

การศึกษาและวิเคราะห์สมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 18.5 กิโลวัตต์ ด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

บุญญฤทธิ์ ว่างอน* และสมพร เรืองสินชัยวานิช

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

E-mail: maxaee_@hotmail.com*, sompornru@yahoo.co.uk

บทคัดย่อ – บทความนี้นำเสนอการศึกษาและวิเคราะห์สมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor) ขนาด 18.5 กิโลวัตต์ (kW) ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ การวิเคราะห์ถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การสั่นสะเทือน, ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้าและความร้อนที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ต้นแบบโปรแกรม ANSYS ถูกเลือกใช้ในการจำลอง เพราะเป็นโปรแกรมที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในงานด้านการจำลองสำหรับสาขาวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ปัจจุบันการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองเป็นแนวทางที่สำคัญสำหรับการพัฒนามอเตอร์ไฟฟ้าแบบต่างๆ เพราะมีราคาถูกและมีประสิทธิภาพ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์เหล่านี้ จะเป็นแนวทางที่สำคัญต่อผู้ต้องการนำมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดใหญ่ไปใช้งานในสภาวะต่าง ๆ

คำสำคัญ : มอเตอร์เหนี่ยวนำ, แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

Abstract – This paper presents a study and analysis of the performance of an induction motor 18.5 kW by using the finite element method. The analysis is divided into 3 parts, including the vibration, magnetic flux density and heat that occurred in the motor prototype. The ANSYS program is selected for simulation because it is widely accepted in simulation work for science and engineering areas. Nowadays, simulated-based analysis is significant for developing electrical machines because of its low cost and effectiveness. The analysis results will be major guideline to whoever wants to utilize the large-size electric motor in different conditions.

Keywords : Induction Motor, Finite Element Method: FEM

* Corresponding Author

1. บทนำ

มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้รับความนิยมมากที่สุดชนิดหนึ่งในบรรดามอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งใช้งานในการขับเคลื่อนเครื่องจักรและระบบการผลิตในงานอุตสาหกรรม เพราะมอเตอร์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพและความปลอดภัยสูง ความน่าเชื่อถือสูง รวมทั้งราคาไม่แพง แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการใช้งานมอเตอร์นี้ไปนานๆ ย่อมมีการเสื่อมสภาพไปตามกาลเวลา และสภาพแวดล้อมที่มอเตอร์นี้ถูกใช้งาน การเสียดของมอเตอร์นั้นค่อนข้างจะมีความสำคัญมากในเครื่องจักรหรือระบบการทำงานของการผลิตทั้งระบบ ถ้าหากไม่สามารถตรวจสอบสภาพของมอเตอร์ได้ หรือไม่รู้สภาพความเสียหายที่กำลังเกิดขึ้นในมอเตอร์ได้ล่วงหน้า อาจนำไปสู่ความเสียหายที่มากขึ้นจนอาจเกิดความเสียหายโดยสิ้นเชิงจนต้องเกิดการหยุดการทำงานของมอเตอร์อย่างคาดไม่ถึง ซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องจักรทั้งหมดหรือระบบการผลิตทั้งหมด ส่งผลกระทบต่อการผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ตามแผนการผลิตที่ได้วางแผนไว้ตามตารางการผลิตกล่าวคือ สร้างความเสียหาย เช่น การเสียผลผลิต เสียเวลาและค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น

นักวิจัยหลายท่านให้ความสนใจกับปัญหาโรโซแนนซ์ที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ อาทิเช่น ในปี 2002 Jason D. Ede และคณะได้ทำการศึกษาสภาวะเรโซแนนซ์ของมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน โดยทำการวิเคราะห์หาค่าความถี่ธรรมชาติด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พร้อมทั้งศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความถี่ธรรมชาติต่างๆ เช่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโรเตอร์, และคุณสมบัติของวัสดุในมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน [1] และในปี 2003 F. Ishibashi และคณะ ทำการศึกษาหาความถี่ธรรมชาติในของสเตเตอร์ และขดลวดของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก โดยทำการวิเคราะห์ความถี่ธรรมชาติเฉพาะที่โหมด 2 (ในมอเตอร์ดังกล่าว

ต้องการหลีกเลี่ยงความถี่ในโหมดที่ 2) โดยใช้เทคนิค two-mass two-degrees-of-freedom และนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่ามีผลที่ใกล้เคียงกัน [2]

