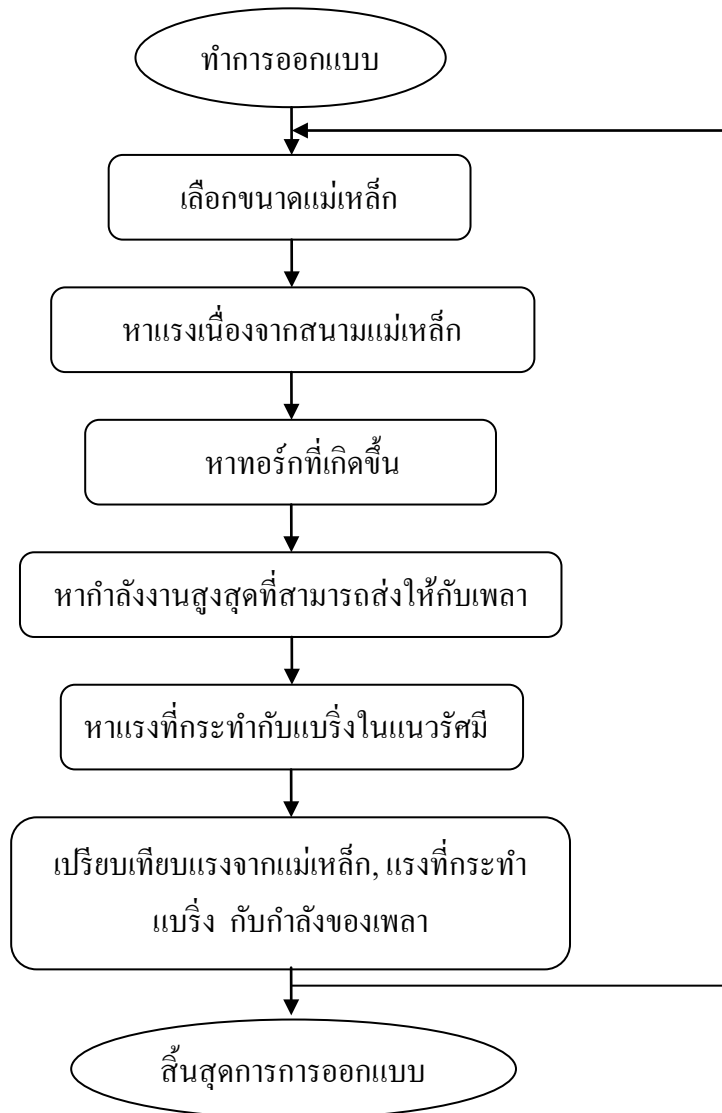


บทที่ 3

การออกแบบ

3.1 บทนำ

จากบทที่ 2 ซึ่งได้กล่าวเนื้อหาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องไปแล้ว ในบทที่ 3 จะกล่าวถึงการออกแบบ การคำนวณค่าต่างๆ จำนวนรอบในการพันขดลวด การวางขดลวด การคำนวณพื้นที่ สำหรับการวางแม่เหล็กถาวรและระยะห่างของแต่ละส่วน ซึ่งได้มีการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแม่เหล็กถาวรมาใช้งานในรูปแบบต่างๆ เพื่อสร้างเป็นต้นแบบและนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการออกแบบ

ตาราง 3.1 คุณสมบัติที่ใช้ออกแบบในเบื้องต้น

ชิ้นส่วน	ขนาด	จำนวน
ใบพัด	$\theta = 305mm$	1 ใบ
เพลลา	$\theta = 10mm$ ยาว 400 มิลลิเมตร	1 ท่อน
แบร์ริง	$\theta = 11mm$	2 ตัว
แม่เหล็กถาวรความเข้มสูง	$\theta = 15mm$ หนัก 65 กรัม	180 ก้อน
ชุดแม่เหล็กตัวนอก	$\theta = 250mm$	3 ชุด
ชุดขับเคลื่อนตัวใน	$\theta = 180mm$	3 ชุด

1) ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก

กำหนด

ชุดแม่เหล็กชุดในมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 180 มิลลิเมตร

แม่เหล็กมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร $m = 65$ กรัม

$$\text{ค่าคงที่ } \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \quad g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

แรงดึงดูด 1 ช่องอากาศหาได้จาก

$$F = -\left(\frac{B^2}{2\mu_0} S\right) = mg$$

$$\text{ดังนั้น } B^2 = \frac{2mg\mu_0}{S}$$

หาพื้นที่หน้าตัดของผิวสัมผัส

$$\begin{aligned} S &= \frac{\pi}{4} (0.015^2) \text{ m}^2 \\ &= 1.767 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

แทนค่า

$$B^2 = \frac{2(65)(9.81)(4\pi \times 10^{-7})}{1.767 \times 10^{-4}}$$

$$B = 3.012 \text{ Hb/m}^2$$

ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กเท่ากับ 3.012 Hb/m^2

2) แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากสนามแม่เหล็ก

หาความดันของการดึงดูด (แรงต่อหน่วยพื้นที่ผิว) ที่กระทำต่อชิ้นส่วนของแม่เหล็ก

$$P = \frac{F}{S} = \left(\frac{B^2}{2\mu_0} \right) = \frac{1}{2} BH$$

$$P = \left(\frac{B^2}{2\mu_0} \right) = \left(\frac{(3.012 \times 0.001)^2}{2(4\pi \times 10^{-7})} \right)$$

