

ผลกระทบของอัตราการเย็นตัวต่อสนามความเค้นซิงกูลาริตีบนรอยต่อของวัสดุ 2 ชนิด โดยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์

Effect of Cooling Rate on Stress Singularity Fields along Bi-Material Joint using FEM

เสกจุฑา บุนรอด และ อรรถพร วิเศษสินธุ์*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เลขที่ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
*ติดต่อ: fengapw@ku.ac.th, 02-797-0999 ต่อ 1861

บทคัดย่อ

สภาพแวดล้อมที่เย็นก่อให้เกิดปัญหาภัยแรงในกระบวนการเชื่อม ซึ่งถ้าอุณหภูมิของรอยเชื่อมลดลงอย่างรวดเร็ว ภายหลังจากการเชื่อมจะมีผลให้ความคงทนของรอยเชื่อมอยู่ในระดับต่ำมาก ในงานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของอัตราการเย็นตัวต่อสนามความเค้นซิงกูลาริตีบนรอยต่อของวัสดุ 2 ชนิดโดยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งการวิเคราะห์จะทำการสร้างแบบจำลองที่ลดอุณหภูมิลงจากอุณหภูมิที่ใช้เชื่อมวัสดุลงจนเข้าสู่อุณหภูมิที่เย็นจัดประมาณ -5 องศาเซลเซียส ที่อัตราการเย็นตัวที่แตกต่างกัน กรณีผลของความแตกต่างของอัตราการเย็นตัวจะถูกนำมาวิเคราะห์หาค่าความเค้นตกค้างและหาพฤติกรรมของสนามความเค้นซิงกูลาริตีบนรอยต่อของวัสดุ 2 ชนิดเพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน

คำหลัก: สนามความเค้นซิงกูลาริตี; อัตราการเย็นตัว; ความเค้นอุณหภูมิคงค้าง; รอยต่อวัสดุ 2 ชนิด

Abstract

A cold environment causes serious problems in welding process. If the temperature of welding joint is quickly reduced after welded, the strength of that welding joint is very low. In the present study, the effect of cooling rate on stress singularity fields along bi-material joint is analyzed using finite element method (FEM). The FEM model is simulated and then begins at welding temperature. After that, the welding temperature is reduced to very low temperature (-5 °C). In this cooling step, the difference cases of cooling rate are used for analyzing the value of thermal residual stress in each case. The behaviors of stress singularity fields along bi-material joint in each cases are determined and compared with each other.

Keywords: Stress singularity fields; Cooling rate; Thermal residual stress; Bi-material joint

1. บทนำ

การเชื่อมสายสัญญาณของรางรถไฟมีหลายวิธี เช่น การเชื่อมแก๊ส การเชื่อมไฟฟ้า การเชื่อมติดด้วยความร้อน เป็นต้น ซึ่งวิธีการที่มักจะมีการนำมาใช้คือ กระบวนการเชื่อมติดด้วยความร้อน (Exothermic Welding) การเชื่อมติดด้วยความร้อนเป็นการให้ความร้อนแก่โลหะ 2 ชนิด ในที่นี้คือ เหล็กกับทองแดงที่ต้องการนำมาต่อเชื่อมกัน โดยความร้อนที่ให้อยู่ต้องสูงเกินกว่าจุดหลอมละลายของโลหะทั้ง 2 ชนิด ซึ่งการให้ความร้อนจะทำได้โดยการจุดระเบิดผงเชื่อมเพื่อให้โลหะทั้ง 2 ชนิดเกิด

การหลอมเข้าด้วยกันอย่างทันทีทันใด แล้วปล่อยให้บริเวณรอยเชื่อมเย็นตัวลง ณ สภาพแวดล้อมนั้นๆ ซึ่งนี่เองทำให้สภาพแวดล้อมของการเชื่อมในขณะนั้นมีผลต่อความคงทนของรอยเชื่อมเนื่องมาจากผลกระทบของอัตราการเย็นตัวที่แตกต่างกันมีผลทำให้ความเค้นตกค้าง (Residual Stress) ที่เกิดในรอยเชื่อมมีค่าแตกต่างกัน โดยเฉพาะการเชื่อมในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิที่ต่ำของบางประเทศจะมีผลกระทบมากต่ออัตราการเย็นตัวของรอยเชื่อม เนื่องมาจากตัวรางรถไฟที่เป็นเหล็กจะมีการถ่ายเทความร้อนได้ดี ซึ่งเมื่ออุณหภูมิของรอยเชื่อม

AMM-23

และบรรยากาศรอบๆ มีค่าแตกต่างกันมาก ตัวรางรถไฟจึงทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวกลางเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนจากรอยเชื่อมออกสู่บรรยากาศ ส่งผลให้อัตราการเย็นตัวหลังจากการเชื่อมเป็นไปอย่างรวดเร็วทำให้เกิดผลกระทบกับรอยเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญ