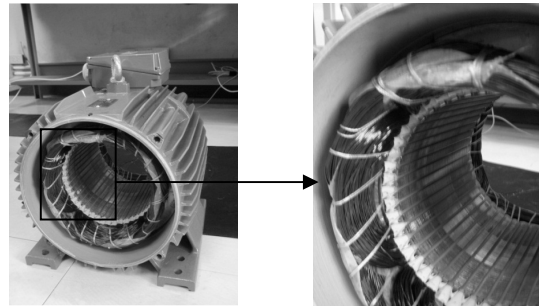
Jeong-Jong Lee และคณะ ได้ทำการศึกษาการสูญเสียของแกนเหล็กในอินดักชันมอเตอร์ 3 เฟส การสูญเสียในแกนเหล็กเป็นผลกระทบมาจาก อัตราเวลาของการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก โดยปกติการสูญเสียในแกนเหล็กจะเกิดขึ้นทั้งที่แกนเหล็กสเตเตอร์และโรเตอร์ และการสูญเสียในแกนเหล็กของโรเตอร์จะมีค่าน้อยกว่าที่สเตเตอร์ เนื่องจากค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กของโรเตอร์มีค่าที่ต่ำกว่า การสูญเสียของแกนเหล็กที่พื้นจะมีค่ามากกว่าบริเวณ yoke เพราะบริเวณพื้นมีการกระจาย ฮาโมนิกส์ ฟลักซ์หนาแน่น จากผลการวิจัยสรุปได้ว่าที่บริเวณพื้นของสเตเตอร์และโรเตอร์จะมีกำลังสูญเสียแกนเหล็กมากที่สุด เพราะบริเวณดังกล่าวมีความหนาแน่นสนามแม่เหล็กมากที่สุด [3]

ด้วยเหตุนี้ การศึกษาและวิเคราะห์สมรรถนะมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method: FEM) เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมอย่างกว้างขวาง ซึ่งวิธีนี้สามารถนำมาใช้กับปัญหาที่มีรูปร่างลักษณะซับซ้อนใดๆ ก็ได้ โดยสามารถจำลองรูปร่างลักษณะดั้งเดิมที่แท้จริงได้ใกล้เคียงและเที่ยงตรงกว่า โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นสามารถประมาณค่าผลเฉลยโดยการแก้สมการเชิงพีชคณิตแทนการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ ทำให้สามารถทำนายผลออกมา เพื่อลดระยะเวลาในการคำนวณทางด้านคณิตศาสตร์ และเรขาคณิตที่ซับซ้อนลง และช่วยลดค่าใช้จ่ายในการทดลองจริง [4-5]

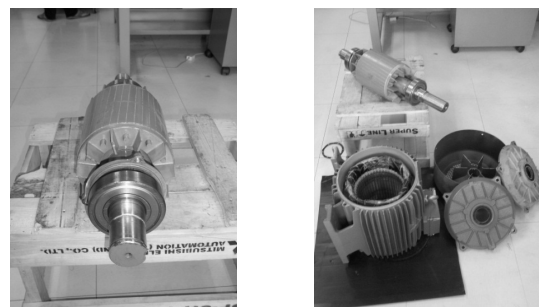
2. กรณีศึกษามอเตอร์เหนี่ยวนำต้นแบบ

รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำต้นแบบ มีขนาดพิกัดที่สำคัญ คือ กำลังไฟฟ้า 18.5 กิโลวัตต์ ระบบ 3 เฟส ความถี่ไฟฟ้า 50 เฮิรตซ์ ความเร็วรอบ 1,470 รอบต่อนาทีรูปทรงโรเตอร์เป็นแบบชนิดบี (B Type) และตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ในมอเตอร์ต้นแบบ ทั้งสเตเตอร์, โรเตอร์, โครมมอเตอร์, และขดลวดไฟฟ้า ทั้งนี้พารามิเตอร์เหล่านี้เป็นค่าที่ระบุในโปรแกรม ANSYS ซึ่งทาง

ผู้วิจัยจะนำไปใช้ในการประมวลผลด้วยวิธีจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 1 มอเตอร์ต้นแบบ (a) สเตเตอร์ (b) ขดลวดสเตเตอร์



