



ภาคผนวก ก

ข้อมูลการออกแบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการออกแบบ

คุณสมบัติของหลอด LED (Light Emitting Diode)

หลอด LED เป็นหลอดไฟชนิดใหม่ ทำมาจากไดโอดเปล่งแสง มีอายุการใช้งานนาน ไม่มี ความร้อน เหมาะสำหรับการใช้ภายในอาคาร ช่วยลดอุณหภูมิในห้อง หลอด LED มีหลายแบบให้ เลือกใช้ให้เหมาะสมกับงาน ทั้งภายนอกและภายในตัวอาคาร



รูปที่ ก.1 หลอด LED (Light Emitting Diode)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติของหลอด LED Bulb 5 W 85-256V 50-60 Hz Warm White

รายการ	หลอด LED
ประสิทธิภาพความสว่าง	เทียบเท่ากับหลอดตะเกียบ 8 วัตต์ หรือหลอดไส้ 40 วัตต์
กำลังวัตต์	5
อายุการใช้งาน	มากกว่า 50,000
มุมกระจายแสง	160 องศา
Color	แสงสีเหลือง (Warm White)
Base Type	ขั้วมาตรฐาน e27
เส้นผ่านศูนย์กลาง	5 x 10 cm
Input Voltage	12 VDC
Material	อะลูมิเนียม และ PC
ความสว่าง	400 ลูเมนส์
Color Temperature	3000 K

(โดยอ้างอิงจากหน่วยงาน บริษัท เอ็นจิเนียโอ จำกัด)

วิธีการคำนวณหาจำนวนหลอดไฟสำหรับการใช้งานในห้องลักษณะต่างๆ

1. ห้องนอน

จากสมการค่าความส่องสว่าง
$$E = \frac{F}{A}$$

(1)

เมื่อ E	คือ ค่าความส่องสว่าง	มีหน่วยเป็น Lux (ลูเมน/ตารางเมตร)
F	คือ ปริมาณแสงที่ตกกระทบ	มีหน่วยเป็น ลูเมน
A	คือ ขนาดพื้นที่	มีหน่วยเป็น ตารางเมตร

จากขนาดของพื้นที่ห้องนอน ซึ่งมีขนาดกว้าง 4 เมตร ยาว 4 เมตร หรือเท่ากับ 16 ตารางเมตร และจากมาตรฐานความสมดุลระหว่างความส่องสว่างของห้องนอนเท่ากับ 300 Lux และข้างเคียงต้องเป็น 1/5 ของพื้นที่ใช้งาน ตามตารางที่ ก.2 และ ก.3

ตารางที่ ก.2 ความส่องสว่างในพื้นที่ใช้งานต่างๆในบ้านอยู่อาศัย

พื้นที่ต่างๆ	ความส่องสว่างที่พื้นที่ (ลักซ์)	ความส่องสว่างรอบข้าง (ลักซ์)
ทางเข้า	150/500	60/100
ห้องครัว	500/750	250/350
ห้องรับประทานอาหาร	300	100
ห้องนั่งเล่น	60/300	60
ห้องทำงาน	300	150
ห้องน้ำ	500	200
ห้องน้ำแขก	250	100
ห้องเปลี่ยนเสื้อผ้า	500	200
ห้องนอนใหญ่	300/500	100/150
ห้องนอนเด็ก	300	150
ทางเดิน	150	50
บันได	200	60
ถนนทางเข้าบ้าน	300	100

ตารางที่ ก.3 ความสมดุลระหว่างความส่องสว่างของพื้นที่ใช้งานและข้างเคียง

รายการ	ค่าที่ต้องการ	ค่าต่ำสุด
พื้นที่ติดกับพื้นที่ทำงาน	1/3 ของพื้นที่ใช้งาน	1/5 ของพื้นที่ใช้งาน
พื้นที่รอบข้าง	1/5 ของพื้นที่ใช้งาน	1/10 ของพื้นที่ใช้งาน

เมื่อแทนค่าลงในสมการ จะได้

$$\frac{1}{5} \times 300 = \frac{F}{16}$$

$$F = 960 \quad \text{ลูเมน}$$

จากค่าความส่องสว่างของหลอดไฟ LED ขนาด 5 วัตต์ มีค่าเท่ากับ 400 ลูเมน ดังนั้นจำนวนหลอดไฟสำหรับห้องนอนขนาด กว้าง 4 เมตร ยาว 4 เมตร จึงมีจำนวนเท่ากับ

$$\text{จำนวนหลอดไฟ} = \frac{960}{400}$$

$$= 2.4$$

ดังนั้นจำนวนหลอดไฟสำหรับห้องนอน ≈ 3 หลอด

2. ห้องนั่งเล่น

เป็นห้องที่มีขนาดกว้าง 6 เมตร ยาว 4 เมตร หรือเท่ากับ 24 ตารางเมตร และจากมาตรฐานความสมดุลระหว่างความส่องสว่างของห้องนั่งเล่นเท่ากับ 300 Lux และข้างเคียงต้องเป็น 1/5 ของพื้นที่ใช้งาน ตามตารางที่ ก.1 และ ก.2 แทนค่าลงในสมการ จะได้

$$\frac{1}{5} \times 300 = \frac{F}{24}$$

$$F = 1440 \quad \text{ลูเมน}$$

$$\text{ดังนั้นจำนวนหลอดไฟสำหรับห้องนั่งเล่น} = \frac{1,440}{400} = 3.6 \approx 4 \quad \text{หลอด}$$

3. ห้องครัว

เป็นห้องที่มีขนาดกว้าง 4 เมตร ยาว 4 เมตร หรือเท่ากับ 16 ตารางเมตร และจากมาตรฐานความสมดุลระหว่างความส่องสว่างของห้องครัวเท่ากับ 500 Lux และข้างเคียงต้องเป็น 1/5 ของพื้นที่ใช้งาน ตามตารางที่ ก.1 และ ก.2 แทนค่าลงในสมการ จะได้

$$\frac{1}{5} \times 500 = \frac{F}{16}$$

$$F = 1600 \quad \text{ลูเมน}$$

$$\text{ดังนั้นจำนวนหลอดไฟสำหรับห้องครัว} = \frac{1,600}{400} = 4 \quad \text{หลอด}$$

4. ห้องน้ำ

เป็นห้องที่มีขนาดกว้าง 3 เมตร ยาว 3 เมตร หรือเท่ากับ 9 ตารางเมตร และจากมาตรฐานความสมดุลระหว่างความส่องสว่างของห้องน้ำเท่ากับ 500 Lux และข้างเคียงต้องเป็น 1/5 ของพื้นที่ใช้งาน ตามตารางที่ ก.1 และ ก.2 แทนค่าลงในสมการ จะได้

$$\frac{1}{5} \times 500 = \frac{F}{9}$$

$$F = 900 \text{ ลูเมน}$$

ดังนั้นจำนวนหลอดไฟสำหรับห้องน้ำ $= \frac{900}{400} = 2.25 \approx 3$ หลอด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ ก.4 เบอร์ของขดลวด

Wire Number (Gauge)	Standard Wire Gauge (SWG)			American Wire Gauge (AWG)	
gauge	in.	Equivalent in mm	Area in mm ²	In.	Equivalent in mm
0000000 (7/0)	0.5000	12.700	-	-	-
000000 (6/0)	0.4640	11.786	-	0.580000	14.7320
00000 (5/0)	0.4320	10.973	-	0.516500	13.1191
0000 (4/0)	0.4000	10.160	-	0.460000	11.6840
000 (3/0)	0.3720	9.449	-	0.409642	10.4049
00 (2/0)	0.3480	8.839	-	0.364796	9.2658
0 (1/0)	0.3240	8.230	54,186	0.324861	8.2515
1	0.3000	7.620	46,451	0.289297	7.3481
2	0.2760	7.010	39,847	0.257627	6.5437
3	0.2520	6.401	32,768	0.229423	5.8273
4	0.2320	5.893	27,753	0.2043	5.1892
5	0.2120	5.385	23,155	0.1819	4.6203
6	0.1920	4.877	18,215	0.1620	4.1148
7	0.1760	4.470	15,913	0.1443	3.6652
8	0.1600	4.064	13,026	0.1285	3.2639
9	0.1440	3.658	10,716	0.1144	2.9058
11	0.1160	2.946	6,914	0.0907	2.3038
12	0.1040	2.642	5,548	0.0808	2.0523
13	0.0920	2.337	4,305	0.0720	1.8288
14	0.0800	2.032	3,296	0.0641	1.6281
15	0.0720	1.829	2,673	0.0571	1.4503
16	0.0640	1.626	2,112	0.0508	1.2903
17	0.0560	1.422	1,617	0.0453	1.1506
18	0.0480	1.219	1,188	0.0403	1.0236

ตารางที่ ก.4 เบอร์ของขดลวด (ต่อ)

Wire Number (Gauge)	Standard Wire Gauge (SWG)			American Wire Gauge (AWG)	
gauge	in.	Equivalent in mm	Area in mm ²	In.	Equivalent in mm
19	0.0400	1.016	0.83	0.0359	0.9119
20	0.0360	0.914	0.67	0.0320	0.8128
21	0.0320	0.813	0.53	0.0285	0.7239
22	0.0280	0.711	0.40	0.0253	0.6426
23	0.0240	0.610	0.30	0.0226	0.5740
24	0.0220	0.599	0.25	0.0201	0.5105
25	0.0200	0.508	0.21	0.0179	0.4547
26	0.0180	0.457	0.17	0.0159	0.4039
27	0.0164	0.417	0.13	0.0142	0.3607
28	0.0148	0.376	0.11	0.0126	0.3200
29	0.0136	0.345	0.10	0.0113	0.2870
30	0.0124	0.315	0.07	0.0100	0.2540
31	0.0116	0.295	0.06	0.0089	0.2261
32	0.0108	0.274	0.05	0.0080	0.2032
33	0.0100	0.254	0.04	0.0071	0.1803
34	0.0092	0.234	0.03	0.0063	0.1600
35	0.0084	0.213	0.03	0.0056	0.1422
36	0.0076	0.193	0.02	0.0050	0.1270
37	0.0068	0.173	0.02	0.0045	0.1143
38	0.0060	0.152	0.02	0.0040	0.1016
39	0.0052	0.132	0.01	0.0035	0.0889
40	0.0048	0.122	0.00	0.0031	0.0787

(โดยอ้างอิงจาก SWG/AWG Wire Gauge Chart, ISO Metric Preferred Size Chart)

กังหันลมผลิตไฟฟ้า WIND TURBINE GENERATOR

www.engineer.co.th

MODEL	FD2.1-200	AEOLUS300	FD2.7-500	FD3.0-1000	FD3.6-2000	FD5.0-3000	FD6.4-5000	FD8.0-10000	FD12.0-20000
กำลังผลิตไฟฟ้า (วัตต์) Rated power (W)	200W	300W	500W	1000W	2000W	3000W	5000W	10000W	20000W
แรงดันไฟฟ้า Rated voltage (V)	12V or 24V	12V or 24V	24V	48V	120V	240V	240V	240V	360V
ระยะความสูงใบพัด (เมตร) Rotor diameter (M)	2.2	1.5	2.5	2.7	3.2	4.5	6.4	8.0	10.0
ความเร็วลมเริ่มต้น (เมตร/วินาที) Start up wind speed (m/s)	3	2.5	2	2	2	2	2	2	2
ความเร็วลมผลิตไฟฟ้า (เมตร/วินาที) Rated wind speed (m/s)	6	12	8	9	9	10	10	10	12
ความเร็วลมเบรก (เมตร/วินาที) Security wind speed (m/s)	16	35	16	16	16	25	25	25 (L), 45 (H)	45
ความเร็วรอบ (รอบ/นาที) Rated rotating rate (rpm)	450	450	400	400	400	220	200	180	90
ใบพัด Blade	3-Fiber glass	3-Carbon fiber	3-Fiber glass	3-Fiber glass	3-Fiber glass	3-Fiber glass	3-Fiber glass	3-Fiber glass	3-Fiber glass
การควบคุมทิศทาง Yaw mode	หางเสือ	หางเสือ	หางเสือ	หางเสือ	หางเสือ	หางเสือ	หางเสือ	หางเสือ	หางเสือ
เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า Generator	Permanent Magnet	Permanent Magnet	Permanent Magnet	Permanent Magnet	Permanent Magnet	Permanent Magnet	Permanent Magnet	Permanent Magnet	Permanent Magnet
วัสดุห่อหุ้มเครื่องผลิตไฟฟ้า Shell material	ไนลอน	ไนลอน	อลูมิเนียมอัลลอยด์	อลูมิเนียมอัลลอยด์	อลูมิเนียมอัลลอยด์	อลูมิเนียมอัลลอยด์	อลูมิเนียมอัลลอยด์	อลูมิเนียมอัลลอยด์	อลูมิเนียมอัลลอยด์
แบตเตอรี่แนะนำ Suggested battery	12V100AHx1/2	12V125AHx1/2	12V125AHx4	12V200AHx4	12V200AHx10	12V200AHx20	12V300AHx20	12V400AHx20	12V600AHx30

ลักษณะการใช้งานกังหันลมผลิตไฟฟ้า คือการใช้ประโยชน์จากกระแสลมที่อยู่บนความถี่ของกังหันลม (Wind Turbine) ซึ่งเป็นเครื่องจักรกลที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ (Generator) ผ่านเครื่องควบคุมประจุ (Charge Controller) เพื่อแปลงกระแสไฟฟ้าจากกังหันลมเป็นกระแสไฟฟ้า (Battery) และเมื่อใช้กังหันลมผลิตไฟฟ้าแล้วสามารถเชื่อมต่อกับระบบสายส่ง On-grid power ได้ในแบบที่เชื่อถือได้

