การประเมินการกักเก็บพลังงาน และการออกแบบกังหันลม ในพื้นที่ ต.แม่แฮ อ.สะเมิง จ.เชียงใหม่

Estimation of Energy Storage and design wind turbine for MaehaeSub-district, Samoeng District, Chiang Mai

กีรติกร สิงหอัศวรัตน์[1*] ตะวัน สุจริตกุล[1]และ สัมพันธ์ ไชยเทพ[1]

Keeratikorn Singha-assawaratt[1*],ThawanSucharitakul[1]and SumpunChaitep[1]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทคัดย่อ

พลังงานลมเป็นพลังงานหมุนเวียนประเภทหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้โดยการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าจากเทคโนโลยีกังหันลมซึ่งพื้นที่บริเวณ ต.แม่แฮ อ.สะเมิง จ.เชียงใหม่ มีศักยภาพพลังงานลมเพียงพอต่อการผลิตกระแสไฟฟ้า ดังนั้นการศึกษาจึงได้ทำการประเมินการกักเก็บพลังงาน และการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการใช้งานของชุมชนในพื้นที่ดังกล่าว เพื่อเป็นทางเลือกให้แก่ชุมชนได้นำพลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรสำหรับกังหันลมเพื่อใช้งานภายในบ้านที่อยู่อาศัยขนาด 65 m^2 ซึ่งพบว่าเมื่อใช้กังหันลมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.7 m จะต้องใช้แบตเตอรี่ที่มีขนาดอยู่ในช่วง 23.155 – 53.881 Ah ที่ความเร็วลม 9 m/s โดยให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความถี่ 50 Hz ซึ่งจะต้องใช้แม่เหล็กความแรงสูง NedFeจำนวน 24 คู่ขั้ว มีเส้นแรงแม่เหล็กถาวร 0.000554 Wb โดยมีจำนวนขดลวด18 ขด

คำสำคัญ: การกักเก็บพลังงาน/พลังงานลม/เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวร

Abstract

Wind power is renewable energy that could be transformed into electrical energy through the utilization of a wind turbine mechanical technology which designed for use in the vicinity of the MaehaeSub-district, Samoeng district, Chiang Mai Province. The Maehae area had the potentiality to have enough quantity of wind power to produce electricity and it was sufficient for the people usage in the area. Consequently, this study had been designed for the estimation of the electrical energy storage, and the design of the optimize generator for used in the surrounding area where the selection of the renewable energy source could be performed for the maximum utilization. In short, the permanent magnet generator was designed in the wind turbine for the household average area of 65 m^2. According to the research, it was found that the turbine should have a diameter of 2.7 meters and that the energy storage of the battery should be 23.155-53.881 Ah for a wind speed of 9 m/s. The frequency of the generator should be 50 Hz. The permanent magnet installed in the generator should have a high magnetic flux. The generator would have a magnetic flux of 0.000554 Wb and the total number of coils should be 18.

Keywords :Energy Storage /wind energy /Permanent magnet Generator

*Corresponding author. E-mail :singhaassawarat@gmail.com

1. บทนำ

ในปัจจุบันพลังงานถือได้ว่ามีบทบาทสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์และในการพัฒนาระบบเศรษฐกิจ ซึ่งจำเป็นต้องใช้พลังงานในการขับเคลื่อนให้ระบบสามารถพัฒนาไปได้อย่างต่อเนื่อง แต่เนื่องจากการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของระบบเศรษฐกิจประกอบกับจำนวนประชากรที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงส่งผลให้ความต้องการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นตามมาในขณะที่แหล่งทรัพยากรกลับมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นพลังงานหมุนเวียนจึงถูกผลักดันขึ้นมาทดแทนรวมถึงพลังงานลมซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียนประเภทหนึ่งซึ่งเริ่มได้รับความสนใจและมีการนำมาใช้ประโยชน์กันมากขึ้นในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากกังหันลม โดยพบว่าพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ได้รับอิทธิพลจากลมภูเขาที่มีความเร็วเฉลี่ยตลอดทั้งปีประมาณ 4.1 m/sซึ่งมากกว่าความเร็วลมขั้นต่ำที่สามารถนำไปหมุนกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าได้ โดยมีความเร็วลมกรรโชกสูงสุดไม่เกิน 25 m/s จึงสามารถนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าได้โดยไม่เกิดการเสียหายต่อชุดกังหันลม ด้วยเหตุนี้การสร้างกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในชุมชนจึงมีความน่าสนใจแต่เนื่องจากการสร้างกังหันลมจำเป็นต้องคำนึงถึงความเร็วรอบในการหมุนที่ต่ำ ซึ่งโดยปกติกังหันลมจะใช้ชุดเกียร์ทดรอบสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต้องใช้ความเร็วรอบสูงทำให้กังหันลมมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ต้องใช้แรงบิดสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากก่อให้เกิดการสูญเสียกำลังจากการทดรอบมาก รวมถึงทำให้มีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นตามมา