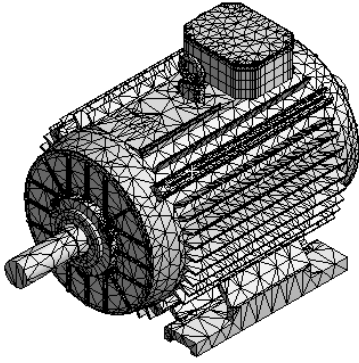
รูปที่ 2 มอเตอร์ต้นแบบ (a) โรเตอร์ (b) ส่วนประกอบต่างๆ ของมอเตอร์

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ

		Stator, Rotor	Rotor bar	Coil
Type		M 54	Aluminum Alloy	Copper
Electromagnetic	Relative Permeability	B-H	1	1
	Resistivity (Ohm.m)	B-H	5.7e-008	1.724e-008
Structural	Young's Modulus (Pa)	2e011	7.1e+010	1.1e+011
	Poisson's Ratio	0.3	0.33	0.34
	Density (kg/m ³)	7850	2770	8300
	Thermal Expansion (1/°C)	1.2e-005	2.3e-005	1.8e-005

3. แบบจำลองมอเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

รูปที่ 4 แสดงเมชของมอเตอร์เหนี่ยวนำโมเดลแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์และกำหนดวัสดุให้เป็นชนิดเดียวกันกับมอเตอร์ต้นแบบ

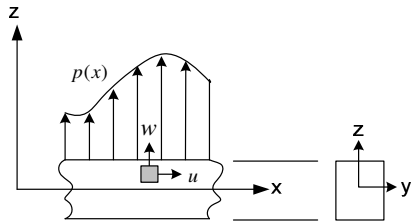


รูปที่ 3 เมชของมอเตอร์ต้นแบบด้วยการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

4. การวิเคราะห์โดยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

4.1 การวิเคราะห์ปัญหาการสันสเทือนโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิเคราะห์การสันสเทือนของวัตถุที่มีรูปทรงคล้ายคาน [1,4-5] (ในกรณีที่ใช้โรเตอร์มาพิจารณา) สามารถนำการวิเคราะห์คานมาอ้างอิงได้ รูปที่ 4 แสดงส่วนหนึ่งของคานที่วางตัวอยู่ในแนวแกน x และมีพื้นที่หน้าตัดในระนาบ $y-z$ หากคานนี้ถูกแรงแบบกระจาย (Distributed Load) $p(x)$ มากระทำดังแสดง ในรูปก่อให้เกิดการโก่งด้วยค่าเคลื่อนตัว w ในแนวแกน z และการยืดตัว u ในแนวแกน x



รูปที่ 4 การโก่งและยืดตัวของคานเมื่อถูกแรงมากระทำ

สมการเชิงอนุพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับการโก่งของคานอันเนื่องมาจากแรงแบบกระจาย คือ

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 w}{dx^2} \right) - p(x) = 0 \quad (1)$$

เมื่อ E แทนค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ทำคาน และ I แทนโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัด (Moment of Inertia of Area)

จากสมการเชิงอนุพันธ์ (1) สามารถใช้วิธีถ่วงน้ำหนักเศษตักตั้งเพื่อปรับใช้สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ในการแก้ปัญหาการโก่งของคาน

โดยพิจารณาความเครียดในวัตถุ U^* ที่เกิดขึ้นจากผลของแรงภายนอก V^* สามารถแสดงได้เป็น

$$U^* = \frac{1}{2} \int_V \sigma_x \varepsilon_x dV \quad (2)$$

$$\text{เมื่อแทน } \sigma_x = E \varepsilon_x \text{ โดย } \varepsilon_x = \frac{du}{dx} = -z \frac{d^2 w}{dx^2}$$

และพลังงานศักย์ที่เกิดขึ้นจากแรงภายนอก คือ

$$V^* = -\text{Work} = -\int_0^L p(x)w(x)dx \quad (3)$$

ดังนั้น พลังงานศักย์รวมที่เกิดขึ้นทั้งหมด [5] คือ

$$J = \frac{1}{2} \int_0^L EI \left(\frac{d^2 w}{dx^2} \right)^2 dx - \int_0^L p(x)w(x)dx \quad (4)$$

