เทคโนโลยีการพอกผิวด้วยเลเซอร์เพื่อซ่อมบำรุงรางรถไฟ

Laser Cladding Technologies for Rail Maintenance

แหล่งทุน ฝ่ายบริหารวิจัยเพื่อสนับสนุนยุทธศาสตร์ชาติ สวทช.

หน่วยงานความร่วมมือ การรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.)

ระยะเวลา 1 Yr 6 months (15 กันยายน 2563 – 14 มีนาคม 2565)

หัวหน้าโครงการ หทัยพัฒน์ ค่อยประเสริฐ

ผู้ร่วมวิจัย

กิตติชัย นิลอ่อน	เฉลิมชัย สุคนเขตร์
ปนัดดา เช็พเพิร์ด	ไพบูลย์ วัฒนพรภัณฑ์
สิริวุฒิ เพ็ชร์สันทัด	เมทีย์ ไขลายหงส์
เอกรัตน์ ไวยนิตย์	ยุทธนันท์ ปุกเกตุ, มจพ.
พีระวัฒน์ นันทวราวงศ์, มจพ.	ภิสัก เลิศวิจิตรพันธุ์, มจพ.

บทคัดย่อ

ความเสียหายที่เกิดขึ้นบนรางรถไฟมีหลายประเภท ที่พบมากที่สุดคือการสึกหรอและ rolling contact fatigue ทั้งสองกลไกเป็นเหตุให้เกิดความเสียหายโดยเริ่มจากเกิดการสึกหรอด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอ การเสียรูปแบบพลาสติกลักษณะเป็นเส้นโค้ง รอยร้าวขนาดเล็ก รอยแตกใต้ผิวหน้าชิ้นงานและการหลุดออกเป็นเศษชิ้นเล็กๆ (spalling) และในบางกรณีที่สำคัญคือการเกิดรอยแตกผ่าเข้าไปในรางรถไฟ เมื่อรถไฟเคลื่อนที่ผ่านบริเวณรางรถไฟที่เสียหาย รถไฟจะลดความเร็วลง เพื่อป้องกันการตกราง เป็นเหตุให้การเดินรถไม่เป็นไปตามแผนการเดินรถที่ตั้งไว้ วิธีที่ประสบความสำเร็จและเป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางในการซ่อมรางรถไฟคือการเจียระไนที่หน้างานเพื่อปรับรูปร่างรางรถไฟซ้ำให้ได้รูปร่างรางเดิมและกำจัดรอยแตกสั้นๆ ก่อนที่รอยแตกนั้นจะขยายเข้าไปในเนื้อรางรถไฟ การเจียระไนผิวรางรถไฟเป็นผลให้ความหนาของรางรถไฟลดลงและสามารถทำได้เพียงไม่กี่ครั้งก่อนที่จะต้องตัดเปลี่ยนรางรถไฟบริเวณที่เสียหาย การเปลี่ยนรางรถไฟเป็นงานใหญ่ใช้ทั้งเวลาและงบประมาณจำนวนมาก มีการนำเทคโนโลยีการเชื่อมไฟฟ้าและการเชื่อมด้วยฟลักซ์คอร์มาใช้ในการซ่อมรางรถไฟ งานวิจัยเสนอการศึกษาเทคโนโลยีการพอกผิวด้วยเลเซอร์ ซึ่งอาจสามารถใช้ซ่อมบำรุงรางรถไฟในสถานที่ใช้งาน โดยเคลือบผิวเฉพาะบนบริเวณรอยสึก การซ่อมรางรถไฟด้วยวิธีนี้สามารถเติมเนื้อรางรถไฟให้มีขนาดเท่าขนาดของรางรถไฟก่อนใช้งาน คาดว่าการซ่อมด้วยวิธีนี้สามารถซ่อมซ้ำบริเวณเดิม สูญเสียเนื้อวัสดุน้อยและสามารถซ่อมบำรุงให้กลับมามีขนาดเหมือนแรกเริ่มก่อนใช้งาน ยืดอายุการใช้งานของรางรถไฟ การศึกษาในส่วนนี้จะใช้โลหะผสมกลุ่มเหล็กและโลหะผสมโคบอลต์เป็นวัสดุเคลือบ ศึกษา

