



การปรับปรุงตัวแปรในการเชื่อมรางรถไฟด้วยวิธีเทอร์มิตให้เหมาะสมกับประเทศไทย

Improving Parameter by Thermite Welding Method to Fit with Conditions in Thailand

วิศรุต แสงวิมาน¹, ประภาส เมืองจันทร์บุรี¹, รอมฎอน บุระพา¹, มุฮัมมัด เต๊ะยอ²
Wissarut Sangwiman¹, Prapas Muangjunburee¹, Romadorn Burapa¹, Muhamad Tehyo²

(Received: April 8, 2020; Revised: October 26, 2020; Accepted: November 6, 2020)

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ ออกปฏิบัติงานภาคสนามเพื่อทำการจดบันทึกตัวแปรในการเชื่อม โดยเฉพาะในขั้นตอนของการให้ความร้อนก่อนการเชื่อม ซึ่งใช้แรงดันแก๊สแอลพีจี 1 บาร์ ออกซิเจน 4.5 บาร์ และใช้เวลาในการให้ความร้อนก่อนการเชื่อม 3 นาที จากนั้นทำการทดลองการให้ความร้อนก่อนการเชื่อม พบว่าอุณหภูมิบริเวณหัวราง 395 องศาเซลเซียส และบริเวณฐานราง 255 องศาเซลเซียส เรียกตัวแปรในการเชื่อมนี้ว่าการเชื่อมแบบปกติ และได้ทดลองการให้ความร้อนด้วยตัวแปรอื่น ๆ โดยเลือกตัวแปรที่ดีที่สุดพบว่าเป็นตัวแปรที่ใช้แก๊สแอลพีจี 1.2 บาร์ ออกซิเจน 4.5 บาร์ และใช้เวลาในการให้ความร้อนก่อนการเชื่อม 6 นาที 30 วินาที พบว่าความร้อนบริเวณหัวราง 630 องศาเซลเซียส และบริเวณฐานราง 700 องศาเซลเซียส เรียกตัวแปรในการเชื่อมนี้ว่าการเชื่อมแบบปรับปรุง และได้ทำการเชื่อมตามตัวแปรทั้งสอง พบว่าการเชื่อมแบบปรับปรุงมีสมบัติที่ดีกว่าการเชื่อมแบบปกติ จากโครงสร้างมหภาคจะมีกลุ่มรูพรุนในการเชื่อมแบบปกติมีมากกว่าการเชื่อมแบบปรับปรุง โครงสร้างจุลภาคของทั้งแบบมีความคล้ายคลึงกัน การทดสอบความแข็งพบว่าความแข็งเฉลี่ยบริเวณกระแทกร้อนของการเชื่อมแบบปกติมีค่า 326.94 HV และการเชื่อมแบบปรับปรุงมีค่า 299.19 HV ส่วนในบริเวณอื่น ๆ จะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ค่าแรงดัดของการเชื่อมแบบปกติพบว่ามีค่าแรงดัดสูงสุด 30 ตัน และค่าแอนด์ตัวสูงสุด 3 มิลลิเมตร การเชื่อมแบบปรับปรุงมีค่าแรงดัดสูงสุด 108 ตัน และค่าแอนด์ตัวสูงสุด 16 มิลลิเมตร สรุปได้ว่าการเชื่อมแบบปรับปรุงเป็นการเชื่อมที่มีคุณภาพมากกว่าการเชื่อมแบบปกติ

คำสำคัญ: การเชื่อมเทอร์มิต การเชื่อมรางรถไฟ การให้ความร้อนก่อนการเชื่อม สมบัติทางโลหะวิทยา สมบัติทางกล

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์,

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

¹Faculty of Engineering, Prince of Songkla University,

²Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University

Corresponding Author: prapas.m@psu.ac.th



Abstract

In this research, work has been applied on-site for recording the welding parameters, especially the process of preheating. The preheating condition was LPG 1.0 bar, oxygen 4.5 bar and took 3 minutes to preheat before welding. Then, the experiment was performed by preheating before welding, it was found that the temperature of rail ends at head and foot positions were at 395 °C and 255 °C respectively, and it called the normal parameter. In addition, the experiments were done with other parameters by selected the most suitable parameter which were LPG 1.2 bar and oxygen 4.5 bar with the preheating time at 6 minutes 30 seconds. The temperatures at head and foot positions were found at 630 °C and 700 °C, respectively. This thus called the improved parameter. Next, the macrostructure, microstructure and mechanical properties obtained from both normal and improved parameters were compared. The width of weld metal and HAZ of the improved parameter was wider. In addition, seeing from macrostructure, pores obtained from the normal parameter were greater, and the microstructure was similar. The hardness test in the HAZ of the improved and normal parameters showed the average hardness 326.94 HV and 299.19 HV, respectively. The slow bend testing was carried out on both specimens. The maximum load and the maximum deflection of the normal parameter were 30 Ton and 3 mm. However, the maximum load and maximum deflection of the improved parameter were 108 Ton and 16 mm. In conclusion, the improved parameter had better quality than the normal parameter.

Keywords: Thermite welding, Rail welding, Preheating before welding, Mechanical properties, Metallurgical properties

บทนำ

ปัจจุบันการขนส่งทางรางรถไฟของประเทศไทยได้มีการพัฒนาเป็นอย่างมาก มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วทั้งที่ผ่านมาและจะดำเนินการต่อไปในอนาคต กระทรวงคมนาคมและการรถไฟแห่งประเทศไทยมีการปรับปรุงระบบรางจากเดิมที่เป็นรางเดี่ยวพัฒนามาเป็นรถไฟรางคู่ ระบบโครงสร้างอย่างหนึ่งคือการติดตั้งรางรถไฟและการติดตั้งรางรถไฟใหม่นั้นจะต้องมีการเชื่อมเข้ามาเกี่ยวข้องอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือการเชื่อมรางโดยวิธีเทอร์มิต (Thermite welding)

การเชื่อมเทอร์มิต เป็นวิธีการเชื่อมรางรถไฟชนิดหนึ่งของงานระบบรางที่เป็นที่นิยมใช้กันทั่วโลก รวมถึงประเทศไทยปัจจุบันกำลังพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งปัญหาที่ผ่านมารอยเชื่อมรางรถไฟนั้น



ยังพบความเสียหายที่เกิดจากการเชื่อมที่ไม่ได้คุณภาพโดยเฉพาะการเชื่อมด้วยวิธีเทอร์มิต ปัจจุบันการเชื่อมเทอร์มิตวัสดุที่ใช้ในการเชื่อมยังคงนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้ปัญหาส่วนใหญ่เกิดจากขั้นตอนในการเชื่อม โดยเฉพาะการให้ความร้อนก่อนการเชื่อม (Preheating) โดยการควบคุมแรงดันของแก๊สแอลฟิจี ออกซิเจนและเวลาในการให้ความร้อนรางก่อนการเชื่อม