4.2 การวิเคราะห์ปัญหาทางแม่เหล็กไฟฟ้าโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิเคราะห์ปัญหาทางแม่เหล็กไฟฟ้าโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นปัญหาที่ต้องแก้โดยใช้สมการของแมกซ์เวล (Maxwell's Equation) และมีเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) ที่แตกต่างกันซึ่งเป็นตัวกำหนดค่าปัญหาขอบเขต (Boundary-Value Problem) ที่จะแก้ปัญหาโดยการประยุกต์ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ สมการของแมกซ์เวลสามารถอธิบายถึงปริมาณและความสัมพันธ์ต่างๆ ในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง ซึ่งจะเป็นเซตของสมการพื้นฐานที่ควบคุม

ปรากฏการณ์ทางแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งหมดที่มองเห็นด้วยตาเปล่า สมการของแมกซ์เวลสามารถเขียนในรูปของการอนุพันธ์และการอินทิกรัล

สมการของแมกซ์เวลในรูปแบบอนุพันธ์ทั่วไป สำหรับสนามที่แปรตามเวลาทั่วไป สามารถเขียนได้เป็น [5]

$$\nabla \times E + \frac{\partial B}{\partial t} = 0 \quad (\text{กฎของฟาราเดย์}) \quad (5)$$

$$\nabla \times H - \frac{\partial D}{\partial t} = J' \quad (\text{กฎของแมกซ์เวล-แอมแปร์}) \quad (6)$$

$$\nabla \cdot D = \rho \quad (\text{กฎของเกาส์}) \quad (7)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (\text{กฎของเกาส์-แม่เหล็ก}) \quad (8)$$

เมื่อ E คือ ความเข้มของสนามไฟฟ้า (Volts/m),

D คือ ความหนาแน่นของฟลักซ์ไฟฟ้า (Coulombs/m²),

H คือ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก (A/m),

B คือ ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (Webers/m²),

J' คือ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (A/m²)

ρ คือ ความหนาแน่นของประจุไฟฟ้า (Coulombs/m³)

สมการพื้นฐานสมการหนึ่งๆที่เรียกว่า “สมการของความต่อเนื่อง” สามารถเขียนได้เป็น

$$\nabla \cdot J = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (9)$$

การหาค่าผลเฉลยโดยประมาณ โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยพิจารณาพื้นที่หน้าตัดของรูปร่างปัญหาตามระนาบพิกัด x, y ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสนามแม่เหล็กเมื่อพิจารณาในสถานะชั่วคราวสำหรับปัญหาการที่เขียน 2 มิติ สามารถแสดงได้ในรูปของสมการอนุพันธ์ย่อยอันดับสองดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial y} \right) = -J + \sigma \frac{\partial A}{\partial t} \quad (10)$$

เมื่อ A คือ เวกเตอร์โพเทนเชียลแม่เหล็ก ที่ต้องการทราบค่า, μ คือ ความซาบซึ่มผ่านได้ของแม่เหล็ก, σ คือ สภาพนำทางไฟฟ้า, ω คือ ความเร็วเชิงมุม, J คือ ความหนาแน่นของกระแสที่ได้จากแหล่งจ่ายพลังงานภายนอก และ i คือ ส่วนจินตภาพ ในส่วนของเทอม $\sigma(\partial A / \partial t)$ แทนค่ากระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในวัสดุตัวนำเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กตามเวลา

4.3 การวิเคราะห์ปัญหาทางความร้อนโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ในการวิเคราะห์ถ่ายเทความร้อนโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ในโปรแกรม ANSYS จำเป็นต้องใส่ค่าแหล่งกำเนิดความร้อน (Heat Generation) โดยกระแสไฟฟ้าในขดลวดตัวนำแต่ละเฟส และโรเตอร์บาร์ของอินดักชันมอเตอร์ 3 เฟส จะนำไปสู่แหล่งกำเนิดความร้อน (Heat Generation, Q) (watts/m³) ภายในมอเตอร์ โดยแหล่งกำเนิดพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นบนตัวนำในสเตเตอร์และโรเตอร์สามารถหาได้จากสมการ [8]

