กรมการขนส่งทางราง
Department of Rail Transport

มขร. – C - 005 – 2566
มาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ
TRACK COMPONENTS

กองมาตรฐานความปลอดภัยและบำรุงทาง

514/1 Lan Luang Road, Dusit, Bangkok, Thailand 10300
http://www.drt.go.th/
Facebook/DRT.OfficialFanpage

รายนามคณะกรรมการจัดทำมาตรฐานการขนส่งทางราง

คณะกรรมการ

1.	นายพิเชฐ คุณาธรรมรักษ์ กรมการขนส่งทางราง	ประธานกรรมการ
2.	นางสลักษณ์ พิสุทธิพัทธยา สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	กรรมการ
3.	นายเริงศักดิ์ ทองสม สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร	กรรมการ
4.	นายกำพล บุญชม การรถไฟแห่งประเทศไทย	กรรมการ
5.	นายสุพพัต พิพัฒนกุล การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย	กรรมการ
6.	นายอานุภาพ เกียรติกำจร บริษัท รถไฟฟ้า ร.ฟ.ท. จำกัด	กรรมการ
7.	นายภณสินธุ์ ไพทีกุล สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย	กรรมการ
8.	นายเอกรัตน์ ไวยนิตย์ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ	กรรมการ
9.	นายอนุสรณ์ ทนหมื่นไวย สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ	กรรมการ
10.	นายสราวุธ กาญจนพิมาย สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์	กรรมการ
11.	นายประจักษ์ ทรัพย์มณี สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย	กรรมการ
12.	นายปิยชัย ชูเอม บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน)	กรรมการ
13.	นายหลักฐาน ทองนพคุณ บริษัท ทางด่วนและรถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน)	กรรมการ
14.	นายวรนิติ ช่อวิเชียร สมาคมวิศวกรที่ปรึกษาแห่งประเทศไทย	กรรมการ
15.	นายทยากร จันทรางศุ กรมการขนส่งทางราง	กรรมการ และเลขานุการ
16.	นายศุภฤกษ์ สุดยอดประเสริฐ กรมการขนส่งทางราง	กรรมการ และผู้ช่วยเลขานุการ
17.	นางสาวภัณฑิรา ธนะโสภณ กรมการขนส่งทางราง	กรรมการ และผู้ช่วยเลขานุการ

18.	นายปกรณ์ ศรีรักษา กรมการขนส่งทางราง	กรรมการ และผู้ช่วยเลขานุการ
19.	นายเกริกเกียรติ อังคณาวิศัลย์ กรมการขนส่งทางราง	กรรมการ และผู้ช่วยเลขานุการ
20.	นายกองพล ชุนเกาะ กรมการขนส่งทางราง	กรรมการ และผู้ช่วยเลขานุการ

****

รายนามคณะอนุกรรมการจัดทำมาตรฐานโครงสร้างพื้นฐานด้านงานโยธา และความปลอดภัยของระบบราง

คณะอนุกรรมการ

1.	นายอธิภู จิตรานุเคราะห์ กรมการขนส่งทางราง	ประธานอนุกรรมการ
2.	นายทยากร จันทรางศุ กรมการขนส่งทางราง	รองประธานอนุกรรมการ
3.	นายพิษณุ พงษ์ไทย การรถไฟแห่งประเทศไทย	อนุกรรมการ
4.	นายขวัญ สุขคง การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย	อนุกรรมการ
5.	นายสุพพัต พิพัฒนกุล การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย	อนุกรรมการ
6.	นางสาวพาขวัญ พูนจิตรบริสุทธิ์ สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีระบบราง (องค์การมหาชน)	อนุกรรมการ
7.	นายอานุภาพ เกียรติกำจร บริษัท รถไฟฟ้า ร.ฟ.ท. จำกัด	อนุกรรมการ
8.	นายหลักฐาน ทองนพคุณ บริษัท ทางด่วนและรถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน)	อนุกรรมการ
9.	นายวัสพล ลัญฉน์วัฒน์ บริษัท ระบบขนส่งมวลขนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน)	อนุกรรมการ
10.	นายไพสุข ห่านชัย บริษัท เอเชีย เอรา วัน จำกัด	อนุกรรมการ
11.	นายดิสพล ผดุงกุล วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์	อนุกรรมการ
12.	นายภณสินธุ์ ไพทีกุล สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย	อนุกรรมการ
13.	นายอเนก มีมูซอ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ	อนุกรรมการ
14.	นายศุภฤกษ์ สุดยอดประเสริฐ กรมการขนส่งทางราง	อนุกรรมการ และเลขานุการ
15.	นางสาวภัณฑิรา ธนะโสภณ กรมการขนส่งทางราง	อนุกรรมการ และผู้ช่วยเลขานุการ

16.	นายปกรณ์ ศรีรักษา กรมการขนส่งทางราง	อนุกรรมการ และผู้ช่วยเลขานุการ
17.	นายเกริกเกียรติ อังคณาวิศัลย์ กรมการขนส่งทางราง	อนุกรรมการ และผู้ช่วยเลขานุการ
18.	นายกองพล ชุนเกาะ กรมการขนส่งทางราง	อนุกรรมการ และผู้ช่วยเลขานุการ

****

มขร. – C - 005 - 2566

มาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ
(Track Components)

1. ทั่วไป

ทางรถไฟเป็นโครงสร้างซึ่งรวมองค์ประกอบหลายอย่างเข้าด้วยกัน โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้รองรับน้ำหนักรถไฟที่วิ่งผ่านได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามองค์ประกอบต่าง ๆ นั้นมีหน้าที่เฉพาะของตนเองในการทำงาน ซึ่งจำเป็นต้องมีการแบ่งมาตรฐานขององค์ประกอบทางรถไฟออกเป็นส่วน ๆ เพื่อความชัดเจนและเป็นระบบของการนำมาตรฐานไปใช้ โดยมาตรฐานองค์ประกอบของทางรถไฟฉบับนี้ให้ความสำคัญในส่วนรายละเอียดขององค์ประกอบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) ราง
2) การเชื่อมต่อราง
3) อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง
4) หมอนรองราง

1.1 วัตถุประสงค์

มาตรฐานนี้ใช้สำหรับกำหนดมาตรฐานการทดสอบและรับรองถึงคุณสมบัติและประสิทธิภาพองค์ประกอบของทางรถไฟ ทั้งนี้สามารถพิจารณาใช้มาตรฐานอื่น ๆ ที่เทียบเท่าหรือตามข้อตกลงในสัญญา

1.2 ขอบเขต

มาตรฐานฉบับนี้ครอบคลุมถึงองค์ประกอบของทางรถไฟขนาด 1.000 เมตร และ 1.435 เมตร โดยมีความเร็วและน้ำหนักลงเพลาตาม มขร. - C - 001 - 2564 มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ (Track Classification)

1.3 มาตรฐานอ้างอิง

- มขร. – C – 001 -2564 มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ (Track Classification)
- มขร. – C – 002 -2564 มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง สำหรับทางขนาด 1,435 มิลลิเมตร (Ballastless Track Design)
- มขร. – C – 004 -2565 มาตรฐานรางเชื่อมยาว (Continuous Welded Rail)

2. นิยามและสัญลักษณ์

2.1 นิยาม

ราง (rail) หมายถึง รางเหล็กที่รับน้ำหนักและถ่ายทอดภาระจากล้อรถไฟไปยังหมอน และเป็นตัวประคองการวิ่งของรถไฟ

การเชื่อม FBW หมายถึง กรรมวิธีการเชื่อมไฟฟ้า (flash butt welding) ซึ่งเป็นกรรมวิธีการเชื่อมเนื้อเหล็กแบบเชื่อมต่อชน ซึ่งใช้สำหรับการเชื่อมราง

