

การจำลองผลการกระจายตัวของสนามแม่เหล็กในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Simulation of Magnetic Field Distribution in Permanent Magnet Generator by Using Finite Element Method

พีรวัฒน์ มีสุข¹ และเจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์²

Received: August, 2015; Accepted: November, 2015

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสนามแม่เหล็กในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรซึ่งแสดงอยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์อันดับสอง โดยได้วิเคราะห์การกระจายตัวของสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์และสเตเตอร์ซึ่งแสดงในรูปแบบของศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็ก โดยนำค่าความหนาแน่นกระแสจากการทดสอบโหลดขนาด 300 W และการต่อลงดินของโครงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำให้มีค่าศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กมีค่าเป็นศูนย์มาใช้ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต ในการจำลองผลได้ประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยพิจารณาระบบเป็นแบบ Time Harmonic พร้อมแสดงผลทางกราฟิกของค่าศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กและสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

คำสำคัญ : สนามแม่เหล็ก; เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวร; ไฟไนต์เอลิเมนต์

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร

² คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม

E-mail : scpeerawat@bsru.ac.th, jensak.eak@rmutr.ac.th

Abstract

This paper proposes a mathematical model of magnetic fields in Permanent Magnet Generator by using a set of second-order partial differential equations. The analysis of the distribution of magnetic field in rotor and stator, show in the form of the magnetic vector potential. Take the current density of 300 watt load test Watt and the grounding of the generator frame has the magnetic vector potential of zero value used to determine the boundary conditions. Computer-based simulation utilizing finite element method in the time harmonic mode, instructed in computer programming environment with graphical representation for magnetic field strength was evaluated. The simulation results showed that the magnetic vector potential and magnetic field distribution in the permanent magnet generator can be used in designing the generator of a higher efficiency.

Keywords: Magnetic Field; Permanent Magnet Generator; Finite Element

บทนำ

ในปัจจุบันสังคมและเศรษฐกิจมีการเจริญเติบโตขึ้นมาก ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วยอีกทั้งปัญหาราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นและมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้มีแนวโน้มที่จะเกิดปัญหาการขาดแคลนพลังงานในเร็ววัน พลังงานทดแทนจึงเริ่มมีบทบาทชัดเจนขึ้น ซึ่งจากรายงานการใช้งานพลังงานทดแทนประเทศที่สำรวจพบว่าประเทศไทยมีการใช้งานพลังงานทดแทนในกลุ่มของพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น พลังงานทดแทนที่ใช้ผลิตไฟฟ้าที่เรารู้จักกันโดยทั่วไป เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานคลื่น เป็นต้น

พลังงานทดแทนที่อยู่ในรูปของพลังงานกล เมื่อนำมาผลิตไฟฟ้าจะต้องนำพลังงานนั้นไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แล้วจึงนำพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มาใช้งาน การผลิตพลังงานไฟฟ้าขึ้นใช้งานในลักษณะระบบที่มีขนาดเล็กก็เป็นทางออกหนึ่งของการใช้งานพลังงานทดแทน ปัจจุบันระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนขนาดเล็กสามารถสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอย่างง่ายขึ้นใช้งานเองได้ เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวร แต่ก็ยังประสบปัญหาในเรื่องของประสิทธิภาพของเครื่องที่สร้างขึ้น ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีการศึกษาและวิจัยพัฒนาเพื่อต้องการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นโดยในบทความวิจัยนี้จะกล่าวถึงการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสนามแม่เหล็กในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวร เพื่อใช้วิเคราะห์และปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดให้สูงขึ้น

การกระจายตัวของสนามแม่เหล็ก โดยปกติจะสามารถอธิบายได้ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equation) หรือสมการเชิงปริพันธ์ (Integral Equation) ซึ่งเป็นไปได้ยากที่จะหาผลเฉลยแน่นอนตรง (Exact Solution) ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้วิธีการหาผลเฉลยโดยประมาณ (Approximate Solution) ด้วยระเบียบวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข อีกทั้งสมรรถนะของคอมพิวเตอร์ที่สูงขึ้น จึงทำให้

การคำนวณเชิงตัวเลขสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว สำหรับวิธีการหาผลเฉลยโดยประมาณของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equation : PDE) วิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและได้รับความนิยมแพร่หลายในปัจจุบัน ได้แก่ วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method : FEM)

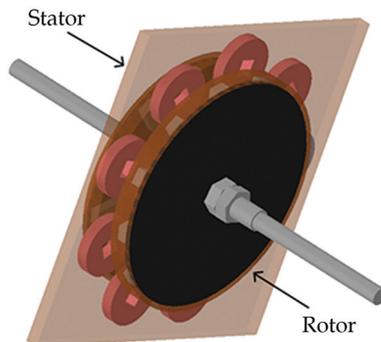
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Generator)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับผลิตพลังงานไฟฟ้าในปริมาณมาก ๆ เช่น ในโรงจักรไฟฟ้า โดยปกติแล้วระดับของแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจะอยู่ในช่วง 13.8 - 28 กิโลโวลต์ ทั้งนี้เนื่องมาจากขีดจำกัดในการทนแรงดันของฉนวนไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องแรงดันไฟฟ้าที่เครื่องผลิตได้นั้นยังมีค่าไม่มากพอที่จะส่งจ่ายไปในระยะทางไกล ๆ จึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ขึ้นเป็น 115 230 หรือ 500 กิโลโวลต์ เพื่อลดค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในสายส่งทำให้สามารถส่งจ่ายไปได้ในระยะทางไกลขึ้น แล้วทำการลดระดับแรงดันลงอีกครั้งเมื่อจะส่งจ่ายให้กับผู้ใช้งาน การผลิตไฟฟ้าโดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบนี้จะใช้พลังงานน้ำจากเขื่อน พลังงานจากน้ำมันเคา ก๊าซธรรมชาติ หรือพลังงานนิวเคลียร์ ขึ้นอยู่กับชนิดของโรงจักรไฟฟ้า

2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Generator)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดนี้ใช้หลักการเดียวกันกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับทั่วไป แต่จะใช้สนามแม่เหล็กจากแม่เหล็กถาวรเป็นตัวเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าแทนการใช้ขดลวดฟิลต์ที่โรเตอร์ ทำให้ไม่ต้องจ่ายไฟให้กับขดลวดฟิลต์เพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร

วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับชนิดแม่เหล็กถาวรแบบหล่อด้วยเรซิน ที่มีการออกแบบให้แรงดันไฟฟ้าด้านขาออกเป็นแบบ 3 เฟส (Pasusarittakorn, A. et al., 2008) ประกอบไปด้วย

สเตเตอร์ (Stator) หรือตัวอยู่กับที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สร้างขึ้นทำจากขดลวดทองแดงแล้วหล่อขึ้นรูปด้วยด้วยเรซิน (Polyester Resin)

โรเตอร์ (Rotor) หรือตัวหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สร้างขึ้น แบ่งเป็น 2 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วยแม่เหล็กถาวร จำนวน 12 ก้อนต่อชุด การจัดวางแม่เหล็กถาวรเป็นลักษณะวงกลมที่มีระยะห่างจากจุดศูนย์กลางเท่า ๆ กัน แล้วหล่อขึ้นรูปด้วยเรซิน

การประกอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรที่สร้างขึ้น ทำได้โดยติดตั้งสเตเตอร์และโรเตอร์อยู่บนแกนเดียวกัน แต่ตัวสเตเตอร์จะถูกยึดให้อยู่กับที่ ส่วนที่หมุนได้จะมีเพียงโรเตอร์ที่ประกอบอยู่ทั้งสองด้านเท่านั้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ประกอบขึ้นเรียบร้อยแล้ว แสดงดังรูปที่ 2 การต่อวงจรภายในของขดลวดแสดงดังรูปที่ 3 (Eakburanawat, J. and Thongsongyod, C., 2010)

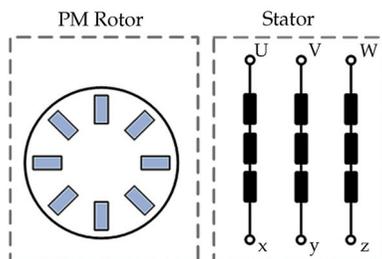


(ก)



