

การจำลองความร้อนและการสูญเสียทางไฟฟ้าในมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

Simulation of Heat and Electrical Losses in Induction Motor

นลินี หมุ่มหมื่นศรี (Nalinee Mumuensri)* ดร.อาคม แก้วระวัง (Dr.Arkorn Kaewrawang)**

กิตติพงษ์ ตันมิตร (Kittipong Tonmit)***

บทคัดย่อ

บทความนำเสนอการจำลองความร้อนและความสูญเสียทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์จากโปรแกรม Comsol Version 3.5 แบบจำลองเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 เฟส ขนาด 2 แรงม้า และ 8 ขั้วแม่เหล็ก เพื่อวิเคราะห์ผลการกระจายความร้อนในมอเตอร์ การจำลองจ่ายกระแสไฟฟ้าในขดลวดบริเวณสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยกำหนดค่าอุณหภูมิเริ่มต้นที่อุณหภูมิห้อง โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดลวดของมอเตอร์ตั้งแต่ 1 เท่า จนถึง 10 เท่าจากค่าพิกัดกระแสสูงสุด ผลจากการวิจัยทำให้ทราบถึงผลของปริมาณกระแสไฟฟ้าต่อความอุณหภูมิในแต่ละจุดของมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งผลของความร้อนที่เกิดขึ้นมีผลต่ออายุการใช้งานของฉนวนภายในมอเตอร์และส่งผลกระทบต่อความสูญเสียและประสิทธิภาพการทำงานผลการวิจัยจะเป็นแนวทางในการป้องกันและปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน เพื่อให้สามารถใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดและประหยัดพลังงาน

ABSTRACT

In this paper, the simulation of heat and electrical losses in induction motor are presented by using finite element method running on the software Comsol version 3.5. The simulation model is 3 phase - induction motor of 2 hp and 4 poles. To analyze the results of heat distribution in motor, the electrical current is fed in the stator coil of induction motor and the initial temperature is room temperature. By varying the amount of electricity supplied to the coils of the motor from 1 down to 10 times the maximum current rating . Results of the study showed that the effect of the amount of electricity to the temperature in each point of the electric motor . The results of the heat generated affects the use of the motor insulation and affect the performance loss and findings to guide , protect and improve performance. To be able to use energy efficiently and saving energy.

คำสำคัญ: มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ การกระจายความร้อน

Key Words: Induction motor, Heat distribution

* นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

ปัจจุบันมอเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเป็นมอเตอร์ที่ได้รับความนิยมในการใช้งาน เช่น สามารถนำไปใช้กับ บ่ม พัดลม เครื่องมือกล คอมเพรสเซอร์ เครื่องผสมอาหาร ระบบสายพานลำเลียง และงานขับเคลื่อนอื่น ๆ อีกมากมาย เนื่องจากใช้งานง่าย มีประสิทธิภาพสูงและราคาถูก เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ชนิดอื่นที่มีขนาดเท่ากัน อีกทั้งยังง่ายในการบำรุงรักษาทำให้ได้รับความนิยมใช้งานในครัวเรือน หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน (ณรงค์, 2545) มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล แต่ในขั้นตอนการเปลี่ยนรูปพลังงาน จะมีค่าความสูญเสียของพลังงานต่างๆ ซึ่งความสูญเสียที่เกิดขึ้นนั้นประกอบไปด้วย ความสูญเสียของแกนเหล็ก การสูญเสียที่ขดลวด การสูญเสียจากแรงลมและแรงเสียดทาน ซึ่งค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นนั้นมีความสำคัญ เนื่องจากปริมาณความสูญเสียมีค่าสูงก็จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ ดังนั้นหากสามารถลดปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและการใช้พลังงานของมอเตอร์ (พุทธพร, 2550)

การจำลองความร้อนเพื่อศึกษาผลของการพาความร้อนแบบบังคับออกไปสู่อากาศ ด้วยพัดลมที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าผลการจำลองและผลที่ได้จากการคำนวณ และรวมถึงแบบจำลองความร้อนที่ได้คิดรวมผลกระทบจากการพาความร้อนและการสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในมอเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน (เจนวิทย์, 2552) สำหรับความสูญเสียทางไฟฟ้า คือความสูญเสียที่เกิดขึ้นในรูปของความร้อนที่สเตเตอร์และโรเตอร์ ซึ่งเป็นผลของความต้านทานของวัสดุที่ใช้เป็นตัวนำที่สเตเตอร์และโรเตอร์ ซึ่งสามารถควบคุมความสูญเสียได้ด้วยการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม (พุทธพร, 2550)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษา การกระจายอุณหภูมิในมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยใช้การ

