รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึกและการทดสอบเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำสำหรับงานดัดเพลาและงานให้ความร้อน

Study of Temperature Distribution in Depth and Test of the Heat Induction for Bending the Shaft and Heating.

นายชาญวิทย์ แผ่นศิลา

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา การศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึกและการทดสอบเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำสำหรับงานดัดเพลาและงานให้ความร้อน

ชื่อ-สกุล นายชาญวิทย์ แผ่นศิลา

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมเครื่องกล สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ. ดร.จิตราภรณ์ วงศางาม

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน วาทิศ ล้วนงาม

สถานประกอบการ EGAT การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เขตหนองจอก

บทคัดย่อ

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยเขตหนองจอก ได้มีการนำเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำมาเพื่อใช้งานในงานซ่อมบำรุงชิ้นส่วน จึงต้องการที่จะศึกษาและทดสอบเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้งานในงานดัดซ่อมบำรุงเพลา และงานที่ให้ความร้อน โดยงานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนที่หนึ่งทำการศึกษาการกระจายอุณหภูมิในแนวลึกเพื่อนำไปใช้ในงานดัดซ่อมเพลาที่คดงอจากการใช้งาน และส่วนที่สองคือการศึกษาผลของอุณหภูมิของชิ้นงานที่มากขึ้นส่งผลต่อการรับกำลังงานความร้อนของชิ้นงานอย่างไร เริ่มตั้งแต่ศึกษาหลักการทำงานของเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ จากนั้นนำค่าของอุณหภูมิที่ได้จากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ไปคำนวณหาค่าการกระจายตัวของค่าการขยายตัวในแนวลึกเบื้องต้นในงานดัดเพลาเพื่อดูแนวโน้มในการโก่งงอของชิ้นงาน และนำค่าอุณหภุมิที่ได้จากการคำนวณผ่านโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ในงานให้ความร้อนไปสร้างสมการเชิงเส้นเพื่อคำนวณย้อนกลับหาค่ากำลังงานความร้อนที่ชิ้นงานได้รับจริงๆ จากการศึกษางานดัดเพลาพบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาแปรผันตรงกับค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึกของอุณหภูมิ ส่งผลให้ที่เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาขนาดใหญ่จะทำให้ค่าการกระจายตัวของการขยายตัวมีค่ามากกว่า ที่เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาขนาดเล็ก และเมื่อสังเกตุที่เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาคงที่ ผลของกำลังงานความร้อนที่ชิ้นงานได้รับจะแปรผันตรงกับค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิ ผลที่ได้คือกำลังงานความร้อนที่ชิ้นงานได้รับมากจะทำให้ค่าการกระจายตัวของการขยายตัวมีค่ามากกว่าที่กำลังงานความร้อนที่ชิ้นงานได้รับน้อย และจากการศึกษาสำหรับงานให้ความร้อนจากผลที่ได้พบว่าเมื่ออุณหภูมิของชิ้นงานเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ชิ้นงานสามารถรับค่ากำลังงานความร้อนที่ชิ้นงาน

ได้รับจริงลดลง เนื่องจากอุณหภูมิของชิ้นงานมีค่าสูงขึ้นส่งผลให้ค่าความเป็นสนามแม่เหล็กของชิ้นงานมีค่าลดลง ทำให้ชิ้นงานสามารถรับกำลังงานความร้อนได้น้อยลงเนื่องจาก หลักการทำงานของเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำใช้หลักการทำงานของแม่เหล็กในการให้ความร้อน และสามารถนำค่าและสมการเชิงเส้นที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้ไปคำนวณหากำลังที่ป้อนให้จากเครื่องที่เหมาะสม ในการให้ความร้อนชิ้นงาน ในเวลาที่กำหนดไว้ได้ต่อไป

คำสำคัญ : เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ, การวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์, การกระจายอุณหภูมิในแนวลึก, กำลังงานความร้อน

Cooperative Title: Study of Temperature Distribution in Depth and Test of the Heat Induction for Bending the Shaft and Heating.

Student intern name: Chanwit Pansila

Faculty: Engineering Department: Mechanical engineering

Advisor name: Asst. Prof. Dr. Jittraporn Wongsa Ngam

Mentor name: Watit Luanngam

Company: Electricity Generating Authority of Thailand - EGAT

ABSTRACT

The Electricity Generating Authority of Thailand, Nong Chok. Have been used to heat induction for use in industrial maintenance parts. I want to study and test the heat induction. The results of the study will be used in maintenance work, bending the shaft and heating. The research was divided into two parts. The study of temperature distribution in depth to be used in repairing the shaft is bent by bending applications. And the second part was to study the effect of the temperature of the workpiece, the greater the impact on the receiving power the heating of the target, however. Starting from the principle of induction heating. Then the temperature of the program Finite Element Analysis. To calculate the distribution of the expansion in depth following is a guide to trends in the shaft bending buckling of the workpiece. And bring up the temperature is to be calculated through Finite Element Analysis and heat to create a linear equation to calculate Return values are used to heat the workpiece.The study found that bending the shaft. The diameter of the shaft is proportional to the temperature distribution in the depth of the temperature. As a result, a large diameter shaft will cause the fragmentation of the expansion is greater than the diameter of the shaft is small. And when observing the diameter of the shaft of the constant power heating the workpiece to be proportional to the temperature distribution. The result is a piece that has been heat will cause the fragmentation of the expansion is greater than the power of heat to get a little work. According to a study for the heating of the results showed that the temperature of the product increased, resulting in a product able to get the power thermal material has been reduced. The temperature of the specimen were higher as a result, the magnetic field of the workpiece is reduced. The specimen can get a job due to heat less. The principle of induction heating using the principle of magnetic heating. And can be linear and that the experiment was to calculate the power feed from the right. To heat the workpiece. In a predetermined time in the future.

Keywords: Induction Heater, Finite Element Analysis, Temperature Distribution in Depth, Heat Power

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับคำแนะนำและความกรุณาจาก ผศ. ดร.จิตราภรณ์ วงศางาม อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ซึ่งได้ให้ความใส่ใจ และความห่วงใยในตัวนักศึกษา รวมถึงให้คำปรึกษา และถ่ายทอดวิชาความรู้ที่เป็นประโยชน์สำหรับการทำงานวิจัยฉบับนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์เครื่องกลผู้สั่งสอน ที่คอยสั่งสอนทั้งวิชาความรู้ทางด้านวิชาการ และคอยแชร์ประสบการณ์ต่าง ๆที่เป็นประโยชน์ต่อการทำงานในภายภาคหน้า

ขอขอบพระคุณ EGAT การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เขตหนองจอก ที่ได้มอบประสบการณ์การทำงานและให้โอกาสได้นำความรู้ที่มีนำมาใช้ร่วมในการทำงาน รวมถึงพี่ ๆ บุคลากรทุก ๆแผนกที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำที่เป็นประโยชน์สำหรับการทำงานวิจัย และที่ทั้งประสบการณ์ในการทำงานที่เป็นประโยชน์ต่อการใช้ชีวิตทำงานในอนาคต

ขอขอบคุณบุคคลสำคัญที่ทำให้ผู้จัดทำได้มีโอกาสนชีวิต ไม่ว่าจะเป็น บิดา มารดา หรือบุคคลอื่น ๆ ที่ไม่ได้เอ่ยถึง ที่ได้ให้ในการศึกษาและคอยเลี้ยวดูผู้จัดทำให้เติบโตเป็นบุคลากรที่มีคุณภาพของประเทศ และได้ส่งเสริมให้ทางผู้จัดทำได้ทำได้ทำตามความสำเร็จที่ต้องการ ผู้จัดทำจึงขอระลึกในพระคุณอันสูงสุดประมาณ และขอกราบพระคุณมา ณ ที่นี้

นาย ชาญวิทย์ แผ่นศิลา

สารบัญ

สารบัญตาราง

สารบัญรูป

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ เป็นวิธีการให้ความร้อนกับชิ้นงานที่เป็นตัวนำทางไฟฟ้าโดยไม่มีการสัมผัสกันทางไฟฟ้าและในกระบวนการใหความร้อนไม่ต้องใช้วัสดุต่าง ๆมาเป็นเชื้อเพลิงเช่น น้ำมัน แก๊ส หรือฟืน ซึ่งจะให้ความร้อนจากผิวชิ้นงานและในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนจะมีการสูญเสียความร้อนใหกับบริเวณโดยรอบ การให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำนี้ความร้อนถูกสร้างขึ้นภายในชิ้นงานโดยตรงจึงเกิดความสูญเสียความร้อนน้อยทำใหประสิทธิภาพของการให้ความร้อนสูงมาก ร้อนเร็ว สะอาดไม่เกิดฝุ่นและควันจากการเผาไหม้การควบคุมความร้อนทำได้ง่ายไม่ต้องใช้เวลาในการเตรียมความร้อนและไม่ต้องมีสถานที่เก็บเชื้อเพลิงการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำในสภาวะปัจจุบันนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมอย่างยิ่ง ไม่ว่าจะเป็นเรื่องฝุ่นควัน ความร้อนที่ถ่ายเทให้กับโลก การสิ้นเปลืองพลังงานที่น้อยกว่าประกอบกับเทคโนโลยีของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่สูงขึ้นเช่น ความเร็วในการสวิตช์ความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟาที่สูงขึ้น รวมทั้งมีการพัฒนาวงจรควบคุมอย่างต่อเนื่องและราคาของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ต่ำลงด้วยเหตุดังกล่าวอุตสาหกรรมการผลิตที่เกี่ยวของกับการให้ความร้อนกับชิ้นงานที่เป็นตัวนำทางไฟฟ้าสวนใหญ่ใช้วิธีการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ เช่น งานหลอมละลาย งานเชื่อมประสาน งานขึ้นรูปและงานชุบแข็ง นอกจากนี้ยังนำมาพัฒนาใช้ในการผนึกยา ผนึกฝาเครื่องดื่มและทำเตาหุงต้มอาหารเป็นต้น

การให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำในแต่ละงานดังได้กล่าวมาแล้วนั้นใช้หลักการเหนี่ยวนำแบบเดียวกันเพียงแต่สิ่งที่แตกต่างออกไปคือขนาดกำลังของเครื่องและความถี่ในการใช้งานซึ่งความถี่ใน การใช้งานส่งผลต่อความลึกของความร้อนจากผิวของชิ้นงานลงไปในเนื้อชิ้นงาน ดังนั้นการให้ความร้อนในงานแต่ละแบบจึงต้องคำนึงถึงความถี่ในการใช้งาน งานบางชนิดต้องผ่านชุดให้ความร้อนหลายชุดที่ต่างความถี่กันเพื่อให้ความร้อนแก่ชิ้นงานเป็นการเตรียมชิ้นงานให้เหมาะสมกับการผลิต

ค่ากำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับขึ้นอยู่กับส่วนประสมของวัสดุนั้น โดยความสัมพันธ์คือ ค่ากำลังความร้อนที่ชินงานได้รับจะแปรผันตรงตาม ค่าความเป็นแม่เหล็กของชิ้นงานแต่ละชนิด

ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอ การใช้งานเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำในการให้ความร้อนโดยวิเคราะห์การกระจายของอุณหภูมิในแนวลึกที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ในงานดัดเพลาและ เมื่อใช้ในงานให้ความร้อนของชิ้นงานความร้อนที่เกิดขึ้นจริงมีผลต่างจากค่าที่ได้จากการคำนวนอย่างไร

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 จะศึกษาและทดสอบเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ เพื่อที่จะนำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้งานต่อในงานดัดซ่อมบำรุงเพลา และงานให้ความร้อน

1.2.2 ศึกษาค่ากำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับจากเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่ใช้งาน ต่อวัสดุที่ AISI 4140 ในกำลังความร้อนต่าง ๆ

1.2.3 หาความสัมพันธ์เชิงเส้นของวิเคราะค่าความสัมพันธ์ระหว่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจริงกับกำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 กำลังความร้อนที่เครื่องให้ ใช้สำหรับวิเคราะห์หาค่าใช้งานที่เหมาะสมทั้งสำหรับงานให้ความร้อนและงานดัดเพลา โดยกำหนดขอบเขตของกำลังความร้อนที่เครื่องให้อยู่ที่ 4 กิโลวัตต์ ถึง 6 กิโลวัตต์ในงานดัดเพลาเนื่องจากว่าเป็นค่าที่ใช้งานบ่อยในงานดัดเพลา และอยู่ที่ 2 กิโลวัตต์ ถึง 20 กิโลวัตต์ในงานให้ความร้อนเนื่อจากกว่าเป็นช่วงที่ใช้งานบ่อยและคาดว่าสามารถทำให้เห็นความสัมพันธ์ของกำลังความร้องและอุณหภูมิอย่างชัดเจน

1.3.2 เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน ใช้วิเคราะห์ผลของกำลังงานที่ชิ้นงานได้รับเมื่อเวลาเปลี่ยนไป โดยกำหนดเวลาอยู่ในช่วง 0 ถึง 5 นาทีเนื่องจากเป็นเวลาที่ใช้งานจริงในงานให้ความร้อน และวิเคราะห์การกระจายอนุณหภูมิในแนวลึกที่เวลา 1 นาทีในการวิเคราะห์ในงานดัดเพลา

1.3.3 อุณหภูมิของชิ้นงานที่เกิดขึ้น ใช้วิเคราะห์อุณหภูมิของชิ้นงานที่เกิดขึ้นจริงมีผลอย่างไรต่อกำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับอย่างไรในงานให้ความร้อน และการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึกว่าส่งผลอย่างไรในงานดัดเพลา

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลที่เกี่ยวกับงานวิจัย

1.4.2 ออกแบบการทดสอบงานวิจัย

1.4.3 การใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์หาค่า ความร้อนที่เกิดขึ้น

1.4.4 จัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในโครงการ

1.4.5 ทำการทดสอบหาค่ากำลังความร้อนที่ชิ้นงาน เทียบกับอุณภูมิที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน

1.4.6 วิเคราะห์ผลของกำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับแล้วนำค่าที่ได้มาหาสมการ

1.4.7 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

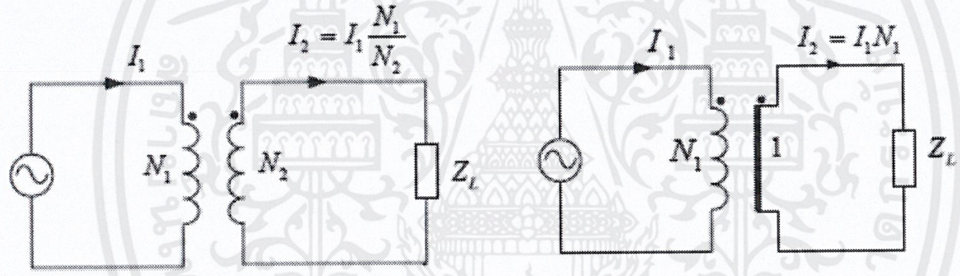
1.4.8 จัดทำรายงานและประเมินผลโครงงาน

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 พื้นฐานของการเหนี่ยวนำความร้อน

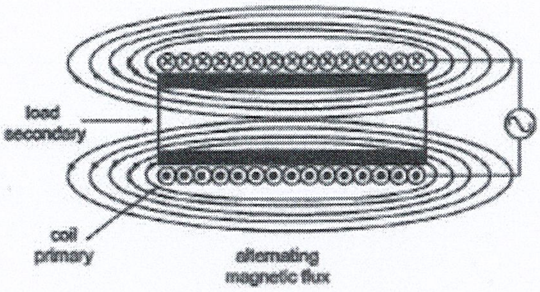
การเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นหลักการพื้นฐานของการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ หลักการนี้ได้นำมาใช้ในมอเตอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า เป็นต้น เมื่อใช้งานจะเกิดความร้อนนั้นซึ่งมีผลมาจากกระแสไหลวน (Eddy current) ความร้อนลดลงเมื่อใช้เหล็กแผ่นบางอาบฉนวน (Laminates sheet steel) ในปัจจุบันได้นำหลักการเกิดความร้อนจากการเกิดกระแสไหลวนดังกล่าวมาใช้เพื่อให้ความร้อนกับชิ้นงานที่เป็นตัวนำทางไฟฟ้าเรียกว่าเตาเหนี่ยวนำ (Induction furnace) หลักการทำงานพื้นฐานคล้ายกับหม้อแปลงไฟฟ้าโดยขดลวดทางด้านทุติยภูมิ (Secondary winding) ที่มีเพียงรอบเดียวซึ่งหมายถึงการลัดวงจรทางทุติยภูมิดังแสดงในรูปที่ 2.1 (B)



(A) วงจรสมมูลอย่างง่ายของหม้อแปลง (B) วงจรสมมูลของขดเหนี่ยวนำกับชิ้นงาน

รูปที่ 2.1 วงจรสมมูลของหม้อแปลงและ ขดลวดเหนี่ยวนำกับชิ้นงาน [1]

ชิ้นงานเปรียบเสมือนขดทุติยภูมิที่ลัดวงจรอยู่ในขดลวดปฐมภูมิที่ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กคล้องผ่านบางส่วนคล้องผ่านขดลวด ผ่านอากาศ และคล้องผ่านชิ้นงานดังรูปที่ 2.3 สนามแม่เหล็กที่คล้องผ่านชิ้นงานจะเหนี่ยวนำทำให้เกิดกระแสไหลวนที่ชิ้นงานและจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่ชิ้นงาน ขึ้นอยู่กับปริมาณของกระแสไหลวน (I_{eddy}) และความต้านทานของชิ้นงาน (R_w) เป็นตามสมการกำลังไฟฟ้าซึ่งมีค่าเท่ากับ $I_{eddy}^2 \cdot R_w$ โดยที่กระแสจะหาได้จากความเข้มของสนามแม่เหล็ก ความต้านทานหาได้จากค่าความต้านทานจำเพาะ (Resistivity, ρ)และความซึมซาบแม่เหล็กของชิ้นงาน (Permeability, μ)



รูปที่ 2.2 พื้นฐานการเหนี่ยวนำความร้อน [2]

รูปที่ 2.2 แสดงการต่อตัวเหนี่ยวนำคร่อมอยู่กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อเปิดสวิตช์กระแสไฟฟ้าในวงจรจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและตัวต้านทานที่ต่อลำดับอยู่ ถ้าปริมากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดก็จะทำให้สนามแม่เหล็กเกิดการขยายตัว และตลอดเวลาที่มีการเคลื่อนที่ตัดกันระหว่างสนามแม่เหล็กกับตัวเหนี่ยวนำก็จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นนี้ จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่จะคอยต้านการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าภายในวงจร โดยค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำ 1 เฮนรี่ หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์/วินาทีทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 โวลต์ ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำจะเป็นตัวแสดงว่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากตัวเหนี่ยวนำจะมีปริมาณเท่าไร สำหรับการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเดียวกัน สูตรคำนวณแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นดังนี้

$$V_{ind} = L \times \frac{\Delta I}{\Delta t} \tag{2.1}$$

โดยที่ L = ค่าความมเหนี่ยวนำ (Henry)

ΔI = การเปลี่ยนแปลงปริมาณกระแสไฟฟ้า (Ampere)

Δt = การเปลี่ยนแปลงของเวลา (sec)

เมื่อค่าความเหนี่ยวนำมีค่ามาก จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำมากและถ้าต้องการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าเมื่อเทียบกับเวลาที่ค่าเพิ่มขึ้น ก็จะทำให้แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ จะมีค่าเพิ่มมากไปด้วย

การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในขดลวด ถ้าเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นมากด้วย

เมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดจะทำให้สนามแม่เหล็กซึ่งจะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าค่าสูงสุดด้วย และทำให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าไม่เกิดการขยายตัวอีกต่อไป โดยจะรักษาระดับให้คงที่ไว้ เมื่อกระแสไฟฟ้าคงที่แล้วการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กจึงไม่เกิดขึ้น ดังนั้น การเคลื่อนที่ตัดกันระหว่างตัวเหนี่ยวนำและสนามแม่เหล็กที่ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจึงไม่เกิดขึ้น และสุดท้ายกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่จะไปด้านการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรก็จะไม่เกิดขึ้นด้วยเช่นกัน ดังแสดงในรูป (ข) ขดลวดจะรับพลังงานไฟฟ้าและเก็บไว้ในรูปของพลังงานสนามแม่เหล็ก เช่นเดียวกับกรณีที่ตัวเก็บประจุที่เก็บพลังงานไฟฟ้าในรูปของสนามไฟฟ้านั่นเอง ถ้าปรับสวิตช์ไปที่ตำแหน่ง B ดังแสดงในรูป (ค) กระแสไฟฟ้าที่ไหลมาจากแบตเตอรีจะมีค่าเท่ากับศูนย์ และทำให้สนามแม่เหล็กยุบตัวลงมา ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในวงจรจึงไม่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กอีกต่อไป และถึงแม้เส้นแรงแม่เหล็กจะยุบตัวลงมา แต่ก็ยังเป็นการเคลื่อนที่ตัดกับขดลวดตัวนำอยู่เป็นเหตุให้มีการเคลื่อนที่ตัดกันระหว่างตัวเหนี่ยวนำ และ สนามแม่เหล็กส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนียวน้ำเกิดขึ้นในขดลวด ซึ่งผลที่ตามมาก็คือ เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่จะไหลไปในทิศทางเดียวกันกับกระแสไฟฟ้าของวงจรซึ่งไหลอยู่ก่อนหน้านี้แล้ว ขดลวดในขณะนี้จะเปลี่ยนพลังงานสนามแม่เหล็กไปเป็นพลังงานไฟฟ้าและคืนพลังงานที่เก็บสะสมไว้ในตอนแรกออกมา หลังจากเวลาผ่านไปสนามแม่เหล็กก็จะยุบตัวหมดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำก็จะกลายเป็นศูนย์ และกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายในวงจรก็จะไม่เกิดขึ้นอีก

รูปที่ 2.3 สนามแม่เหล็กไฟฟ้าในสภาวะต่าง ๆ [2]

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดนี้ จะทำหน้าที่ต้านทานแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจากแบตเตอรี่ และ ความสามารถของขดลวด หรือ ตัวเหนี่ยวนำที่ทำให้เกิด แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นภายในซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า หรือที่นิยมเรียก คือ ความเหนี่ยวนำหน่วยเป็นเฮนรี (H)

2.2 การเหนี่ยวนำทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

จากรูปที่ 2.2 เมื่อจ่ายกระแสให้กับขดลวดเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะเกิดขึ้นรอบ ๆ ขดลวดซึ่งสอดคล้องกับกฎของแอมแปร์ (Ampere 's Law)

$$\int HdI = Ni = F \qquad (2.2)$$

$$\phi = \mu HA \qquad (2.3)$$

ซึ่งวัตถุที่ใส่เข้าไปในส่วนของพื้นที่ ที่เกี่ยวกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการเคลื่อนไหวเกี่ยวกับสนามแม่เหล็ก ความหนาแน่นของส่วนพื้นที่ ที่เกิดสนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นที่บริเวณตรงกลางจากพื้นผิวมากที่สุด ซึ่งคล้ายกับกฎของฟาราเดร์ (Faraday 's Law) เมื่อจ่ายกระแสเข้ากับพื้นผิวของวัตถุที่สามารถนำไฟฟ้าได้ มีความสัมพันธ์กลับกันกับกระแสบนวงจรการเหนี่ยวนำ ดังสมการที่ 2.4 เกิดกระแสวนบนพื้นผิวของวัตถุ

$$E = \frac{d\lambda}{d\lambda} = N\frac{d\phi}{dt} \qquad (2.4)$$

ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้เกิดพลังงานทางไฟฟ้าจากกระแสชักจูงและกระแสวนแปลงเป็นพลังงานในรูปของความร้อนดังสมการที่ 2.5

$$P = \frac{E^2}{R} = i^2R \qquad (2.5)$$

ซึ่งคำของตัวต้านทานได้จากค่าของความหนาแน่น และ ค่าความซาบซึมได้ของวัตถุที่สามารถนำไฟฟ้าได้ ส่วนกระแสได้จากคำความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า พลังงานความร้อนจะเกิดขึ้นได้โดยมีความสัมพันธ์กับค่าของความลึกผิว ซึ่งสามารถอธิบายได้ในส่วนของรูปที่ 2.4

