

บทที่ 3

การออกแบบ

ในบทที่ 2 เป็นการกล่าวถึงเนื้อหาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะถูกนำมาใช้ประกอบในการออกแบบและพัฒนาชุดมอเตอร์ไฟฟ้า ในบทที่ 3 นี้ ซึ่งจะกล่าวถึงการออกแบบ การคำนวณค่าต่างๆ จำนวนรอบในการพันขดลวด การวางขดลวด การคำนวณขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาดของเบตเตอรี่ ซึ่งได้มีการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างชุดมอเตอร์ไฟฟ้ามาใช้งานในรูปแบบต่างๆ เพื่อสร้างเป็นต้นแบบและนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

3.1 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงานเริ่มต้นโครงการ เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2554 และสิ้นสุดภายใน เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ.2556

ตารางที่ 3.1 แผนภูมิ Gantt chart แสดงระยะเวลาแผนการดำเนินงานโดยรวม

ขั้นตอนการดำเนินงาน	เดือนที่								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับโครงการ	←-----→								
ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง			←-----→						
ศึกษาข้อมูลออกแบบและสร้างชุดมอเตอร์ไฟฟ้าในล้อ(In-Wheel Motor)					←-----→				
ทดสอบประสิทธิภาพของโครงการ					←-----→				
ตรวจสอบหาข้อผิดพลาดในการทำงานและบันทึกผล							←-----→		
จัดทำปฏิญานិพนธ์ รายงานและสรุปผล								←-----→	

----- แสดงแผนการดำเนินงาน

————— แสดงการดำเนินงานจริง

3.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.3 การออกแบบคูลมมอเตอร์ไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้ ได้มีการพัฒนาหลักการการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ามาใช้เป็นชุดคูลมมอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนยานยนต์ โดยนำหลักการการทำงานของมอเตอร์ของพัดลมมาใช้และปรับปรุงพัฒนาเป็นคูลมมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ (In-Wheel Motor) โดยใช้การขับเคลื่อนแบบเหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยได้นำโรเตอร์และสเตเตอร์ของพัดลมมาประยุกต์ใช้ ในงานวิจัยครั้งนี้ โดยมีข้อมูลจำเพาะของมอเตอร์พัดลม ที่นำมาพัฒนาดังนี้

พิกัดของมอเตอร์พัดลมที่นำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัย คือ

- แรงดันไฟฟ้า (Voltage) : $V = 220 \text{ V}$
- กระแสไฟฟ้า (Ampere) : $I = 0.41 \text{ A}$
- กำลังไฟฟ้า (Power) : $P = 85 \text{ W}$
- ความถี่ (Supply frequency) : $f = 50 \text{ Hz}$
- จำนวนเฟส (Number of phase) : $m = 1$

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลจำเพาะของตัวมอเตอร์พัดลมที่นำมาประยุกต์และพัฒนาเป็นคูลมมอเตอร์

ข้อมูลจำเพาะ	ค่าที่ได้
1. จำนวน โพล (Pole)	18
2. เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกสเตเตอร์ (mm)	160
3. ความยาวแกนสเตเตอร์ (mm)	24
4. ระยะช่องอากาศ (mm)	0.25
5. จำนวนสล๊อต	36
6. จำนวนตัวนำต่อสล๊อต	520
7. ขนาดของลวด	ลวดเบอร์ 30 SWG
8. จำนวนเฟส	1

จากพิกัดต่างๆของมอเตอร์พัดลมที่นำมาปรับปรุง ทำให้สามารถนำมาออกแบบคูลมมอเตอร์ไฟฟ้า โดยใช้โรเตอร์และสเตเตอร์ของเดิมที่จากเฟสเดียวนำมาแปลงเป็น 3 เฟส จึงเลือกใช้กระแส 0.38 A ในการออกแบบที่ใกล้เคียงกับพิกัดกระแสของเดิม

กำหนดข้อมูลจำเพาะเบื้องต้นที่ต้องทราบก่อนการคำนวณ โดยข้อมูลจำเพาะที่จะทำการวิจัยและศึกษา ดังนี้

- พิกัดกำลัง (Rate power) : $P_n=300$ W
- ความเร็วซิงโครนัส (Synchronous speed) : $n_s[\text{rpm}]= 1,000$ rpm
- ความต่างศักย์แหล่งจ่าย (Line supply voltage) : $V_i=380$ V_{L-L}
- ความถี่ (Supply frequency) : $f_i= 50$ Hz
- จำนวนเฟส (Number of phase) : $m = 3$
- การเชื่อมต่อ (Phase connection) : serie-star