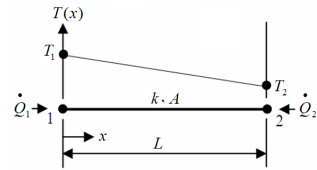
$$Q = \frac{i^2 R}{m^3} \quad (11)$$

เมื่อ i คือกระแสเฟส (A), R คือความต้านทานขดลวด (Ω)

m^3 คือปริมาตรขดลวด

จากกฎของฟูเรียร์ ที่ว่าปริมาณความร้อนนั้นขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน พื้นที่หน้าตัดและความชันอุณหภูมิ คือ

$$\dot{Q}_x = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (12)$$



รูปที่ 5 แสดงเอลิเมนต์แบบอย่างสำหรับการถ่ายเทความร้อน

ดังนั้น เมื่อแปลงเป็น Discretized Equation แล้วจะได้สมการดังนี้

$$\dot{Q}_1 = kA \left(\frac{T_1 - T_2}{L} \right) \Rightarrow \frac{kAT_1}{L} - \frac{kAT_2}{L} = \dot{Q}_1 \quad (13)$$

$$\dot{Q}_2 = -kA \left(\frac{T_1 - T_2}{L} \right) \Rightarrow -\frac{kAT_1}{L} + \frac{kAT_2}{L} = \dot{Q}_2$$

แต่จากกฎของความสมดุลของการถ่ายเทความร้อนและจากภาพ 5 จะเห็นได้ว่า

$$\dot{Q}_1 = -\dot{Q}_2$$

นำสมการที่ (13) มาเขียนในรูปของเมทริกซ์ ได้คือ

$$\frac{kA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Q}_1 \\ \dot{Q}_2 \end{bmatrix} \quad (14)$$

หรือเขียนย่อได้เป็น

$$[k][T] = [\dot{Q}] \quad (15)$$

เมื่อ [k] เรียกว่า เอลิเมนต์เมทริกซ์ของการนำความร้อน

[T] เรียกว่า เมทริกซ์ของอุณหภูมิที่จุดต่อ

$[\dot{Q}]$ เรียกว่า เมทริกซ์ปริมาณความร้อนจากนอกเอลิเมนต์เข้าที่

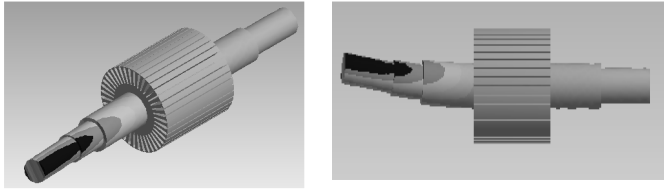
จุดต่อ

5. ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

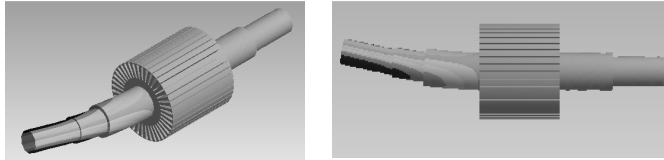
5.1 วิเคราะห์ความถี่ธรรมชาติ

5.1.1 โรเตอร์

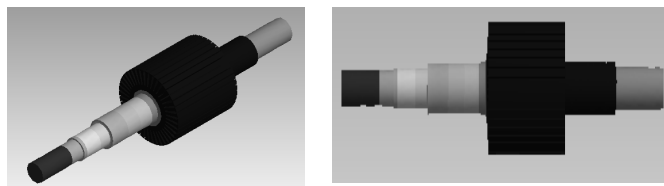
จากการวิเคราะห์ความถี่ธรรมชาติที่เกิดขึ้นในโรเตอร์ เป็นการวิเคราะห์จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อศึกษารูปแบบการสั่นของโรเตอร์ โดยรูปแบบการสั่นของโรเตอร์ที่ได้ทำการวิเคราะห์ที่ย่านความถี่ 0-8,000 Hz โดยการกำหนดเงื่อนไขแกนหลักเป็นแบบคานยึด [3] ซึ่งจะได้รูปแบบการสั่นสะเทือน 4 โหมดด้วยกันดังรูปที่ 6



