลมความเร็วลมต่ำสำหรับอาคารและชุมชน กรณีศึกษาวัดหงส์ทอง จังหวัดฉะเชิงเทรา.** ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศ.ดร.ธนัญชัย ลีภักดิ์ปรีดา, รศ.ดร.ศรัทธา อาภรณ์รัตน์ ,ผศ.ดร.พ.อ.อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง และผศ.ดร.พฤทธิพงษ์ ไทยแช่ม. (2556). **การศึกษาศักยภาพพลังงานลมสำหรับการผลิตไฟฟ้าในเขตภาคกลางของประเทศไทย.** ค้นเมื่อวันที่ 7 พฤศจิกายน 2562 จาก http://webkc.dede.go.th/testmax/node/1057.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. **กฟผ.กับการพัฒนางานลมเพื่อผลิตไฟฟ้า.** สืบค้นเมื่อวันที่ 13 ธันวาคม 2562 จาก http://www4.egat.co.th/re/egat_wind/egat_wind.htm.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. **พลังงานลมและกังหันลม** สืบค้นเมื่อวันที่ 9 ธันวาคม 2562. จาก http://www4.egat.co.th/re/egat_wind/wind_energy.htm