ถ้าวัตถุที่สามารถนำไฟฟ้าได้เช่น เหล็กพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากสนามแม่เหล็กจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยจำนวนของพลังงานความร้อนที่ได้จะมากขนาดไหนขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุด้วยพลังงานจะเพิกเฉยถ้าวัตถุมีขนาดเล็กมาก ๆ เนื่องจากพลังงานมีการสูญเสียมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์

2.3 ระยะความลึกผิวของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ปรากฏการณ์ที่สัญญาณความถี่สูงไหลที่ผิวและความถี่ต่ำไหลลึกลงไปในผิวเรื่อย ๆ ตามความถี่ที่ลดลง ดังสมการที่ 2.6 และสมการที่ 2.7 เราเรียกว่าเกิดปรากฏการณ์ Skin Effect

$$i_x = i_0 e^{-x/d_0} \qquad (2.6)$$

เมื่อ i_x = ความหนาแน่นของกระแสที่ x (Ampere)

i_0 = ความหนาแน่นของกระแสบนความลึกผิว (Ampere)

d_0 = ความลึกผิว (mm)

$$d_0 = \sqrt{\frac{\rho}{\mu f \pi}} \qquad (2.7)$$

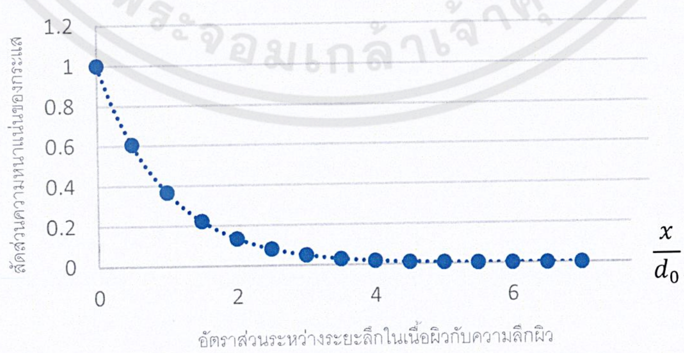
เมื่อ d_0 = ความลึกผิว **(m)**

ρ = ความต้านทานจำเพาะของชิ้นงาน $(\Omega \cdot \mathrm{m})$

μ = ความซึมซาบแม่เหล็กของชิ้นงาน **(H/m)**

f = ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟสลับ **(Hz)**

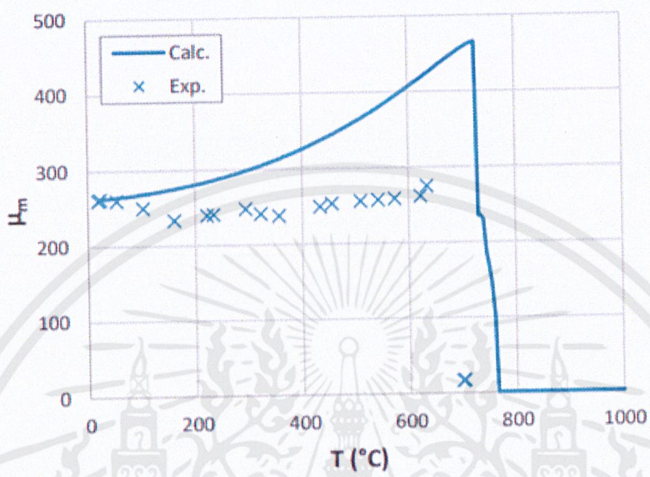
จากสมการที่ 2.7 จะเห็นว่าความมลึกผิวที่ได้ ขึ้นอยู่กับ ค่าความควบแน่น ค่าความซึมซาบได้และความถี่ของวัตถุ รูปที่ 2.4 เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของกระแสและค่าของความลึกเชิงผิว



รูปที่ 2.4 แสดงความหนาแน่นของกระแสและค่าของความลึกเชิงผิว

2.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความซึมซาบของแม่เหล็กไฟฟ้ากับอุณหภูมิที่เกิดขึ้น

เมื่ออุณหภูมิของชิ้นงานเพิ่มขึ้น มีผลต่อการทำให้ค่าความซึมซาบของแม่เหล็กลดลง ซึ่งค่าความซึมซาบของแม่เหล็ก มีผลต่อการให้พลังงานความร้อนในชิ้นงาน ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิของชิ้นงานเพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าของกำลังงานที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงานมีค่าลดลง



รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความซึมซาบแม่เหล็ก กับ อุณหภูมิ [3]

รูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าความซึมซาบของแม่เหล็กไฟฟ้า กับอุณหภูมิของงชิ้นงาน ส่งผลให้ค่ากำลังความร้อนที่เกิดขึ้นในชิ้นงานมีค่าลดลงเนื่องจาก ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงานขึ้นอยู่กับความซึมซาบแม่เหล็กไฟฟ้าด้วย

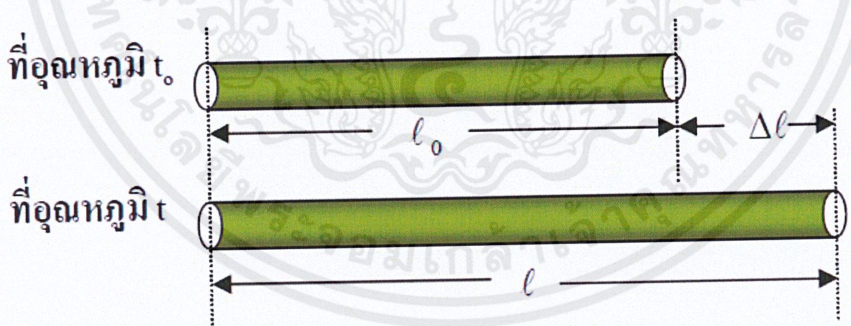
2.4 การขยายตัวของวัตถุเนื่องจากความร้อน

วัตถุเมื่อได้รับความร้อนนอกจากจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น และอาจทำให้วัตถุเกิดการขยายตัวสำหรับวัตถุที่เฉลี่ยความร้อนได้ทั่วทั้งก้อน (Isotropic) เช่น แก้วและของเหลวทุกชนิดเหล่านี้จะขยายตัวออกเท่ากันทุกทาง เนื่องจากอะตอมของวัตถุเมื่อได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นจะเกิดการสั่นไปมารอบจุด ๆ หนึ่งภายในโครงสร้างของวัตถุ เป็นเหตุให้ระยะห่างระหว่างอะตอมเปลี่ยนแปลง โดยถ้าระยะห่างระหว่างอะตอมเพิ่มมากขึ้น วัตถุนั้นก็ขยายตัว แต่ถ้าระยะห่างระหว่างอะตอมลดลง วัตถุนั้นก็จะหดตัวขึ้น

การขยายตัวของของแข็ง โดยทั่วไปเมื่อให้ความร้อนแก่ของแข็งใด ๆ ของแข็งนั้นจะขยายตัวทุกทิศทางจึงมีผลทำให้รูปทรงของวัตถุนั้นเหมือนเดิม แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงในด้านของความยาวพื้นที่และปริมาตร โดยการขยายตัวนั้นจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของของแข็งนั้น ๆ การขยายตัวของของแข็งแบ่งการพิจารณาได้เป็น 3 แบบ คือ

2.4.1 การขยายตัวตามเส้น (Linear Expansion)

วัตถุที่มีความยาว l_0เมื่ออุณหภูมิเริ่มต้น T_0°C ถ้าได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นจนมีอุณหภูมิเป็น T_0°C จะมีความยาวเป็น l โดยความยาวเพิ่มขึ้น$\Delta l = l - l_0$ และพบว่าความยาวที่เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความยาวเดิม (l_0) และเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ($\Delta T = T - T_0$)°C ดังรูป



รูปที่ 2.6 แสดงความยาวของแท่งวัตถุเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง [4]

จะได้ว่า
$$\Delta l \propto l_0 \Delta T$$

$$\Delta l = \alpha l_0 \Delta T \qquad (2.8)$$

ให้ α เป็นค่าคงที่เฉพาะของสารแต่ละชนิด เรียกว่า สัมประสิทธิ์ของการขยายตัวตามเส้น (Coefficient of linear expansion)

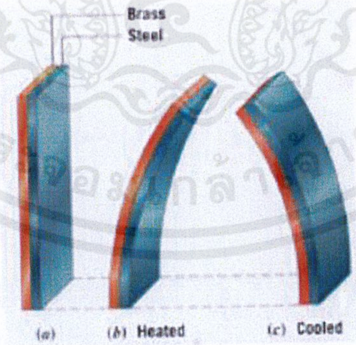
$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta T} \qquad (2.9)$$

ดังนั้นสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวตามเส้น คือ ความยาวของวัตถุที่เปลี่ยนไปต่อหนึ่งหน่วยความยาวเดิม และต่อหนึ่งองศาของอุณหภูมิของวัตถุที่เปลี่ยนไป มีหน่วยเป็นต่อองศา $(°C)^{-1}$

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวตามเส้น(α)

สาร	$\alpha\ (°C)^{-1}$	สาร	$\alpha\ (°C)^{-1}$
อลูมิเนียม	23×10^{-6}	ยางแข็ง	80×10^{-6}
ทองเหลือง	19×10^{-6}	น้ำแข็ง	51×10^{-6}
ทองแดง	17×10^{-6}	ตะกั่ว	29×10^{-6}
แก้ว(ธรรมดา)	9×10^{-6}	เหล็กกล้า	11×10^{-6}
แก้ว(ไพเรก)	3.2×10^{-6}	ไม้	$3\text{-}5 \times 10^{-6}$

วัตถุต่างชนิดกันจะยืดตัวไม่เท่ากัน เช่น เหล็กกล้ากับทองเหลืองยาวเท่ากัน เผาให้ร้อนเท่ากัน ทองเหลืองจะยืดตัวได้มากกว่าเหล็กกล้า เนื่องจากสัมประสิทธิ์การขยายตัวของทองเหลืองมีค่ามากกว่าเหล็กกล้า ดังนั้นเมื่อเอาเหล็กกล้ากับทองเหลืองประกบกัน แล้วตรึงด้วยหมุดให้แน่นเมื่อเผาไฟให้ร้อนจะงอโค้ง โดยมีทองเหลืองโค้งอยู่วงนอก เพราะขณะที่ร้อนทองเหลืองยาวกว่าเหล็กกล้า ในทำนองเดียวกัน ถ้าทำให้เย็นลง ทองเหลืองจะหดตัวมากกว่าเหล็กกล้า มันจะดึงกันให้งอไปอีกทางหนึ่งดังรูป



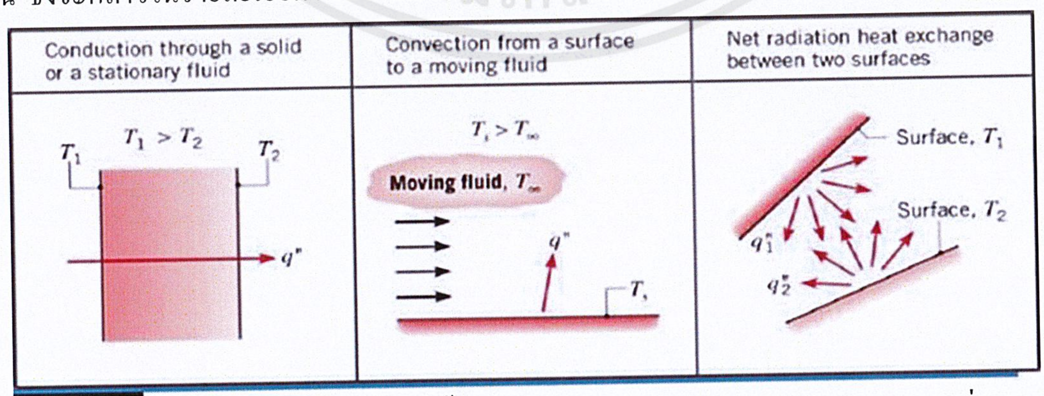
รูปที่ 2.7 แสดงการขยายตัวของเหล็กกล้าและทองเหลือง [4]

2.5 หลักการถ่ายเทความร้อน (Principle of Heat Transfer)

การถ่ายเทความร้อน คือ การส่งผ่านพลังงานความร้อนซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่าง ของอุณหภูมิ ดังนั้น เมื่อใดก็ตามที่มีความแตกต่างของอุณภูมิเกิดขึ้นในตัวกลางหรือระหว่าง ตัวกลาง การถ่ายเทความร้อนมักจะเกิดขึ้นได้ดังนั้นพื้นฐานของการถ่ายเทความร้อน คือ "ความ แตกต่างของอุณหภูมิ" (Temperature Different) ถ้าตัวกลางสองตัวมีอุณหภูมิเท่ากันจะไม่เกิดการ ถ่ายเทความร้อน ดังนั้นความแตกต่าง ของอุณหภูมิจึงเป็นแรงขับเคลื่อน (Driving Force) เพื่อให้เกิดการถ่ายเทนั่นเอง อัตราการถ่ายเทความร้อนขึ้นอยู่กับความลาดชันของอุณหภูมิ (Temperature Gradient) ความลาดชันของอุณหภูมิหมายถึงความแตกต่างของอุณหภูมิต่อหน่วยความยาว หรือ อัตราการลดลงของอุณหภูมินั่นเอง สมการพื้นฐานสาหรับกระบวนการถ่ายโอน

$$\text{Rate of a Transfer Process} = \frac{\text{Driving force}}{\text{Resistance}}$$

รูปที่ 2.9 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในแบบต่าง ๆ เมื่อมีเกรเดียนท์อุณหภูมิ (Temperature Gradient) เกิดขึ้นในตัวกลางที่อยู่นิ่ง เช่นของแข็ง หรือของไหล เทอมของการนำความร้อน (Convection) จะเป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นผ่านตัวกลาง ในขณะที่การพาความร้อน (Convection) จะเป็นการถ่ายเทความ ร้อนที่เกิดขึ้นระหวางพนผิวและของไหลที่เคลื่อนที่ เมื่อ มีอุณหภูมิแตกต่างกนั ส่วนการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) จะเป็นการที่ทุกพื้นที่ผิวที่มีอุณหภูมิ หนึ่งจะปล่อยพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา ดังนั้น ในสถาวะที่ปราศจากตัวกลางใด ๆ จะมีการถ่ายเทความร้อนสุทธิที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแผ่รังสีระหว่างพื้นผิวสองพื้นผิวที่มีอุณหภูมิ แตกต่างกันได้ดังนั้นการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนที่สมบูรณ์แบบ จำเป็นจะต้องทราบถึง กลไก การถ่ายเทความร้อนทั้งสามแบบที่กล่าวไปแล้วข้างต้น ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดในลาดับต่อไป



รูปที่ 2.9 รูปแบบการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นโดยการนา การพา และการแผ่รังสี สภาวะสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอ (Steady State and Unsteady State) [3]

สภาวะสม่ำเสมอ (Steady state) หมายความว่า อุณหภูมิที่จุด ๆ หนึ่งในวัตถุไม่เปลี่ยนแปลงกบเวลา หรืออาจเขียนอยู่ในรูปสมการได้ว่า

$$\frac{dT}{dt} = 0$$

สภาวะสม่ำเสมอจะเกิดขึ้นในกรณีที่วัตถุได้รับการถ่ายเทความร้อน มาเป็นเวลานาน พอสมควร จนอุณหภูมิในวัตถุไม่เปลี่ยนแปลง ไม่ว่าเราจะถ่ายเทความร้อนให้วัตถุไปอีกนานเท่าใด สภาวะสม่ำเสมอ ซึ่งมีความหมายวาอุณหภูมิที่จุดหนึ่งจุดใดในตัวกลางที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านไม่ เปลี่ยนแปลงกบเวลา เมื่อพิจารณาให้ดีจะเห็นว่า หากเกิดสภาวะสม่ำเสมอแล้วอัตราการเคลื่อนที่ ของความร้อนที่ จุดใด ๆ ในทิศทางของการเคลื่อนที่จะมีค่าเท่ากนั แสดงวา ถ้าความร้อนเคลื่อนที่ใน ทิศทางของ X อัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนจะไม่เปลี่ยนแปลงกบั X ปรากฏการนี้สามารถ อธิบายได้โดยใช้ปริมาตรควบคุม (Control Volume) ที่บางมากที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากบพื้นที่หน้าตัด ที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน สมมุติว่าจุดที่พิจารณาอยู่ในประมาตรควบคุมนี้หากจุด ๆ นั้นมีอุณหภูมิ คงที่ก็หมายความว่า ปริมาตรควบคุมไม่ได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น แสดงว่า ความร้อนที่เคลื่อนที่เข้า ปริมาตรควบคุมจะเท่ากบความร้อนที่ออกจากปริมาตรควบคุมั หากพิจารณาอย่างเดียวกนั นี้กบั ปริมาตรควบคุมอื่นที่วางเรียงต่อเนื่องกันในทิศทาง X แสดงว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนนี้ไม่ เปลี่ยนแปลงกับ X

สภาวะไม่สม่ำเสมอ (Unsteady State หรือTransient State) หมายความว่า อุณหภูมิที่จุด ๆ หนึ่งในวัตถุยังเปลี่ยนแปลงอยู่เมื่อเวลาเปลี่ยนไป หรืออาจเขียนในรูปสมการ

$$\frac{dT}{dt} \neq 0$$

สภาวะไม่สม่ำเสมอเกิดเมื่อ ตอนที่เราเริ่มถ่ายเทความร้อนให้แก่วัตถุอุณหภูมิของวัตถุยังไม่คงที่ ยังคงเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาเปลี่ยนไป

2.6 การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer)

การถ่ายเทความร้อนโดยการนาความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนเพียงวิธีเดียวที่เกิดขึ้นใน วัตถุที่เป็นตัวกลางทึบแสง เมื่อมีความลาดชันของอุณหภูมิสามารถเกิดได้ทั้งในของแข็ง ของเหลว และแก๊ส แต่เนื่องจากมีการไหลหมุนเวียนเกิดขึ้นในของเหลวและแก๊ส แต่สาหรับในของแข็งทึบ แสงจะไม่มีการเคลื่อนไหวภายในวัสดุจะมีแต่การถ่ายเทความร้อนด้วยการนาเพียงอยางเดียว่ อัตรา การถ่ายเทความร้อนโดยการนาความร้อนจะเป็นสัดส่วน กับค่าความลาดชันของอุณหภูมิ (Temperature gradient) คูนกับพื้นที่ A ที่ความร้อนไหลผ่าน ดังสมการ

$$Rate\ of\ Conduction \propto \frac{(\ Area\ )(Temperature\ Differnce)}{Thickness}$$

$$q_{cond} \propto A\frac{dT}{dx}$$

เมื่อ	q_{cond}	คือ	Rate of Conduction
	A	คือ	พื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน(m^2)
	T	คือ	อุณหภูมิ (K)
	X	คือ	ระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อน

ความสามารถในการนาความร้อนของสาร วัดด้วยปริมาณที่เรียกว่า ค่าการนาความร้อน (Thermal Conductivity) หรือใช้ตัวอักษรย่อว่า k มีหน่วยเป็น W/m*K ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางกายภาพ ของตัวกลางที่มีความ ร้อนเคลื่อนที่ผ่าน อัตราการถ่ายนาความร้อนจึงมีค่าเป็น

$$q_{cond}\alpha = -kA\frac{dT}{dx} \qquad (2.10)$$

ค่าการนาความร้อน k เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวัตถุการนาความร้อนเป็นการถ่ายเท พลังงานจาก อนุภาคที่มีพลังงานสูงไปยังอนุภาคที่มีพลังงานต่ำกว่า สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งใน ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส ค่าการนาความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของแก๊สไม่สามารถหาได้จากการ วิเคราะห์ดังนั้น ข้อมูลเกี่ยวกับการนำความร้อนส่วน ใหญ่ของวัสดุจึงได้มาจากการวัดและการ

ทดสอบ โดยทั่วไปแล้วค่าการนาความร้อนของวัตถุจะแปรตามอุณหภูมิแต่การนาไปใช้งานในด้าน การปฏิบัตินั้นส่วนใหญ่แล้วจะใช้ค่าการนาความร้อนคงที่ที่หาจากอุณหภูมิเฉลี่ย สารที่มี ความสามารถในการนาความร้อนสูง เช่น โลหะ จะมีค่า k สูง ส่วนสารที่มีความสามารถในการนา ความร้อนต่ำ เช่น สารอโลหะ ก็จะมีค่า k ต่ำ ค่า k จึงเป็นคุณสมบัติประจ าตัวของสารที่สำคัญมาก ในการศึกษาถึงการเคลื่อนที่ของ ความร้อนในสารนั้น สามารถเปรียบเทียบความสามารถในการนา ความร้อนของสารต่าง ๆ โดยการเปรียบเทียบ จากค่า k ของสารเหล่านั้น โดยสารที่มีค่า k สูง จะ เรียกว่า สารตัวนำ (Conductor) และสารที่มีค่า k ต่ำ จะ เรียกว่าฉนวน (Insulator) ตัวอย่างค่า k ของ สารบางชนิดแสดงดังตารางที่ 2.1 สาหรับค่าการนำความร้อน ของวัตถุและของแก๊สอื่น ๆ นั้น สามารถสืบค้นจากหนังสือทีเกี่ยวข้องกับกระบวนการถ่ายโอนทั่วไป

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าการนำความร้อนของสารบางชนิด

วัตถุ	ค่าการนาความร้อน W/mK
โลหะบริสุทธิ์	35-430
โลหะผสม	20-200
โลหะเหลว	9-90
ของเหลว (อโลหะ)	0.2-2.0
ของแข็ง (อโลหะ)	0.02-20
ฉนวน	0.02-0.40
ก๊าซ	0.002-0.2

การนำความร้อนในผนังราบ (Conduction in Plane Walls) จากสมการดุลพลังงานทั่วไป เขียนได้ดังสมการ

$$q_{in} - q_{out} + q_{gen} = \frac{dE_{wall}}{dt} \qquad (2.11)$$

1) Steady state $\frac{dE_{wall}}{dt} = 0$

2) Transient, no heat generation q_{gen}

3) Steady state, no heat generation $q_{in} = q_{out} = q_{cond}$

สำหรับการนำความร้อนมิติเดียวที่สภาวะ Steady state จะใช้ Fourier's law ในการอธิบาย ดังสมการ

$$q_{cond,wall} = -kA\frac{dT}{dx} \qquad (2.12)$$

สมการการนำความร้อนผ่านผนังราบชั้นเดียวเมื่อคิดว่า k และ A เป็นค่าคงที่และมีเงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) คือ $T = T_1$ ที่ $X = 0$ และ $T = T_2$ ที่ $X = L$ เป็นดังนี้

$$\int_{X=0}^{L} q_{cond,wall}\,dx = -\int_{T_1}^{T_2} kA\,dt$$

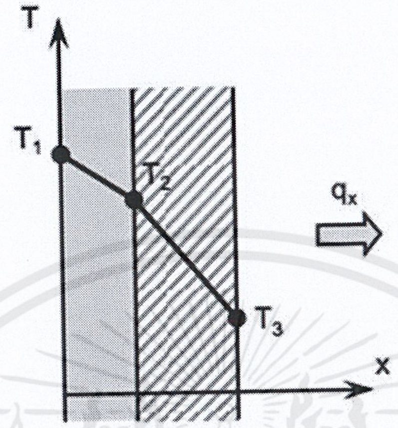
อินติเกรตสมการได้เป็น

$$q_{cond,wall} = \frac{kA}{\Delta x}(T_1 - T_2) = \frac{Driving\ force}{Resistance(R)}$$

เมื่อ $R = \frac{\Delta x}{kA}$ มีหน่วยเป็น $\frac{K}{W}$

การนำความร้อนผานผนังราบที่ต่อแบบอนุกรม (Plane Walls in Series) ความร้อนไหลผ่านผนังที่ซ้อนกันหลายขั้นโดยการนาความร้อน เช่นผนังของอาคาร บ้านเรือน การวิเคราะห์การถ่ายเท ความ