จากงานวิจัยของ A. Skyttebol, B.L. Josefson และ J.W. Ringsberg [1] ได้ทำแบบจำลองเพื่อศึกษาการขยายตัวของรอยแตกบริเวณรอยเชื่อมของรางรถไฟที่มีผลมาจากค่าความเค้นตกค้าง พบว่ารอยแตกบริเวณรอยเชื่อมจะขยายตัวอย่างรวดเร็วจนเกิดความเสียหายเมื่อความเค้นตกค้างที่เกิดจากการเชื่อมมีทิศทางเดียวกับแรงที่มากระทำ โดยผลของความเค้นตกค้างที่เกิดจากโหลดของอุณหภูมิเป็นตัวแปรหลักที่ส่งผลกระทบมากที่สุดต่อการใช้งานของรอยเชื่อม ต่อมางานวิจัยของ M.K. Lee, G.H. Kim, K.H. Kim และ W.W. Kim [2] ได้ทำการทดสอบเพื่อหาผลกระทบของอุณหภูมิที่พื้นผิวและอัตราการเย็นตัวที่มีผลต่อค่าความเค้นตกค้างในเหล็กที่ผ่านกระบวนการชุบแข็งด้วยเปลวไฟ (Flame Hardening) พบว่าความเค้นตกค้างที่เกิดจากกระบวนการชุบแข็งด้วยเปลวไฟนั้นจะประกอบไปด้วยค่าความเค้นตกค้าง 2 ส่วนที่มีทิศทางตรงกันข้าม คือ ความเค้นดึง (Tensile Stress) ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนเฟสในเนื้อวัสดุ และความเค้นกด (Compressive Stress) ที่เกิดจากการเย็นตัวของวัสดุ ซึ่งถ้าอุณหภูมิที่พื้นผิวและอัตราการเย็นตัวมีค่าเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้เกิดความเค้นดึงมากยิ่งขึ้น ซึ่งงานวิจัยของ Yongkui Li, Yoshiyuki Kaji และ Takahiro Igarashi [3] ได้มีการสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาค่าความเค้นตกค้างตามแนวแกนในบริเวณรอยเชื่อมของทรงกระบอกที่หุ้มอยู่รอบๆ แกนปฏิกิริยา (Core Shroud) ซึ่งทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ พบว่าแนวโน้มของความเครียดในช่วงพลาสติกตามแนวแกน (Axial Plastic Strain) จะมีแนวโน้มเดียวกับความเค้นตกค้างตามแนวแกน (Axial Residual Stress) ซึ่งทั้งคู่จะมีค่าลดลงเมื่อเวลาการให้ความร้อนมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยงานวิจัยของ Siva N. Lingamanaik และ Bernard K. Chen [4] ได้สร้างแบบจำลองที่คำนึงถึงผลของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Coefficients) ที่แปรผันตามอุณหภูมิเพื่อนำมาใช้ในการหาค่าความเค้นตกค้างที่จะเกิดขึ้นในล้อรถไฟภายหลังจากกระบวนการชุบแข็ง

(Quenching) พบว่าการชุบแข็งด้วยปริมาณน้ำหล่อเย็นสูงๆ จะก่อให้เกิดความเค้นกดที่บริเวณขอบล้อของรถไฟ

ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาถึงผลกระทบจากอัตราการเย็นตัวที่แตกต่างกันที่ส่งผลต่อสนามความเค้นซึ่งกลาริตีบนรอยต่อของวัสดุ 2 ชนิดโดยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งการวิเคราะห์จะทำการสร้างแบบจำลองที่ลดอุณหภูมิลงจากอุณหภูมิที่ใช้เชื่อมวัสดุลงจนเข้าสู่อุณหภูมิที่เย็นจัดประมาณ -5 องศาเซลเซียส รวมทั้งคำนึงถึงคุณสมบัติหลักๆ ในตัววัสดุที่ได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิ เช่น ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น (Young's Modulus) ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Coefficient of Thermal Expansion) เพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าความเค้นตกค้างและหาพฤติกรรมของสนามความเค้นซึ่งกลาริตีบนรอยต่อของวัสดุ 2 ชนิด

2. วัตถุประสงค์และขอบเขต

ศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของอัตราการเย็นตัวต่อสนามความเค้นซึ่งกลาริตีบนรอยต่อของวัสดุ 2 ชนิด เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าความเค้นตกค้างและพฤติกรรมของสนามความเค้นซึ่งกลาริตีบนรอยต่อของวัสดุ 2 ชนิด