จำลองผลการกระจายความร้อนโดยโปรแกรมไฟไนต์อิลิเมนต์ Comsol 3.5 ในการแก้ปัญหาเพื่อนำผลที่ได้มาใช้เป็นแนวทางในการสามารถลดปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้นและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและการใช้พลังงานของมอเตอร์

ประสิทธิภาพและการสูญเสียในมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

มอเตอร์ไฟฟ้าทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ซึ่งในขั้นตอนการเปลี่ยนรูปพลังงานนั้นจะทำให้เกิดค่าความสูญเสียขึ้นในมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ซึ่งประกอบไปด้วย

- ค่าของความสูญเสียทางไฟฟ้า (Electrical losses)
- ค่าความสูญเสียแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic losses)
- ค่าความสูญเสียทางกล (Mechanic losses)
- ค่าความสูญเสียจากภาระการใช้งาน (Stray losses)

$$P_{cu} = P_{cu,s} + P_{cu,r}$$

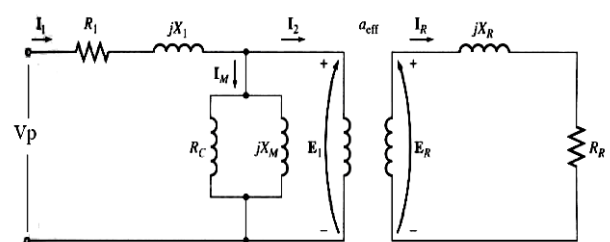
เมื่อ P_{cu} เป็นความสูญเสียในขดลวด

$P_{cu,s}$ เป็นความสูญเสียในขดลวดที่สเตเตอร์

$P_{cu,r}$ เป็นความสูญเสียในขดลวดที่โรเตอร์

การวิเคราะห์ความสูญเสียของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ในการวิเคราะห์ค่าความสูญเสียมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำวิเคราะห์ได้จากวงจรสมมูลดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรสมมูลในอุดมคติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

(STEPHEN J. CHAPMAN)

ชุดขดลวดสเตเตอร์มีค่าพารามิเตอร์ดังนี้

V_p เป็นแรงเคลื่อนที่ขั้วต่อเฟส

R_1 เป็นความต้านทานในชุดขดลวดสเตเตอร์ต่อเฟส

X_1 เป็นความเหนี่ยวนำเนื่องจากฟลักซ์รั่วในชุดขดลวดสเตเตอร์ต่อเฟส

E_1 เป็นแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำในชุดขดลวดสเตเตอร์ต่อเฟส

X_m เป็นความเหนี่ยวนำเนื่องจากการกระตุ้นสนามแม่เหล็กในสเตเตอร์ต่อเฟส

R_c เป็นความต้านทานการสูญเสียกำลังในแกนเหล็กของสเตเตอร์ต่อเฟส

วงจรโรเตอร์มีค่าพารามิเตอร์ดังนี้

E_R เป็นแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำในโรเตอร์ขณะหยุดนิ่งต่อเฟส

R_R เป็นความต้านทานในโรเตอร์ต่อเฟส

X_R เป็นความเหนี่ยวนำเนื่องจากฟลักซ์รั่วต่อเฟส

จากวงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ พบว่า R_1 และ R_2 ความต้านทานในชุดขดลวดสเตเตอร์ซึ่งมีตัวทำให้ค่าความสูญเสียทางไฟฟ้าในรูปความร้อนที่สเตเตอร์และโรเตอร์การวิเคราะห์ค่าความสูญเสียของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถวิเคราะห์ได้จากวงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยสามารถพิจารณาได้จากกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (P_i)

$$P_i = 3V_i I_i \cos \theta$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียของชุดขดลวดสเตเตอร์ ($P_{cu,s}$)

$$P_{cu,s} = 3I_1^2 R_1$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียของชุดขดลวดโรเตอร์ ($P_{cu,r}$)

$$P_{cu,r} = 3I_2^2 \frac{R_2}{s}$$

โดยความสูญเสียที่เกิดขึ้นบริเวณชุดขดลวดที่สเตเตอร์และโรเตอร์เป็นความสูญเสียทางไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้า