การเชื่อม thermit หรือ aluminothermic welding หมายถึง กรรมวิธีการเชื่อมประเภทหนึ่งโดยการเติมเนื้อเหล็กหลอมเข้าไปในช่องว่างระหว่างราง โดยใช้ปฏิกิริยาทางเคมี

หน่วยงานเชื่อม (welding contractor) หมายถึง หน่วยงานหรือบริษัทที่ได้รับการรับรองจากองค์กร (railway authority) ให้จัดหาบุคลากรเชื่อมและเครื่องมือเพื่อปฏิบัติการเชื่อม

องค์กร (railway authority) หมายถึง องค์กรรถไฟหรือเจ้าของงาน ซึ่งเป็นเจ้าของโครงสร้างพื้นฐาน

แผ่นรองราง (rail pad) หมายถึง แผ่นวัสดุรองระหว่างรางกับหมอนรองราง

แผ่นยางรองรางรถไฟ (rubber rail pad) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยางธรรมชาติและ/หรือ ยางสังเคราะห์ใช้วางระหว่างหมอนคอนกรีตอัดแรงกับรางรถไฟเพื่อลดการสั่นสะเทือนขณะที่รถไฟเคลื่อนที่ผ่าน

อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง (fastener) หมายถึง ชุดอุปกรณ์สำหรับยึดเหนี่ยวรางกับหมอนรองราง

หมอนรองราง (sleeper) หมายถึง ส่วนประกอบทางขวาง (transverse component) ของทางรถไฟ เพื่อใช้รองและยึดรางรถไฟ ควบคุมขนาดทาง และถ่ายน้ำหนักบรรทุก (load) จากรางรถไฟสู่หินโรยทาง (ballast) หรือวัสดุอื่นที่รองรับ เช่น พื้นคอนกรีต

หมอนคอนกรีต (concrete sleeper) หมายถึง หมอนรองรางที่เป็นคอนกรีต

หมอนประแจ (bearer) หมายถึง หมอนรองรางของประแจและทางตัด เพื่อใช้รองและยึดรางรถไฟตั้งแต่ 2 รางรถวิ่ง (running Rail) ขึ้นไป

หมอนคอนกรีตอัดแรง (prestressed concrete sleeper) หมายถึง แท่งคอนกรีตอัดแรงแท่งเดี่ยว (monoblock) หรืออาจเรียกว่า หมอนคอนกรีตอัดแรงแท่งเดี่ยว (prestressed monoblock sleeper)

หมอนประแจคอนกรีตอัดแรง (prestressed concrete bearer) หมายถึง แท่งคอนกรีตอัดแรงแท่งเดี่ยว (monoblock) สำหรับรองประแจ มีความยาวไม่เกิน 8.5 เมตร (ม.)

ขนาดทาง (track gauge) หมายถึง ระยะห่างภายในของขอบรางที่ระยะต่ำกว่าระดับสันราง 14 มิลลิเมตร (มม.)

น้ำหนักกดเพลา (axle load) หมายถึง น้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งที่เกิดจากมวลของรถไฟและมวลบรรทุกที่กระทำลงบนราง 1 เพลา

ระยะเรียงหมอนรองราง (sleeper spacing) หมายถึง ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของหมอนรองรางที่วางเรียงกันตามความยาวของรางรถไฟ

พื้นที่รองรับราง (rail seat) หมายถึง พื้นที่เรียบบนหมอนรองราง เพื่อรองรับฐานราง

วัสดุฝังยึด (insert) หมายถึง ชิ้นส่วนที่ฝังหรือหล่อติดกับหมอนคอนกรีต เพื่อติดตั้งหรือยึดเครื่องยึดเหนี่ยวราง

ประแจทางหลีก (turnout) หมายถึง อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเพื่อให้ขบวนรถสามารถวิ่งผ่านเส้นทางหนึ่งแยกไปทางเส้นทางอื่นได้

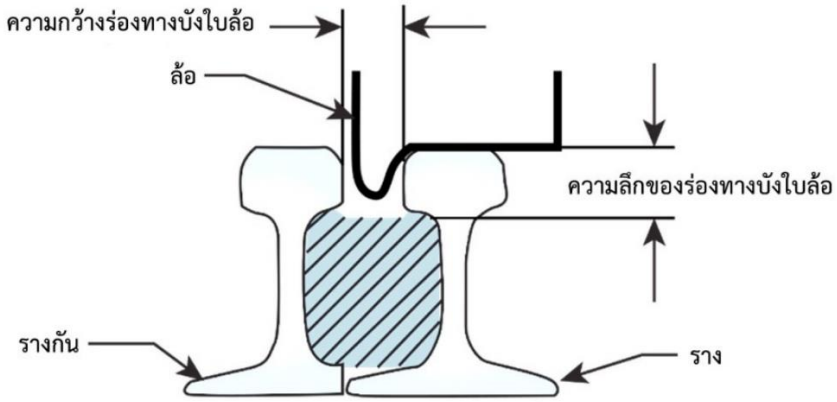
หินโรยทาง (ballast) หมายถึง หินที่ใส่ไว้ใต้และรอบ ๆ หมอนรองราง

น้ำหนักบรรทุกทดสอบ (test load) หมายถึง น้ำหนักบรรทุกขณะทำการทดสอบ

น้ำหนักลงพื้นที่รองรับรางออกแบบ (design rail seat load, Pd) หมายถึง น้ำหนักบรรทุกออกแบบ (design load) บนพื้นที่รองรับรางของหมอนรองราง เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกพลวัตจากน้ำหนักบรรทุกใช้งานในสภาวะปกติ

โมเมนต์ดัดออกแบบ (design bending moment, Md) หมายถึง โมเมนต์ดัดเนื่องจากน้ำหนักพื้นที่รองรับรางออกแบบ (design rail seat load, Pd)

ความกว้างร่องทางบังใบล้อ (flange way width) หมายถึง ความกว้างของช่องว่างที่ติดกันกับรางวิ่งและยอมให้สำหรับการผ่านของบังใบล้อ โดยแสดงความลึกของร่องทางบังใบล้อ (flange way depth) ระยะในแนวดิ่งระหว่างผิวสัมผัสบนสุดของการวิ่ง และส่วนบนสุดของหัวราง ดัง**รูปที่ 1**



รูปที่ 1 ร่องทางบังใบล้อ

2.2 สัญลักษณ์

สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษามาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ แสดง**ดังตารางที่ 1**

