

# การทำนายการกระจายตัวของอุณหภูมิบนแผ่นโลหะโดยใช้แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม (A Prediction of Temperature Distribution on Metal Sheet using Neural Network Model)

ชัชพล ชังชู<sup>1</sup> และ สมภพ จรุงธรรมโชติ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
โทรศัพท์ 0-2970-0455 ต่อ 1820, โทรสาร 0-2579-4576, E-Mail: fengcpc@ku.ac.th<sup>1</sup>

C. Chungchoo<sup>1</sup> and S. Jarungthammachote

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University  
Tel. 0-2970-0455 ext. 1820, Fax. 0-2579-4576, E-Mail: fengcpc@ku.ac.th<sup>1</sup>

## บทคัดย่อ

ในการทำนายการกระจายของอุณหภูมิบนโลหะแผ่นอันเนื่องมาจากการนำความร้อนนั้น โดยทั่วไปสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น การทำนายจากผลเฉลยแม่นยำตรง (exact solution) การทำนายโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element method) และการทำนายโดยใช้วิธีผลต่างสี่เหลี่ยม (finite difference method) เป็นต้น โดยผลของการทำนายการกระจายของอุณหภูมิซึ่งคำนวณมาจากทั้งสามวิธีที่กล่าวมานั้นจะมีค่าความแม่นยำสูงสำหรับรูปทรงโดยทั่วไป แต่สำหรับรูปทรงของวัตถุที่มีความซับซ้อนนั้นการทำนายการกระจายของอุณหภูมินิยมทำนายจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติการทำนายการกระจายของอุณหภูมิโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับรูปทรงที่ซับซ้อนจะมีข้อด้อยอยู่ตรงที่ความต้องการเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีขีดความสามารถสูงและการใช้เวลานานในการประมวลผล ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ข้อด้อยดังกล่าวงานวิจัยชิ้นนี้จึงได้พัฒนาวิธีการการทำนายการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมขึ้น ซึ่งวิธีดังกล่าวนี้มีขีดความสามารถในการคำนวณได้เร็วกว่าการคำนวณของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยที่ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีขีดความสามารถสูงมากนัก

ในงานวิจัยชิ้นนี้คณะผู้วิจัยได้พัฒนาแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมขึ้นเพื่อการทำนายการกระจายตัวของอุณหภูมิของใน 2 มิติของแผ่นโลหะ AISI 1020 อันเนื่องมาจากการนำความร้อน โดยแหล่งกำเนิดความร้อนจะมีลักษณะเป็นจุด (point source) อยู่ตรงกลางของแผ่นโลหะ โดยการทำนายการกระจายของอุณหภูมิมบนแผ่นโลหะ AISI 1020 จะใช้หลักการที่ว่าอุณหภูมิ ณ จุดหนึ่งๆ จะประกอบด้วยอุณหภูมิอันเนื่องมาจากขอบทั้งสี่ด้านและจากแหล่งกำเนิดความร้อน

จากผลการวิจัยปรากฏว่าการทำนายการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมสำหรับกรณีต่างๆ เช่น แผ่นโลหะไม่หุ้มฉนวน และแผ่นโลหะหุ้มฉนวนบางด้านนั้นสามารถทำนายการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้เวลาน้อยกว่าการทำนายโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และยังจะได้ความแม่นยำของคำตอบสูงอีกด้วย นอกจากนี้ผลการวิจัยยังบ่งชี้ว่าการทำนายการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการทำนายการกระจายของอุณหภูมิต่างๆ สำหรับรูปทรงสองหรือสามมิติอื่นๆ ได้อีกด้วย

## Abstract

For predictions of temperature distribution on metal plates due to conduction, normally, it can be predicted by several methods such as exact solution, finite element method as well as finite difference method. For general shapes, these methods predict the distribution very accurately. Normally, for complicated shapes, temperature distributions are estimated by the finite element method. However, using this method, computers with high specification and longer computational time are required. In order to avoid these disadvantages, a neural network model for predicting temperature distribution has been developed. This new model employs less computational time and requires lower computer specification.

In this research, the neural network model were developed to predict 2-D temperature distribution due to conduction for an AISI 1020 plate having single point heat-source at the middle. The basis for this research is that

temperature at a point consists of temperature due to four bounds of the metal plate and due to heat-source.

Experimental results, for two cases – no insulation at any sides of metal plates and insulation at one side of the plate, indicated that the estimation of temperature distribution by the new neural network model has a high accuracy and consumes low computational time comparing with the results from finite element method. Additionally, the experimental results show that this new model can be applied with other applications such as other 2-D or 3-D shapes.