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการประเมินการกักเก็บพลังงาน และการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการใช้งานของชุมชนในพื้นที่สำหรับกังหันลมให้มีสมรรถนะการทำงานที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ มีความเร็วรอบในการหมุนต่ำ โดยมีพื้นที่ ต.แม่แฮ อ.สะเมิง จ.เชียงใหม่ เป็นกรณีศึกษาสำหรับเป็นทางเลือกหนึ่งให้แก่ชุมชนในบริเวณดังกล่าวรวมถึงชุมชนที่มีลักษณะใกล้เคียงในการนำพลังงานลมมาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป

2. วิธีการ

ประเมินศักยภาพพลังงานลม →	ศึกษาถึงศักยภาพพลังงานลมภายในบริเวณ อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ จากลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมตลอดทั้งปีในช่วงมิถุนายน 2551-พฤษภาคม 2552 ที่ความสูง 20 เมตร
↓ เลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้า →	พิจารณาเปรียบเทียบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่นิยมใช้ 3 ประเภท 1) Asynchronous Generator 2) Synchronous Generator และ3) Permanent Magnet
↓ ประเมินภาระทางไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัย →	พิจารณาภาระทางไฟฟ้าสำหรับบ้านที่อยู่อาศัยขนาด 65 ตารางเมตร เป็นกรณีศึกษาโดยแบ่งพื้นที่ภายในออกเป็นห้องต่างๆ เฉพาะระบบแสงสว่างจากหลอด LED และโทรทัศน์เท่านั้น
↓ ประเมินการกักเก็บพลังงานจากกังหันลมสำหรับบ้านที่อยู่อาศัย → ↓	หาค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการจากสมการ $\text{กำลัง} = \frac{\text{ภาระทางไฟฟ้า}}{\text{จำนวนชั่วโมงลม}}$ (1) หาขนาดกังหันลมจาก $P = \frac{1}{2} C_p \rho A V^3$ (2) หาขนาดของแบตเตอรี่กระแสตรงที่แรงดันไฟฟ้า 12Vจากสมการ $\text{ความจุแบตเตอรี่ต่ำสุด} = \frac{(\text{ปริมาณพลังงานต่ำสุด/แรงดันไฟฟ้า}) \times \text{จำนวนวัน}}{\%DOD}$ (3)

ออกแบบโรเตอร์และชุดขดลวดสเตเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า →

↓

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวร

Pคือ กำลังกังหันลม (W)

C_p คือ Coefficient of performance

A คือ พื้นที่การกวาด (m^2)

V คือ ความเร็วลม (m/s)

pคือ จำนวนขั้วแม่เหล็ก

fคือ ความถี่ที่พิกัดทั่วไป = 50 Hz

N คือ จำนวนรอบการหมุนที่พิกัด

V_{Tip}คือความเร็วที่ปลายใบพัด

V_{in}คือ ความเร็วลมที่พัดเข้ากังหัน

*TSR*คือ อัตราส่วนความเร็วที่ปลาย ใบพัดเมื่อเทียบกับความเร็วลม(ลมที่พัดเข้ากังหัน)

α คือขนาดองศาไฟฟ้าแต่ละขดลวด

ϕ คือ เส้นแรงแม่เหล็ก

H คือ ความเข้มสนามแม่เหล็ก

ℓ คือ ความหนาของแม่เหล็ก10 mm μ_r คือ ความซึมแม่เหล็กสัมพัทธ์

μ_o คือความซึมแม่เหล็ก $= 4\pi \times 10^{-7}$ [H/m]

g คือ ระยะ Air gapมีค่าเท่ากับ 5mm และกำหนดขดลวดทองแดงหนาไม่เกิน10 mmจะได้เท่ากับ20mm