โรงงาน : 76/2 ถนนสายมิตรภาพ ตำบลหนองเต็ง (ซอยบ้านบางโพธิ์) อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์
 Showroom : 76/2 Charnok Rd., Bhirom, Muang, Changanul 50300 Thailand
 สำนักงาน : 199/288 หมู่ 9 ตำบลเตาปูน อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ 50300 Thailand
 Office : 199/288 Moo 9, Suphase, Muang, Changanul 50300 Thailand
 E-mail : engineer@engineer.co.th P-Box : 50300672
 Fax : (+66) 053-222570 E-mail : engineer@engineer.co.th

รูปที่ ก.2 แผนผังกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่มีอยู่ในปัจจุบัน



ภาคผนวก ข

การคำนวณการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ข

การคำนวณ

การคำนวณการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

แม่เหล็กเฟอร์ไรท์ เกรด Y35

เมื่อ B_r คือ ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น Tesla, [T]

ในกรณีที่ 2 $B_r = 0.43 \text{ T}$

H คือ ความเข้มสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น [kA/m]

ในกรณีที่ 2 $H = 215 \text{ kA/m}$

$$\phi = \frac{2H\ell\mu_o B_r}{B_r g + 2\ell\mu_o H} \cdot A$$

$$\phi = \frac{2 \times 215 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-3} \times 4\pi \times 10^{-7} \times 0.43}{(0.43 \times 20 \times 10^{-3}) + (2 \times 10 \times 10^{-3} \times 4\pi \times 10^{-7} \times 215 \times 10^3)} \cdot (40 \times 10^{-3} \times 25 \times 10^{-3})$$

$$= 1.66 \times 10^{-4}$$

Wb

แทนค่าตัวแปร จะได้

$$N_{ph} = \frac{5.66}{4.44 \times 16.98 \times 1.66 \times 10^{-4}} = 452.26 \quad \text{รอบต่อเฟส}$$

หาจำนวนรอบของขดลวดต่อขด

$$n = \frac{N_{ph}}{(n_{coil} / m)} = \frac{452.26}{(18 / 3)} = 75.37 \quad \text{รอบต่อขด}$$

การคำนวณหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและขนาดขดลวดทองแดง

$$\text{จาก} \quad P_{rated} = \sqrt{3} E_{AC(rated)} I_{rated} = 3 E_{phas(rated)} I_{rated}$$

- หากำลังที่พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ความเร็วลม 9 เมตรต่อวินาที)

$$P_{rated} = C_p \frac{1}{2} \rho A V_{rated}^3 = 0.30 \times \frac{1}{2} \times 1.225 \times 5.726 \times 9^3 = 767.02 \quad \text{W}$$

- หาแรงดันไฟฟ้าที่พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$E_{phas(rated)} = 4.44 f \phi N_{ph} = 4.44 \times 50 \times 1.66 \times 10^{-4} \times (452.26) = 16.67 \quad \text{V}$$

จะได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เป็นดังนี้

$$I_{rated} = \frac{P_{rated}}{3 E_{phas(rated)}} = \frac{767.03}{3 \times 16.67} = 15.34 \quad \text{A}$$

และหาขนาดของขดลวดทองแดงจาก

$$J = \frac{I_{rated}}{A_{wire}}$$

หาพื้นที่หน้าตัดของขดลวดทองแดง โดยกำหนดให้การออกแบบขนาดขดลวดมีค่า J คือ ความหนาแน่นของกระแส มีค่าเท่ากับ 4 A/mm^2 (Yicheng Chen, 2004)

A_{wire} คือพื้นที่หน้าตัดของขดลวดทองแดง

$$A_{rated} = \frac{I_{rated}}{J} = \frac{15.34}{4} = 3.835 \quad \text{mm}^2$$

จากตารางเปรียบเทียบขนาดขดลวดทองแดงในภาคผนวก จะเลือกใช้ขดลวดทองแดงเบอร์ SWG13 โดยมีพื้นที่หน้าตัด 4.305 mm^2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.336 mm ซึ่งถือว่ามีความใหญ่เกินไป ทำให้ยากต่อการพันขดลวด ดังนั้นจึงพิจารณาว่าการพันขดลวดแบบคู่ขนานสองเส้น คือจำนวนคู่ขนานกันของตัวนำที่ต่ออนุกรมกันในหนึ่ง เท่ากับ 2 เพื่อลดขนาดของขดลวด และให้เพียงพอต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าโดยที่ยังมีค่า

$$\frac{A_{rated}}{2} = \frac{3.835}{2} = 1.917 \quad \text{mm}^2$$

จากตารางเปรียบเทียบขนาดขดลวดทองแดงในภาคผนวก ข ได้เลือกใช้ขดลวดทองแดงเบอร์ SWG16 โดยมีพื้นที่หน้าตัด 2.112 mm^2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.625 mm และคำนวณหาจำนวนรอบจากการพันขดลวดแบบคู่ขนานสองเส้น และแรงดันตกคร่อมในขดลวดทองแดง ได้ ดังนี้

$$N_{ph} = \frac{2 \times 5.66}{4.44 \times 16.98 \times 1.66 \times 10^{-4}} = 904.52 \quad \text{รอบ}$$

$$n = \frac{N_{ph}}{(n_{coil} / m)} = \frac{904.52}{(18 / 3)} = 150.75 \quad \text{รอบต่อขด}$$

จาก n เท่ากับ 151 รอบต่อขด

กำหนดขดลวดทองแดงหนาไม่เกิน 10 mm หาจำนวนชั้นด้านหน้าของขดลวดเป็น $\frac{10}{1.625} = 6.15 \approx 6$ ชั้น ดังนั้นความหนาของขดลวดเป็น $6 \times 1.625 = 9.75 \text{ mm}$ จะได้จำนวนชั้นด้าน

กว้างของขดลวดทองแดง (n_{Layer}) เท่ากับ $\frac{151}{6} = 25.17 \approx 26$ ชั้น จำนวนรอบของขดลวดทั้งหมด

(n_{total}) เท่ากับ $6 \times 5 = 30$ รอบต่อขดหาความกว้างของขดลวด (x) ได้ดังนี้

$$x = [2r + (\sqrt{3}r(n_{Layer} - 1))] \quad \text{mm}$$

เมื่อ r คือ รัศมีของขดลวดทองแดง (mm)

n_{Layer} คือ จำนวนชั้นด้านกว้างของขดลวดทองแดง

x คือ ความกว้างของขดลวดทองแดง (mm)

จากสมการที่ 3 จะได้ความกว้างของขดลวดเท่ากับ

$$x = [2 \times (\frac{1.625}{2}) + (\sqrt{3} \times (\frac{1.625}{2}) \times (26 - 1))] = 36.81 \text{ mm}$$

สำหรับความยาวต่อขดลวดคำนวณได้จากสมการ

$$LMT = 2(a + x) + (b + x) + (c + x) \quad \text{mm}$$

การวางขดลวดบนสเตเตอร์ และการวางแม่เหล็กบนโรเตอร์ แบบ 1 ชั้น

- หาขนาดรัศมีด้านในของโรเตอร์

$$r_{in,rotor} = \frac{\left(\frac{w}{2}\right) + 1}{\tan\left(\frac{\theta_{rotor}}{2}\right)}$$

จากสมการที่ 5 ขนาดรัศมีด้านในของโรเตอร์จะเท่ากับการวางขดลวดบนสเตเตอร์ และการวางแม่เหล็กบนโรเตอร์ แบบ 1 ชั้น

- หาขนาดรัศมีด้านในของโรเตอร์

$$r_{in,rotor} = \frac{\left(\frac{w}{2}\right) + 1}{\tan\left(\frac{\theta_{rotor}}{2}\right)}$$

$$r_{in,rotor} = \frac{\left(\frac{25}{2}\right) + 1}{\tan\left(\frac{15}{2}\right)} = 102.54 \quad \text{mm}$$

หาระยะ C ของขดลวดสเตเตอร์

$$r_{in,rotor} = r_{c,stator} = \frac{\left(\frac{c}{2}\right) + x + 0.4}{\tan\left(\frac{\theta_{stator}}{2}\right)}$$

$$102.54 = \frac{\left(\frac{c}{2}\right) + 36.81 + 0.4}{\tan\left(\frac{20}{2}\right)}$$

$$C = -38.26 \quad \text{mm}$$

เนื่องจาก C มีค่าติดลบ แสดงว่าเกิดการทับซ้อนกันของขดลวด จึงต้องกลับไปพิจารณาที่ $r_{in,rotor}$ ใหม่โดยกำหนดให้ค่า $C = 5 \text{ mm}$ แทนระยะเพื่อ จะได้

$$r_{in,rotor} = r_{c,stator} = \frac{\frac{5}{2} + 36.81 + 0.4}{\tan(\frac{20}{2})}$$

$$r_{in,rotor} = r_{c,stator} = 225.21 \quad \text{mm}$$

หาระยะ b ของขดลวดสเตเตอร์ โดย a เท่ากับความยาวขั้วแม่เหล็ก 40 mm

$$\sin(\frac{\theta_{stator}}{2}) = \frac{Y}{a}$$

$$\sin(\frac{20}{2}) = \frac{Y}{40}$$

$$Y = 6.95 \quad \text{mm}$$

ดังนั้น $b = C + 2Y = 5 + 2(6.95) = 18.9 \text{ mm}$

หารัศมีนอกสุด ($r_{out,stator}$) และในสุดของสเตเตอร์ ($r_{in,stator}$) ได้

$$r_{out,stator} = 225.21 + 40 + 36.81 = 302.02 \quad \text{mm}$$

$$r_{in,stator} = 225.21 - 36.81 = 188.4 \quad \text{mm}$$

การออกแบบสเตเตอร์ 2 ชั้น

$$\phi = \frac{3H\ell\mu_o B_r}{2B_r g + 3\ell\mu_o H} \cdot A$$

$$\phi = \frac{3 \times 215 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-3} \times 4\pi \times 10^{-7} \times 0.43}{(2 \times 0.43 \times 20 \times 10^{-3}) + (3 \times 10 \times 10^{-3} \times 4\pi \times 10^{-7} \times 215 \times 10^3)} \cdot (40 \times 10^{-3} \times 25 \times 10^{-3})$$

$$= 1.38 \times 10^{-4} \quad \text{Wb}$$

แทนค่าตัวแปร จะได้

$$N_{ph} = \frac{5.66}{4.44 \times 16.98 \times 1.38 \times 10^{-4}} = 544.02 \quad \text{รอบต่อเฟส}$$

หาจำนวนรอบของขดลวดต่อขด

$$n = \frac{N_{ph}}{2(n_{coil} / m)} = \frac{544.02}{2 \times (18 / 3)} = 45.34 \quad \text{รอบต่อขด}$$

การคำนวณหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและขนาดขดลวดทองแดง

จาก $P_{rated} = \sqrt{3} E_{AC(rated)} I_{rated} = 3 E_{phas(rated)} I_{rated}$

- หากำลังที่พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ความเร็วลม 9 เมตรต่อวินาที)

$$P_{rated} = C_p \frac{1}{2} \rho A V_{rated}^3 = 0.30 \times \frac{1}{2} \times 1.225 \times 5.726 \times 9^3 = 767.02 \quad \text{W}$$

- หาแรงดันไฟฟ้าที่พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$E_{phas(rated)} = 4.44 f \phi N_{ph} = 4.44 \times 50 \times 1.38 \times 10^{-4} \times (544.02) = 16.67 \quad \text{V}$$

จะได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากสมการ (4.16) เป็นดังนี้

$$I_{rated} = \frac{P_{rated}}{3 E_{phas(rated)}} = \frac{767.03}{3 \times 16.67} = 15.34 \quad \text{A}$$

และหาขนาดของขดลวดทองแดงจาก

$$J = \frac{I_{rated}}{A_{wire}}$$

หาพื้นที่หน้าตัดของขดลวดทองแดง โดยกำหนดให้การออกแบบขนาดขดลวดมีค่า J คือ ความหนาแน่นของกระแส มีค่าเท่ากับ 4 A/mm² (Yicheng Chen, 2004)

A_{wire} คือพื้นที่หน้าตัดของขดลวดทองแดง หาได้จาก

$$A_{rated} = \frac{I_{rated}}{J} = \frac{15.34}{4} = 3.835 \quad \text{mm}^2$$

$$\frac{A_{rated}}{2} = \frac{3.835}{2} = 1.917 \quad \text{mm}^2$$

จากตารางเปรียบเทียบขนาดขดลวดทองแดงในภาคผนวก ข ได้เลือกใช้ขดลวดทองแดงเบอร์ SWG16 โดยมีพื้นที่หน้าตัด 2.112 mm^2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.625 mm และคำนวณหาจำนวนรอบจากการพันขดลวดแบบคู่ขนานสองเส้น และแรงดันตกคร่อมในขดลวดทองแดง ได้ ดังนี้

$$N_{ph} = \frac{2 \times 5.66}{4.44 \times 16.98 \times 1.38 \times 10^{-4}} = 1088.04 \quad \text{รอบ}$$

$$n = \frac{N_{ph}}{2(n_{coil} / m)} = \frac{1088.04}{2 \times (18 / 3)} = 90.67 \quad \text{รอบต่อขด}$$