การเชื่อมต่อรางรถไฟที่นิยมใช้ในปัจจุบันแบ่งได้เป็น 2 วิธีหลัก ๆ (Jilabi, 2015) คือการเชื่อมแบบเทอร์มิต (Thermite Welding, TW) และวิธีแฟลชบัต (Flash Butt Welding, FBW) ในการเชื่อมแบบแฟลชบัตจะเป็นการเชื่อมในโรงงาน โดยการนำรางรถไฟมาตรฐานความยาว 25 เมตร นำมาเชื่อมต่อกันให้ได้ความยาว 200 เมตร หรือมากกว่าทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการขนส่ง หลังจากการเชื่อมวิธีแฟลชบัตจะทำการจัดเก็บไว้เพื่อตรวจสอบคุณภาพของรอยเชื่อมก่อนทำการขนส่ง ซึ่งสามารถเรียกรางเชื่อมดังกล่าวได้ว่า รางเชื่อมยาว (Long Welding Rail, LWR) จากนั้นทำการขนส่งไปยังหน้างานโดยขบวนรถไฟที่สร้างขึ้น โดยเฉพาะขนส่งรางเชื่อมยาว ซึ่งหลังจากที่ขนส่งและติดตั้งรางเชื่อมยาวแล้ว จะทำการเชื่อมเทอร์มิตระหว่างรางเชื่อมยาวแต่ละเส้น ทำให้รางรถไฟเป็นรางเชื่อมยาวที่ตลอดทั้งเส้นทาง (Continuous Welding Rail, CWR)

การเชื่อมเทอร์มิตบางครั้งสามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า อลูมิโนเทอร์มิก (Alumino thermic) เป็น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโลหะออกไซด์และอลูมิเนียม (Jilabi, 2015) การเชื่อมวิธีดังกล่าว ยังมีปัญหาเรื่องคุณภาพของรอยเชื่อมอยู่มากสำหรับประเทศไทย เนื่องจากตัวแปรในการเชื่อมที่ใช้อยู่มีมาจากผู้ผลิตในต่างประเทศเป็นหลักโดยเฉพาะในขั้นตอนของการให้ความร้อนรางก่อนการเชื่อม ซึ่งจากข้อมูลที่ได้ลงพื้นที่หน้างานจริงพบว่า ตัวแปรในการให้ความร้อนก่อนการเชื่อมที่ใช้อยู่คือ แรงดันแก๊สแอลฟิจี 1 บาร์ ออกซิเจน 4.5 บาร์ และใช้เวลาในการให้ความร้อนก่อนการเชื่อม 3 นาที และพบว่ารอยเชื่อมยังไม่ได้คุณภาพเท่าที่ควร ยังพบข้อบกพร่องและมีการแตกหักหลังจากการเชื่อมเป็นจำนวนมาก สาเหตุที่ทำให้รอยเชื่อมไม่ได้คุณภาพนั้นมีหลายปัจจัย และอุณหภูมิในการให้ความร้อนก่อนการเชื่อมคือหนึ่งในปัจจัยหนึ่งและเป็นปัจจัยที่สำคัญมาก นอกจากนี้การเชื่อมเทอร์มิตนอกจากการเชื่อมสำหรับติดตั้งแล้วยังสามารถใช้เป็นการเชื่อมสำหรับซ่อมแซมรางที่ชำรุดเสียหายได้อีกด้วย (Goldschmidt Thermit Group, 2017)

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยสนใจที่จะปรับปรุงตัวแปรในการเชื่อมรางรถไฟด้วยวิธีเทอร์มิตให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยและมีสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานของการรถไฟแห่งประเทศไทย (State railway of Thailand, SRT)



วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาและปรับปรุงตัวแปรของการเชื่อมรางรถไฟด้วยวิธีเทอร์มิต ให้มีสมบัติทางกลและโลหวิทยาที่ดีให้เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศของไทย เป็นไปตามมาตรฐานของการรถไฟแห่งประเทศไทย (State railway of Thailand, SRT)

วิธีการวิจัย

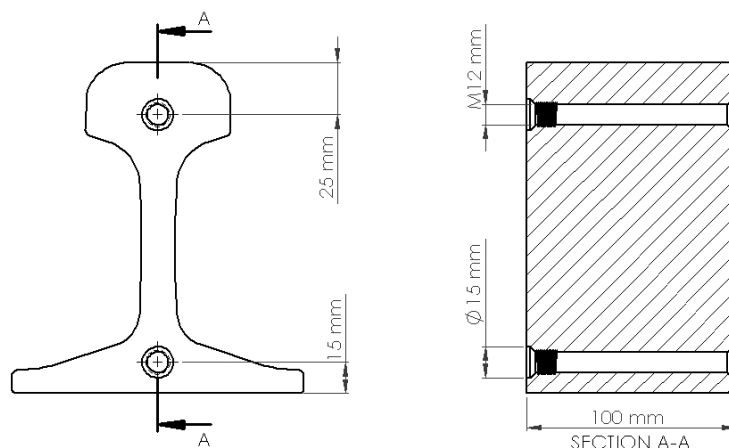
วัสดุและการออกแบบการทดลอง

การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของรางรถไฟโดยวิธีการ Optical emission spectrometer (OES) รุ่น ARL 3460, Switzerland โดยทำการทดสอบทั้งบริเวณรอยเชื่อมและเนื้อรางเดิม ซึ่งวัสดุรางรถไฟที่ใช้ในการวิจัยคือรางรถไฟมาตรฐาน EN13674 เกรด R260 ขนาด EN54E1 ตามตารางที่ 1 ที่แสดงส่วนผสมทางเคมีของรางรถไฟที่ใช้ในงานวิจัย ซึ่งส่วนผสมทางเคมีอยู่ในช่วงตามมาตรฐานที่กำหนด (Banlag, KobBun, & Fritz, 2015) (NIPPON STEEL CORPORATION, 2019)

ตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมทางเคมีของรางรถไฟเกรด R260 EN54E1

เกรดราง	ส่วนผสมทางเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)						
	C	Mn	Si	Cr	P	S	Fe
R260	0.7750	0.7480	0.3070	0.0382	0.1026	0.0138	Bal

การทดลองการให้ความร้อนรางก่อนการเชื่อมโดยทำการปรับแรงดันแก๊สแอลพีจีและออกซิเจน ให้ได้อุณหภูมิบริเวณปลายรางทั้งสองข้างประมาณ 950-1,000 องศาเซลเซียส (Goldschmidt Thermit Group, 2015) ทำการวัดอุณหภูมิบริเวณปลายทางโดยตำแหน่งในการวัดนั้นประกอบไปด้วย 2 จุด คือ บริเวณวัดจากผิวหัวรางลงมา 20 มิลลิเมตร และบริเวณฐานรางโดยวัดจากฐานรางขึ้นมา 15 มิลลิเมตร โดยใช้สายเทอร์โมคัปเปิล Type K ยึดติดด้วยสกรูบริเวณปลายรางทั้ง 2 โดยสายเทอร์โมคัปเปิลจะอยู่ในตำแหน่งของปลายรางพอดีตามภาพที่ 1 และเชื่อมต่อกับ Data logger Type K ในการอ่านค่าตามภาพที่ 2