ร้อนก็จะยากยิ่งขึ้น ในกรณีที่สภาวะต่าง ๆ คงที่อัตราความร้อนที่ไหลผ่านแต่ละชั้น ของผนัง จะมีค่าเท่ากัน ทั้ง ๆ ที่ความลาดชันของอุณหภูมิในผนังแต่ล่ะชั้นมีความแตกต่างกัน ในกรณีนั้น อัตราความร้อนที่ไหลผานผนังแต่ละชั้นเป็นดังสมการ



รูปที่ 2.8 การนำความร้อนแบบมิติเดียวผ่านผนังหลายชั้น ต่อแบบอนุกรม [4]

$$q_{cond,wall} = -k_A A \frac{(T_2 - T_1)}{\Delta x_A}$$

$$= -k_B A \frac{(T_3 - T_2)}{\Delta x_B}$$

$$= -k_C A \frac{(T_4 - T_3)}{\Delta x_C}$$

รวมสมการทั้งสามเข้าด้วยกัน และกาจัด T_2 และ T_3 ออกไป จะได้ตามสมการ

$$q_{cond,wall} = \frac{(T_1 - T_4)}{\frac{\Delta x_A}{k_A A} + \frac{\Delta x_B}{k_B A} + \frac{\Delta x_C}{k_C A}} = \frac{(T_1 - T_4)}{R_A + R_B + R_C}$$

เมื่อ $R_A = \frac{\Delta x_A}{k_A A}, R_B = \frac{\Delta x_B}{k_B A}, R_A = \frac{\Delta x_C}{k_C A}$

2.7 การพาความร้อน (Convection)

การถ่ายเทความร้อนโดยการพาประกอบด้วยกลไก 2 อย่าง คือ พลังงานเกิดการถ่ายเทอันมี ผลเนื่องมาจากการเคลื่อนที่หรือการแพร่แบบสุ่มของโมเลกุล และผลเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของ ของไหล การถ่ายเทลักษณะนี้เกิดขึ้นได้เช่น ในระบบที่มีเกรเดียนท์อุณหภูมิจะมีการถ่ายเทความ ร้อนได้และเนื่องจากโมเลกุลในกลุ่มของไหลจะมีการเคลื่อนที่แบบสุ่มอยู่ด้วย ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดที่เกิดขนจึ้งเกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่แบบสมของโมเลกุ้ลและการเคลื่อนที่ ของของไหลส่วนใหญ่การถ่ายเทความร้อนโดยการพา แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ

2.7.1 การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural or Free Convection)

คือการเคลื่อนที่ของความร้อน ระหวางผิวของของแข็งและของไหล่ โดยที่ของไหลไม่ถูกทำให้เคลื่อนไหวโดยกลไกภายนอกวัตถุซึ่งมีผิวเรียบอยูในของไหลซึ่งอยู่นิ่งถ้าอุณหภูมิของผิวสูง กวาอุณหภูมิของของไหล่ ความร้อนจะเริ่มเคลื่อนที่มายังของไหลที่ชิดกบผนังทำให้ความหนาแน่น ของของไหลที่อยูชิดผนังต่ำลงซึ้งทาให้เกิดแรงผลักดันให้ของไหลลอยตัวขึ้นของไหลที่อยูต่ำกว่าก็ จะเคลื่อนเข้ามาแทนที่และทำให้เกิดการหมุนเวียนของของไหล

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลบางชนิด

ประเภทการพาความร้อนและชนิดของการไหล	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย(W /m^2*K)
การพาความร้อนแบบอิสระ,อากาศ	5-25
การพาความร้อนแบบอิสระ,น้ำ	20-100
การพาความร้อนแบบบังคับ,อากาศ	10-200
การพาความร้อนแบบบังคับ,น้ำ	50-10,000
น้ำกำลังเดือด	3,000-100,000
ไอของนาที่กาลังอิ่มตัว	5,000-100,000

2.7.2 การพาโดยการบังคับ (Forced Convection)

ซึ่งเกิดขึ้น เมื่อของไหลมีความเร็วอยู่แล้วด้วยกลไกภายนอก เช่น พัดลมหรือสูบน้ำเมื่อของเหลวมีความเร็ว เราจะต้องทราบกลไกในการเคลื่อนที่ของของไหลก่อน โดยปกติเราจะแบ่งการไหลของของไหลเป็นสองแบบ คือ การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) และการไหลแบบ ปั่นป่วน (Turbulent Flow) ในการไหลแบบราบเรียบ ซึ่งของไหลไหลเป็นชั้น ๆ ขนานกบความร้อน จะถ่ายเทจากผิวของของแข็งโดยการนำ และถ่ายเทต่อ ๆ กนไปในของไหลโดยการนำผ่านชั้น ของ ของไหล ในกรณีของการไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งของไหลเคลื่อนที่อย่างไม่มีระเบียบ มีการเคลื่อน ที่ตั้ง ฉากกับทิศทางของการไหลด้วย การเคลื่อนที่ของความร้อนส่วนใหญ่จะเกิดจากอนุภาคของ ของไหลที่ได้รับความร้อนมาแล้วเคลื่อนที่นำความร้อนไปยังที่อื่น

2.8 กฎของฟูเรียร์

จากที่ได้กล่าวมาแล้ววาการน่าความร้อน คือ การที่ความร้อนถ่ายเทผานสสารโดยที่สสารไม่เกิดการเคลื่อนที่พาความร้อนนั้นไปแต่ความร้อนไหลผ่านสสารนั้นเอง โดยสมการแสดง พฤติกรรมการนาความร้อนนั้น ได้ถูกนาเสนอโดยฟูเรียร์และถูกรู้จักกนในนามั กฎข้อที่1 ของฟู เรียร์สาหรับการนาความร้อน โดยกฎของฟูเรียร์สามารถอธิบายได้ดังนี้ฟลักซ์ของความร้อนที่การ ถ่ายเท ณ ตาแหน่งหนึ่งๆ จะเป็นปฏิภาคตรงกับค่าลบของ เกรเดียนท์ของอุณหภูมิณ ตำแหน่งที่เกิด การถ่ายเทความร้อนนั้น และสามารถเขียนเป็นสมการการนาความร้อนในแนวแกนเดียวได้ ดังต่อไปนี้

$$q = -k\frac{\partial T}{\partial x}$$

เมื่อ q = ความร้อนที่เกิดการถ่ายเทปกติมีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร

k = ค่าการนาความร้อน (Conductivity) ปกติมีหน่วยเป็น วัตต์ต่อเมตรต่อเคลวิน

$\frac{dT}{dx}$ = เกรเดียนท์ของอุณหภูมิในแนวแกนxหน่วยเป็น เคลวินต่อเมตร

นอกจากนี้ในกรณีที่ความร้อนมีการถ่ายเทในสามแนวแกนพร้อมกัน เราจะเขียนสมการกฎ ข้อที่ 1 ของฟูเรียร์สาหรับการนาความร้อนได้ดังนี้

$$\mathrm{q} = -\mathrm{k}\left(\frac{\partial \mathrm{T}}{\partial \mathrm{x}} + \frac{\partial \mathrm{T}}{\partial \mathrm{y}} + \frac{\partial \mathrm{T}}{\partial \mathrm{z}}\right) = -\mathrm{k}\Delta\mathrm{T}$$

และเมื่อทำประยุกต์รวมกฎข้อที่1ของฟูเรียร์สำหรับการนำความร้อน เข้ากบกฎข้อที่1 ของทาง เทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งกล่าววาพลังงานในจักรวาลนี้เป็นปริมาณคงที่และสมมุติให้ทาการศึกษาการ ถ่ายเทความร้อนในระบบที่การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นโดยการนาความร้อนเท่านั้น เราจะได้สมการ ดังสมการข้างล่างสาหรับกรณีการนาความร้อนแกนเดียว ซึ่งเราเรียกสมการดังกล่าวว่า กฎข้อที่ 2 ของฟูเรียร์สาหรับสาหรับการนาความร้อน

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial(\alpha \frac{\partial T}{\partial x})}{\partial x}$$

เมื่อ $\frac{\partial T}{\partial x}$ = อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

α = ค่าความสามารถในการแพร่ความร้อน (Thermal Diffusivity) = $\frac{k}{pC_p}$

และสาหรับการถ่ายเทความร้อนภายในระบบที่มีการนาความร้อนอยางเดียวนั้นกฎข้อที่สองของฟู เรียร์สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \Delta(\alpha \Delta T)$$

2.9 วิธีการศึกษาสมการไฟไนต์เอลิเมนต์

ในการวิจัยได้ใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์หาค่าการถ่ายโอนความร้อนภายในผนังตู้รับส่งสัญญาณให้ความร้อน โดยการเขียนโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อให้คอมพิวเตอร์คำนวณหาค่า ของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตามที่ต้องการ กำหนดให้แบ่งส่วนของแบบจำลองออกเป็นชิ้น ส่วนย่อย ที่มีขนาดต่างกันแล้วทำการป้อนข้อมูลต่าง ๆ อันประกอบด้วยจำนวนของชิ้นส่วนย่อย จำนวนของจุดต่อข้อมูลจาเพาะสำหรับแต่ละชิ้นส่วน พิกัดตำแหน่งของจุดต่อต่าง ๆ จำนวนของชิ้น ส่วนย่อยที่มีอนุพันธ์ขอเงื่อนไขขอบเขต และจำนวนเวลาที่ใช้ในการพิจารณา จากนั้นคอมพิวเตอร์ จะคำนวณผลลัพธ์ที่ได้แล้วจึงทาการตรวจสอบและวิเคราะห์ผลข้อมูลที่ได้นั้น

ที่ผิวนอกของหัวอ่านเกิดการพาความร้อนตามธรรมชาติ (Natural Convection) ตามสมการของ Newton's Convection Boundary Condition คือ

สมการ $$q_n = \alpha(T - T_\infty) \qquad (2.13)$$

เมื่อ q_n เป็นฟลักซ์ที่ผานเข้าที่พื้นผิวด้านนอกในทิศตั้งฉาก n และ α คือ สัมประสิทธิการพาความร้อน

สมการ $$\int_v (\nabla v)^T D \nabla T \, dv = -\int_{sh} vh \, dS - \int_{sg} vq_n \, dS + \int_v vQ \, dV \qquad (2.14)$$

สมการการถ่ายเทความร้อนในรูป weak form (Lewis et al., 2004) คือ เมื่อ V คือปริ มาตรของวัตถุ และ S คือ พื้นผิวที่ประกอบไปด้วย S_hกับ S_g โดยที่ ฟลักซ์ $q_n = h$ และอุณหภูมิ $T = g$ ค่าอุณหภูมิจะประมาณโดย ค่าเฉลี่ยของ

สมการ $$\nabla T = Ba = \begin{pmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial x} \frac{\partial N_2}{\partial x} \ldots \frac{\partial N_n}{\partial x} \\ \frac{\partial N_1}{\partial y} \frac{\partial N_2}{\partial y} \ldots \frac{\partial N_n}{\partial y} \\ \frac{\partial N_1}{\partial z} \frac{\partial N_2}{\partial z} \ldots \frac{\partial N_n}{\partial z} \end{pmatrix} a \qquad (2.15)$$

สมการ
$$T = [N_1 N_2 \ldots N_n] \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ . \\ . \\ . \\ T_n \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

n เป็นจำนวนจุดโนด (Nodal Points) ภายในวัตถุ Ni เป็นฟังก์ชันของ x, y และ z นั้นคือ Ni =Ni (x, y, z) จาก (2.15) จะได้ว่าสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ของ (2.14) จะใช้การประมาณค่าโดยวิธีของ Galerkin โดยการแทน (2.16) ลงใน (2.13) จะได้

สมการ
$$\left(\int_v (\nabla v)^T D \nabla T \, dv\right) a = -\int_{sh} vh \, dS - \int_{sg} vq_n \, dS + \int_v vQ \, dV \quad (2.17)$$

เลือกฟังก์ชันถ่วงนาหนัก (Weight Function), เมื่อ v ขึ้นอยู่กับเมตริก c และเนื่องจาก $v = v^t$ จะได้ว่า

สมการ
$$v = Nc, \nabla v = Bc, v = c^T N^T \quad (2.18)$$

ค่า c ไม่ขึ้นอยู่กับตำแหน่ง ดังนั้น

สมการ
$$c^T\left[\left(\int_v B^T DB \, dV\right) a + \int_{s_h} N^T q_n \, ds + \int_{s_g} N^T q_n \, ds - \int_v N^T Q \, dV\right] = 0 \quad (2.19)$$

เมื่อให้ c^t เป็นศูนย์จะได้ว่า

สมการ
$$\left[\left(\int_v B^T DB \, dV\right) a + \int_{s_h} N^T q_n \, ds - \int_{s_g} N^T q_n \, ds + \int_v N^T Q \, dV\right] \quad (2.20)$$

เทียบกบสมการี Ka = fb + f จะได้ว่า

$$K = \int_v B^T DB \, dV$$

$$f_b = -\int_{s_h} N^T n \, dS - \int_{s_g} N^T q_n \, dS$$

สมการ
$$f_l = \int_v N^T Q \, dV \quad (2.21)$$

ขอบเขต S มีส่วนประกอบคือ S_hกับ S_gโดยที่ ฟลักซ์เป็น q_n และอุณหภูมิเป็น T เมื่อเกิดการพา ความร้อนขึ้นในส่วนใดส่วนหนึ่งของขอบเขตและให้ S_c หมายถึง ชิ้นส่วน จาก (2.21)ผลกระทบที่เกิด

ขึ้นกบขอบเขตจะมีเพียงเวกเตอร์ f_b ซึ่งจะทำให้ได้ว่า

สมการ
$$f_b = -\int_{s_h} N^T n \, dS - \int_{s_g} N^T q_n \, dS - \int_{s_c} N^T q_n \, dS \quad (2.22)$$

ในการพิจารณาผลจากการพาความร้อน ตัวแปรไม่ทราบค่าของอุณหภูมิ T จะถูกแทนที่ด้วย $T = Na$ จาก (2.13) จะได้

$$q_n = \alpha N_a - \alpha T_\infty$$

แล้วแทนลงใน (2.22) ได้ผลคือ

สมการ $$f_b = -\int_{s_h} N^T n \, dS - \int_{s_g} N^T q_n \, dS - \left(\int_{s_c} N^T q_n \, dS\right) a + T_\infty \int_{s_c} \alpha N^T \, dS \qquad (2.23)$$

ดังนั้น จะได้สมการไฟไนต์เอลิเมนต์คือ

สมการ $$(K + K_c)a = -\int_{s_h} N^T n \, dS - \int_{s_g} N^T q_n \, dS + T_\infty \int_{s_c} \alpha N^T \, dS + f_l \qquad (2.24)$$

เมื่อ $K_c = \int_{s_c} \alpha N^T \, dS$

เมื่อวัสดุที่ใช้ทาชิ้นส่วนเป็นวัสดุที่มีสมบัติทางกายภาพเหมือนกัน (isotropic) เมตริกซ์องค์ประกอบ (Constitutive Matrix) จะเขียนได้เป็น Ottosen (et al., 1992)

สมการ $$D = k \begin{bmatrix} 1 \rightarrow 0 \rightarrow 0 \\ 0 \rightarrow 1 \rightarrow 0 \\ 0 \rightarrow 0 \rightarrow 1 \end{bmatrix} = kI \qquad (2.25)$$

ในการหาคำตอบของสมการไฟไนต์เอลินต์นี้จะใช้เอลิเมนต์แบบ Solid90 ซึ่งเป็นเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยม ดังรูปที่ 2 สาหรับเอลิเมนต์แบบ Quadratic 20 Node Hexahedron จะ ได้ Shape Function เป็นดังนี้กรณีโนดอยู่ที่มุม

$$N_i = \frac{1}{8}(1 + \zeta\zeta_i)(1 + \eta\eta_i)(1 + \rho\rho_i)(\zeta\zeta_i + \eta\eta_i + \rho\rho_i - 1) \qquad (2.26a)$$

เมื่อ i คือโนดที่ I,J,K,L,M,N,O,P

กรณีโนดอยู่ที่ตรงกลางของขอบ

$$N_i = \frac{1}{4}(1+\zeta^2)(1+\eta\eta_i)(1+\rho\rho_i) \qquad (2.26b)$$

เมื่อ i คือโนดที่ Q,S,W, U

$$N_i = \frac{1}{4}(1+\eta^2)(1+\zeta\zeta_i)(1+\rho\rho_i) \qquad (2.26c)$$

เมื่อ i คือโนดที่ A,B,Y,Z

$$N_i = \frac{1}{4}(1+\rho^2)(1+\zeta\zeta_i)(1+\eta\eta_i) \qquad (2.26d)$$

เมื่อ i คือโนดที่ R,V,X,T

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

[3] อนุสรณ์ สุขเกษม. [2550]. ได้ศึกษาเกี่ยวกับของการศึกษาทั้ง การทดลอง และการคำนวณเชิงตัวเลข เกี่ยวกับคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อน โดยการพาความร้อนของกลุ่มครีบทรงกระบอกที่มีปลายค่อยๆ เล็กลง ครีบมีลักษณะการเรียงตัวแบบเรียงแถว และแบบสลับแถว ซึ่งถูกทดสอบภายใต้สภาวะการให้ความร้อนคงที่โดยครีบทำจากอลูมิเนียม ซึ่งในการทดสอบได้ทำการแปรงเปลี่ยนค่าเรย์โนลด์นัม เบอร์ และค่าฟลัคซ์ ความร้อนอยู่ในช่วง 1000-9000 และ 0.91-3.64 $\frac{kW}{m^2}$ ในการวิเคราะห์เชิง ตัวเลขได้ใช้แบบจำลองมาตรฐานในการวิเคราะห์ลักษณะการไหล การถ่ายเทความร้อน โดยมีการวางกริดในระบบแบบไม่เป็นโครงสร้าง (Unstructured Grid) ในรูปแบบ3 มิติ โดยนำผลที่ได้จาก การคำนวณมาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ซึ่งพบว่ามีความสอดคล้องกันดีนอกจากนั้นยังได้ พิจารณาผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการไหล

[4] อำนวย เรืองวาริ และ คณะ. [2555]. ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้แผ่นแซนวิชรังผึ้งเสริมแผ่นไม้สาหรับใช้เป็น โครงสร้างอาคารทดแทนวัสดุก่อสร้างอื่น การเลือกใช้แผ่นไม้อัดเพื่อเสริมแผนแซนวิชรังผึ้งจะใช้ ไม้อัดที่ขายตามร้านค้าท้องถิ่นคือแผ่นไม้อัดจีนแผ่นไม้อัดยาง และแผ่นไม้อัดสัก การวิเคราะห์โครงสร้างใช้การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อทดสอบการถ่ายเทความร้อนของวัสดุแซนวิชแต่ละ ชนิด ผลการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่าการเสริมไม่อัดในวัสดุสามารถลดปริมาณการนาความร้อนลงได้ซึ่งไม้อัดทั้งสามชนิดที่นำมาทดสอบมีค่าการการนำความร้อนใกล้เคียงกัน ผลการจำลอง ไฟไนต์เอลิเมนต์การถ่ายเทความร้อนสำหรับวัสดุแซนวิชเสริมไม้อัดยาง ตามลำดับ และมีค่า อุณหภูมิแตกต่างประมาณ 0.1 องศาเซลเซียส

[5] สมจินต์ พ่วงเจริญชัย [2554]. ได้ทำการศึกษาการคำนวณเชิงตัวเลขโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อหาการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในแบบจาลองของแผงท่อให้ความร้อนขนาด 80x282. 5x350 มิลลิเมตร โดยลักษณะของกลุ่มท่อภายในจัดวางเรียงแบบแนวเหลื่อมกันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร สำหรับการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตแก่แบบจำลองนั้น กำหนดให้อุณหภูมิที่ทางเข้ามี ค่าเท่ากับ 20 องศา, 25 องศา 30 องศาและ 35 องศา ตามลำดับส่วนภายในแบบจำลองกาหนดอุณหภูมิที่ผิวนอกของแผงท่อให้ความร้อนคงที่ไว้ที่50 องศา, 60 องศา, 70 องศาและ 80 องศา ตามลำดับ ส่วนผนังหุ้มฉนวนโดยรอบ (ไม่มีการสูญเสียความร้อน) จากผลการวิจัยจะพบว่า อุณหภูมิที่แตกต่างกันมากมีผลทำให้เกรเดียนท์ของอุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในแบบจำลองนั้นมีลักษณะเพิ่มขึ้นสู่ภาวะอิ่มตัว นันคือค่าของอุณหภูมิจะมีค่าเพิ่ม ตามลำดับและมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอและเมื่อเวลาผ่านไปค่าของอุณหภูมิภายในของแบบจำลองจะมีค่าคงที่หลังจากนั้นไม่วาจะเพิ่มเวลามากขึ้นเพียงใดก็ตามค่าของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในแบบจำลองจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

โดยทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (ฝ่ายโรงงานและอะไหล่) ได้รับงานในการใช้ซ่อมดัดเพลาโดยการใช้วิธีการให้ความร้อนเป็นจุด โดยใช้เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำในการทำงาน ทางทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (ฝ่ายโรงงานและอะไหล่) จึงต้องการทราบค่าที่เหมาะสมในการใช้งาน และแนวโน้มของค่ากระจายของอุณหภูมิในแนวลึกที่เกิดขึ้นในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลา เนื่องจากว่าทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (ฝ่ายโรงงานและอะไหล่) มีงานที่เป็นงานที่ให้ความร้อน โดยมีข้อเท็จจริงที่ว่าเมื่อชิ้นงานมีความร้อนมากขึ้นจะสามารถรับกำลังงานที่เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ ส่งมาได้ลดลง ทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย(ฝ่ายโรงงานและอะไหล่) จึงต้องการทราบค่าความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาในการให้ความร้อนกับค่ากำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับ โดยทดสอบผ่านวัสดุ AISI 4140

จากข้อมูลข้างต้น งานวิจัยฉบับนี้จึงออกแบบงานวิจัยเป็น 2 ส่วน โดยศึกษาผ่านโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นการศึกษาเชิงทดลองและใช้โปรแกรมทางสถิติมาช่วยในการวิเคราะห์ผล ดังนี้

การวิจัยส่วนที่ 1 การวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึกในงานดัดซ่อมเพลา

การวิจัยส่วนที่ 2 วิเคราะห์อุณหภูมิที่เกิดขึ้นของชิ้นงานเพื่อหาค่ากำลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจริงในงานให้ความร้อน

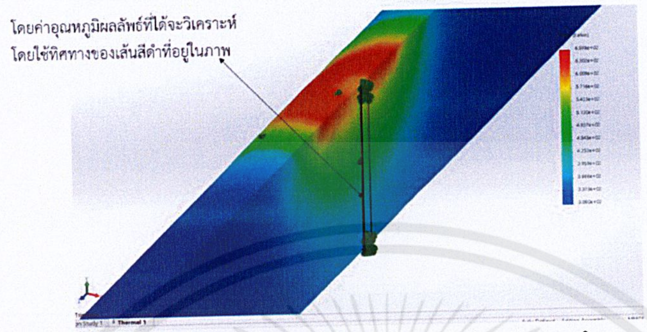
3.1 การวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึกในงานดัดซ่อมเพลา

การวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึก โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ จะศึกษาในเรื่องของการกระจายอุณหภูมิในแนวลึกของงานดัดเพลา โดยศึกษาปัจจัยของเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลา และกำลังงานความร้อนที่ชิ้นงานได้รับโดยยังไม่สนใจผลของค่าความเหนี่ยวนำที่ลดลง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึกเพื่อสามารถทราบ กระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึกที่ได้จากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ และสามารถนำข้อมูลที่ได้จากส่วนนี้ไปวิเคราะห์หาความเหมาะสมระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลากับกำลังงานความร้อน ที่ชิ้นงานได้รับไปใช้ในภายภาคหน้า