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้การคำนวณทางวิศวกรรมที่ซับซ้อนเช่น การทำนายการกระจายตัวของอุณหภูมิและการทำนายความเครียดของวัสดุ นิยมใช้การคำนวณโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นหลัก แต่อย่างไรก็ตามการคำนวณโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นต้องใช้เวลาในการคำนวณค่อนข้างมากสำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อน ดังนั้นเพื่อเป็นการลดเวลาในการคำนวณในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมลง ทางผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีการคำนวณใหม่ โดยเป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม ซึ่งแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมนี้จะใช้เวลาในการคำนวณมากเฉพาะการสอนแบบจำลองในครั้งแรกเท่านั้น ส่วนในการคำนวณครั้งต่อไปที่มีลักษณะปัญหาใกล้เคียงกันหรือเหมือนกันจะใช้เวลาในการคำนวณที่สั้นมาก

สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้จะเน้นที่การประยุกต์ใช้แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมในการทำนายการกระจายตัวของอุณหภูมิของใน 2 มิติของแผ่นโลหะ AISI 1020 อันเนื่องมาจากการนำความร้อนโดยแหล่งกำเนิดความร้อนจะมีลักษณะเป็นจุด (point source) อยู่ตรงกลาง

จากการสำรวจเอกสารพบว่ามีการวิจัยหลายท่านที่ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมในการทำนายการกระจายตัวของอุณหภูมิแต่จะเป็นการประยุกต์กับวัตถุอื่นๆ เช่น อากาศ [1, 5] น้ำมัน [2] น้ำทะเล [3] และ ดิน [4] เป็นต้น ซึ่งยังไม่พบการทำนายการกระจายตัวของอุณหภูมิในลักษณะของชิ้นงานทางวิศวกรรมแต่อย่างใด

## 2. การสร้างแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมสำหรับการทำนายการกระจายตัวของอุณหภูมิ

แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมที่ทางคณะผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมานี้ได้อาศัยหลักการซ้อนทับ (Superposition) เข้าช่วย โดยรูปแบบเป็นการนำอุณหภูมิบนชิ้นส่วนย่อยมารวมกันให้ได้ค่าเท่ากับอุณหภูมิของชิ้นงานที่เป็นปัญหาจริง ซึ่งงานวิจัยนี้การทับซ้อนของชิ้นงานย่อยจะแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ 1) แผ่นโลหะสี่เหลี่ยมที่มีอุณหภูมิที่ขอบทั้ง 4 ด้านเป็นอุณหภูมิคงที่ใดๆ (ดังแสดงในรูปที่ 1) และ 2) แผ่นโลหะสี่เหลี่ยมที่มีอุณหภูมิที่ขอบ 3 ด้านเป็นค่าคงที่และอีกขอบหนึ่งหุ้มฉนวน (ดังแสดงในรูปที่ 2)

### 2.1 การหาค่ากระจายตัวของอุณหภูมิบนแผ่นโลหะ

ในการนำเครือข่ายประสาทเทียมมาใช้ร่วมกับหลักการซ้อนทับในครั้งนี้ จะใช้เครือข่ายประสาทเทียม 1 เครือข่ายเพื่อทำนายอุณหภูมิบนชิ้นงานย่อย 1 ชิ้น โดยในงานวิจัยชิ้นนี้โครงสร้างของแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมจะใช้โครงสร้างที่มีชื่อว่า Levenberg – Marquardt algorithm [6 - 8] ซึ่งจุดเด่นของโครงสร้างลักษณะนี้คือสามารถทำการสอนแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมได้ในเวลาไม่นานนักและมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยาก [7]

สำหรับเงื่อนไขขอบเขตแบบอุณหภูมิคงที่ค่าใดๆ 4 ด้านนี้จะใช้หลักการซ้อนทับโดยแบ่งชิ้นงานย่อยออกเป็น 5 ชิ้นดังแสดงในรูปที่ 1 (ชิ้นย่อยที่ 1 ถึง 4 สำหรับอุณหภูมิคงที่ที่ขอบทั้งสี่ด้านและชิ้นย่อยที่ 5 สำหรับแหล่งกำเนิดความร้อน)

จากรูปที่ 1  $T_1$   $T_2$   $T_3$  และ  $T_4$  เป็นอุณหภูมิคงที่ใดๆ โดยค่าอุณหภูมิ สำหรับอุณหภูมิบนชิ้นงานย่อยที่ 1 ถึงชิ้นงานย่อยที่ 4 นั้นได้จากผลเฉลยแม่นยำตรงของสมการต่อไปนี้คือ