$$= 3.610 \text{ N/mm}^2$$

ความดันของการดึงดูดมีค่าเท่ากับ 3.610 N/mm^2

แรงเนื่องจากสนามแม่เหล็ก

$$F = PS$$

$$= (3.610 \text{ N/mm}^2) \times (176.700 \text{ mm}^2)$$

$$= 637.832 \text{ N}$$

แรงเนื่องจากสนามแม่เหล็กมีค่าเท่ากับ 637.832 N

3) ทอร์กที่เกิดขึ้น

$$T = Fr$$

$$= (637.832 \text{ N})(180 \text{ mm})$$

$$= 114809.76 \text{ N.mm}$$

4) กำลังงานสูงสุดที่สามารถส่งให้กับเพลลา

กำหนด

$$\text{แรงบิด} \quad T = 114809.76 \text{ N.mm}$$

$$\text{ความเร็วรอบของเพลลา } N_{max} = 1500 \text{ rpm}$$

วิธีการคำนวณ

จากสมการ

$$P_{max} = \frac{2\pi NT}{60}$$

$$= \frac{2\pi(1500\text{rpm})(114.80976\text{N.m})}{60}$$

$$= 18034.2 \text{ w}$$

ดังนั้นกำลังงานสูงสุดที่ส่งให้กับเพลลาคือ 18034.2 วัตต์

5) ความเร็วของใบพัด

กำหนด

$$\text{ความเร็วรอบของเพลลา} \quad N_{max} = 1500 \text{ rpm}$$

$$\text{ขนาดใบพัด} \quad \theta = 305 \text{ mm}$$

การคำนวณ

$$V = \omega r$$

$$= \frac{(2\pi N) \times r}{60}$$

$$= \left(\frac{2\pi(1500)(0.1525\text{m})}{60} \right)$$

$$= 23.955 \text{ m/s}$$

ความเร็วของใบพัดมีค่าเท่ากับ 23.955 m/s

6) แรงที่กระทำกับแบร์ริงในแนวนรัศมี

กำหนด

แปรงแบบ Single – row deepgroove มีค่า $K=3$ อนุกรมแปรง 02

$d = 11 \text{ mm}$ มีแรงพลวัตประเมิน $C = 3.58 \text{ KN}$ (จากตาราง)

$T = 114809.760 \text{ N.mm}$ r จุดฝั่งแม่เหล็กตัวใน = 180 mm

คำนวณ

หาค่าลึงของเพลลา P (กำลังงานสูงสุดที่ต้องการให้แปรงอันนี้ใช้งานได้)

$$P = \frac{T}{r}$$

$$= \frac{114809.760}{180}$$

$$= 637.832 \text{ N}$$

อายุการใช้งาน L_{10} เป็นจำนวนรอบ

$$L_{10} = \left(\frac{3.58}{0.638} \right)^3$$

$$= 176.679 \text{ mr}$$

จากสมการ

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^K$$

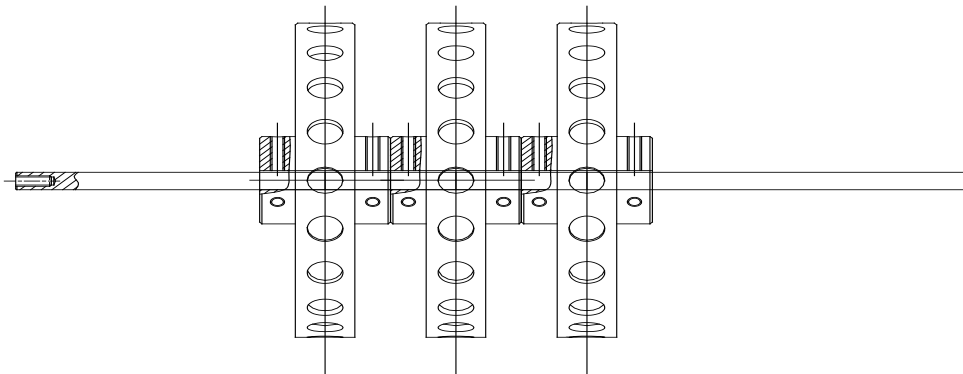
$$176.679 = \left(\frac{3.58}{P} \right)^3$$