3.1.1 ออกแบบการวิเคราะห์

โดยทางผู้จัดทำได้ทำการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม MiniTab 17 โดยใช้ผลของการกระจายอุณหภูมิในแนวลึกที่วิเคราะห์ผ่านโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยการสร้างแบบจำลองของชิ้นงานตามขนาดของเพลาที่ทาง กฟผ. เคยได้รับงานดัดจริงๆ และ ปรับค่ากำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับตามค่าที่เคยใช้งานและสามารถดัดได้ผล โดยผู้จัดทำได้ทำการสร้างแบบจำลองโดยการปรับค่าของกำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับ 3 ค่า คือ 4 กิโลวัตต์ 6 กิโลวัตต์ และ 8 กิโลวัตต์ ปรับค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาอยู่ 3 ค่า คือ 50 มิลลิเมตร, 65 มิลลิเมตร, และ 80 มิลลิเมตร ค่าความยาวของเพลาอยู่ที่ 1000 มิลลิเมตร เลือกใช้เวลาในการให้ความร้อนตามเวลาที่ใช้ทำการดัดเพลาจริง ที่ทาง กฟผ. เคยทำการทดลองมาแล้วทำการดัดเพลาแล้วได้ผล โดยเลือกเวลาในการให้ความร้อนคือ 60 วินาที โดยกำหนดค่าของเงื่อนไขขอบให้ใกล้เคียงค่าที่ใช้งานจริงให้มากที่สุด คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของชิ้นงานอยู่ที่ 35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของอากาศรอบ ๆ ชิ้นงานคือ 35 องศาเซลเซียส และค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนคือ 100 วัตต์ต่อตารางเมตรเคลวิน

การเก็บค่าของการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึกจะเลือกวัดตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาโดยเริ่มวัดจากบริเวณที่ให้กำลังความร้อนจนถึงบริเวณฝั่งตรงข้ามกับบริเวณที่ไม่ได้ให้กำลังความร้อน ดังรูปที่ 3.1



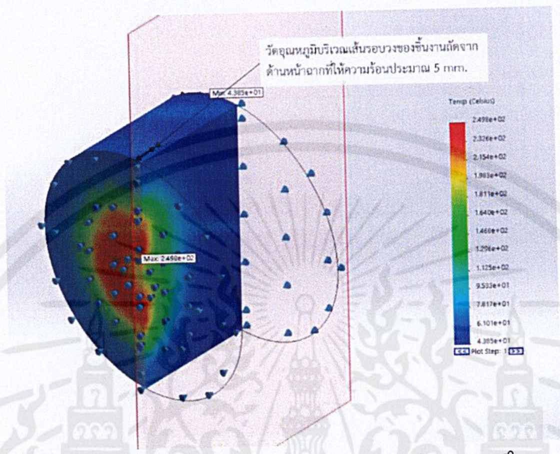
รูปที่ 3.1 แนวการวัดการกระจายของอุณหภูมิในแนวลึกของชิ้นงาน

3.2 วิเคราะห์หาค่ากำลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจริงในงานให้ความร้อน

การวิเคราะห์อุณหภูมิที่เกิดขึ้นของชิ้นงานเพื่อนำไปคำนวณต่อเพื่อหาค่ากำลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจริง โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ และวิเคราะห์สมการเชิงเส้นผ่านโปรแกรม MiniTab 17 จะศึกษาในเรื่องของความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นของเวลาในการให้ความร้อนกับกำลังงานความร้อนที่ชิ้นงานได้รับเพื่อสร้างสมการคำนวณย้องกลับหาค่ากำลังงานความร้อนที่ชิ้นงานได้รับจริง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวโน้มของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ชิ้นงาน เมื่อเปลี่ยน ค่ากำลังงานความร้อนที่ให้ในช่วงเวลาที่ให้กำลังงานความร้อนระหว่าง 0 ถึง 300 วินาที และเพื่อนำไปหาสมการเชิงเส้น เพื่อคำนวณย้อนกลับหากำลังงานความร้อนที่ชิ้นงานได้รับจริง ๆ จากการวัดอุณหภูมิที่แท้จริง

ผู้จัดทำได้ทำการสร้างแบบจำลองผ่านโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยออกแบบชิ้นงานทดสอบตามปริมาตรที่ต้องใช้ในงานให้ความร้อนอยู่บ่อย ๆ เนื่องจากว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำมีขนาด 60 มิลลิเมตร เพื่อให้สามารถทำการทดลองแล้วส่งผ่านความกำลังความร้อนได้มากที่สุดผู้จัดทำจึงเลือกขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 100 มิลลิเมตร ค่าความยาวของเพลาอยู่ที่ 50 มิลลิเมตร ปรับค่าของกำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับตามช่วงที่เคยใช้งานจริงอยู่ในช่วง 2 กิโลวัตต์ ถึง 20 กิโลวัตต์ โดยกำหนดค่าของเงื่อนไขขอบให้ใกล้เคียงค่าที่ใช้งานจริงให้มากที่สุด คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของชิ้นงานอยู่ที่ 35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของอากาศรอบๆ ชิ้นงานคือ 35 องศาเซลเซียส และค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนคือ 100 วัตต์ต่อตารางเมตรเคลวิน

การเก็บค่าของอุณหภูมิ เนื่องจากว่ามีข้อจำกัดทางด้านอุปกรณ์การวัดทำให้ไม่สามารถวัดที่บริเวณของส่วนที่ส่งกำลังความร้อนโดยตรง และเพื่อที่จะได้อุณหภูมิในการวัดที่จุดเดียวกัน ทางผู้จัดทำจึงเลือกที่จะวัดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่บริเวณเส้นรอบวงที่อยู่ถัดจากพื้นที่หน้าตัดที่ให้ความร้อนขนาด 5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แนวการวัดการกระจายของอุณหภูมิในแนวลึกของชิ้นงาน

เพื่อที่จะคำนวนหากำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับจริงเมื่ออุณหภูมิของชิ้นงานเปลี่ยนไปผู้จัดทำจึงนำผลของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นกับค่ากำลังความร้อนที่ให้ชิ้นงานที่ได้จากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ไปสร้างสมการเชิงเส้นผ่านโปรแกรม MiniTab 17 เพื่อที่จะวัดค่าอุณหูมิที่เกิดขึ้นจริงมาคำนวนย้อนกลับผ่านสมการเชิงเส้นเพื่อหาเวลาในการให้ความร้อนกับกำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับจริง

3.2.1 การเขียนโปรแกรมคำนวณย้อนกลับ

จากข้อมูลสมการเชิงเส้นที่ได้มาต้องการที่จะหาความกำลังความร้อนที่ชิ้นงานจะรับได้จริง จึงสร้างโปรแกรมเพื่อที่จะคำนวนหาค่ากำลังความร้อนที่ชิ้นงานรับได้จริง และสามารถนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เป็นกราฟเพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่าเวลาในการให้ความร้อนกับกำลังความร้อนที่ชิ้นงานสามารถรับได้ โดยใช้ในการหาค่า

3.2.1.1 ขั้นตอนการเขียนโปรแกรม

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของชิ้นงานกับกำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับผ่านโปรแกรม Minitab 17 ได้สมการเชิงเส้นที่สามารถใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสถึง 1416 องศาเซลเซียส ดังนี้

Time R-sq=99.93%

30 Power (kW) = -2.209 + 0.064991 Temp (°C)

60 Power (kW) = -1.014 + 0.030064 Temp (°C)

90 Power (kW) = -0.681 + 0.019948 Temp (°C)

120 Power (kW) = -0.539 + 0.015219 Temp (°C)

150 Power (kW) = -0.470 + 0.012470 Temp (°C)

180 Power (kW) = -0.437 + 0.010659 Temp (°C)

210 Power (kW) = -0.424 + 0.009374 Temp (°C)

240 Power (kW) = -0.425 + 0.008413 Temp (°C)

270 Power (kW) = -0.440 + 0.007672 Temp (°C)

300 Power (kW) = -0.460 + 0.007083 Temp (°C)

และนำสมการที่ได้ไปหากำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับจริงจากการใส่ค่าของอุณหภูมิที่วัดได้จริงโดยใช้โปรแกรม Excel ในการหาค่า

3.2.1.2 การทำงานของโปรแกรมคำนวนย้อนกลับ

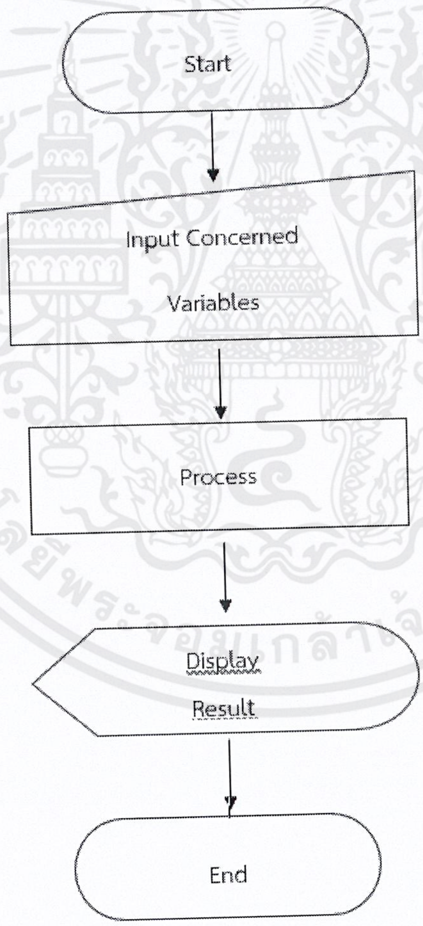
1. เปิดโปรแกรมคำนวณย้อนกลับหากำลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นที่ชิ้นงานจริง

2. ป้อนเวลาในช่วง 0-300 วินาทีโดยแบ่งเป็นช่วงละ 30 วินาที, อุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบจริง, กำลังความร้อนที่เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำให้, อุณหภูมิที่เกิดขึ้นจริง ที่เวลานั้น ๆ

3. โปรแกรมทำการคำนวนย้อนกลับหากำลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นที่ชิ้นงานจริง

4. โปรแกรมแสดงค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ

โดยการทำงานของโปรแกรมคำนวนย้อนกลับหากำลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นที่ชิ้นงานจริง สามารถสรุปเป็นแผนภาพการทำงานได้ดังนี้



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

3.2.2 การสร้างชุดทดลองในการวิเคราะห์กำลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจริง

เพื่อที่จะหาค่าของกำลังความร้อนที่เกิดขึ้นจริงผู้จัดทำจึงทำการสร้างชุดทดลองเพื่อที่จะวัดค่าของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจริงเพื่อนำไปวิเคราะค่าความสัมพันธ์ระหว่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจริงกับกำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับ

3.2.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือในการทดลองนี้ใช้เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ EFD Induction Heater รุ่น Minac 25/40 SM ในการให้ความร้อนเนื่องจากเป็นเครื่องที่ได้ทำการใช้อยู่ในปัจจุบัน รวมถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

1. เหล็กชิ้นงานทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm. ลึก 50 mm.

รูปที่ 3.4 ชิ้นงานตัวอย่าง

2. เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ EFD Induction Heater รุ่น Minac 25/40 SM

รูปที่ 3.5 เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ EFD Induction Heater รุ่น Minac 25/40 SM [8]

3. เครื่องวัดอุณหภูมิ Fluke 68 Infrared Thermometers

รูปที่ 3.6 เครื่องวัดอุณหภูมิ Fluke 68 Infrared Thermometers [9]

3.2.3 การบันทึกและวิเคราะห์ผลการทดลอง

นำชิ้นงานติดตั้งไว้บนชุดทดลองจากนั้นทำการเปิดเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำโดยใช้ฟังก์ชันการตั้งเวลาของเครื่อง จากนั้นทำการวัดค่าอุณหภูมิโดนใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ Fluke 68 Infrared Thermometers ทำการบัณทึกอุณหภูมิโดยอยู่ในช่วง 30 วินาที ถึง 300 วินาที โดยบันทึกค่าทุก ๆ 30 วินาที จากนั้นทำการทดลองซ้ำโดยปรับค่าของกำลังความร้อนที่เครื่องให้อยู่ในช่วง 2 กิโลวัตต์ ถึง 20 กิโลวัตต์ โดยปรับขึ้นรอบละ 2 กิโลวัตต์ วิเคราะห์ผลทางสถิติผ่านโปรแกรม Minitab 17 เพื่อหาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการให้ความร้อนกับกำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับ

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

งานวิจัยนี้ออกแบบงานวิจัยเป็น 2 ส่วน

1. การวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึกในงานดัดซ่อมเพลา

2. วิเคราะห์อุณหภูมิที่เกิดขึ้นของชิ้นงานเพื่อหาค่ากำลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจริงในงานให้ความร้อน

4.1 ผลการการวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึกในงานดัดซ่อมเพลา

จากการศึกษาการวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึก โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อดูแนวโน้มของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงานตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางและสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้งานต่อในภายภาคหน้า

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึกระหว่างกำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับที่ 2 กิโลวัตต์, 4 กิโลวัตต์ และ 6 กิโลวัตต์ เพลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่เวลา 1 นาที

	Power		
	4 kW	6 kW	8 kW
Depth (mm)	Temp (°C)	Temp (°C)	Temp (°C)
0.00	643.1	947.2	1251
3.57	614.7	904.7	1195
7.14	586.4	862.2	1138
10.71	526.8	772.7	1019
14.29	467.1	683.3	899.4
17.86	412	600.6	789.2
21.43	356.9	517.9	679
25.00	315.9	456.4	596.9
28.57	274.9	394.9	514.9
32.14	248	354.6	461.2
35.71	221.2	314.4	407.6

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึกระหว่างกำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับที่ 2 กิโลวัตต์, 4 กิโลวัตต์ และ 6 กิโลวัตต์ เพลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ที่เวลา 1 นาที (ต่อ)

	Power		
	4 kW	6 kW	8 kW
Depth (mm)	Temp (℃)	Temp (℃)	Temp (℃)
39.29	206.2	291.8	377.5
42.86	191.1	269.2	347.4
46.43	185.6	261	336.4
50.00	180.1	252.7	325.3

จากผลที่ได้จากตารางที่ 4.1 พบว่าที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 50 มิลลิเมตร เมื่อปรับค่าของกำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับ เพิ่มขึ้นค่าการกระจายอุณหภูมิในแนวลึกของชิ้นงานระหว่างบริเวณที่ให้ความร้อนและบริเวณที่ไม่ได้ให้ความร้อนมีค่าต่างกันมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 4.2 ตารางเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึกระหว่างกำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับที่ 2 กิโลวัตต์, 4 กิโลวัตต์ และ 6 กิโลวัตต์ เพลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65 มิลลิเมตร ที่เวลา 1 นาที

	Power		
	4 kW	6 kW	8 kW
Depth (mm)	Temp (°C)	Temp (°C)	Temp (°C)
0.00	567.8	834.3	1101
3.61	538.1	789.7	1041
7.22	508.3	745.1	981.8
10.83	449.3	656.5	863.8
14.44	390.3	568	745.7
18.06	337.8	489.3	640.8
21.67	285.4	410.6	535.9
25.28	246.7	352.6	458.5
28.89	208	294.6	381.2
32.50	181.7	255.1	328.5
36.11	155.3	215.6	275.8
39.72	138.3	190	241.7
43.33	121.2	164.4	207.6
46.94	110.8	148.8	186.8
50.56	100.4	133.2	166
54.17	94.76	124.7	154.7
57.78	89.11	116.2	143.4
61.39	87.09	113.2	139.3
65.00	85.08	110.2	135.3

จากผลที่ได้จากตารางที่ 4.2 พบว่าที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 65 มิลลิเมตร เมื่อปรับค่าของกำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับ เพิ่มขึ้นค่าการกระจายอุณหภูมิในแนวลึกของชิ้นงานระหว่างบริเวณที่ให้ความร้อนและบริเวณที่ไม่ได้ให้ความร้อนมีค่าต่างกันมากยิ่งขึ้นแต่น้อยกว่าที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลา 50 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่ 2 กิโลวัตต์มีค่าค่อนข้างน้อยลงคาดว่าส่งผลให้ที่ 2 กิโลวัตต์และ เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลา 65 มิลลิเมตรส่งผลต่อการดัดได้น้อยลง

ตารางที่ 4.3 ตารางเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึกระหว่างกำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับที่ 2 กิโลวัตต์, 4 กิโลวัตต์ และ 6 กิโลวัตต์ เพลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มิลลิเมตร ที่เวลา 1 นาที

	Power		
	4 kW	6 kW	8 kW
Depth (mm)	Temp (℃)	Temp (℃)	Temp (℃)
0.00	531.9	780.4	1029
3.64	501.4	734.6	967.9
7.27	470.8	688.8	906.8
10.91	413.1	602.2	791.3
14.55	355.3	515.5	675.8
18.18	305.3	440.5	575.7
21.82	255.3	365.5	475.7
25.45	219	311	403.1
29.09	182.7	256.6	330.5
32.73	158	219.6	281.1
36.36	133.3	182.6	231.8
40.00	117.1	158.2	199.4
43.64	100.9	133.9	166.9
47.27	90.42	118.2	146
50.91	79.95	102.5	125.1
54.55	73.35	92.6	111.9
58.18	66.75	82.71	98.66
61.82	62.77	76.74	90.7
65.45	58.79	70.77	82.74
69.09	56.65	67.55	78.45
72.73	54.5	64.33	74.16
76.36	53.74	63.19	72.64
80.00	52.98	62.05	71.12

จากผลที่ได้จากตารางที่ 4.3 พบว่าที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 65 มิลลิเมตร เมื่อปรับค่าของกำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับ เพิ่มขึ้นค่าการกระจายอุณหภูมิในแนวลึกของชิ้นงานระหว่างบริเวณที่ให้ความร้อนและบริเวณที่ไม่ได้ให้ความร้อนมีค่าต่างกันมากยิ่งขึ้นแต่น้อยกว่าที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลา 50 มิลลิเมตร ที่ขนาดสันผ่านศูนย์กลางของเพลา 80 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่ 2 กิโลวัตต์มีค่าค่อนข้างน้อยลงมากกว่าตารางที่ 4.2 คาดว่าส่งผลให้ที่ 2 กิโลวัตต์และเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลา 80 มิลลิเมตรส่งผลต่อการดัดได้น้อยลงจนอาจจะไม่เห็นผลของการดัดเลย และที่ขนาดสันผ่านศูนย์กลางของเพลา 80 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่ 6 กิโลวัตต์มีค่าค่อนข้างน้อยลงมากกว่าตารางที่ 4.2 คาดว่าส่งผลให้ที่ 6 กิโลวัตต์และ เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลา 80 มิลลิเมตรส่งผลต่อการดัดได้น้อยลง

4.1.1 ผลการการวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึกในงานดัดซ่อมเพลา

จากผลที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ผ่านทาง โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางแปรผันตรงกับค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึกเมื่อให้ค่ากำลังความร้อนคงที่ ส่งผลให้ที่เส้นผ่านศูนย์กลางมากจะทำให้ค่าการกระจายตัวของการขยายตัวของชิ้นงานมีค่ามากกว่าที่เส้นผ่านศูนย์กลางน้อย ๆ ส่งผลให้ที่กำลังงานความร้อนที่เท่ากันเพลาที่เส้นผ่านศูนย์กลางมากจะทำการดัดคืนรูปได้ง่ายกว่า

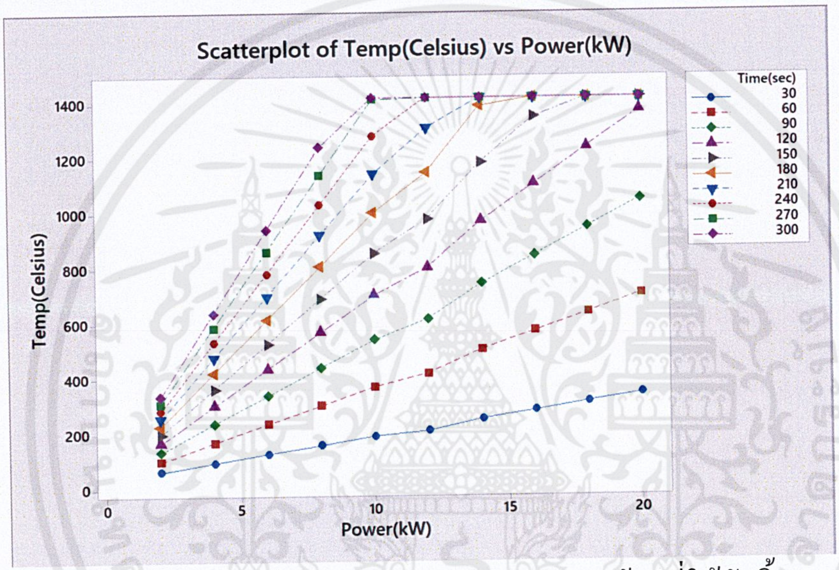
เมื่อมาสังเกตุที่เส้นผ่านศูนย์กลางคงที่ ผลของกำลังงานความร้อนที่ได้รับจะแปรผันตรงกับค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิ ผลที่ได้คือกำลังงานความร้อนที่ได้รับมากจะทำให้ค่าการกระจายตัวของการขยายตัวมีค่ามากกว่า ที่กำลังงานความร้อนที่ได้รับน้อย ๆ ส่งผลให้ที่เส้นผ่านศูนย์กลางที่เท่ากันเพลาที่ได้รับกำลังงานความร้อนมากจะทำการดัดคืนรูปได้ง่ายกว่า

4.2 วิเคราะห์หาค่ากำลังงานความร้อนในงานให้ความร้อน

จากการศึกษาการวิเคราะห์อุณหภูมิที่เกิดขึ้นของชิ้นงานเพื่อหาค่ากำลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจริงในงานให้ความร้อน โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการให้ความร้อนกับกำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับจริง

4.2.1 ผลจากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของการวิเคราะห์หาค่ากำลังความร้อนที่เกิดขึ้นจริง

เนื่องจากอุณหภูมิหลอมเหลวของ AISI 4140 คือ 1416 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงตั้งค่า Cut off ของอุณหภูมิไว้ที่ 1416 องศาเซลเซียส

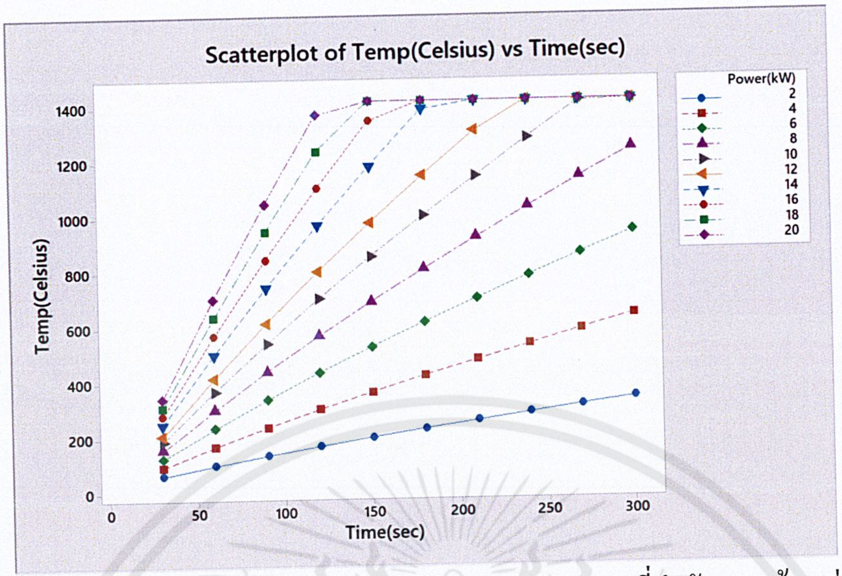


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับกำลังความร้อนที่ให้กับชิ้นงาน ณ เวลาต่าง ๆ

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับกำลังความร้อนที่ให้กับชิ้นงาน ณ เวลาต่าง ๆ พบว่า เมื่อกำลังความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น ณ เวลาต่าง ๆ อุณหภูมิของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้นโดยมีแนวโน้มเป็นสมการเส้นตรง ดังนั้นเพื่อที่จะหาค่ากำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับจริงจากการวัดอุณหภูมิที่ได้จากการทดลอง จึงนำค่าที่ได้ไปสร้างสมการเส้นตรงที่ใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิของชิ้นงานอยู่ระหว่าง 0 องศาเซลเซียส ถึง 1416 องศาเซลเซียส โดยใช้โปรแกรม Minitab 17 ได้ดังนี้

