

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรที่มีผลมาจากช่องว่างอากาศ
Analysis of Permanent Magnet Generator Efficiency Effect from an Air-Gapเจตนัสถุย์ รัชกุลวิทยา¹, ธีรศักดิ์ เชียงจุง¹, วิริยะนนท์ คุ่มศิริวงศ์¹, เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์¹ และพีรวัจน์ มีสุข^{2*}¹สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 73170²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าเครื่องกลการผลิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา 10600

E-mail: peerawat.mee@rmutr.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงการทดสอบและปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร โดยทำการปรับระยะห่างของช่องว่างอากาศ (air-gap) ระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์ให้เปลี่ยนแปลงไปตามความเหมาะสม ซึ่งระยะของช่องว่างอากาศน้อยจะทำให้โรเตอร์เข้าใกล้สเตเตอร์มากที่สุด เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการทดสอบนี้มีสเตเตอร์ที่ประกอบด้วยขดลวดทองแดง 9 ขด หล่อขึ้นรูปด้วยเรซิน และโรเตอร์มีจำนวน 2 ขด ประกอบด้วยแม่เหล็กถาวรขุดละ 12 ก้อน หล่อด้วยเรซินเช่นกัน ทำการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้มอเตอร์ 3 เฟส ขนาด 5.5 แรงม้าเป็นตัวต้นกำลัง โดยปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ต้นกำลังด้วยอินเวอร์เตอร์ขนาด 5 แรงม้า ให้เป็นไปตามความเร็วรอบที่คำนวณได้จากขนาดใบพัดของกังหันลมที่ความเร็วลมระดับต่างๆ วัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มาสร้างเป็นกราฟกำลังไฟฟ้าเทียบกับความเร็วลมแล้วดูประสิทธิภาพที่ได้

คำสำคัญ: เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร ช่องว่างอากาศ ประสิทธิภาพ**1. บทนำ**

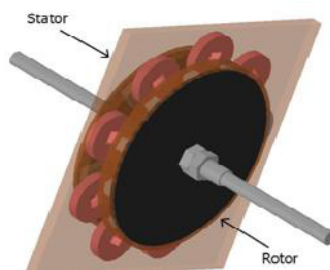
พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่มีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตประจำวัน มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก ทั้งจากทางภาครัฐ ภาคเอกชน การผลิตไฟฟ้าในแบบปัจจุบัน อาจไม่เพียงพอต่อการใช้ไฟฟ้าของมนุษย์ในอนาคต ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในระบบของ กฟผ. (Net Peak) ปี 2556 อยู่ที่ 26,598 เมกะวัตต์ มีค่าสูงกว่าปี 2555 ซึ่งอยู่ที่ 26,121 เมกะวัตต์ อยู่ 477 เมกะวัตต์หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.8 นับเป็นปัญหาใหญ่ในประเทศ และนับวันจะมีผลกระทบรุนแรงต่อการพัฒนา ของประเทศไทยมากขึ้นทุกที เชื่อเพลิงต่างๆ ที่นำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน เป็นต้น นับวันจะมีปริมาณน้อยลงทุกที และคงจะต้องหมดไปในอนาคต ดังนั้นจึงมีความพยายามที่จะคิดค้นแหล่งพลังงานใหม่ๆ ที่ประหยัด และไม่วันหมดสิ้น บางชนิดก็นำมาใช้บ้างแล้ว เช่น น้ำขึ้น-น้ำลง คลื่น (ทะเล) ความร้อนจากมหาสมุทร แสงอาทิตย์ ลม และความร้อนใต้พิภพ การพัฒนาพลังงานทดแทนน่าจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสถานการณ์ในขณะนี้

ในปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีทำให้สามารถหาข้อมูลที่สนใจได้ง่ายขึ้น รวมถึงข้อมูลของการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบทำเองอย่างง่าย ประเภทเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร (Permanent magnet Generator) หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรแนวราบ (Permanent Magnet Axial Flux Generator) ซึ่งโครงสร้างของเครื่องส่วนใหญ่ทั้งสเตเตอร์และโรเตอร์ จะหล่อขึ้นรูปจากเรซินและใช้แม่เหล็กถาวรเป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็ก แต่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สร้างขึ้นนั้นยังไม่มีการทดสอบประสิทธิภาพให้เป็นไปตามหลักวิชาการ และส่วนใหญ่จะสร้างขึ้นมาเพื่อใช้งานในลักษณะของกังหันลมผลิตไฟฟ้า จึงได้ทำการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในการผลิตไฟฟ้าในรูปแบบของการใช้งานเป็นกังหันลมผลิตไฟฟ้าลักษณะดังกล่าวขึ้น และเมื่อทราบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดแบบนี้แล้วก็จะนำไปสู่การปรับปรุงระยะห่างช่องว่างอากาศระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์ เพื่อพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า คือ เครื่องมือที่ใช้สำหรับแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการทำงาน ของการเคลื่อนที่ของขดลวดตัดสนามแม่เหล็ก หรือใช้สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดขดลวด ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำ และได้กระแส แรงดันไฟฟ้าออกมา จากหลักการนี้สามารถนำมาสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอย่างง่ายได้กำลังงานที่ให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

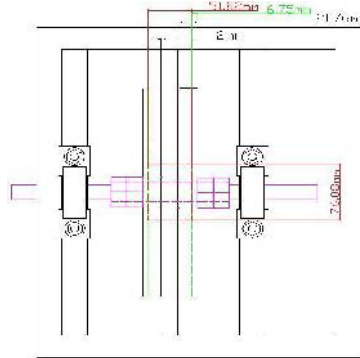
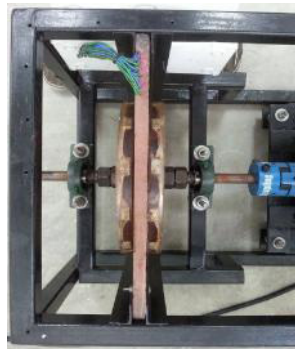
2.1 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรที่สร้างขึ้นมานั้น เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ 3 เฟส 12 ขั้วแม่เหล็ก โดยโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แสดงได้ตามรูปที่ 1

**รูปที่ 1** โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร

- สเตเตอร์ (Stator) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สร้างขึ้นทำจากขดลวดทองแดงจำนวน 9 ขด จัดเรียงขดลวดเป็นวงกลม ต่อขดลวดอนุกรมกันเป็นขุดๆ ขุดละ 3 ขดต่อปลายสายของขดลวดทั้ง 3 ขุดออกด้านนอก แล้วหล่อขึ้นรูปให้ขดลวดติดกันด้วยเรซิน

- โรเตอร์ (Rotor) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โรเตอร์หรือตัวหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรที่สร้างขึ้นนี้มีจำนวน 2 ชุด แต่ละชุดประกอบไปด้วยแม่เหล็กถาวร จำนวน 12 ก้อนต่อชุด โดยจัดวางแม่เหล็กถาวรบนแผ่นเหล็กให้เป็นลักษณะวงกลมที่มีระยะห่างจากจุดศูนย์กลางเท่ากัน แล้วหล่อขึ้นรูปด้วยเรซิน เช่นเดียวกับสเตเตอร์

ทำการประกอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรที่สร้างขึ้น โดยติดตั้งสเตเตอร์และโรเตอร์จะอยู่บนแกนเดียวกันแต่สเตเตอร์จะถูกยึดให้อยู่กับที่จะหมุนได้เพียงโรเตอร์ที่ประกอบอยู่ทั้งสองด้าน แสดงได้ตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ประกอบแล้วและระยะห่างของช่องว่างอากาศ

2.2 การต่อวงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สร้างขึ้นแบ่งเป็น 3 ชุด แต่ละชุดเกิดจากการต่ออนุกรมของขดลวด 3 ชุดเข้าด้วยกัน แล้วต่อปลายสายของขดลวดออกมาด้านนอก ทำให้สามารถต่อขดลวดสเตเตอร์ได้ 2 แบบ คือ แบบสตาร์ (Y) แสดงได้ตามรูปที่ 3 (ก) และแบบเดลต้า (Δ) แสดงได้ตามรูปที่ 3 (ข) การต่อแบบสตาร์จะได้แรงดันไฟฟ้าที่สูงแต่กระแสไฟฟ้าต่ำ ส่วนต่อแบบเดลต้าจะได้แรงดันไฟฟ้าที่ต่ำแต่กระแสไฟฟ้าสูง ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สร้างขึ้นนี้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟส ซึ่งในทางปฏิบัตินั้นกังหันลมผลิตไฟฟ้าต้องประจุพลังงานที่ได้ลงแบตเตอรี่จึงต้องแปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงด้วยวงจรเรียงกระแสแบบ 3 เฟส

1. แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเมื่อต่อขดลวดแบบสตาร์จากสมการ

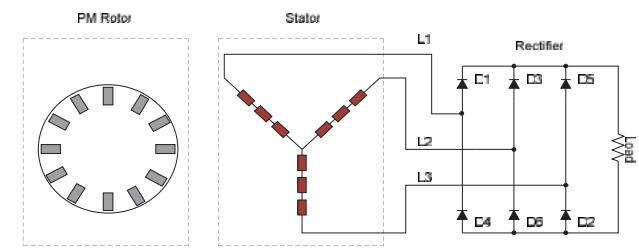
$$V_{Line} = \sqrt{3} \cdot V_{Phase} \quad (1)$$

$$I_{Line} = I_{Phase} \quad (2)$$

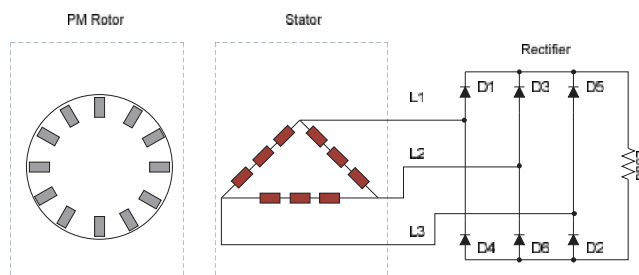
2. แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเมื่อต่อขดลวดแบบเดลต้าจากสมการ

$$V_{Line} = V_{Phase} \quad (3)$$

$$I_{Line} = \sqrt{3} \cdot I_{Phase} \quad (4)$$



(ก) การต่อขดลวดแบบสตาร์

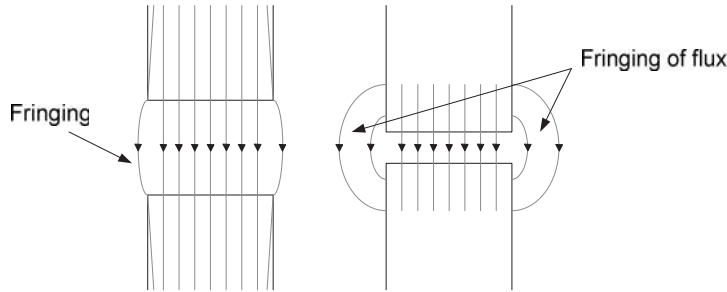


(ข) การต่อขดลวดแบบเดลต้า

รูปที่ 3 การต่อวงจรขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.3 ช่องว่างอากาศ (Air-Gap) ช่องว่างอากาศที่กล่าวถึงในที่นี้คือระยะห่างระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์ เนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กต้องเดินทางผ่านอากาศแต่อากาศเป็นตัวนำที่ไม่ดี มีค่าความต้านทานสนามแม่เหล็กสูง ระยะห่างที่มากนั้นจึงทำให้ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กลดลง ในการออกแบบจึงพยายามที่จะลดระยะห่างของช่องว่างอากาศนี้ให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ เมื่อช่องว่างอากาศระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์แคบลงจะ

เป็นการเพิ่มความหนาแน่นของกระแสแม่เหล็ก นั่นคือเป็นการเพิ่มความสามารถของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยใช้กำลังที่ลดลงในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อช่องว่างอากาศมีค่ามาก สนามแม่เหล็กที่ถูกสร้างขึ้นและส่งผ่านไปยังสเตเตอร์ก็จะมีค่าน้อยลง ดังนั้นเรื่องช่องว่างอากาศจึงสำคัญมากในการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งหากช่องว่างอากาศมีค่าน้อยจะยิ่งดีด้วยเหตุนี้ระยะห่างของช่องว่างอากาศต้องเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้