(ข)

รูปที่ 2 (ก) ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวร (ข) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ประกอบเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 3 การต่อวงจรภายในของขดลวดสเตเตอร์

1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสนามแม่เหล็ก

ในการคำนวณหาสนามแม่เหล็ก (B) สามารถดำเนินการได้โดยเสี่ยงไปคำนวณหาศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็ก (Magnetic Vector Potential: A) ก่อน เนื่องจากคำนวณได้ง่ายกว่า โดยที่สนามแม่เหล็กสามารถคำนวณได้ด้วยการเคิร์ลศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กดังสมการที่ (1)

$$B = \nabla \times A \tag{1}$$

เมื่อ

μ คือ ความซาบซึมได้ของแม่เหล็ก (Magnetic Permeability) มีค่าเท่ากับ $\mu_0\mu_r$

โดยที่ μ_0 คือ ความซาบซึมได้ของสุญญากาศ มีค่าเท่ากับ $4\pi \times 10^{-7} H/m$

μ_r คือ ความซาบซึมได้สัมพัทธ์ (Relative Permeability) โดยจะขึ้นกับวัสดุตัวกลาง

H คือ ความเข้มสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Intensity)

แบบจำลองของสนามแม่เหล็กในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรจะมีลักษณะที่เหมือนกับมอเตอร์ไฟฟ้า (Preston, T.W., 1988; Mittle, V.N. and Mittle, A., 1996) โดยพิจารณาปัญหาเป็นแบบ 2 มิติ ตามระนาบ (x, y) จะแสดงได้ดังสมการ (2)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial y} \right) - \sigma \frac{\partial A}{\partial t} + J_0 = 0 \quad (2)$$

เมื่อ

J_0 คือ ความหนาแน่นของกระแสภายนอก (External Current Density)

σ คือ สภาพนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity)

บทความนี้ได้พิจารณาการแปลงโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ (Time-Harmonic) โดยสามารถแทนอยู่ในรูปแบบเชิงซ้อน (Complex Form), $A = Ae^{j\omega t}$ (Meesuk, P. et al., 2011) ดังนั้น

$$\frac{\partial A}{\partial t} = j\omega A \quad (3)$$

ซึ่ง ω คือความถี่เชิงมุม และเมื่อพิจารณาปัญหาเป็นแบบ 2 มิติ ในระนาบ (x, y) จึงได้

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial y} \right) - j\omega A + J_0 = 0 \quad (4)$$

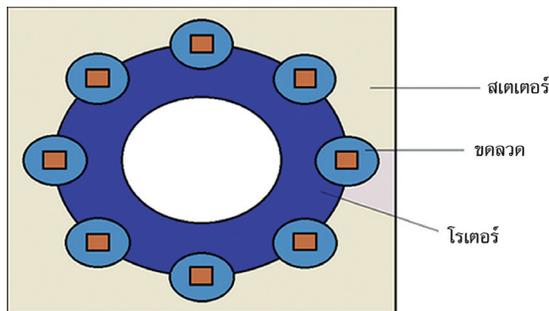
การหาผลเฉลยแม่นยำตรงของสมการอนุพันธ์ย่อยอันดับที่สองที่ปรากฏในสมการที่ (4) มีความยากและซับซ้อนอย่างมากในการแก้ปัญหา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีการคำนวณเชิงตัวเลขด้วยวิธี FEM ในการหาค่าผลเฉลยโดยประมาณ ซึ่งเป็นระเบียบวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการแก้สมการอนุพันธ์ย่อย

2. การคำนวณสนามแม่เหล็กด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

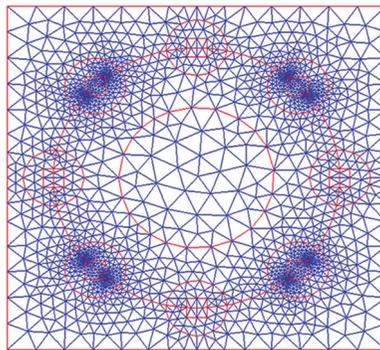
สืบเนื่องจากปัญหาการกระจายตัวของสนามแม่เหล็กเป็นปัญหาแบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยเพื่อใช้ในการคำนวณหาสนามแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรนั้นการหาผลเฉลยแม่นยำตรงได้ยาก ดังนั้นการหาค่าผลเฉลยโดยประมาณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จึงถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนการดำเนินงานต่าง ๆ ดังนี้