J คือความหนาแน่นของกระแส

A_{wire}คือพื้นที่หน้าตัดของขดลวด

I_{rated}คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ρ_t คือ ขดลวดที่อุณหภูมิขณะทำงาน โดยกำหนดให้อุณหภูมิทำงาน $70°C$

ρ_{20} คือ สภาพต้านทานของขดลวดที่อุณหภูมิ $20°C$ $17\ n\Omega.m$

a_1 คือ ความหนาของขดลวด

%DODคือ ประจุภายในแบตเตอรี่

X_L คือความต้านทานเชิงความเหนี่ยวนำ

x คือ ความกว้างของขดลวดทองแดง

LMTคือความยาวต่อขดลวด

หาจำนวนคู่ขั้วแม่เหล็กถาวร (*P*) ที่ติดอยู่กับแผ่นโรเตอร์จากสมการ

$$p = \frac{120f}{N} \tag{4}$$

โดยความเร็วรอบของกังหันลม หาได้จากสมการ

$$TRS = \frac{V_{Tip}}{V_{in}} = \frac{\omega r}{V_{in}} = \frac{2\pi r(\frac{N}{60})}{V_{in}} \tag{5}$$

หาจำนวนขดลวดทั้งหมดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (n_{coil}) ได้จาก

$$n_{coil} = \frac{360°}{\alpha} \times \frac{P}{2} \tag{6}$$

หาจำนวนรอบของขดลวดสเตเตอร์แต่ละขดลวด (N_{ph}) ได้จากสมการ

$$E_{phase} = 4.44 f\phi N_{ph} \tag{7}$$

จากนั้นหาขนาดเส้นแรงแม่เหล็กความเร็วสูงจากสมการ

$$\phi = \frac{2H\ell\mu_o B_r}{B_r g + 2\ell\mu_o H}.A \tag{8}$$

หาขนาดของขดลวดทองแดงจาก $J = \frac{I_{rated}}{A_{wire}}$ (9)

ความต้านทานของขดลวดต่อขดหาได้จาก $R = \rho_t \frac{l}{A_{wire}}$ (10)

โดยที่ $\rho_t = \rho_{20}(1 + 0.0039(t_c - 20))$ (11)

หาค่าความเหนี่ยวนำ จากสมการ $L = \frac{\mu_0 \times (N_{phase})^2 \times LMT \times x}{a_1} \times K_n$ (12)

เมื่อ K_n คือ Nagaoka constant หาค่าได้จากสมการ

$$K_n = \frac{1}{1 + 0.9\frac{LMT}{2\pi a_1} + 0.32\frac{2\pi x}{LMT} + 0.84\frac{x}{a_1}} \tag{13}$$