3.3.1 การกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสเตเตอร์

ในการวิจัยนี้ ใช้สเตเตอร์ของพัดลม ที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของสเตเตอร์ คือ

$$D_{is} = 160 \text{ mm.}$$

3.3.2 การกำหนดขนาดความยาวแกนของสเตเตอร์

การใช้โรเตอร์ของพัดลม มาใช้ทำให้ได้ความยาวแกนเหล็กสเตเตอร์ คือ

$$L = 24 \text{ mm.}$$

3.3.3 การคำนวณหาโพลพิทซ์

การคำนวณโพลพิทซ์ สามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$\tau = \frac{\pi D_{is}}{2p_l} \quad (3.1)$$

$$\tau = \frac{\pi \times 0.16}{2 \times 3} = 0.08 \text{ m}$$

3.3.4 การคำนวณหาสล็อตพิทช์

การคำนวณหาสล็อตพิทช์ สามารถหาได้จากสมการ

$$\tau_s = \frac{\tau}{3q} \quad (3.2)$$

$$\tau_s = \frac{0.08}{3 \times 1}$$

$$= 0.02 \text{ m}$$

ดังนั้น ระยะช่องอากาศ (g) หาได้จาก

$$\text{ถ้า สำหรับ } 2p_l \geq 2 \quad g = (0.1 + 0.02 \cdot \sqrt[3]{P_n}) \cdot 10^{-3} = 0.25 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (3.3)$$

3.3.5 การคำนวณหาจำนวนสล็อตในสเตเตอร์

การคำนวณหาจำนวนสล็อตในสเตเตอร์ สามารถหาได้จากสมการ

$$N_s = 2p_l q m \quad (3.4)$$

$$N_s = 2 \times 3 \times 2 \times 3$$

$$\text{ดังนั้น} \quad = 36 \text{ Slot}$$

3.3.6 การคำนวณหามุมทางไฟฟ้า (Electrical angle : α_{ec})

การคำนวณมุมทางไฟฟ้า สามารถหาได้จากสมการ

$$\alpha_{ec} = \frac{2\pi p_l}{N_s} \quad (3.5)$$

$$\alpha_{ec} = \frac{2 \times \pi \times 3}{36}$$

$$= \frac{\pi}{6}$$

3.3.7 การคำนวณหาค่ากระแสฟักัด (Rate current : I_{in})

การคำนวณหากระแสฟักัด สามารถหาได้จากสมการ

$$I_{in} = \frac{P_n}{\eta_n \cos \varphi_n \sqrt{3} V_1} \quad (3.6)$$

$$I_{in} = \frac{300}{0.8 \times 0.8 \times \sqrt{3} \times 380} = 0.71 \text{ A}$$

เนื่องจากฟักัดกระแสมอเตอร์พัฒลม มีค่าเท่ากับ 0.41 A ดังนั้น ถ้าทำการเพิ่มกระแสขาเข้าเป็น 0.71 A (กำหนดค่าตัวประกอบกำลังและประสิทธิภาพที่คาดหมายไว้เป็น 0.8) อาจทำให้มอเตอร์เกิดความเสียหายจากกระแสกระชาก Starting Current รวมทั้งเมื่อมีโหลดเพิ่มขึ้นจะทำให้กระแสเพิ่มสูงขึ้น เป็นผลมาจากกระแสลดยจุดอ้อมตัวของฟลักซ์แม่เหล็ก จึงเลือกใช้กระแสขาเข้าที่ 0.41 A เท่ากับของมอเตอร์พัฒลมเพดานในการแปลงเป็นไฟฟ้า 3 เฟส เพื่อป้องกันมอเตอร์เกิดความเสียหายจากกระแสที่สูงเกิน

ดังนั้นฟักัดกำลัง (Rate power) จะได้

$$P_n = \sqrt{3} V_1 I_{in} \eta_n \cos \varphi_n \quad (3.7)$$

$$= \sqrt{3} \times 380 \times 0.41 \times 0.8 \times 0.8$$

$$P_n = 173 \text{ W}$$

ซึ่งอยู่ในฟักัดกำลังของงานวิจัย คือไม่เกิน 350 W ที่ใช้ในการออกแบบทำงานในครั้งนี้

3.4 การออกแบบการพันขดล่อมอเตอร์ไฟฟ้า ของมอเตอร์ 3 เฟส 6 ขั้ว 36 สล็อต

ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้ออกแบบขดล่อมอเตอร์ไฟฟ้า เป็นแบบมอเตอร์ 3 เฟส ในการขับเคลื่อน โดยมีแหล่งกำลังไฟฟ้าจากชุดแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 2 ตัว แล้วทำการแปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เพื่อควบคุมการทำงานของขดล่อมอเตอร์ไฟฟ้าต่อไป โดยมีการคำนวณค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในระบบบดังนี้