รูปที่ 4 การรั่วไหล (fringing) ของฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดจากช่องว่างอากาศ

3. การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ ทดสอบในกรณีใช้งานเป็นกังหันลมผลิตไฟฟ้า โดยได้ปรับเปลี่ยนระยะห่างของช่องว่างอากาศระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์ตามความเหมาะสมตั้งแต่ระยะ 2 - 6 mm เพิ่มขึ้นครั้งละ 1 mm

3.1 สมการเบื้องต้นการหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1. กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อผ่านวงจรเรกติไฟเออร์แล้วสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P = I \cdot V \quad (5)$$

โดยที่

- P คือ กำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็น วัตต์ (W)
- I คือ กระแส มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (A)
- V คือ แรงดันไฟฟ้า มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

2. ประสิทธิภาพสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (6)$$

โดยที่

- η คือ ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (%)

3. ความเร็วรอบสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$N = \frac{120 \times f}{P} \quad (7)$$

โดยที่

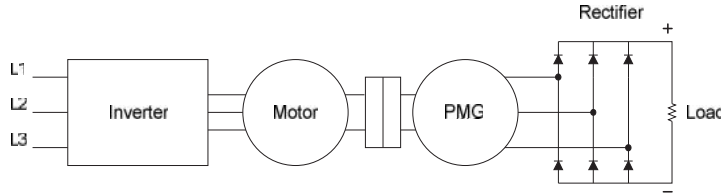
- N คือ ความเร็วรอบ มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (rpm)
- f คือ ความถี่จ่ายให้กับมอเตอร์ มีหน่วยเป็น เฮิร์ต (Hz)
- P คือ จำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์

ในการทดลองใช้กับอินเวอร์เตอร์ควบคุมความถี่ของไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ต้นกำลังเพื่อปรับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สร้างขึ้น แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกส่งผ่านวงจรเรกติไฟเออร์เพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงก่อนจ่ายไปยังโหลด ดังแสดงตามรูปที่ 5

3.2 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพและความสัมพันธ์ของระยะห่างของช่องว่างอากาศ (air-gap) ระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์ แล้วทำการปรับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยการปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่คำนวณได้ตามสมการที่ (7) ปรับจาก 150 รอบ จนถึง 800 รอบ ทำการทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยทำการปรับระยะช่องว่างอากาศต่อขดลวดแบบสตาร์และแบบเดลต้า เพื่อต้องการทราบระยะช่องว่างอากาศที่ทำให้ประสิทธิภาพดีที่สุด โดยมีขั้นตอนการทดสอบมีดังนี้

1. ทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ air-gap 2 mm โดยต่อขดลวดแบบสตาร์ ปรับความเร็วรอบตั้งแต่ 150 รอบ เพิ่มขึ้นทีละ 50 รอบ จนถึง 800 รอบ วัดค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องผลิตได้ และวัดกำลังไฟฟ้าขาเข้าของตัวต้นกำลังแล้วสร้างกราฟประสิทธิภาพเทียบกับความเร็วรอบ
2. ปรับเปลี่ยนระยะ air-gap เป็น 3 mm, 4 mm, 5 mm และ 6 mm ตามลำดับ แล้วทำการทดสอบเหมือนข้อที่ 1
3. ทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ air-gap 2 mm. โดยต่อขดลวดแบบเดลต้า ปรับความเร็วรอบตั้งแต่ 150 รอบ เพิ่มขึ้นทีละ 50 รอบ จนถึง 800 รอบ วัดค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องผลิตได้ และวัดกำลังไฟฟ้าขาเข้าของตัวต้นกำลังแล้วสร้างกราฟประสิทธิภาพเทียบกับความเร็วรอบ
4. ปรับเปลี่ยนระยะ air-gap เป็น 3 mm, 4 mm, 5 mm และ 6 mm ตามลำดับ แล้วทำการทดสอบเหมือนข้อที่ 3

การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สร้างขึ้นนี้เทียบเคียงได้กับการใช้ตัวต้นกำลังเป็นกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 300 วัตต์ ที่มีใบพัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตร เมื่อได้รับความเร็วลมต่ำสุด 2-3 m/s จะมีความเร็วรอบของใบพัดกังหันลมอยู่ที่ประมาณ 150 รอบ และเมื่อได้รับความเร็วลมสูงสุดของศักยภาพลมในไทย 11.9 m/s ที่ความสูง 50 m จะมีความเร็วรอบของใบพัดกังหันลมอยู่ที่ประมาณ 800 รอบ (ที่มา:กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน)



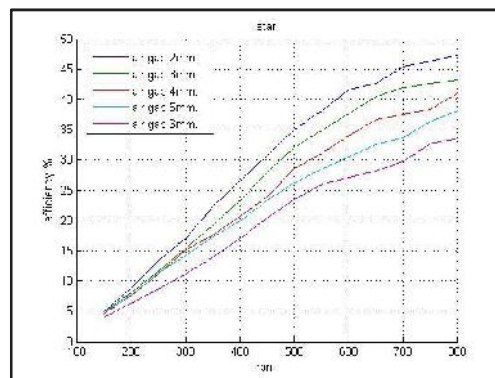
รูปที่ 5 การต่อวงจรการทดลอง

4. ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เกี่ยวกับความความเร็วรอบเมื่อต่อโหลดแบบสตาร์ และต่อโหลดเป็นโหลดอินแคนเดสเซนต์ขนาด 100 วัตต์ จำนวน 3 หลอดต่อขนานกัน และผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เกี่ยวกับความความเร็วรอบเมื่อต่อโหลดแบบเดลต้า และต่อโหลดหลอดอินแคนเดสเซนต์ขนาด 100 วัตต์ จำนวน 3 หลอดต่อขนานกัน

ตารางที่ 1 แสดงความเร็วนรอบและประสิทธิภาพที่ระยะช่องว่างอากาศขนาดต่างๆ เมื่อต่อโหลดแบบสตาร์

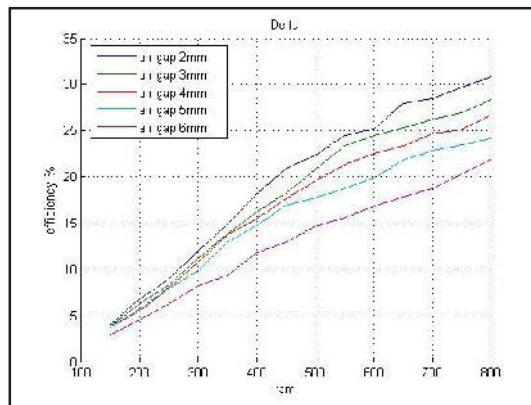
ความเร็วนรอบ(rpm)	ประสิทธิภาพ (%)				
	ระยะ air gap				
	2 mm.	3 mm.	4 mm.	5 mm.	6 mm.
150	5.05	4.96	4.68	4.96	4.05
200	8.83	8.17	7.63	7.52	6.32
250	13.32	11.65	11.18	11.27	8.70
300	16.97	15.40	15.20	14.25	11.25
350	22.27	19.18	17.58	17.31	13.94
400	26.53	23.26	20.73	20.03	17.08
450	30.80	27.93	23.90	23.38	20.34
500	34.97	32.10	28.53	26.19	23.42
550	38.16	34.83	31.08	28.46	25.91
600	41.63	37.71	34.03	30.49	27.11
650	42.65	40.49	36.65	32.55	28.18
700	45.37	41.90	37.49	33.72	29.76
750	46.34	42.57	38.34	36.30	32.72
800	47.28	43.15	40.97	38.04	33.58



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของความเร็วนรอบกับประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อต่อโหลดแบบสตาร์

ตารางที่ 2 แสดงความเร็วรอบและประสิทธิภาพที่ระยะช่องว่างอากาศขนาดต่างๆ เมื่อต่อขดลวดแบบเดลต้า