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษามาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
$F_{s,\min}$	แรงดึงน้อยสุดที่ควรจะสามารถต้านทานได้
$F_{\max}$	แรงดึงมากสุดที่เกิดขึ้นในรางเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
A_{rail}	พื้นที่หน้าตัดของราง
α	ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิเชิงเส้น
ΔT_1	ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ
γ_s	อัตราส่วนความปลอดภัยของน้ำหนักที่กระทำ
$W_{\max}$	ค่าการทรุดตัวมากสุดของรางที่ยอมให้
A_c	พื้นที่หน้าตัดที่กึ่งกลางหมอนคอนกรีต
A_R	พื้นที่หน้าตัดหมอนคอนกรีตที่พื้นที่รองรับราง
e_c	ระยะเยื้องศูนย์ของแรงอัดที่พื้นที่รองรับราง
e_R	ระยะเยื้องศูนย์ของแรงอัดที่กึ่งกลางหมอนคอนกรีต
$\mathrm{f}'_{\mathrm{ci}}$	ค่าขั้นต่ำของความต้านแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตที่ต้องการก่อนการอัดแรง
f'_{c}	ค่าขั้นต่ำของความต้านแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน
f'_{t}	ค่าขั้นต่ำของความต้านแรงดึงสูงสุดของคอนกรีต ณ วันทดสอบ $\mathrm{f}'_{\mathrm{t}} = 0.85\sqrt{\mathrm{f}'_{\mathrm{c}}}$ เมกกะปาสคาล
M_{cr}	โมเมนต์ดัดแตกร้าว
P	แรงอัดในลวดอัดแรง ณ วันทดสอบ $\mathrm{P} = 0.95\mathrm{P}_0$ กิโลนิวตัน
P_0	แรงอัดแรกเริ่มหรือขณะถ่ายแรง
P_{tR+}	น้ำหนักบรรทุกทดสอบสำหรับการรับโมเมนต์ดัดบวกที่พื้นที่รองรับราง
P_{tR-}	น้ำหนักบรรทุกทดสอบสำหรับการรับโมเมนต์ดัดลบที่พื้นที่รองรับราง
P_{tc+}	น้ำหนักบรรทุกทดสอบสำหรับการรับโมเมนต์ดัดบวกที่กึ่งกลางหมอนคอนกรีต
P_{tc-}	น้ำหนักบรรทุกทดสอบสำหรับการรับโมเมนต์ดัดลบที่กึ่งกลางหมอนคอนกรีต
S_{tR}	โมดูลัสหน้าตัดด้านบนที่พื้นที่รองรับราง
S_{bR}	โมดูลัสหน้าตัดด้านล่างที่พื้นที่รองรับราง
S_{tc}	โมดูลัสหน้าตัดด้านบนที่กึ่งกลางหมอนคอนกรีต
S_{bc}	โมดูลัสหน้าตัดด้านล่างที่กึ่งกลางหมอนคอนกรีต

3. ราง (rail)

3.1 ทั่วไป

รางเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งของระบบทางรถไฟทำหน้าที่รับน้ำหนัก และช่วยบังคับทิศทางของรถไฟ รวมถึงช่วยให้การเคลื่อนที่ของรถไฟเป็นไปอย่างราบเรียบ โดยรางสามารถจะวางเป็นคู่ขนานกันไปบนหมอนรองรางหรือพื้นคอนกรีต

3.1.1 วัตถุประสงค์

1) เพื่อใช้จำแนกและอธิบายรายละเอียดประเภทของรางรถไฟ
2) เพื่อทราบถึงคุณสมบัติทางเคมีและทางกลของรางรถไฟ

3.1.2 ขอบเขต

มาตรฐานนี้ครอบคลุมประเภทของรางในประเทศไทย

3.2 เกรดเหล็กกล้า

โดยปกติรางรถไฟผลิตมาจากเหล็กกล้าคาร์บอน-แมงกานีส ซึ่งมีโครงสร้างเพอร์ไลต์ โดยแสดงเกรดของเหล็กรางรถไฟ ดัง**ตารางที่ 2**

ตารางที่ 2 เกรดของเหล็กรางรถไฟ (ที่มา: มาตรฐาน BS EN 13674-1:2011)

เกรดของเหล็ก	ค่าความแข็ง (HBW)	ส่วนประกอบ	เครื่องหมาย
R 200	200 ถึง 240	คาร์บอน-แมงกานีส (C-Mn) ไม่ผ่านการอบชุบด้วยความร้อน (non heat treated)	ไม่มีเครื่องหมาย
R 220	220 ถึง 260	คาร์บอน-แมงกานีส (C-Mn) ไม่ผ่านการอบชุบด้วยความร้อน (non heat treated)	———
R 260	260 ถึง 300	คาร์บอน-แมงกานีส (C-Mn) ไม่ผ่านการอบชุบด้วยความร้อน (non heat treated)	—— ———
R 260 Mn	260 ถึง 300	คาร์บอน-แมงกานีส (C-Mn) ไม่ผ่านการอบชุบด้วยความร้อน (non heat treated)	——— ———
R 320 Cr	320 ถึง 360	โลหะผสม (1% Cr) ไม่ผ่านการอบชุบด้วยความร้อน (non heat treated)	——— ——— ———
R 350 HT	350 ถึง 390	คาร์บอน-แมงกานีส (C-Mn) ผ่านการอบชุบด้วยความร้อน (heat treated)	—— ——— ———
R 350 LHT	350 ถึง 390	โลหะผสมน้อย ผ่านการอบชุบด้วยความร้อน (heat treated)	—— ——— ——— ——

3.3 มาตรฐานหน้าตัดราง

มาตรฐานหน้าตัดราง 54E1 และหน้าตัดราง 60E1 อ้างอิงจากมาตรฐาน EN13674-1 และหน้าตัดราง UIC 54 อ้างอิงจากมาตรฐาน UIC861-1 และหน้าตัดราง UIC60 อ้างอิงจากมาตรฐาน UIC861-3 หน้าตัดราง BS80A และ BS100A อ้างอิงมาตรฐาน BS11:1985 แสดงใน**ภาคผนวก มาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ**

3.4 การผลิตราง

3.4.1 คุณภาพการผลิต

ผู้ผลิตรางต้องมีระบบการผลิตที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน ISO 9001 เพื่อให้มีคุณภาพผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐาน

3.4.2 การหล่อแท่งเหล็ก (bloom)

หล่อแท่งเหล็กด้วยกรรมวิธีเตาออกซิเจน หรือเตาไฟฟ้าจะต้องทำการหล่ออย่างต่อเนื่อง ซึ่งในขั้นตอนการผลิตควรทำการกำจัดก๊าซโดยผ่านกรรมวิธีกำจัดก๊าซไฮโดรเจนที่ตกค้าง

3.4.3 การทำเครื่องหมาย

1) รายละเอียด

1.1) ชื่อผู้ผลิต

1.2) เกรดของเหล็กกล้า (ตาม**ตารางที่ 2**) และปีที่ผลิต

1.3) หน้าตัดของราง ตาม**ภาคผนวก มาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ**

2) ตราประทับเหล็กขณะร้อน

โดยทำการประทับตราอีกด้านหนึ่งของเอวราง มีรายละเอียด ดังนี้

2.1) หมายเลขของการหลอมของรางที่ได้รีดมา (heat number)

2.2) หมายเลขของสายเหล็กและตำแหน่งของแท่งเหล็ก (bloom) ในสายเหล็ก

2.3) ตำแหน่งของรางในแท่งเหล็ก (bloom) (A, B....Y)

3) ตราประทับเหล็กขณะเย็น

ให้ประทับตราขณะรางเย็นที่ปลายรางแต่ละท่อน ที่บริเวณจุดกึ่งกลางของหัวราง

4) การทดสอบราง

4.1) การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี

4.2) การทดสอบสมบัติทางกล ได้แก่ความต้านทานแรงดึงและการทดสอบความแข็งที่ผิวราง

3.5 การทดสอบคุณภาพราง

3.5.1 ทั่วไป

ในระหว่างการผลิตรางหรือรางที่ผลิตเสร็จแล้วจะต้องมีการทดสอบ และมีการตรวจเพื่อรับรองคุณภาพของราง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

1.1) การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี (chemical composition) และคุณสมบัติทางกล (mechanical properties) ทดสอบโดยใช้เครื่อง Vacuum- Emission Spectrophotometric Analyzer ค่าองค์ประกอบทางเคมีของรางเกรดต่าง ๆ แสดงใน**ตารางที่ 3**

1.2) การตรวจสอบปริมาณไฮโดรเจน ทดสอบโดยใช้เครื่อง Hydrogen Determinator แสดงค่าดัง**ตารางที่ 3**