3.4.1 การคำนวณหาระยะห่างระหว่างเฟส

$$S_{120^\circ} = 120^\circ \frac{S_s}{360^\circ P_\omega} = \frac{S_s}{3P_\omega} \quad (3.8)$$

$$S_{120^\circ} = 4 \text{ สล็อต}$$

3.4.2 การคำนวณหาความกว้างของขดลวด

$$Y_s = Y_p \pm K \quad (3.9)$$

$$Y_s < Y_p$$

$$Y_s = 5$$

เนื่องจากเลือกใช้การพันแบบแลป (Lap-Winding) ชั้นเดียว แบบ Short Pitch

$$Y_s = 5 : 1 - 6$$

3.4.3 การคำนวณหาจำนวนกลุ่มของขดลวด

$$g = (m \cdot P) / 2 \quad (3.10)$$

$$g = 9$$

3.4.4 การคำนวณหาจำนวนขดของขดลวด

$$C = S_s / 2 \quad (3.11)$$

$$C = 18$$

3.4.5 การคำนวณหาจำนวนขดของขดลวดต่อกลุ่ม

$$C_g = \frac{C}{g} \quad (3.12)$$

$$C_g = 2$$

3.4.6 การคำนวณหาจำนวนขดของขดลวดต่อเฟส

$$C_m = C_1 / m \quad (3.13)$$

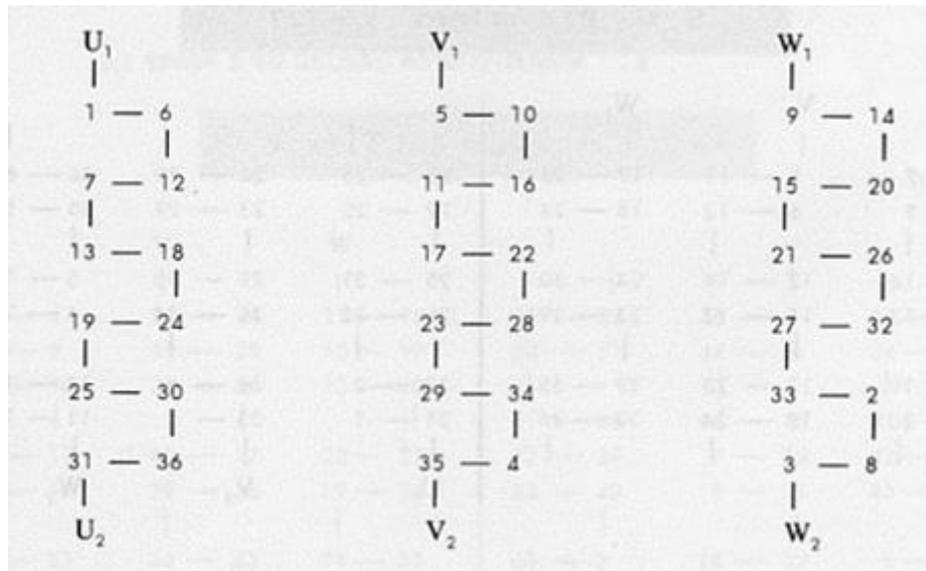
$$C_m = 6$$

3.5 การพันขดลวดของชุดมอเตอร์ไฟฟ้า แบบเหนี่ยวนำ 3 เฟส

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การพันขดลวดที่เป็นแบบแลป (Lap-Winding) ชั้นเดียว แบบ Short Pitch $Y_s = 5$ ที่ได้เลือกใช้การพันแบบนี้เพราะว่าเป็นการพันที่ประหยัดพื้นที่ร่องสลอตและลวดที่ใช้พันน้อยกว่าการพันแบบแลป 2 ชั้น รูปคลื่นสัญญาณของแรงดันจะเป็นคลื่น Sine และสามารถลดสัญญาณ Harmonics ได้ดี

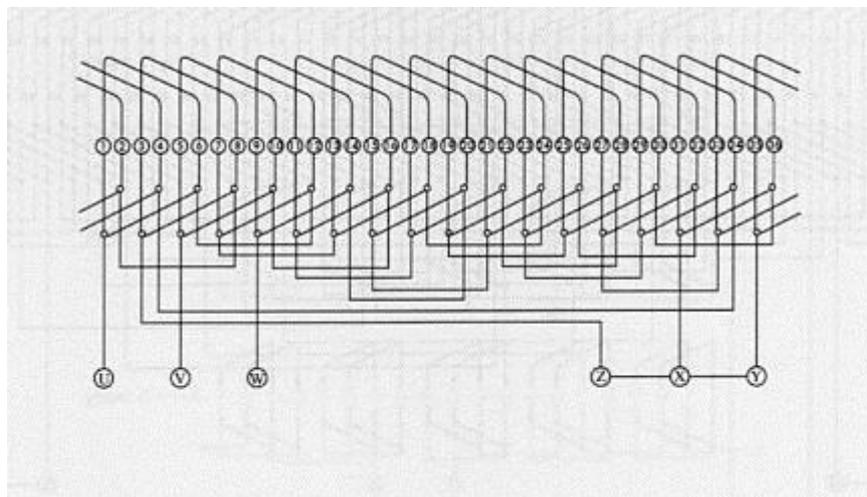
สามารถแสดงแบบการพันขดลวดสเตเตอร์มอเตอร์ 3 เฟส 6 ขั้ว 36 สลอต ดังรูปที่ 3.2