$$P = 0.638 \text{ kN}$$

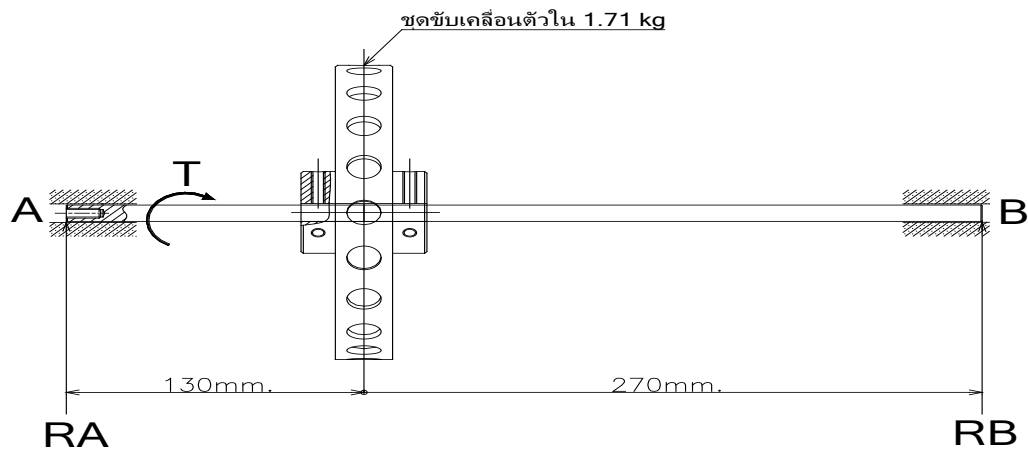
$$P = 638 \text{ N}$$

แรงที่กระทำกับเบร้งในแนวรัศมี มีค่าเท่ากับ 638 N

7) หาโมเมนต์ค้ำของโหลด



เนื่องจากเป็นแรงกระจายสม่ำเสมอ จึงสามารถรวมแรงเป็นจุดได้ดังนี้คือ



วิธีการคำนวณ

รวมเมนต์ที่ปลายจุด

A

$$\sum F_x = 0$$

$$0 = 400 R_B - 1.71(9.81)(130)$$

$$0 = 400 R_B - 2180.763$$

$$R_B = 5.452 \text{ N}$$

ดังนั้น โมเมนต์คัตสูงสุด

$$M = 5.452 \times 270$$

$$M = 955.519 \text{ N.mm}$$

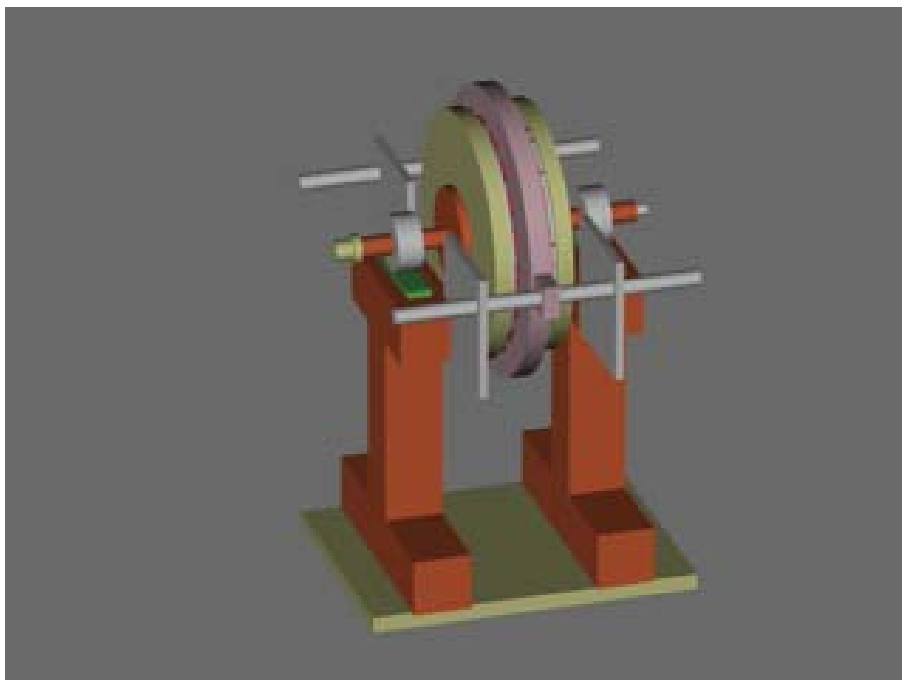
ดังนั้น โมเมนต์คัตสูงสุดเท่ากับ 1472.015 N.mm

จะเห็นว่า โมเมนต์คัตที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าแรงบิดที่เกิดขึ้น ดังนั้นชุดขับเคลื่อนตัวในจึงสามารถหมุนได้

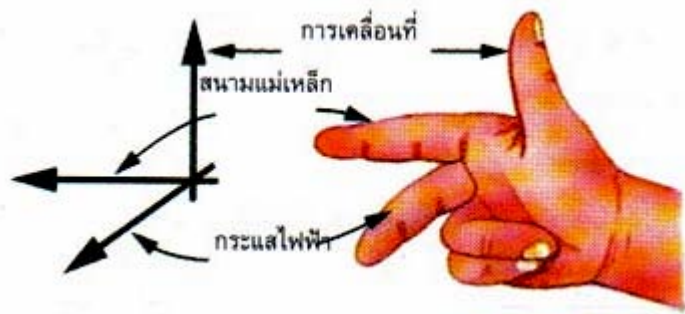
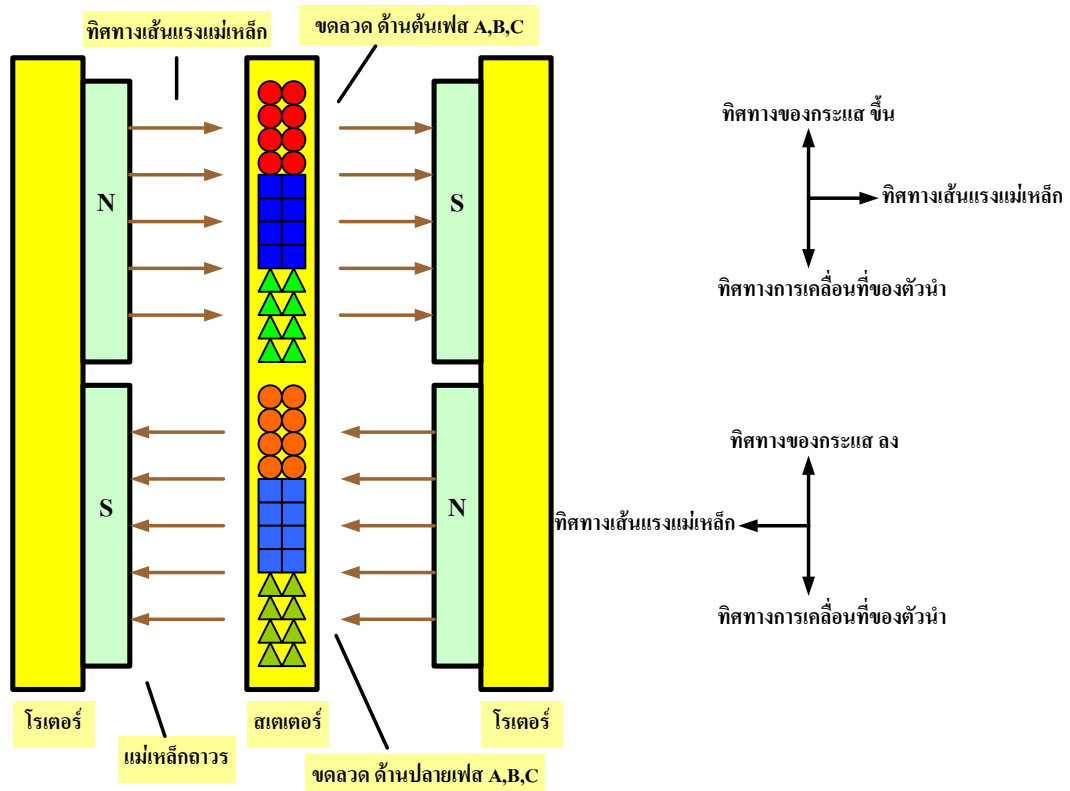
จากการศึกษาการทำงานของแม่เหล็กถาวรและมีการออกแบบชุดทดลองในเบื้องต้นนั้น ยังมีจุดบกพร่องอยู่ จึงได้มีการปรับปรุงแก้ไขออกแบบชุดเครื่องกำเนิดใหม่