จาก n เท่ากับ 151 รอบต่อขด

กำหนดขดลวดทองแดงหนาไม่เกิน 10 mm หาจำนวนชั้นด้านหน้าของขดลวดเป็น $\frac{10}{1.625} = 6.15 \approx 6$ ชั้น ดังนั้นความหนาของขดลวดเป็น $6 \times 1.625 = 9.75 \text{ mm}$ จะได้จำนวนชั้นด้านกว้างของขดลวดทองแดง (n_{Layer}) เท่ากับ $\frac{90.67}{6} = 15.11 \approx 16$ ชั้น จำนวนรอบของขดลวดทั้งหมด (n_{total}) เท่ากับ $6 \times 16 = 96$ รอบต่อขดหาความกว้างของขดลวด (x) ได้ดังนี้

$$x = [2r + (\sqrt{3}r(n_{Layer} - 1))] \quad \text{mm}$$

เมื่อ r คือ รัศมีของขดลวดทองแดง (mm)

n_{Layer} คือ จำนวนชั้นด้านกว้างของขดลวดทองแดง

x คือ ความกว้างของขดลวดทองแดง (mm)

จากสมการจะได้ความกว้างของขดลวดเท่ากับ

$$x = [2 \times (\frac{1.625}{2}) + (\sqrt{3} \times (\frac{1.625}{2}) \times (16 - 1))] = 22.73 \quad \text{mm}$$

สำหรับความยาวต่อขดลวดคำนวณได้จากสมการ

$$LMT = 2(a + x) + (b + x) + (c + x) \quad \text{mm}$$

$$r_{in, rotor} = \frac{\frac{w}{2} + 1}{\tan(\frac{\theta_{rotor}}{2})}$$

$$r_{in,rotor} = \frac{\frac{25}{2} + 1}{\tan(\frac{15^\circ}{2})} = 102.54 \quad \text{mm}$$

หาระยะ C ของขดลวดสเตเตอร์

$$r_{in,rotor} = r_{c,stator} = \frac{(\frac{c}{2}) + x + 0.4}{\tan(\frac{\theta_{stator}}{2})}$$

$$102.54 = \frac{\frac{c}{2} + 22.73 + 0.4}{\tan(\frac{20^\circ}{2})}$$

$$C = -10.10 \quad \text{mm}$$

เนื่องจาก C มีค่าติดลบ แสดงว่าเกิดการทับซ้อนกันของขดลวด จึงต้องกลับไปพิจารณาที่ $r_{in,rotor}$ ใหม่โดยกำหนดให้นำค่า $C = 5 \text{ mm}$ แทนระยะเพื่อ จะได้

$$r_{in,rotor} = r_{c,stator} = \frac{\frac{5}{2} + 22.73 + 0.4}{\tan(\frac{20^\circ}{2})}$$

$$r_{in,rotor} = r_{c,stator} = 145.35 \quad \text{mm}$$

หาระยะ b ของขดลวดสเตเตอร์ โดย a เท่ากับความยาวขั้วแม่เหล็ก 40 mm

$$\sin(\frac{\theta_{stator}}{2}) = \frac{Y}{a}$$

$$\sin(\frac{20^\circ}{2}) = \frac{Y}{40}$$

$$Y = 6.95 \quad \text{mm}$$

ดังนั้น $b = C + 2Y = 5 + 2(6.95) = 18.9 \text{ mm}$

หารัศมีนอกสุด ($r_{out, stator}$) และในสุดของสเตเตอร์ ($r_{in, stator}$) ได้

$$r_{out, stator} = 145.35 + 40 + 22.73 = 208.08 \text{ mm}$$

$$r_{in, stator} = 145.35 - 22.73 = 122.62 \text{ mm}$$

การออกแบบสเตเตอร์ 3 ชั้น

$$\phi = \frac{4H\ell\mu_o B_r}{3B_r g + 4\ell\mu_o H} \cdot A$$

$$\phi = \frac{4 \times 215 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-3} \times 4\pi \times 10^{-7} \times 0.43}{(3 \times 0.43 \times 20 \times 10^{-3}) + (4 \times 10 \times 10^{-3} \times 4\pi \times 10^{-7} \times 215 \times 10^3)} \cdot (40 \times 10^{-3} \times 25 \times 10^{-3})$$

$$= 1.27 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

แทนค่าตัวแปรในสมการ (4.15) จะได้

$$N_{ph} = \frac{5.66}{4.44 \times 16.98 \times 1.27 \times 10^{-4}} = 591.14 \text{ รอบต่อเฟส}$$

หาจำนวนรอบของขดลวดต่อขด

$$n = \frac{N_{ph}}{3(n_{coil} / m)} = \frac{591.14}{3 \times (18 / 3)} = 32.84 \text{ รอบต่อขด}$$

การคำนวณหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและขนาดขดลวดทองแดง

จาก $P_{rated} = \sqrt{3}E_{AC(rated)}I_{rated} = 3E_{phas(rated)}I_{rated}$

- หากำลังที่พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า(ความเร็วลม 9 เมตรต่อวินาที)

$$P_{rated} = C_p \frac{1}{2} \rho A V_{rated}^3 = 0.30 \times \frac{1}{2} \times 1.225 \times 5.726 \times 9^3 = 767.02 \text{ W}$$

- หาแรงดันไฟฟ้าที่พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$E_{phas(rated)} = 4.44 f \phi N_{ph} = 4.44 \times 50 \times 1.27 \times 10^{-4} \times (591.14) = 16.67 \text{ V}$$

จะได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เป็นดังนี้

$$I_{rated} = \frac{P_{rated}}{3E_{phase(rated)}} = \frac{767.03}{3 \times 16.67} = 15.34 \quad A$$

และหาขนาดของขดลวดทองแดงจาก

$$J = \frac{I_{rated}}{A_{wire}}$$

หาพื้นที่หน้าตัดของขดลวดทองแดงจากสมการที่ 4.26 โดยกำหนดให้การออกแบบขนาดขดลวดมีค่า J คือความหนาแน่นของกระแส มีค่าเท่ากับ 4 A/mm^2 (Yicheng Chen, 2004)

$$A_{rated} = \frac{I_{rated}}{J} = \frac{15.34}{4} = 3.835 \quad \text{mm}^2$$

$$\frac{A_{rated}}{2} = \frac{3.835}{2} = 1.917 \quad \text{mm}^2$$

จากตารางเปรียบเทียบขนาดขดลวดทองแดงในภาคผนวก ข ได้เลือกใช้ขดลวดทองแดงเบอร์ SWG16 โดยมีพื้นที่หน้าตัด 2.112 mm^2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.625 mm และคำนวณหาจำนวนรอบจากการพันขดลวดแบบคู่ขนานสองเส้น และแรงดันตกคร่อมในขดลวดทองแดง ได้ ดังนี้

$$N_{ph} = \frac{2 \times 5.66}{4.44 \times 16.98 \times 1.27 \times 10^{-4}} = 1182.28 \quad \text{รอบ}$$

$$n = \frac{N_{ph}}{3(n_{coil} / m)} = \frac{1182.28}{3 \times (18 / 3)} = 65.68 \quad \text{รอบต่อขด}$$

จาก n เท่ากับ 65.68 รอบต่อขด

กำหนดขดลวดทองแดงหนาไม่เกิน 10 mm หาจำนวนชั้นด้านหน้าของขดลวดเป็น $\frac{10}{1.625} = 6.15 \approx 6$ ชั้น ดังนั้นความหนาของขดลวดเป็น $6 \times 1.625 = 9.75 \text{ mm}$ จะได้จำนวนชั้นด้านกว้างของขดลวดทองแดง (n_{Layer}) เท่ากับ $\frac{65.68}{6} = 10.95 \approx 11$ ชั้น จำนวนรอบของขดลวดทั้งหมด (n_{total}) เท่ากับ $6 \times 11 = 66$ รอบต่อขดหาความกว้างของขดลวด (x) ได้ดังนี้

$$x = [2r + (\sqrt{3}r(n_{Layer} - 1))]$$

- เมื่อ r คือ รัศมีของขดลวดทองแดง (mm)
 n_{Layer} คือ จำนวนชั้นด้านกว้างของขดลวดทองแดง
 x คือ ความกว้างของขดลวดทองแดง (mm)

จากสมการ จะได้ความกว้างของขดลวดเท่ากับ

$$x = [2 \times (\frac{1.625}{2}) + (\sqrt{3} \times (\frac{1.625}{2}) \times (11 - 1))] = 15.70 \text{ mm}$$

สำหรับความยาวต่อขดลวดคำนวณได้จากสมการ

$$LMT = 2(a + x) + (b + x) + (c + x)$$

$$r_{in,rotor} = \frac{\frac{w}{2} + 1}{\tan(\frac{\theta_{rotor}}{2})}$$

$$r_{in,rotor} = \frac{\frac{25}{2} + 1}{\tan(\frac{15^\circ}{2})} = 102.54 \text{ mm}$$

หาระยะ C ของขดลวดสเตเตอร์

$$r_{in,rotor} = r_{c,stator} = \frac{(\frac{c}{2}) + x + 0.4}{\tan(\frac{\theta_{stator}}{2})}$$

$$102.54 = \frac{\frac{c}{2} + 15.70 + 0.4}{\tan(\frac{20^\circ}{2})}$$

$$C = 3.96 \text{ mm}$$

หารัศมีนอกสุด ($r_{out,stator}$) และในสุดของสเตเตอร์ ($r_{in,stator}$) ได้

$$r_{out, stator} = 102.54 + 40 + 15.70 = 158.24 \quad \text{mm}$$

$$r_{in, stator} = 102.54 - 15.7 = 86.84 \quad \text{mm}$$

จากทฤษฎีการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กถาวรด้วยแรงภายนอก (Applying force) ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากำเนิด (Generated EMF) และเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำเชื่อมกับวงจรภายนอกจึงทำให้เกิดแรงแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic force) ขึ้น โดยมีทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กถาวร แรงแม่เหล็กไฟฟ้านี้เรียกว่า แรงหน่วง (Retarding force) และทำให้เกิดเป็นแรงบิดหน่วง (Retarding torque) ขึ้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีขนาดเป็นไปตามสมการ

$$T_{Retard} = F_{Retard} \cdot r \quad \text{N.m}$$

เมื่อมีแรงภายนอก (F_{App}) มากระทำโรเตอร์ในทิศทางหนึ่ง จะเกิดแรงหน่วง (F_{Retard}) ด้านการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ โดยจะมีสถานะเสถียรเกิดขึ้นเมื่อแรงหน่วงมีค่าเท่ากับแรงภายนอก ส่งผลให้ผลรวมของแรงที่กระทำต่อขดลวดมีค่าเป็นศูนย์ คือ $F_{Retard} = F_{App}$

จากสมการ จะเห็นว่าค่าของแรงบิดหน่วงจะขึ้นอยู่กับแรงหน่วง (F_{Retard}) และ รัศมีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (r) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะลดแรงบิดหน่วง (T_{Retard}) โดยวิธีการลดขนาดรัศมีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (r) ซึ่งการลดแรงบิดหน่วง (T_{Retard}) ที่รอบการหมุนเท่าเดิมจะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าใช้กำลังในการหมุนน้อยลง ส่งผลให้กำลังจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากขึ้นสำหรับรอบการหมุนต่ำ ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบต่อตรง AFPM สามารถออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กลงได้ โดยการกำหนดให้สเตเตอร์มีหลายชั้น แต่การดำเนินการดังกล่าวจะส่งผลให้ขนาดความยาวของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วยดังนั้นในการเปรียบเทียบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจึงได้ใช้ค่าความหนาแน่นของกำลัง (Power Density) มาใช้ในการเปรียบเทียบแต่ค่าความหนาแน่นของกำลังนี้จะขึ้นอยู่กับรอบการหมุน พิจารณาภายใต้เงื่อนไขเดียวกันทั้งหมด (พื้นที่, ความเร็วลม, ภาระทางไฟฟ้า ฯลฯ) ดังนั้นจึงส่งผลให้รอบการหมุนรวมถึงแรงบิดที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละกรณีมีขนาดเท่ากัน ซึ่งความหนาแน่นของแรงบิดหาได้จากสมการ

$$T_d = \frac{T}{(\pi(r_{out, stator})^2)L_a} \quad \text{N.m/m}^2$$

- เมื่อ T คือ แรงบิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ($N.m$)
 T_d คือ ความหนาแน่นแรงบิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ($N.m/m^2$)
 $r_{out, startor}$ คือ รัศมีนอกสุดของสเตเตอร์ (m)
 L_a คือ ความยาวทั้งหมดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากการคำนวณการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะได้ขนาดของ $r_{out, startor}$ และค่าเปรียบเทียบความหนาแน่นแรงบิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละกรณีดังแสดงในตารางที่ ข.1 และตารางที่ ข.2 ตามลำดับ

ตารางที่ ข.1 แสดงขนาดจากการคำนวณหารัศมีในสุดและนอกสุดของสเตเตอร์

จำนวนชั้น	แม่เหล็กความแรงสูง	แม่เหล็กเฟอร์ไรท์	L_a (mm)
	$r_{out, startor}$ (mm)	$r_{out, startor}$ (mm)	
1	154.02	302.02	40
2	N/A	208.08	70
3	N/A	158.24	100

ตารางที่ ข.2 ค่าเปรียบเทียบความหนาแน่นแรงบิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบทั้งชนิดแม่เหล็ก และจำนวนชั้น

ชนิดแม่เหล็ก	จำนวนชั้น	ความแรงสูง	เฟอร์ไรท์		
		1	1	2	3
ความแรงสูง	1		284.52%	219.41%	163.89%
เฟอร์ไรท์	1	-73.99%		-16.93%	-31.37%
	2	-68.69%	20.39%		-17.38%
	3	-62.11%	45.71%	21.04%	