$$S : 36 , P : 6 , 1 \text{ Layer} , y_s = 1:6$$



รูปที่ 3.2 การพันขดลวดสเตเตอร์มอเตอร์ 3 เฟส 6 ขั้ว 36 สลอต

S : 36 , P : 6 , 1 Layer , $y_s = 1:6$ วงจรสตาร์ : Y



รูปที่ 3.3 ไดอะแกรมแสดงการพันขดลวดสเตเตอร์มอเตอร์ 3 เฟส 6 ขั้ว 36 สลอต

ขั้วแม่เหล็ก : P = 6 (ขั้ว) $S_s = 36$: $y_s = 1:6$

3.5.1 การคำนวณหาจำนวนตัวนำต่อสล็อต

โดยคำนวณหาค่าเส้นแรงแม่เหล็ก/ขั้ว (ϕ) จากสมการแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (E_{ph})

$$E_{ph} = 4.44K_c K_d f \phi T \quad (3.14)$$

จากข้อมูลจำเพาะของมอเตอร์พัดลมเพดานในตาราง 3-2 และพันขดลวดแบบแบบแลป (Lap-Winding) ชั้นเดียว แบบ Full Pitch ตัวประกอบระยะขดลวด (K_c) จะได้

$$K_c = 1 \text{ เมื่อระยะ Pitch เต็ม}$$

คำนวณหาค่าตัวประกอบกระจาย (K_d) โดยหาจำนวนสล็อตต่อขั้ว/เฟส (m)

$$m = 36 / (18 \times 1)$$

$$m = 2$$

คำนวณหาค่ามุมระหว่างสล็อต (β)

$$\beta = 180^\circ / (36/18)$$

$$\beta = 90^\circ$$

ดังนั้นคำนวณหาค่าตัวประกอบกระจาย (K_d)

$$K_d = \frac{(\sin m\beta/2)}{(m\sin \beta/2)} \quad (3.15)$$

$$= \frac{(\sin 2 \times 90/2)}{(2\sin 90/2)}$$

$$K_d = 0.707$$

จำนวนตัวนำ/เฟส (T) เท่ากับ $T = \frac{Z}{2}$ เมื่อ Z เท่ากับจำนวนสลอต \times จำนวนขดลวด/
สลอต/เฟสจะได้

$$Z = 36 \times 520 / 1$$

$$Z = 18720 \text{ ตัวนำ}; T = \frac{Z}{2}$$

$$T = 9360 \text{ รอบ}$$

ดังนั้นค่าเส้นแรงแม่เหล็ก/ขั้ว (ϕ) จากสมการ 3.14

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{E_{ph}}{4.44 K_c K_d f T} \\ &= \frac{220}{4.44 \times 1 \times 0.707 \times 50 \times 9360} \end{aligned}$$

$$\phi = 1.498 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

เมื่อคำนวณได้หาค่าเส้นแรงแม่เหล็ก/ขั้ว (ϕ) ของมอเตอร์พัฒนาตามแทนใน
สมการแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ที่ออกแบบใหม่ เพื่อหาจำนวนตัวนำต่อ
เฟส (T) จากสมการ

$$E_{ph} = 4.44 K_c K_d f \phi T$$

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส พันขดลวดแบบแลป (Lap-Winding) ชั้นเดียวแบบ Short
Pitch คำนวณหาค่าตัวประกอบระยะขดลวด (K_c)

เมื่อความแตกต่างระหว่างระยะขั้วแม่เหล็กกับระยะขดลวด (α)

$$\alpha = 180 \times (1 - 5/6)$$

$$\alpha = 30^\circ$$

ดังนั้นคำนวณหาค่าตัวประกอบระยะชิด (K_c)

$$K_c = \text{Cos}(\alpha / 2) \quad (3.16)$$

$$K_c = \text{Cos}(30/2)$$

$$= 0.966$$

คำนวณหาค่าตัวประกอบการกระจาย (K_d) เมื่อจำนวนสลอตต่อ/นิ้ว/เฟส (m) ได้

$$m = 36 / (6 \times 3)$$

$$m = 2$$

คำนวณหาค่ามุมระหว่างสลอต (β)