1.3) การตรวจสอบปริมาณออกซิเจน ทดสอบบริเวณหัวรางโดยเลือกจากตำแหน่งใน

1.4) **รูปที่ 2**

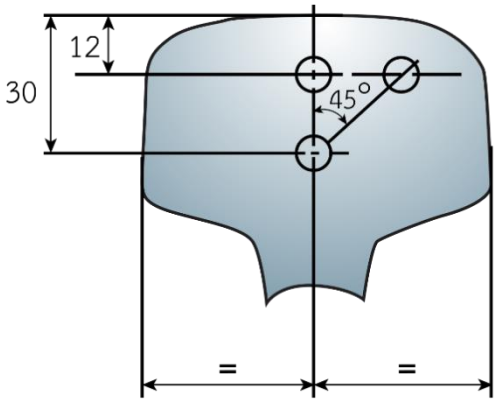
1.5) การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ควรใช้กำลังขยาย 500 เท่า โดยตำแหน่งของการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ดังแสดงใน**รูปที่ 3**

2) ข้อกำหนดสำหรับเหล็ก

2.1) ข้อกำหนดสำหรับเหล็กเกรด 200 และเกรด 220 โครงสร้างจุลภาคต้องเป็นโครงสร้างผสมระหว่างเพอร์ไลต์ (Pearlite) กับโครงสร้างเฟอร์ไรท์ (Ferrite) และต้องไม่มีโครงสร้างมาร์เทนไซต์ (Martensite) เบไนท์ (Bainite) หรือซีเมนไทต์ที่บริเวณขอบเกรน (Grain boundary cementite)

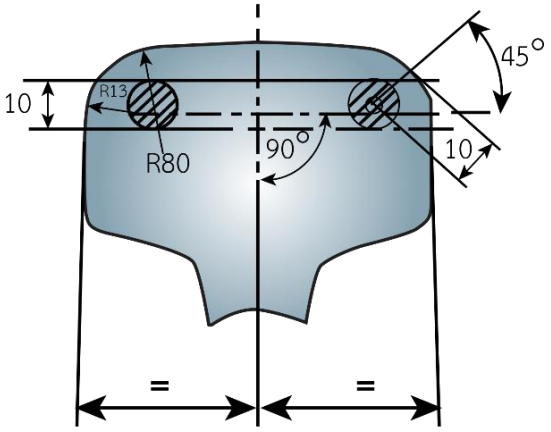
2.2) ข้อกำหนดสำหรับเหล็กเกรด 260 และเกรด 260 Mn โครงสร้างจุลภาคต้องเป็นเพอร์ลิติก (Pearlitic) แต่อาจจะมีเฟอร์ไรท์ที่บริเวณขอบเกรน (Grain boundary Ferrite) โดยค่าสูงสุดของเฟอร์ไรท์ที่บริเวณขอบเกรน แสดงดัง**รูปที่ 4** และต้องไม่มีโครงสร้างมาร์เทนไซต์ (Martensite) เบไนท์ (Bainite) หรือซีเมนไทต์ที่บริเวณขอบเกรน (Grain boundary Cementite)

2.3) ข้อกำหนดสำหรับเหล็กเกรด 350 HT และเกรด 350 LHT โครงสร้างจุลภาคต้องเป็นเพอร์ลิติก (Pearlitic) และต้องไม่มีโครงสร้างมาร์เทนไซต์ (Martensite) เบไนท์ (Bainite) หรือซีเมนไทต์ที่บริเวณขอบเกรน (Grain boundary Cementite) โดยค่าสูงสุดของเฟอร์ไรท์ที่บริเวณขอบเกรน แสดงดัง**รูปที่ 4**



รูปที่ 2 ตำแหน่งของรางเพื่อทดสอบหาปริมาณออกซิเจน (หน่วย มม.)

(ที่มา: ประยุกต์จากมาตรฐาน BS EN 13674-1:2011)



เครื่องหมาย

คือ จุดตัดของรัศมี R 13 และ R 80 (ราง60 E 1)

คือ ตำแหน่งตรงกลางของแรงดึงจากการทดสอบ

คือ พื้นที่ที่จะตรวจสอบถึงโครงสร้างจุลภาค

รูปที่ 3 ตำแหน่งของรางเพื่อทดสอบแรงดึงและโครงสร้างจุลภาค (หน่วย มม.)

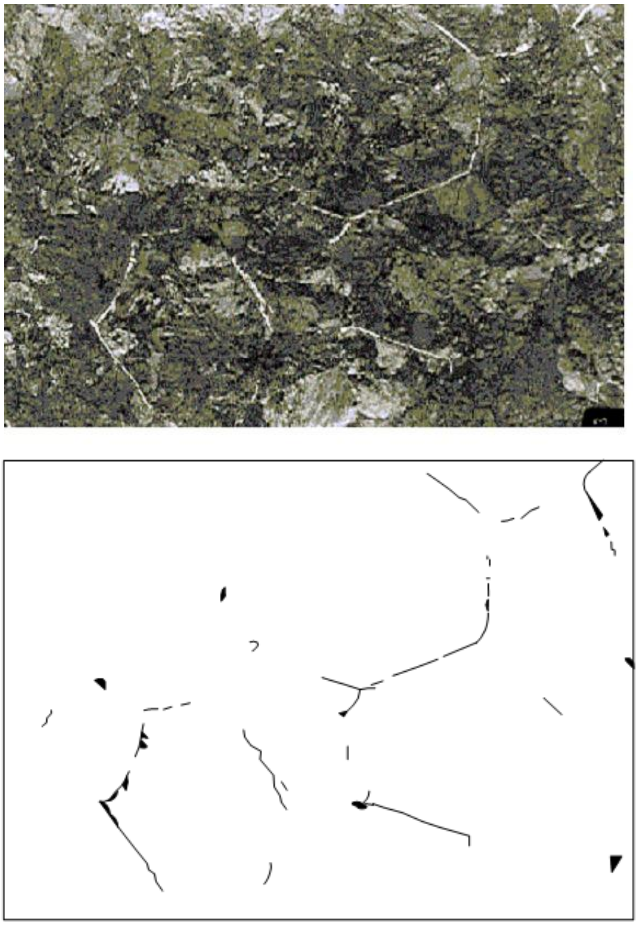
(ที่มา: ประยุกต์จากมาตรฐาน BS EN 13674-1:2011)

ตารางที่ 3 ส่วนผสมทางเคมี (chemical composition) และคุณสมบัติทางกล (mechanical properties)
(ที่มา: มาตรฐาน BS EN 13674-1:2011)

ตัวอย่าง เกรดของเหล็ก		ร้อยละของมวล									10^{-4}% (ppm) ของมวลสูงสุด		ค่า Rm น้อยสุด (MPa)	ค่า elong น้อยสุด (%)	ความแข็งบนผิว (HBW)
		C	Si	Mn	P สูงสุด	S สูงสุด	Cr สูงสุด	Al สูงสุด	V สูงสุด	N สูงสุด	O	H			
260	ของเหลว	0.62 - 0.80	0.15 - 0.58	0.70 - 1.20	0.025	0.008 - 0.025	0.15	0.004	0.030	0.009	20	2.5	880	10	260 - 300
	ของแข็ง	0.60 - 0.82	0.13 - 0.60	0.65 - 1.25	0.030	0.008 - 0.030	0.15	0.004	0.030	0.010	20	2.5			
350 HT	ของเหลว	0.72 - 0.80	0.15 - 0.58	0.70 - 1.20	0.020	0.008 - 0.025	0.15	0.004	0.030	0.009	20	2.5	1175	9	350 - 390
	ของแข็ง	0.70 - 0.82	0.13 - 0.60	0.65 - 1.25	0.025	0.008 - 0.030	0.15	0.004	0.030	0.010	20	2.5			

ตารางที่ 4 ปริมาณไฮโดรเจน (ที่มา: คู่มือการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.))