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad \dots (1)$$

เมื่อพิจารณาเงื่อนไขขอบ (boundary conditions) ของชิ้นส่วนย่อยที่ 1 ถึง 4 แล้ว จะได้ผลเฉลยแม่นยำตรงสำหรับการกระจายตัวของอุณหภูมิในชิ้นย่อยที่ 1 ถึง 4 ดังนี้คือ

- ผลเฉลยแม่นยำตรงสำหรับชิ้นส่วนย่อยที่ 1

$$T = 2T_1 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(1 - \cos(n\pi))}{n\pi} \times \frac{\sinh(\frac{yn\pi}{L})}{\sinh(n\pi)} \sin(\frac{n\pi}{L}x) \quad \dots (2)$$

- ผลเฉลยแม่นยำตรงสำหรับชิ้นส่วนย่อยที่ 2

$$T = 2T_2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(1 - \cos(n\pi))}{n\pi} \times \frac{\sinh(\frac{xn\pi}{L})}{\sinh(n\pi)} \sin(\frac{n\pi}{L}y) \quad \dots (3)$$

- ผลเฉลยแม่นยำตรงสำหรับชิ้นส่วนย่อยที่ 3

$$T = 2T_3 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(\cos(n\pi) - 1)}{n\pi} \times \frac{\sinh(\frac{n\pi}{L}(y - L))}{\sinh(n\pi)} \sin(\frac{n\pi}{L}x) \quad \dots (4)$$

- ผลเฉลยแม่นยำตรงสำหรับชิ้นส่วนย่อยที่ 4

$$T = 2T_4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(\cos(n\pi) - 1)}{n\pi} \times \frac{\sinh\left(\frac{n\pi}{L}(x-L)\right)}{\sinh(n\pi)} \sin\left(\frac{n\pi}{L}y\right) \quad \dots(5)$$

ในทำนองเดียวกันกับผลเฉลยของรูปที่ 1 โดยอาศัยสมการที่ 1 และเงื่อนไขขอบของชั้นส่วนย่อยแต่ละชั้น สมการการกระจายตัวของอุณหภูมิของชั้นส่วนย่อยแต่ละชั้นในรูปที่ 2 สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

- ผลเฉลยแม่นยำตรงสำหรับชั้นส่วนย่อยที่ 1

$$T = \frac{2T_1}{L} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\beta_n} \frac{\sin(\beta_n L)}{\sinh(\beta_n L)} \cos(\beta_n x) \sinh(\beta_n y) \quad \dots(6)$$

- ผลเฉลยแม่นยำตรงสำหรับชั้นส่วนย่อยที่ 2

$$T = \frac{2T_2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\beta_n} [1 - \cos(\beta_n L)] \frac{\cosh(\beta_n x)}{\cosh(\beta_n L)} \sin(\beta_n y) \quad \dots(7)$$

- ผลเฉลยแม่นยำตรงสำหรับชั้นส่วนย่อยที่ 3

$$T = \frac{2T_3}{L} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\beta_n} \frac{\sin(\beta_n L)}{\sinh(\beta_n L)} \cos(\beta_n x) \sinh(\beta_n (L-y)) \quad \dots(8)$$

$$\text{โดย } \beta_n = \frac{(2n-1)\pi}{2L} \text{ และ } n = 1, 2, 3, \dots$$

เนื่องจากผลเฉลยแม่นยำตรงสำหรับชั้นส่วนย่อยที่ 5 ในรูปที่ 1 และ ชั้นส่วนย่อยที่ 4 ในรูปที่ 2 มีความซับซ้อน ดังนั้นการกระจายตัวของอุณหภูมิตามตำแหน่งต่างๆ จะประมาณจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งในที่นี้จะใช้โปรแกรม COSMOS ®

## 2.2 การสร้างแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมสำหรับการทำนายการกระจายของอุณหภูมิใน ชั้นส่วนย่อยที่ 1 ถึง 4 สำหรับรูปที่ 1 และชั้นส่วนย่อยที่ 1 ถึง 3 สำหรับรูปที่ 2

จากการสังเกตพบสำหรับสมการที่ 2 ถึง 5 หากทำการ normalization ด้วยค่าคงที่  $2T_n$  แล้วทุกสมการจะมีรูปสมการเหมือนกันคือเป็นฟังก์ชันของระยะเท่านั้น ซึ่งที่จริงแล้วทั้ง 4 สมการก็คือสมการของแผ่นโลหะเดียวกันที่ทำการหมุน (rotate) ที่ละ  $90^\circ$  นั่นเอง