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลการกระจายความร้อนที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเนื่องมาจากความสูญเสียทางไฟฟ้าในชุดขดลวด

วิธีการวิจัย

สำหรับการศึกษานี้มุ่งเน้นศึกษาถึงผลของการกระจายอุณหภูมิบริเวณสเตเตอร์และโรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำอันเนื่องมาจากความสูญเสียทางไฟฟ้าในชุดขดลวดสเตเตอร์ วิเคราะห์จากแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Comsol Version 3.5

การสร้างแบบจำลอง

มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่นำมาใช้เป็นต้นแบบในการสร้างแบบจำลองผู้วิจัยได้ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 1 เฟส พิกัด 2 แรงม้า 8 ขั้วมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง

ตารางที่ 1 ขนาดของส่วนประกอบในมอเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง

ส่วนประกอบ	ขนาด
ความยาว stator	83 mm.
เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน stator	78 mm.
เส้นผ่านศูนย์กลางนอก stator	148 mm.
เส้นผ่านศูนย์กลาง rotor	71 mm.
เส้นผ่านศูนย์กลางชุดขดลวด	5 mm.

ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการกระจายความร้อน

สำหรับการวิเคราะห์เพื่อดูผลการกระจายความร้อนในสเตเตอร์ โดยในแบบจำลองประกอบด้วยแบบจำลองชุดขดลวดมอเตอร์และแกนเหล็กมอเตอร์ โดยนำแบบจำลองเข้าวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์อิลิเมนต์ Comsol 3.5 ในการแก้ปัญหาและวิเคราะห์การกระจายความร้อนโดยวิธีการ Stationary Thermal

Analysis สำหรับคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลของความร้อน ประกอบไปด้วย ค่า Thermal conductivity Coefficient, Specific heat Capacity และค่าความหนาแน่นของวัสดุ

ตารางที่ 2 ค่า สภาพการนำความร้อนของวัสดุ

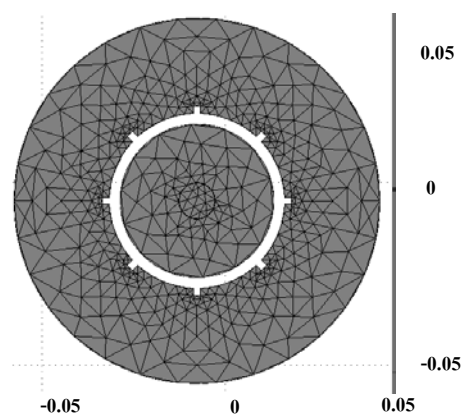
แกนสเตเตอร์	52 W/m-K
โรเตอร์	52 W/m-K
ขดลวดทองแดง	380 W/m-K

ตารางที่ 3 ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ

แกนสเตเตอร์	465 J/kg-K
โรเตอร์	465 J/kg-K
ขดลวดทองแดง	381 J/kg-K

ตารางที่ 4 ค่าความหนาแน่นของวัสดุ

แกนสเตเตอร์	7833 kg/m ³
โรเตอร์	7833 kg/m ³
ขดลวดทองแดง	8940 kg/m ³



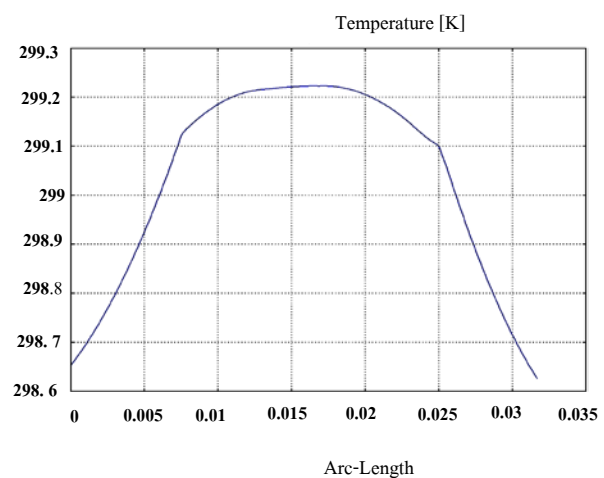
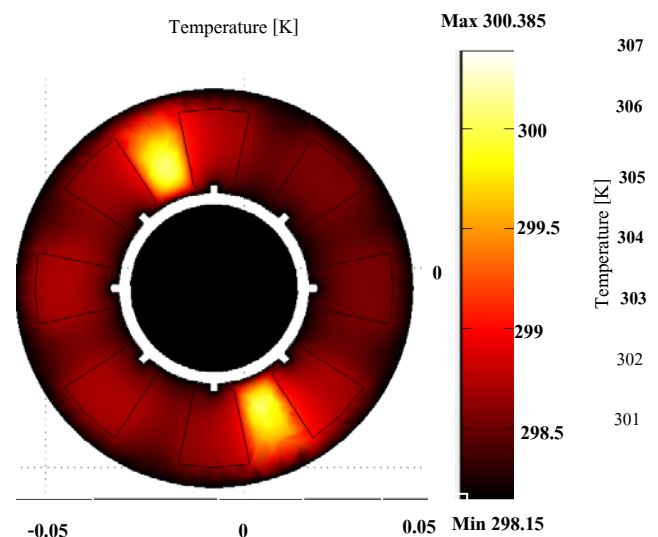
รูปที่ 2 แสดงการแบ่ง Element ของแบบจำลอง