กลุ่มความร้อน	ปริมาณไฮโดรเจน 10^{-4} % (ppm)	
	เกรดของเหล็ก 200 และ 220	ทั้งหมดของเกรดของเหล็ก
กลุ่ม 1	≤ 3.0	≤ 2.5
กลุ่ม 2	> 3.0	> 2.5

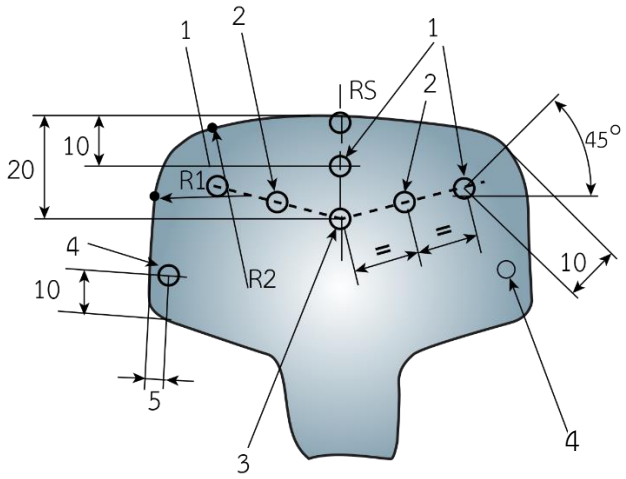


รูปที่ 4 โครงสร้างจุลภาคแสดงปริมาณเฟอร์ไรท์ที่ขอบเกรนสำหรับรางทุกเกรด ยกเว้นเกรด 200 และ 220

(ที่มา: คู่มือการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ สนข.)

3) การทดสอบความแข็ง

ทดสอบความแข็งแบบบริเนล (Brinell hardness test) โดยนำตัวอย่างหน้าตัดรางทดสอบไปขัดผิวให้เรียบแล้วนำไปกดค่าความแข็งตามตำแหน่ง ดัง**รูปที่ 5** และค่าความแข็งแสดงดัง**ตารางที่ 5**



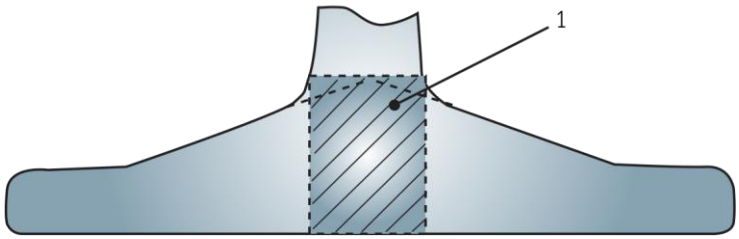
เครื่องหมาย

1, 2, 3 และ 4 คือ ตำแหน่งของการทดสอบความแข็ง (ดูใน**ตารางที่ 5**)

- คือ จุดตัดที่แน่นอนของรัศมี

รูปที่ 5 ตำแหน่งทดสอบความแข็ง (หน่วย มม.)

(ที่มา: ประยุกต์จากมาตรฐาน BS EN 13674-1:2011)



เครื่องหมาย

1 คือ พื้นที่ในการทดสอบ

รูปที่ 6 พื้นที่ทดสอบบริเวณฐานราง 60 E 1

(ที่มา: ประยุกต์จากมาตรฐาน BS EN 13674-1:2011)

ตารางที่ 5 ตำแหน่งทดสอบความแข็งและค่าความแข็ง (ที่มา: มาตรฐาน BS EN 13674-1:2011)

ตำแหน่ง	เกรดของเหล็กรางรถไฟ						
	200	220	260	260 Mn	320 Cr	350 HT	350 LHT
	ความแข็ง (HBW)						
RS	200 - 240	220 - 260	260 - 300	260 - 300	320 - 360	350 - 390	350 - 390
1						340 น้อยสุด	340 น้อยสุด
2						331 น้อยสุด	331 น้อยสุด
3						321 น้อยสุด	321 น้อยสุด
4						340 น้อยสุด	340 น้อยสุด

4) การทดสอบความต้านทานแรงดึง

ตำแหน่งที่ทดสอบความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานทดสอบแสดงดัง**รูปที่ 6** และผลของการทดสอบแสดงผลตาม**ตารางที่ 5**

5) การทดสอบพิกัดความเผื่อ

ใช้ทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนของการตรวจสอบมิติต่าง ๆ โดยที่มิติของขนาดต่าง ๆ จะต้องมีการกำหนดค่าความคลาดเคลื่อน

6) การตรวจสอบมิติ

การตรวจสอบมิติ ประกอบด้วยการตรวจสอบขนาด รูปร่าง และสภาพผิว ซึ่งได้แก่ ตรวจสอบความยาวของราง ตรวจสอบความชำรุดที่ผิวราง ตรวจสอบความตรงของราง ทั้งท่อน ตรวจสอบความตรงที่ปลายราง ตรวจสอบความสูงของราง ตรวจสอบความกว้างของฐานราง ตรวจสอบความกว้างของหัวรางและตรวจสอบความหนาของเอวราง ในการตรวจสอบมิติจะใช้ร่วมกับการทดสอบพิกัดความเผื่อ

7) การตรวจสอบคุณภาพภายในและผิวของราง

คุณภาพภายในของรางจะต้องผ่านการตรวจสอบด้วย วิธีคลื่นเสียงความถี่สูง (UT) ตลอดความยาวของราง รวมถึงการตรวจสอบหน้าตัดของราง โดยพื้นที่หน้าตัดต้องตรวจสอบด้วยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง (ultrasonic technique) อย่างน้อย 70% ของหัวราง (head) อย่างน้อย 60% ของเอวราง (web) และพื้นที่ของฐานราง (foot) ที่ต้องตรวจสอบแสดงดัง**รูปที่ 6**

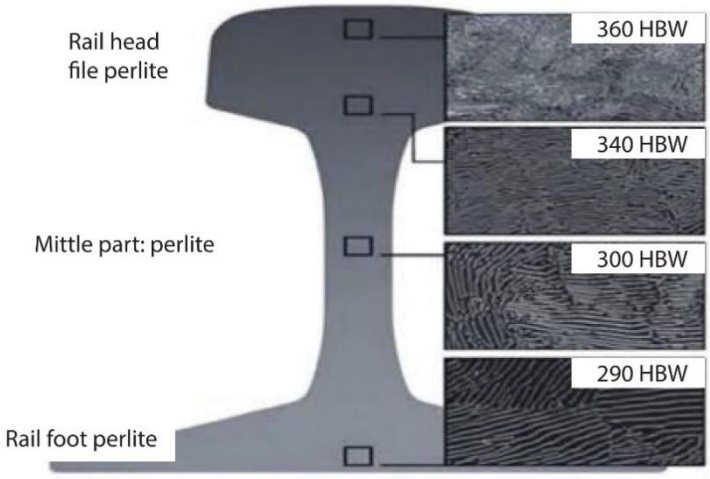
8) รางหัวแข็ง (head-hardened rail)

รางหัวแข็ง คือรางที่มีความแข็งมากเป็นพิเศษบริเวณหัวราง นิยมใช้ในบริเวณสถานีและบริเวณทางโค้ง เนื่องจากมีสมบัติทนทานต่อการเสียดสี (wear resistance) ดีเป็นพิเศษ โดยในขั้นตอนการผลิตมีการกระทำความร้อน (heat treatment) ที่บริเวณหัวราง ในส่วนของเอวรางและฐานรางยังคงเป็นเหล็กกล้าปกติ จึงดูเหมือนว่ารางหัวแข็งทำจากโลหะ 2 ชนิด แสดงดัง**รูปที่ 7**

รูปที่ 7 รางรถไฟที่ชุบแข็งที่หัวราง
(ที่มา: คู่มือการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ สนข.)