จากตารางที่ ข.2 เมื่อนำค่าความหนาแน่นแรงบิดในแต่ละกรณีมาเปรียบเทียบกับพบว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในกรณีใช้แม่เหล็กถาวรความแรงสูงมีความหนาแน่นของแรงบิด (T_d) มากกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในกรณีใช้แม่เหล็กถาวรเฟอร์ไรต์ในทุกกรณี เนื่องจากแม่เหล็กความแรงสูงมีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กมากกว่าแม่เหล็กเฟอร์ไรต์ จึงทำให้ใช้ลวดทองแดงน้อยกว่า ส่งผลให้มีขนาดรัศมีนอกสุดของสเตเตอร์น้อยกว่า โดยมีความหนาแน่นของแรงบิดมากกว่ากรณีใช้แม่เหล็กถาวรเฟอร์ไรต์แบบสเตเตอร์ 1 ชั้น 284.52% กรณีใช้แม่เหล็กถาวรเฟอร์ไรต์แบบสเตเตอร์ 2 ชั้น 219.41% และกรณีใช้แม่เหล็กถาวรเฟอร์ไรต์แบบสเตเตอร์ 3 ชั้น 163.89% แต่เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละกรณีมีต้นทุนที่ต่างกัน ดังนั้นจึงได้นำต้นทุนมาเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ดังแสดงในตาราง ที่ ข.3

ตารางที่ ข.3 ค่าเปรียบเทียบต้นทุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบทั้งชนิดแม่เหล็ก และ จำนวนชั้น

ชนิดแม่เหล็ก	จำนวนชั้น	ความแรงสูง	เฟอร์ไรต์		
		1	1	2	3
ความแรงสูง	1		79.57%	55.86%	37.06%
เฟอร์ไรต์	1	-44.31%		-13.20%	-23.67%
	2	-35.84%	15.21%		-12.06%
	3	-27.04%	31.02%	13.72%	

จากตารางที่ ข.3 ในกรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้แม่เหล็กถาวรเฟอร์ไรต์ มีราคาถูกกว่ากรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้แม่เหล็กถาวรความแรงสูง เนื่องจากแม่เหล็กความแรงสูงมีราคาแพงกว่าแม่เหล็กเฟอร์ไรต์ 3 เท่า แม้ว่ากรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้แม่เหล็กถาวรความแรงสูงจะใช้ลวดทองแดงน้อยกว่าแต่ราคาต้นทุนรวมก็ยังแพงกว่ากรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้แม่เหล็กถาวรเฟอร์ไรต์ โดยมีราคาต้นทุนมากกว่ากรณีใช้แม่เหล็กถาวรเฟอร์ไรต์แบบสเตเตอร์ 1 ชั้น 79.57% กรณีใช้แม่เหล็กถาวรเฟอร์ไรต์แบบสเตเตอร์ 2 ชั้น 55.86% และกรณีใช้แม่เหล็กถาวรเฟอร์ไรต์แบบสเตเตอร์ 3 ชั้น 37.06% แต่การเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีราคาต่ำสุดยังไม่ครอบคลุม ดังนั้นเพื่อให้

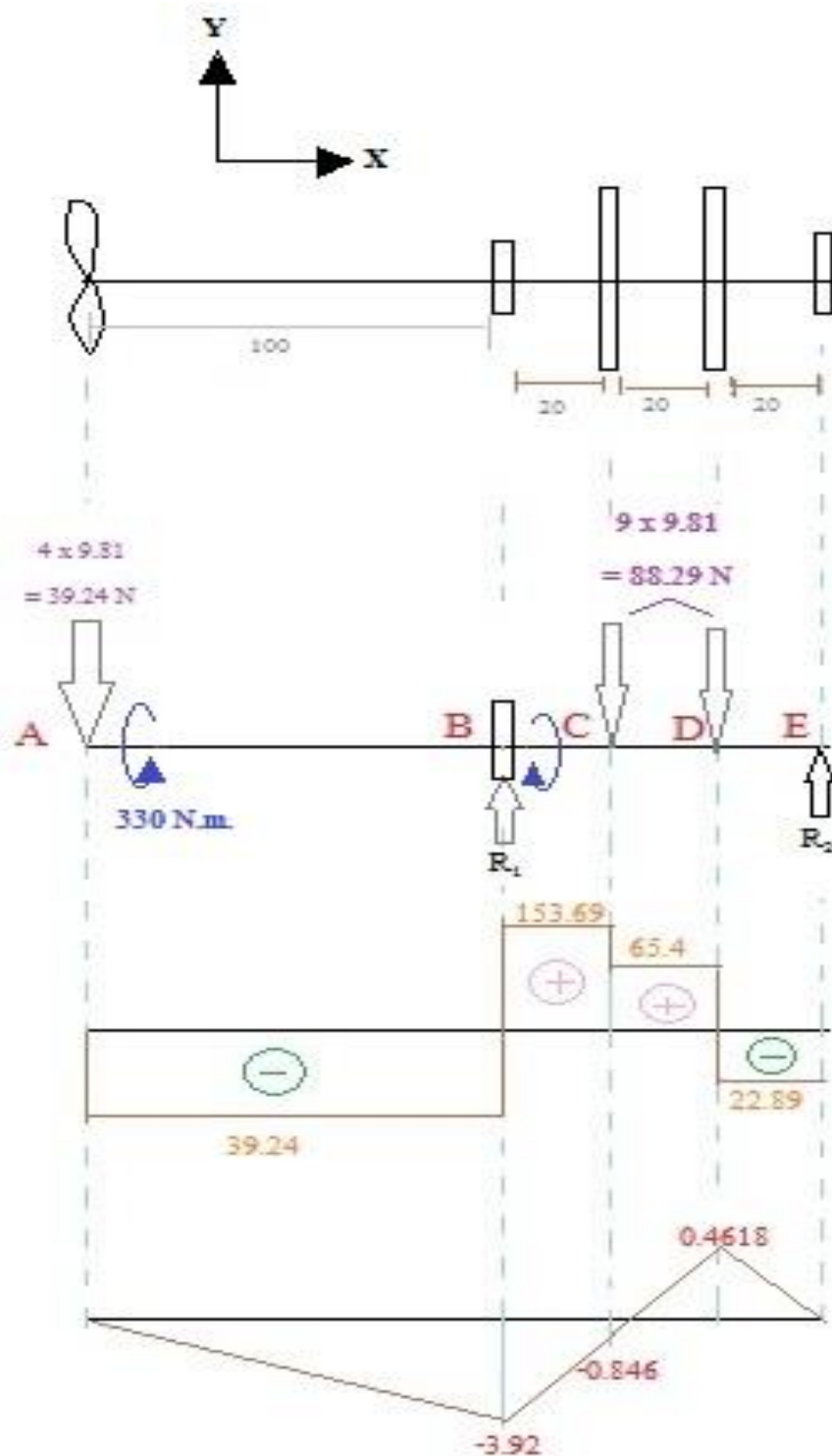
เกิดความคุ้มค่าทางพลังงานควบคู่กันไป โดยพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างต้นทุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จาคราคาวัสดุต่างๆที่ใช้ทั้งหมด และความหนาแน่นของแรงบิด ($\frac{\cos t}{T_d}$) แสดงผลการเปรียบเทียบไว้ในตารางที่ ข.4

ตารางที่ ข.4 ค่าเปรียบเทียบต้นทุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อความหนาแน่นแรงบิด โดยเปรียบเทียบทั้งชนิดแม่เหล็ก และจำนวนชั้น

ชนิดแม่เหล็ก	จำนวนชั้น	ความแรงสูง	เฟอร์ไรท์		
		1	1	2	3
ความแรงสูง	1		-53.30%	-51.20%	-48.06%
เฟอร์ไรท์	1	114.13%		4.49%	11.22%
	2	104.93%	-4.30%		6.44%
	3	92.54%	-10.09%	-6.05%	

จากตารางที่ ข.4 สรุปได้ว่าในกรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้แม่เหล็กถาวรความแรงสูงเหมาะสมที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีอื่นๆ โดยมีค่าอัตราส่วนระหว่างต้นทุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากราคาวัสดุต่างๆที่ใช้ทั้งหมด และความหนาแน่นของแรงบิด ($\frac{\cos t}{T_d}$) น้อยกว่ากรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้แม่เหล็กถาวรเฟอร์ไรท์แบบสเตเตอร์ 1 ชั้น 53.30% กรณีใช้แม่เหล็กถาวรเฟอร์ไรท์แบบสเตเตอร์ 2 ชั้น 51.20% และกรณีใช้แม่เหล็กถาวรเฟอร์ไรท์แบบสเตเตอร์ 3 ชั้น 48.06% ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แม่เหล็กความแรงสูงในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การคำนวณภาระแรงของเพล



รูปที่ ข.1 ภาระแรงที่กระทำต่อส่วนต่างๆของเพล

หา R_1

รอบจุด E (R_2)

$$R_1 = (0.06) - 88.29(0.04 + 0.02) - 39.24(0.16) = 0$$

$$R_1 = 192.93 \quad \text{N}$$

หา R_2

$$\Sigma F_y = 0$$

$$192.93 + R_1 = 2(88.29) + 39.24$$

$$R_1 = 22.89 \quad \text{N}$$

จากกฎของ Soderberg

$$d = \left[\frac{32n}{\pi} \left[\left(\frac{T}{S_y} \right)^2 + \left(\frac{M}{S_e} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

วิธีการคำนวณวิธีที่ 1

เปิดตารางวัสดุ A19

จะได้ $S_y = 1590 \text{ MPA}$ $S_e = 1720 \text{ MPA}$

$$T_m = 330 \text{ N.m.} \quad M = 3.92 \text{ N.m.}$$

$$n = 2$$

เมื่อนำแทนลงไปในสูตรจะได้

$$d = \left[\frac{32 \times 2}{\pi} \left[\left(\frac{330}{1590 \times 10^6} \right)^2 + \left(\frac{3.92}{1720 \times 10^6} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$= 0.0162 \quad \text{m}$$

$$d = 16.2 \quad \text{mm}$$

ตามตารางมาตรฐานของ มอก. 808-2532 ใช้ $d = 18 \text{ mm}$.

วิธีการคำนวณวิธีที่ 2

เปิดตารางวัสดุ A 19

จะได้	S_y	$= 303.16 \text{ MPA}$	S_{ut}	$= 365.17 \text{ MPA}$
	T_m	$= 330 \text{ N.m.}$	M	$= 3.92 \text{ N.m.}$
	n	$= 2$		

เมื่อนำแทนลงไปในสูตรจะได้

$$d = \left[\frac{32 \times 2}{\pi} \left[\left(\frac{330}{303.16 \times 10^6} \right)^2 + \left(\frac{3.92}{365.17 \times 10^6} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$= 0.028 \quad \text{m}$$

$$d = 28 \cong 32 \quad \text{mm}$$



ภาคผนวก ค

ผลการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ค

ผลการทดลอง

ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวร

การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้มอเตอร์เป็นเครื่องต้นกำลัง เนื่องจากการไม่สามารถทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากกังหันลมธรรมชาติได้ เนื่องจากความเร็วลมไม่คงที่ ดังนั้นจึงใช้มอเตอร์เป็น Prime mover แทนกังหันลม เพื่อใช้ในการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามความเร็วลมช่วง Operating point คือช่วงที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลมเริ่มจ่ายแรงดันที่สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้ จนถึงความเร็วรอบต่างๆ คือ 85 – 350 rpm โดยทำการวัดค่าทางไฟฟ้าดังนี้ ความเร็วรอบ (rpm) แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{dc}) และ กำลัง

ตารางที่ ค.1 ประสิทธิภาพที่ความเร็วรอบ 85 rpm

Speed(rpm)	$V_{DC}(V)$	$I_{DC}(A)$	$P_{out}(W)$	Weight(g)	Torque(N.m)	$P_{in}(W)$	%eff
85	13.9			130	0.28	2.50	
85	12.65	0.05	0.63	155	0.33	2.98	21.24
85	10.36	0.22	2.28	207	0.45	3.98	57.32
85	7.80	0.40	3.12	281	0.61	5.40	57.80
85	5.43	0.61	3.31	356	0.77	6.84	48.43
85	3.00	0.72	2.16	391	0.84	7.51	28.76

ตารางที่ ค.2 ประสิทธิภาพที่ความเร็วรอบ 100 rpm

Speed(rpm)	$V_{DC}(V)$	$I_{DC}(A)$	$P_{out}(W)$	Weight(g)	Torque(N.m)	$P_{in}(W)$	%eff
100	16.29			145	0.31	3.28	
100	15.50	0.05	0.78	160	0.35	3.62	21.43
100	12.58	0.29	3.65	249	0.54	5.63	64.83
100	9.65	0.48	4.63	319	0.69	7.21	64.25
100	6.65	0.62	4.12	373	0.81	8.43	48.91
100	3.80	0.90	3.42	462	1.00	10.44	32.75

ตารางที่ ค.3 ประสิทธิภาพที่ความเร็วรอบ 150 rpm

Speed(rpm)	$V_{DC}(V)$	$I_{DC}(A)$	$P_{out}(W)$	Weight(g)	Torque(N.m)	$P_{in}(W)$	%eff
150	24.88			180	0.39	6.10	
150	23.50	0.10	2.35	221	0.48	7.49	31.37
150	18.05	0.52	9.39	398	0.86	13.49	69.56
150	12.60	0.94	11.84	584	1.26	19.80	59.82
150	8.70	1.25	10.88	712	1.54	24.14	45.05
150	5.05	1.49	7.52	820	1.77	27.80	27.07

