



กรมการขนส่งทางราง
Department of Rail Transport

มขร. - C - 004 - 2565

มาตรฐานรางเชื่อมยาว

(Continuous Welded Rail)



กองมาตรฐานความปลอดภัยและบำรุงทาง



514/1 Lon Luang Road, Dusit,
Bangkok, Thailand 10300



<http://www.drt.go.th/>



Facebook/DRT.OfficialFanpage



มขร. – C – 004 – 2565

มาตรฐานรางเชื่อมยาว (Continuous Welded Rail)

1. ทั่วไป

1.1 หลักการพื้นฐาน

รางเชื่อมยาวหมายถึงรางที่นำมาต่อกันและถูกเชื่อมปลายรางเข้าด้วยกัน โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อลดแรงกระแทกบริเวณรอยต่อรางและทำให้รถไฟวิ่งผ่านได้อย่างราบเรียบ ซึ่งหลังจากที่รางเชื่อมยาวถูกติดตั้งเข้ากับทางรถไฟแล้ว ชุดอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวจะยึดไม่ให้รางเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระตามแนวยาว พฤติกรรมดังกล่าวจะทำให้เกิดหน่วยแรงบนหน้าตัดรางขึ้นหากมีแรงที่มากกระทำต่อราง เช่น การยึดหดตัวของราง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ การเร่งและเบรกของรถไฟ และการเคลื่อนตัวของสะพานที่จะส่งถ่ายแรงในแนวยาวเข้าสู่ทางรถไฟ เป็นต้น

ในกรณีที่หน่วยแรงตามแนวยาวของรางมีค่าสูงเกินค่ากำลังต้านทานการโก่งตัวของทางรถไฟนั้น ความเสี่ยงที่รางจะเกิดการโก่งเตาะออกด้านข้างก็จะมีมากขึ้น โดยในการออกแบบก่อสร้างและซ่อมบำรุงทางรถไฟที่ใช้รางเชื่อมยาวนั้น จะต้องควบคุมให้หน่วยแรงตามยาวที่เกิดขึ้นในรางมีค่าต่ำกว่าพิกัดกำลังต้านทานของทางรถไฟ รวมทั้ง ต้องมีการตรวจสอบถึงสภาพของทางรถไฟให้สมบูรณ์เพื่อแน่ใจว่ากำลังต้านทานต่อแรงกระทำด้านข้างของทางรถไฟขณะใช้งานนั้น มีค่าเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์และออกแบบเพื่อควบคุมพฤติกรรมของทางรถไฟที่ใช้รางเชื่อมยาว

1.3 ขอบเขต

มาตรฐานนี้ใช้สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบทางรถไฟที่ใช้รางเชื่อมยาวของทางรถไฟขนาด 1.000 เมตร และ 1.435 เมตร (อ้างอิงตามมาตรฐาน มขร. – C – 001 - 2564 มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ (Track Classification Standard)) โดยแบ่งตามประเภท ดังนี้

1) ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางในเมือง (Urban Passenger Rail, UPR)

1.1 ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางหลักในเมือง (Urban Passenger Heavy Rail, UPHR) คือทางรถไฟที่รองรับระบบขนส่งทางรางที่ให้บริการผู้โดยสารในเส้นทางรถไฟฟ้ามวลชนในเมืองโดยมีคุณลักษณะสำคัญ ดังนี้

- ความเร็วสูงสุดในการให้บริการ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- ประเภทของการขนส่ง รถขนส่งผู้โดยสาร
- น้ำหนักลงเพลาสูงสุดไม่เกิน 25 ตัน
- ขนาดทาง 1.435 เมตร



1.2 ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางระบบรอง (Urban Passenger Feeder Rail, UPFR) คือ ทางรถไฟที่รองรับระบบขนส่งทางรางที่ให้บริการผู้โดยสารในเส้นทางรถไฟฟ้ามวลชนระบบรอง เช่น รถไฟฟ้ารางเบา และรถไฟรางเดี่ยว เป็นต้น โดยมีคุณลักษณะสำคัญ ดังนี้

- ความเร็วสูงสุดในการให้บริการ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- ประเภทของระบบขนส่ง รถขนส่งผู้โดยสาร
- น้ำหนักลงเพลาสูงสุดไม่เกิน 12 ตัน
- ขนาดทาง เป็นไปตามคุณลักษณะของผู้ผลิต (Product Specifications)

2) ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางชานเมือง (Commuter Passenger Rail, CPR)

ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางชานเมือง คือ ทางรถไฟที่รองรับระบบขนส่งทางรางที่ให้บริการผู้โดยสารในแนวเส้นทางรถไฟชานเมืองโดยมีคุณลักษณะสำคัญ ดังนี้

- ความเร็วสูงสุดในการให้บริการ 160 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- ประเภทของระบบขนส่ง รถขนส่งผู้โดยสาร
- น้ำหนักลงเพลาสูงสุดไม่เกิน 25 ตัน
- ขนาดทาง มีสองขนาดทางคือ 1.000 เมตร และ 1.435 เมตร

3) ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางระหว่างเมือง (Intercity Rail, IR)

ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางระหว่างเมือง คือทางรถไฟที่รองรับระบบขนส่งทางรางที่ให้บริการขนส่งสินค้าและผู้โดยสารในแนวเส้นทางรถไฟระหว่างเมือง โดยสามารถแบ่งประเภทของทางรถไฟย่อยลงได้อีกตามข้อกำหนดของการรถไฟแห่งประเทศไทย และแนวเส้นทางรถไฟความเร็วปานกลาง และรถไฟความเร็วสูง ดังนี้

3.1) ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งสินค้าระหว่างเมือง (Intercity Freight Rail, IFR)

- ความเร็วสูงสุดในการให้บริการ 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- ประเภทของระบบขนส่ง รถขนส่งสินค้า
- น้ำหนักลงเพลาสูงสุดไม่เกิน 20 ตัน
- ขนาดทาง 1.000 เมตร

3.2) ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งมวลชนระหว่างเมือง (Intercity Passenger Rail, IPR)

- ความเร็วสูงสุดในการให้บริการ 120 - 160 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- ประเภทของระบบขนส่ง รถขนส่งผู้โดยสาร
- น้ำหนักลงเพลาสูงสุดไม่เกิน 20 ตัน
- ขนาดทาง 1.000 เมตร

3.3) ทางรถไฟความเร็วสูงปานกลาง (Intercity Rapid-speed Rail, IRR)

- ความเร็วสูงสุดในการให้บริการ ระหว่าง 140 ถึง 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- ประเภทของระบบขนส่ง รถขนส่งผู้โดยสาร, รถขนส่งสินค้า



- น้ำหนักลงเพลาสูงสุดไม่เกิน 25 ตัน หรือเป็นไปตามมาตรฐาน EN1991-2 Eurocode

1: Actions on Structures - Part 2: Traffic Loads on Bridges (Load Model 71)

- ขนาดทาง 1.435 เมตร

3.4) ทางรถไฟความเร็วสูง (Intercity High-speed Passenger Rail, IHPR)

- ความเร็วสูงสุดในการให้บริการ มากกว่า 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- ประเภทของระบบขนส่ง รถขนส่งผู้โดยสาร
- น้ำหนักลงเพลาสูงสุดไม่เกิน 25 ตัน หรือเป็นไปตามมาตรฐาน EN1991-2 Eurocode

1: Actions on Structures - Part 2: Traffic Loads on Bridges (Load Model 71)

- ขนาดทาง 1.435 เมตร

4) ทางรถไฟสำหรับการปฏิบัติการในย่าน (Yard Operations)

ทางรถไฟสำหรับการปฏิบัติการในย่านสำหรับทางรถไฟทุกประเภทกำหนดความเร็วสูงสุดไม่เกิน 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

1.4 มาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิง (Normative References)

- มขร. - C - 001 - 2564 มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ (Track Classification Standard)
- มขร. - C - 002 - 2564 มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง สำหรับทางขนาด 1,435 มิลลิเมตร (Ballastless Track Design)
- UIC 774 - 3R. "Track/bridge Interaction Recommendations for calculations"

2. สัญลักษณ์

สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการศึกษามาตรฐานรางเชื่อมยาว แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการศึกษา

สัญลักษณ์	ความหมาย
σ_c	ค่าที่ยอมให้มากที่สุดของส่วนเพิ่มเติมหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในรางเชื่อมยาว (The Maximum Permissible Additional Compressive Rail Stress)
σ_t	ค่าที่ยอมให้มากที่สุดของส่วนเพิ่มเติมหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในรางเชื่อมยาว (The Maximum Permissible Additional Tensile Rail Stress)
Δ_{rel}	ค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ (Relative Displacement)
Δ_{max}	ค่าการเคลื่อนที่มากที่สุด (Maximum Displacement)
R	ค่ารัศมีความโค้งของทางรถไฟ



3. หลักการพื้นฐานของการออกแบบทางรถไฟที่ติดตั้งรางเชื่อมยาว

ในการแยกประเภทของรางสั้นกับรางเชื่อมยาวนั้น จะพิจารณาถึงการยึดหดตัวไปตามแนวยาวของราง หากรางมีการยึดหดตัวได้อย่างอิสระไปตลอดความยาวโดยไม่ทำให้เกิดหน่วยแรงขึ้น จะสามารถพิจารณารางดังกล่าวให้เป็นรางสั้นได้ และในอีกด้านหนึ่งสำหรับรางเชื่อมยาวนั้นการยึดหดตัวของรางจะทำให้เกิดหน่วยแรงบนหน้าตัดรางซึ่งต้องมีการควบคุมขนาดของหน่วยแรงดังกล่าว เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น โดยในมาตรฐานฉบับนี้ รางเชื่อมยาว คือ รางที่ยาวต่อเนื่องกันตั้งแต่ 90 เมตรขึ้นไป ซึ่งรางเชื่อมยาวจะมีหลักการในการออกแบบ ดังนี้