ภาพที่ 1 แสดงตำแหน่งการจับยึดสายเทอร์โมคัปเปิลบริเวณปลายราง



ภาพที่ 2 สายเทอร์โมคัปเปิล Type K และ Data logger Type K ที่ใช้ในการทดลอง

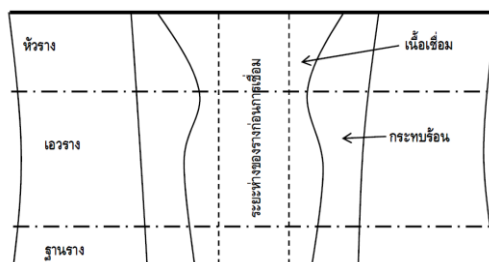
การทดลองการเชื่อมเทอร์มิตตามตัวแปรจากการทดลองการให้ความร้อนรางก่อนการเชื่อม จากนั้นทำการเชื่อมโดยมีขั้นตอน (1) เตรียมรางโดยให้ปลายทางทั้งสองห่างกัน 27 ± 2 มิลลิเมตร และจัดระดับของรางทั้งสองให้ได้ตามมาตรฐาน (2) ทำการประกอบชุดโม่ทราย ประคบด้วยเสื้อโม่เหล็ก และจับยึดด้วยอุปกรณ์จับยึด (3) ทำการติดตั้งหัวเผา (Preheating Torch) โดยให้ปลายหัวเผายู่ห่างจากหัวราง 45 มิลลิเมตร และเตา (Crucible) สำหรับบรรจุผงเชื่อมและทำการให้ความร้อนกับรางทั้งสองตามค่าตัวแปรที่กำหนดไว้ (4) เมื่อทำการให้ความร้อนรางทั้งสองตามตัวแปรเรียบร้อยแล้วจากนั้นทำการจุดผงเชื่อมในเตาบรรจุแล้วให้น้ำเหล็กไหลลงไปยังช่องว่างของรางทั้งสอง (5) จากนั้นทำการยกเตาบรรจุผงเชื่อม อุปกรณ์จับยึดและถอดเสื้อโม่เหล็กออก (6) ทำการเจียนเศษส่วนเกินด้วยเครื่องเจียนเศษ (Trimming Machine) (7) ทำการเจียรรางให้ราบเรียบตามรูปร่างของรางโดยทำการเจียรเฉพาะบริเวณหัวรางด้วยเครื่องเจียรราง (Grinding Machine) และ (8) จะได้รางที่ราบเรียบ (Thermite Welding, 2015) ตามภาพที่ 3



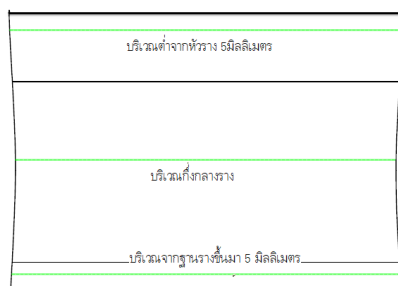
ภาพที่ 3 แสดงขั้นตอนการเชื่อมรางโดยวิธีเทอร์มิต (Thermite welding)

ขั้นตอนการทดสอบโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค

การเตรียมชิ้นทดสอบโครงสร้างมหภาค (Macrostructure) ชิ้นทดสอบจะทำการตัดตามแนวยาวของรอยเชื่อมเทอร์มิต (Longitudinal cross-section) ทำการเตรียมผิวหน้าตัดด้วยการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 150, 300, 400 และ 600 ตามลำดับ จากนั้นทำการกัดกรดด้วย Nital 4 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 6 วินาที (EN, 2010) บริเวณหน้าตัดจะแสดงบริเวณเนื้อเชื่อม บริเวณกระพือร้อนและบริเวณเนื้อรางเดิมตามภาพที่ 4 และตำแหน่งที่ใช้ในการวัดตามภาพที่ 5



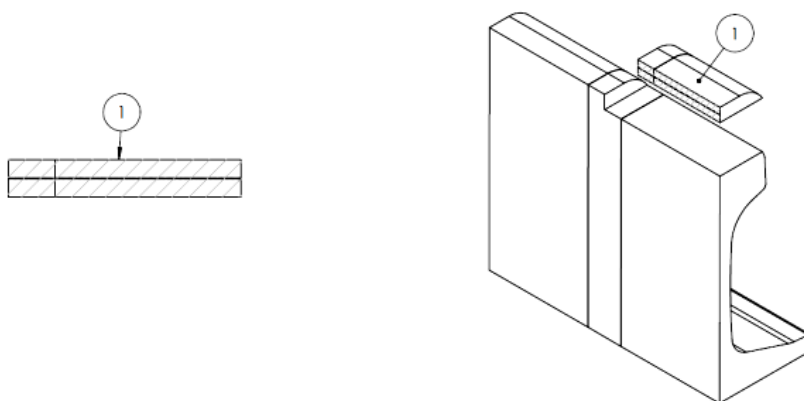
ภาพที่ 4 แสดงชิ้นทดสอบรอยเชื่อมสำหรับตรวจสอบโครงสร้างมหภาค



ภาพที่ 5 แสดงตำแหน่งที่ใช้อ้างอิงบริเวณที่ทำการทดสอบ



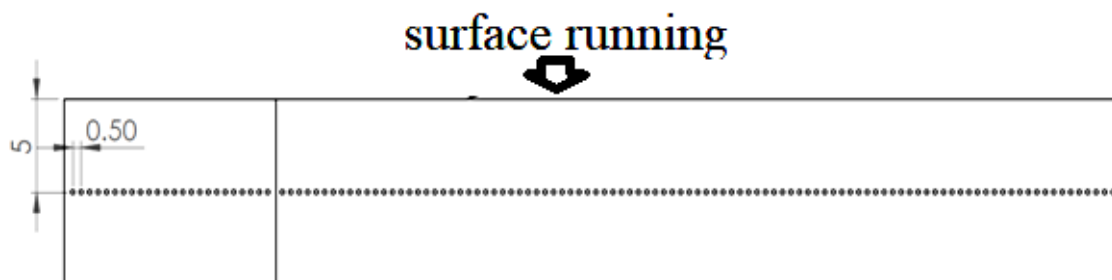
การเตรียมชิ้นทดสอบโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope, OM) ยี่ห้อ ZEISS รุ่น Scope.A1 ชิ้นทดสอบจะทำการตัดจากบริเวณรอยเชื่อมตามแนวยาวของรอยเชื่อม บริเวณหัวรางตามภาพที่ 6 ให้ครอบคลุมบริเวณ เนื้อเชื่อม บริเวณกระแทบร้อนและบริเวณเนื้อรางเดิม จากนั้นทำการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 180, 300, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 2000 และ 2500 จากนั้นขัดด้วยผ้าสักหลาดกับผงอลูมินา 5 ไมครอน จากนั้นทำการกัดกรดด้วย Nital 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 8 วินาที (ASTM, 2015)



ภาพที่ 6 แสดงชิ้นทดสอบรอยเชื่อมสำหรับตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

การทดสอบค่าความแข็งด้วยวิธีวิกเกอร์ (Vicker hardness test)