ตารางที่ ค.4 ประสิทธิภาพที่ความเร็วรอบ 200 rpm

Speed(rpm)	$V_{DC}(V)$	$I_{DC}(A)$	$P_{out}(W)$	Weight(g)	Torque(N.m)	$P_{in}(W)$	%eff
200	35.15			220	0.47	9.94	
200	33.85	0.10	3.39	275	0.59	12.43	27.23
200	28.50	0.50	14.25	448	0.97	20.25	70.37
200	23.05	0.85	19.59	615	1.33	27.80	70.48
200	15.40	1.40	21.56	878	1.89	39.69	54.33
200	7.75	2.00	15.50	1165	2.51	52.66	29.43

ตารางที่ ค.5 ประสิทธิภาพที่ความเร็วรอบ 250 rpm

Speed(rpm)	$V_{DC}(V)$	$I_{DC}(A)$	$P_{out}(W)$	Weight(g)	Torque(N.m)	$P_{in}(W)$	%eff
250	44.00			255	0.55	14.41	
250	42.00	0.15	6.30	324	0.70	18.31	34.41
250	33.50	0.75	25.13	588	1.27	33.22	75.63
250	25.00	1.35	33.75	853	1.84	48.20	70.03
250	17.50	1.90	33.25	1095	2.36	61.87	53.74
250	9.50	2.50	23.75	1360	2.94	76.84	30.91

ตารางที่ ค.6 ประสิทธิภาพที่ความเร็วรอบ 300 rpm

Speed(rpm)	$V_{DC}(V)$	$I_{DC}(A)$	$P_{out}(W)$	Weight(g)	Torque(N.m)	$P_{in}(W)$	%eff
300	53.44			300	0.65	20.34	
300	51.85	0.15	7.78	344	0.74	23.32	33.35
300	42.05	0.85	35.74	690	1.49	46.78	76.40
300	31.10	1.65	51.32	1015	2.19	68.82	74.57
300	21.65	2.40	51.96	1362	2.94	92.35	56.27
300	10.35	3.25	33.64	1743	3.76	118.18	28.46

ตารางที่ ค.7 ประสิทธิภาพที่ความเร็วรอบ 350 rpm

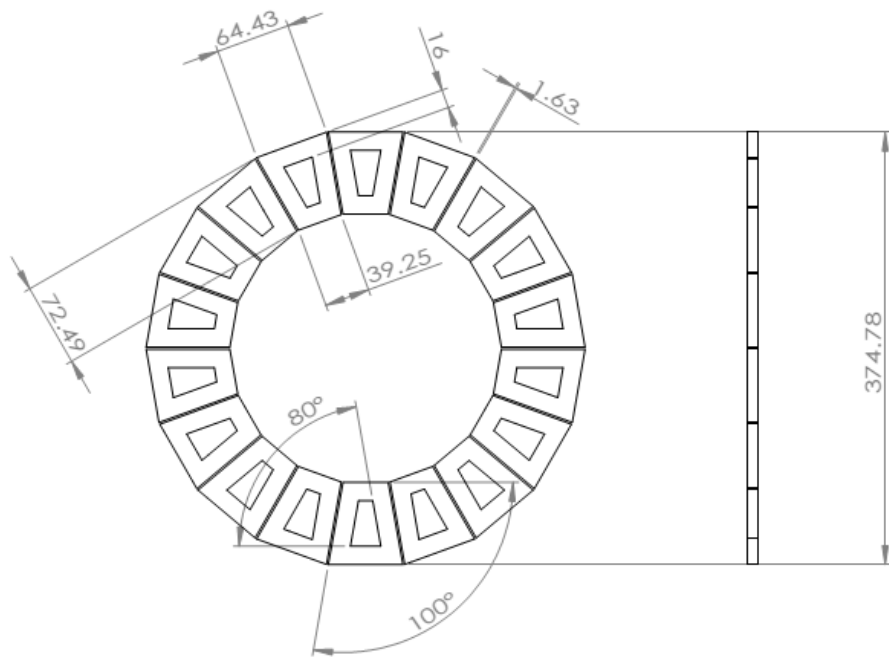
Speed(rpm)	$V_{DC}(V)$	$I_{DC}(A)$	$P_{out}(W)$	Weight(g)	Torque(N.m)	$P_{in}(W)$	%eff
350	63.50			360	0.78	28.48	
350	61.00	0.20	12.20	433	0.93	34.25	35.62
350	48.65	1.10	53.52	900	1.94	71.19	75.17
350	36.35	2.00	72.70	1300	2.81	102.83	70.70
350	24.00	2.95	70.80	1755	3.79	138.82	51.00
350	11.85	3.85	45.62	2170	4.68	171.65	26.58



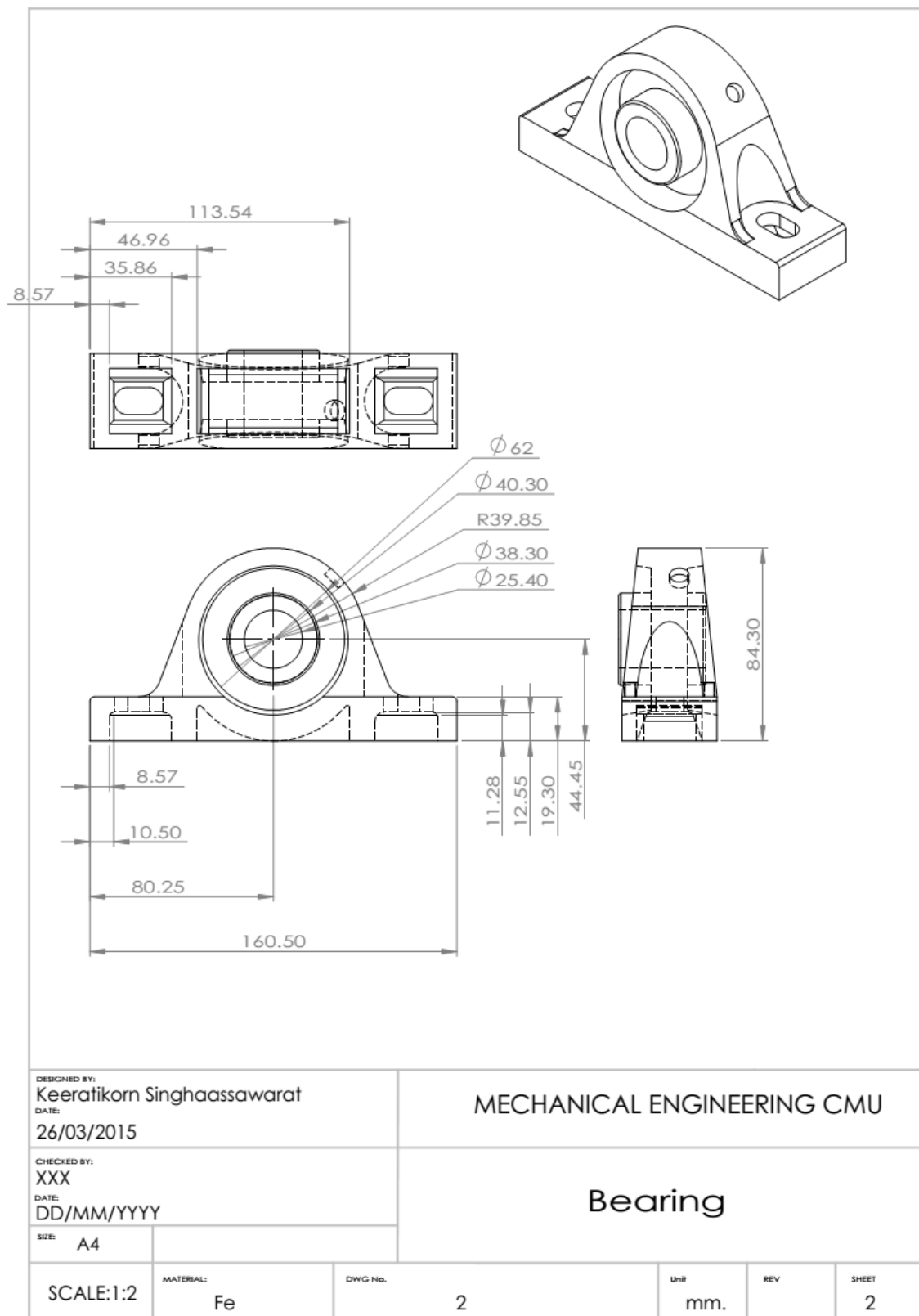
ภาคผนวก ง

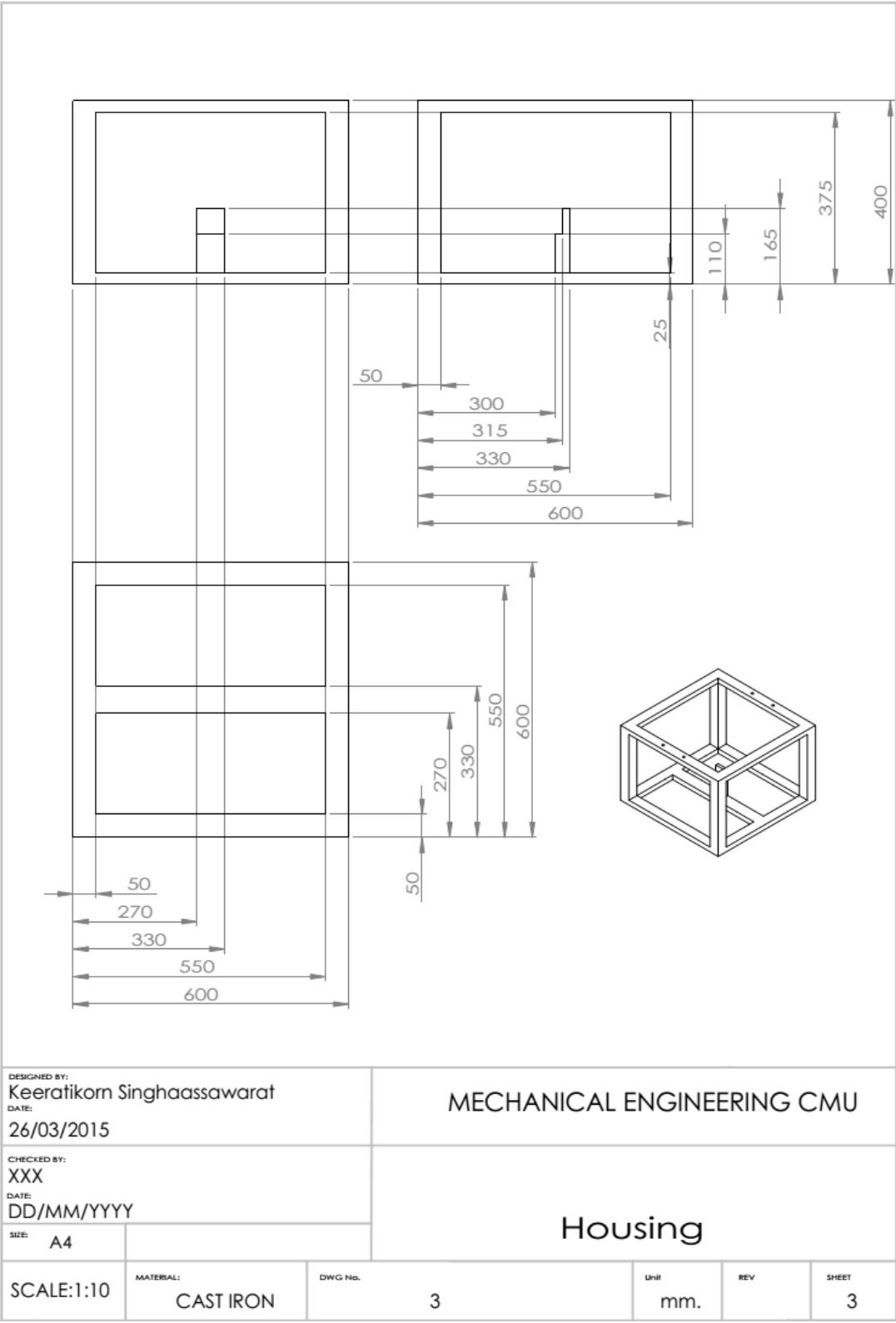
การออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