1) หลักการของการวิเคราะห์และออกแบบมาจากการความสัมพันธ์ระหว่างทางรถไฟกับโครงสร้าง โดยพิจารณาด้านความปลอดภัยจากโก่งตัวด้านข้างซึ่งเป็นผลจากหน่วยแรงที่เกิดขึ้นไปตามแนวยาวของรางเชื่อมยาว

2) ทางรถไฟบนพื้นดินและในอุโมงค์จะมีความแตกต่างจากทางรถไฟที่วางบนสะพาน เนื่องจากทางรถไฟบนพื้นดินและในอุโมงค์จะมีปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับเสถียรภาพของรางเชื่อมยาวคือ ความต้านทานต่อการเสียดสีทางด้านยาวและด้านข้าง รวมไปถึงรัศมีโค้งของทางรถไฟ แต่ในส่วนของสะพานจะมีการเคลื่อนที่ของโครงสร้างซึ่งจะส่งผลต่อหน่วยแรงและเสถียรภาพในรางเชื่อมยาวเพิ่มเข้ามา

3) โปรแกรมการวิเคราะห์ทางรถไฟแบบรางเชื่อมยาวจะใช้พื้นฐานของการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยโปรแกรมที่นำมาวิเคราะห์นั้น จะต้องมีการสอบเทียบกับผลการวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือ

4) มาตรฐาน UIC 774 - 3R, "Track/bridge Interaction Recommendations for calculations" อาจใช้อ้างอิงสำหรับข้อมูลเพิ่มเติมที่ไม่ได้อธิบายไว้ในมาตรฐานนี้

๔. แนวทางปฏิบัติในการก่อสร้างทางรถไฟที่ติดตั้งรางเชื่อมยาว

การก่อสร้างทางรถไฟที่ใช้รางเชื่อมยาวจะมีแนวทางปฏิบัติ ดังนี้

1) อุณหภูมิปกติของสภาพแวดล้อมในการวางรางเชื่อมยาว หากมีการวางรางที่อุณหภูมิแตกต่างจากอุณหภูมิมากลางมากเกินไป 5 องศาเซลเซียส จะต้องมีการควบคุมหน่วยแรงของรางก่อนติดตั้งและต้องมีการตรวจสอบรับรองจากผู้รับผิดชอบ ทั้งนี้ หากมีข้อมูลทางสถิติของอุณหภูมิในแต่ละพื้นที่ จะอนุญาตให้ใช้ค่าเฉลี่ยเป็นอุณหภูมิมากลางได้

2) รางเชื่อมยาวบนทางรถไฟบนหินโรยทางจะต้องมีรัศมีโค้งตั้งแต่ 400 เมตรขึ้นไป และทางรถไฟช่วงที่มีรัศมีน้อยกว่า 600 เมตร จะต้องมีการทดสอบว่าทางรถไฟมีความต้านทานด้านข้างที่เพียงพอ

3) ทางโค้งบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความลาดชันต้องมีรัศมีโค้ง 3,000 เมตรขึ้นไป



4) การออกแบบทางรถไฟที่ใช้รางเชื่อมยาวควรหลีกเลี่ยงสะพาน(เหล็ก) ที่มีความยาวรวมกันเกิน 25 เมตรขึ้นไป ในกรณีที่หลีกเลี่ยงไม่ได้จะต้องมีการวิเคราะห์และตรวจสอบความต้านทานตามแนวยาวและตามขวางของทางรถไฟ รวมไปถึงหน่วยแรงตามยาวในรางและการเคลื่อนตัวของสะพานโดยละเอียด

5) หลีกเลี่ยงการวางรางเชื่อมยาวบริเวณโค้งต่อเนื่องที่มีรัศมีต่ำกว่า 1,500 เมตร

6) ในกรณีที่วางรางเชื่อมยาวในอุโมงค์จะต้องทำรางเชื่อมยาวบริเวณอุโมงค์ให้แยกต่างหากแต่ในอุโมงค์สั้นๆ ที่สภาพอากาศภายนอกและภายในอุโมงค์ไม่ต่างกันมาก อาจวางรางเชื่อมยาวต่อเนื่องกับทางรถไฟภายนอกได้

7) ควรหลีกเลี่ยงการวางรางเชื่อมยาวในบริเวณที่สภาพของทางรถไฟไม่สมบูรณ์

5. คุณสมบัติของทางรถไฟที่ติดตั้งรางเชื่อมยาว

เพื่อป้องกันการโก่งและการขยายตัวที่มากเกินไปในโครงสร้างทางรถไฟ องค์ประกอบของทางรถไฟจะต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