ความเร็วรอบ (rpm)	ประสิทธิภาพ (%)				
	ระยะ air gap				
	2 mm.	3 mm.	4 mm.	5 mm.	6 mm.
150	4.02	3.88	3.69	3.72	2.90
200	6.81	6.34	5.69	5.42	4.53
250	8.94	8.29	8.03	7.90	6.27
300	11.45	10.68	10.76	9.83	8.22
350	14.89	14.23	13.76	12.98	9.37
400	18.21	16.24	15.51	14.74	11.81
450	20.90	18.27	17.69	16.94	12.97
500	22.34	20.83	19.61	17.73	14.65
550	24.49	23.37	21.33	18.81	15.57
600	25.20	24.56	22.53	19.91	16.86
650	27.95	25.31	23.34	21.81	17.90
700	28.48	26.24	24.72	22.91	18.78
750	29.68	27.01	25.14	23.44	20.30
800	30.82	28.35	26.77	24.20	22.00



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบกับประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อต่อขดลวดแบบเดลต้า

จากการทดสอบพบว่า การปรับระยะช่องว่างอากาศระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรที่สร้างขึ้น จะสามารถได้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะช่องว่างที่ลดลง (ตามทฤษฎีข้อที่ 2.3 เมื่อช่องว่างอากาศระหว่าง สเตเตอร์และโรเตอร์แคบลงจะเป็น การเพิ่มความหนาแน่นของกระแสแม่เหล็ก นั่นคือเป็นการเพิ่มความสามารถของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) เป็นกราฟเชิงเส้นตามความเร็วรอบของเครื่อง ก่อเกิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร เมื่อต่อขดลวดแบบสตาร์จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นมากกว่าการต่อขดลวดแบบเดลต้า การต่อแบบสตาร์นั้น จะได้แรงดันไฟฟ้าที่สูงแต่กระแสไฟฟ้าต่ำ ตามสมการที่ (1) และ (2) ส่วนต่อแบบเดลต้าจะได้แรงดันไฟฟ้าที่ต่ำแต่กระแสไฟฟ้าสูง ตามสมการที่ (3) และ (4) ซึ่งสำหรับกังหันลมที่ต้องสร้างแรงดันไฟฟ้าสูง รอบการหมุนต่ำและซาร์จแบตเตอรี่ได้เร็ว การต่อแบบเดลต้าจะทำให้ต้องการกำลังจากลม (หรือน้ำ) มากกว่าเพื่อที่จะให้กังหันเริ่มต้นหมุน

5. สรุป

จากผลการทดสอบความสัมพันธ์ของระยะห่างของช่องว่างอากาศ (air-gap) ระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์ ที่ระยะ 2 mm. เมื่อทำการต่อวงจร เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสตาร์ ค่าประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ทำการทดสอบได้ประมาณ 47.28 % ส่วนค่าประสิทธิภาพสูงสุด ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ทำการทดสอบเมื่อต่อวงจรแบบเดลต้าได้ประมาณ 30.82 % ซึ่งจะเห็นได้จากผลการทดสอบและกราฟแสดงผลนั้น ยิ่ง ช่องว่างอากาศระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ แคบลงจะเป็นการเพิ่มความหนาแน่นของกระแสแม่เหล็ก นั่นคือเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและ ความสามารถของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยใช้กำลังที่ลดลง ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อช่องว่างอากาศมีค่ามาก สนามแม่เหล็กที่ถูกสร้างขึ้นและส่งผ่านไป ยังสเตเตอร์ก็จะมีค่าน้อยลง เรื่องช่องว่างอากาศจึงสำคัญมาก ดังนั้นระยะห่างของช่องว่างอากาศต้องเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้



6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณวิจัย ทำให้โครงการวิจัยนี้สามารถดำเนินการได้สำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์และไชยยงค์ ทองสองยอด, “การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรแบบหล่อด้วยเรซินในเชิงการใช้งานเป็นกังหันลมผลิตไฟฟ้า”, การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีครั้งที่ 4
- [2] อัศวิน ปศุศฤทธากร, สัมพันธ์ ไชยเทพและธเนศ ไชยชนะ, “อิทธิพลของแผ่นเสริมแรงแม่เหล็กต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวร”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22
- [3] ปุณยภัทร ภูมิภาค, “เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกน ที่ไม่มีแปรงถ่านสำหรับพลังงานลม”
- [4] วีระเชษฐ์ ชันเงิน และวุฒิพล ธาธาธีร์เศรษฐ์, “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง”, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2547, หน้า 282-286
- [5] ช่องว่างอากาศ. เข้าถึงจาก <http://www.research-system.siam.edu>. 2014