Time	R-sq=99.93%
30	Power (kW) = -2.209 + 0.064991 Temp (°C)
60	Power (kW) = -1.014 + 0.030064 Temp (°C)
90	Power (kW) = -0.681 + 0.019948 Temp (°C)
120	Power (kW) = -0.539 + 0.015219 Temp (°C)
150	Power (kW) = -0.470 + 0.012470 Temp (°C)
180	Power (kW) = -0.437 + 0.010659 Temp (°C)
210	Power (kW) = -0.424 + 0.009374 Temp (°C)
240	Power (kW) = -0.425 + 0.008413 Temp (°C)
270	Power (kW) = -0.440 + 0.007672 Temp (°C)
300	Power (kW) = -0.460 + 0.007083 Temp (°C)

โดยสมการที่ได้สามารถใช้ได้เฉพาะในช่วงอุณหภูมิของชิ้นงานอยู่ระหว่าง 0 องศาเซลเซียส ถึง 1416 องศาเซลเซียส มีค่า R-sq อยู่ที่ 99.93% แสดงให้เห็นว่า ตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ได้มานั้นสามารถอธิบายความผันแปรของค่าตัวแปรตอบสนอง ต่างที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับเวลา ที่กำลังความร้อนต่าง ๆ

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับเวลา ที่กำลังความร้อนต่าง ๆ พบว่าเมื่อเวลา ที่กำลังความร้อนต่าง ๆ อุณหภูมิของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีแนวโน้มเป็นสมการเส้นตรง โดยเมื่อถึงจุดหลอมเหลวชิ้นงานจะมีอุณหภูมิคงที่

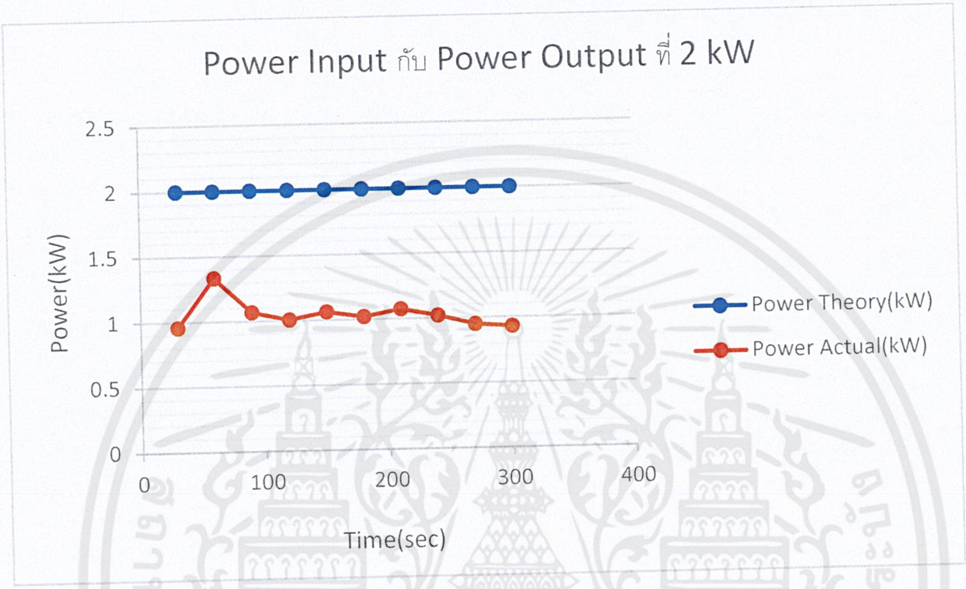
4.2.1.1 สรุปผลที่ได้จากวิเคราะห์หาค่ากำลังงานความร้อนในงานให้ความร้อน

ผลของเวลาที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นที่กำลังงานความร้อนที่ได้รับคงที่จะทำให้อุณหภูมิของชิ้นงานจะเพิ่มขึ้นเป็นสมการเส้นตรง และจะคงที่เมื่ออุณหภูมิถึงจุดหลอมเหลว

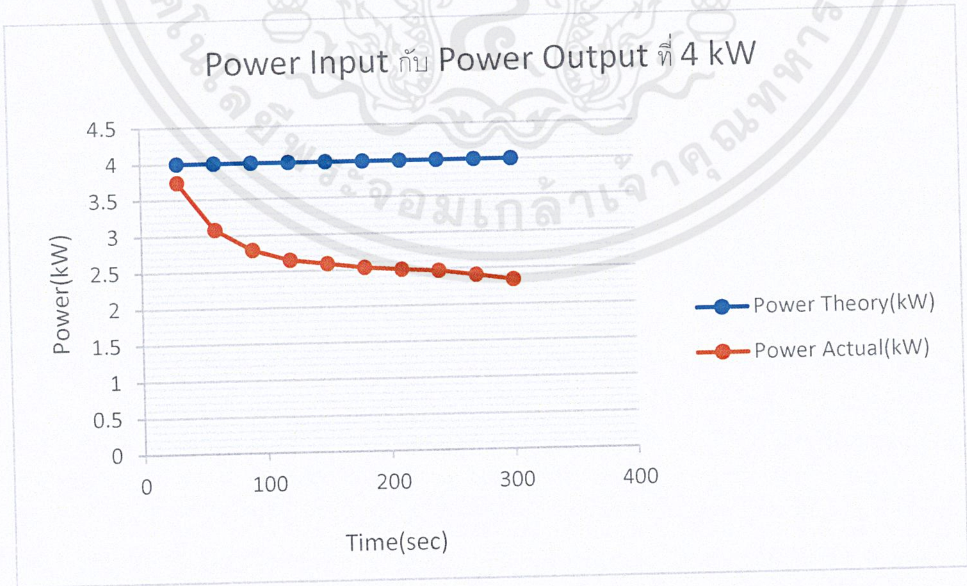
ผลของกำลังงานความร้อนที่ได้รับที่เพิ่มมากขึ้นคือ ที่เวลาเท่ากันอุณหภูมิของชิ้นงานที่ใช้กำลังงานความร้อนที่ได้รับ มากกว่ามีค่ามากกว่า หรือสามารถสรุปได้ว่า ชิ้นงานที่ให้กำลังงานความร้อนที่ได้รับที่มากกว่าจะร้อนเร็วกว่าชิ้นงานที่ให้กำลังงานความร้อนที่ได้รับน้อยกว่า

4.2.2 ผลจากการทดลองชุดทดลองในการหาค่ากำลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจริงในงานให้ความร้อน

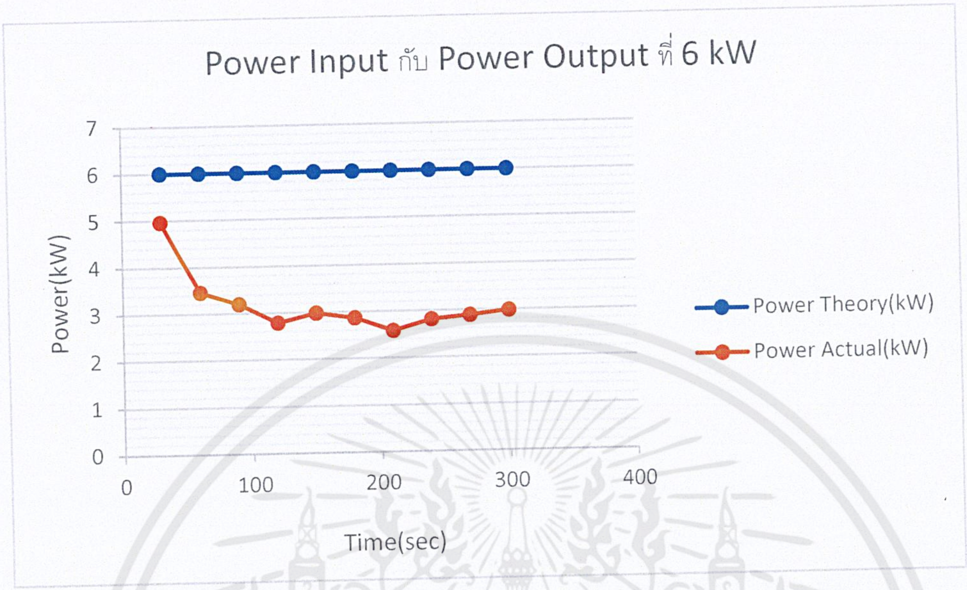
จากการทำชุดทดลองจะวัดค่าอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองจริงนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Excel ซึ่งเป็นสมการที่ใช้หากำลังความร้อนที่เกิดขึ้นจริงของชิ้นงานโดยนำกำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับจริงมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการให้ความร้อนกับกำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับจริง



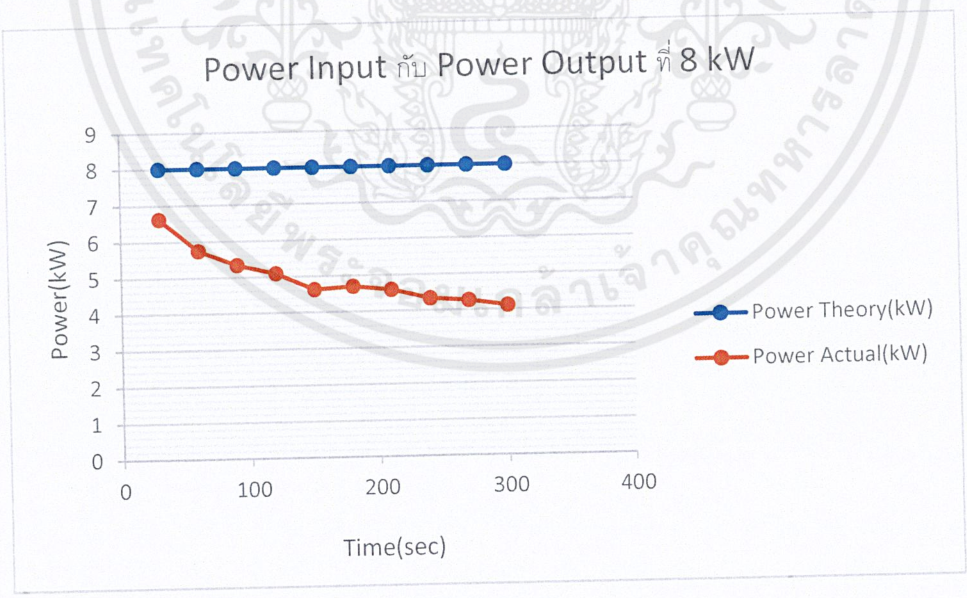
รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบกำลังงานความร้อนที่ได้รับที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ กับกำลังงานความร้อนที่ได้รับที่เครื่องแสดง ที่ 2 กิโลวัตต์



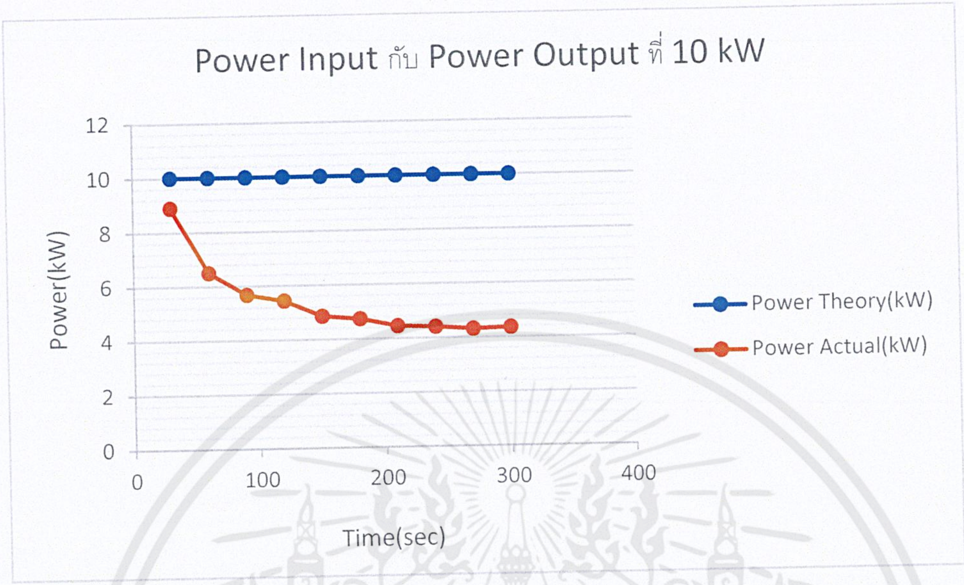
รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบกำลังงานความร้อนที่ได้รับที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ กับกำลังงานความร้อนที่ได้รับที่เครื่องแสดง ที่ 4 กิโลวัตต์



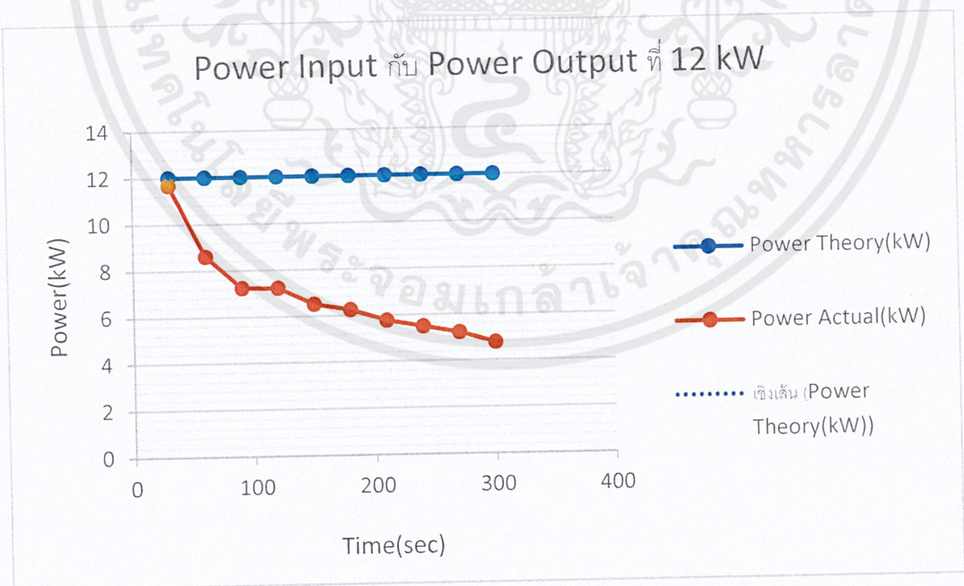
รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบกำลังงานความร้อนที่ได้รับที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ กับกำลังงานความร้อนที่ได้รับที่เครื่องแสดง ที่ 6 กิโลวัตต์



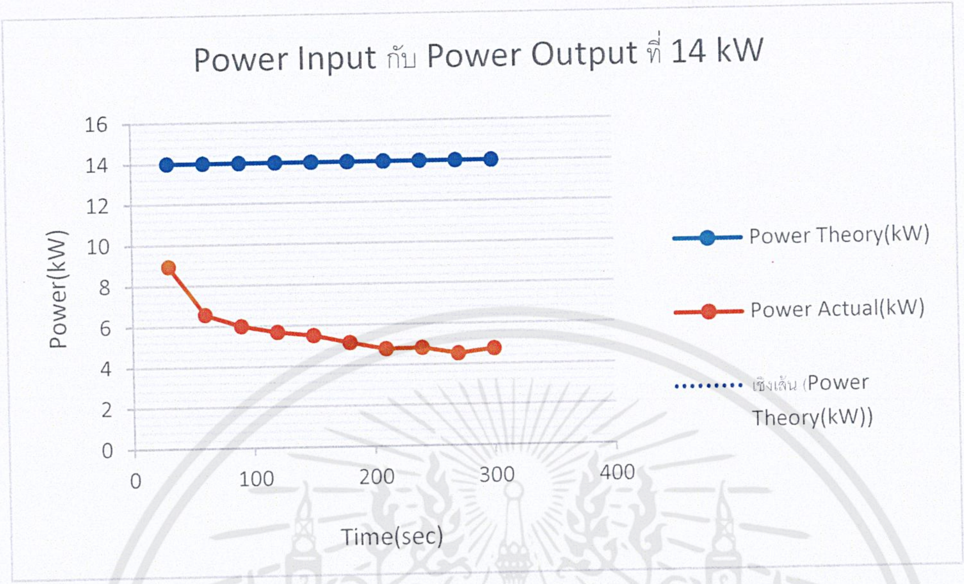
รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบกำลังงานความร้อนที่ได้รับที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ กับกำลังงานความร้อนที่ได้รับที่เครื่องแสดง ที่ 8 กิโลวัตต์



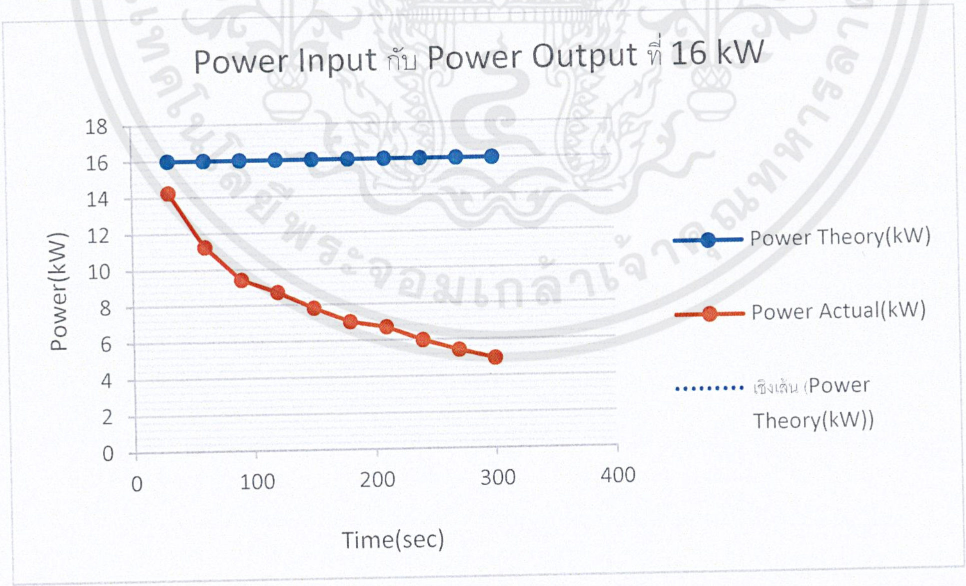
รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบกำลังงานความร้อนที่ได้รับที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ กับกำลังงานความร้อนที่ได้รับที่เครื่องแสดง ที่ 10 กิโลวัตต์



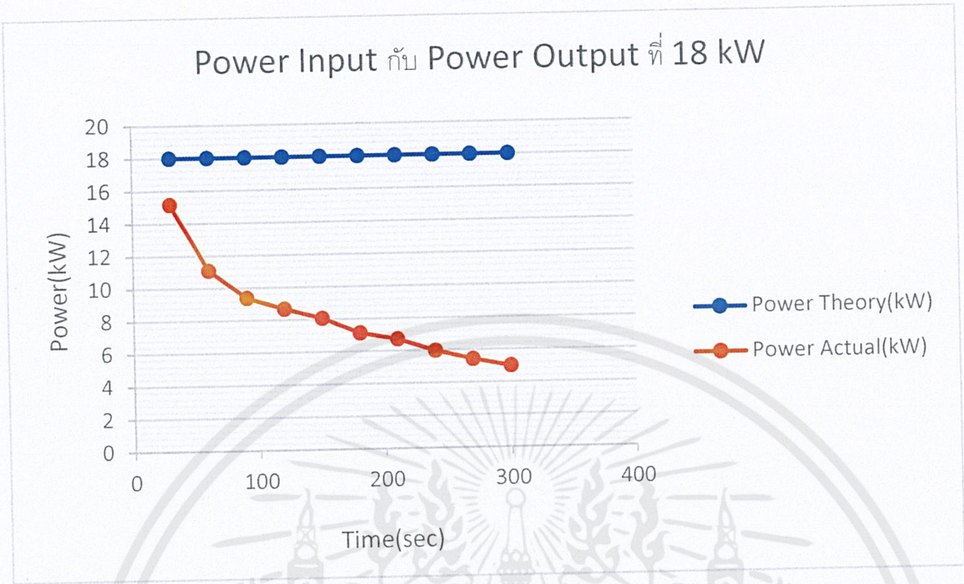
รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบกำลังงานความร้อนที่ได้รับที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ กับกำลังงานความร้อนที่ได้รับที่เครื่องแสดง ที่ 12 กิโลวัตต์



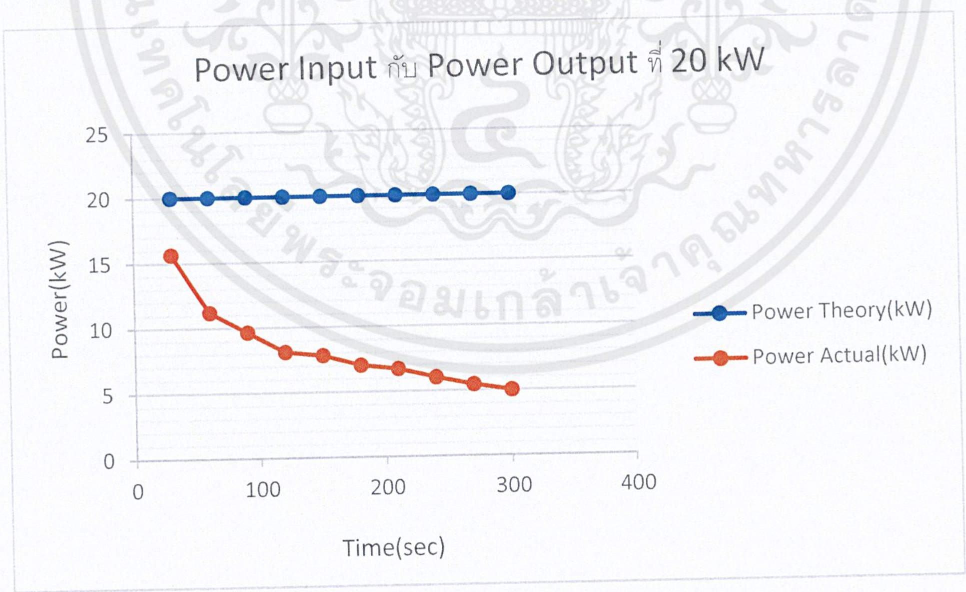
รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบกำลังงานความร้อนที่ได้รับที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ กับกำลังงานความร้อนที่ได้รับที่เครื่องแสดง ที่ 14 กิโลวัตต์



รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบกำลังงานความร้อนที่ได้รับที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ กับกำลังงานความร้อนที่ได้รับที่เครื่องแสดง ที่ 16 กิโลวัตต์



รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบกำลังงานความร้อนที่ได้รับที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ กับกำลังงานความร้อนที่ได้รับที่เครื่องแสดง ที่ 18 กิโลวัตต์



รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบกำลังงานความร้อนที่ได้รับที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ กับกำลังงานความร้อนที่ได้รับที่เครื่องแสดง ที่ 20 กิโลวัตต์

จากรูปที่ 4.3 ถึง รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบกำลังงานความร้อนที่ได้รับที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ กับกำลังงานความร้อนที่ได้รับที่เครื่องแสดง ที่กำลังความร้อนที่เครื่องแสดงต่าง ๆ พบว่าที่เวลาในการให้ความร้อนมีค่าน้อย ๆ กำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับจริงมีค่าใกล้เคียงกับกำลังความร้อนที่เครื่องให้ จากนั้นสังเกตุเห็นได้ว่าเมื่อเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มมากขึ้นกำลังความร้อนที่ชิ้นงานได้รับมีค่าลดลงโดยมีแนวโน้มเป็นดังกราฟที่แสดง

4.2.2.1 ผลจากการทดลองชุดทดลองเพื่อหาค่ากำลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจริงในงานให้ความร้อน