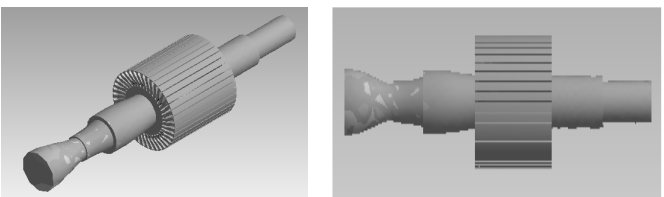
1st Sway Mode - 630 Hz



1st Bending Mode - 2,430 Hz



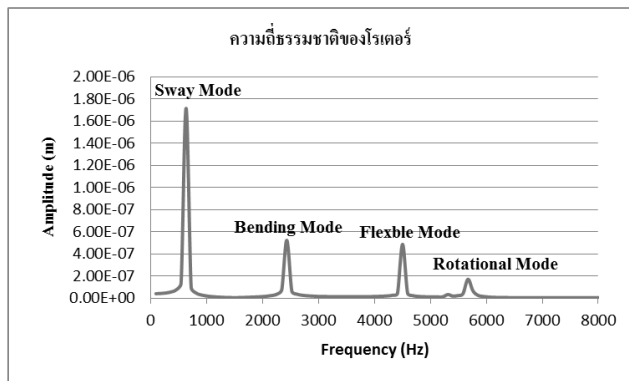
1st Flexible Mode - 4,500 Hz



Rotational Mode - 5,630 Hz

รูปที่ 6 รูปแบบการสั่นสะเทือนของโรเตอร์

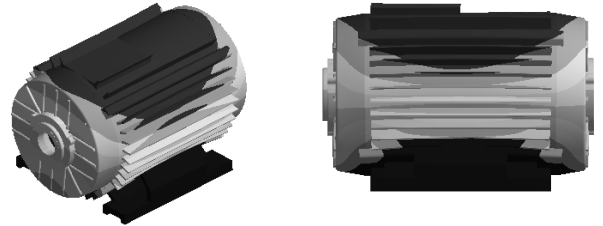
จากการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของโรเตอร์โดยใช้โปรแกรม ANSYS 13.0 เพื่อศึกษารูปแบบการสั่นของโรเตอร์ รูปที่ 7 แสดงผลตอบสนองความถี่ของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น และความถี่ของโรเตอร์ในโหมดต่างๆ โดยสัมพันธ์กับรูปที่ 6



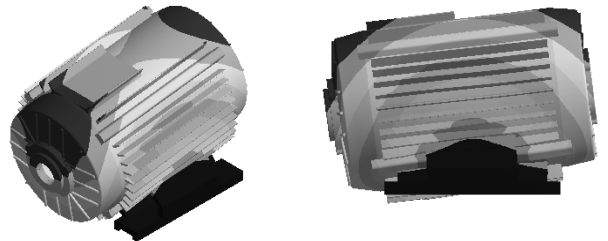
รูปที่ 7 ผลตอบสนองความถี่การสั่นสะเทือนของโรเตอร์

5.1.2 โครงมอเตอร์

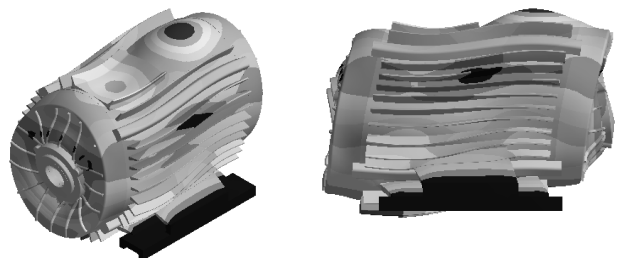
จากการวิเคราะห์ความถี่ธรรมชาติที่เกิดขึ้นในโครงมอเตอร์ เป็นการวิเคราะห์จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อศึกษารูปแบบการสั่นของโครงมอเตอร์ โดยรูปแบบการสั่นของโรเตอร์ที่ได้ทำการวิเคราะห์ที่ย่านความถี่ 0 – 8,000 Hz โดยการกำหนดเงื่อนไขแกนหลักเป็นแบบคานยึด ซึ่งจะได้รูปแบบการสั่นสะเทือน 3 โหมดด้วยกันดังรูปที่ 8