สำหรับการวิเคราะห์ในกรณีนี้ ประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนสเตเตอร์ โรเตอร์และขด

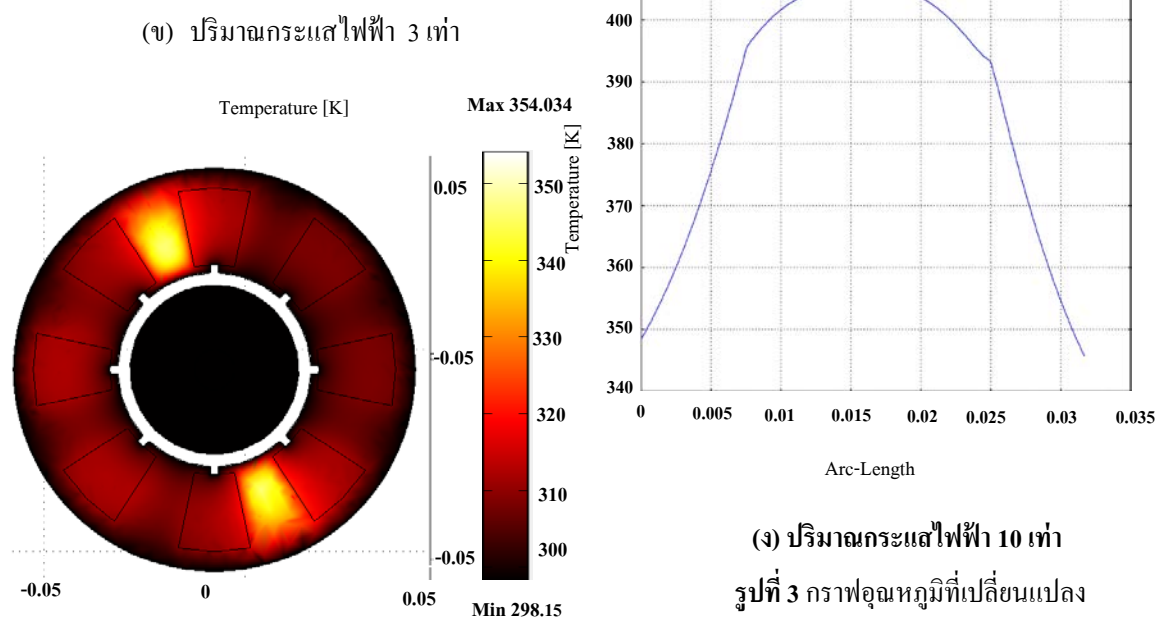
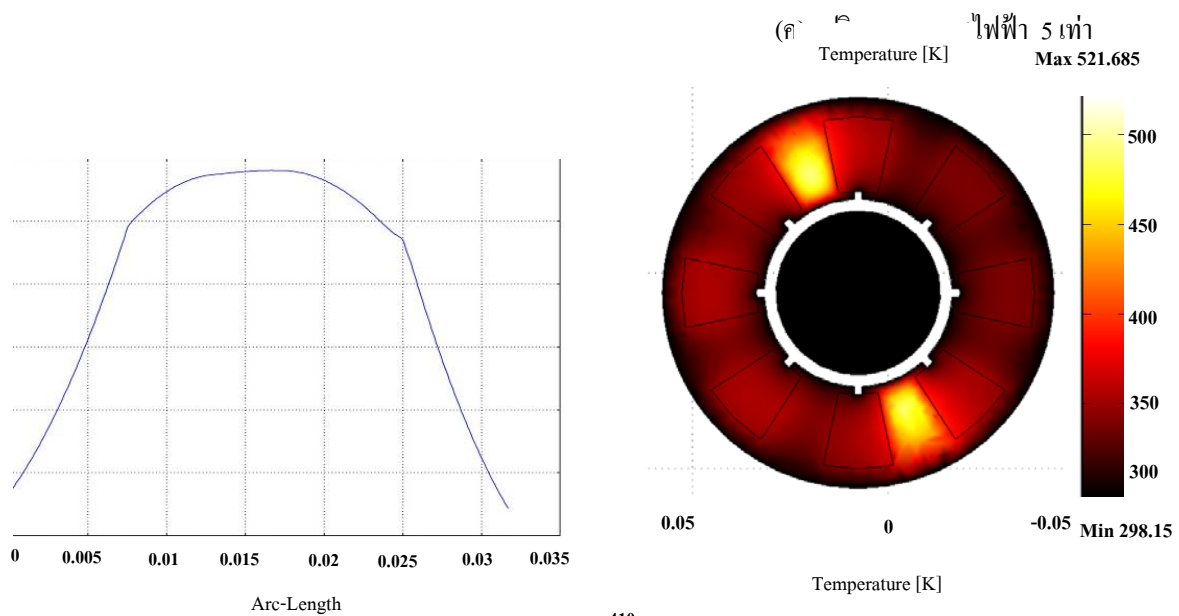
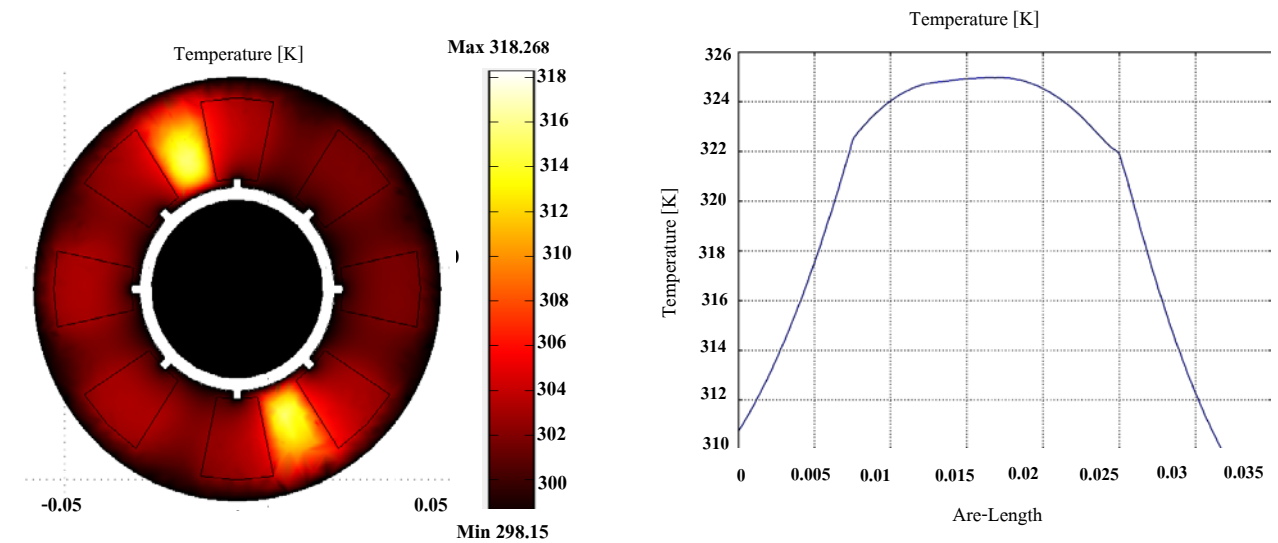
ลวดทองแดงโดยทำการแบ่ง Element แบบสามเหลี่ยมจำนวน 53,892 Element ดังรูปที่ 2 กำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นในการวิเคราะห์ที่ 298.15 K และอุณหภูมิที่ขอบเขตผิวด้านนอกของสเตเตอร์ที่ 298.15 K ซึ่งในขั้นตอนการวิเคราะห์นี้ดำเนินการโดยจำลองการเปลี่ยนแปลงจำนวนเท่าของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายในขดลวดบริเวณสเตเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลที่ได้จากการจำลองผลโดยเปลี่ยนแปลงปริมาณกระแสไฟฟ้าในปริมาณที่แตกต่างกัน เพื่อทราบผลการกระจายอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละส่วนของแบบจำลองมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