3.2 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในการออกแบบจะเป็นขนาด 100 W เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรแบบเส้นแรงแม่เหล็กตามแกน ซึ่งมีลักษณะคล้ายแผ่นจาน โครงสร้างอย่างง่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดที่ออกแบบเบื้องต้น



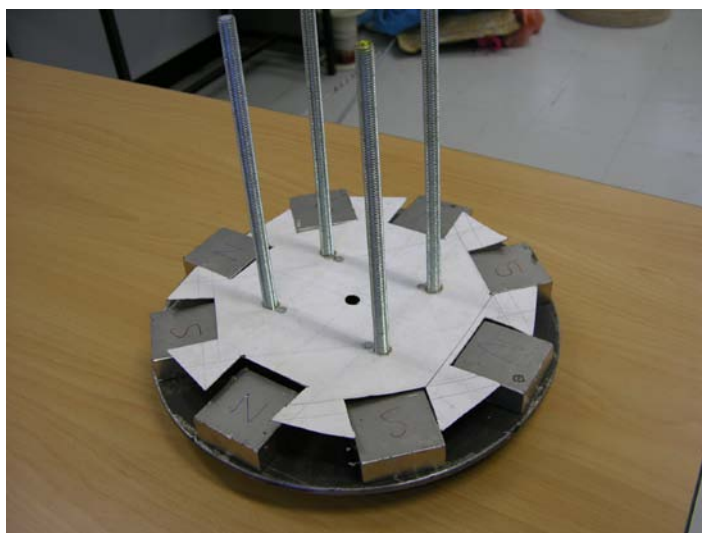
รูปที่ 3.3 ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก

มีส่วนประกอบหลักดังต่อไปนี้

1. ส่วนหมุน (Rotor) เป็นแผ่นเหล็กประกบ 2 ด้านแต่จะติดแม่เหล็กถาวรชนิด Rare Earth Magnet หรือ NdFeB
2. ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) เป็นแผ่นเรซินซึ่งเคลือบขดลวดอาร์เมเจอร์เพื่อให้แข็งตัวและเป็นแผ่น มีลักษณะเป็นวงกลมโดยขดลวดอาร์เมเจอร์จะอยู่ใน

3. ขดลวดอาร์เมเจอร์ ลักษณะการวางขดลวดจะวางแบบสองชั้นแบบพิชเต็ม ต้นและปลายของขดลวดเดียวกันจะพันห่างกัน 180 องศาไฟฟ้า จะมีขดลวด 3 เฟส คือ เฟส A ,เฟส B , เฟส C ขดลวดแต่ละเฟสจะพันห่างกัน 120 องศาไฟฟ้า

4. ขั้วแม่เหล็ก จะเป็นแม่เหล็กถาวร ที่ทำจากวัสดุที่ เรียกว่า NdFeB (Neodymium Iron Boron) อำนาจแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับความหนา จะเป็นสี่ขาๆชุบไว้ด้วย นิกเกิล Neodymium คือธาตุที่ 60 สัญลักษณ์ Nd อยู่ในกลุ่ม rare earth elements (lanthanides, lanthanoids, 6f-block) Neodymium magnet หรือที่เรียกเต็มๆว่า Neodymium-Iron-Boron magnet (NdFeB magnet) จัดเป็น rare earth magnet ชนิดหนึ่ง แม่เหล็กชนิดนี้เป็นแม่เหล็กถาวรที่มีกำลังสูงที่สุดที่รู้จักกันในปัจจุบัน



รูปที่ 3.4 การวางแม่เหล็กบนแผ่นดิสก์

3.3 การคำนวณค่าในส่วนต่างๆ

3.3.1 การคำนวณหาจำนวนขั้วแม่เหล็ก

$$\text{จากสมการ } N = \frac{120f}{\left(\frac{P}{2}\right)}$$

f เป็นความถี่ของระบบไฟฟ้าที่ต้องการ (Hz)

P เป็นจำนวนขั้วแม่เหล็ก

N เป็นความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (rpm)

จากการออกแบบนั้นกำหนดความเร็วรอบของมอเตอร์ที่พิกัดเท่ากับ 1500 รอบ/นาที ที่ ความถี่ 50(Hz) ดังนั้น

$$P = \left(\frac{(120) \cdot (50) (2)}{1500} \right) = 8 \text{ ขั้ว}$$

3.3.2 การคำนวณหาแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำและเส้นแรงแม่เหล็ก