เทคโนโลยีที่ใช้ในการสร้างผิวเคลือบ การปรับผิวเคลือบให้เรียบด้วยเลเซอร์และสมบัติพื้นฐานของวัสดุเคลือบเปรียบเทียบกับสมบัติของผิวเคลือบเหล็กจากการเชื่อมไฟฟ้าและการเชื่อมด้วยฟลักซ์คอร์ เมื่อทดสอบด้วย Pin-on-disc ผิวเคลือบเหล็กโครเมียมที่เคลือบด้วย laser cladding มีความต้านทานการสึกหรอสูงกว่าผิวเคลือบเหล็กกล้าประสมต่ำที่เคลือบด้วย SMAW ถึง 9 เท่า แต่มีค่าใช้จ่ายในการสร้างผิวเคลือบต่อวันสูงกว่า SMAW ถึง 11 เท่า ทั้งนี้ยังมีความคลาดเคลื่อนจากการเลือกใช้เครื่องมือ เช่น diode laser มีราคาถูกกว่า fiber laser เป็นต้น การทำ laser polishing บนผิวเคลือบเหล็กเครื่องมือที่เคลือบด้วย laser cladding ทำให้ผิวเคลือบมีความหยาบผิวประมาณ 1 ไมครอน Ra ซึ่งใกล้เคียงความหยาบผิวของการเจียระไนหัวรางรถไฟ ผลที่ได้จะเป็นแนวทางพิจารณาในทางเศรษฐศาสตร์และใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับงานวิจัยที่จะทำในเฟสถัดไปจากโครงการวิจัยนี้

ความสำคัญของโครงการ

ความเสียหายที่เกิดกับรางรถไฟส่วนมากพบในบริเวณที่รถไฟมีการเบรก ออกตัว เช่น บริเวณทางเข้าและออกสถานี บริเวณเนิน ลักษณะความเสียหายเป็นการเสียหายจากการสึกหรอ (Wear) และ Rolling Contact Fatigue (RCF) เมื่อบริเวณที่มีความเสียหายได้รับแรงกดจากการเคลื่อนที่ผ่านของรถไฟซ้ำๆกระทั่งมีความเสียหายมากขึ้น อาจนำไปสู่การเกิดอุบัติเหตุ เช่น รถไฟตกราง เมื่อรถไฟต้องเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่รางมีความเสียหายจึงต้องใช้ความเร็วต่ำลงเพื่อความปลอดภัย ทำให้ใช้เวลาขนส่งมากขึ้น การซ่อมบำรุงปัจจุบันใช้วิธีเจียระไนปรับผิวรางบริเวณที่สึกหรอและเพื่อลบรอยร้าวขนาดเล็ก เมื่อเจียระไนปรับผิวหลายครั้ง กระทั่งมีการเสียเนื้อรางรถไฟไปมาก จึงต้องตัดเปลี่ยนรางรถไฟทั้งเส้น ซึ่งต้องใช้งบประมาณและเวลาซ่อมบำรุงสูง ทีมวิจัยได้ข้อมูลจากการรถไฟแห่งประเทศไทยว่านอกจากการเจียระไนผิวรางรถไฟแล้ว การรถไฟแห่งประเทศไทยมีการให้ช่างภายในการรถไฟแห่งประเทศไทยเชื่อมไฟฟ้า (Shielded Metal Arc Welding, SMAW) เพื่อเติมเนื้อรางรถไฟทดแทนส่วนที่สึกหรอและมีการจ้างบริษัทภายนอกเชื่อมซ่อมผิวสันรางด้วยการเชื่อมแบบฟลักซ์คอร์ (Flux-Cored Arc Welding, FCAW) งานวิจัยนี้ต้องการนำเสนอเทคโนโลยีการซ่อมบำรุงรางรถไฟโดยการพอกผิวด้วยเลเซอร์ (Laser Cladding) และการปรับผิวให้เรียบด้วยเลเซอร์ (Laser polishing) โดยศึกษาความเหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิคและต้นทุนการซ่อมบำรุง เพื่อเป็นทางเลือกในการซ่อมบำรุงรางรถไฟ เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ผลกระทบจากความร้อนที่กระทำต่อชิ้นงานต่ำ สามารถเลือกวัสดุผิวเคลือบได้หลากหลาย การทำ laser polishing สามารถทำได้ต่อเนื่องหลังทำ laser cladding โดยใช้อุปกรณ์ชุดเดียวกัน ซึ่งจากการทดสอบการสึกหรอด้วย Pin-on-disc พบผิวเคลือบเหล็กโครเมียมที่เคลือบด้วย laser cladding มีความแข็งใกล้เคียงรางรถไฟและมีความต้านทานการสึกหรอสูงกว่าผิวเคลือบเหล็กจากการเชื่อมไฟฟ้าที่ใช้ซ่อม