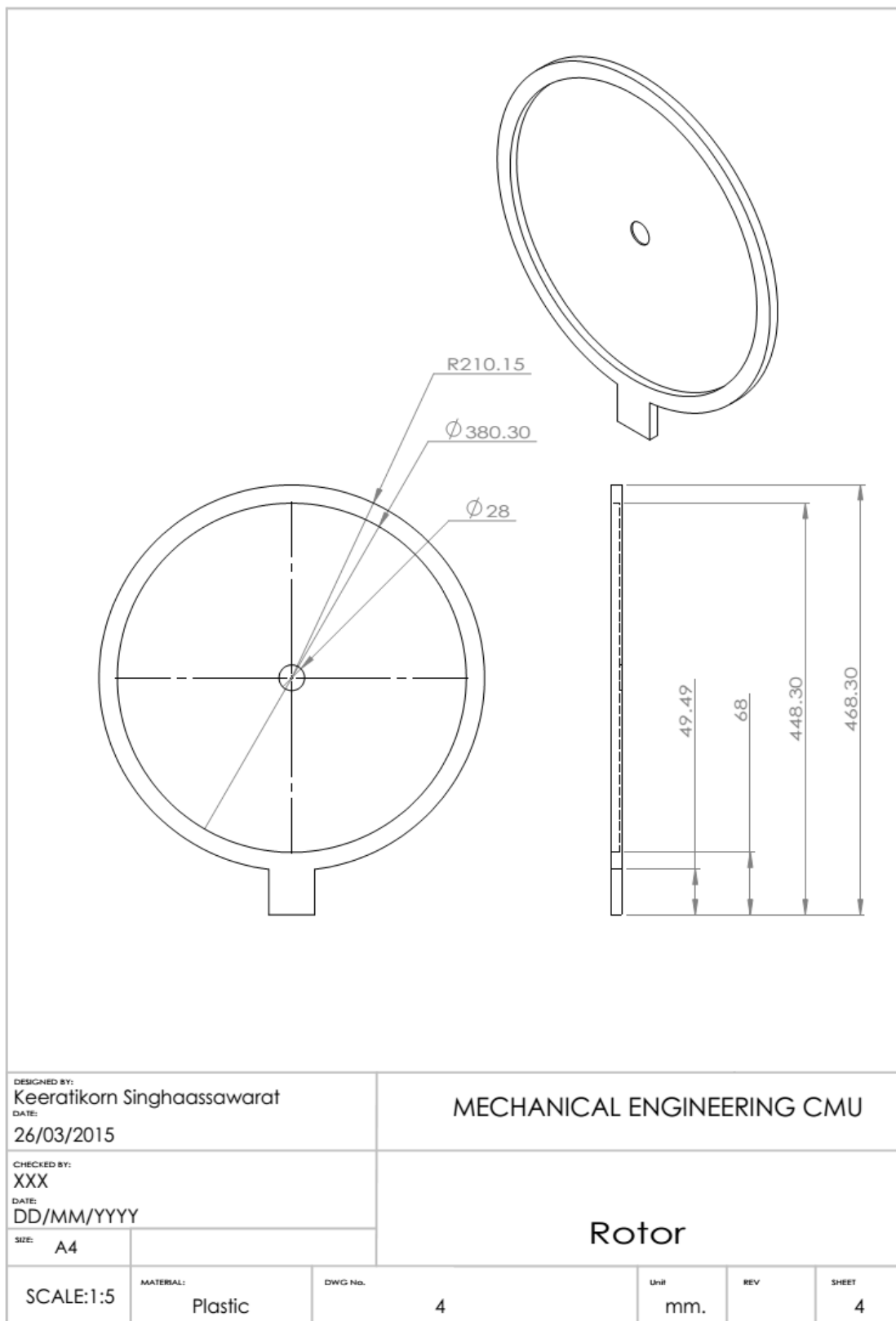
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



DESIGNED BY: Keeratikorn Singhaassawarat DATE: 26/03/2015		MECHANICAL ENGINEERING CMU			
CHECKED BY: XXX DATE: DD/MM/YYYY		Coil			
SIZE: A4					
SCALE:1:5	MATERIAL: Copper wire	DWG No. 1	Unit mm.	REV	SHEET 1









ภาคผนวก จ

บทความที่ตีพิมพ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved



วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา BURAPHA SCIENCE JOURNAL

ISSN 2351-0781 ปีที่ 19 ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการ ระดับชาติ วิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 6 (Special Volume 2014)

SCIENCE RESEARCH CONFERENCE

6th



วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 6
20-21 มีนาคม 2557 มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

SPECIAL VOLUME 2014
FACULTY OF SCIENCE - BURAPHA UNIVERSITY

TABLE OF CONTENTS

ARTICLES

Systematics in Family Nymphaeaceae Based on Chloroplast DNA	PDF
<i>Maliwan Nakkuntod, Nutthakarn Gosanto, Sunisa Nutthapornnitchakul</i>	1-5
Inhibition of cytochrome P450 3A4 by Thai herbal teas and fruit juices	PDF
<i>Tunyaporn Wongsri, Songklod Sarapusit</i>	6-12
Prevalence and Antimicrobial Susceptibility of Staphylococcus aureus Isolated from Anterior Nares of Pre-School Children in Phatthalung Province	PDF
<i>Chaisit Niyasom</i>	13-18
A Design Electric Generator from Old Hard Drive Magnets	PDF
<i>Panuphong Mankeed</i>	19-25
การศึกษาคุณสมบัติทางอนุชีววิทยาของ Acinetobacter baumannii bacteriophage ØABP-01	PDF
<i>Rapee Thummeepuk, Thawatchai Kitti, Duangkamol Kunthalert, Sutthirat Sitthisak</i>	26-32
Construction the experiments to determine the speed of sound in solids by resonance of the sound wave	PDF
<i>Preenaphun Pimpisan</i>	33-39
Study of filled-Glass for Fission Surface of Ruby	PDF
<i>Natthaphol Chomsaeng</i>	40-46
Orchid identification based on computer vision analysis	PDF
<i>Thanaban Tathawee, Surisak Prasarnpun, Anantachai Suwannakom, Somjat Onbua, Thirayu Pinthong</i>	47-56
Effect of concentration of oligofructose and sucrose on quality characteristics of osmosed Kluai Khai (Musa AA Group)	PDF
<i>Supapun Khongsomphet</i>	57-62
Effects of Egg Woman (Phyllanthus amarus) Extract on Complement C3 Expression in Nile Tilapia (Oreochromis niloticus) by Real Time RT-PCR Technique	PDF
<i>Teerapong Seesamut, Nonglak Yimtragool</i>	63-70
Shelf-life extension of pre-cooked shrimp (Litopenaeus vannamei) by oregano essential oil during refrigerated storage	PDF
<i>Bayu Kusuma, Savaminee Teerawut</i>	71-77
Preparation and characterization of CrVN thin films deposited by reactive dc magnetron co-sputtering	PDF
<i>Sitthiwat Unchit, Surasing Chaiyakun, Adisorn Buranawong</i>	78-86
การศึกษาโครงสร้างประชากรแมลงก่อดินในแม่น้ำบางปะกง ปี พ.ศ. 2553	PDF
<i>Vichaya Gunbua</i>	87-96
Antioxidant activity of some commercial spice powders (curry and pa-lo powders) from local markets at Chon Buri province	PDF
<i>Chatchawin Petchlert, Suputra Romlee, Pannarat Kleansom</i>	97-103
Molecular Characterization of Intergeneric hybrids between Spathoglottis plicata Bl. and Arundina graminifolia (D. Don) Hochr. by PCR-RFLP	PDF
<i>Orawan Thaijalern, Maliwan Nakkuntod, Anupan Kongbangkerd, Wichan Faengmuang</i>	104-114
ไบรโอไฟต์ในสวนรุกขชาติหนองตาอยู่ จังหวัดชลบุรี (Bryophytes in Nong Tha Yu Arboretum, Chonburi province)	PDF
<i>Phiangphak Sukkharak</i>	115-122
ผลของยีสต์ปฏิชีวนะและสารแอมโมเนียมโมลิบเดตที่มีต่อการเจริญและการงอกของสปอร์เชื้อรา Colletotrichum gloeosporioides สาเหตุโรคแอนแทรคโนสของมะม่วง	PDF
<i>Anuthep Pasura</i>	123-128
Molecularly Imprinted Polymer for Separation of Gallic Acid and Ellagic Acid	PDF
<i>Wisanu Thongchai</i>	129-140
Determination of Parabens in Cosmetics by Capillary Electrophoresis	PDF
<i>Kanitta Pongsomsut, Somsak Sirichai</i>	141-150
Analysis of Sumatriptan and Eletriptan By Capillary Electrophoresis	PDF
<i>Napat Khemthong</i>	151-159

อุปกรณ์แบบกระดาษสำหรับวิเคราะห์แอลกอฮอล์โดยอาศัยการตรวจวัดทางอ้อม Paper Based Analytical Device For Alcohol Using Enzymatic Detection	PDF
<i>Yupaporn Sameenoi, Kanokwan Feesanthia</i>	160-167
การพัฒนาการสังเคราะห์ไดฟีนิลเมทิลเอสเตอร์ของไฮดรอกซีโพรลีน ด้วยโพลีเอสเตอร์เมมเบรน	PDF
<i>Penthip Muangkaew</i>	168-172
เครือข่ายควบคุมการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองการอักเสบจากข้อมูลไมโครอาร์เรย์	PDF
<i>Pitak Sootanan</i>	173-184
Effect of medicinal folk plants from Ban-Ang-Ed official Community Forest Project (The Chaipattana Foundation) on Cytochrome P4502A6 enzyme	PDF
<i>Janthip Anantakul</i>	185-190
Temperature dependence of the luminescence decay in the fluorescent dyes	PDF
<i>Saksit Sukprasong, Tanabat Promjun, Athipong Ngamjarurojana</i>	191-197
Kaon production in heavy ion collisions	PDF
<i>Oranuch Ketsungnoen</i>	198-203
Synergistic Antibacterial Effect of Friedelin from Diospyros curranii Merr. and Ampicillin Against Some Opportunistic Gram-Negative Bacteria	PDF
<i>Panida Khatongkram, Wisatre Kongcharoensuntorn, Waree Naengchomnong</i>	204-210
The Antibacterial Activities of Polyurethane mixed with Nanosilver against Opportunistic Gram-negative Bacteria	PDF
<i>Uamporn Iamprae, Pornpen Atorngitjawat, Wisatre Kongcharoensuntorn</i>	211-217
FeCl ₃ •6H ₂ O catalyzed three components aza-Friedel-Crafts reaction For the synthesis of N-Boc protected α-branched amines	PDF
<i>Sureeporn Ruengsangtongkul, Jaray Jaratjaroonphong</i>	218-223
The synthesis of symmetrical triarylmethane derivatives using Bi(OTf) ₃ as catalyst	PDF
<i>Surisa Tuengpanya, Jaray Jaratjaroonphong</i>	224-230
The study system of heat to water and cold to water from thermoelectric with solar cell	PDF
<i>Thirayu Pinthong</i>	231-243
Determination of Solar Radiation Attenuation due to Aerosols in the Atmosphere	PDF
<i>Sayan Phokate</i>	244-255
Estimation of Energy Storage and design wind turbine for Maeae sub-district, Samoeng District, Chiang Mai	PDF
<i>Keeratikorn Singhaassawat, Sumpun Chaitep, Thawan Sucharitakul</i>	256-262
การปรับปรุงประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาของอนุภาคนาโนโลหะตัวเร่งปฏิกิริยาเงินแกนกลาง@เปลือกเคลือบเปลือกหุ้ม (Ag@Pd) ต่อการสลายตัวของกรดฟอร์มิก	PDF
<i>Karaked Tedsree</i>	263-270
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของผู้ฝึกใช้แบบจำลองความชื้นและแบบเทอร์โมอิเล็กทริก	PDF
<i>Ekachai Singhadet, Tawat Suriwong, Somchai Jiajitsawat, Papitha Tanarak</i>	271-276
The Ultrasonic Extraction Method for Determination of Sulfonamide	PDF
<i>Apinya Navakhun, On-u-ma Petplian, Anurak Chankaew</i>	277-282
Extraction of Chromium (VI) from Soil using Ultrasonic Liquid Extraction Techniques	PDF
<i>Supannika Boonjamnian, Apinya Navakhun</i>	283-288
The Optimum Conditions for Determination of Dimethylarsenate and Monomethylarsonate using Purge and Trap Gas Chromatography-Mass Spectrometry Techniques	PDF
<i>Maneenuch Phalasuk, Wannarat Suttiaprapa, Apinya Navakhun</i>	289-297
การปรับปรุงคุณภาพพาราอิมบิราลีนจากแหล่งโมแซมบิกด้วยความร้อน Heat treatment of Paraiba-Type Mozambique Tourmalines	PDF
<i>Pimthong Thongnopkun</i>	298-303
ฤทธิ์ต้านการอักเสบของพืชสมุนไพรบางชนิดในโครงการพัฒนาป่าชุมชนบ้านอ่างเอ็ด จังหวัดจันทบุรี	PDF
<i>Klaokwan Srisook, Sawinee Seemakhan, Pariyapha Ketkool, Pornsuda Kankaew, Ekarath Srisook, Karnjana Hrimpeng, Benjawan Chiwapreecha, Kumron Leadprothom</i>	304-311
การประเมินคุณภาพภายนอกของห้องปฏิบัติการการตรวจเชื้อไวรัสโรตาของโรงพยาบาลในเขตตอนกลางของประเทศไทย	PDF
<i>Wanvisa Neadruengsang</i>	312-317
Effects of nitrogen partial pressure on the structural and electrical properties of Ti-W-N thin films	PDF

<i>Pattira Homhuan, Jiraporn Pongsopa, Kanchaya Honglertkongsakul</i>	318-327
The efficiency and development of Electric Energy from Water flow Energy at Kohhong community Nakhonsawan Province	PDF
<i>Thirayu Pinthong</i>	328-340
Study on Drying Behavior of Pepper Using Superheated Steam Drying	PDF
<i>Onuma Nuthong, Narong Uengkimbuan</i>	341-347
การวิเคราะห์สารกลุ่มซัลโฟนาไมด์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง	PDF
<i>Anurak Chankaew, Nuntiya Suraipet, Apinya Navakhun</i>	348-354
Determination of Chlorzoxazone, Indomethacin and Ibuprofen in Pharmaceutical Formulations by Chromolith C18 High-Performance Liquid Chromatography	PDF
<i>Somsak Sirichai</i>	355-364
An appropriate extraction and analysis conditions for the determination of fatty acids from mango seeds kernel by gas chromatography	PDF
<i>Sirirat Chanvaivit</i>	365-379
Determination of synthetic dye by monolithic C18 HPLC	PDF
<i>Kritsanapong Tongtip, Somsak Sirichai</i>	380-389
Chemical components from the hexane extracts of Glochidion daltonii stems (Euphorbiaceae)	PDF
<i>Keetaphat Konthong</i>	390-398
Chemical components from Dichloromethane extracts of Glochidion daltonii roots (Euphorbiaceae)	PDF
<i>Kantima Sawangwong</i>	399-407
Novel Chemodosimeter for the Detection of Cyanide Ion	PDF
<i>Manoon Phichi, Chomchai Suksai, Sarayut Watchasit, Thawatchai Tuntulani</i>	408-413
Synthesis and characterization of polymer-coated magnetic nanoparticles	PDF
<i>Piyaporn Na Nongkhai, Orawan Suksombat, Bunyanuch Bunsai</i>	414-421
Histology of gills in the Black-scar oyster Crassostrea iredalie	PDF
<i>Rattana Samanya</i>	422-433
Characterization of Black-scar oyster (Crassostrea iredalie) hemocytes	PDF
<i>Chaiyod Numklin</i>	434-440
FIXED POINTS FOR CYCLICAL MULTI-VALUES MAPPING ON GENERALIZED DISTANCE IN COMPLETE METRIC SPACE	PDF
<i>Anutep Tepphun, Somyot Plubtieng, Somkid Intep</i>	441-446
การปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์ม พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (พีวีเอ)/ไฮเดียมคาร์บอกซี เมทิลเซลลูโลส (ไฮเดียม-ซีเอ็มซี) สำหรับประยุกต์ใช้ในบรรจุภัณฑ์อาหาร Improvement of polyvinyl alcohol (PVA)/sodium carboxymethyl cellulose (Na-CMC) films properties for active	PDF
<i>Darane Khunphet</i>	447-455