นำชิ้นที่ทดสอบโครงสร้างจุลภาคมาทดสอบค่าความแข็งจุลภาคแบบวิกเกอร์ (Microhardness test) ยี่ห้อ MATSUZAWA รุ่น MMT-X เวลาในการกดวัดความแข็ง 10 วินาที โดยทำการทดสอบค่าความแข็งจากกึ่งกลางเนื้อเชื่อมมายังบริเวณกระแทบร้อนและเนื้อรางเดิมตามลำดับ การทดสอบค่าความแข็งจะใช้แรงกดอยู่ที่ 200 กรัม โดยบริเวณที่กดจะอยู่บริเวณต่ำกว่าหัวราง 5 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างการกดในแต่ละจุดอยู่ที่ 0.5 มิลลิเมตร (British Standard 427, 1990) ตามภาพที่ 7

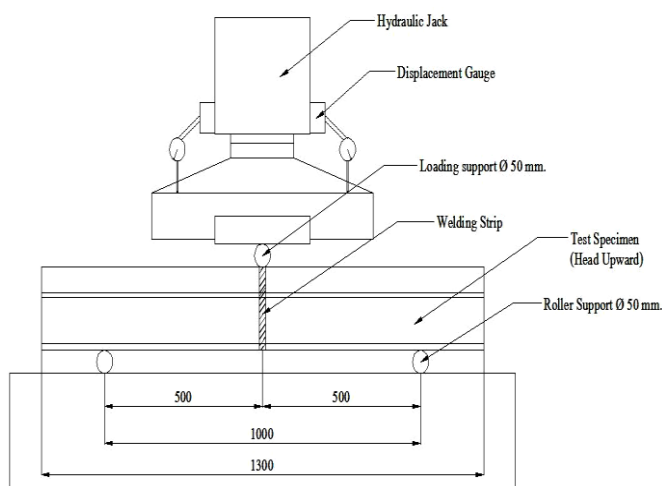


ภาพที่ 7 แสดงตำแหน่งการทดสอบค่าความแข็ง



การทดสอบแรงดัด (Slow bending test)

การทดสอบแรงดัด (Slow bending test) ทำการเตรียมชิ้นทดสอบที่มีความยาว 1,300 มิลลิเมตร โดยให้รอยเชื่อมอยู่กึ่งกลาง จากนั้นทำการวางบนแท่นทดสอบโดยจุดรองรับชิ้นทดสอบมีระยะห่างที่ 1,000 มิลลิเมตร และให้รอยเชื่อมอยู่ระหว่างกึ่งกลางตามมาตรฐาน (EN, 2010) ตามภาพที่ 8 จากนั้นทำการกดตรงบริเวณรอยเชื่อมจนเสียรูปหรือแตกหักและนำค่าที่ได้มาทำการวิเคราะห์คุณภาพของรอยเชื่อมเทอร์มิตต่อไป



ภาพที่ 8 แสดงภาพการทดสอบแรงดัด (Slow bending test)

ผลการวิจัย

ผลการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของรอยเชื่อม

ผลการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของรอยเชื่อมดังแสดงในตารางที่ 2 แสดงส่วนผสมทางเคมีของรางบริเวณรอยเชื่อมหลังจากที่ทำการเชื่อม

ตารางที่ 2 แสดงส่วนผสมทางเคมีของรางรถไฟบริเวณรอยเชื่อม

บริเวณ	ส่วนผสมทางเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)						
	C	Mn	Si	Cr	P	S	Fe
รอยเชื่อม	0.4827	1.1027	0.5921	1.3240	-	0.0061	Bal



ผลการทดสอบการให้ความร้อนรางก่อนการเชื่อม (Preheating)

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบการปรับแรงดันแก๊สแอลพีจีและออกซิเจน ตัวแปรที่ “OK” แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันระหว่างแก๊สแอลพีจีและออกซิเจนที่สามารถนำมาทดสอบการให้ความร้อนรางก่อนการเชื่อมได้ ส่วนที่ “NOT OK” นั้นแรงดันระหว่างแก๊สแอลพีจีและออกซิเจนนั้นผสมกันไม่ลงตัวทำให้เกิดเสียงเสียวปะทุในขณะที่ทำการทดสอบ จึงไม่สามารถนำมาทำการทดสอบการให้ความร้อนรางได้ พบว่าเหลือเพียง 5 ตัวแปรจาก 9 ตัวแปรเท่านั้นที่นำมาใช้ในการทดสอบการให้ความร้อนรางก่อนการเชื่อม

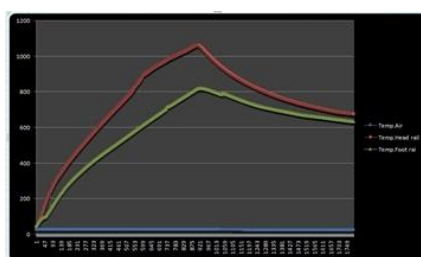
ตารางที่ 3 แสดงตารางผลการทดสอบการปรับแรงดันแก๊สแอลพีจีและออกซิเจน

แอลพีจี ออกซิเจน			
	1.0 บาร์	1.2 บาร์	1.4 บาร์
4.0 บาร์	OK	OK	NOT OK
4.5 บาร์	OK	OK	NOT OK
5.0 บาร์	NOT OK	NOT OK	OK

ทำการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการวัดอุณหภูมิและการให้ความร้อนดังภาพที่ 9 โดยการนำค่าจากตัวแปรที่ผู้ทำวิจัยได้จัดบันทึกจากหน้างานจริงคือ แรงดันแก๊สแอลพีจี 1.0 บาร์และแรงดันออกซิเจน 4.5 บาร์ โดยให้ความร้อนไปจนถึงตามค่าที่กำหนดไว้ คือ ประมาณ 950 - 1,000 องศาเซลเซียส พบว่าความร้อนที่บริเวณหัวรางอยู่ที่ 1,062 องศาเซลเซียสและบริเวณฐานราง 814 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการให้ความร้อนประมาณ 15 นาที แต่บริเวณปลายรางทั้งสองเสียรูปในบริเวณเอวรางอย่างเห็นได้ชัดตามภาพที่ 10 ซึ่งจากการให้ความร้อนที่ยาวนานถึง 15 นาที ผลกระทบที่เห็นได้ชัดคืออุปกรณ์สำหรับการให้ความร้อน (Preheating torch) ได้รับความความร้อนสะสมมากเกินไป ซึ่งเสี่ยงต่อการเสียหายและเกิดอุบัติเหตุได้ และอีกประการหนึ่งคือการเสียรูปของปลายรางจะมีผลในกระบวนการเชื่อม ซึ่งอาจจะรั่วของน้ำเหล็กในขณะที่เทลงในช่องระหว่างรางทั้งสอง เนื่องจากการเสียรูปทำให้ความกว้างของรอยเชื่อมที่มากเกินไป ผู้ทำวิจัยจึงทำการทดสอบการให้ความร้อนก่อนการเชื่อมจะบันทึกค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ไม่ทำให้ปลายรางทั้งสองข้างเสียรูป โดยในขณะที่ทำการทดสอบจะต้องสังเกตบริเวณปลายรางทั้งสอง เมื่อเห็นว่าปลายรางทั้งสองเริ่มมีการหลอมละลายจะหยุดทำการทดสอบทันทีและบันทึกค่าผลที่ได้ต่อไป