เครื่องกำเนิดถูกออกแบบเป็นแบบแผ่นดิสก์ แม่เหล็กถาวรวางบนแผ่นดิสก์ ลักษณะการวางจะวางเป็นคู่สองด้าน สลับเหนือ-ใต้ ดังรูป เครื่องกำเนิดถูกออกแบบให้มีขั้วแม่เหล็ก 8 ขั้วอัตราความเร็วรอบที่ 1500 รอบต่อนาที ความถี่ 50 Hz ขดลวดอาร์เมเจอร์จะมี 2 ชุดต่อ 1 ขั้วแม่เหล็ก (เนื่องจากเป็นระบบ 3 เฟส) ทำให้มีจำนวนขดลวดทั้งหมด 6 ชุด (2 ชุดต่อ 1 เฟส)

จากสมการแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ

$$E_{\text{rms}} = \frac{2\phi}{\sqrt{2}} N \cdot f \cdot \phi_{\text{max}} \cdot \frac{N_s}{N_{\text{ph}}}$$

E_{rms} คือ ค่าแรงดันต่อเฟสขาเข้า

N คือ จำนวนรอบของขดลวดอาร์เมเจอร์ต่อชุด (รอบ)

f คือ ค่าความถี่ของแรงดันในระบบไฟฟ้าที่ความเร็วรอบพิกัด

ϕ_{max} คือ ค่าเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดในช่องว่างอากาศ

N_s คือ จำนวนชุดขดลวดอาร์เมเจอร์ทั้งหมดในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

N_{ph} คือ จำนวนเฟสของระบบไฟฟ้า(ระบบ 3 เฟส)

ทั้งนี้ค่า ϕ_{max} จะขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดของขั้วแม่เหล็ก $A_{\text{magn}} (\text{m}^2)$ และความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก $B_{\text{max}} (\text{Wb}/\text{m}^2)$ ซึ่งแม่เหล็กที่ใช้มีขนาด 25x40x10 mm. ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กเท่ากับ 4500 Gauss

$$\text{จาก } 1 \text{ Gauss} = 10^{-4} \text{ T (Tesla)} = 10^{-4} \text{ Weber}/\text{m}^2$$

จาก $1000 \text{ G} = 1 \text{ Tesla}$

$$1 \text{ Tesla} = 1 \text{ wb/m}^2$$

$$\text{ดังนั้น } 4500 \text{ Gauss} = 0.45 \text{ Tesla} = 0.45 \text{ wb/m}^2$$

$$\phi_{\max} = B_{\text{coil}} (\text{Wb/m}^2) \cdot A_{\text{magn}} (\text{m}^2)$$

พื้นที่ของแม่เหล็ก

$$A_{\text{magn}} = 25 \times 40 \text{ mm} = 1000 \text{ mm}^2 = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

อย่างไรก็ตามค่า B_{\max} (Wb/m^2) ที่ขดลวดได้รับขึ้นอยู่กับ ความหนาของขั้วแม่เหล็กและ ระยะห่างของ Air gap ระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์ ตามสมการ

$$B_{\max} = B_r \cdot \left(\frac{L_m}{L_m + \square} \right)$$

$$B_{\max} = (0.45 \text{ Wb/m}^2) \left(\frac{10}{10 + 5} \right)$$

$$= 0.3 \text{ Wb/m}^2$$

เมื่อ B_{\max} เป็นความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็กในช่องว่างอากาศ

B_r เป็นความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็ก

L_m เป็นความหนาของขั้วแม่เหล็ก (mm)

\square เป็นระยะห่างของ Air gap (mm)

ซึ่งค่าจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดนั้นๆ ได้รับจะเท่ากับ

$$\phi_{\max} = B_{\max} (\text{Wb/m}^2) \cdot A_{\text{magn}} (\text{m}^2)$$

$$\phi_{\max} = 0.3 (\text{Wb/m}^2) \cdot (1 \times 10^{-3}) (\text{m}^2) = 3 \times 10^{-4} (\text{Wb})$$

ดังนั้น ค่าจำนวนรอบของแต่ละขดลวดจะสามารถคำนวณได้จาก

$$E_{\text{rms}} = \frac{2 \square}{\sqrt{2}} N \cdot f \cdot \phi_{\max} \cdot \frac{N_s}{N_{\text{ph}}}$$

$$N = \frac{(E_{\text{rms}} \cdot \sqrt{2})}{(2 \square \cdot f) (\phi_{\max}) (N)}$$

$$= \frac{220}{4.44 \times 50 \times (3 \times 10^{-4}) \times 20} = 165 \text{ รอบ}$$

3.4 การออกแบบ Airfoil

ในการออกแบบเลือก Airfoil NACA 4415 โดยกำหนด Re มีค่าเท่ากับ 3.0×10^5

จาก
$$Re = \frac{\rho U c}{\mu}$$

เมื่อ Re คือ Reynolds number

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศมีค่าเท่ากับ 1.225 kg/m^3

U คือ ความเร็วลมที่ผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดเท่ากับ 9 m/s

c คือ ความกว้างของใบพัด

μ คือ ความหนืดของอากาศที่อุณหภูมิเท่ากับ 25°C เท่ากับ $1.5 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$