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ MSC.Marc/Mentat 2005 ในการวิเคราะห์แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ที่เป็นแบบจำลองของรอยเชื่อมระหว่างเหล็กและทองแดง ซึ่งกำหนดให้วัสดุทั้งสองชนิดเป็นวัสดุแบบไอโซโทรปิก (Isotropic Material) ที่มีค่าคุณสมบัติที่แตกต่างกันมาเชื่อมติดกันแบบอุดมคติ ซึ่งแสดงค่าคุณสมบัติตามตารางที่ 1 และรับภาระของอุณหภูมิซึ่งเกิดจากอัตราการเย็นตัวที่แตกต่างกัน โดยจะทำการเก็บค่าความเค้นความเค้นเชิงมุม ($\sigma_{\theta\theta}$) ซึ่งมีทิศทางแนว θ และตั้งฉากกับรัศมี เพื่อแสดงว่ามีค่าความเค้นปริมาณเท่าใดที่ทำให้เกิดการแยกออกจากกันของวัสดุตามแนว θ

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุ

Material	Steel	Copper
Mass Density (kg/mm ³)	7.85×10 ⁻⁶	8.96×10 ⁻⁶
Poisson's Ratio	0.3	0.343
Thermal Conductivity (W/mm ⁰ C)	0.0464	0.401
Specific Heat (N-mm/kg ⁰ C)	4.75×10 ⁵	3.85×10 ⁵

AMM-23

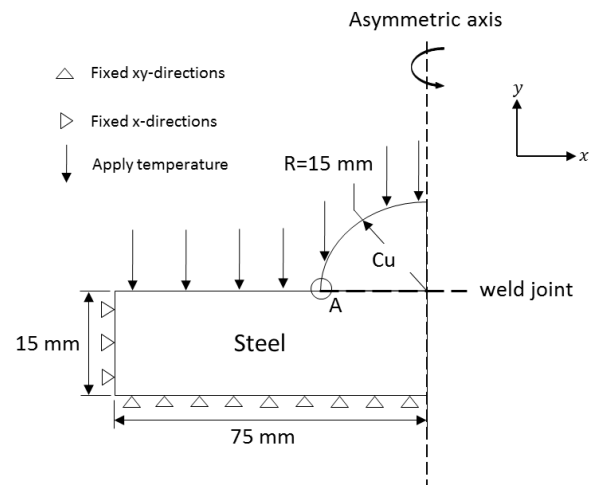
3. การวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์

3.1 แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

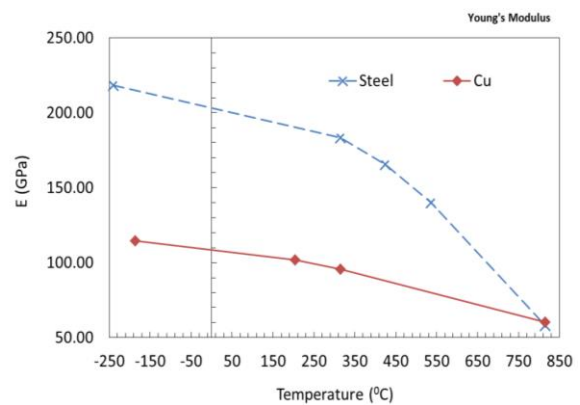
แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นแบบจำลองแบบสองมิติแบบหมุนรอบแกนเดียว (Axisymmetric) ที่มีวัสดุ 2 ชนิดคือเหล็กและทองแดงมาเชื่อมติดกันแบบอูมคิต โดยกำหนดให้การจู่ระเบิดเพื่อเชื่อมเหล็กและทองแดงเสมือนเป็นโหลดของอุณหภูมิมากระทำที่ผิวของเหล็กและทองแดง รวมทั้งกำหนดเงื่อนไขขอบเขตต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเมื่อเหล็กและทองแดงได้รับความร้อนในขณะที่เชื่อมจนสิ้นสุดกระบวนการเย็นตัว คุณสมบัติในตัวของเหล็กและทองแดงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งคุณสมบัติหลักๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear) คือค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นแสดงในรูปที่ 2 และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนแสดงในรูปที่ 3 ในส่วนของกระบวนการเชื่อมและการเย็นตัวนั้น ในแบบจำลองนี้จะกำหนดให้กระบวนการเชื่อมเหมือนกันในทุกกรณี คือ เป็นการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุจากอุณหภูมิที่เท่ากับสภาพแวดล้อมที่เย็นจัด -5 องศาเซลเซียส ขึ้นไปสู่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจะปล่อยให้วัสดุเย็นตัวจากอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ลงมาสู่อุณหภูมิที่เท่ากับสภาพแวดล้อมที่เย็นจัด -5 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเย็นตัวที่แตกต่างกัน 4 กรณี คือ 80.5, 40.25, 26.833 และ 20.125 องศาเซลเซียสต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 4 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ค่าความเค้นซึ่งกูลาริตีที่เกิดขึ้นรอบจุดซิงกูลา โดยบริเวณจุดซิงกูลา (บริเวณ A) ซึ่งเป็นบริเวณจุดมุมของรอยต่อของวัสดุทั้ง 2 ชนิดมีความเค้นเกิดขึ้นสูง ทำให้บริเวณนั้นจำเป็นต้องมีเอลิเมนต์ที่ละเอียดแสดงในรูปที่ 5 โดยขนาดของเอลิเมนต์ที่เล็กที่สุดมีขนาด 0.002 มิลลิเมตร ซึ่งค่าที่ได้มาจากการตรวจสอบ (Model Validation) เพื่อหาจำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าความเค้นเริ่มลู่เข้าสู่ค่าใดค่าหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 6 โดยจะทำการเก็บค่าความเค้นความเค้นเชิงมุม ($\sigma_{\theta\theta}$) ซึ่งมีทิศตามแนว θ และตั้งฉากกับรัศมีดังรูปที่ 7 (ก) โดยค่าความเค้นเชิงมุม ($\sigma_{\theta\theta}$) สามารถหาค่าได้จากการนำความเค้นในระนาบ x-y มาแปลงให้อยู่ในระนาบ r- θ ดังรูปที่ 7 (ข) ซึ่งค่าความเค้นเชิงมุมจะหาได้จากสมการดังนี้