บำรุงรางรถไฟในปัจจุบันถึง 9 เท่า และงานวิจัยสามารถทำ laser polishing ผิวเคลือบเหล็กเครื่องมือให้มีความหยาบผิวใกล้เคียงการเจียระไนผิวรางรถไฟด้วยเครื่องมือทางกล

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคการพอกผิวด้วยเลเซอร์ในการซ่อมบำรุงรางรถไฟ
2. สร้างองค์ความรู้ด้านการพอกผิวด้วยเลเซอร์ เปรียบเทียบสมบัติทางกลของผิวเคลือบกับผิวเคลือบที่ผลิตด้วยการเชื่อมแบบ FCAW SMAW และศึกษาความสามารถทางการยึดเกาะของผิวเคลือบด้วยเทคนิค scratch test
3. ฐานข้อมูลสมบัติทางกายภาพและทางกลของการพอกผิวด้วยเลเซอร์ และการเชื่อมแบบฟลักซ์คอร์บนชิ้นงานวัสดุรางรถไฟ

เป้าหมายของโครงการ

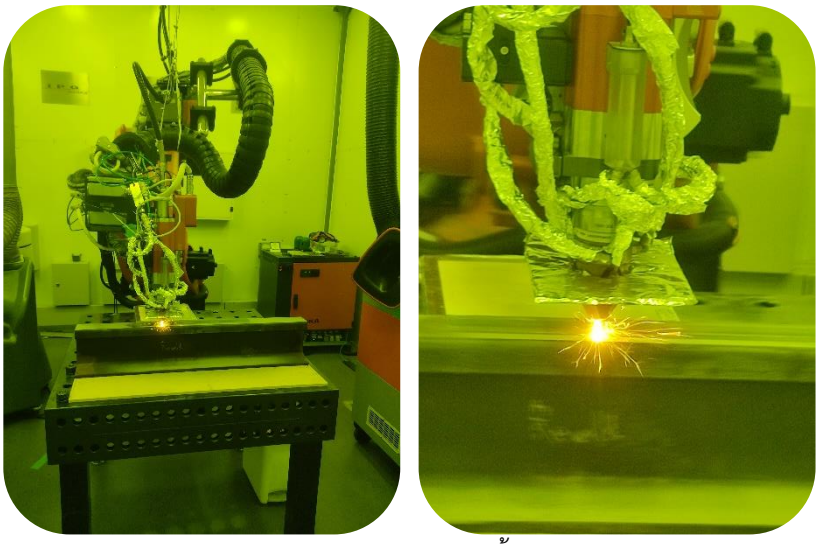
1. ข้อมูลเบื้องต้นทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในการตัดสินใจลงทุนกับเทคโนโลยีใหม่
2. ข้อมูลทางเทคนิคที่จะใช้ออกแบบแผนซ่อมบำรุงรางรถไฟ