1) โดยทั่วไปแล้วบริเวณปลายทั้งสองข้างของรางเชื่อมยาวจะยอมให้รางเกิดการยึดหดตัวได้ตามแนวยาว โดยอาจมีการติดตั้งอุปกรณ์เช่น จุดต่อเพื่อขยาย (expansion joint) เป็นต้น

2) รางเชื่อมยาวควรวางบนหมอนคอนกรีตเพื่อให้ทางรถไฟมีความแข็งแรง (track stiffness) ที่เพียงพอ

3) ในกรณีของทางรถไฟบนพื้นดินและอุโมงค์ที่มีความต่อเนื่องกับสะพานจำเป็นต้องมีการจัดการหน่วยแรงตามยาวในรางเชื่อมยาวเนื่องจากการเสวยรูปและเคลื่อนที่ของสะพาน

4) รางต้องเป็นรางใหม่และต้องมีการตรวจสอบคุณภาพอย่างละเอียดก่อนนำมาก่อสร้าง

5) หมอนจะต้องจัดวางให้มีความต้านทานต่อแรงกระทำด้านข้างมากกว่า 500 กิโลกรัมต่อเมตร

6) พื้นทางจะต้องมีการตรวจสอบความกว้างและความหนาที่เพียงพอก่อนติดตั้งรางเชื่อมยาว ในกรณีที่จำเป็นอาจต้องมีการตรวจสอบความต้านทานต่อแรงกระทำด้านข้าง ซึ่งต้องมีค่ามากกว่า 500 กิโลกรัมต่อเมตร

7) อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวของทางรถไฟบริเวณสะพานจะต้องมีความต้านทานที่เพียงพอต่อแรงกระทำทางด้านข้างรวมถึงแรงยกที่อาจเกิดขึ้นบนรางบริเวณสะพาน ทั้งนี้ ตอม่อของสะพานจะต้องถูกออกแบบให้สามารถต้านทานต่อแรงกระทำตามแนวยาวที่เกิดขึ้นจากทางรถไฟได้ด้วยเช่นกัน



6. การวิเคราะห์พฤติกรรมของทางรถไฟที่ติดตั้งรางเชื่อมยาว

6.1 ทางรถไฟบนพื้นดินคั่นทาง

- ในกรณีของทางรถไฟที่วางบนพื้นดินทั่วไปจะพิจารณาถึงแรงที่เพิ่มขึ้นตามแนวแกนเนื่องจากการขยายตัวและการหดตัวของรางเชื่อมยาวที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในบริเวณนั้น จะต้องมีการวิเคราะห์และตรวจสอบเสถียรภาพของทางรถไฟบริเวณที่มีรัศมีโค้งต่ำสุด

- การประมาณความต้านทานของทางรถไฟต่อแรงกระทำด้านข้าง

- หลักการของการวัดค่าความต้านทานต่อแรงกระทำด้านข้างคือการตรวจวัดโดยให้แรงกระทำด้านข้างต่อทางรถไฟและตรวจสอบค่าการเคลื่อนตัวด้านข้าง

- ค่าความต้านทานด้านข้างจะตรวจวัดเมื่อหมอนรถไฟเคลื่อนที่ออกด้านข้างเป็นระยะ 2 มิลลิเมตร โดย 70 เปอร์เซ็นต์ ของแรงที่กระทำถือเป็นค่าความต้านทานด้านข้างของทางรถไฟ

- หากไม่สามารถวัดค่าความต้านทานด้านข้างของทางรถไฟอาจใช้สมการคำนวณหรือใช้การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยต้องมีการสอบเทียบความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์

6.2 ทางรถไฟบริเวณอุโมงค์

หลักการของการวิเคราะห์รางเชื่อมยาวในบริเวณอุโมงค์เหมือนกับการวิเคราะห์รางเชื่อมยาวบนพื้นดินคั่นทาง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของรางเชื่อมยาวในช่วงอุโมงค์จะมีอาณาเขต 100 เมตรจากปลายอุโมงค์ และมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ± 20 องศาเซลเซียส

6.3 ทางรถไฟบริเวณสะพานหรือทางยกระดับ

การวิเคราะห์รางเชื่อมยาวที่วางตัวอยู่บนสะพานจะต้องคำนึงถึงปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างรางเชื่อมยาวกับโครงสร้างสะพานพฤติกรรมดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากการที่รางและสะพานถูกยึดติดกันทำให้ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ โดยเมื่อรางเชื่อมยาวถูกติดตั้งไว้บนสะพานพฤติกรรมของตัวสะพานนั้นจะได้รับผลจากการส่งถ่ายแรงและการเคลื่อนตัวของรางเชื่อมยาวในทางกลับกันรางเชื่อมยาวก็จะได้รับผลกระทบจากพฤติกรรมการเสีรูปจากการรับน้ำหนักของตัวสะพานเช่นกัน ทั้งนี้ ในการวิเคราะห์พฤติกรรมดังกล่าวจะต้องจำลองพฤติกรรมการถ่ายแรงกันระหว่างทางรถไฟและสะพานได้อย่างเหมาะสมและสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของราง อุปกรณ์ยึดเหนี่ยว จุดต่อเพื่อขยาย หินโรยทาง แผ่นพื้นคอนกรีตและคั่นทาง ตามที่กำหนดไว้ใน มขร. - C - 002 - 2564 มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง สำหรับทางขนาด 1,435 มิลลิเมตร (Ballastless Track Design)