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

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

กิริติกร สิงห์สุวรรณรัตน์¹, ตะวัน สุจริตกุล¹ และ สัมพันธ์ ไชยเทพ¹

Keeratikorn Singha-assawaratt¹, Thawan Sucharitakul¹ and Sumpun Chaitep¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

โทรศัพท์ 0-5394-4146 ต่อ 411-415 โทรสาร 0-5394-4145

บทคัดย่อ

พลังงานลมเป็นพลังงานหมุนเวียนประเภทหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้โดยการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าจากเทคโนโลยีกังหันลมซึ่งพื้นที่บริเวณ ต.แม่แฮ อ.สะเมิง จ.เชียงใหม่ มีศักยภาพพลังงานลมเพียงพอต่อการผลิตกระแสไฟฟ้า ดังนั้นการศึกษาจึงได้ทำการประเมินการกักเก็บพลังงาน และการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการใช้งานของชุมชนในพื้นที่ดังกล่าว เพื่อเป็นทางเลือกให้แก่ชุมชนได้นำพลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรสำหรับกังหันลมเพื่อใช้งานภายในบ้านที่อยู่อาศัยขนาด 65 m² ซึ่งพบว่าเมื่อใช้กังหันลมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.7 m จะต้องใช้แบตเตอรี่ที่มีขนาดอยู่ในช่วง 23.155 – 53.881 Ah ที่ความเร็วลม 9 m/s โดยให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความถี่ 50 Hz ซึ่งจะต้องใช้แม่เหล็กความแรงสูง NedFe จำนวน 24 คู่ขั้ว มีเส้นแรงแม่เหล็กถาวร 0.000554 Wb โดยมีจำนวนขดลวด 18 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 m². 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.

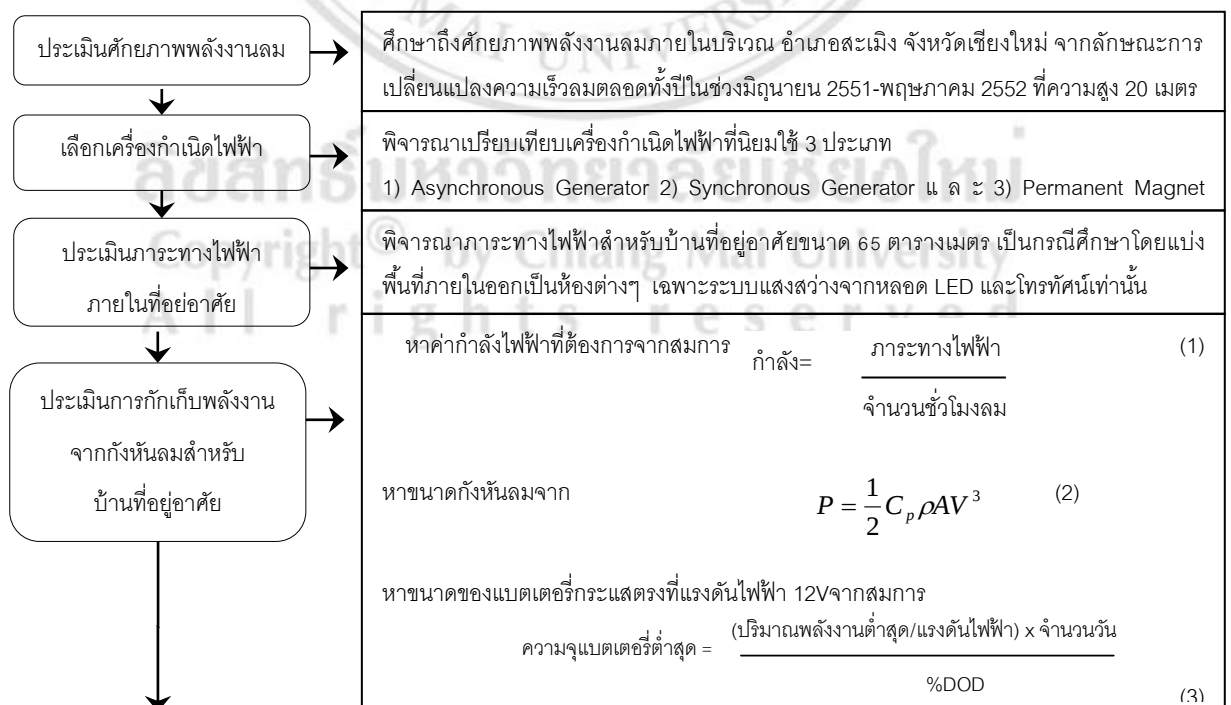
Keywords :Energy Storage /wind energy /Permanent magnet Generator

1. บทนำ

ในปัจจุบันพลังงานถือได้ว่ามีบทบาทสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์และในการพัฒนาระบบเศรษฐกิจ ซึ่งจำเป็นต้องใช้พลังงานในการขับเคลื่อนให้ระบบสามารถพัฒนาไปได้อย่างต่อเนื่อง แต่เนื่องจากการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของระบบเศรษฐกิจ ประกอบกับจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงส่งผลให้ความต้องการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นตามมาในขณะที่แหล่งทรัพยากรกลับมีอยู่อย่างจำกัดดังนั้นพลังงานหมุนเวียนจึงถูกผลักดันขึ้นมามาทดแทนรวมถึงพลังงานลมซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียนประเภทหนึ่งซึ่งเริ่มได้รับความสนใจและมีการนำมาใช้ประโยชน์กันมากขึ้นในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากกังหันลม โดยพบว่าพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ได้รับอิทธิพลจากลมภูเขาที่มีความเร็วเฉลี่ยตลอดทั้งปีประมาณ 4.1 m/s ซึ่งมากกว่าความเร็วลมขั้นต่ำที่สามารถนำไปหมุนกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าได้ โดยมีความเร็วลมกรณีสูงสุดไม่เกิน 25 m/s จึงสามารถนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าได้โดยไม่เกิดการเสียหายต่อชุดกังหันลม ด้วยเหตุนี้การสร้างกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในชุมชนจึงมีความน่าสนใจแต่เนื่องจากการสร้างกังหันลมจำเป็นต้องคำนึงถึงความเร็วรอบในการหมุนที่ต่ำ ซึ่งโดยปกติกังหันลมจะใช้ชุดเกียร์ทดรอบสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต้องใช้ความเร็วรอบสูงทำให้กังหันลมนี้น้ำหนักเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ต้องใช้แรงบิดสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากก่อให้เกิดการสูญเสียกำลังจากการทดรอบมาก รวมถึงทำให้มีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นตามมา

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

2. วิธีการ



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

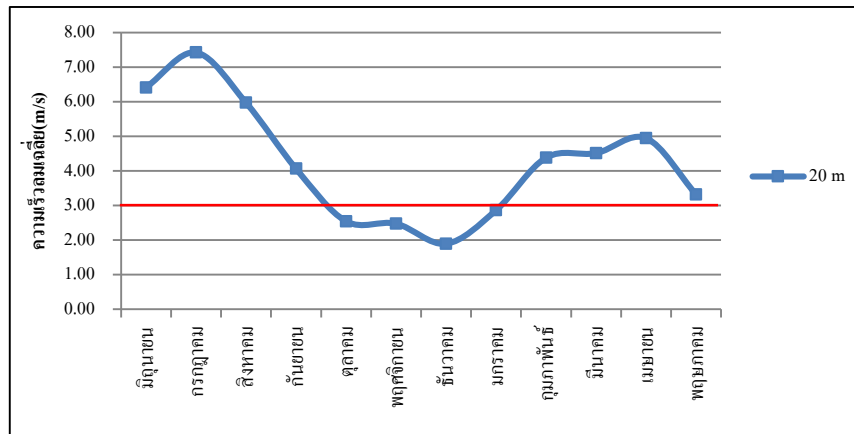
ออกแบบโรเตอร์และชุดขดลวดสเตเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ↓ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวร	หาจำนวนคู่ขั้วแม่เหล็กถาวร (P) ที่ติดอยู่กับแผ่นโรเตอร์จากสมการ $p = \frac{120 f}{N} \quad (4)$ โดยความเร็วรอบของกังหันลม หาได้จากสมการ
P คือ กำลังกังหันลม (W) C_p คือ Coefficient of performance A คือ พื้นที่การกวาด (m^2) V คือ ความเร็วลม (m/s) p คือ จำนวนขั้วแม่เหล็ก f คือ ความถี่ที่พิกัดทั่วไป = 50 Hz N คือ จำนวนรอบการหมุนที่พิกัด V_{Tip} คือ ความเร็วที่ปลายใบพัด V_{in} คือ ความเร็วลมที่พัดเข้ากังหัน TSR คือ อัตราส่วนความเร็วที่ปลายใบพัดเมื่อเทียบกับความเร็วลม (ลมที่พัดเข้ากังหัน) α_1 คือ ขนาดองศาไฟฟ้าแต่ละขดลวด ϕ คือ เส้นแรงแม่เหล็ก H คือ ความเข้มข้นแม่เหล็ก ℓ คือ ความหนาของแม่เหล็ก 10 mm μ_r คือ ความซึมแม่เหล็กสัมพัทธ์ μ_o คือ ความซึมแม่เหล็ก = $4\pi \times 10^{-7}$ [H/m] g คือ ระยะ Air gap มีค่าเท่ากับ 5mm และกำหนดขดลวดทองแดงหนาไม่เกิน 10 mm จะได้เท่ากับ 20mm J คือ ความหนาแน่นของกระแส A_{wire} คือ พื้นที่หน้าตัดของขดลวด I_{rated} คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ρ_t คือ ขดลวดที่อุณหภูมิขณะทำงาน โดยกำหนดให้อุณหภูมิทำงาน $70^\circ C$ ρ_{20} คือ สภาพต้านทานของขดลวดที่อุณหภูมิ $20^\circ C$ 17 nΩm a_1 คือ ความหนาของขดลวด %DOD คือ ประจุภายในแบตเตอรี่ X_L คือ ความต้านทานเชิงความเหนี่ยวนำ x คือ ความกว้างของขดลวดทองแดง LMT คือ ความยาวต่อขดลวด	$TRS = \frac{V_{Tip}}{V_{in}} = \frac{\omega r}{V_{in}} = \frac{2\pi(\frac{N}{60})}{V_{in}} \quad (5)$ หาจำนวนขดลวดทั้งหมดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (n_{coil}) ได้จาก $n_{coil} = \frac{360^\circ}{\alpha} \times \frac{P}{2} \quad (6)$ หาจำนวนรอบของขดลวดสเตเตอร์แต่ละขดลวด (N_{ph}) ได้จากสมการ $E_{phase} = 4.44 f \phi N_{ph} \quad (7)$ จากนั้นหาขนาดเส้นแรงแม่เหล็กความเร็วสูงจากสมการ $\phi = \frac{2H\ell\mu_o B_r}{B_r g + 2\ell\mu_o H} \cdot A \quad (8)$ หาขนาดของขดลวดทองแดงจาก $J = \frac{I_{rated}}{A_{wire}} \quad (9)$ ความต้านทานของขดลวดต่อขดหาได้จาก $R = \rho_t \frac{l}{A_{wire}} \quad (10)$ โดยที่ $\rho_t = \rho_{20}(1 + 0.0039(t_c - 20)) \quad (11)$ หาค่าความเหนี่ยวนำ จากสมการ $L = \frac{\mu_o \times (N_{phase})^2 \times LMT \times x}{a_1} \times K_n \quad (12)$ เมื่อ K_n คือ Nagaoka constant หาค่าได้จากสมการ $K_n = \frac{1}{1 + 0.9 \frac{LMT}{2\pi a_1} + 0.32 \frac{2\pi x}{LMT} + 0.84 \frac{x}{a_1}} \quad (13)$ หาค่าความต้านทานเชิงความเหนี่ยวนำ จากสมการ $X_L = 2\pi f L \quad (14)$ คำนวณหาค่าความต้านทานอิมพีแดนซ์จากสมการ $Z = R + jX_L \quad (15)$