ผลลัพธ์ของโครงการ

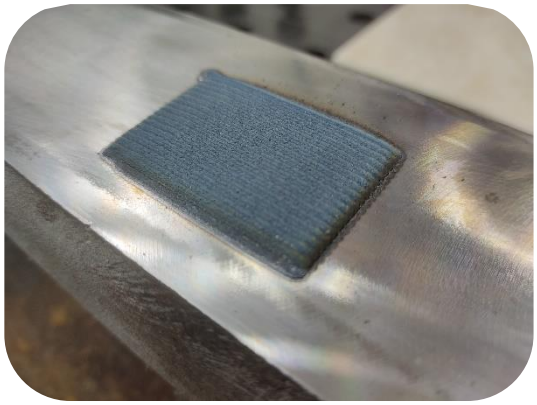
ปัจจุบันการเชื่อมซ่อมผิวรางเป็นการเชื่อม SMAW และ FCAW ผิวเคลือบจากการเชื่อม SMAW มีความแข็งต่ำกว่ารางรถไฟ ทำให้มีความต้านทานการสึกหรอต่ำ ทีมวิจัยได้พัฒนาต้นแบบผิวเคลือบเหล็กโครเมียมด้วย laser cladding เป็นผิวเคลือบที่มีโครงสร้างเป็นเหล็กออสเทไนต์ ความแข็งผิวเคลือบใกล้เคียงกับรางรถไฟ มีความต้านทานการสึกหรอสูงกว่าผิวเคลือบจากงานเชื่อม SMAW ประมาณ 9 เท่าเมื่อทดสอบการสึกหรอด้วย Pin-on-disc โดยกระบวนการพอกผิวด้วยเลเซอร์ (laser cladding) ต้องมีการปรับพารามิเตอร์ในการทำ laser cladding และ laser polishing ให้เหมาะสม เพื่อให้เกิดการยึดเกาะที่ดีกับ substrate และเกิดรูพรุนต่ำ