จากผลที่ได้สังเกตว่าเมื่อเวลาในการให้ความร้อนมาขึ้นส่งผลให้ ชิ้นงานสามารถรับค่ากำลังงานความร้อนลดลง สามารถอธิบายได้ว่าเนื่องจากอุณภูมิสะสมของชิ้นงานมีค่าสูงขึ้นเมื่อเวลาในการให้ความร้อนมากขึ้นส่งผลให้ค่าความเป็นสนามแม่เหล็กของชิ้นงานมีค่าลดลง ทำให้ชิ้นงานสามารถรับกำลังงานความร้อนได้น้อยลงเนื่องจากว่า หลักการทำงานของเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำใช้หลักการทำงานของแม่เหล็กในการให้ความร้อน

เนื่องจากทางผู้จัดทำได้เกิดข้อสงสัยในความถูกต้องจึงลองถามไปทางบริษัทเพื่อยืนยันความถูกต้องก็พบว่าเป็นไปตามที่ได้ทำการศึกษามา โดยทางบริษัทบอกว่าจะเริ่มต้นที่ประมาณ 95% แล้วค่อยๆลดลงมาเนื่องจากค่าความเป็นแม่เหล็กที่ลดลงของชิ้นงาน โดยมีความสัมพันธ์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การทำโครการสหกิจศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำในการใช้งานดัดซ่อมเพลาและงานที่ให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน โดยศึกษาการกระจายอุณหภูมิในแนวลึกเพื่อนำไปศึกษาและคำนวนการกระจายตัวของการขยายตัวในแนวลึก และศึกษาผลของอุณหภูมิของชิ้นงานที่มากขึ้นส่งผลต่อการับกำลังงานความร้อนของชิ้นงานอย่างไรเพื่อนำค่าทีได้ไปใช้งานต่อในการหาค่ากำลังงานความร้อนที่เครื่องให้ ที่เหมาะสมในการให้ความร้อนในภายภาคหน้า โดยกระบงนการวิเคราะห์จะใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์อุณหภูมิ และ โปรแกรม Mini Tab 17 ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยในการทำโครงงานวิจัยสหกิจศึกษาในครั้งนี้ สามารถ สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. จากการศึกษาการกระจายอุณหภูมิในแนวลึกเพื่อนำไปศึกษาและคำนวนการกระจายตัวของการขยายตัวในแนวลึก พบว่าจากผลที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ผ่านทาง โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง แปรผันตรงกับค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึกของอุณหภูมิ ส่งผลให้ที่เส้นผ่านศูนย์กลางมากจะทำให้ค่าการกระจายตัวของการขยายตัวมีค่ามากกว่า ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง น้อย ๆ และเมื่อมาสังเกตุที่เส้นผ่านศูนย์กลาง คงที่ ผลของกำลังงานความร้อนที่ได้รับจะแปรผันตรงกับค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิ ผลที่ได้คือกำลังงานความร้อนที่ได้รับมากจะทำให้ค่าการกระจายตัวของการขยายตัวมีค่ามากกว่า ที่กำลังงานความร้อนที่ได้รับน้อย ๆ

2. จากการศึกษาผลของอุณหภูมิของชิ้นงานที่มากขึ้นส่งผลต่อการักำลังงานความร้อน ของชิ้นงานอย่างไร พบว่าจากผลที่ได้สังเกตว่าเมื่ออุณหภูมิของชิ้นงานเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ ชิ้นงานสามารถรักำลังงานความร้อน ได้ลดลง สามารถอธิบายได้ว่าเนื่องจากอุณภูมิของชิ้นงานมีค่าสูงขึ้นส่งผลให้ค่าความเป็นสนามแม่เหล็กของชิ้นงานมีค่าลดลง ทำให้ชิ้นงานสามารถรับกำลังงานความร้อน ได้น้อยลงเนื่องจากว่า หลักการทำงานของเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำใช้หลักการทำงานของแม่เหล็กในการให้ความร้อน เมื่อลองถามไปทางบริษัทเพื่อยืนยันความถูกต้องก็พบว่าเป็นไปตามที่ได้ทำการศึกษามาโดยทางบริษัทบอกว่าจะเริ่มต้นที่ประมาณ 95% แล้วค่อยๆลดลงมาเนื่องจากค่าความเป็นแม่เหล็กที่ลดลงของชิ้นงาน และสามารถเอาค่าและสมการเชิงเส้นที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้ไป คำนวณหากำลังงานที่เครื่องให้ที่เหมาะสม ในการให้ความร้อนชิ้นงาน ในเวลาที่กำหนดไว้ได้ในภายภาคหน้า

จากการศึกษาในครังนี้สามารถทำให้ทาง EGAT การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เขตหนองจอก สามารถประมาณค่าต่าง ๆที่ใช้ในการใช้ในงานดัด และงานที่ให้ความร้อน ซึ่งจะสามารถทำให้การวางแผนงานของทาง EGAT ทำไดอย่างมีประสิทธิภาพและสามารถนำงานวิจัยนี้ไปต่อยอดเพิ่มได้อีกในภายภาคหน้า

5.2 ข้อเสนอแนะ

1.การทำการคิดผลของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะต้องใช้ความชำนาญในการใช้โปรแกรมในระดับหนึ่ง เพราะการใช้โปรแกรมอาจมีผลคลาดเคลื่อนได้

2. การใช้เครื่องมือวัดโดยใช้ปืนวัดแบบอินฟาเรด อาจเกิดความคลาดเคลื่อได้มาก แนะนำว่าควรใช้เครื่องมือวัดในครั้งหน้าเป็นเครื่อง Thermography ซึ่งสามารถวัดได้ละเอียดมากกว่า

3. เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำผู้ใช้งานต้อมีความรู้ในการใช้งานมาระดับหนึ่ง

4. ผู้ใช้งานเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำควรจะระมัดระวังไม่ให้มีโลหะอยู่บริเวณมือระหว่างการใช้งาน เช่น นาฬิกา แหวน กำไร ฯลฯ

5. ผู้ที่ป่วยเป็นโรค หัวใจและผู้ที่มีการใช้อวัยวะเทียมที่เป็นโลหะไม่สามารถใช้งานเครื่องได้

บรรณานุกรม

[1] วิเชียร หทัยรัตน์ศิริ (2552). **การออกแบบและสร้างต้นแบบชุดเหนี่ยวนำความร้อนเพื่อทุบขึ้นรูปโลหะด้วยอินเวอร์เตอร์เอชบริดจ์ร่วมกับดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดทอนแรงดัน.** สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[2] คงศักดิ์ รัตน์นิยมชัย, สำราญ สันทาลุนัย (2550). **การออกแบบเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ.** สาขาวิชาโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2545 สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[3] **Modelling the Magnetic Permeability of General Steels.** เข้าถึงเมื่อ 23 สิหาคม 2562. เข้าถึงได้จาก https://www.sentesoftware.co.uk/site-media/magnetic-permeability

[4] **ความร้อน (Heat).** เข้าถึงเมื่อ 23 กันยายน 2562. เข้าถึงได้จาก https://www.rsu.ac.th/science/physics/pom/physics1/heat/heat.pdf

[5] อนุสรณ์ สุขเกษม (2550). **การศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนโดยการพาของครีบแท่งทรงกระบอก** กรุงเทพฯ: ปริญญานิพนธ์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มกราคม 2550

[6] อำนวย เรืองวาริ, ศิริชัย ต่อสกุล, วารุณี เปรมานนท์ (2555). **การศึกษาสมบัติของวัสดุฉนวนกันความร้อนแบบแผ่นแซนวิชรังผึ้งไม้อัด ด้วยวิธีการจาลองไฟไนต์เอลิเมนต์** ปทุมธานี: วารสารวิศวกรรมศาสตร์ราชมงคลธัญบุรี(Journal of Engineering, RMUTT ISSN 1685-2580)

[7] สมจินต์ พ่วงเจริญชัย (2554). **การจำลองการถ่ายโอนความร้อนภายในแผงท่อให้ความร้อนโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์** ปทุมธานี: วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ปีที่ 5 ฉบับที่ 2 กันยายน 2554

[8] EFD INDUCTION. "**Induction heating applications**". [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 15 ตุลาคม 2562. เข้าถึงได้จาก https://www.efd-induction.com

[9] **63 Mini Infrared Thermometer Gun**. [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 15 ตุลาคม 2562. เข้าถึงได้จาก https://www.fluke.com/th-th/product/temperature-measurement/ir-thermometers/fluke-63

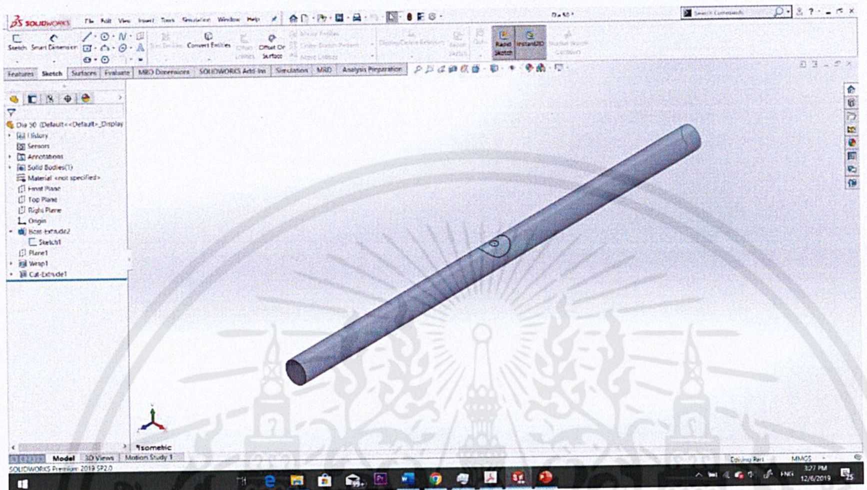
ภาคผนวก ก

วิธีการใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์อุณหภูมิของชิ้นงาน

1. การวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึก โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

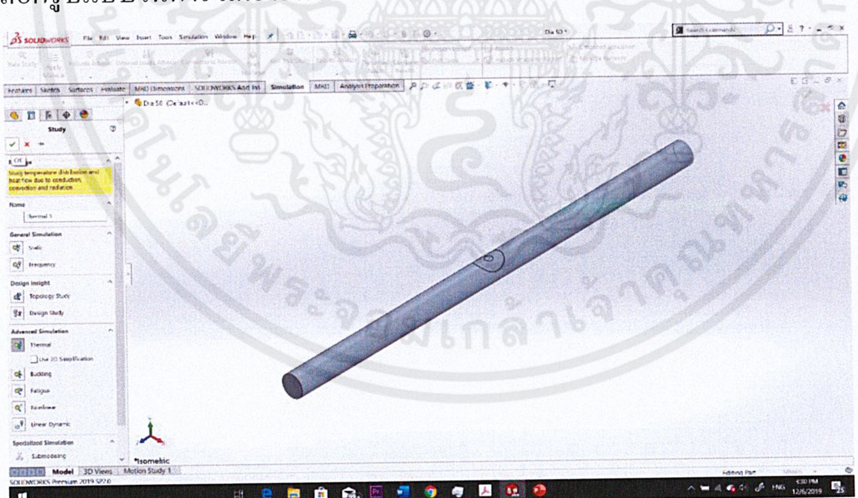
ขั้นตอนการทำงาน

1.สร้างแบบจำลองของชิ้นงานที่จะทำการวิเคราะห์เป็นแบบ 3 มิติ



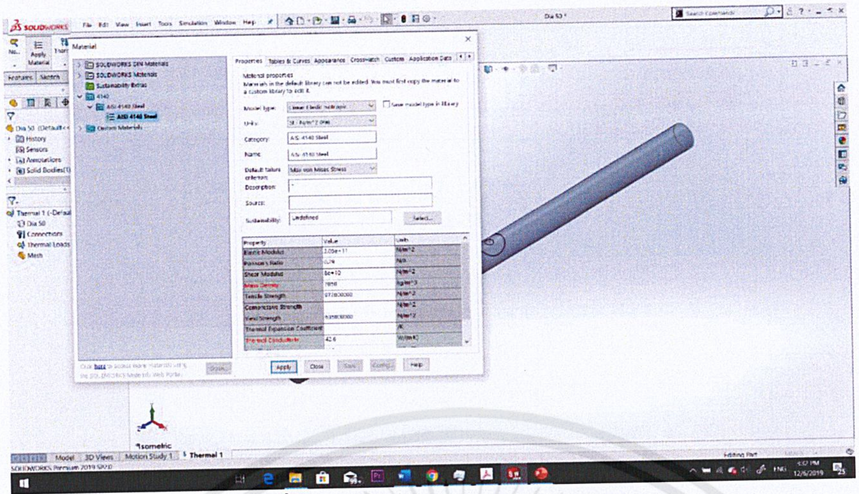
รูปที่ 1 แบบจำลองของชิ้นงาน 3 มิติ

2.เลือกรูปแบบในการวิเคราะห์จากแถบเครื่องมือวิเคราะห์เป็นแบบ Thermal



รูปที่ 2 การเลือกรูปแบบการวิเคราะห์

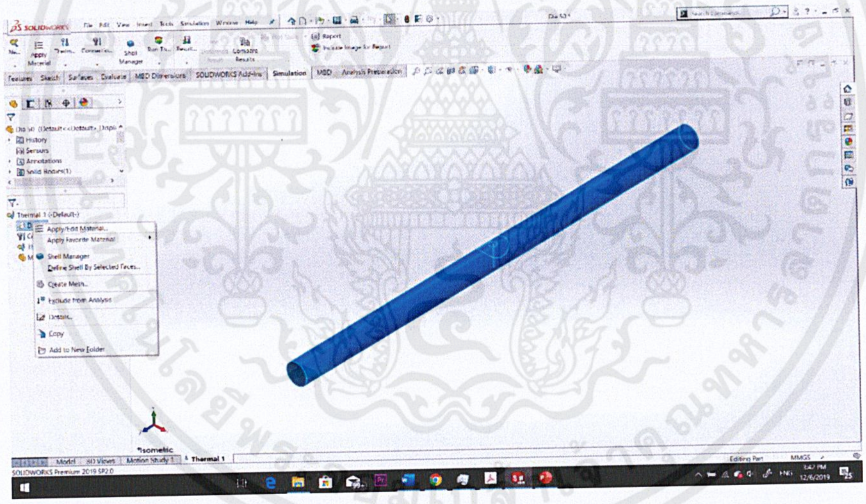
3.ป้อนคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องด้านวิศวกรรมของวัสดุลงใน Engineering Data



รูปที่ 3 การป้อนคุณสมบัติของวัสดุ

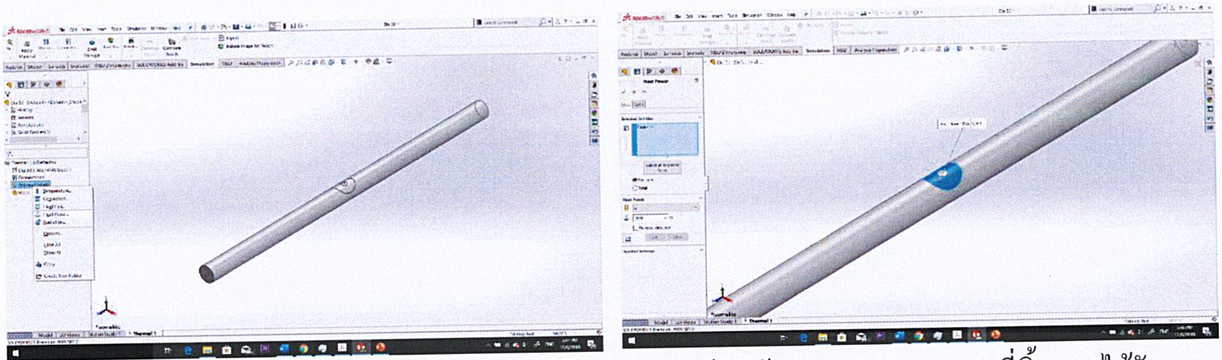
4.กำหนดค่าที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ชนิดของวัสดุที่ใช้ในงานดัดคืนตัวของเพลา



รูปที่ 4 การเลือกชนิดของเพลาเป็นแบบ AISI4140

4.2 Heat Power ที่ชิ้นงานได้รับ

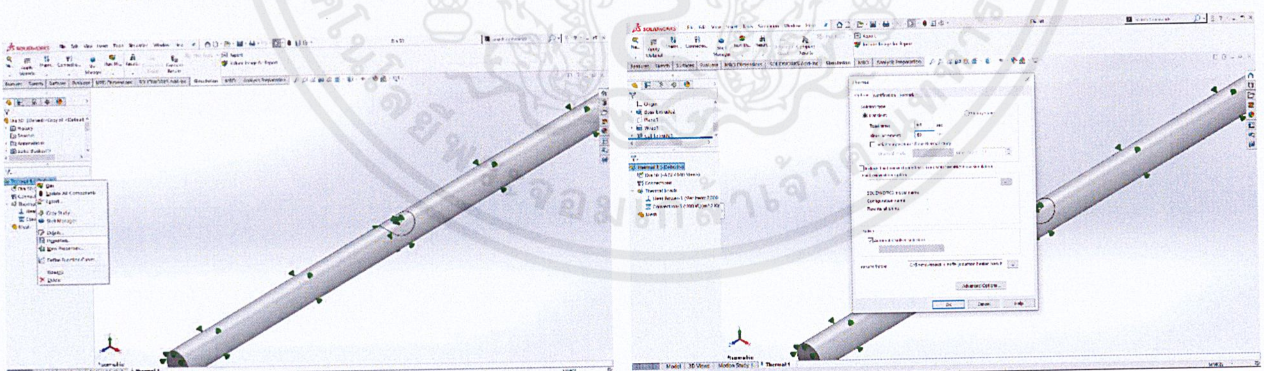


รูปที่ 5 (ก) การเลือกรูปแบบของThermal load (ข)การป้อนข้อมูลของHeat Powerที่ชิ้นงานได้รับ

4.3 บริเวณผิวที่ได้รับการ Convection

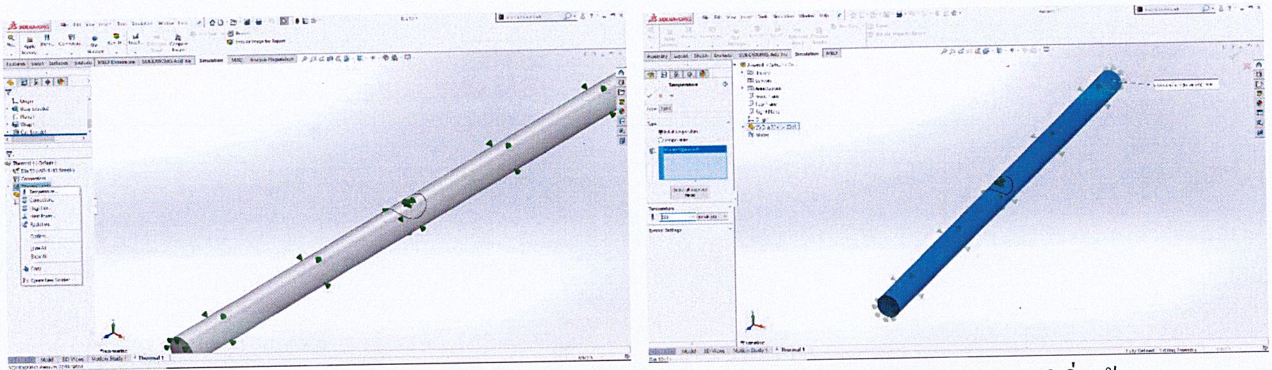
รูปที่ 6 (ก) การเลือกรูปแบบของThermal load (ข)การป้อนข้อมูลของ Convection ที่ชิ้นงานได้รับ

4.4 ตั้งค่าการวิเคราะห์แบบ Transient



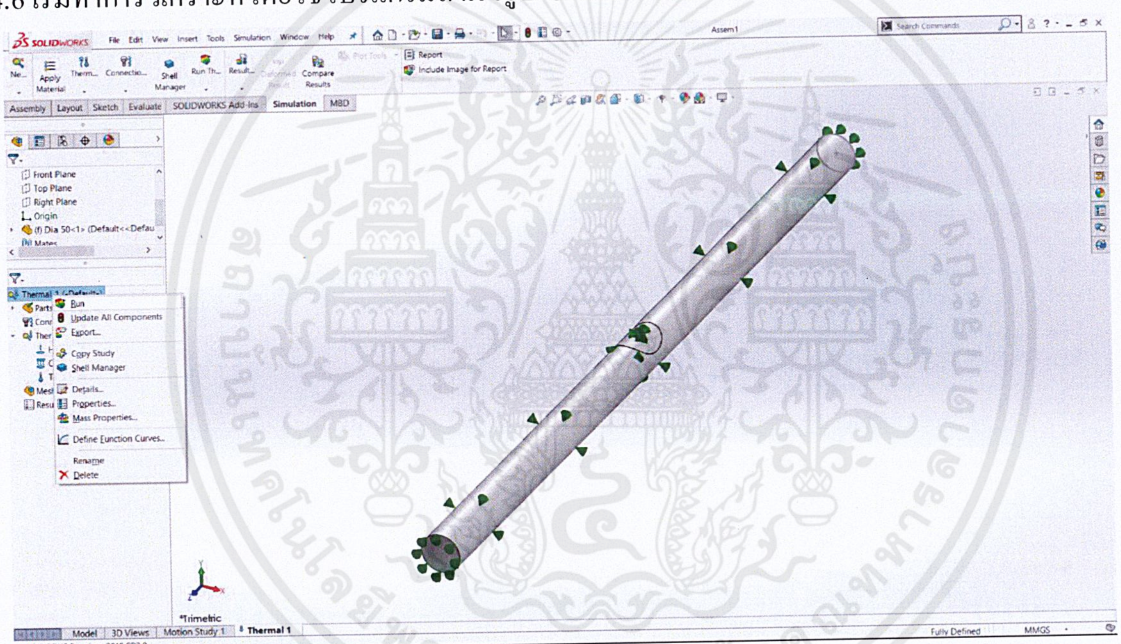
รูปที่ 7 (ก) เลือกการตั้งค่า (ข) กำหนดการวิเคราะห์แบบ Transient และกำหนดเวลา

4.5 กำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นของชิ้นงาน



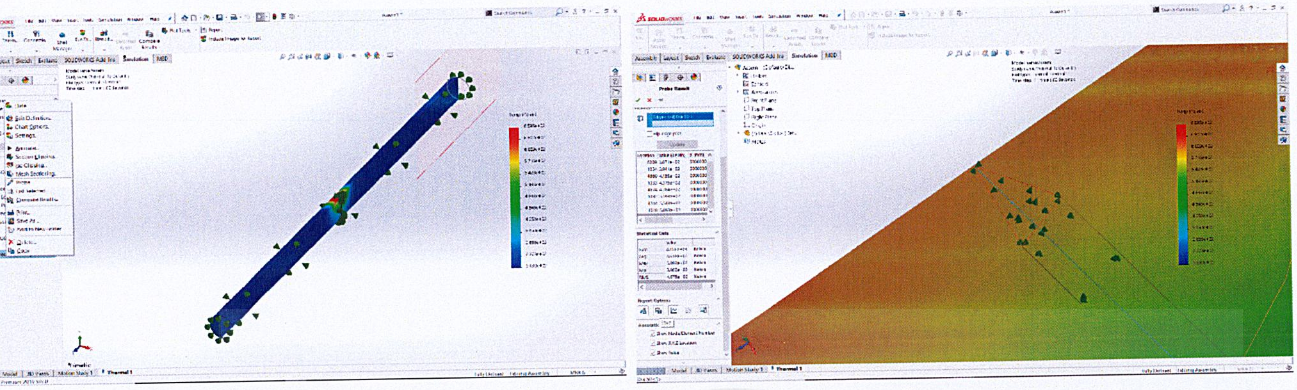
รูปที่ 8 (ก) การเลือกรูปแบบของThermal load (ข) การป้อนข้อมูลของอุณหภูมิเริ่มต้น