3. การแบ่งอิลิเมนต์พื้นที่ศึกษา

ในการแบ่งอิลิเมนต์ของพื้นที่ศึกษาจะต้องเริ่มจากการวาดรูปเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรโดยวาดในลักษณะพื้นที่หน้าตัดตรงกลางแบบสองมิติดังรูปที่ 4 จากนั้นเริ่มจากการแบ่งพื้นที่หน้าตัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกเป็นอิลิเมนต์รูปสามเหลี่ยมสามจุดต่อ โดยสมมุติลักษณะการกระจายของผลลัพธ์โดยประมาณตำแหน่งใด ๆ บนอิลิเมนต์เป็นแบบเชิงเส้น การแบ่งอิลิเมนต์และจุดต่อของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการแบ่งอิลิเมนต์ ดังรูปที่ 5 ในงานวิจัยนี้ การแบ่งพื้นที่หน้าตัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกเป็นอิลิเมนต์ จะพิจารณาแยกพื้นที่กันออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนของพื้นที่สเตเตอร์ ส่วนของพื้นที่โรเตอร์ และส่วนของพื้นที่ที่เป็นขดลวด



รูปที่ 4 พื้นที่หน้าตัดตรงกลางแบบสองมิติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 5 การแบ่งอิลิเมนต์ของพื้นที่หน้าตัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวร

4. การสร้างสมการของอิลิเมนต์

การสร้างสมการของแต่ละอิลิเมนต์ได้ประยุกต์ใช้วิธีการถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง (Weighted Residual Method) ของกาลเออร์คิน (Galerkin) (Dechaumphai, P., 2004) ซึ่งวิธีนี้ฟังก์ชันน้ำหนัก (Weighting Function) จะมีค่าเท่ากับฟังก์ชันรูปร่าง (Shape Function) โดยศักร์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กที่พิกัดใด ๆ สามารถแสดงได้เป็น

$$A(x, y) = A_i N_i + A_j N_j + A_k N_k \quad (5)$$

โดยที่ N_n , $n = i, j, k$ คือฟังก์ชันการประมาณภายในอิลิเมนต์ และ A_n , $n = i, j, k$ คือผลลัพธ์ของศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กในแต่ละจุดต่อ (i, j, k) ของอิลิเมนต์ ซึ่ง

$$N_n = \frac{a_n + b_n x + c_n y}{2\Delta_e} \quad (6)$$

และ Δ_e คือพื้นที่ของแต่ละอิลิเมนต์ ซึ่งหาได้จากดีเทอร์มิแนนต์ของสัมประสิทธิ์ ดังนี้

วิธีการถ่วงน้ำหนักเศษตกค้างของกาลอ์คิน สามารถดำเนินการได้โดยตรงจากสมการที่ (4) ซึ่งเป็นสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยที่กล่าวไว้ในข้างต้น โดยการแทนค่าผลเฉลยโดยประมาณลงในสมการที่ (4) จะไม่ก่อให้เกิดค่าเท่ากับศูนย์ หากแต่จะมีค่าเท่ากับ R แทนดังแสดงด้วยสมการที่ (7) แล้วอินทิเกรตตลอดทั้งโดเมนของอิลิเมนต์

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial y} \right) - j\omega A + J_0 = R \quad (7)$$

โดยเมื่อดำเนินการอินทิเกรตสมบูรณ์แล้วจะได้ผลลัพธ์เป็นสมการเชิงเส้น ซึ่งแสดงอยู่ในรูปของเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$[M + K]_{3 \times 3} \{A\}_{3 \times 1} = \{F\}_{3 \times 1} \quad (8)$$