หาค่าความต้านทานเชิงความเหนี่ยวนำ จากสมการ

$$X_L = 2\pi fL \tag{14}$$

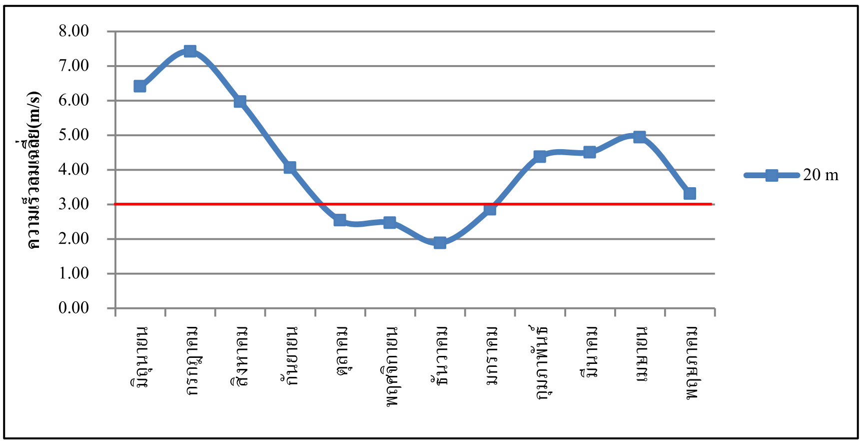
คำนวณหาค่าความต้านทานอิมพีแดนซ์จากสมการ

$$Z = R + jX_L \tag{15}$$

3. ผลและอภิปราย

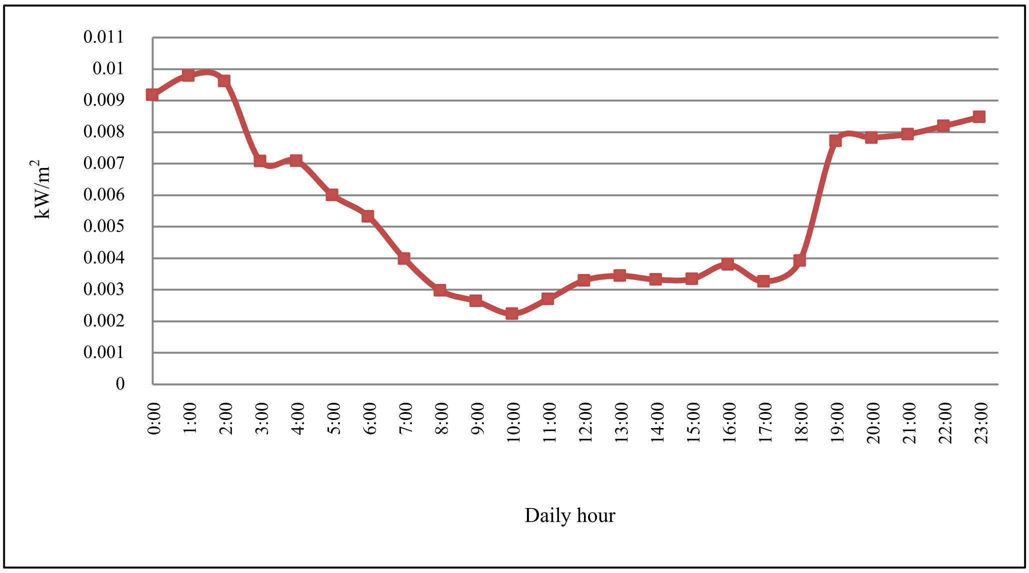
3.1 การประเมินศักยภาพพลังงานลม

ผลการศึกษาความเร็วลมภายในพื้นที่ ต.แม่แฮ อ.สะเมิง จ.เชียงใหม่ ที่ระดับความสูง 20 เมตร พบว่ามีค่าความเร็วลมเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 4.23 m/s โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.89 -7.42 m/s แต่เนื่องจากค่าความเร็วลมที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 3 m/s ดังนั้นในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ – กันยายนจึงเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม



รูปที่ 1 ความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน สถานีโครงการหลวงแม่แฮ อ.สะเมิง จ.เชียงใหม่

จากรูปที่ 1จะเห็นว่าในช่วงเดือนพฤษภาคมเป็นช่วงที่มีค่าความเร็วลมต่ำที่สุดที่สามารถผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมได้ โดยมีค่าความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 3.31 m/s ซึ่งในเดือนนี้จะมีความเร็วลมไม่ต่ำกว่า 3.5 m/s เป็นเวลารวมกว่า 10 ชั่วโมงต่อวันดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 พลังงานลมเฉลี่ยรายชั่วโมงในเดือนพฤษภาคม

3.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

พิจารณานำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรมาใช้ในการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับกังหันลม ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ AFPM(Axial Flux Permanent Magnet) เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่นิยมนำไปประยุกต์ใช้กับกังหันลม เนื่องจากมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน ทั้งยังไม่มีแรงบิดเริ่มต้น และ Cogging torque จึงส่งผลให้กังหันลมมีประสิทธิภาพสูง

3.3 การประเมินภาระทางไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัย

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้บ้านที่อยู่อาศัยขนาด 65 m^2 โดยแบ่งออกเป็นห้องนอนขนาด 4 x 4 m^2,ห้องนั่งเล่นขนาด 6 x 4 m^2 ห้องครัวขนาด 4 x 4 m^2 และห้องน้ำขนาด 3 x 3 m^2 โดยพิจารณาภาระทางไฟฟ้าเฉพาะในส่วนของระบบแสงสว่างจากหลอด LEDขนาด 5 Wและโทรทัศน์ขนาด 73 W ตามพฤติกรรมการใช้งานทั่วไป พบว่ามีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 414.50Wh/dayโดยมีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดอยู่ในช่วง19:00 น.-23:00 น.