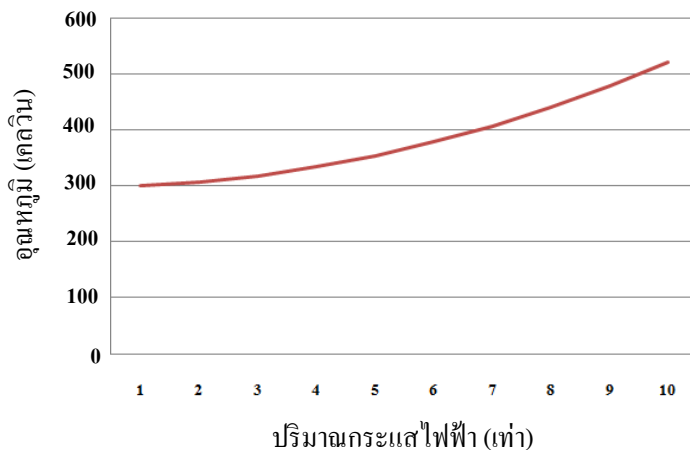


(ก) ปริมาณกระแสไฟฟ้า 1 เท่า



(จ) ปริมาณกระแสไฟฟ้า 10 เ آم์

รูปที่ 3 กราฟอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4 กราฟอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

จากการวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิภายในแกนเหล็กมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยใช้ข้อมูลการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ขดลวดของมอเตอร์เพื่อศึกษาผลการกระจายอุณหภูมิที่เกิดขึ้น พบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 1 เท๋า จนถึง 10 เท๋า ของฟลักซ์กระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 4 ผลการจำลองการกระจายความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณภาคตัดของแบบจำลองแสดงให้เห็นถึงการกระจายความร้อนในแต่ละส่วนที่ไม่เท่ากัน ซึ่งอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนเท๋าของปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล

สรุปผลการวิจัย

จากกระบวนการจำลองความร้อนซึ่งดำเนินการบนแบบจำลองคณิตศาสตร์ตามขั้นตอนที่กล่าวไว้ข้างต้น พบว่าผลการจำลองการกระจายความร้อนภายในมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ซึ่งเป็นผลจากเปลี่ยนแปลงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดลวดของมอเตอร์ตั้งแต่ 1 เท๋า จนถึง 10 เท๋า จากการวิเคราะห์การกระจายความร้อนทำให้ทราบถึงลักษณะการกระจายตัวของความร้อนที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำซึ่งจากมอเตอร์ที่นำมาใช้ในการจำลองมีความทนความร้อนของฉนวนที่คลาส F สามารถทนความร้อนได้สูงสุดที่อุณหภูมิ 155 องศา

เซลเซียส จากผลการจำลองความร้อนทำให้ทราบถึงผลของปริมาณกระแสไฟฟ้าต่อความอุณหภูมิในแต่ละจุดของมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งผลของความร้อนที่เกิดขึ้นมีผลต่ออายุการใช้งานของฉนวนภายในมอเตอร์และส่งผลต่อค่าความสูญเสียทางไฟฟ้า, ประสิทธิภาพการทำงาน และอายุการใช้งานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ดังนั้นการวิเคราะห์ทางความร้อนที่เกิดขึ้นในจึงเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการป้องกันและปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานเพื่อให้สามารถใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดและประหยัดพลังงาน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัย ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์โปรแกรม Comsol Version 3.5 ที่ใช้ในการจำลองงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- เจนวิทย์ โสภารัตน์. 2552. การวิเคราะห์การพาความร้อนของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบใช้พัดลม. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย. ครั้งที่ 23.
- พุทธิพร เสวตสกุลานนท์. 2550. การวิเคราะห์และการศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบมาตรฐาน และมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำประสิทธิภาพสูง. การประชุมวิชาการด้านพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ. ปีที่ 1.
- ณรงค์ ขอนตะวัน. 2545. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ. กรุงเทพฯ: บั๊กเซนเตอร์. สุนันท์ ศรีณนิตย์. 2528. การถ่ายเทความร้อน. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- Kazi Shamsul Arefin, Pankaj Bhowmik. 2012. Simulation of a time dependent 2D Generator model using comsolmultiphysics, Renewable Energy, vol.29, pp: 1135-1145.