โดย

$$\begin{aligned} [M]_{3 \times 3} &= \text{เมทริกซ์การนำทางไฟฟ้า} \\ [K]_{3 \times 3} &= \text{เมทริกซ์ความขบขี้มิได้ของแม่เหล็ก} \\ \{F\}_{3 \times 1} &= \text{โพลดเวกเตอร์กระแสที่ผลิตขึ้นเอง} \end{aligned}$$

เมื่อ

$$[M]_{3 \times 3} = \frac{s\sigma\Delta_e}{12} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$[K]_{3 \times 3} = \frac{v}{4\Delta_e} \begin{bmatrix} b_i b_i + c_i c_i & b_i b_j + c_i c_j & b_i b_k + c_i c_k \\ b_j b_i + c_j c_i & b_j b_j + c_j c_j & b_j b_k + c_j c_k \\ b_k b_i + c_k c_i & b_k b_j + c_k c_j & b_k b_k + c_k c_k \end{bmatrix} \quad (10)$$

โดยที่ $v = \frac{1}{\mu}$ คือ สภาพต้านทานแม่เหล็ก

$$\{F\}_{3 \times 1} = \frac{J_0 \Delta_e}{3} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

จากนั้นนำสมการของแต่ละอิเลเมนต์ที่ได้มาประกอบกัน (Assembly) เป็นสมการรวมของระบบ โดยหากแบ่งลักษณะรูปร่างของปัญหาออกเป็นอิเลเมนต์ย่อยซึ่งประกอบด้วย n จุดต่อ ก็จะก่อให้เกิดระบบสมการรวม ซึ่งประกอบด้วยสมการย่อยจำนวนทั้งสิ้น n สมการ

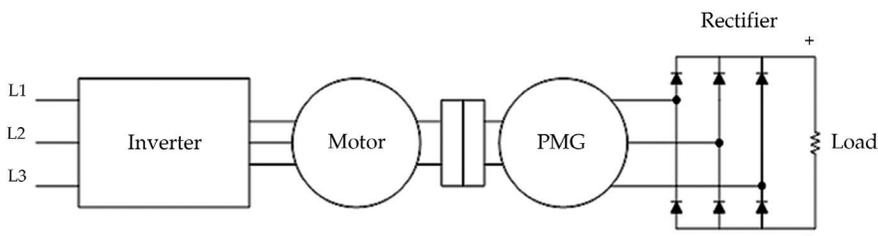
5. เงื่อนไขขอบเขต

บทความนี้ได้ทำการศึกษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรและได้กำหนดค่าเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) ของค่าศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กที่บริเวณโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรให้มีค่าเป็นศูนย์ ค่าความหนาแน่นกระแสได้จากการทดสอบกับโหลด 300 วัตต์ ดังตารางที่ 1 บริเวณโรเตอร์และสเตเตอร์หล่อด้วยเรซิน

ผลการจำลองและอภิปรายผล

1. การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทียบกับความเร็วรอบเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อขดลวดภายในแบบสตาร์ (Ruksakulwittaya, J. et al., 2014) และทำการแปลงแรงดันไฟฟ้าจากกระแสสลับเป็นกระแสตรงเพื่อจ่ายโหลด โดยโหลดที่ใช้เป็นโหลดอินแคนเดสเซนต์ขนาด 100 วัตต์ จำนวน 3 หลอดต่อขนานกัน ทำการวัดค่าความเร็วรอบ กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าที่โหลดใช้ พร้อมกับคำนวณค่ากำลังงานไฟฟ้าแสดงได้ดังตารางที่ 1



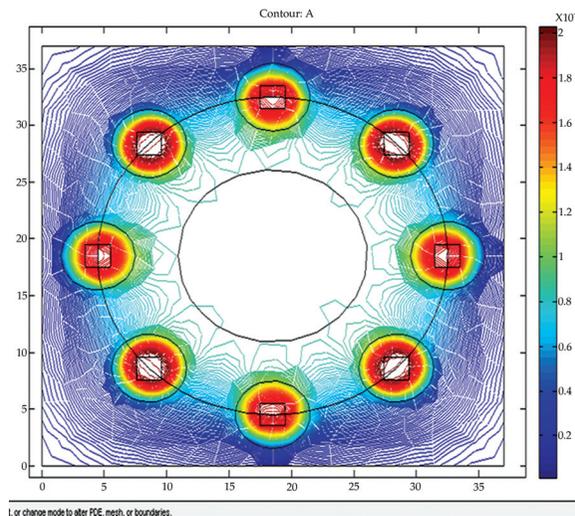
รูปที่ 6 การต่อวงจรการทดลอง

ตารางที่ 1 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะต่อโหลดเป็นโหลดอินแคนเดสเซนต์ 300 วัตต์