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

3. ผลและอภิปราย

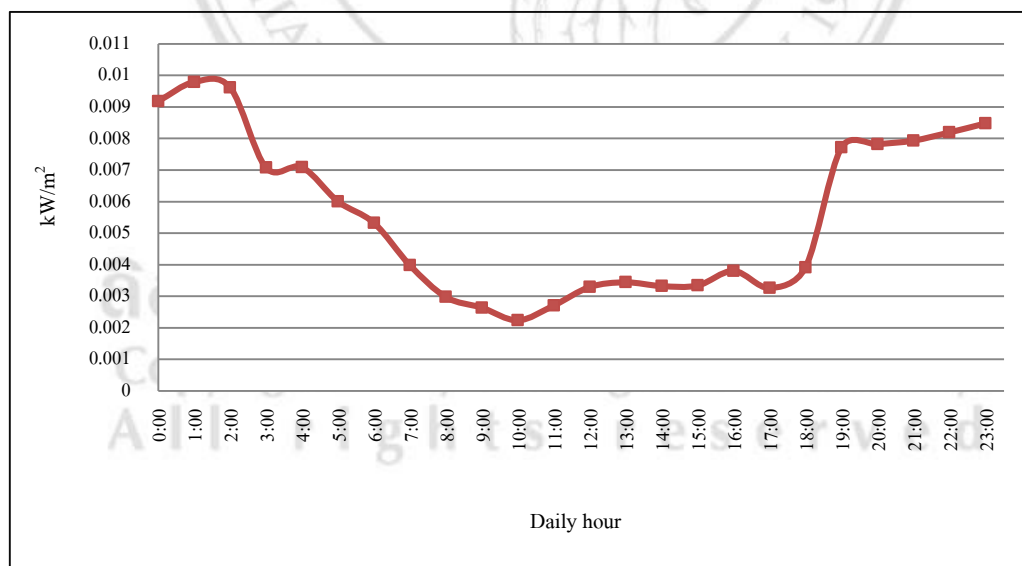
3.1 การประเมินศักยภาพพลังงานลม

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



รูปที่ 2 พลังงานลมเฉลี่ยรายชั่วโมงในเดือนพฤษภาคม

3.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

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

3.3 การประเมินภาระทางไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัย

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้บ้านที่อยู่อาศัยขนาด 65 m² โดยแบ่งออกเป็นห้องนอนขนาด 4 x 4 m², ห้องนั่งเล่นขนาด 6 x 4 m², ห้องครัวขนาด 4 x 4 m² และห้องน้ำขนาด 3 x 3 m² โดยพิจารณาภาระทางไฟฟ้าเฉพาะในส่วนขอระบบแสงสว่างจากหลอด LED ขนาด 5 W และโทรทัศน์ขนาด 73 W ตามพฤติกรรมการใช้งานทั่วไป พบว่ามีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 414.50 Wh/day โดยมีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดอยู่ในช่วง 19:00 น.-23:00 น.

3.4 การประเมินการกักเก็บพลังงานจากกังหันลมสำหรับบ้านที่อยู่อาศัย

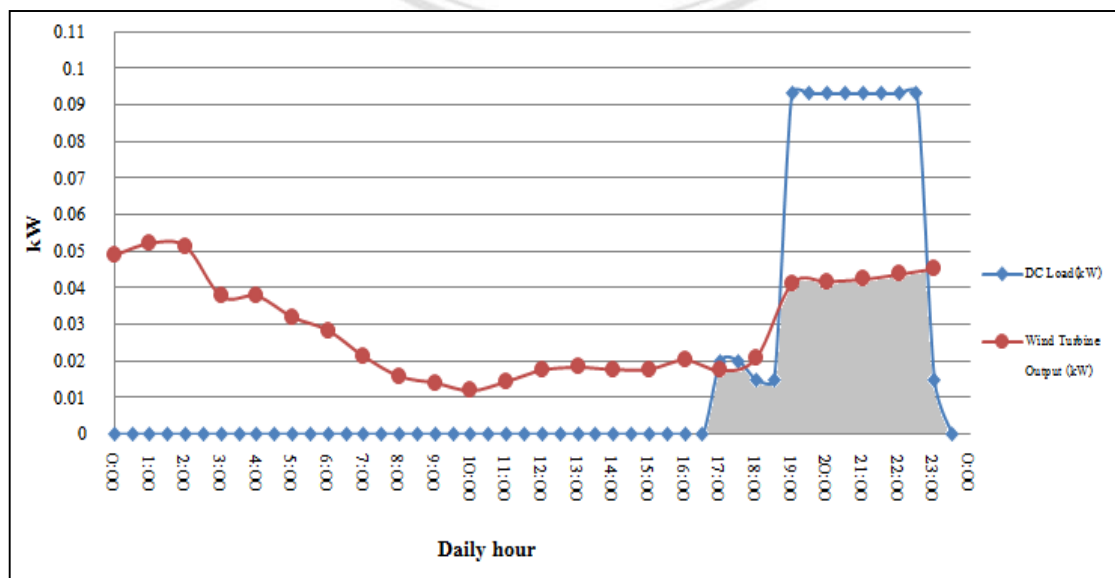
จากการประเมินพบว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการเท่ากับ 41.45 W ซึ่งในการใช้ระบบกักเก็บพลังงานสำหรับระบบ stand-alone ตามมาตรฐาน IEEE-1013 กำหนดให้มีขนาดของแหล่งพลังงานต้นกำลังเท่ากับ 1.3 เท่าของขนาดความต้องการพลังงาน เพื่อให้การชาร์จแบตเตอรี่เพียงพอความต้องการภาระทางไฟฟ้าของที่อยู่อาศัยจะได้ขนาดของแหล่งพลังงานต้นกำลัง (กังหัน) 53.88 W

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

จากนั้นนำค่าพื้นที่การกวาดที่ได้คูณกับค่าพลังงานลมเฉลี่ยต่อพื้นที่ (รูปที่ 2) จะได้ค่าพลังงานที่ได้จากกังหันลมเป็นไปตามเส้นกราฟ (Wind Turbine Output) ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งค่าพลังงานสุทธิที่กังหันลมสามารถผลิตได้หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟดังกล่าว ซึ่งมีค่าเท่ากับ 709.47 Wh แล้วนำค่าที่ได้มาพิจารณาพร้อมกับค่าภาระทางไฟฟ้า เพื่อหาค่าการกักเก็บพลังงานที่ต้องการจากพื้นที่รวมของกราฟ ดังแสดงไว้ในส่วนที่แรงของรูปที่ 3 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 192.21 Wh โดยพื้นที่นี้จะแสดงถึงพลังงานที่สามารถนำไปใช้กับภาระทางไฟฟ้าของที่อยู่อาศัยไปพร้อมกับการชาร์จแบตเตอรี่สำหรับปริมาณพลังงานน้อยสุดที่จำเป็นสำหรับความต้องการภาระทางไฟฟ้าของที่อยู่อาศัย หาได้จากผลต่างของค่าภาระทางไฟฟ้ากับพื้นที่ใต้กราฟในส่วนที่แรงจะมีค่าเท่ากับ 222.29 Wh โดยพลังงานมากที่สุดของการกักเก็บพลังงานหาได้จากผลต่างของพลังงานที่ได้จากกังหันลมทั้งหมดกับพื้นที่ใต้กราฟในส่วนที่แรง โดยจะมีค่าเท่ากับ 517.26 Wh

จากนั้นศึกษาถึงระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่แรงดันไฟฟ้าสำหรับชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 12V ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าความจุของแบตเตอรี่สำหรับการชาร์จภายในหนึ่งวัน โดยนำแรงดันไฟฟ้าสำหรับชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 12V นำไปหารปริมาณพลังงานน้อยสุดที่จำเป็นสำหรับความต้องการภาระทางไฟฟ้าของที่อยู่อาศัยเท่ากับ 222.29 Wh และพลังงานมากที่สุดของการกักเก็บพลังงานเท่ากับ 517.26 Wh จะได้ค่าความจุของแบตเตอรี่สำหรับชาร์จภายในหนึ่งวันอยู่ในช่วง 18.524-43.105 Ah

การเลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดที่มีรอบการคายประจุลึก (Deep cycle) หรือเป็นแบบที่ได้รับการออกแบบให้สามารถใช้งานได้เต็มที่ประมาณในต่ำกว่า 80% ซึ่งจะต้องใช้แบตเตอรี่ที่มีความจุอยู่ในช่วง 23.155 – 53.881 Ah เพื่อให้สามารถใช้งานได้จริงในสภาวะงานที่กำหนดได้โดยแสดงลักษณะพลังงานจากกังหันลมและภาระทางไฟฟ้าของที่อยู่อาศัยสำหรับการกักเก็บพลังงาน ดังรูป

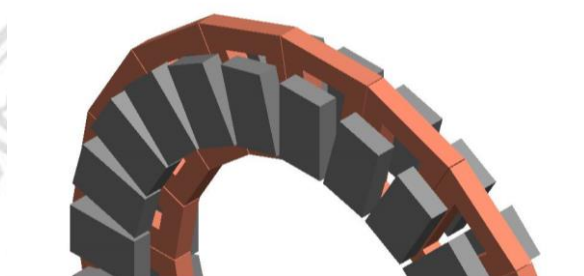


รูปที่ 3 พลังงานจากกังหันลมและภาระทางไฟฟ้าของที่อยู่อาศัยสำหรับการกักเก็บพลังงาน

3.5 การออกแบบโรเตอร์และชุดขดลวดสเตเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากสมการข้างต้น จะได้จำนวนคู่ขั้วแม่เหล็กเท่ากับ 24 ขั้ว โดยใช้แม่เหล็กชนิดความแรงสูง NedFe มีเส้นแรงแม่เหล็กถาวร 0.000554 Wb และมีจำนวนขดลวดทองแดงเบอร์ SWG.16 ทั้งหมด 18 ขด ซึ่งในแต่ละเฟสจะมีขดลวด 6 ขดต่ออนุกรมกันโดยแสดงผลการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรตามตารางที่ 1 และแสดงลักษณะการวางขดลวดและแม่เหล็กตามรูปที่ 4 ตารางที่ 1 รายละเอียดการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

รายการ	ปริมาณ	รายการ	ปริมาณ
กระแสไฟฟ้าที่พิกัด	14.18 A	ขนาดขดลวด	SWG.16
จำนวนขดลวด	18	ขั้วแม่เหล็ก	24 ขั้ว
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.เชียงใหม่ สำหรับบ้านที่อยู่อาศัยขนาด 65 m^2 ที่ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าปริมาณ 414.50 Wh/day ต้องใช้กังหันลมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบพัดเท่ากับ 2.7 m ที่ความเร็วลม 9 m/s (ความเร็วลมพิกัด) เท่ากับ 254.65 rpm โดยคิดความถี่พิกัดที่ 50 Hz ดังนั้นจะต้องใช้แม่เหล็กความแรงสูง NedFe จำนวน 24 คู่ขั้ว มีเส้นแรงแม่เหล็กถาวร 0.000554 Wb จำนวนขดลวด 18 ขด โดยใช้ขนาดขดลวดทองแดงเบอร์ SWG.16 มีจำนวนรอบของขดลวดต่อเฟส 180 รอบ จำนวนแบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับการใช้งานอยู่ในช่วง 23.155 – 53.881 Ah ซึ่งการศึกษานี้เป็นเพียงการประเมินการกักเก็บพลังงาน และการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการใช้งานของชุมชนในพื้นที่ดังกล่าว โดยจะมีการสร้างและประเมินสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรสำหรับกังหันลมนี้ในลำดับต่อไป เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งให้แก่ชุมชนได้นำพลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

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

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน เนื่องจากการศึกษานี้ “ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน” รวมถึง

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่เอื้อเพื่อสถานที่ในการเก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์และสรุปผล
ของงานวิจัย

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,



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาคผนวก จ

งบประมาณตลอดการทำวิจัย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

งบประมาณตลอดการทำวิจัย

ตารางที่ จ.1 แสดงรายละเอียดงบประมาณการวิจัย

รายการ	จำนวนเงิน (บาท)
หมวดค่าใช้สอย	
- ค่าใช้จ่ายในการเดินทางเก็บข้อมูล ติดต่อประสานงาน	5,000
หมวดค่าวัสดุ	
- ค่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	
- ชุดอินเวอร์เตอร์ควบคุมมอเตอร์ต้นกำลัง	12,000
- ชุดโหลดเซลล์	8,000
- อุปกรณ์อื่นๆ	6,000
- ค่าวัสดุเอกสารสำนักงาน	2,000
- ค่าวัสดุอุปกรณ์ในการสร้างต้นแบบ	
- แม่เหล็ก 48 ก้อน (ราคาก้อนละ 490 บาท สถานที่ซื้อคลองถม กทม. ปี 2554)	23,520
- ชุดเพลลา	1,900
- ชุดเบร้ง	920
- แผ่นเหล็ก 2 แผ่น	1,000
- แผ่นอะครีค 2 แผ่น	1,600
- ชุดสเตเตอร์	19,800
- โครงสร้างเหล็ก	6,000
- ชุดแปลงกระแส	8,000
- อุปกรณ์อื่นๆ	1,000
รวมงบประมาณ	96,740

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายกิตติกร สิงห์สุวรรณ
วัน เดือน ปี เกิด	8 ตุลาคม 2529
ประวัติการศึกษา	ปีการศึกษา 2552 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ทุนการศึกษา	ระหว่างปีการศึกษา 2555-2558 ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ระหว่างปีการศึกษา 2556-2558 ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบาย และแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน
ผลงานตีพิมพ์	Keeratikorn Singha-assawaratt, Thawan Sucharitakul and Sumpun Chaitep, “Estimation of Energy Storage and design wind turbine for Maehae Sub-district, Samoeng District, Chiang Mai,” Burapha Science Journal, Special Vol. 2014 No.6 Faculty of Science Burapha University, 20-21 march 2014, Page No. 256-262
ประสบการณ์	วิศวกรเดินเครื่อง Gulf JP NS วิศวกรฝ่ายผลิต AI TECHNOLOGY CO., LTD