- แรงกระทำที่ต้องคำนึงถึงในการวิเคราะห์รางเชื่อมยาวบนสะพานคือ แรงจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของรางและสะพาน แรงเนื่องจากความเร่งและการเบรกของรถไฟ แรงในแนวยาวบนรางที่เกิดจากการแอ่นตัวของสะพาน

- พฤติกรรมของสะพานจะต้องคำนึงถึงการแอ่นตัวหรือการเสีรูปของโครงสร้างส่วนบน (superstructures) รวมไปถึงความแข็งแรงและการขยับตัวของโครงสร้างส่วนล่าง (substructures) เช่น จุดรองรับ (bearing) ตอม่อ (pier) ด้วยเช่นกัน

- การใช้โปรแกรมช่วยวิเคราะห์พฤติกรรมปฏิสัมพันธ์ จะต้องมีการสอบเทียบความถูกต้องของผลลัพธ์ โดยอ้างอิงกับมาตรฐาน UIC 774 - 3R, "Track/bridge Interaction Recommendations for calculations"

7. ข้อกำหนดในการออกแบบทางรถไฟที่ติดตั้งรางเชื่อมยาว

ทางรถไฟที่ใช้รางเชื่อมยาวจะต้องถูกออกแบบให้สามารถต้านทานปัจจัยต่างๆ โดยหน่วยแรงสูงสุดและการเคลื่อนที่ ๆ เกิดขึ้นจากการรวมกันของทุกกรณี จะต้องไม่เกินค่าที่กำหนด

7.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

- สำหรับการวิเคราะห์ทางรถไฟที่วางบนพื้นดิน ค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของราง ± 30 องศาเซลเซียส ในบริเวณเปิดและ ± 20 องศาเซลเซียส ในบริเวณอุโมงค์

- สำหรับการวิเคราะห์ทางรถไฟที่วางบนสะพาน ค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของรางบนสะพาน ± 50 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของสะพาน ± 35 องศาเซลเซียส

- ค่าอุณหภูมิที่ต่างกันของสะพานและราง (relative temperature) ไม่เกิน ± 20 องศาเซลเซียส (ในกรณีที่ติดตั้งจุดต่อเพื่อขยาย)

7.2 แรงจากการเร่งและเบรกของรถไฟ

- ค่าแรงในแนวยาวจากการเร่งของรถไฟ 33 กิโลนิวตันต่อเมตรต่อหนึ่งช่องทางรถไฟ โดยค่าแรงสูงสุดไม่เกิน 1,000 กิโลนิวตัน

- ค่าแรงในแนวยาวจากการเบรกของรถไฟ 20 กิโลนิวตันต่อเมตรต่อหนึ่งช่องทางรถไฟ โดยค่าแรงสูงสุดไม่เกิน 6,000 กิโลนิวตัน

- ค่าทั้งสองข้างต้นนั้นอ้างอิงจากทางรถไฟขนาดมาตรฐาน (1.435 เมตร) หากทางรถไฟมีคุณสมบัติแตกต่างไปจากนี้ต้องทำการระบุโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

7.3 แรงกระทำแนวตั้งบนสะพาน

ใช้ค่าน้ำหนักบรรทุกทุกเท่ากับการออกแบบสะพาน



7.4 ค่าหน่วยแรงเพิ่มเติมที่ยอมให้เกิดในรางเชื่อมยาว

1) ค่าที่ยอมให้มากที่สุดของส่วนเพิ่มเติมในหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในรางเชื่อมยาวบนทางรถไฟแบบใช้หินโรยทาง สามารถแบ่งได้ตามความกว้างของรัศมีโค้งดังนี้

- $R \geq 1,500$ เมตร $\sigma_c = 72$ นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร
- $R \geq 700$ เมตร $\sigma_c = 58$ นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร
- $R \geq 600$ เมตร $\sigma_c = 54$ นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร
- $R \geq 300$ เมตร $\sigma_c = 27$ นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

2) ค่าที่ยอมให้มากที่สุดของส่วนเพิ่มเติมในหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในรางเชื่อมยาวบนทางรถไฟแบบใช้หินโรยทาง เท่ากับ $\sigma_t = 92$ นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

3) ค่าที่ยอมให้มากที่สุดของส่วนเพิ่มเติมในหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในรางเชื่อมยาวบนทางรถไฟแบบไม่ใช้หินโรยทาง $\sigma_c = 92$ นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