ภาพที่ 9 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการวัดอุณหภูมิและการให้ความร้อน



ภาพที่ 10 แสดงกราฟความร้อนและการเสียรูปของปลายางจากการให้ความร้อน

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการให้ความร้อนรางก่อนการเชื่อมจำนวน 5 ตัวแปร ซึ่งในแต่ละตัวแปรจะทำการทดสอบจำนวน 2 ครั้งและนำผลที่ได้มาทำการหาค่าเฉลี่ยที่ปรากฏตามตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าในแต่ละตัวแปรจะให้ความร้อนที่แตกต่างกัน จึงพิจารณาจากตัวแปรที่ให้ความร้อนได้มากที่สุด และใช้เวลาในการให้ความร้อนรางก่อนการเชื่อมที่น้อยที่สุด โดยที่ปลายางทั้งสองข้างไม่เกิดการเสียรูป สรุปได้ว่าตัวแปรที่ดีที่สุดคือตัวแปรที่แรงดันแก๊สแอลฟิ 1.2 บาร์ ออกซิเจน 4.5 บาร์ ใช้เวลาในการให้ความร้อนก่อนการเชื่อม 6 นาที 30 วินาที ต่อจากนี้ผู้ทำวิจัยจะเรียกตัวแปรนี้ว่า การเชื่อมแบบปรับปรุง และอีกตัวแปรหนึ่งคือตัวแปรที่ผู้ทำวิจัยได้จับบันทึกมาจากหน้างานจริงคือตัวแปรที่แรงดันแก๊สแอลฟิ 1.0 บาร์ และออกซิเจน 4.5 บาร์ ซึ่งก็มีในตารางการทดสอบการให้ความร้อนรางก่อนการเชื่อม แต่จากหน้างานจริงใช้เวลาในการให้ความร้อนรางก่อนการเชื่อมที่ 3 นาทีเท่านั้นและพบว่าความร้อนก่อนการเชื่อมที่ได้ บริเวณหัวรางอยู่ที่ 395 องศาเซลเซียสและบริเวณฐานรางอยู่ที่ 255 องศาเซลเซียส ต่อจากนี้ผู้วิจัยจะเรียกตัวแปรนี้ว่า การเชื่อมแบบปกติ จากนั้นนำมาทำการเชื่อมเทอร์มิตต่อไป

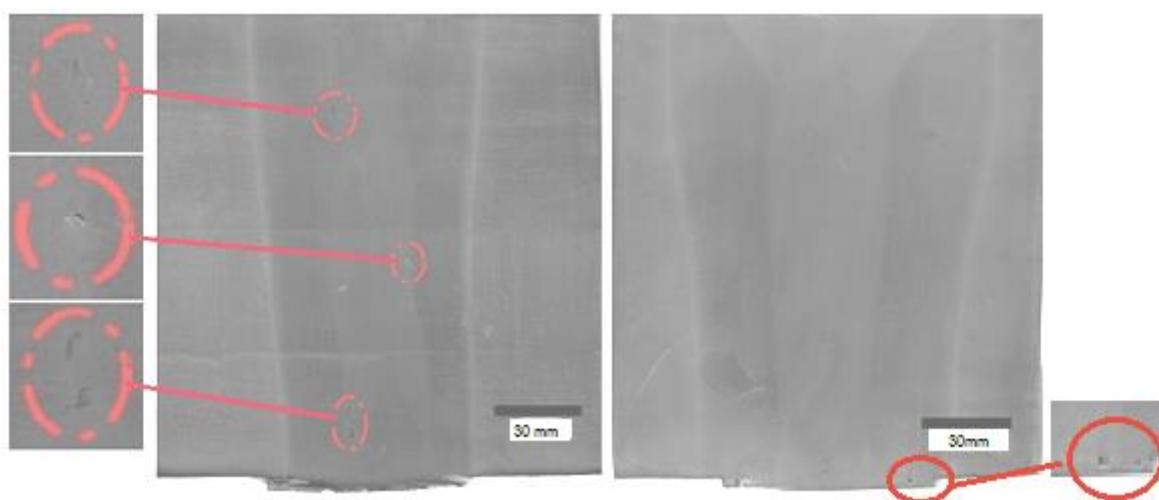


ตารางที่ 4 แสดงตารางผลการทดสอบการให้ความร้อนรางก่อนการเชื่อม

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง แอลพีจี/ออกซิเจน (บาร์)	อุณหภูมิเฉลี่ย บริเวณหัวราง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิเฉลี่ย บริเวณฐานราง (องศาเซลเซียส)	เวลาเฉลี่ยในการให้ความ ร้อนก่อนการเชื่อม (นาทิจวินาที)
1.0/4.0	512	233	1-28
1.0/4.5	751	535	8-25
1.2/4.5	576	566	13-20
1.4/5.0	401	553	7-11
1.2/4.5	630	700	6-30

โครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค

แสดงขึ้นทดสอบโครงสร้างมหภาคระหว่างการเชื่อมแบบปกติและการเชื่อมแบบปรับปรุงจากภาพที่ 11 ภาพทางด้านซ้ายจะเป็นภาพโครงสร้างมหภาคของการเชื่อมแบบปกติ และทางด้านขวาเป็นโครงสร้างมหภาคของการเชื่อมแบบปรับปรุง แสดงให้เห็นถึงบริเวณของรอยเชื่อม บริเวณกระทบร้อน บริเวณเนื้อรางเดิม และรอยตำหนิที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมทั้งสองแบบ การเชื่อมแบบปกติจะพบรูพรุน บริเวณเนื้อเชื่อมตามภาพที่ 11 ด้านซ้าย และการเชื่อมปรับปรุงพบรอยตำหนิบริเวณฐานรางที่เรียกว่า Casting fin ซึ่งอยู่ในบริเวณนอกรอยเชื่อม (Yamamoto, Terashita, Tatsumi, Itoh, & Umenai, 2016)



ภาพที่ 11 แสดงภาพโครงสร้างมหภาค (ด้านซ้าย) การเชื่อมแบบปกติ (ด้านขวา) การเชื่อมแบบปรับปรุง