$$\sigma_{\theta\theta} = \left| \left(\frac{\sigma_{xx} + \sigma_{yy}}{2} \right) - \left(\frac{\sigma_{xx} - \sigma_{yy}}{2} \right) \cos 2\theta - \tau_{xy} \sin 2\theta \right| \quad (1)$$

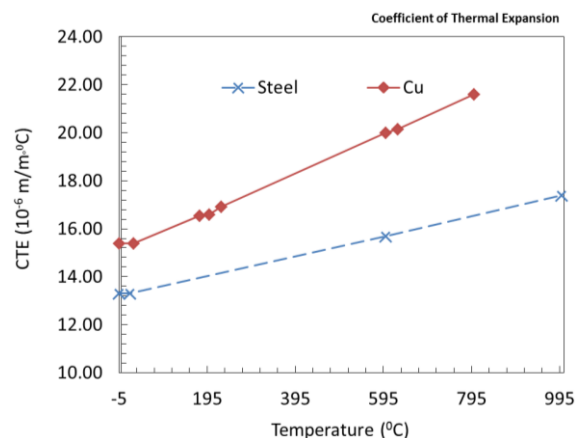
โดย σ_{xx} คือ ค่าความเค้นตามแนวแกน x, σ_{yy} คือ ค่าความเค้นตามแนวแกน y, τ_{xy} คือค่าความเค้นเฉือนที่กระทำกับด้าน x มีทิศไปตามแกน y, θ คือ มุมที่วัดจากรอยต่อไปยังจุดที่สนใจ