ดังนั้น
$$3 \times 10^5 = \frac{1.225 \times 9 \times c}{1.5 \times 10^{-5}}$$

$$c = 0.4 \text{ m.}$$

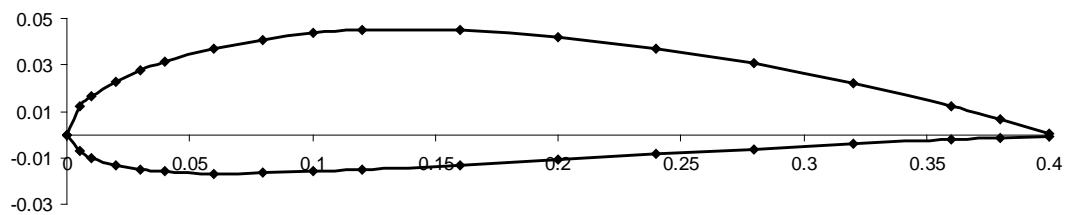
จากตารางแสดงพิกัดของ Airfoil NACA 4415 ซึ่งแสดงเป็น % ต่อความยาวของ chord (c) ในการออกแบบต้องเปลี่ยนความยาวของ chord จาก 100%ให้อยู่ในรูป 0.4 เมตร ดังแสดงในตาราง

ตาราง 3.2 แสดงพิกัดที่เปลี่ยนความยาวของ Chord จาก 100%ให้อยู่ในรูป 0.4 เมตร

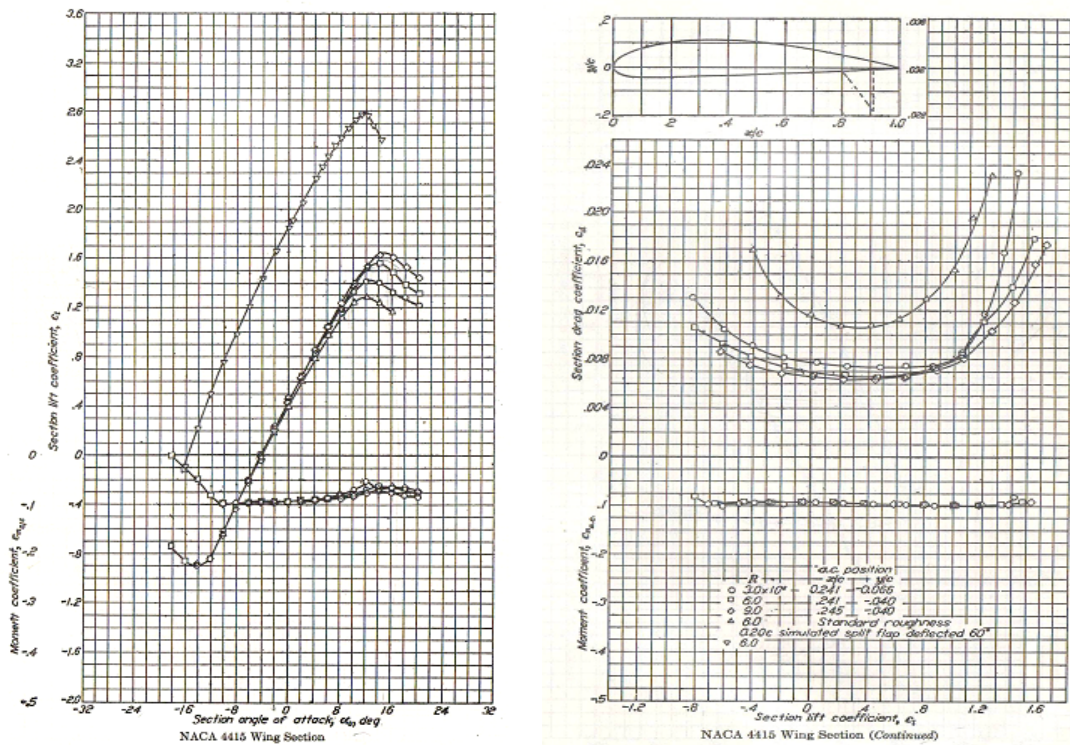
NACA 4415

100%				0.4 m			
Upper surface		Lower surface		Upper surface		Lower surface	
station	ordinate	station	ordinate	station	ordinate	station	ordinate
0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	3.07	1.25	-1.79	0.005	0.01228	0.005	-0.00716

2.5	4.17	2.5	-2.48	0.01	0.01668	0.01	-0.00992
5	5.74	5	-3.27	0.02	0.02296	0.02	-0.01308
7.5	6.91	7.5	-3.71	0.03	0.02764	0.03	-0.01484
10	7.84	10	-3.98	0.04	0.03136	0.04	-0.01592
15	9.27	15	-4.18	0.06	0.03708	0.06	-0.01672
20	10.25	20	-4.15	0.08	0.041	0.08	-0.0166
25	10.92	25	-3.98	0.1	0.04368	0.1	-0.01592
30	11.25	30	-3.75	0.12	0.045	0.12	-0.015
40	11.25	40	-3.25	0.16	0.045	0.16	-0.013
50	10.53	50	-2.72	0.2	0.04212	0.2	-0.01088
60	9.3	60	-2.14	0.24	0.0372	0.24	-0.00856
70	7.63	70	-1.55	0.28	0.03052	0.28	-0.0062
80	5.55	80	-1.03	0.32	0.0222	0.32	-0.00412
90	3.08	90	-0.57	0.36	0.01232	0.36	-0.00228
95	1.67	95	-0.36	0.38	0.00668	0.38	-0.00144
100	0.16	100	-0.16	0.4	0.00064	0.4	-0.00064