4) ค่าที่ยอมให้มากที่สุดของส่วนเพิ่มเติมในหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในรางเชื่อมยาวบนทางรถไฟแบบไม่ใช้หินโรยทาง เท่ากับ $\sigma_t = 92$ นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

5) ค่าที่กำหนดข้างต้นนั้นอ้างอิงจากทางรถไฟขนาดมาตรฐาน 1.435 เมตร และใช้รางหน้าตัด UIC 60 ทั้งนี้หากทางรถไฟมีคุณสมบัติแตกต่างไปจากนี้ต้องทำการระบุโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

7.5 ค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดที่ยอมให้

1) ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ในแนวยาวสูงสุดที่ยอมให้ (relative displacement) ระหว่างรางกับตัวสะพานหรือคันทาง (embankment) ภายใต้แรงเนื่องจากการเบรกหรือความเร่ง เท่ากับ $\Delta_{rel} \pm 4$ มิลลิเมตร

2) ค่าการเคลื่อนตัวตามแนวยาวของตัวสะพานที่ยอมให้มากที่สุด (absolute displacement) ภายใต้แรงเนื่องจากการเบรกหรือความเร่ง คือ $\Delta_{max} \pm 5$ มิลลิเมตร เมื่อรางเชื่อมยาววางพาดอยู่ระหว่างปลายทั้งสองด้านหรือข้างใดข้างหนึ่งของบริเวณเชื่อมต่อ (transition zone) ระหว่างสะพานและคันทาง หากรางเชื่อมยาววางตัวอยู่บนโครงสร้างทางชนิดใช้หินโรยทางร่วมกับจุดต่อเพื่อขยาย ค่าการเคลื่อนตัวตามแนวยาวของตัวสะพานที่ยอมให้มากที่สุดภายใต้แรงเนื่องจากการเบรกหรือความเร่งจะมีค่าเท่ากับ $\Delta_{max} \pm 30$ มิลลิเมตร

7.6 การเคลื่อนที่บริเวณปลายของคานสะพาน

บริเวณปลายของสะพานจะมีการเคลื่อนตัวอันเนื่องมาจากการหมุนที่ปลาย รวมทั้งจากพฤติกรรมการรับแรงของจตุรรองรับ โดยจะส่งผลให้มีการเคลื่อนตัวทั้งในแนวดิ่งและแนวราบ ซึ่งต้องมีการกำหนดค่าสูงสุดโดยผู้รับผิดชอบ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเคลื่อนตัวที่สูงเกินซึ่งจะส่งผลต่อเสถียรภาพและความปลอดภัยของทางรถไฟได้



7.7 การคลายความเค้นของราง (destressing)

ในทางปฏิบัติแล้วเป็นการยากที่จะควบคุมอุณหภูมิในขณะการวางรางหรือการใส่เครื่องยึดเหนี่ยวรางให้อยู่ภายในอุณหภูมิกลางสำหรับการวางรางตามที่กำหนด ดังนั้น การคลายความเค้นของรางจึงเป็นการคลายความเค้นที่เกิดขึ้นในรางเนื่องจากอุณหภูมิที่ต่างกันขณะปฏิบัติงาน โดยจะกระทำเป็นช่วงๆ ระหว่างสถานีเฉลี่ยช่วงละประมาณ 1,000 เมตร

- ขั้นตอนการคลายความเค้นของราง (destressing) แบ่งเป็นระบบขนส่งทางรางในเมือง และระบบขนส่งทางรางระหว่างเมือง ดังนี้

- ขั้นตอนก่อนปิดทาง สำหรับระบบขนส่งทางรางในเมือง

- 1) ทำการปักป้ายเตือนทางต้นทางและปลายทางของพื้นที่ทำงานก่อนทำการปิดทาง
- 2) ทำการวัดระยะความที่จะทำการคลายความเค้นของราง ซึ่งเท่ากับ ด้านต้นทาง 50 เมตร และด้านปลายทาง 50 เมตร
- 3) วัดระยะกำหนดจุดทุก ๆ 50 เมตร เพื่อวัดระยะเคลื่อนตัวของรางถ้าเคลื่อนตัวไปปลายทางเป็นลบ (-) และหากเคลื่อนที่ไปทางต้นทางให้มีค่าเป็นบวก (+)
- 4) จัดเตรียมทีมปฏิบัติงานออกเป็น 2 ชุด พร้อมอุปกรณ์ทำงานทางด้านซ้ายและขวาของพื้นที่ทำงานเท่าๆ กัน
- 5) ทำการถอดเครื่องยึดเหนี่ยวรางออก โดยทำการถอดออกจากหมอนจำนวน 2 หมอน เว้น 1 หมอน ในทิศทางเข้าหาจุดกึ่งกลาง