รูปที่ 1 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์และปัญหาขอบเขต

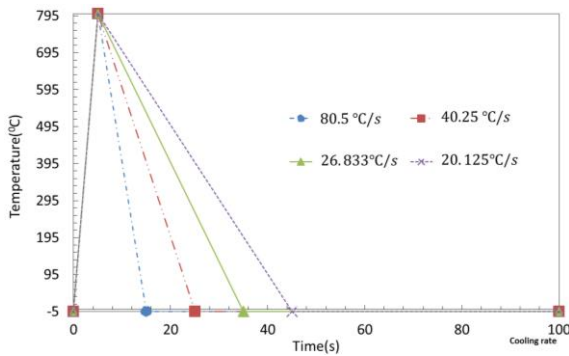


รูปที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นของวัสดุ

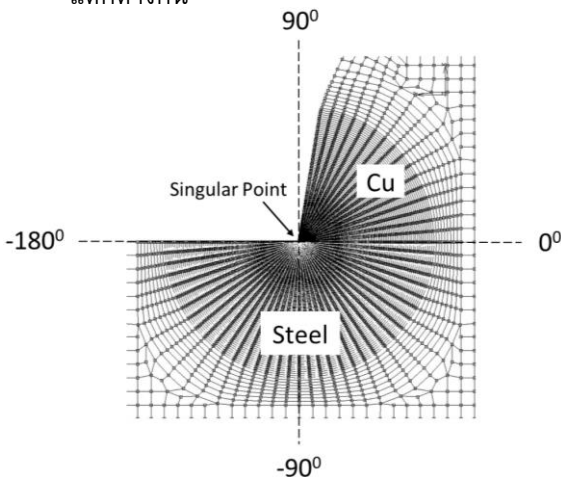


รูปที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของวัสดุ

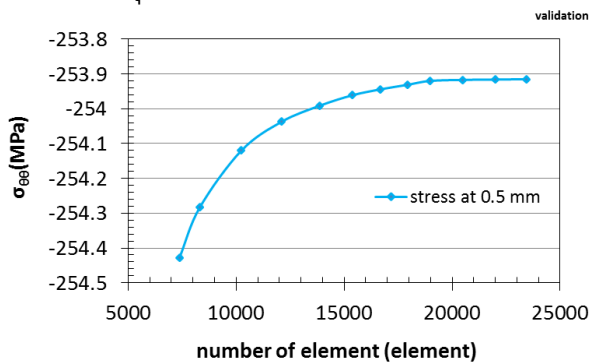
AMM-23



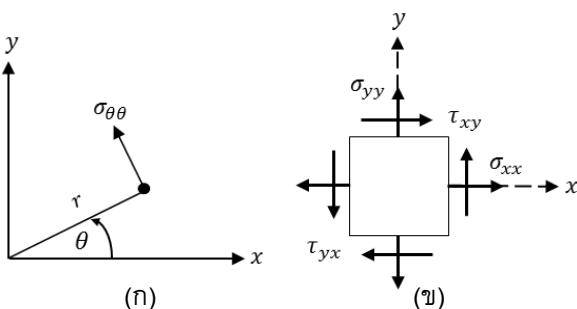
รูปที่ 4 ภาวะของอุณหภูมิที่เกิดจากอัตราการเย็นตัวที่แตกต่างกัน



รูปที่ 5 เอลิเมนต์รอบจุดมุมของบริเวณรอยต่อรอบจุดซิงกูลา (บริเวณ A)



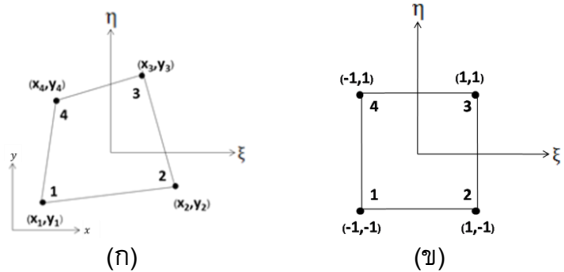
รูปที่ 6 การตรวจสอบเพื่อหาจำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสม



รูปที่ 7 ความเค้น (ก) ระนาบ x-y และ (ข) ระนาบ r-θ

3.2 วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิเคราะห์แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิจัยนี้ใช้เอลิเมนต์รูปสี่เหลี่ยม โดยบริเวณรอบจุดซิงกูลาจะสร้างเอลิเมนต์ตามแนวรัศมีจากจุดซิงกูลาเนื่องจากเอลิเมนต์ชนิดนี้สามารถแสดงพฤติกรรมของความเค้นบริเวณจุดมุมรอยต่อระหว่างวัสดุได้ดี และเพื่อให้การวิเคราะห์มีความแม่นยำและเที่ยงตรงมากขึ้นจึงสร้างขนาดของเอลิเมนต์บริเวณรอบจุดซิงกูลาให้มีความละเอียดและมีจำนวนเอลิเมนต์สูงกว่าบริเวณอื่น ดังแสดงดังรูปที่ 5 ซึ่งการคำนวณหาเอลิเมนต์เมตริกซ์นั้นต้องใช้วิธีการอินทิเกรตบนพื้นที่เอลิเมนต์สี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า ซึ่งหาได้ค่อนข้างยากจึงต้องแปลงรูปเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมด้านไม่เท่าที่อยู่ในพิกัด x-y ดังแสดงในรูปที่ 8 (ก) ให้อยู่ในรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสในพิกัดธรรมชาติ $\xi-\eta$ ดังแสดงในรูปที่ 8 (ข)



รูปที่ 8 รูปร่างของเอลิเมนต์ (ก) เอลิเมนต์รูปสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่าในพิกัด x-y และ (ข) เอลิเมนต์รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสในพิกัดธรรมชาติ $\xi-\eta$

สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกสร้างขึ้นในรูปของค่าการเคลื่อนตัวหรือการกระจัด (Displacement) ตามชนิดของเอลิเมนต์ ซึ่งค่าการเคลื่อนตัว ในทิศทาง x-y สำหรับเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมเป็นไปตามสมการดังนี้

$$u_i = \sum_{n=1}^4 N_n \bar{u}_{in} \quad (2)$$

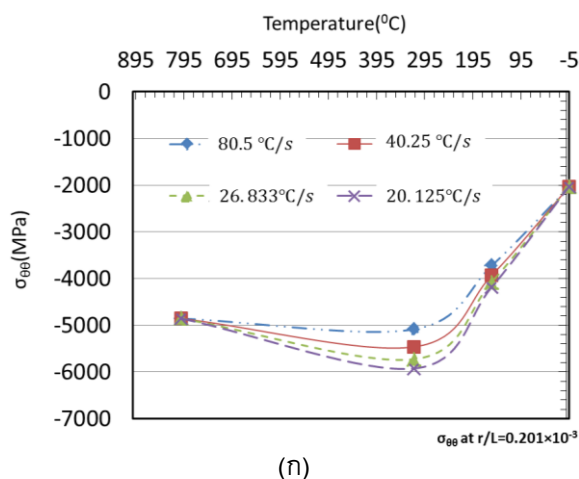
โดยที่ u_i คือการกระจัดในทิศทาง i , $\bar{u}_{in}$ เป็นการกระจัดที่จุดต่อ n ซึ่งมีทิศทางเดียวกับ i และ N_n คือ ฟังก์ชันการประมาณภายใน (Interpolation Function) ที่จุดต่อ n จากนั้นเมื่อทราบค่าการกระจัดแล้วก็จะนำไปหาค่าความเครียดและความเค้นในทิศทางต่างๆ ต่อไป

AMM-23

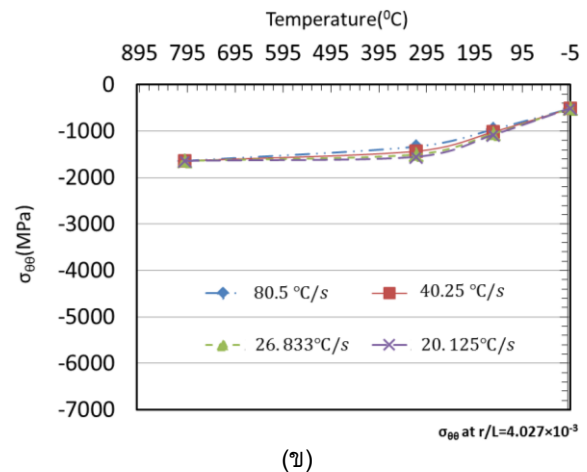
4. ผลการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์

4.1 ความเค้นเชิงมุม (Stress, $\sigma_{\theta\theta}$) บริเวณรอยต่อ ณ อัตราการเย็นตัวที่แตกต่างกัน เมื่ออุณหภูมิของวัสดุมีค่าเท่ากัน

จากผลการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยศึกษาและวิเคราะห์ค่าความเค้นที่รอยต่อของเหล็กและทองแดง พบว่าที่อัตราการเย็นตัวที่แตกต่างกัน ค่าความเค้นเชิงมุมที่ได้มีความแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 9 โดยค่าความเค้นเชิงมุมของอัตราการเย็นตัวที่มีค่าสูงจะมีค่าความเค้นกดต่ำกว่าที่อัตราการเย็นตัวที่ช้ากว่า ซึ่งเป็นผลมาจากเมื่อวัตถุได้รับความร้อนเข้าไปก่อนที่จะเย็นตัวนั้น ส่วนของเหล็กและทองแดงจะเกิดการขยายตัวขึ้นในสัดส่วนที่ไม่เท่ากันเพราะค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของทั้งสองที่มีค่าแตกต่างกัน ทำให้บริเวณรอยต่อเสมือนโดนแรงกดจากทั้งสองวัสดุส่งผลให้ ณ บริเวณรอยต่อมีค่าความเค้นกดเกิดขึ้น หลังจากนั้นเมื่อวัสดุเกิดการเย็นตัวตัวของเหล็กและทองแดงก็จะเกิดการหดตัวที่แตกต่างกัน ทำให้บริเวณรอยต่อเสมือนโดนแรงดึงจากทั้งสองฝั่งทำให้ค่าความเค้นกดที่มีอยู่โดนหักล้าง ส่งผลให้ค่าความเค้นกดมีค่าลดลง ซึ่งอัตราการเย็นตัวที่สูงมีผลทำให้วัสดุเกิดการหดตัวที่สูงตามไปด้วย ส่งผลให้ค่าความเค้นกด ณ บริเวณรอยต่อมีค่าลดลงเยอะกว่าอัตราการเย็นตัวที่ต่ำกว่า อีกทั้งค่าความเค้นกดที่บริเวณใกล้จุดมุมจะมีค่าความเค้นกดสูงกว่าบริเวณที่ห่างออกมา



(ก)