4.6 เริ่มทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Solid work



รูปที่ 9 การเลือกเริ่มทำการวิเคราะห์

4.7 เลือกการแสดงผลออกมา

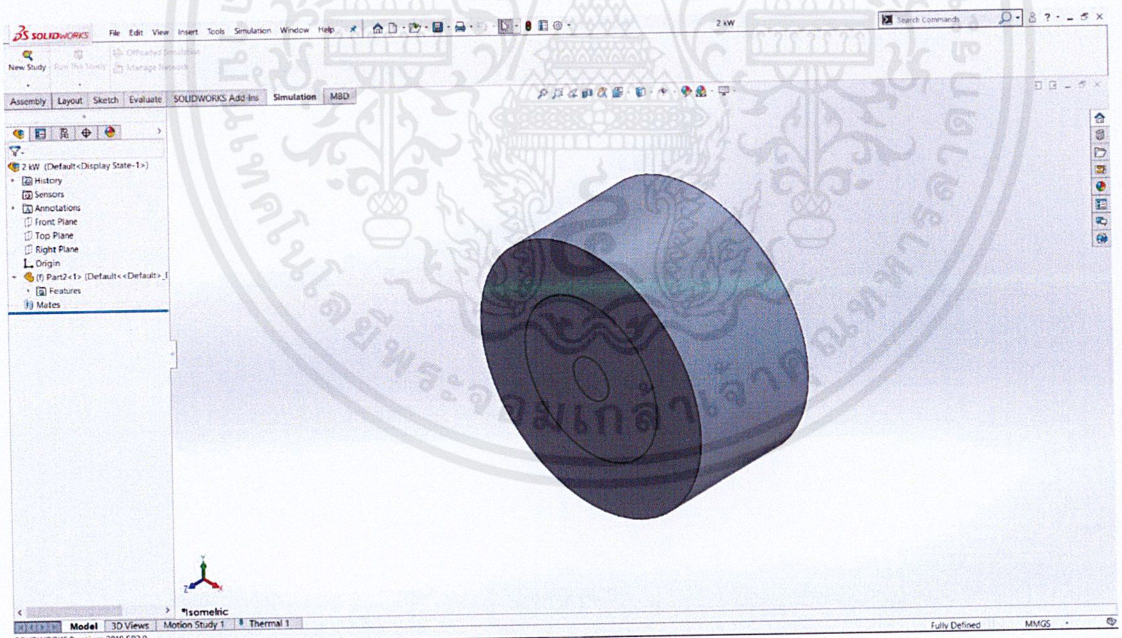


รูปที่ 10 (ก) การเลือกฟังก์ชันการแสดงผลของอุณหภูมิ (ข) เลือกการแสดงผลออกมา

2. การวิเคราะห์อุณหภูมิที่เกิดขึ้นของชิ้นงานเพื่อนำไปคำนวณต่อเพื่อหาค่า Heat Power ที่เกิดขึ้นจริง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Solid work

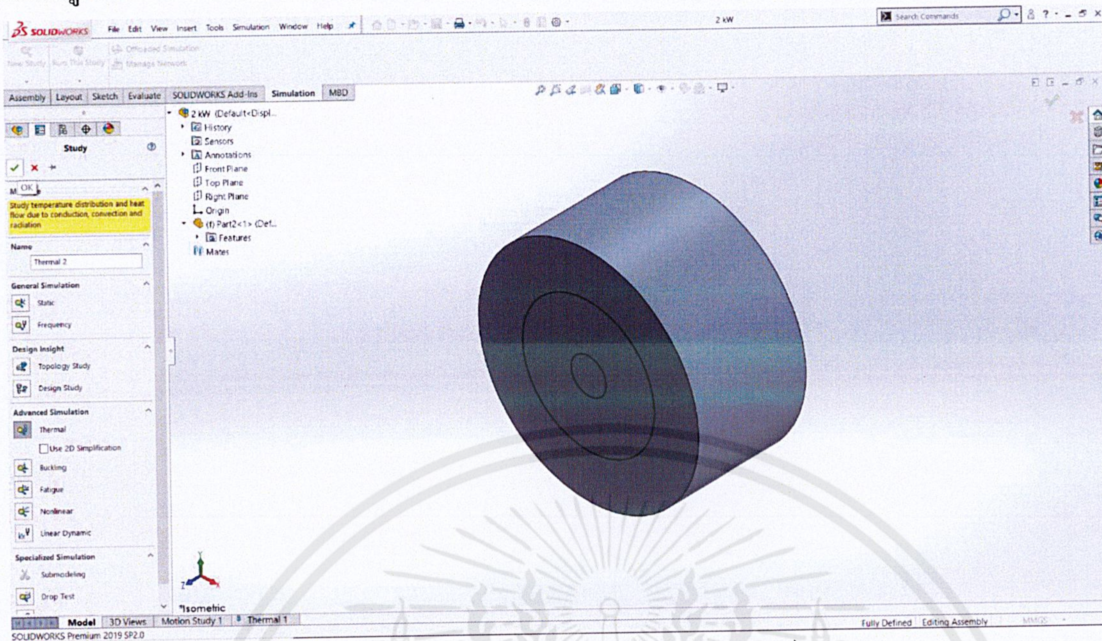
ขั้นตอนการทำงาน

1.สร้างแบบจำลองของชิ้นงานที่จะทำการวิเคราะห์เป็นแบบ 3 มิติ



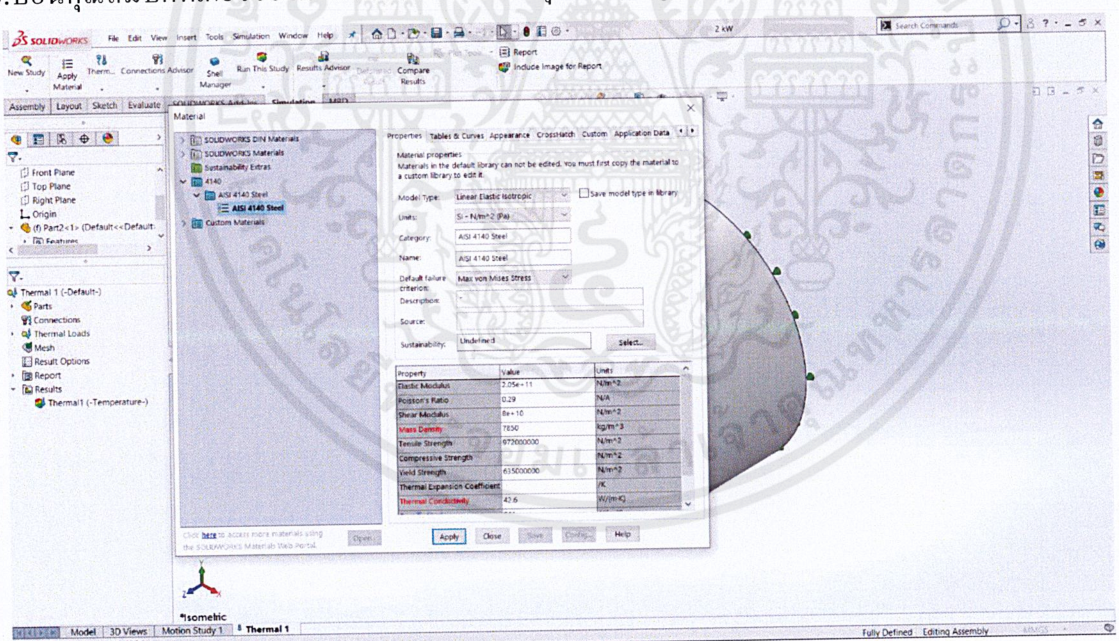
รูปที่ 11 แบบจำลองของชิ้นงาน 3 มิติ

2.เลือกรูปแบบในการวิเคราะห์จากแถบเครื่องมือวิเคราะห์เป็นแบบ Thermal



รูปที่ 12 การเลือกรูปแบบการวิเคราะห์

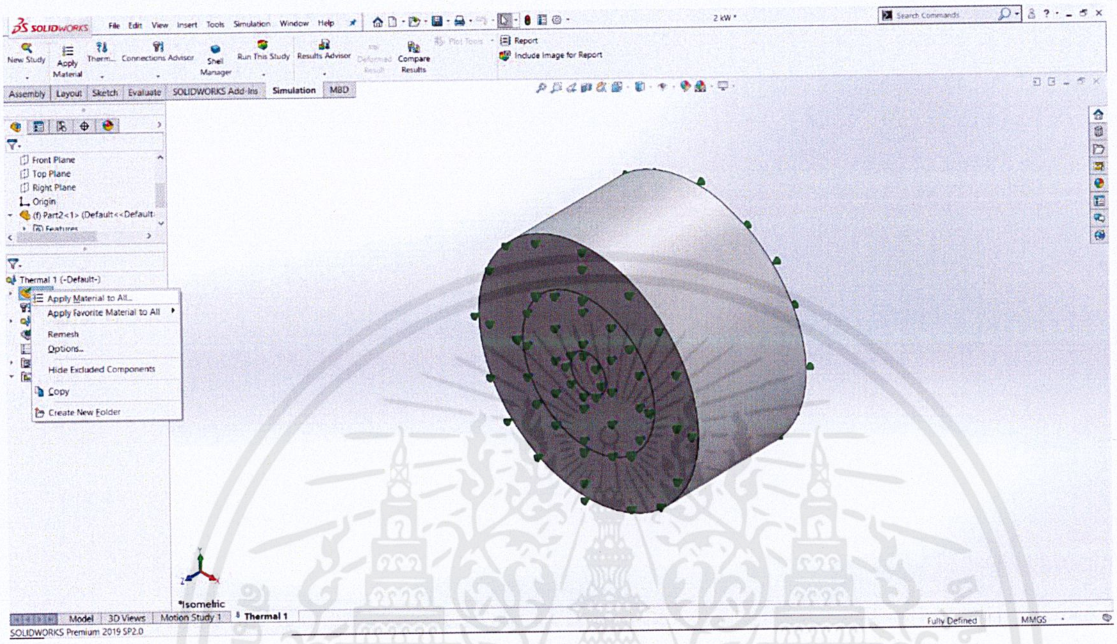
3.ป้อนคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องด้านวิศวกรรมของวัสดุลงใน Engineering Data



รูปที่ 13 การป้อนคุณสมบัติของวัสดุ

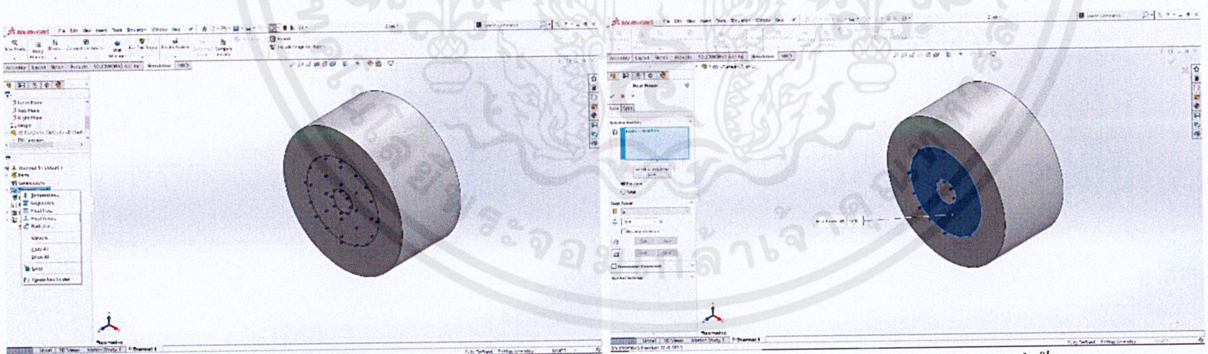
4.กำหนดค่าที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ชนิดของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง



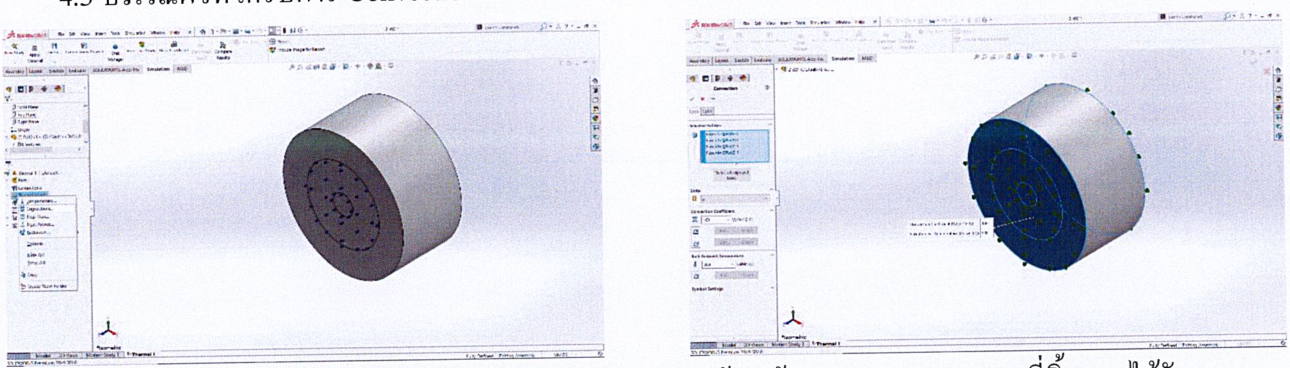
รูปที่ 14 การเลือกชนิดของชิ้นงานเป็นแบบ AISI4140

4.2 Heat Power ที่ชิ้นงานได้รับ



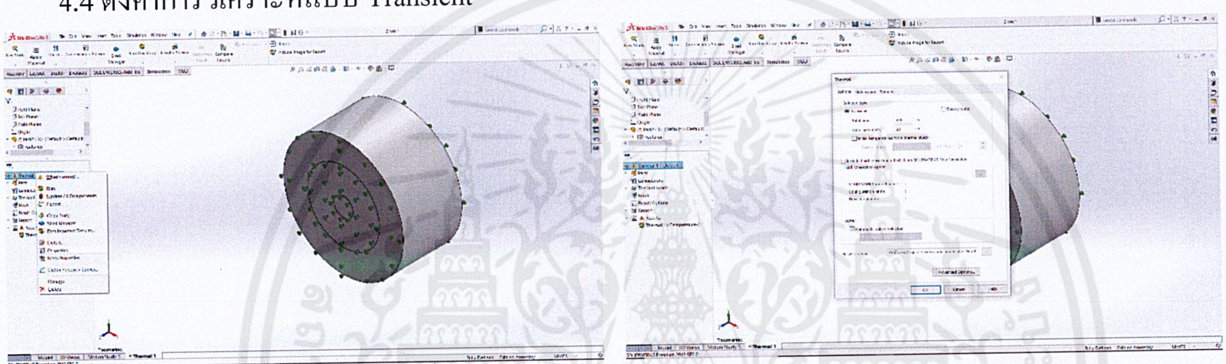
รูปที่ 15 (ก) การเลือกรูปแบบของThermal load (ข)การป้อนข้อมูลของHeat Powerที่ชิ้นงานได้รับ

4.3 บริเวณผิวที่ได้รับการ Convection



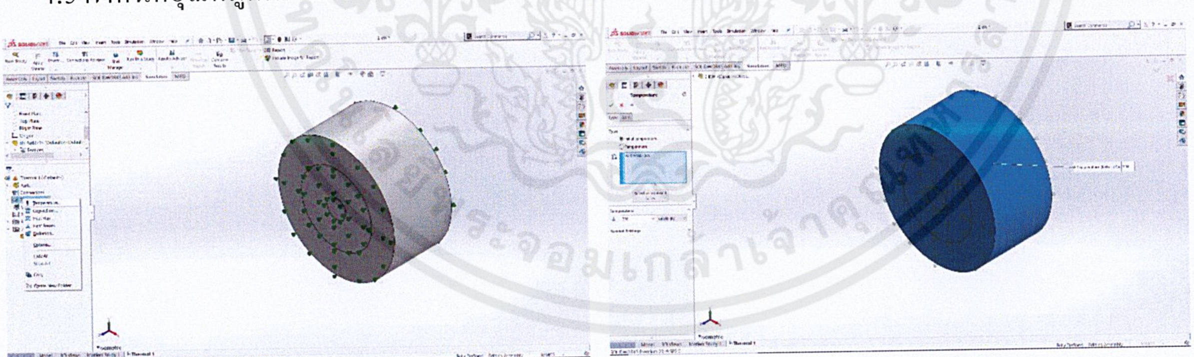
รูปที่ 16 (ก) การเลือกรูปแบบของThermal load (ข)การป้อนข้อมูลของ Convection ที่ชิ้นงานได้รับ

4.4 ตั้งค่าการวิเคราะห์แบบ Transient



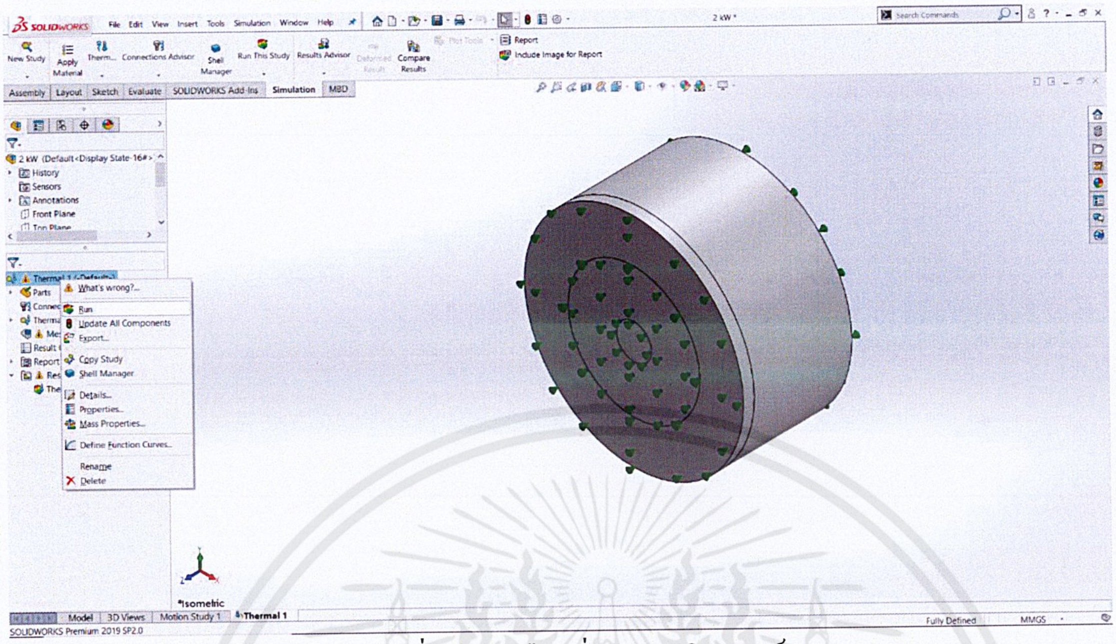
รูปที่ 17 (ก) เลือกการตั้งค่า (ข) กำหนดการวิเคราะห์แบบ Transient และกำหนดเวลา

4.5 กำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นของชิ้นงาน



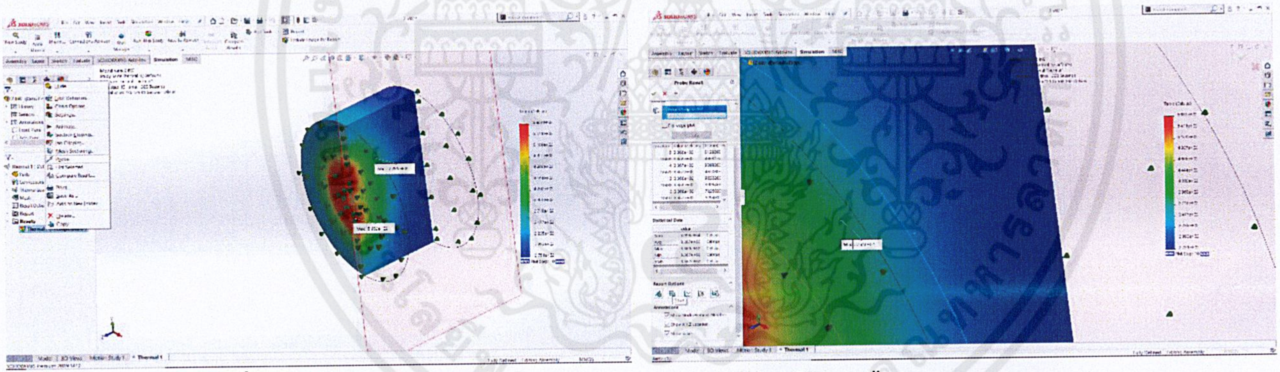
รูปที่ 18 (ก) การเลือกรูปแบบของThermal load (ข) การป้อนข้อมูลของอุณหภูมิเริ่มต้น

4.6 เริ่มทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Solid work



รูปที่ 19 การเลือกเริ่มทำการวิเคราะห์

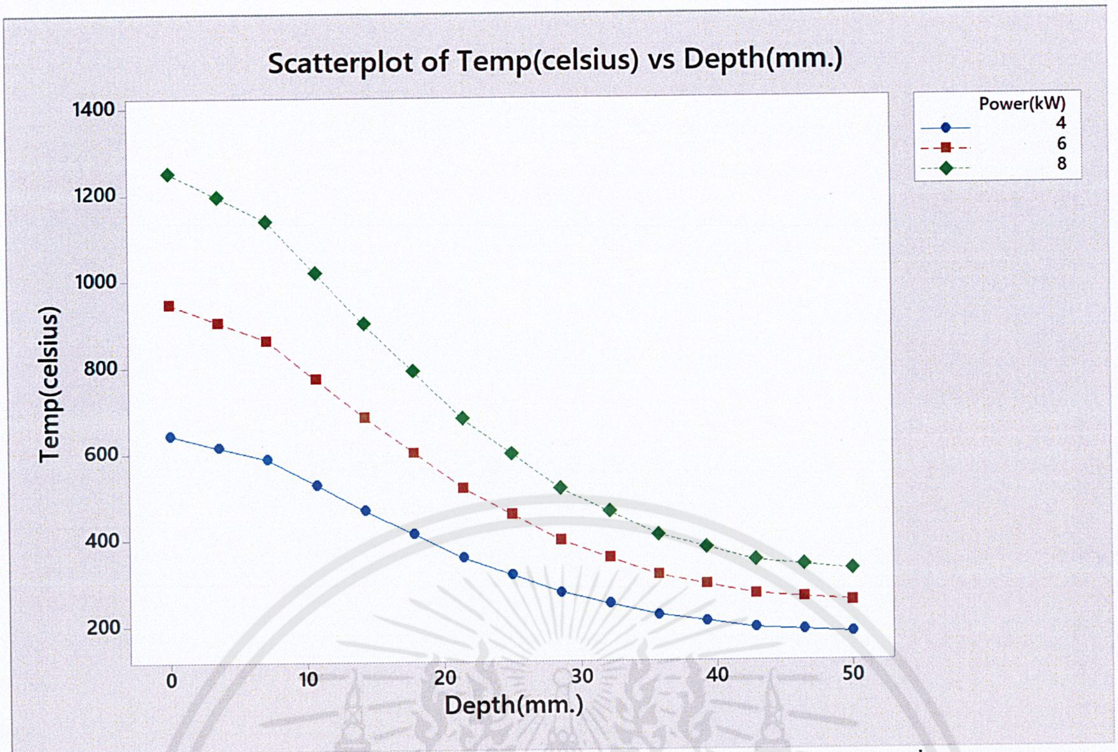
4.7 เลือกการแสดงผลออกมา



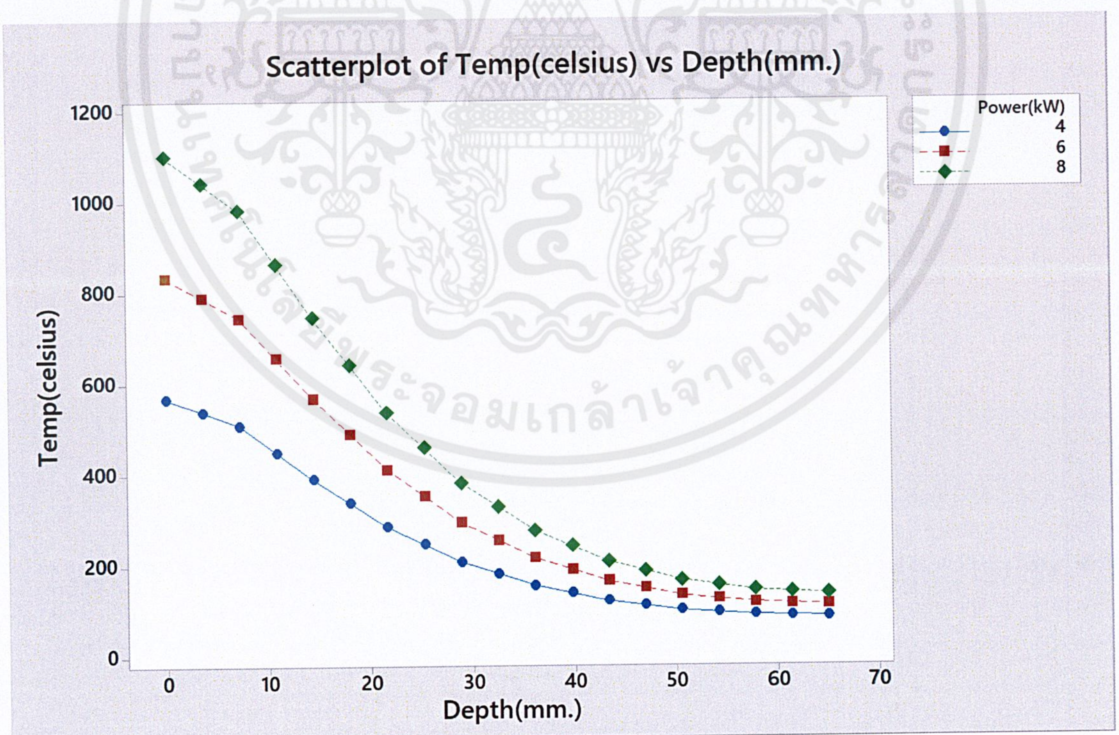
รูปที่ 20 (ก) การเลือกฟังก์ชันการแสดงผลของอุณหภูมิ (ข) เลือกการแสดงผลออกมา