3.4 การประเมินการกักเก็บพลังงานจากกังหันลมสำหรับบ้านที่อยู่อาศัย

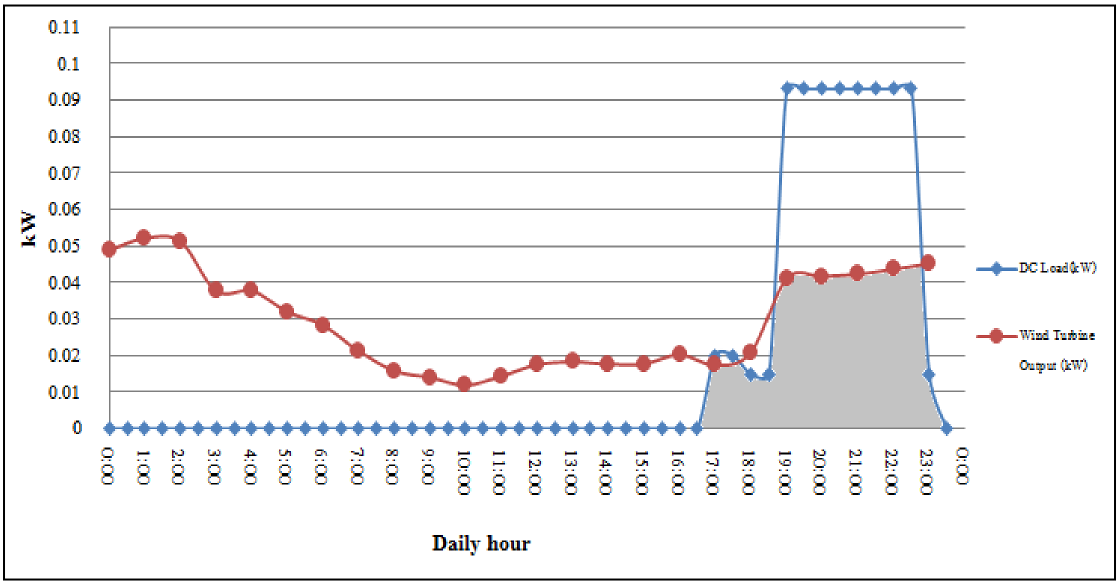
จากการประเมินพบว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการเท่ากับ 41.45 W ซึ่งในการใช้ระบบกักเก็บพลังงานสำหรับระบบ stand-alone ตามมาตรฐาน IEEE-1013 กำหนดให้มีขนาดของแหล่งพลังงานต้นกำลังเท่ากับ1.3 เท่าของขนาดความต้องการพลังงาน เพื่อให้การชาร์จแบตเตอรี่เพียงพอกับความต้องการภาระทางไฟฟ้าของที่อยู่อาศัยจะได้ขนาดของแหล่งพลังงานต้นกำลัง (กังหัน) 53.88 W

จากนั้นคำนวณขนาดของใบพัดกังหันลมเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการภาระทางไฟฟ้าโดยพิจารณาเฉพาะในช่วงที่มีความเร็วลมสูงกว่า 3.5เมตรต่อวินาที ซึ่งพบว่ามีค่าความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.60 ถึง 4.01เมตรต่อวินาที หรือคิดเป็นค่าความเร็วลมเฉลี่ยได้เท่ากับ 3.79เมตรต่อวินาที เพื่อนำมาหาขนาดพื้นที่การกวาด (Swept Area) ของใบพัดกังหันลม ที่สามารถผลิตพลังงานได้เท่ากับ 53.88 Wซึ่งจะได้ขนาดพื้นที่การกวาดเท่ากับ 5.327 ตารางเมตร หรือคิดเป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางได้ 2.60เมตร