ดังนั้นแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมสำหรับการทำนายการกระจายตัวของอุณหภูมิในชั้นส่วนย่อยที่ 1 - 4 ในรูปที่ 1 จะเป็นแบบจำลองเดียวกัน โดยมีตัวแปรต้น (input) จำนวน 2 ตัวแปรคือ

ตำแหน่ง  $x$  และ  $y$  ส่วนตัวแปรตาม (output) มีเพียงตัวเดียวคือ ค่าอุณหภูมิที่ถูก normalization

เนื่องจากทางผู้วิจัยใช้แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมเพียงแบบจำลองเดียวในการทำนายการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ถูก normalization ดังนั้นก่อนที่ทำการรวมชั้นส่วนย่อยเข้าด้วยกันต้องทำการคูณค่าคงที่ของแต่ละสมการเข้ากับคำตอบก่อน จากนั้นต้องทำการหมุน  $90^\circ$   $180^\circ$  และ  $270^\circ$  สำหรับชั้นงานย่อยที่ 2 3 และ 4 ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามหากพิจารณาสมการที่ 6 ถึง 8 ก็จะพบปรากฏการณ์ในลักษณะที่คล้ายคลึงกับสมการที่ 1 - 4 ในบางส่วนคือแต่ละชั้นส่วนย่อยนั้นเมื่อทำการ normalization ด้วยค่าคงที่  $2T_n / L$  แล้วรูปแบบการกระจายตัวของอุณหภูมิจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งเท่านั้นไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ขอบ แต่รูปแบบการกระจายตัวของอุณหภูมิในแต่ละชั้นส่วนย่อยจะแตกต่างกันออกไปทำให้ต้องใช้แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมจำนวน 3 แบบจำลอง

เช่นเดียวกันกับข้างต้นก่อนที่จะทำการรวมชั้นส่วนย่อยเข้าด้วยกันต้องทำการคูณค่าคงที่ของแต่ละสมการเข้ากับคำตอบก่อน

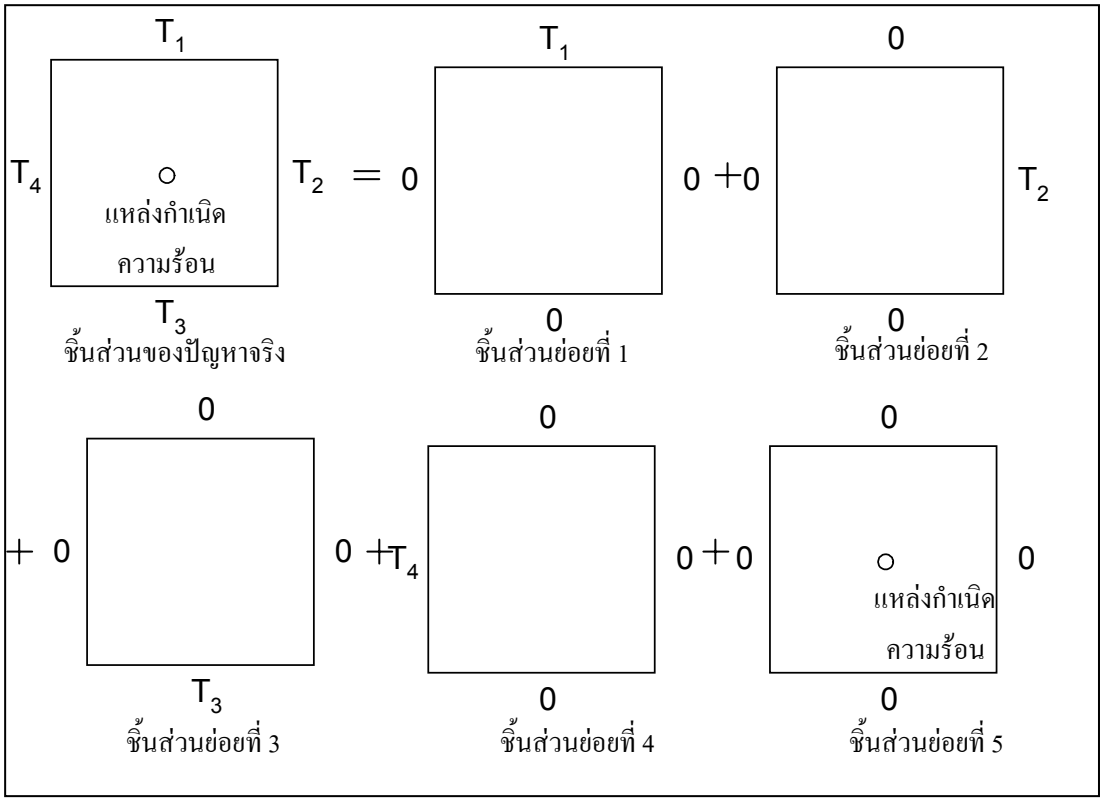
## 2.3 การสร้างแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมสำหรับการทำนายการกระจายของอุณหภูมิใน ชั้นส่วนย่อยที่ 5 ในรูปที่ 1 และชั้นส่วนย่อยที่ 4 ในรูปที่ 2