ภาคผนวก ข

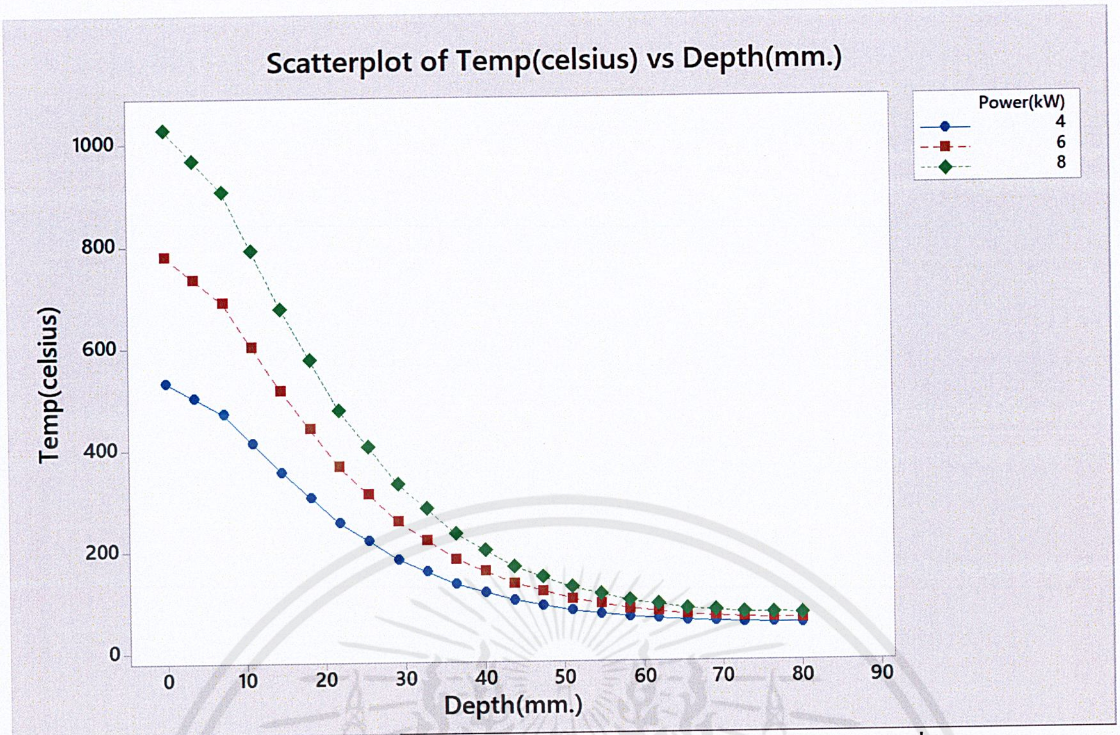
กราฟแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึก



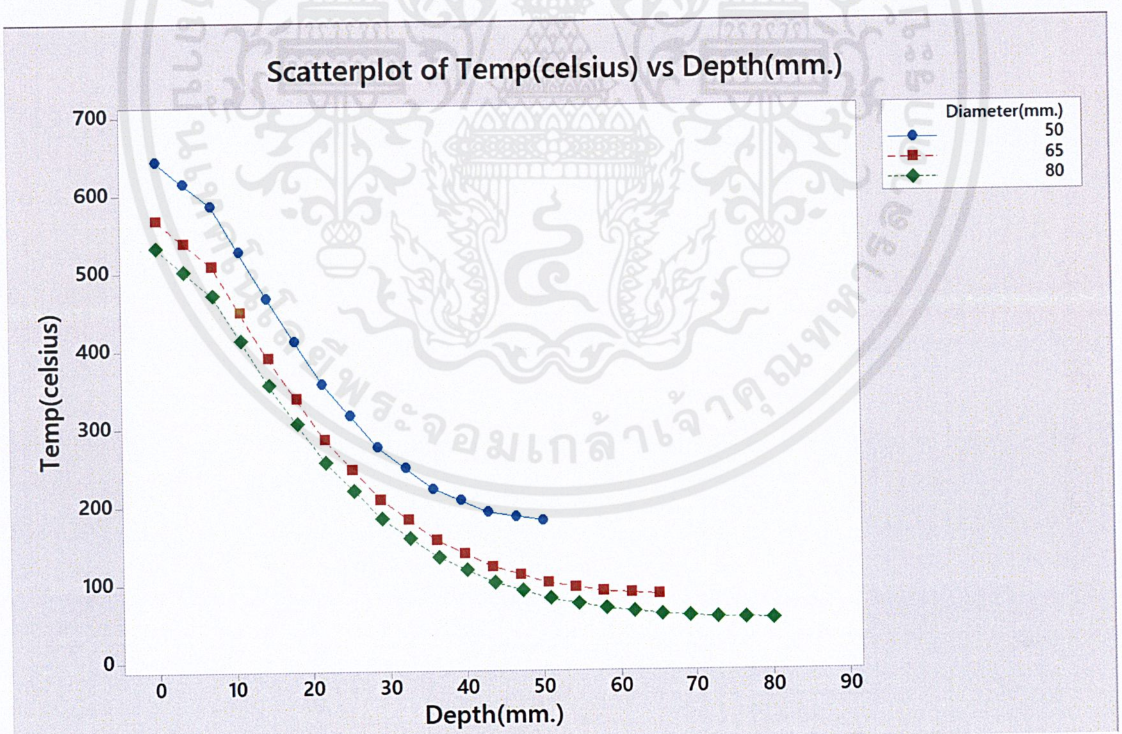
รูปที่ 21 กราฟแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึก ที กำลังความร้อนต่าง ๆ ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร



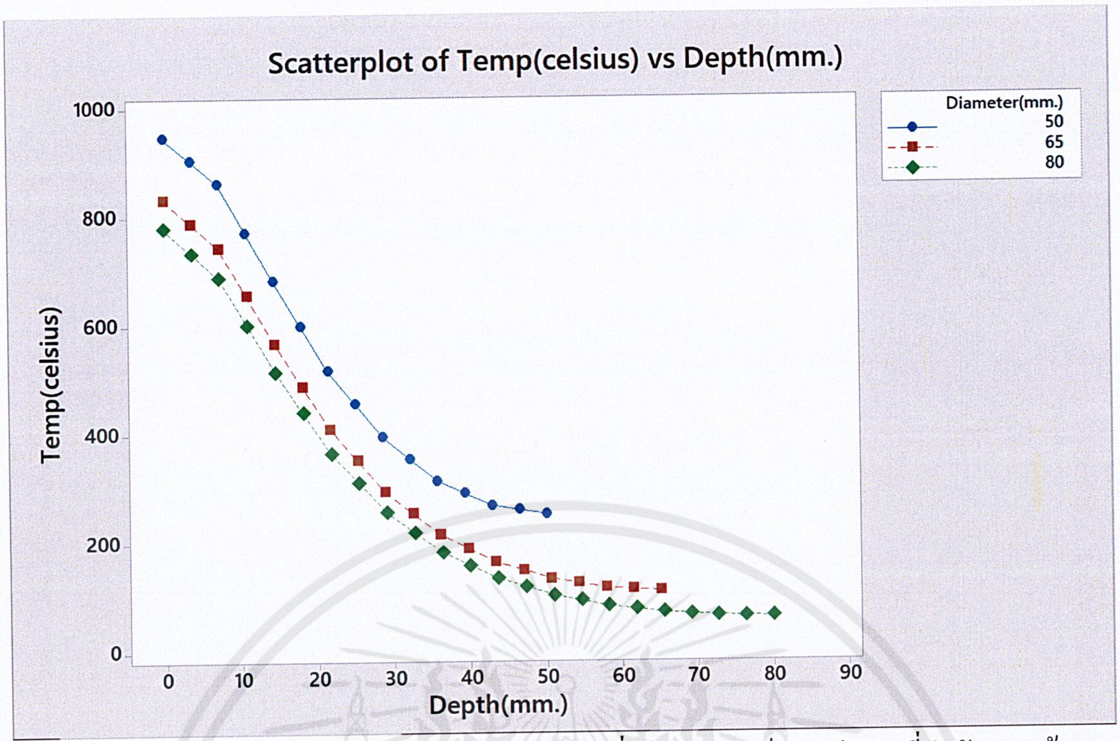
รูปที่ 22 กราฟแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึก ที กำลังความร้อนต่าง ๆ ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65 มิลลิเมตร



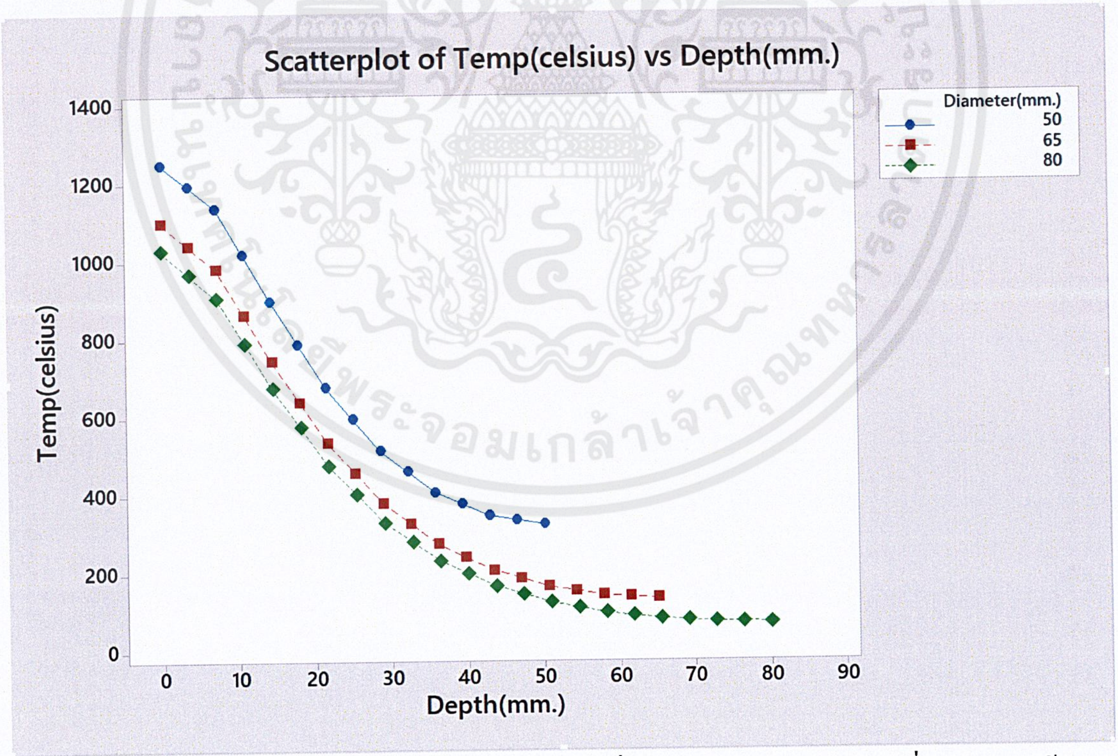
รูปที่ 23 กราฟแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึก ที กำลังความร้อนต่าง ๆ ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มิลลิเมตร



รูปที่ 24 กราฟแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึก ที่เส้นผ่านศูนย์กลางต่าง ๆ ที่กำลังความร้อน 4 กิโลวัตต์



รูปที่ 25 กราฟแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึก ที่เส้นผ่านศูนย์กลางต่าง ๆ ที่กำลังความร้อน 6 กิโลวัตต์



รูปที่ 26 กราฟแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวลึก ที่เส้นผ่านศูนย์กลางต่าง ๆ ที่กำลังความร้อน 8 กิโลวัตต์

ภาคผนวก ค

อุณหภูมิของชิ้นงานที่ได้จากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ณ เวลาต่าง ๆ

ตารางที่ 1 อุณหภูมิของชิ้นงานที่ได้จากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ณ เวลาต่าง ๆ ที่กำลังความร้อน 2 กิโลวัตต์

Power(kW)	Time(sec)	Temp (Celsius)
2	30	65.7
2	60	101.7
2	90	136
2	120	168.1
2	150	198.5
2	180	227.7
2	210	255.9
2	240	283.2
2	270	309.8
2	300	335.7

ตารางที่ 2 อุณหภูมิของชิ้นงานที่ได้จากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ณ เวลาต่าง ๆ ที่กำลังความร้อน 4 กิโลวัตต์

Power(kW)	Time(sec)	Temp(Celsius)
4	30	96.66
4	60	168.6
4	90	237.2
4	120	301.4
4	150	362.3
4	180	420.7
4	210	477
4	240	531.7
4	270	584.9
4	300	636.6

ตารางที่ 3 อุณหภูมิของชิ้นงานที่ได้จากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ณ เวลาต่าง ๆ ที่กำลังความร้อน 6 กิโลวัตต์

Power(kW)	Time(sec)	Temp(Celsius)
6	30	127.5
6	60	235.4
6	90	338.3
6	120	434.7
6	150	526
6	180	613.5
6	210	698.1
6	240	780.1
6	270	859.9
6	300	937.5

ตารางที่ 4 อุณหภูมิของชิ้นงานที่ได้จากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ณ เวลาต่าง ๆ ที่กำลังความร้อน 8 กิโลวัตต์

Power(kW)	Time(sec)	Temp(Celsius)
8	30	158.2
8	60	302.1
8	90	439.3
8	120	567.7
8	150	689.5
8	180	806.2
8	210	919
8	240	1028
8	270	1135
8	300	1238

ตารางที่ 5 อุณหภูมิของชิ้นงานที่ได้จากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ณ เวลาต่าง ๆ ที่กำลังความร้อน 10 กิโลวัตต์

Power(kW)	Time(sec)	Temp(Celsius)
10	30	189
10	60	368.9
10	90	540.4
10	120	701
10	150	853.1
10	180	999.1
10	210	1140
10	240	1277
10	270	1410
10	300	1416

ตารางที่ 6 อุณหภูมิของชิ้นงานที่ได้จากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ณ เวลาต่าง ๆ ที่กำลังความร้อน 12 กิโลวัตต์

Power(kW)	Time(sec)	Temp(Celsius)
12	30	208.7
12	60	416.4
12	90	614.6
12	120	800
12	150	975.4
12	180	1144
12	210	1306
12	240	1416
12	270	1416
12	300	1416

ตารางที่ 7 อุณหภูมิของชิ้นงานที่ได้จากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ณ เวลาต่าง ๆ ที่กำลังความร้อน 14 กิโลวัตต์

Power(kW)	Time(sec)	Temp(Celsius)
14	30	250.7
14	60	502.6
14	90	742.6
14	120	967.4
14	150	1180
14	180	1385
14	210	1416
14	240	1416
14	270	1416
14	300	1416

ตารางที่ 8 อุณหภูมิของชิ้นงานที่ได้จากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ณ เวลาต่าง ๆ ที่กำลังความร้อน 16 กิโลวัตต์

Power(kW)	Time(sec)	Temp(Celsius)
16	30	281.5
16	60	569.4
16	90	843.7
16	120	1101
16	150	1344
16	180	1416
16	210	1416
16	240	1416
16	270	1416
16	300	1416

ตารางที่ 9 อุณหภูมิของชิ้นงานที่ได้จากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ณ เวลาต่าง ๆ ที่กำลังความร้อน 18 กิโลวัตต์

Power(kW)	Time(sec)	Temp(Celsius)
18	30	312.3
18	60	636.2
18	90	944.9
18	120	1234
18	150	1416
18	180	1416
18	210	1416
18	240	1416
18	270	1416
18	300	1416

ตารางที่ 10 อุณหภูมิของชิ้นงานที่ได้จากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ณ เวลาต่าง ๆ ที่กำลังความร้อน 20 กิโลวัตต์

Power(kW)	Time(sec)	Temp(Celsius)
20	30	343.2
20	60	703
20	90	1046
20	120	1367
20	150	1416
20	180	1416
20	210	1416
20	240	1416
20	270	1416
20	300	1416

ภาคผนวก ง

ตารางแสดงผลของอุณหภูมิที่ได้จากการวัด และค่ากำลังงานความร้อนที่ชิ้นงานได้รับที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ

ตารางที่ 11 อุณหภูมิและค่ากำลังงานความร้อนที่ได้รับที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ เมื่อให้เครื่องให้กำลังงานความร้อนที่ได้รับเท่ากับ 2 กิโลวัตต์ ณ เวลาต่าง ๆ

Time(sec)	Temp Actual (Celsius)	Power Actual (kW)
30	48.7	0.9560617
60	78.1	1.3339984
90	87.6	1.0664448
120	101.4	1.0042066
150	122.8	1.061316
180	136.8	1.0211512
210	159.7	1.0730278
240	171.7	1.0195121
270	181.2	0.9501664
300	196.1	0.9289763

ตารางที่ 12 อุณหภูมิและค่ากำลังงานความร้อนที่ได้รับที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ เมื่อให้เครื่องให้กำลังงานความร้อนที่ได้รับเท่ากับ 4 กิโลวัตต์ ณ เวลาต่าง ๆ

Time(sec)	Temp Actual (Celsius)	Power Actual (kW)
30	91.5	3.7376765
60	136.2	3.0807168
90	174.3	2.7959364
120	209.5	2.6493805
150	245.6	2.592632
180	278.4	2.5304656
210	311.7	2.4978758
240	344.1	2.4699133
270	370.4	2.4017088
300	394.1	2.3314103

ตารางที่ 13 อุณหภูมิและค่ากำลังงานความร้อนที่ได้รับที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ เมื่อให้เครื่องให้กำลังงานความร้อนที่ได้รับเท่ากับ 6 กิโลวัตต์ ณ เวลาต่าง ๆ

Time(sec)	Temp Actual (Celsius)	Power Actual (kW)
30	110.3	4.9595073
60	148.6	3.4535104
90	194.4	3.1968912
120	218.7	2.7893953
150	276.8	2.981696
180	310.4	2.8715536
210	320.6	2.5813044
240	385.3	2.8165289
270	433.6	2.8865792
300	486.4	2.9851712

ตารางที่ 14 อุณหภูมิและค่ากำลังงานความร้อนที่ได้รับที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ เมื่อให้เครื่องให้กำลังงานความร้อนที่ได้รับเท่ากับ 8 กิโลวัตต์ ณ เวลาต่าง ๆ

Time(sec)	Temp Actual (Celsius)	Power Actual (kW)
30	135.8	6.6167778
60	224.6	5.7383744
90	301.4	5.3313272
120	369.8	5.0889862
150	409.1	4.631477
180	482	4.700638
210	535.3	4.5939022
240	565.6	4.3333928
270	613.2	4.2644704
300	646.3	4.1177429

ตารางที่ 15 อุณหภูมิและค่ากำลังงานความร้อนที่ได้รับที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ เมื่อให้เครื่องให้กำลังงานความร้อนที่ได้รับเท่ากับ 10 กิโลวัตต์ ณ เวลาต่าง ๆ

Time(sec)	Temp Actual (Celsius)	Power Actual (kW)
30	170.9	8.8979619
60	250.1	6.5050064
90	318.7	5.6764276
120	393.1	5.4435889
150	427.4	4.859678
180	485.3	4.7358127
210	520.4	4.4542296
240	574.5	4.4082685
270	620.5	4.320476
300	680.8	4.3621064

ตารางที่ 16 อุณหภูมิและค่ากำลังงานความร้อนที่ได้รับที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ เมื่อให้เครื่องให้กำลังงานความร้อนที่ได้รับเท่ากับ 12 กิโลวัตต์ ณ เวลาต่าง ๆ

Time(sec)	Temp Actual (Celsius)	Power Actual (kW)
30	213.5	11.6665785
60	319.6	8.5944544
90	396.4	7.2263872
120	509.4	7.2135586
150	559.1	6.501977
180	625.9	6.2344681
210	659.8	5.7609652
240	702.6	5.4859738
270	736.1	5.2073592
300	738.9	4.7736287

ตารางที่ 18 อุณหภูมิและค่ากำลังงานความร้อนที่ได้รับที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ เมื่อให้เครื่องให้กำลังงานความร้อนที่ได้รับเท่ากับ 14 กิโลวัตต์ ณ เวลาต่าง ๆ

Time(sec)	Temp Actual (Celsius)	Power Actual (kW)
30	171.7	8.9499547
60	252.4	6.5741536
90	333.9	5.9796372
120	408.7	5.6810053
150	478.2	5.493154
180	520.7	5.1131413
210	555.9	4.7870066
240	621.8	4.8062034
270	645.8	4.5145776
300	733.9	4.7382137

ตารางที่ 19 อุณหภูมิและค่ากำลังงานความร้อนที่ได้รับที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ เมื่อให้เครื่องให้กำลังงานความร้อนที่ได้รับเท่ากับ 16 กิโลวัตต์ ณ เวลาต่าง ๆ

Time(sec)	Temp Actual (Celsius)	Power Actual (kW)
30	253.5	14.2662185
60	407.8	11.2460992
90	505.7	9.4067036
120	607.5	8.7065425
150	664.3	7.813821
180	700.9	7.0338931
210	761.8	6.7171132
240	760.8	5.9756104
270	761.9	5.4052968
300	761.8	4.9358294

ตารางที่ 20 อุณหภูมิและค่ากำลังงานความร้อนที่ได้รับที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ เมื่อให้เครื่องให้กำลังงานความร้อนที่ได้รับเท่ากับ 18 กิโลวัตต์ ณ เวลาต่าง ๆ

Time(sec)	Temp Actual (Celsius)	Power Actual (kW)
30	267.2	15.1565952
60	402.9	11.0987856
90	504.6	9.3847608
120	605.3	8.6730607
150	685.6	8.079432
180	710.5	7.1362195
210	761.7	6.7161758
240	761.7	5.9831821
270	764.5	5.425244
300	769.5	4.9903685

ตารางที่ 21 อุณหภูมิและค่ากำลังงานความร้อนที่ได้รับที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ เมื่อให้เครื่องให้กำลังงานความร้อนที่ได้รับเท่ากับ 20 กิโลวัตต์ ณ เวลาต่าง ๆ

Time(sec)	Temp Actual (Celsius)	Power Actual (kW)
30	274.8	15.6505268
60	406.3	11.2010032
90	517.6	9.6440848
120	568.4	8.1114796
150	664.4	7.815068
180	699.6	7.0200364
210	762.2	6.7208628
240	767.5	6.0319775
270	767.8	5.4505616
300	769.5	4.9903685