โดยบริเวณหัวรางประกอบด้วยโครงสร้างจุลภาคเป็นเพอร์ไลต์ละเอียด (fine Pearlite) แสดงดัง

รูปที่ 8 เช่น รางเกรด R350HT ซึ่งมีค่าความแข็งแรงหัวรางประมาณ 1,175 MPa ในขณะที่ส่วนอื่น ๆ เช่น เอวรางและฐานราง มีค่าประมาณ 880 MPa และค่าความแข็งบริเวณหัวรางอย่างน้อยตั้งแต่ 350 BHN



รูปที่ 8 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคและค่าความแข็งบริเวณหัวราง เอวราง และฐานราง
(ที่มา: คู่มือการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ สนข.)

3.6 การออกแบบเพื่อเลือกขนาดราง

การเลือกขนาดรางที่เหมาะสมต่อทางรถไฟนั้นจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

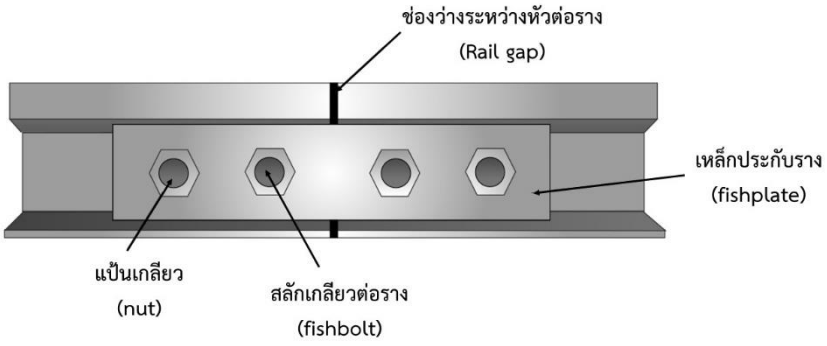
1) น้ำหนักลงเพลาที่ใช้ออกแบบ โดยอ้างอิงกับ มขร - C - 001 - 2564 มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ (Track Classification)
2) แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดราง ซึ่งเกี่ยวข้องกับระยะห่างระหว่างหมอน รวมไปถึงค่าความแข็งเกร็งและพฤติกรรมการยุบตัวของทางรถไฟ โดยอ้างอิงกับมาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง (Ballasted Track Design) ของกรมการขนส่งทางราง และ มขร. - C - 002 -2564 มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทางสำหรับทางขนาด 1,435 มิลลิเมตร (Ballastless Track Design)
3) ค่าสัมประสิทธิ์การกระแทกสำหรับพฤติกรรมทางพลศาสตร์
4) กำลังรับแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดของเหล็กหน้าตัดราง
5) การวิเคราะห์เพื่อป้องกันการโก่งเดาะออกด้านข้างของรางเชื่อมยาว ให้เป็นไปตาม มขร. - C - 004 -2565 มาตรฐานรางเชื่อมยาว (Continuous Welded Rail)

4. เชื่อมต่อราง

4.1 ทั่วไป

การเชื่อมต่อรางสามารถแบ่งออกได้เป็นสองหมวดหมู่หลักคือ การต่อโดยวิธีการเชื่อม (welding) และการต่อด้วยอุปกรณ์ทางกล (mechanical rail joint) โดยในการเชื่อมรางนั้น จะสามารถแบ่งย่อยลงไปอีกได้เป็น 2 กรรมวิธีหลัก คือ การเชื่อมไฟฟ้า (flash butt welding) และการเชื่อมเธอร์มิต (thermit) ซึ่งในประเทศไทยได้นำ 2 กรรมวิธีดังกล่าวมาใช้ในการเชื่อมรางทั่วไปและการเชื่อมรางยาว

ในส่วนของรอยต่อทางกลนั้น จะใช้แท่งเหล็กประกับ (fishplate) สำหรับการเชื่อมต่อปลายรางทั้งสองท่อนให้มีความต่อเนื่องเป็นแนวเดียวกันโดยใช้การขันสลักเกลียว (bolt) โดยรอยต่อดังกล่าวจะต้องได้รับการเชื่อมประสานที่ดี เพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของรางทั้งในทางแนวราบและแนวดิ่ง แสดงดัง**รูปที่ 9**



รูปที่ 9 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเหล็กประกับราง

(ที่มา: ประยุกต์จากคู่มือการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ สนข.)

4.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อใช้ในการกำหนดคุณสมบัติที่ต้องการของการเชื่อมราง
2) เพื่อใช้ในการกำหนดคุณสมบัติที่ต้องการของรอยต่อทางกล

4.3 ขอบเขต

1) มาตรฐานนี้ครอบคลุมประเภทของการเชื่อมรางโดยวิธีการเชื่อมไฟฟ้าและเชื่อมเธอร์มิต
2) การเชื่อมประแจ ครอบคลุมการเชื่อมชุดประแจทั้งการเชื่อมสร้างชุดประแจใหม่ และเชื่อมซ่อมชิ้นส่วนที่ผลิตมาจากเหล็กหล่อแมงกานีส
3) รอยต่อทางกล ครอบคลุมถึงรอยต่อที่ทำขึ้นจากส่วนผสมของเหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon steel fishplate) โดยมีรายละเอียดของคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ต้องการของรอยต่อทางกล

4.4 การเชื่อมราง (welding)

4.4.1 การเชื่อมไฟฟ้า (flash butt welding)

1) กรรมวิธีการเชื่อมและตัวแปรการเชื่อม
   1.1) จับยึดรางในหัวจับทองแดง (clamping)
   1.2) ให้ความร้อนขั้นต้นโดยการอาร์ค (preheat)
   1.3) ทำให้เกิดประกายวาบ (flashing)
   1.4) อัดรางเข้าชนกัน (upsetting)
   1.5) ตัดแนวเชื่อมส่วนเกินออก (trimming)
   1.6) ปลดยึดออก (unclamping)

2) ข้อมูลการเชื่อมที่ต้องมีการบันทึก
   2.1) โปรแกรมและรายละเอียด
   2.2) กระแสเชื่อม
   2.3) แรงอัด
   2.4) ระยะเปลี่ยนแปลง
   2.5) เวลาในการเชื่อม
   2.6) การบันทึกอุณหภูมิบรรยากาศ (ambient temperature)

3) การทดสอบและการรับรองกรรมวิธีการเชื่อม (procedure approval)
   3.1) การตรวจสอบด้วยสายตา (visual test) และการตรวจสอบ MT (magnetic particle test) หรือ PT (penetration test)
   3.2) การทดสอบการดัดงอ (bending test)
   3.3) การทดสอบโครงสร้างมหภาคและจุลภาค
   3.4) การทดสอบความแข็ง (hardness testing)
      - รางเกรด R220, R260 และ R260Mn
      - ค่าความแข็งต่ำสุดไม่ต่ำกว่า P-30 Hv_{30} (P คือความแข็งของราง)
      - ค่าความแข็งสูงสุดไม่เกิน P+60 Hv_{30} (P คือความแข็งของราง)

- รางเกรด 350HT
- ค่าความแข็งต่ำสุดไม่ต่ำกว่า 325 Hv_{30}
- ค่าความแข็งสูงสุดไม่เกิน 410 Hv_{30}

3.5) การทดสอบความล้า (fatigue testing)

3.6) เอกสารรายงานการรับรอง

4) การรับรองหน่วยงานเชื่อม (approval of the welding contractor)

4.1) หน่วยงานเชื่อมต้องใช้กรรมวิธีการเชื่อมที่ผ่านการรับรองมาแล้ว

4.2) หน่วยงานเชื่อมต้องให้ความมั่นใจเกี่ยวกับผู้ดำเนินการเชื่อม

4.3) หน่วยงานเชื่อมต้องมีระบบประกันคุณภาพ

4.4) หน่วยงานเชื่อมต้องมีระบบการตรวจสอบงานเชื่อม และอุปกรณ์เครื่องมือต้องมีการสอบเทียบและตรวจสอบ