เนื่องจากกรณีของชั้นส่วนย่อยที่ 1 - 4 ในรูปที่ 1 และ ชั้นส่วนย่อยที่ 1 - 3 ในรูปที่ 2 เครือข่ายประสาทเทียมจะถูกใช้ในการทำนายการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ถูก normalization ดังนั้นในกรณีของชั้นส่วนย่อยที่มีแหล่งกำเนิดจึงต้องการทำให้มีลักษณะคล้ายกันคือ หากเป็นตัวเลขฐาน (ตัวเลขที่ถูกทำ normalization) แต่เนื่องจากอุณหภูมิที่ได้ของกรณีไม่มีแหล่งกำเนิดนี้มาจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม COSMOS ® ทำให้ไม่สามารถทราบตัวเลขฐานที่แน่นอนได้เหมือนกรณีที่เราผลเฉลยแม่นยำตรง จึงได้ใช้การหาอุณหภูมิเนื่องจากกำลังของแหล่งกำเนิดค่าต่างๆ หลายๆค่า ที่นี้ใช้ 6 ค่าคือ 5000, 6000, 7000, 8000, 9000 และ 10,000 W แล้วนำกำลังของแหล่งกำเนิดมาหารอุณหภูมิของกรณีนั้นๆ ซึ่งจะได้ตัวเลขออกมามีค่าใกล้เคียงกัน แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยผลที่ได้จากการเฉลี่ยถือเป็นตัวเลขฐาน จากนั้นจึงนำตัวเลขดังกล่าวไปใช้ในการสอนแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม

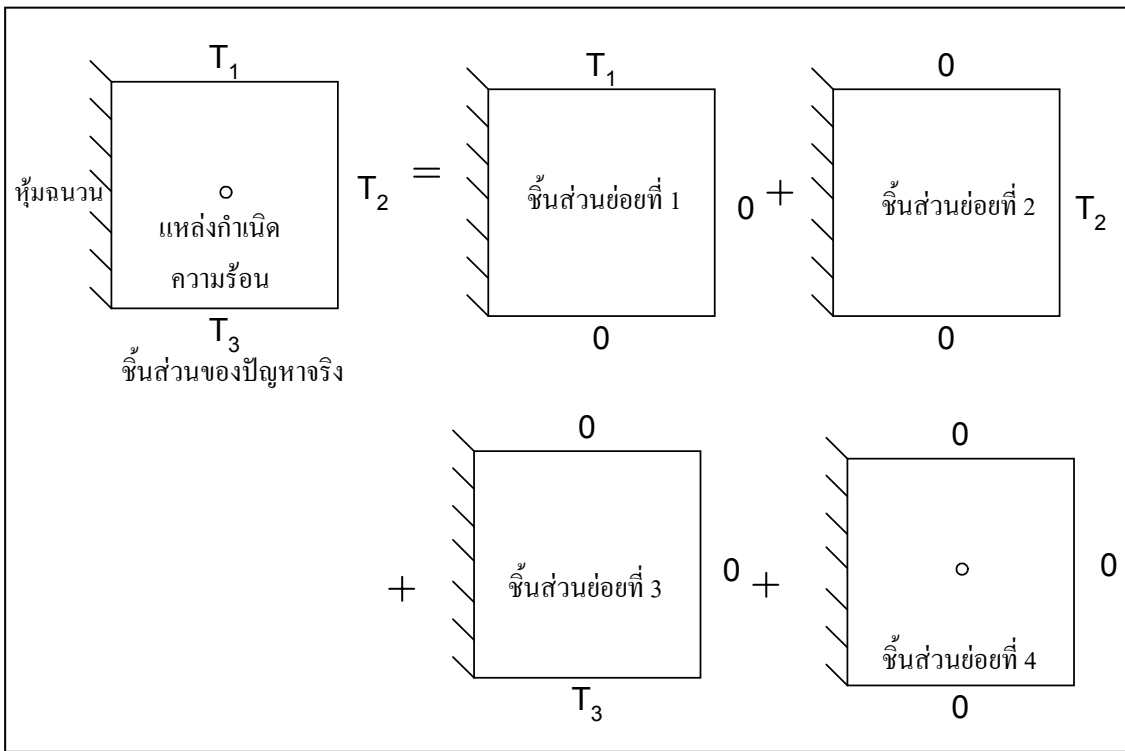
ทำนองเดียวกันกับในหัวข้อที่ 2.2 ก่อนที่จะทำการรวมชั้นส่วนย่อยเข้าด้วยกัน ผลการทำนายจะต้องถูกคูณด้วยกำลังของแหล่งกำเนิดเสียก่อน