$$\beta = 180^\circ / (36/6)$$

$$\beta = 30^\circ$$

ดังนั้นค่าตัวประกอบการกระจาย (K_d) จะได้

$$K_d = \frac{(\text{Sin } 2 \times 90/2)}{(2 \text{Sin } 90/2)}$$

$$K_d = \frac{(\text{Sin } 2 \times 30/2)}{(2 \text{Sin } 30/2)} = 0.966$$

คำนวณหาค่าจำนวนรอบต่อเฟส (T) จากสมการ

$$T = \frac{E_{ph}}{4.44 K_c K_d f \phi}$$

$$T = \frac{220}{4.44 \times 0.966 \times 0.966 \times 50 \times 1.498 \times 10^{-4}}$$

$$T = 7089 \text{ รอบ}$$

เมื่อ $T = \frac{Z}{2}$ จะได้

$$Z = 14178 \text{ ตัวนำ}$$

ดังนั้นจำนวนตัวนำ/สลอต/เฟสจะเท่ากับ $Z /$ จำนวนสลอตจะได้

$$= 14178 / 36$$

จำนวนตัวนำ/สลอต/เฟส = 393 รอบ/สลอต

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ที่ออกแบบใช้การพันขดลวดแบบแลป (*Lap-Winding*)

ชั้นเดียว แบบ Short Pitch $Y_s = 5$ จะต้องใช้ลวดพัน 393 รอบ/สลอต

3.5.2 การคำนวณหาขนาดของขดลวด

จากการเลือกต้นแบบงานวิจัยที่ใช้มอเตอร์พัดลม มีขนาดกระแสเท่ากับ 0.41 A ใช้ขดลวดเบอร์ 30 SWG รองรับกระแสในช่วง 0.24-0.42 A มอเตอร์จะทำงานได้ปกติ ดูจากตารางการใช้ขดลวด 3.3

ตารางที่ 3.3 การเลือกใช้ลวดตามมาตรฐานของอังกฤษ (SWG)

ลวดเบอร์ SWG	เส้นผ่านศูนย์กลาง (Mil=10 ⁻³ inch)	พื้นที่หน้าตัดตารางนิ้ว	ความหนาแน่นของกระแส(Current Design)แอมแปร์ต่อตารางนิ้ว					
			2000 A	2500 A	3000 A	3500 A	4000 A	4500 A
25	20	0.0003142	0.63	0.79	0.94	1.1	1.25	1.41
26	18	0.0002545	0.51	0.64	0.76	0.89	1.01	1.14
27	16.4	0.0002113	0.42	0.53	0.53	0.74	0.85	0.95

28	14.8	0.0001720	0.34	0.43	0.52	0.6	0.69	0.77
29	13.6	0.0001453	0.29	0.36	0.44	0.51	0.58	0.65
30	12.4	0.0001208	0.24	0.3	0.36	0.42	0.48	0.54
31	11.6	0.0001057	0.21	0.26	0.32	0.37	0.42	0.48
32	10.8	0.0000916	0.18	0.23	0.28	0.32	0.37	0.41

เมื่อออกแบบใหม่เป็นชุดคอล์ยมอเตอร์ไฟฟ้า แบบมีการเหนี่ยวนำ 3 เฟส จึงใช้กระแสป้อนเข้าประมาณ 0.41 A จึงใช้ขดลวดขนาดใหญ่กว่าเดิมเพื่อรองรับพิกัดกระแสที่ 1 A เพื่อป้องกันกระแสกระชากในการ Star Motor โดยเลือกขดลวดเบอร์ 27 SWG รองรับกระแสในช่วง 0.42-0.74 A มอเตอร์จะทำงานได้ดี แต่ถ้าช่วง 0.85-0.95 A ค่า Current Density เกิน 4000 แอมแปร์ต่อตารางนิ้ว มอเตอร์จะร้อนมากอาจเกิดความเสียหายได้

3.6 สรุปการออกแบบชุดคอล์ยมอเตอร์ไฟฟ้า

ในการออกแบบชุดคอล์ยมอเตอร์ไฟฟ้าได้เปรียบเทียบผลการออกแบบที่คำนวณมาได้กับการทดลองการพันขดลวด ดังในตารางที่ 3.4 ตารางที่ 3.4 สรุปผลการออกแบบที่คำนวณได้และผลการทดลองพันขดลวด

ข้อมูล	การคำนวณ	การพันขดลวด
1. จำนวนขั้วแม่เหล็ก (Pole)	6	6
2. เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกสเตเตอร์ (mm)	160	160
3. ความยาวแกนสเตเตอร์ (mm)	24	24
4. ระยะช่องอากาศ (mm)	0.25	0.28
5. จำนวนสล็อต	36	36
6. จำนวนตัวนำต่อสล็อต	393	350
7. ขนาดของลวด	ลวดเบอร์ 27 SWG	ลวดเบอร์ 27 SWG
8. จำนวนเฟส	3	3
9. การเชื่อมต่อ	Serie-star, Serie-delta	Serie-star, Serie-delta