5) การเชื่อมงานจริง

5.1) การเตรียมการเชื่อมและการวางตำแหน่งแนวราง

5.2) การเชื่อม การควบคุมและการบันทึกการเชื่อม

5.3) การเก็บแนวเชื่อม เช่น การเจียระไนราง (grinding rail)

5.4) การตรวจสอบแนวเชื่อม และการบันทึกเอกสาร

6) การตรวจสอบรางเชื่อมและการบันทึกเอกสาร

6.1) ตรวจสอบจากสายตาและเช็คแนวตรง (alignment)

6.2) ตรวจสอบ magnetic particle test

6.3) ตรวจสอบ ultrasonic test

6.4) ทดสอบ slow bend test อย่างน้อย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ในช่วงการเชื่อมต่อเนื่อง

4.4.2 การเชื่อมเธอร์มิต (thermit)

1) กรรมวิธีการเชื่อมและตัวแปรการเชื่อม

1.1) เว้นระยะระหว่างหัวรางเชื่อม

1.2) ประกอบแบบหล่อรอบแนวต่อ

1.3) ให้ความร้อนก่อนเชื่อม

1.4) จุดระเบิดส่วนผสมของผงในเตา

1.5) น้ำโลหะเหลว ไหลเข้าในแบบหล่อ

1.6) เอาแบบหล่อออก

1.7) เอาครีบออกและการเจียระไนราง

2) การรับรองกรรมวิธีการเชื่อม (procedure approval)

การรับรองกรรมวิธีการเชื่อมสำหรับการเชื่อมรางเพื่อยืนยันความสามารถของกรรมวิธีการเชื่อม โดยใช้การทดสอบแนวเชื่อมในห้องปฏิบัติการ

3) การทดสอบแนวเชื่อมในห้องปฏิบัติการ
   3.1) การวิเคราะห์ผิวแนวเชื่อม (surface examination-visual)
   3.2) การดูบริเวณ HAZ (visible heat affected zone)
   3.3) ความแข็งแนวเชื่อมของผิวรางวิ่ง (hardness weld centre line and running surface)
   3.4) การทดสอบการดัดงอ (slow bend test)
   3.5) การตรวจสอบภายใน (internal examination) ด้วย ultrasonic test และ cross section visual test
   3.6) การทดสอบการล้า (fatigue test)
   3.7) การวิเคราะห์บริเวณหลอมละลาย (fusion zone: weld soundness and dimension)
   3.8) การวิเคราะห์ทางเคมี (chemical analysis)
   3.9) การวิเคราะห์ความแข็งบริเวณ HAZ (heat affected zone: hardness distribution)
   3.10) การวิเคราะห์โครงสร้างบริเวณหลอมละลายและ HAZ (structure: fusion zone and heat affected zone)
4) การรับรองช่างเชื่อม
   4.1) ช่างเชื่อมจะต้องมีใบประกาศนียบัตรผ่านการฝึกอบรม (ตามภาคผนวก มาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ)
   4.2) การอนุญาตให้เชื่อม (permit to weld) ต้องอยู่ภายใต้องค์กร (ตามภาคผนวก มาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ)
   4.3) การระบุหมายเลขช่างเชื่อม (ที่แนวเชื่อมต้องมีการระบุหมายเลขช่างเชื่อม)
   4.4) หน่วยงานเชื่อม (contractor) ต้องเก็บบันทึกข้อมูลช่างเชื่อม
5) การรับรองหน่วยงานเชื่อม
   หน่วยงานเชื่อมจะต้องได้รับการรับรองคุณสมบัติจากองค์กร
6) การตรวจสอบรางเชื่อมและการยอมรับ
   ผู้ตรวจสอบแนวเชื่อมรางต้องได้รับการรับรองจากองค์กร และควรทำการตรวจสอบด้วยสายตา (visual inspection) และการตรวจสอบไม่ทำลายอื่น ๆ หลังเชื่อมเสร็จ เช่น ultrasonic test เป็นต้น

4.4.3 การเชื่อมประแจ

โดยทั่วไปงานเชื่อมประแจประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ การเชื่อมสร้างประแจ ซึ่งใช้วิธีการเชื่อมไฟฟ้า (flash butt welding) ทำการเชื่อมจากภายในโรงงาน อีกส่วนหนึ่งคือการเชื่อมซ่อมชิ้นส่วนผลิตจากเหล็กหล่อแมงกานีส เช่น ตะเฆ่ (crossing) ในการเชื่อมซ่อมจะใช้กรรมวิธีการเชื่อมอาร์ก เช่น การเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ และการเชื่อมอาร์กฟลักซ์คอร์

1) การเชื่อมสร้างประแจ

การเชื่อมสร้างประแจโดยการเชื่อมไฟฟ้า (flash butt welding) เชื่อมแบบอัตโนมัติ มีโปรแกรมการเชื่อมและใช้กรรมวิธีการเชื่อมที่ผ่านการรับรองมาแล้ว ทำการเชื่อมโดยผู้ชำนาญการ ซึ่งผ่านการอบรมและมีใบประกาศนียบัตร หน่วยงานเชื่อมต้องมีระบบการตรวจสอบ และประกันคุณภาพ ประแจแต่ละชุดต้องมีเอกสารรับรองคุณภาพ ต้องมีรายละเอียดเครื่องเชื่อมและต้องมีการบันทึกตัวแปรการเชื่อม ได้แก่

1. กระแสเชื่อม
2. แรงอัด
3. ระยะเปลี่ยนแปลง
4. เวลาในการเชื่อม
5. โปรแกรมและรายละเอียด
6. รายละเอียดแนวเชื่อม
7. การให้ความร้อนหลังเชื่อม (ถ้ามี)

การทดสอบในห้องปฏิบัติการสำหรับการรับรองกรรมวิธีการเชื่อม ได้แก่

1. ลักษณะทางกายภาพและมิติ (weld geometry)
2. การทดสอบด้วยสายตา (visual inspection)
3. ผิวเชื่อม (surface finish)
4. การทดสอบ MT (magnetic particle test) หรือ PT (penetration test)
5. การทดสอบคุณภาพภายในแนวเชื่อม
6. การทดสอบการดัดงอ
7. การทดสอบการล้า
8. การทดสอบโครงสร้างมหภาคและจุลภาค
9. การทดสอบความแข็ง

2) การเชื่อมงานจริง

1. มีการบันทึกตัวแปรการเชื่อมทุกแนว
2. โปรแกรมการเชื่อมและตัวแปรการเชื่อมต้องเป็นไปตามการรับรองกรรมวิธีการเชื่อม

3) การตรวจสอบการเชื่อมสร้างประแจ

มีการตรวจสอบการเชื่อมงานจริง ได้แก่ การตรวจสอบด้วยสายตา ลักษณะทางกายภาพและมิติ ผิวเชื่อม การทดสอบ MT (magnetic particle test) หรือ PT (penetration test) การทดสอบคุณภาพภายในแนวเชื่อมการทดสอบการดัดงอ

- ในกรณีการเชื่อมไฟฟ้า (flash butt welding) กับชิ้นส่วนเหล็กออสเตนิติก (Austenitic) คือ ทดสอบด้วยน้ำยาแทรกซึม (liquid penetrate testing) ทุกแนวเชื่อม และทดสอบสิ่งบกพร่องภายในด้วยเทคนิค ultrasonic testing ทุกแนวเชื่อม
- ในกรณีการเชื่อมไฟฟ้า (flash butt welding) กับชิ้นส่วนที่ไม่ใช่เหล็กออสเตนิติก คือ ทดสอบด้วยผงแม่เหล็ก (magnetic particle testing) ทุกแนวเชื่อม และทดสอบสิ่งบกพร่องภายในด้วยเทคนิค ultrasonic testing ทุกแนวเชื่อม