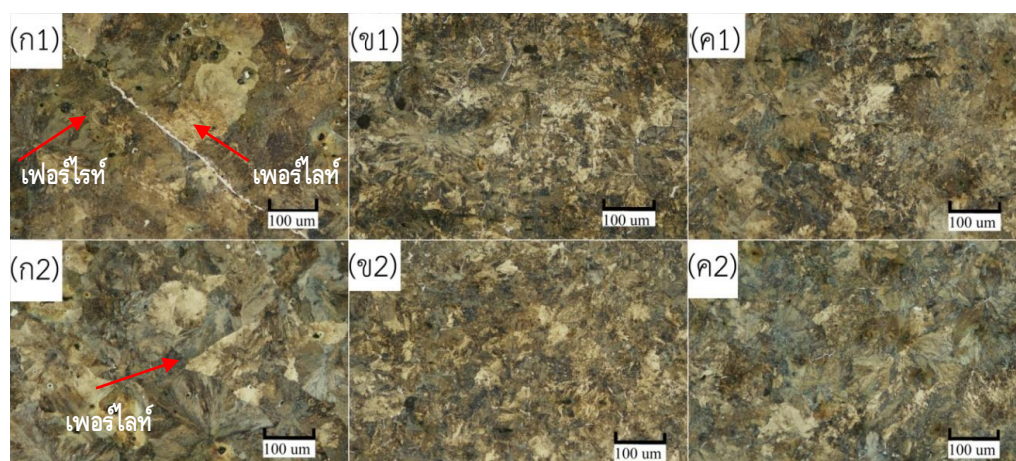


ตารางที่ 5 เป็นตารางที่แสดงถึงขนาดความกว้างบริเวณรอยเชื่อมและบริเวณกระแทกร้อนของการเชื่อมทั้งสองตัวแปร โดยทำการวัดบริเวณเนื้อเชื่อมจากกึ่งกลางรอยเชื่อมและบริเวณกระแทกร้อนทั้ง 3 ตำแหน่งคือบริเวณหัวราง เอวรางและฐานราง ผลพบว่าความกว้างของรอยเชื่อมและบริเวณกระแทกร้อนของการเชื่อมแบบปรับปรุงมีค่ามากกว่าการเชื่อมแบบปกติ ซึ่งเป็นผลมาจากการให้ความร้อนก่อนการเชื่อมที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 5 ความกว้างของบริเวณเนื้อเชื่อมและบริเวณกระแทกร้อนในบริเวณต่าง ๆ ของตัวแปรทั้งสอง

ตัวแปร	ระยะความกว้างของบริเวณต่าง (มิลลิเมตร)					
	บริเวณเนื้อเชื่อมวัดจากกึ่งกลางรอยเชื่อม			บริเวณกระแทกร้อน		
	หัวราง	เอวราง	ฐานราง	หัวราง	เอวราง	ฐานราง
แบบปกติ	21	15	16	19	20	13
แบบปรับปรุง	35	20	18	20	30	28

ภาพที่ 12 แสดงผลขึ้นทดสอบโครงสร้างจุลภาคของการเชื่อมแบบปกติและการเชื่อมแบบปรับปรุง โดยกำหนดตำแหน่งของการทดสอบ 3 บริเวณคือ บริเวณเนื้อเชื่อม บริเวณกระแทกร้อน (HAZ) และบริเวณเนื้อรางเดิม ตามลำดับภาพจากด้านซ้ายไปด้านขวา ซึ่งโครงสร้างจุลภาคส่วนใหญ่เป็นเฟอร์ไรต์ ในบริเวณเนื้อเชื่อมของการเชื่อมแบบปกติโครงสร้างจุลภาคจะเป็นเฟอร์ไรต์ที่หยาบและมีเฟอร์ไรต์บริเวณขอบเกรนเฟอร์ไรต์ ซึ่งแตกต่างกับการเชื่อมแบบปรับปรุงในบริเวณเนื้อเชื่อมที่มีโครงสร้างจุลภาคเป็นเฟอร์ไรต์ทั้งหมด ส่วนในบริเวณอื่นของการเชื่อมทั้งสองตัวแปรจะมีโครงสร้างจุลภาคที่คล้ายคลึงกัน

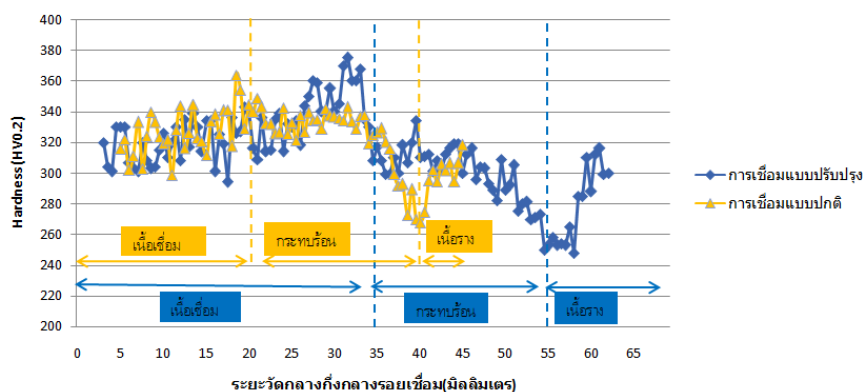


ภาพที่ 12 แสดงโครงสร้างจุลภาคของ (1) การเชื่อมแบบปกติและ (2) การเชื่อมแบบปรับปรุง
(ก1-ก2 บริเวณเนื้อเชื่อม, ข1-ข2 บริเวณกระแทกร้อน, ค1-ค2 บริเวณเนื้อรางเดิม)



ผลการทดสอบค่าความแข็ง

ภาพที่ 13 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งบริเวณเนื้อเชื่อม บริเวณกระพุ้งร้อนและบริเวณเนื้อรางเดิมของการเชื่อมทั้งสองตัวแปร พบว่าในบริเวณกระพุ้งร้อนของการเชื่อมแบบปรับปรุงมีค่าเฉลี่ยที่น้อยกว่าการเชื่อมแบบปกติ ส่วนในบริเวณอื่น ๆ ของการเชื่อมทั้งสองตัวแปรจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 13 ผลการทดสอบค่าความแข็งบริเวณต่าง ๆ ของการเชื่อมแบบปกติและการเชื่อมแบบปรับปรุง

ผลการทดสอบแรงดัด (Slow bending test)

ตารางที่ 6 เป็นการแสดงถึงการทดสอบแรงดัด (Slow bending test) ของการเชื่อมทั้งสองแบบ โดยจะมีการบันทึกค่าแรงดัดสูงสุดมีหน่วยเป็นตันและค่าแอ่นตัวสูงสุดมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร การเชื่อมแบบปกติรับภาระแรงดัดสูงสุดได้ 30 ตันและค่าการแอ่นตัวสูงสุด 3 มิลลิเมตร ส่วนการเชื่อมแบบปรับปรุงสามารถรับแรงดัดสูงสุดได้ 108 ตันและค่าการแอ่นตัวสูงสุด 16 มิลลิเมตร ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเชื่อมแบบปรับปรุงมีความแข็งแรงมากกว่าการเชื่อมแบบปกติอย่างเห็นได้ชัด

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบแรงดัด (Slow bending test) ของการเชื่อมแบบปกติและการเชื่อมแบบปรับปรุง

ตัวแปร	แรงดัดสูงสุด (ตัน)	แอ่นตัวสูงสุด (มิลลิเมตร)	หมายเหตุ
แบบปกติ	30	3	แตกหัก
แบบปรับปรุง	108	16	ไม่แตกหัก



อภิปรายผล

การทดสอบการให้ความร้อนรางก่อนการเชื่อมที่ดีที่สุดจากการทดสอบคือตัวแปรที่แรงดันแก๊ส แอลพีจี 1.2 บาร์ ออกซิเจน 4.5 บาร์ และเวลาในการให้ความร้อนก่อนการเชื่อม 6 นาที 30 วินาที จะเห็นได้ว่าความร้อนสูงสุดก่อนการเชื่อมจะเกิดขึ้นบริเวณฐานราง