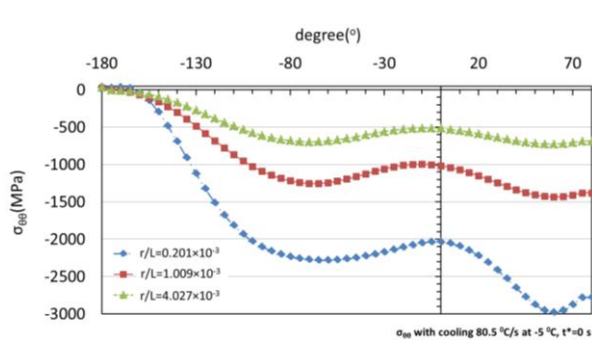
(ข)

รูปที่ 9 การเปรียบเทียบความเค้นเชิงมุมที่เกิดขึ้นที่ระยะ
(ก) 0.003 และ (ข) 0.06 มิลลิเมตร จากจุดมุม

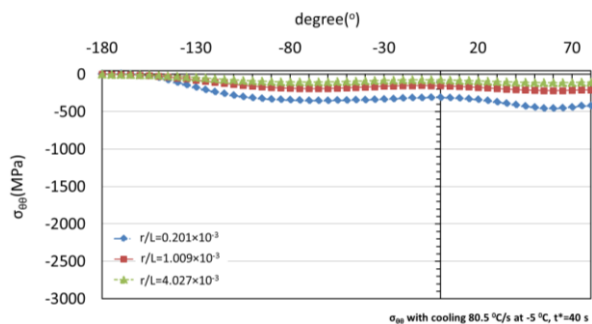
4.2 ความเค้นเชิงมุมของระยะต่างๆ จากจุดมุม ณ องศาและอัตราการเย็นตัวที่แตกต่างกันหลังจากอุณหภูมิ -5 องศาเซลเซียส

การเปรียบเทียบความเค้นภายหลังจากอุณหภูมิของวัสดุลดลงเหลือ -5 องศาเซลเซียส ที่มุมและระยะจากจุดมุมต่างๆ พบว่าทุกอัตราการเย็นตัวจะมีแนวโน้มที่เหมือนกันคือที่ระยะใกล้กับจุดมุมค่าความเค้นตักค้างจะมีขนาดสูงกว่าที่ระยะไกลออกมาจากจุดมุม ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปค่าความเค้นตักค้างจะมีค่าลดลงดังแสดงในรูปที่ 10 โดยมุมในส่วนของเหล็กที่มีค่าความเค้นตักค้างสูง คือมุม -60 องศา และมุมที่มีค่าความเค้นตักค้างสูงในส่วนทองแดงคือมุม 60 องศา ซึ่งค่าความเค้นตักค้างในส่วนทองแดงมีค่าความเค้นตักค้างสูงกว่าเพราะทองแดงเกิดการหดตัวมากกว่าเหล็กทำให้เกิดแรงกดเยอะกว่า และ ณ ตำแหน่งรอยต่อ (มุม 0 องศา) จะมีค่าความเค้นตักค้างน้อยกว่าบริเวณใกล้เคียงเพราะเมื่อวัสดุเกิดการเย็นตัว เหล็กและทองแดงก็จะเกิดการหดตัวที่แตกต่างกัน ทำให้บริเวณรอยต่อเสมือนโดนแรงดึงจากทั้งสองฝั่งทำให้ค่าความเค้นกดที่มีอยู่โดนหักล้างส่งผลให้ค่าความเค้นกดมีค่าลดลง

AMM-23



(ก)

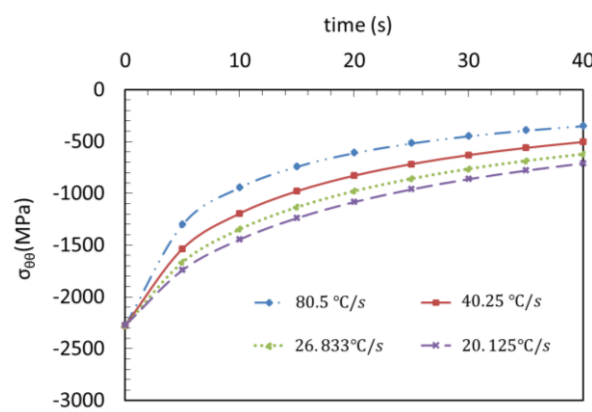


(ข)