รูปที่ 3.5 แสดง Airfoil ที่ได้จากการคำนวณ



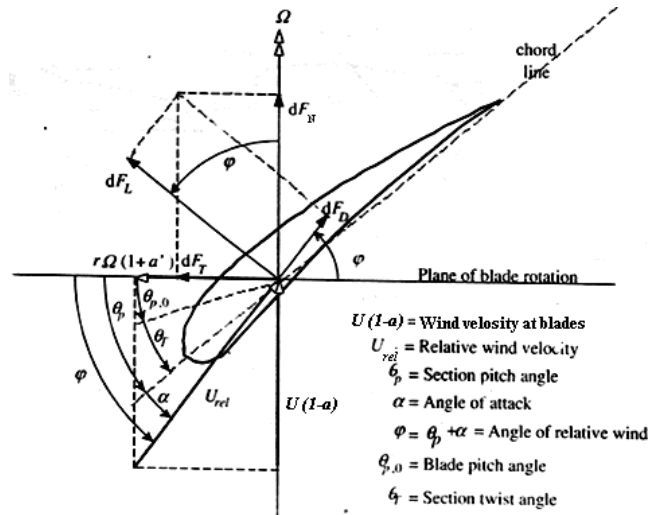
รูปที่ 3.6 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงหน่วงของ Airfoil NACA 4415

(Theory of wing sections by Ira H. Abbot and Albert E. Von Doenhoff)

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re และ α ที่ $Re = 3 \times 10^5$ และมุม Angle of attack (α) = 8° จะได้สัมประสิทธิ์แรงยก $C_L = 1.2$

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re และ C_L ที่ $Re = 3 \times 10^5$ และ $C_L = 1.2$ จะได้สัมประสิทธิ์แรงหน่วง $C_D = 0.012$

การหาค่าของแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในใบกังหัน



รูปที่ 3.7 แสดงแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบน Section ของ Airfoil
 (Wind Energy Explained J.F.Manwell J.G.Mcgowan A.L.Rogers)

เมื่อพิจารณาจากรูปจะได้ว่า

$$\varphi = \theta_p + \alpha$$

โดยที่ θ_p คือ มุมบิดของใบกังหันซึ่งในการออกแบบกำหนดให้มีค่า 11 องศา

α คือ มุมปะทะซึ่งจากกราฟเลือกไว้ที่ 8 องศา

ดังนั้น $\varphi = 19^\circ$

เมื่อทำการพิจารณาในส่วนของแรงจะได้ว่า

$$F_T = F_L \sin \varphi - F_D \cos \varphi$$

$$F_N = F_L \cos \varphi + F_D \sin \varphi$$

$$F_R = \sqrt{F_L^2 + F_D^2}$$

จากสมการ $F_L = C_L \frac{1}{2} \rho A U^2$

เมื่อ A คือ พื้นที่ภาพฉายของใบกังหัน 1 ใบซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.88 m^2

U คือ ความเร็วลมที่ผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดมีค่าเท่ากับ 9 m/s

แทนค่า $F_L = 1.2 \times \frac{1}{2} \times 1.225 \times 0.88 \times 9^2$

ดังนั้น $F_L = 52.4 \text{ N.}$

จากสมการ $F_D = C_D \frac{1}{2} \rho A U^2$
 $F_D = 0.012 \times \frac{1}{2} \times 1.225 \times 0.88 \times 9^2$

ดังนั้น $F_D = 0.52 \text{ N.}$

แรงในแนวเชิงเส้น $F_T = 52.4 \sin 19^\circ - 0.52 \cos 19^\circ$
 $F_T = 16.568 \text{ N.}$

แรงในแนวตั้งฉาก $F_N = 52.4 \cos 19^\circ + 0.52 \sin 19^\circ$
 $F_N = 49.714 \text{ N.}$

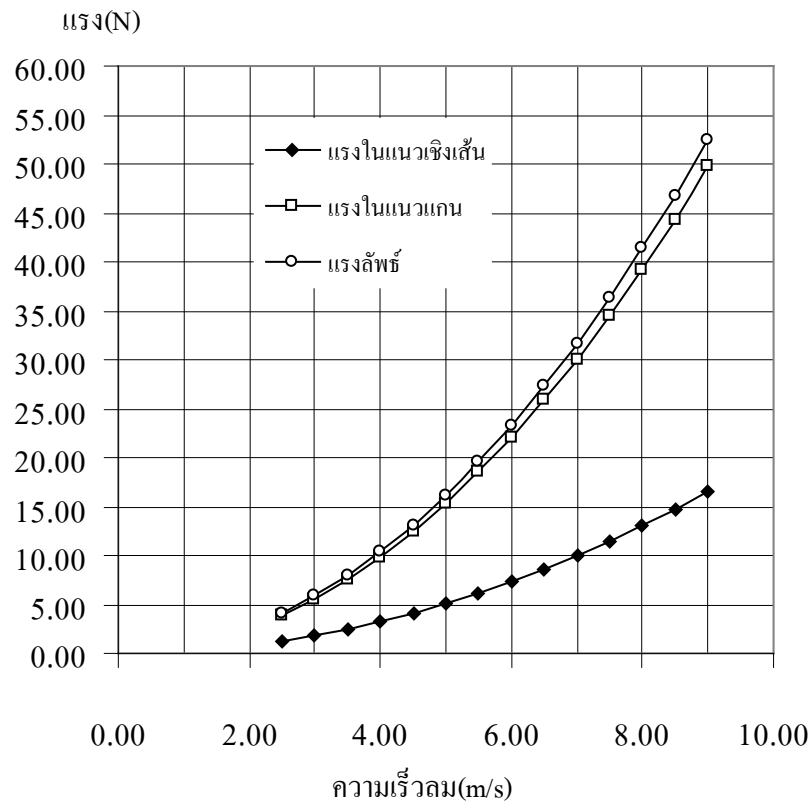
แรงลัพธ์ $F_R = \sqrt{52.4^2 + 0.52^2}$
 $F_R = 52.403 \text{ N.}$