## 3. วิธีดำเนินการทดลอง

การทดลองในงานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นในลักษณะการเปรียบเทียบความแม่นยำของแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมเทียบกับผลเฉลยแม่นยำตรง และ/หรือ ผลเฉลยจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยขนาดของแผ่นโลหะ AISI 1020 จะถูกกำหนดไว้ที่  $2 \times 2$  เมตร ส่วนข้อมูลสำหรับการสอนแบบจำลอง (training data) จะประกอบด้วย 1) ข้อมูลในการบอกตำแหน่ง (ค่าพิกัด  $x$  และ  $y$ ) 2) อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งนั้นๆ และ 3) ขนาดของแหล่งกำเนิด โดยในที่นี้ตำแหน่งต่างๆ



รูปที่ 1 หลักการซ้อนทับที่นำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาคณิตศาสตร์เชิงขอบเขตแบบอุณหภูมิคงที่ค่าใด ๆ 4 ด้าน



รูปที่ 2 หลักการซ้อนทับที่นำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาคณิตศาสตร์เชิงขอบเขตแบบอุณหภูมิคงที่ค่าใด ๆ 3 ด้านและฉนวน 1 ด้าน

ที่จะทำการพิจารณาของแผ่นโลหะขนาด 2 x 2 เมตรนั้น จะมีจำนวนทั้งสิ้น 81 ตำแหน่ง ซึ่งเกิดจากการตีตารางขนาด 9 x 9 ซึ่งมีขนาดระยะห่างระหว่างเส้นแต่ละเส้น 25 เซนติเมตร

ในการวิจัยชิ้นนี้แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมจะถูกสร้างขึ้นตามโครงสร้าง Levenberg – Marquardt algorithm [6 - 8] ดังนั้นขั้นตอนในการสอนแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม (เพื่อหาน้ำหนัก (weight) ที่เหมาะสม) จะกระทำตามคำแนะนำที่ได้แนะนำไว้ในเอกสารต่างๆ ที่ได้ตีพิมพ์ไปแล้วก่อนหน้านี้ [6 - 8]

เพื่อเป็นการเปรียบเทียบความแม่นยำและเวลาที่ใช้ในการทำนายการกระจายตัวของอุณหภูมิจากแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมและจากระบบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงกำหนดกรณีเพื่อทำการตรวจสอบขึ้นมาจำนวน 2 กรณี โดยมีรายละเอียดดังนี้คือ

- กรณีที่ 1 (รูปที่ 1)

$T_1 = 20^{\circ}\text{C}$   $T_2 = 40^{\circ}\text{C}$   $T_3 = 60^{\circ}\text{C}$   $T_4 = 80^{\circ}\text{C}$  และ กำลังของแหล่งกำเนิด = 1000 W

- กรณีที่ 2 (รูปที่ 2)

$T_1 = 80^{\circ}\text{C}$   $T_2 = 50^{\circ}\text{C}$   $T_3 = 40^{\circ}\text{C}$  และ กำลังของแหล่งกำเนิด = 1000 W

#### 4. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

จากผลการสอนแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมโดยใช้ training data พบว่าสำหรับชิ้นส่วนย่อยที่ 1 – 4 ในรูปที่ 1 ซึ่งใช้แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมเดียวกันนั้น ปรากฏว่าโครงสร้างแบบ 2-11-8-1 ให้ความแม่นยำสูงสุด โดยค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยจะมีค่าที่ต่ำมาก (แสดงในตารางที่ 1)

สำหรับชิ้นส่วนย่อยที่ 5 (ในรูปที่ 1) นั้นจากการสอนแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมพบว่า โครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดคือ โครงสร้าง 2-11-8-1 เช่นเดียวกับกับในกรณีของชิ้นส่วนย่อยที่ 1 ถึง 4 อย่างไรก็ตามความแม่นยำในการทำนายการกระจายตัวของอุณหภูมิจะมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับผลของชิ้นย่อยที่ 1 – 4 (ตารางที่ 1) แต่อย่างไรก็ตามค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยก็ยังถือว่ามีความต่ำอย่างมาก