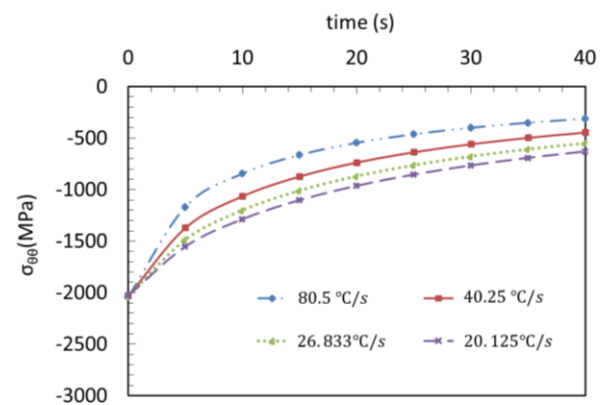
รูปที่ 10 การเปรียบเทียบความเค้นภายหลังจากอุณหภูมิคงที่ที่ -5 องศาเซลเซียส (ก) 0 และ (ข) 40 วินาที

4.3 ความเค้นเชิงมุมบริเวณรอยต่อใกล้กับจุดมุมภายหลังจากอุณหภูมิคงที่ที่ -5 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป ณ อัตราการเย็นตัวที่แตกต่างกัน

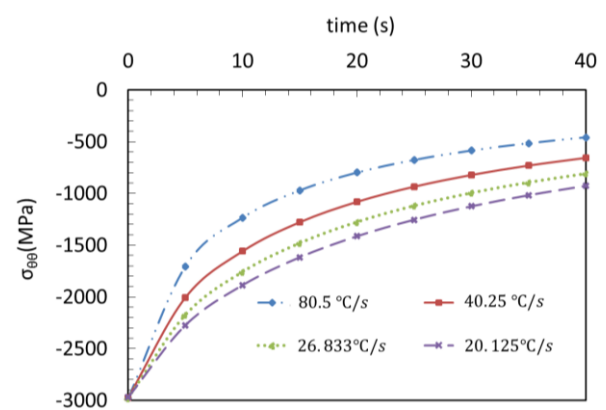
การเปรียบเทียบค่าความเค้นที่ระยะที่ใกล้กับจุดมุม ณ องศาที่แตกต่างกัน พบว่าค่าความเค้นในตัววัสดุทั้งเหล็กซึ่งเป็นฝั่งที่มีค่ามุมบิดและทองแดงซึ่งเป็นฝั่งที่มีค่ามุมเป็นบวกที่มุมต่างๆ มีแนวโน้มของการลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ในแนวโน้มเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 11



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 11 การเปรียบเทียบความเค้นหลังจากอุณหภูมิ -5 องศาเซลเซียส ณ (ก) -60 (ข) 0 (ค) 60 องศา

5. สรุป

จากผลการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ สำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบของอัตราการเย็นตัวของรอยเชื่อมในสภาพแวดล้อมที่เย็นจัดประมาณ -5 องศาเซลเซียส ที่มีผลต่อสนามความเค้นเชิงกลที่บริเวณรอยต่อของวัสดุ 2 ชนิด สรุปได้ว่าอัตราการเย็นตัวที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าความเค้นตกค้างในวัสดุ โดยอัตราการเย็นตัวที่มีค่าสูงกว่าจะมีค่าความเค้นตกค้างบริเวณรอยต่อของวัสดุต่ำกว่า ส่งผลให้มีโอกาสเกิดความเสียหายได้ง่ายกว่าที่อัตราการเย็นตัวที่มีค่าต่ำกว่า เนื่องจากภาระส่วนใหญ่ที่กระทำต่อวัสดุมักจะเป็นแรงดึง ซึ่งเมื่อวัสดุมีความเค้นตกค้างอยู่มากกว่า ความเค้นตัวนี้จะไปหักล้างกับแรงดึงส่งผลให้เกิดความเสียหายยากกว่าวัสดุที่มีความเค้นตกค้างที่ต่ำกว่า

AMM-23

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Skyttebol, B.L. Josefson and J.W. Ringsberg (2005). Fatigue crack growth in a welded rail under the influence of residual stresses, Engineering Fracture Mechanics, vol. 72, October 2003, pp. 271-285.
- [2] M.K. Lee, G.H. Kim, K.H. Kim and W.W. Kim (2006). Effects of the surface temperature and cooling rate on the residual stresses in a flame hardening of 12Cr steel, Journal of Materials Processing Technology, vol. 176, March 2006, pp. 140-145.
- [3] Yongkui Li, Yoshiyuki Kaji and Takahiro Igarashi (2012). Effects of thermal load and cooling condition on weld residual stress in a core shroud with numerical simulation, Nuclear Engineering and Design, vol. 242, October 2011, pp. 100-107.
- [4] Siva N. Lingamanaik and Bernard K. Chen (2013). Prediction of residual stresses in low carbon bainitic-martensitic railway wheels using heat transfer coefficients derived from quenching experiments, Computational Materials Science, vol. 77, April 2013, pp. 153-160.