- ขั้นตอนก่อนปิดทาง สำหรับระบบขนส่งทางรางระหว่างเมือง

- 1) ทำการปักป้ายเตือน และ ป้ายเบาทาง 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง ทางต้นทางและปลายทางของพื้นที่ทำงานก่อนทำการปิดทาง
- 2) ทำการปรับหินให้อยู่เสมอหลังหมอนบริเวณที่ทำการถอด ใส่เครื่องยึดเหนี่ยวราง
- 3) ทำการวัดระยะความยาวของพื้นที่เสมอ ซึ่งเท่ากับ ด้านต้นทาง 50 เมตร และด้านปลายทาง 50 เมตร
- 4) วัดระยะกำหนดจุดทุก ๆ 50 เมตร เพื่อวัดระยะเคลื่อนตัวของรางถ้าเคลื่อนตัวไปปลายทางเป็นลบ (-) และหากเคลื่อนที่ไปทางต้นทางให้มีค่าเป็นบวก (+)
- 5) จัดเตรียมทีมปฏิบัติงานออกเป็น 2 ชุด พร้อมอุปกรณ์ทำงานทางด้านซ้ายและขวาของพื้นที่ทำงานเท่าๆ กัน



6) ทำการถอดเครื่องยึดเหนี่ยวรางออก โดยทำการถอดออกจากหมอนจำนวน 2 หมอน เว้น 1 หมอน ในทิศทางเข้าหาจุดกึ่งกลาง

• ขั้นตอนเมื่อปิดทาง

1) ทำการวัดอุณหภูมิราง โดยติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิราง (rail thermometer) ไว้ที่เอวราง ด้านที่ไม่ถูกแสงแดด จำนวน 3 จุด คือ จุดกึ่งกลาง และจุดระหว่างจุดยึดรั้งกับจุดกึ่งกลางทั้งสองด้าน อย่างน้อย 10 นาที จึงเริ่มบันทึกอุณหภูมิราง ทุก ๆ 30 นาที

2) กำหนดจุดสังเกตอ้างอิง (reference point) โดยใช้ซอล์คสีขาวหรือสีขาวขีดเส้นบนขอบฐานราง และแผ่นจานรองรางให้ตรงกัน และ เลยออกไปถึงหมอนคอนกรีต โดยกำหนดจุด 1, 2, 3, 4 ทั้งนี้ จุดที่ 1 ควรอยู่ปลายของสมอพอดี ส่วนจุดที่ 2 และ 3 ให้ห่างเป็นระยะเท่า ๆ กัน เช่น ทุกระยะ 50 เมตร หรือ 100 เมตร เป็นต้น ในขั้นตอนนี้ต้องรีบดำเนินการทันทีเพราะจุดที่จะดึงรางกำลังที่จะเริ่มดำเนินการ

3) ทำการถอดเครื่องยึดเหนี่ยวออกให้หมด ยกเว้นในช่วงที่กำหนดให้เป็นที่ยึดให้กับเครื่องดึงราง

4) ทำการตัดรางที่จุด C ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งจุดนี้เป็นจุดที่อยู่กึ่งกลางของความยาวที่จะทำการคลายความเค้นของราง คือ $L_1 + L_2$ รอยตัดต้องอยู่ห่างจากรอยเชื่อมเดิมไม่น้อยกว่า 4.5 เมตร และกรณีที่ต้องทำการตัดรางเอียงกันกับรางอีกเส้น ให้มีระยะเอียงกันได้ไม่เกิน 3 เมตร

5) ทำการรองรางด้วยล้อเลื่อน (roller) ระหว่างฐานรางกับแผ่นรองราง (rail pad) ให้ฐานรางลอยตัวอยู่บนล้อเลื่อนตลอดทั้งเส้นที่ทำกรปลดเครื่องยึดเหนี่ยว ทำการเคาะรางด้วยเครื่องเคาะรางหรือ ค้อนยางเคาะที่เอวรางตลอดในทิศทางเข้าหากันด้วยความเร็วที่สม่ำเสมอพร้อมกันทั้งสองด้าน

6) ทำการคำนวณอุณหภูมิรางเฉลี่ยจากค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิราง 3 จุด คือ จุดกึ่งกลาง และจุดระหว่างจุดยึดรั้งกับจุดกึ่งกลางทั้งสองด้าน เพื่อทำการหาขนาดช่องว่างที่ต้องการจากสมการ 1

$$e = 1000 \times L \times \alpha \times \Delta t \quad (1)$$

โดยที่	e	คือ ระยะหดตัวของราง (มิลลิเมตร)
	L	คือ ความยาวของราง (เมตร)
	α	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การหดตัวของราง ประมาณ 0.0000115 เมตร/องศาเซลเซียส
	Δt	คือ อุณหภูมิรางที่แตกต่างจากอุณหภูมิกลางในการวางราง (องศาเซลเซียส)