จากนั้นนำค่าพื้นที่การกวาดที่ได้คูณกับค่าพลังงานลมเฉลี่ยต่อพื้นที่(รูปที่ 2) จะได้ค่าพลังงานที่ได้จากกังหันลมเป็นไปตามเส้นกราฟ (Wind Turbine Output) ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งค่าพลังงานสุทธิที่กังหันลมสามารถผลิตได้หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟดังกล่าว ซึ่งมีค่าเท่ากับ709.47 Wh แล้วนำค่าที่ได้มาพิจารณาร่วมกับค่าภาระทางไฟฟ้า เพื่อหาค่าการกักเก็บพลังงานที่ต้องการจากพื้นที่ร่วมของกราฟ ดังแสดงไว้ในส่วนที่แรเงาของรูปที่ 3 ซึ่งมีค่าเท่ากับ192.21Wh โดยพื้นที่นี้จะแสดงถึงพลังงานที่สามารถนำไปใช้กับภาระทางไฟฟ้าของที่อยู่อาศัยไปพร้อมกับการชาร์จแบตเตอรี่สำหรับปริมาณพลังงานน้อยสุดที่จำเป็นสำหรับความต้องการภาระทางไฟฟ้าของที่อยู่อาศัย หาได้จากผลต่างของค่าภาระทางไฟฟ้ากับพื้นที่ใต้กราฟในส่วนที่แรเงามีค่าเท่ากับ 222.29 Wh โดยพลังงานมากที่สุดของการกักเก็บพลังงานหาได้จากผลต่างของพลังงานที่ได้จากกังหันลมทั้งหมดกับพื้นที่ใต้กราฟในส่วนที่แรเงา โดยจะมีค่าเท่ากับ 517.26 Wh

จากนั้นศึกษาถึงระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่แรงดันไฟฟ้าสำหรับชาร์จแบตเตอรี่ขนาด12V ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าความจุของแบตเตอรี่สำหรับการชาร์จภายในหนึ่งวัน โดยนำแรงดันไฟฟ้าสำหรับชาร์จแบตเตอรี่ขนาด12V นำไปหารปริมาณพลังงานน้อยสุดที่จำเป็นสำหรับความต้องการภาระทางไฟฟ้าของที่อยู่อาศัยเท่ากับ 222.29 Wh และพลังงานมากที่สุดของการกักเก็บพลังงานเท่ากับ 517.26 Wh จะได้ค่าความจุของแบตเตอรี่สำหรับชาร์จภายในหนึ่งวันอยู่ในช่วง 18.524-43.105 Ah

การเลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดที่มีรอบการคายประจุลึก (Deep cycle) หรือเป็นแบบที่ได้รับการออกแบบให้สามารถใช้งานได้ดีที่ประจุภายในต่ำกว่า 80% ซึ่งจะต้องใช้แบตเตอรี่ที่มีความจุอยู่ในช่วง 23.155 – 53.881 Ah เพื่อให้สามารถใช้งานได้จริงในสภาวะงานที่กำหนดได้ โดยแสดงลักษณะพลังงานจากกังหันลมและภาระทางไฟฟ้าของที่อยู่อาศัยสำหรับการกักเก็บพลังงาน ดังรูป



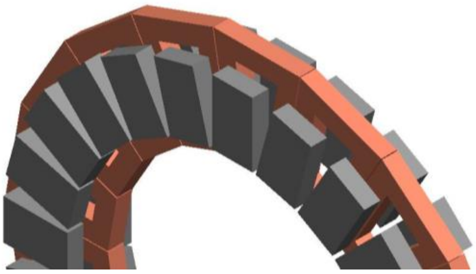
รูปที่ 3 พลังงานจากกังหันลมและภาระทางไฟฟ้าของที่อยู่อาศัยสำหรับการกักเก็บพลังงาน

3.5 การออกแบบโรเตอร์และชุดขดลวดสเตเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากสมการข้างต้น จะได้จำนวนคู่ขั้วแม่เหล็กเท่ากับ24 คู่ขั้ว โดยใช้แม่เหล็กชนิดความแรงสูง NedFeมีเส้นแรงแม่เหล็กถาวร 0.000554 Wbและมีจำนวนขดลวดทองแดงเบอร์ SWG.16 ทั้งหมด 18 ขด ซึ่งในแต่ละเฟสจะมีขดลวด 6 ขดต่ออนุกรมกันโดยแสดงผลการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรตามตารางที่ 1และแสดงลักษณะการวางขดลวดและแม่เหล็กตามรูปที่ 4