เมื่อออกแบบชุดมอเตอร์ไฟฟ้าได้แล้ว และนำข้อมูลเดิมของมอเตอร์พัดลมที่นำมาเป็นต้นแบบ มาเปรียบเทียบกับชุดมอเตอร์ไฟฟ้าที่ออกแบบมาดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 เปรียบเทียบผลการออกแบบชุดมอเตอร์ไฟฟ้า แบบเหนี่ยวนำ 3 เฟสกับมอเตอร์พัดลมที่นำมาใช้เป็นต้นแบบ

ข้อมูล	มอเตอร์พัดลมต้นแบบ	ชุดมอเตอร์ไฟฟ้า
1. จำนวนขั้วแม่เหล็ก (Pole)	18	6
2. เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกสเตเตอร์ (mm)	160	160
3. ความยาวแกนสเตเตอร์ (mm)	24	24
4. ระยะช่องอากาศ (mm)	0.28	0.28
5. จำนวนสลอต	36	36
6. จำนวนตัวนำต่อสลอต	520	350
7. ขนาดของลวด	เบอร์ 30 SWG	เบอร์ 27 SWG
8. จำนวนเฟส	1	3
9. การเชื่อมต่อ	-	Serie-star,Serie-delta

สรุปพิกัดของชุดมอเตอร์ไฟฟ้า ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 สรุปพิกัดของมอเตอร์

ข้อมูล	มอเตอร์พัดลมเพดาน	มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส
1. พิกัดแรงดันขาเข้า (V)	220	380
2. พิกัดกระแสขาเข้า (A)	0.41	0.
3. พิกัดกำลังขาออก (W)	85	173
4. ความเร็วรอบ (rpm)	280-330	1000
5. ความถี่ (Hz)	50	50
6. เส้นแรงแม่เหล็ก/ขั้ว (Wb)	1.498×10^{-4}	1.498×10^{-4}
7. แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ (V)	220	380
8. ตัวประกอบระยะขดลวด	1	0.707
9. ตัวประกอบการกระจาย	0.966	0.966

ผลจากการออกแบบชุดคู่มือมอเตอร์ไฟฟ้า แบบเหนี่ยวนำ 3 เฟสที่ได้จากการคำนวณกับการทดลองทำจริงและเปรียบเทียบกับมอเตอร์พัดลมต้นแบบสามารถพิจารณาได้ดังนี้

3.6.1 จำนวนโพล มีผลต่อความเร็วซิงโครนัสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งความเร็วซิงโครนัสที่จำนวนขั้วแม่เหล็ก 6 Pole จะอยู่ที่ 1000 rpm

3.6.2 เส้นผ่านศูนย์กลางของภายนอกสเตเตอร์ มีขนาดเท่ากับขนาดสเตเตอร์ของพัดลมเท่ากับ 160 mm

3.6.3 ความยาวแกนสเตเตอร์ มีขนาดเท่ากับความยาวแกนสเตเตอร์ของพัดลมเท่ากับ 24 mm ซึ่งความยาวแกนสเตเตอร์ผลต่อพื้นที่การส่งผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของมอเตอร์

3.6.4 ระยะช่องอากาศ จากการคำนวณได้ 0.25 mm กับระยะช่องอากาศของเดิมอยู่ 0.28 mm ซึ่งได้ค่าที่ใกล้เคียงกันระยะช่องอากาศที่แคบจะทำให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากสเตเตอร์ไปยังโรเตอร์มีความเข้มสูง

3.6.5 จำนวนสลอต จำนวนสลอตเท่ากับ 36 สลอต ที่ขั้วแม่เหล็ก 6 Pole สามารถคำนวณหาจำนวนสลอตจากสมการได้ลงตัวพอดี

3.6.6 จำนวนตัวนำต่อสลอต จากการคำนวณจำนวนตัวนำต่อสลอตได้ 393 รอบ/สลอต โดยคิดจากค่าเส้นแรงแม่เหล็ก/ขั้ว (ϕ) ของมอเตอร์พัดลมต้นแบบ (ที่มีจำนวนตัวนำต่อสลอตที่ 520 รอบ/สลอต) แต่ในการพันขดลวดจริงนั้น จะได้จำนวนตัวนำ/สลอตเท่ากับ 350 รอบ/สลอต เต็มร่องสลอตพอดีเป็นผลจากใช้สเตเตอร์ของมอเตอร์พัดลมต้นแบบ ซึ่งมีข้อจำกัดของระยะช่องสลอต ทำให้มีพื้นที่ที่จำกัดในการพันขดลวด