ตาราง 3.3 แสดงค่า F_L, F_D, F_T, F_N และ F_R ที่ความเร็วลม (U) ต่าง ๆ

ความเร็วลม U (m/s)	แรงยก F_L (N.)	แรงหน่วง F_D (N.)	แรงในแนวเชิงเส้น F_T (N.)	แรงในแนวแกน F_N (N.)	แรงลัพธ์ F_R (N.)
2.50	4.04	0.04	1.28	3.84	4.04
3.00	5.82	0.06	1.84	5.52	5.82
3.50	7.92	0.08	2.50	7.52	7.92
4.00	10.35	0.10	3.27	9.82	10.35
4.50	13.10	0.13	4.14	12.43	13.10
5.00	16.17	0.16	5.11	15.34	16.17
5.50	19.57	0.20	6.18	18.56	19.57
6.00	23.28	0.23	7.36	22.09	23.29
6.50	27.33	0.27	8.64	25.93	27.33
7.00	31.69	0.32	10.02	30.07	31.69

7.50	36.38	0.36	11.50	34.52	36.38
8.00	41.40	0.41	13.09	39.27	41.40
8.50	46.73	0.47	14.77	44.34	46.73
9.00	52.39	0.52	16.56	49.71	52.39

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม แรงในแนวเชิงเส้น
แรงในแนวแกน และแรงลัพท์ที่เกิดขึ้นในใบกังหัน



จากกราฟจะสังเกตเห็นได้ว่า กำลังไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตออกมาได้สูงสุดจะอยู่ที่ช่วงของความเร็วลมประมาณ 9 - 10 m/s โดยที่กังหันสามารถเริ่มผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาที่ความเร็วลม 3 m/s ในขณะที่เมื่อลมมีความเร็วเพิ่มสูงขึ้นถึงจุดหนึ่ง (มากกว่า 10 m/s) กำลังไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตออกมาจะค่อย ๆ ลดต่ำลงเนื่องจากประสิทธิภาพ (C_p) ของกังหันลมจะเริ่มลดลง ช่วงความเร็วลมตั้งแต่ 10 m/s ขึ้นไปนั้น กราฟจะเริ่มตกลงเรื่อย ๆ เนื่องจากจะเกิดแรงหน่วงเพิ่มมากขึ้นและขณะเดียวกันแรงยกจะลดลง

การคำนวณหาขนาดของใบกังหัน

ในการคำนวณจะคิดที่กำลังสูงสุดที่กังหันผลิตออกมาได้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 500 วัตต์ ที่ความเร็วลม 9 เมตรต่อวินาที (m/s) และความหนาแน่นของอากาศมีค่าเท่ากับ 1.225 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)

จากสมการ
$$C_p = \frac{P_w}{P}$$

เมื่อ C_p คือ สัมประสิทธิ์กำลังมีค่าเท่ากับ 0.3
 P_w คือ กำลังสูงสุดที่กังหันผลิตออกมาได้มีค่าเท่ากับ 500 วัตต์
 P คือ กำลังงานที่ได้จากลม

ดังนั้น
$$0.3 = \frac{500}{P}$$

$$P = \frac{500}{0.3} = 1666.67 \text{ Watt}$$

จากสมการ
 แทนค่า
$$P = \frac{1}{2} \rho A U^3$$

$$1666.67 = \frac{1}{2} (1.225) A (9)^3$$

$$A = \frac{1666.67 \times 2}{1.225 \times 9^3}$$

ดังนั้นพื้นที่กวาด (Sweep area) เท่ากับ $A = 3.7 \text{ m}^2$

จากสมการการหาพื้นที่
 แทนค่า
$$A = \frac{\pi}{4} d^2$$

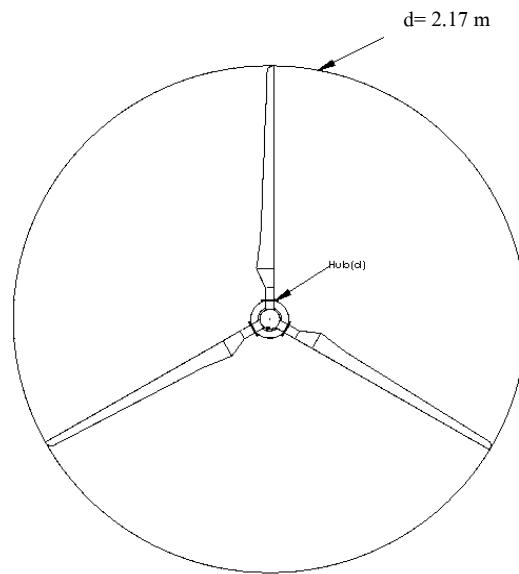
$$3.7 = \frac{\pi}{4} d^2$$

$$d^2 = \frac{3.7 \times 4}{\pi}$$

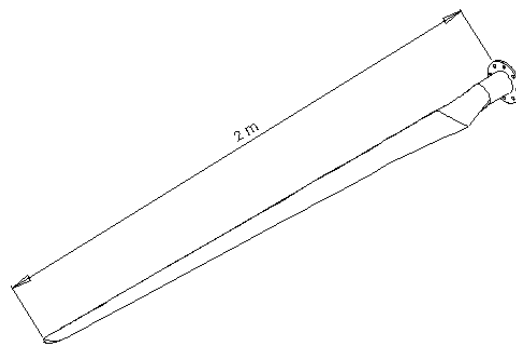
$$d = \sqrt{\frac{3.7 \times 4}{\pi}}$$

$$d = 2.17 \text{ m.}$$

ดังนั้นเส้นผ่านศูนย์กลางใบกังหันเท่ากับ 2.17 เมตร



รูปที่ 3.8 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางของใบกังหัน



รูปที่ 3.9 แสดงความยาวของใบกังหัน