โดย มีความยาวช่องว่างรวมทั้งหมด ดังสมการ (2)

$$E = e_1 + e_2 + 25 \text{ มิลลิเมตร} \quad (2)$$

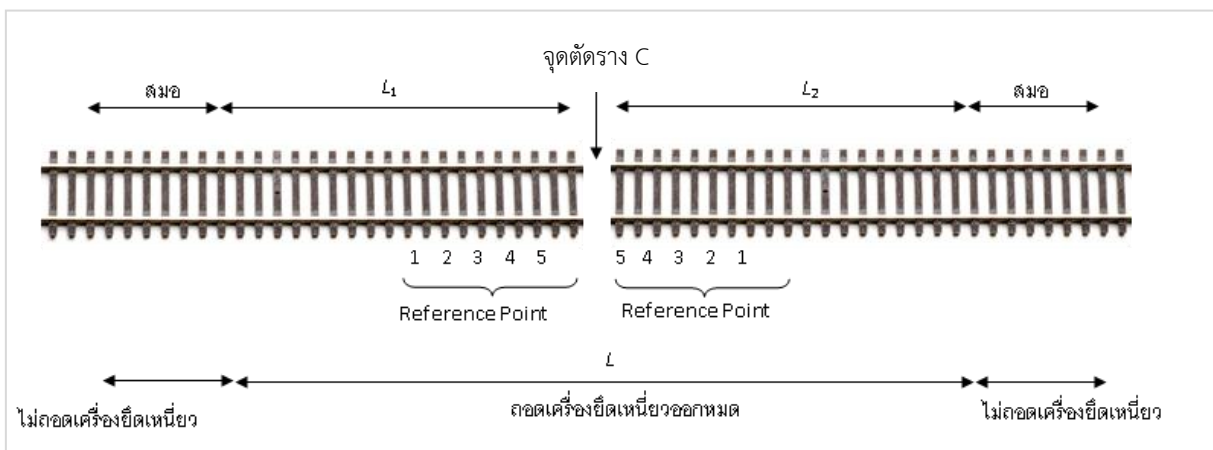
ตัดราง และ จัดช่องว่างหัวรางให้ได้ค่า E ตามสมการด้านบน โดยหากความกว้างของช่องว่างที่เกิดขึ้นน้อยกว่าที่คำนวณได้ ให้ตัดรางส่วนที่เกินออก

7) ทำการติดตั้งเครื่องดึงราง (rail tensor) จากนั้นทำการดึงรางให้ได้ความกว้างของช่องว่างระหว่างหัวรางเท่ากับระยะเชื่อมเทอร์มิต (thermit) ในระหว่างดึงรางให้ทำการเคาะราง ตรวจสอบ และบันทึกค่าการเคลื่อนตัวที่จุดอ้างอิงทุกจุด

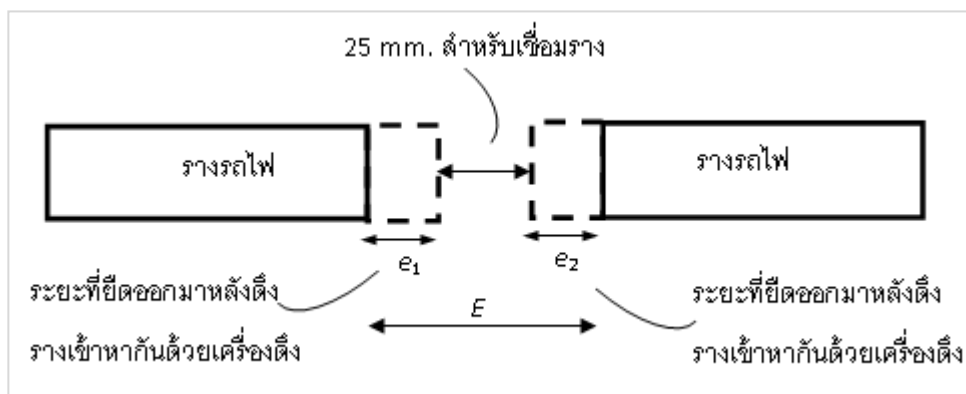
8) ทำการเชื่อมต่อรางด้วยวิธีเทอร์มิต ในระหว่างทำการเชื่อมรางให้ดำเนินการใส่เครื่องยึดเหนี่ยวรางจากจุดดึงรางถึงจุดยึดราง (anchor zone) ห้ามถอดเครื่องดึงรางโดยเด็ดขาดจนกว่าจะใส่เครื่องยึดเหนี่ยวรางแล้วเสร็จ และทำการปรับแต่ง เเจียรสนราง และเอวรางให้เรียบร้อย

9) ในการเปิดให้ขบวนรถผ่านได้นั้นต้องหลังจากการทำเชื่อมต่อราง ปรับแต่ง เเจียรแล้วไม่น้อยกว่า 20 นาที

10) ทำการตรวจสอบสภาพทางร่วมกับผู้ควบคุมงาน



รูปที่ 1 แผนภาพการคลายความเค้นของราง (destressing)



รูปที่ 2 ระยะที่ยึดออกหลังจากดึงราง