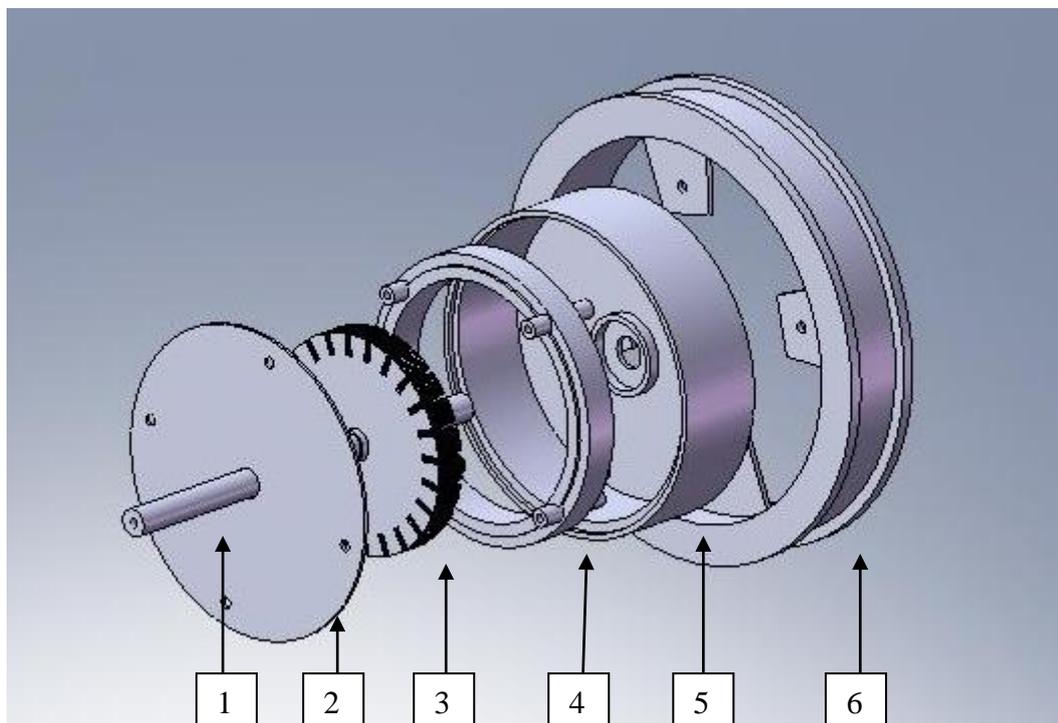
จึงเลือกพันขดลวดแบบแลป (Lap-Winding) ชั้นเดียว แบบ Short Pitch เพื่อประหยัดพื้นที่ร่องสลอต และการใช้ลวดที่ใหญ่กว่าเดิม โดยเลือกใช้ลวดเบอร์ 27 SWG จากของเดิมเบอร์ 30 SWG ทำให้จำนวนตัวนำต่อสลอตในการจากพันขดลวดจริงน้อยกว่าจำนวนตัวนำต่อสลอตที่ได้จากการคำนวณ

3.6.7 ขนาดของลวด เนื่องจากลวดที่ใช้พันมอเตอร์พัดลมต้นแบบ ใช้เบอร์ 30 SWG ที่พิกัดกระแส 0.41 A จึงเลือกใช้กระแสขาเข้าที่ 0.41 A สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำที่แปลงมาเป็น 3 เฟส เพื่อให้ได้ฟลักซ์แม่เหล็กใกล้เคียงของเดิม และใช้ลวดที่ใหญ่ขึ้นเพื่อรองรับกระแสที่มากขึ้นโดยเลือกใช้เบอร์ 27 SWG เพื่อรองรับกระแสกระชาก Star Motor และการเพิ่มโพลด์ที่จะทำให้กระแสเพิ่มสูงขึ้น

3.6.8 จำนวนเฟส มอเตอร์มอพัดลมต้นแบบ เป็นไฟเฟสเดียวออกแบบใหม่โดยแปลงมาเป็น 3 เฟส

3.5.9 การเชื่อมต่อ ใช้การเชื่อมต่อแบบ Serie-star และSerie-delta โดยทำการเดินสาย Lead จำนวน 6 เส้น เพื่อเปรียบเทียบผลของการเชื่อมต่อทั้ง 2 แบบ