1st Sway Mode - 960 Hz



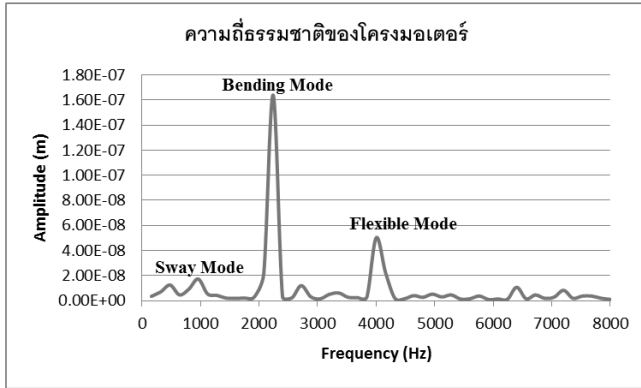
1st Bending Mode - 2,240 Hz



1st Flexible Mode - 4,000 Hz

รูปที่ 8 รูปแบบการสั่นสะเทือนของโครงมอเตอร์

จากการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของโครงมอเตอร์โดยใช้โปรแกรม ANSYS 13.0 โดยกำหนดเงื่อนไขแกนหลักแบบคานยึด รูปที่ 9 แสดงผลตอบสนองความถี่ของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น และความถี่ของโครงมอเตอร์ในโหมดต่างๆ โดยสัมพันธ์กับรูปที่ 8



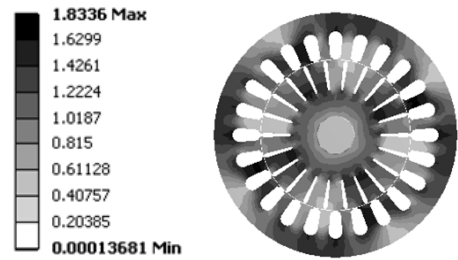
รูปที่ 9 ผลตอบสนองความถี่การสั่นสะเทือนโครงมอเตอร์

ผลการศึกษาและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในโรเตอร์และโครงมอเตอร์ พบว่ารูปแบบการสั่นสะเทือนในโรเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ด้วยกัน 4 โหมด โดยมีโหมดของการแกว่งตัวของ โรเตอร์ (Rotor Sway Mode), โหมดของการงอตัวของโรเตอร์ (Rotor Bending Mode), โหมดการยืดหยุ่นของโรเตอร์ (Rotor Flexible Mode) และโหมดของการหมุนของโรเตอร์ (Rotor Rotational Mode) ส่วนผลการศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบการสั่นสะเทือนในโครงมอเตอร์ส่วนนี้จะไม่พบในโหมดของการหมุนของโครงมอเตอร์ (Frame Rotational Mode) เนื่องจากโครงมอเตอร์ถูกยึดที่ฐานจึงไม่เกิดในโหมดนี้ การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนพบว่าแต่ละส่วนประกอบของมอเตอร์ค่าความถี่ธรรมชาติของ โครงสร้างนั้นๆ มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับรูปทรงขนาดและวัสดุ

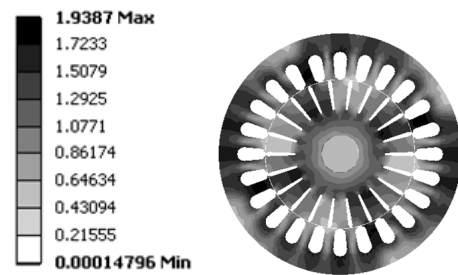
5.2 ค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก

จากการวิเคราะห์ผลค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้า โดยพิจารณาเป็น 2 กรณี ขณะมอเตอร์ไม่มีโหลดและขณะพิกัดโหลดจะเห็นการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้าภายในมอเตอร์ต้นแบบ ขณะที่มอเตอร์ทำงานไม่มีโหลดค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด 1.8336 T เมื่อให้มอเตอร์ทำงานที่พิกัดโหลดจะได้ค่าค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดที่ 1.9387 T ซึ่งสอดคล้องกับค่ากระแสที่เพิ่มขึ้น ผลการศึกษาและวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กสามารถช่วยในการวิเคราะห์กำลังสูญเสียในมอเตอร์ โดยผลการทดลองจะได้ค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก (Magnetic Flux Density; B) แล้วนำค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กคำนวณกำลังสูญเสีย

แกนเหล็ก และผลของความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กยังส่งผลต่อความร้อนที่เกิดขึ้นภายในมอเตอร์ด้วยดังรูปที่ 10



(a)



(b)

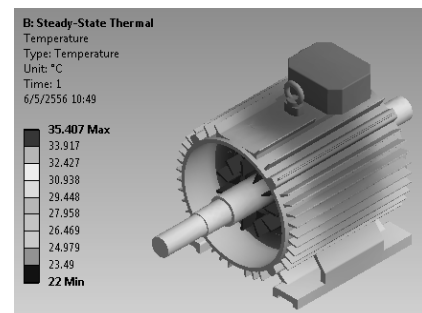
รูปที่ 10 ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้า