สรุป

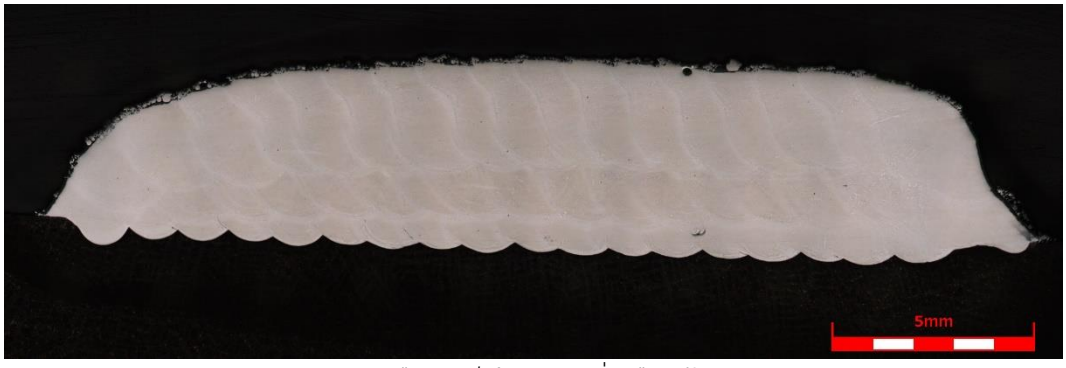
รางรถไฟเกิดความเสียหายได้จากหลายสาเหตุ ที่พบมากคือความเสียหายอันเริ่มมาจากการสึกหรอและ rolling contact fatigue ลักษณะความเสียหายเริ่มจากการเสียรูปแบบพลาสติก เกิดรอยร้าวขนาดเล็กจาก fatigue crack และในที่สุดรางรถไฟจะเกิดการหลุดเป็นเศษขนาดเล็ก (spalling) บริเวณที่พบความเสียหายประเภทนี้ เช่น บริเวณที่รถต้องจอดรอสัญญาน บริเวณทางขึ้นเนิน เป็นต้น เมื่อรถไฟเคลื่อนที่ผ่านบริเวณรางรถไฟที่เสียหาย รถไฟจะลดความเร็วลง เพื่อป้องกันการตกราง เป็นเหตุให้การเดินรถไม่เป็นไปตามแผนการเดินรถที่ตั้งไว้ วิธีที่ประสบความสำเร็จและเป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางในการซ่อมรางรถไฟคือการเจียระไนที่หน้างานเพื่อปรับรูปร่างรางรถไฟซ้ำให้ได้รูปร่างรางเดิมและกำจัดรอยแตกสั้นๆก่อนที่รอยแตกนั้นจะขยายเข้าไปในเนื้อรางรถไฟ การเจียระไนผิวรางรถไฟเป็นผลให้ความหนาของรางรถไฟลดลงและสามารถทำได้เพียงไม่กี่ครั้งก่อนที่จะต้องตัดเปลี่ยนรางรถไฟบริเวณที่เสียหาย ปัจจุบันมีการใช้เทคนิคการเชื่อมซ่อมด้วย SMAW และ FCAW ซ่อมผิวราง ซึ่งวัสดุที่ใช้เชื่อมซ่อมด้วย SMAW ที่ใช้กันอยู่มีความแข็งต่ำกว่ารางรถไฟ ทำให้เกิดการสึกหรอสูง แต่หากใช้วัสดุที่มีความแข็งสูงกว่ารางรถไฟมากก็จะมีผลต่อคู่สัมผัสคือล้อรถไฟและทำให้เกิดเสียงดังและเกิดการสั่นสะเทือนเมื่อเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่ผิวรางมีความแข็งแตกต่างกัน ส่วนเทคนิคการเชื่อมซ่อมด้วย FCAW เป็นเทคนิคที่ต้องอาศัยความชำนาญในการปรับพารามิเตอร์ในการเชื่อม ซึ่งจะเห็นได้จากในการทดลองเคลือบกับชิ้นงานขนาดเล็ก ผิวเคลือบที่ได้มีความแข็งใกล้เคียงกับรางรถไฟ สามารถทำงานได้โดยไม่ pre-heat แต่เมื่อขยายขนาดชิ้นงานไปสู่การเชื่อมลงบนผิวรางรถไฟ เมื่อไม่pre-heat ทำให้ผิวเคลือบเกิดการแตก จึงจำเป็นต้อง pre-heat และได้ผิวเคลือบมีโครงสร้างเป็นมาร์เทนไซต์ มีความแข็งสูงกว่ารางรถไฟมาก และมีรอยแตกในผิวเคลือบซึ่งตรวจสอบด้วย PT ไม่พบ การพอกผิวด้วยเลเซอร์สามารถเลือกวัสดุเคลือบได้หลากหลายเกรด ผิวเคลือบที่ได้มีความแข็งใกล้เคียงกับรางรถไฟ มีความต้านทานการสึกหรอสูงกว่าวัสดุเคลือบที่ใช้เชื่อมด้วย SMAW ถึง 9 เท่า แต่เมื่อประมาณค่าใช้จ่ายในการทำงานต่อวัน การพอกผิวด้วยเลเซอร์มีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการเชื่อมซ่อมด้วย SMAW ถึง 11 เท่า เทคนิคการพอกผิวด้วยเลเซอร์นี้จำเป็นต้อง optimize กระบวนการผลิตหน้างานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดค่าใช้จ่ายลง นอกจากนี้ทีมวิจัยทดสอบหาพารามิเตอร์ในการทำ laser polishing บนผิวเคลือบเหล็ก ในเบื้องต้นทดสอบด้วยเหล็กเครื่องมือสามารถใช้อุปกรณ์ในการทำ laser cladding ทำ laser polishing หลังจากการเคลือบผิวได้ทันที ความหยาบผิวที่ได้ประมาณ 1 ไมครอน Ra ซึ่งใกล้เคียงผิวรางรถไฟหลังเจียระไนด้วยเครื่องมือกล



การเคลือบ laser cladding บนชิ้นงานรางรถไฟ



ผิวเคลือบด้วย laser cladding



ภาคตัดขวางของผิวเคลือบเหล็กโครเมียมที่เคลือบด้วย laser cladding