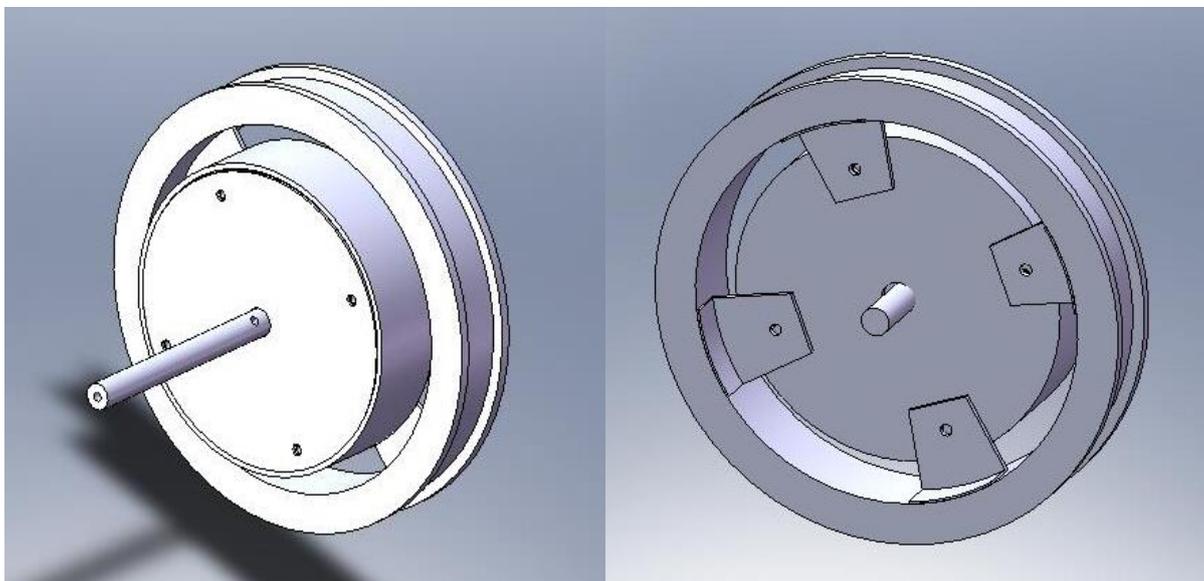
จากการนำมอเตอร์พัฒนต้นแบบมาเป็นต้นแบบในการออกแบบใหม่เป็นชุดคีมล้อมอเตอร์ไฟฟ้า (In-Wheel Motor) สามารถออกแบบโครงสร้างโดยใช้โปรแกรม AutoCAD เขียนได้ดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 3.4 ส่วนประกอบของคีมล้อมอเตอร์ไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรม AutoCAD

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| 1. เพลามอเตอร์ | 4. ตัวโรเตอร์ |
| 2. ฝาครอบมอเตอร์ด้านหน้า | 5. ฝาครอบมอเตอร์ด้านหลัง |
| 3. ตัวสเตเตอร์ | 6. วงล้อ |

แบบจำลองชุดมอเตอร์ไฟฟ้า(In-Wheel Motor) ใช้โปรแกรม AutoCAD



รูปที่ 3.5 ชุดมอเตอร์ไฟฟ้า ด้านหน้ากับด้านหลัง

3.7 การพัฒนาและสร้างชุดมอเตอร์ไฟฟ้า

สำหรับชุดมอเตอร์ไฟฟ้านั้น ได้นำมอเตอร์พัดลมไฟฟ้า โดยนำโรเตอร์และสเตเตอร์ของมอเตอร์พัดลมมาประยุกต์ใช้เป็นต้นแบบ ในการออกแบบให้สเตเตอร์อยู่ภายในและโรเตอร์อยู่ภายนอก

3.7.1 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างชุดมอเตอร์ไฟฟ้า

1. การกำหนดขนาดของชุดมอเตอร์ไฟฟ้าและข้อมูลสำคัญเพื่อประกอบการพัฒนาเครื่องยนต์เหี่ยวมา จากผลการคำนวณและรายละเอียดในข้างต้น มาใช้ในการออกแบบและสร้างชุดมอเตอร์ไฟฟ้า โดยใช้สเตเตอร์และโรเตอร์ของไฟฟ้ากระแสตรงมาใช้

2. การสร้างโครงคัมล้อมอเตอร์ไฟฟ้าที่เป็นส่วนของคัมล้อ



รูปที่ 3.6 รูปโครงคัมล้อมอเตอร์ไฟฟ้า

3. การพันขดลวดคัมล้อมอเตอร์ไฟฟ้าและประกอบมอเตอร์โดยนำสเตเตอร์ของไฟฟ้ากระแสตรงมาพันขดลวด มีรูปแบบการพันขดลวดแบบ 1 ชั้น โดยใช้ลวดทองแดงเบอร์ 27 SWG พันขดลวด 350 รอบต่อขด และทำการเดินสาย Lead จำนวน 6 เส้นผ่านช่องเพลลา



รูปที่ 3.7 สเตเตอร์ที่พันลวดเรียบร้อยแล้ว

4. จากนั้นนำสเตเตอร์และโรเตอร์ที่ได้ประกอบเข้ากับโครงมอเตอร์ที่สร้างมา จะได้เป็นมอเตอร์ไฟฟ้า ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์แล้วดังรูป 3.8



รูปที่ 3.8 รูปคูล้อมอเตอร์ไฟฟ้าที่ประกอบเสร็จแล้ว



รูปที่ 3.9 คู่มือมอเตอร์ไฟฟ้า (In-Wheel Motor)