(a) ขณะไม่มีโหลด (b) ขณะพิกัดโหลด

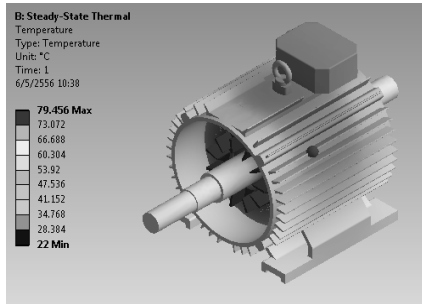
(b)

5.3 ความร้อน

จากการวิเคราะห์ผลทางความร้อนที่เกิดขึ้นภายในมอเตอร์ โดยพิจารณาเป็น 2 กรณี ขณะมอเตอร์ไม่มีโหลดและขณะพิกัดโหลดจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในมอเตอร์ต้นแบบ ผลการวิเคราะห์ทางความร้อน ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นภายในมอเตอร์ ผลจากการทดลองพบว่ามอเตอร์ทำงานขณะไม่มีโหลดอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 35.40 องศาเซลเซียส เมื่อมอเตอร์ทำงานขณะพิกัดโหลดพบว่าอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 79.45 องศาเซลเซียสซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก ดังรูปที่ 11



(a)



(b)

รูปที่ 11 การวิเคราะห์หม้อเตอร์เหนี่ยวนำทางความร้อน
(a) ขณะไม่มีโหลด (b) ขณะพิกัดโหลด

6. สรุป

มอเตอร์เหนี่ยวนำมีความถี่ธรรมชาติค่าหนึ่ง จะมีโอกาสที่มอเตอร์ตัวนั้น ได้รับความเสียหายจากการสั่นสะเทือน (เกิดปรากฏการณ์เรโซแนนซ์) การติดตั้งและใช้งานควรหลีกเลี่ยงความถี่ที่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่มอเตอร์

ค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กมีผลต่อมอเตอร์ เมื่อมีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กมากส่งผลต่อการสูญเสียในแกนเหล็กควรหลีกเลี่ยงในสภาวะที่มอเตอร์ทำงานเกินพิกัด

การศึกษาและวิเคราะห์ผลทางความร้อน เพื่อหลีกเลี่ยงกรณีที่มอเตอร์ทำงานภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิสูง อาจติดตั้งพัดลมระบายความร้อนเพื่อให้สามารถยืดอายุการใช้งาน

7. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ทางการเงินจากโครงการ การออกแบบตัวถังและช่วงล่างสำหรับรถไฟฟ้า ทุนสนับสนุนงานวิจัยประจำปีงบประมาณ 2555 มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Jason D. Ede, Z. Q. Zhu, and D. Howe, "Rotor Resonances of High-Speed Permanent-Magnet Brushless Machines", IEEE Transactions on Industry Application, Vol. 38, No. 6, pp. 1542 - 1548, November/December 2002.
- [2] F. Ishibashi, K. Kamimoto, T. Hayashi, S. Noda and K. Itomi, "Natural frequency of stator core of small induction motor", IEE Proceeding Electric Power Application, Vol. 150, No. 2, pp. 1542 - 1548, March 2003.
- [3] Jeong-Jong Lee, Soon-O Kwon, Jung-pyo Hong, Ji-Hyun, "Core Loss Distribution of 3 Phase Induction Motor Using Numerical Method", Telecommunications Energy Conference, 2009.
- [4] ปราโมทย์ เชชะอำไพ, ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม. กรุงเทพฯ:จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547
- [5] เดช พุทธเจริญทอง, การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. กรุงเทพฯ: ศูนย์ส่งเสริมกรุงเทพ, 1988.
- [6] มงคล ทองสงคราม, เครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ. กรุงเทพฯ: รามารการพิมพ์ 2535
- [7] รศ.มนตรี พิรุณเกษตร, การสั่นสะเทือนทางกล. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด 2548
- [8] Yunkai Huang, Jianguo Zhu, Youguang Guo and Qiansheng Hu "Core Loss and Thermal Behavior of High - Speed SMC Motor Based on 3- D FEM " IEEE, Electric Machines & Drives Conference, 2007.