ความเร็วรอบ (rpm)	แรงดันไฟฟ้า (V _{DC})	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังงานไฟฟ้า(W)
100	42	0.7	29.4
200	61	0.8	48.8
300	97	1	97
400	133	1.2	159.6
500	173	1.4	242.2
600	209	1.5	313.5
700	245	1.6	392
800	281	1.7	477.7

2. ผลการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การจำลองผลด้วยคอมพิวเตอร์ได้ใช้กล่องเครื่องมือ PDE Tool ของโปรแกรม MATLAB สำหรับคำนวณการกระจายตัวของค่าศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กพร้อมแสดงผลทางกราฟิกของค่าทั้งสองที่เกิดขึ้น แสดงได้ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การกระจายตัวของศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็ก (wb/m) ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวร

จากผลการจำลองที่ปรากฏพบว่า ค่าศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กที่แสดงในรูปที่ 7 นั้น จะมีค่าสูงในบริเวณที่เป็นขดลวดตัวนำที่อยู่ในสเตเตอร์ เนื่องจากเกิดการเหนี่ยวนำกับแม่เหล็กถาวรที่อยู่ในโรเตอร์ และค่าศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กที่ขดลวดจะแผ่กระจายออกไปในบริเวณที่ล้อมด้วยเรซินในส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งพิจารณาได้จากสีของขดลวดโดยที่ค่าศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กจะมีค่าสูงตามค่ากระแสไหลคที่สูงขึ้น

บทสรุป

บทความนี้ได้ศึกษาถึงการกระจายตัวของสนามแม่เหล็กในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรโดยทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 300 วัตต์ แล้วนำค่ากระแสที่ทดสอบมาจำลองผลด้วยคอมพิวเตอร์ และประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองพบว่า บริเวณขดลวดในสเตเตอร์จะมีค่าศักย์เชิงเวกเตอร์สูงที่สุดและจะแผ่กระจายไปบริเวณที่ล้อมด้วยเรซินส่วนอื่นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งค่าศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กนี้จะนำไปใช้ในการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

References

- Dechaumphai, P. (2004). *Finite Element Method in Engineering*. Bangkok: Chulalongkorn University
- Eakburanawat, J. and Thongsongyod, C. (2010). The Efficiency Test of the Permanent Magnet Generator with Resin Case for a Wind Turbine. In *Proceeding of the 4th Rajamangala University of Technology Conference. (RMUTCON 2011)*
- Meesuk, P., Kulworawanichpong, T. and Pao-la-or, P. (2011). Magnetic Field Analysis for a Distribution Transformer with Unbalanced Load Conditions by Using 3-D Finite Element Method. *World Academy of Science Engineering and Technology*. Issue 60. pp. 339-344
- Pasusarittakorn, A., Chaitep, A. and Chaochana, T. (2008). Effect of Enhance Magnet Force Plate to Electric Power Generated by Permanent Magnetic Generator. In *proceeding of the 22nd Conference on Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NE TT22)*. pp.99-103
- Preston, T. W., Reece, A. B. J. and Sangha, P. S. (1988). Induction Motor Analysis by Time Stepping techniques. *IEEE Transactions on Magnetics*. Vol. 24. No. 1. pp. 471-474
- Ruksakulwittaya, J., Chiangjukong, T., Khoomsiriwong, W., Eakburanawat, J. and Meesuk, P. (2014). Analysis of Efficiency of Permanent Magnet Generator Effect from an Air-Gap. In *Proceedings of The 7th Thailand Renewable Energy for Community Conference (TREC-7)*