ส่วนในกรณีของรูปที่ 2 ชิ้นส่วนย่อยแต่ละชิ้นจะใช้แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมคนละแบบจำลอง แต่ผลการทดลองในตารางที่ 2 ปรากฏว่าทั้งสี่ชิ้นส่วนย่อยมีโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ training data เป็นโครงสร้างเดียวกันคือ 2-11-8-1 โดยผลการทดลองในตารางที่ 2 ยังแสดงให้เห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของทั้งสี่ชิ้นย่อยมีค่าต่ำมาก

หากเปรียบเทียบผลกับในตารางที่ 1 แล้วจะพบว่า ทุกชิ้นส่วนย่อยทั้งในรูปที่ 1 และ 2 จะมีโครงสร้างแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมเป็นโครงสร้างเดียวกันทั้งนี้อาจจะมีเหตุผล

เนื่องมาจากว่ารูปแบบของการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ถูก normalization นั้นมีรูปแบบแตกต่างกันไม่มาก

นอกจากนี้ผลการทดลองในทั้งสองตาราง (ตารางที่ 1 และ 2) ยังชี้ให้เห็นว่าจำนวนรอบที่ใช้ในการสอนแบบจำลองมีค่าไม่มากนักสำหรับชิ้นย่อยที่ 1 – 4 ในรูปที่ 1 และสำหรับชิ้นย่อยที่ 1 – 3 ในรูปที่ 2 แต่สำหรับชิ้นย่อยที่มีแหล่งกำเนิดอยู่นั้น (ชิ้นย่อยที่ 5 ในรูปที่ 1 และชิ้นย่อยที่ 4 ในรูปที่ 2) จำเป็นจะต้องใช้รอบการคำนวณสำหรับการสอนแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมสูงกว่า

ตารางที่ 1 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของการสอนเครือข่ายประสาทเทียมในชิ้นส่วนย่อยทั้ง 5 (รูป 1)

โครงสร้าง	ความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย	หมายเหตุ
<b>ชิ้นส่วนย่อยที่ 1</b>		
2-11-8-1	$1.16883 \times 10^{-30}$	212 epochs
<b>ชิ้นส่วนย่อยที่ 2</b>		
2-11-8-1	$4.12131 \times 10^{-27}$	364 epochs
<b>ชิ้นส่วนย่อยที่ 3</b>		
2-11-8-1	$5.78937 \times 10^{-28}$	107 epochs
<b>ชิ้นส่วนย่อยที่ 4</b>		
2-11-8-1	$4.255251 \times 10^{-24}$	345 epochs
<b>ชิ้นส่วนย่อยที่ 5</b>		
2-11-8-1	$4.69788 \times 10^{-25}$	760 epochs

ตารางที่ 2 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของการสอนเครือข่ายประสาทเทียมในชิ้นส่วนย่อยทั้ง 4 (รูป 2)

โครงสร้าง	ความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย	หมายเหตุ
<b>ชิ้นส่วนย่อยที่ 1</b>		
2-11-8-1	$3.2405 \times 10^{-24}$	85 epochs
<b>ชิ้นส่วนย่อยที่ 2</b>		
2-11-8-1	$9.07679 \times 10^{-26}$	281 epochs
<b>ชิ้นส่วนย่อยที่ 3</b>		
2-11-8-1	$2.28303 \times 10^{-29}$	547 epochs
<b>ชิ้นส่วนย่อยที่ 4</b>		
2-11-8-1	$1.86763 \times 10^{-27}$	739 epochs

เมื่อทำการทดสอบแบบจำลองกับกรณีตัวอย่างทั้งสองคือ กรณีที่ 1 (รูปที่ 1) ใช้  $T_1 = 20^{\circ}\text{C}$   $T_2 = 40^{\circ}\text{C}$   $T_3 = 60^{\circ}\text{C}$   $T_4 = 80^{\circ}\text{C}$  และ กำลังของแหล่งกำเนิด = 1000 W และกรณีที่ 2 (รูปที่ 2) ใช้  $T_1 = 80^{\circ}\text{C}$   $T_2 = 50^{\circ}\text{C}$   $T_3 = 40^{\circ}\text{C}$  และ กำลังของแหล่งกำเนิด = 1000 W

ผลการทดลองปรากฏว่าแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยชิ้นนี้ให้ผลการกระจายตัวของอุณหภูมิได้ใกล้เคียงกันกับการทำนายการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ทำนายจากโปรแกรม COSMOS ๑ (ตารางที่ 3)