หลังจากได้ทำการเชื่อมแล้วจากภาพที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างมหภาคระหว่างการเชื่อมแบบปกติและการเชื่อมแบบปรับปรุง หลังจากทำการเชื่อมตามตัวแปรดังกล่าวแล้ว จากภาพที่ 11 แสดงให้เห็นถึงเส้นแบ่งเขตบริเวณต่าง ๆ ได้แก่ บริเวณเนื้อเชื่อม บริเวณกระทบร้อนและเนื้อรางเดิมอย่างชัดเจน โดยการเชื่อมแบบปรับปรุงนั้น มีความกว้างของบริเวณเนื้อเชื่อมและบริเวณกระทบร้อนที่มากกว่าในทุกตำแหน่ง หัวราง เอวรางและฐานราง ตามตารางที่ 5 ซึ่งเป็นผลมาจากการให้ความร้อนก่อนการเชื่อมที่ต่างกัน โดยการเชื่อมแบบปรับปรุงมีการให้ความร้อนก่อนการเชื่อมที่มากกว่า ตามตารางที่ 4 นอกจากนี้ การเชื่อมแบบปกติยังพบกลุ่มรูพรุนในรอยเชื่อมที่มากกว่าการเชื่อมแบบปรับปรุง สาเหตุเกิดจากการให้ความร้อนก่อนการเชื่อมที่ไม่เพียงพอ โดยการเชื่อมแบบปกตินั้นจะมีปริมาณความร้อนบริเวณหัวราง 395 องศาเซลเซียส และบริเวณฐานราง 255 องศาเซลเซียส ซึ่งเกิดความขึ้นตัก้างในแม่พิมพ์ทรายหรือทรายที่ใช้สำหรับอุดแม่พิมพ์ ทำให้เกิดฟองอากาศในรอยเชื่อมในขณะรอยเชื่อมแข็งตัวส่งผลทำให้สมบัติของรอยเชื่อมลดลง

โครงสร้างจุลภาคของการเชื่อมแบบปกติและการเชื่อมแบบปรับปรุงในบริเวณต่าง ๆ 3 บริเวณ ได้แก่บริเวณเนื้อเชื่อม บริเวณกระทบร้อนและบริเวณเนื้อรางเดิมจากภาพที่ 8 (ก1) และ (ก2) แสดงโครงสร้างจุลภาคในบริเวณเนื้อเชื่อมของการเชื่อมแบบปกติพบว่าโครงสร้างที่เป็นเพอร์ไลต์หยาบมีเพอร์ไลต์บริเวณขอบของเกรน (Jilabi, 2015) ซึ่งได้รับผลมาจากการให้ความร้อนก่อนการเชื่อมในปริมาณน้อยกว่าการเชื่อมแบบปรับปรุง ส่งผลทำให้การอัตราเย็นตัวของรอยเชื่อมเร็วกว่า ทำให้เกิดโครงสร้างเพอร์ไลต์ที่หยาบ (Kittichai, Assadakon, Sukrit, & Nutthawat, 2017) และส่วนผสมทางเคมีของผงเชื่อมที่นำมาใช้ เมื่อนำเนื้อเชื่อมไปทำการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีพบว่าปริมาณคาร์บอน 0.4827 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่ามีปริมาณคาร์บอนน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณคาร์บอนของเนื้อรางเดิมที่ 0.7750 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามองค์ประกอบทางเคมีในบริเวณเนื้อเชื่อมยังพบองค์ประกอบอื่น ๆ ด้วย เช่น ปริมาณแมงกานีส 1.1027 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปริมาณซิลิกอน 0.5921 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและปริมาณโครเมียม 1.3240 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก องค์ประกอบเคมีดังกล่าวยังมีปริมาณที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณเนื้อรางเดิมอีกด้วย ส่วนโครงสร้างจุลภาคในบริเวณกระทบร้อนตามภาพที่ 8 (ข1)-(ข2) มีความคล้ายคลึงระหว่างการเชื่อมทั้งสองตัวแปรและมีโครงสร้างเพอร์ไลต์ที่ละเอียดกว่าบริเวณรอยเชื่อมอย่างเห็นได้ชัด



จากผลการทดสอบค่าความแข็งแรงของชิ้นทดสอบในบริเวณต่าง ๆ ของทั้งสองตัวแปรการเชื่อมพบว่าค่าความแข็งแรงในบริเวณกระพร้อนของการเชื่อมแบบปรับปรุงนั้นมีค่าที่ต่ำกว่าการเชื่อมแบบปกติเมื่อดูตามภาพที่ 13 ทำการเฉลี่ยค่าความแข็งแรงในบริเวณกระพร้อนของการเชื่อมแบบปกติมีค่า 326.94 HV และของการเชื่อมแบบปรับปรุงมีค่า 299.19 HV ส่วนในบริเวณรอยเชื่อมค่าความแข็งแรงยังคงมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งมาจากอิทธิพลขององค์ประกอบทางเคมีของผงเชื่อมที่มาจากผู้ผลิตต่างประเทศที่เหมือนกันนั่นเอง

การแสดงผลการทดสอบแรงดัด (Slow bending test) จากตารางที่ 6 เป็นตารางผลการทดสอบแรงดัดของการเชื่อมแบบปกติและการเชื่อมแบบปรับปรุงพบว่าการเชื่อมแบบปกติมีค่าแรงดัดสูงสุดที่ 30 ดัน และค่าการแอ่นตัวสูงสุดที่ 3 มิลลิเมตร จากนั้นเกิดการแตกหักและในส่วนของการเชื่อมแบบปรับปรุงมีค่าแรงดัดสูงสุดที่ 108 ดัน และค่าการแอ่นตัวสูงสุดที่ 16 มิลลิเมตร และหยุดการทดสอบเนื่องจากรอยเชื่อมดังกล่าวเสียรูปแล้ว (ไม่แตกหัก) สรุปได้ว่า การเชื่อมแบบปรับปรุงนั้นมีความแข็งแรงมากกว่าการเชื่อมแบบปกติอย่างเห็นได้ชัด อธิบายได้ว่าเป็นมาจากการให้ความร้อนก่อนการเชื่อมที่ไม่เท่ากันมีอิทธิพลต่อความแข็งแรงและคุณภาพของรอยเชื่อมเทอร์มิต อีกทั้งการเชื่อมแบบปรับปรุงยังผ่านค่ามาตรฐานของการรถไฟแห่งประเทศไทยที่กำหนดไว้ที่ค่าแรงดัดสูงสุดไม่ต่ำกว่า 80 ดัน และค่าการแอ่นตัวสูงสุดไม่ต่ำกว่า 10 มิลลิเมตร ด้วย

สรุป

1. การเชื่อมแบบปรับปรุงจะเห็นได้ว่าความร้อนสูงสุดก่อนการเชื่อมจะเกิดขึ้นบริเวณฐานรางและเอวรางเนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีพื้นที่หน้าตัดที่แคบกว่าบริเวณอื่น และการปรับค่าตัวแปรในการให้ความร้อนก่อนการเชื่อม