ตารางที่ 1 รายละเอียดการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

รายการ	ปริมาณ	รายการ	ปริมาณ
กระแสไฟฟ้าที่พิกัด	14.18 A	ขนาดขดลวด	SWG.16
จำนวนขดลวด	18	ขั้วแม่เหล็ก	24 คู่ขั้ว
เส้นแรงแม่เหล็กถาวร	0.000554 Wb	จำนวนรอบของขดลวดต่อเฟส	180
จำนวนขดลวดต่อเฟส	6	จำนวนรอบของขดลวดต่อขด	30
ความต้านทานต่อขด	0.0203 Ω	ความต้านทานต่อเฟส	0.122 Ω



รูปที่ 4 ลักษณะการวางแม่เหล็กและขดลวดทองแดง

4. บทสรุป

ในการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ภายในพื้นที่ ต.แม่แฮ อ.สะเมิง จ.เชียงใหม่สำหรับบ้านที่อยู่อาศัยขนาด 65 m^2 ที่ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าปริมาณ414.50Wh/dayต้องใช้กังหันลมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบพัดเท่ากับ 2.7 m ที่ความเร็วลม 9 m/s (ความเร็วลมพิกัด) เท่ากับ 254.65 rpm โดยคิดความถี่พิกัดที่ 50 Hz ดังนั้นจะต้องใช้แม่เหล็กความแรงสูง NedFe จำนวน24 คู่ขั้ว มีเส้นแรงแม่เหล็กถาวร 0.000554 Wbจำนวนขดลวด 18 ขด โดยใช้ขนาดขดลวดทองแดงเบอร์ SWG.16 มีจำนวนรอบของขดลวดต่อเฟส 180 รอบ จำนวนแบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับการใช้งานอยู่ในช่วง 23.155 – 53.881 Ahซึ่งการศึกษานี้เป็นเพียงการประเมินการกักเก็บพลังงาน และการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการใช้งานของชุมชนในพื้นที่ดังกล่าว โดยจะมีการสร้างและประเมินสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรสำหรับกังหันลมนี้ในลำดับต่อไป เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งให้แก่ชุมชนได้นำพลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ซึ่งอุปกรณ์ที่ออกแบบมานี้ อาจนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับพลังงานทดแทนอื่นๆ อย่างพลังงานแสงอาทิตย์ได้ โดยนำไปต่อเข้ากับแผงโซล่าเซลล์ (Solar photovoltaic)เพื่อผลิตไฟฟ้าร่วมกัน และเรียกระบบนี้ว่าระบบผสม (Hybrid System) ซึ่งในช่วงเวลากลางวันสามารถผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์โดยใช้โซลาเซลล์ในขณะเดียวกันหากบริเวณดังกล่าวมีความเร็วลมที่เหมาะสม กังหันลมสามารถผลิตไฟฟ้าเข้าไปเก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่ชุดเดียวกันได้ ซึ่งระบบดังกล่าวได้มีการนำมาใช้งานแล้วในหลายๆ หน่วยงาน เช่น สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (ERDI) ได้นำระบบผสมนี้มาใช้ในการผลิตไฟฟ้าส่องสว่างใช้ภายในบริเวณอาคารเป็นต้น ซึ่งจะเห็นว่าระบบผสมนี้นอกจากจะสามารถนำพลังงานธรรมชาติที่สะอาดมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุดได้แล้ว ยังสามารถแก้ปัญหาในกรณีที่กังหันลมไม่สามารถทำงานได้ อย่างในช่วงเดือนตุลาคม-มกราคม ซึ่งมีค่าความเร็วลมต่ำได้อีกด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน เนื่องจากการศึกษานี้ “ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน” รวมถึงภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการเก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์และสรุปผลของงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

กัมปนาท รตเวสสนันท์. (2550). เครื่องจักรกลไฟฟ้า 2.เอกสารประกอบการสอน, เชียงใหม่: คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วสันต์ ปินะเต. (2553). การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากฟาร์มกังหันลมที่บริเวณ อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์วศ.ม., มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Mohammad TaufiqulArif, Amanullah M. T. Oo and A. B. M. Shawkat Ali.(2013). Estimation of Energy Storage and Its Feasibility Analysis. *Energy Storage – Technologies and Applications*, 41-78.

V. G. Welsby. (1950). *The theory and design of inductance coils*. MacDonald & Co,