สำหรับเวลาในการคำนวณนั้นแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมนั้น ผลการจับเวลาเบื้องต้นเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่าใช้เวลาในการคำนวณที่สั้นกว่าการคำนวณโดยโปรแกรม COSMOS ๑ แต่อย่างไรก็ตามทางคณะผู้วิจัยยังไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่าแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมที่ได้พัฒนาขึ้นมาจะใช้ระยะเวลาในการคำนวณสั้นกว่าเท่าใดแน่ ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างการเขียนโปรแกรมที่แตกต่างกัน (แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมทางคณะผู้วิจัยได้เขียนโปรแกรมเอง แต่โปรแกรม COSMOS ๑ เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับไฟไนต์เอลิเมนต์) อย่างไรก็ตามเวลาในการคำนวณที่ต่างกันที่แน่นอนสามารถหาได้หากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ถูกเขียนขึ้นมาเองโดยใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ที่เหมือนกันกับแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม

ตารางที่ 3 ตัวอย่างการเปรียบเทียบการทำนายการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างจากแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมและแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (กรณีตัวอย่างที่ 2 สำหรับรูปที่ 2)

X	y	ผลจาก	ผลจาก
		แบบจำลองฯ ° C	COSMOS ° C
0.00	0.00	40.0000	40.00000
0.00	0.50	68.2845	68.26300
0.00	1.00	87.1583	87.16400
0.00	1.50	88.4277	88.46400
0.00	2.00	80.0000	80.0000
0.25	0.00	40.0000	40.00000
0.25	0.50	69.8865	69.88500
0.25	1.00	89.6024	89.60600
0.25	1.50	89.7515	89.75700
0.25	2.00	80.0000	80.00000
0.50	0.00	40.0000	40.00000
0.50	0.50	73.4052	73.40900
0.50	1.00	97.9325	97.95300
0.50	1.50	93.1496	93.16800
0.50	2.00	80.0000	80.00000

### 5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองซึ่งแสดงอยู่ในส่วนที่ 4 สามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมที่คณะผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมาสามารถทำนายการกระจายตัวของอุณหภูมิของใน 2 มิติของแผ่นโลหะ

AISI 1020 อันเนื่องมาจากการนำความร้อน โดยแหล่งกำเนิดความร้อนจะมีลักษณะเป็นจุด (point source) อยู่ตรงกลางของแผ่นโลหะ AISI 1020 ได้อย่างแม่นยำ โดยผลการทดลองสำหรับกรณีศึกษาทั้ง 2 กรณี (แผ่นโลหะที่ขอบทั้งสองด้านไม่หุ้มฉนวนและแผ่นโลหะที่หุ้มฉนวนหนึ่งด้าน) แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้นมาสามารถทำนายการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้เวลาน้อยลงและมีความแม่นยำของคำตอบสูงอีกด้วย

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยยังพบความเป็นไปได้ที่จะนำการทำนายการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้กับการทำนายการกระจายของอุณหภูมิสำหรับรูปทรงสองหรือสามมิติอื่นๆ ได้อีกด้วย

### เอกสารอ้างอิง

- [1] F. Buffa and I. Porceddu, "Temperature Forecast and Dome Seeing Minimization", *Astronomy & Astrophysics Supplement Series*, 1997, Vol. 126, pp. 547-553.
- [2] F. F. Farshad, I.D. Garber and J.N. Lorde, "Predicting Temperature Profiles in Producing Oil Wells using Artificial Neural Networks", *Engineering Computations*, Vol. 17, No. 6, pp. 735-754.
- [3] M. de. Bollivier, W. Eifler and S. Thiria, "Sea Surface Temperature Forecasts using On-line Local Learning Algorithm in Upwelling Regions", *Neurocomputing*, 2000, Vol. 30, pp. 59-63.
- [4] G. Mihalakakou, "On Estimating Soil Surface Temperature Profiles", *Energy and Buildings*, 2002, Vol. 34, pp. 251-253.
- [5] I. Tasadduq, R. Shafiqur and K. Bubshait, "Application of Neural Networks for the Prediction of Hourly Mean Surface Temperatures in Saudi Arabia", *Renewable Energy*, 2001, vol. 25, pp. 554-554.
- [6] L. E. Scales, *Introduction to Non – Linear Optimization*, New York: Springer – Verlag, 1985 (Chapters 8, 9, 12)
- [7] M. T. Hagan, H. B. Demuth and M. Beale, *Neural Network Design*, PWS Publishing Company, U.S.A., 1996.
- [8] H. Demuth and M. Beale, *Neural Network Toolbox: For Use with MATLAB*, The MATH WORKS Inc., Fifth Printing – Version 3, 1998.