2. โครงสร้างมหภาคของทั้งสองตัวแปร โดยการเชื่อมแบบปรับปรุงนั้นมีความกว้างของบริเวณเนื้อเชื่อมและบริเวณกระพร้อนที่มากกว่าในทุกบริเวณ หัวราง เอวรางและฐานราง ซึ่งเป็นผลมาจากการให้ความร้อนก่อนการเชื่อมที่ต่างกัน โดยการเชื่อมแบบปรับปรุงมีการให้ความร้อนก่อนการเชื่อมที่มากกว่า นอกจากนี้การเชื่อมแบบปกติยังพบกลุ่มรูพรุนในรอยเชื่อมที่มากกว่าการเชื่อมแบบปรับปรุง สาเหตุเกิดจากการให้ความร้อนก่อนการเชื่อมที่ไม่เพียงพอ โดยการเชื่อมแบบปกตินั้นจะมีปริมาณความร้อนบริเวณหัวราง 395 องศาเซลเซียส และบริเวณฐานราง 255 องศาเซลเซียส ซึ่งเกิดความขึ้นดกค้ำในแม่พิมพ์ทรายหรือทรายที่ใช้สำหรับอุดแม่พิมพ์ ทำให้เกิดฟองอากาศในรอยเชื่อมในขณะรอยเชื่อมแข็งตัวส่งผลทำให้สมบัติของรอยเชื่อมลดลง



3. โครงสร้างจุลภาคในบริเวณเนื้อเชื่อมของการเชื่อมแบบปกติพบว่าโครงสร้างที่เป็นเฟอร์ไรต์หายามีเฟอร์ไรต์บริเวณขอบของเกรนซึ่งได้รับผลมาจากการให้ความร้อนที่ไม่เท่ากันทำให้เย็นตัวของรอยเชื่อมเร็วกว่าการเชื่อมแบบปรับปรุงและโครงสร้างจุลภาคในบริเวณอื่น ๆ ของการเชื่อมเทอร์มิตทั้งสองตัวแปรนั้นมีความคล้ายคลึงกัน

4. ค่าความแข็งในบริเวณกระทบร้อนของการเชื่อมแบบปรับปรุงนั้นมีค่าที่ต่ำกว่าการเชื่อมแบบปกติ ส่วนในบริเวณเนื้อเชื่อมค่าความแข็งแรงยังคงมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งมาจากอิทธิพลขององค์ประกอบทางเคมีของผงเชื่อมที่มาจากผู้ผลิตจากต่างประเทศ

5. ค่าแรงคัดและแอนตัวสูงสุดของการเชื่อมแบบปรับปรุงมีค่ามากกว่าการเชื่อมแบบปกติอย่างเห็นได้ชัดสรุปได้ว่าผลมาจากการให้ความร้อนรางก่อนการเชื่อมที่มากกว่ามีอิทธิพลต่อความแข็งแรงและคุณภาพของรอยเชื่อมเทอร์มิต อีกทั้งยังผ่านค่ามาตรฐานของการรถไฟแห่งประเทศไทยที่กำหนดไว้ที่ค่าแรงคัดสูงสุดไม่ต่ำกว่า 80 ตัน และค่าการแอนตัวสูงสุดไม่ต่ำกว่า 10 มิลลิเมตร อีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

1. จากการทดลองในขั้นตอนของการให้ความร้อนรางก่อนการเชื่อมนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทดลองกับรางรถไฟที่มีขนาดมิติที่แตกต่างกันได้ เพื่อสามารถที่จะปรับปรุงหรือวิจัยการเชื่อมรางในกรณีที่มีขนาดต่างกันในอนาคตได้

2. การเชื่อมในแต่ละครั้งจะต้องทำการจัดหัวรางทั้งสองให้มีระยะก่อนการเชื่อมเป็นไปตามระยะกำหนดที่ 27 มิลลิเมตร คลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตร เนื่องจากความกว้างของรางก่อนการเชื่อมส่งผลต่ออุณหภูมิของรางก่อนการเชื่อมด้วยและจะส่งผลให้การเชื่อมหรือการทดสอบที่คลาดเคลื่อนได้ ซึ่งความกว้างของรางก่อนการเชื่อมยังสามารถที่จะนำมาเป็นหัวข้อเพื่อทำการวิจัยต่อยอดได้อีกด้วย

3. การวัดแรงคั้นของแก๊สแอลพีจีและออกซิเจน ผู้วิจัยจะทำการติดตั้งเกจวัดแรงคั้นที่บริเวณค้ำของหัวเผา (Preheating torch) เท่านั้น เพื่อช่วยลดแรงคั้นสูญเสียภายในสายแก๊สแอลพีจีและออกซิเจน ตามปกติในการเชื่อมงานจริง เกจวัดแรงคั้นจะติดตั้งบริเวณหัวถัง ซึ่งจะต้องทำการปรับแรงคั้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเพื่อชดเชยการสูญเสียแรงคั้นในสาย

รายการอ้างอิง (References)

ASTM. (2015). *E407: 07-Standard practice for microetching metals and alloys*. American Society For Testing And Materials.



- Banlag, S., KobBun, L., Fritz, K, H. (2015). Welding of rail: Technology and Metallurgy. *The Journal of Welding Institute of Thailand*, 37-45.
- British Standard 427. (1990). *Method for Vickers Hardness Test and for Verification of Vickers Hardness Testing Machines*. British Standard.
- EN, B. (2010). *14730-1, Railway applications, Track, Aluminothermic welding of rails, Approval of welding processes*. BSI British Standards.
- Goldschmidt Thermit Group. (2015). *CODE OF PRACTICE FOR THE THERMIT QUICK WELDING PROCEDURES SKV- F Multiple Use Crucible Systems*. Germany. Retrieved from [www.thermit.com.au › _literature_119553 /Code](http://www.thermit.com.au/_literature_119553/Code).
- Goldschmidt Thermit Group. (2017). *THERMIT HEAD REPAIR*, Germany. Retrieved from https://www.gt-railservice.com/fileadmin/user_upload/PDF/Schienenverbindung/THR_DE-EN-FR.pdf
- Kittichai, S., Assadakon, L., Sukrit, K., Nutthawat, C. (2017). *Microstructure and Hardness Analysis of Railway Steel Subjected to Thermite Welding*, Thailand Rail Academic Symposium (TRAS 2017).
- Jilabi, A.S.J.A.Z. (2015). *Welding of Rail Steels*. PhD Thesis, The University of Manchester (United Kingdom).
- NIPPON STEEL CORPORATION. (2019). *Rail*. Japan. Retrieved from [www.nipponsteel.com /product/catalog_download/pdf/K003en.pdf](http://www.nipponsteel.com/product/catalog_download/pdf/K003en.pdf).
- Thermit Welding. (2015). *TheSkV-F Process*. Australia. Retrieved from www.thermit.com.au/_literature_121384/SkV
- Yamamoto, R., Terashita, Y., Tatsumi, M., Itoh, H., & Umenai, K. (2016). Investigation of Cause and Prevention Measures against Surface Defects on Thermit Welds, *Quarterly Report of RTRI*, 57(2), 112-117.