4) การเชื่อมซ่อมตะเฆ่และชิ้นส่วนผลิตจากเหล็กหล่อแมงกานีส

กรรมวิธีการเชื่อมและลวดเชื่อมใช้กรรมวิธีการเชื่อมอาร์ค โดยมี 2 กรรมวิธีการเชื่อมหลัก คือ การเชื่อมอาร์คไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ และการเชื่อมอาร์คฟลักซ์คอร์ โดยใช้ลวดเชื่อมเหล็กกล้าแมงกานีสหรือชนิดเทียบเท่าเท่านั้น

5) ข้อแนะนำในการเชื่อม

1. ไม่ต้องให้ความร้อน (preheat) ก่อนเชื่อม
2. อุณหภูมิระหว่างการเชื่อม (interpass temperature) ไม่เกิน 260 องศาเซลเซียส วัดจากบริเวณที่ห่างจากแนวเชื่อม 25 มม.
3. เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อมสำหรับการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ไม่ควรเกิน 5 มม.
4. เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อมฟลักซ์คอร์ สำหรับการเชื่อมกึ่งอัตโนมัติ ไม่ควรเกิน 2.8 มม.
5. กระแสเชื่อมและความเร็วในการเชื่อมควรมีความเหมาะสม เพื่อการหลอมละลายที่สมบูรณ์ ควรหลีกเลี่ยงกระแสเชื่อมที่สูงเกินไป เพื่อป้องกันความร้อนที่สูง
6. ระยะอาร์คควรจะรักษาให้สั้นที่สุดเท่าที่ทำได้ เพื่อให้การอาร์คสม่ำเสมอ
7. แนวเชื่อมควรมีความนูนเหมาะสม และไม่ควรกว้างเกิน 16 มม.
8. ความยาวของแนวเชื่อมไม่ควรเกิน 250 มม. (เมื่อเชื่อมที่หน้างาน) สำหรับการเชื่อมในโรงงาน (workshop) สามารถยาวกว่าได้
9. ต้องมีการตรวจความร้อนด้านในการเชื่อมชิ้นส่วนหล่อ ไม่ควรทำการเชื่อมถ้าอุณหภูมิเกิน 260 องศาเซลเซียส โดยรักษาระยะ 25 มม. จากบริเวณแนวเชื่อม
10. แนะนำให้ดำเนินการทำให้ชิ้นส่วนเย็นลงอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันความร้อนเกิน
11. แนะนำให้มีการเชื่อมเว้นช่วงเพื่อป้องกันความร้อนเกิน

6) การตรวจสอบการเชื่อมซ่อมตะเฆ่

1. การตรวจสอบด้วยสายตา
2. ลักษณะทางกายภาพและมิติ
3. การทดสอบ PT (penetration test)

4.5 รอยต่อทางกล (mechanical rail joints)

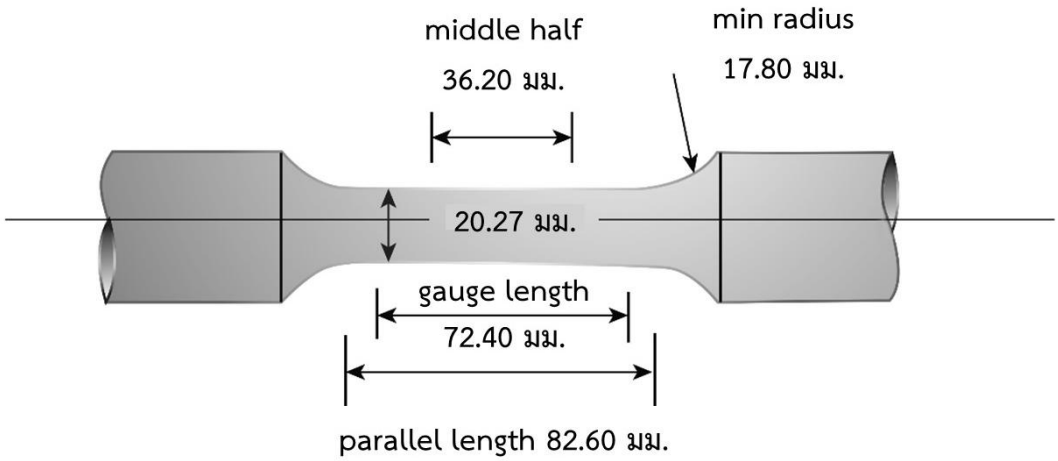
4.5.1 ข้อกำหนดทั่วไป

คุณลักษณะโดยทั่วไปที่ต้องการสำหรับรอยต่อทางกลโดยเหล็กประกับ มีดังนี้

1) รอยต่อสามารถเชื่อมปลายทั้งสองข้างของรางในลักษณะที่การเชื่อมต่อนั้นต้องทำให้จุดต่อมีพฤติกรรมเสมือนคานต่อเนื่อง
2) สามารถจำกัดค่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งและด้านข้าง แต่ยังคงสามารถยอมให้รางมีการเคลื่อนตัวตามแนวยาวจากผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
3) สามารถเข้ากันได้และช่วยส่งเสริมการทำงานกับระบบอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง (Fastener)
4) ง่ายและสะดวกในการประกอบ การติดตั้ง
5) สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ช่วยมาก

4.5.2 การทดสอบแรงดึงของวัสดุ

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบได้จากการกลึงเหล็กประกับรางให้ได้ขนาดมาตรฐานดังแสดงใน**รูปที่ 10**



รูปที่ 10 ค่า tensile strength ต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 5,700 ถึง 6,600 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีค่าการยืดตัว (elongation) ไม่เกินร้อยละ 20

(ที่มา: ประยุกต์จากคู่มือการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ สนข.)

1) กำลังต้านทานแรงดึงตามแนวยาว (longitudinal tensile strength)

ค่าแรงดึงน้อยสุด ($F_{s,\min}$) ที่เหล็กประกับรางควรจะสามารถต้านทานได้ คำนวณได้จาก **สมการ (1)** และ**สมการ (2)**

$$F_{s,\min} = F_{\max}\gamma_s \tag{1}$$

$$F_{\max} = EA_{rail}\alpha\Delta T_1 \tag{2}$$

เมื่อ $F_{\max}$ คือ แรงดึงมากสุดที่เกิดขึ้นในรางเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (นิวตัน)

E คือ ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของราง มีค่าเท่ากับ 210×10^{9} นิวตันต่อตารางเมตร

A_{rail} คือ พื้นที่หน้าตัดของราง (ตารางเมตร)

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิเชิงเส้น ค่าที่แนะนำคือ 1.2×10^{-5} ต่อองศาเซลเซียส

ΔT_1 คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) คือ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิปกติ (natural & stress-free) และ อุณหภูมิน้อยที่สุดในราง (minimum rail temperature)

γ_s คือ อัตราส่วนความปลอดภัยของน้ำหนักที่กระทำ ค่าที่แนะนำคือ 1.5

2) กำลังต้านทานแรงดัด (flexural strength)

คุณสมบัติเชิงกลสำหรับการต้านทานแรงดัดสามารถหาได้โดย การทดสอบแรงดัดแบบซ้ำ ๆ ซึ่งวัตถุประสงค์ในการทดสอบก็เพื่อหาความสามารถของรอยต่อทางกลในการต้านทานแรงในแนวดิ่งจากขบวนรถซึ่งผ่านมายังล้อและกระทำต่อรอยต่อ ขนาดของโมเมนต์ที่จะกระทำต่อชิ้นส่วนตัวอย่าง (M_r) สามารถคำนวณ**สมการ (3)**

$$M_{\mathrm{r}} = \sqrt[3]{\frac{Q^2 E I_{\mathrm{rail}} W_{max}}{8}}\gamma_C \qquad (3)$$

โดยที่ Q คือ Nominal wheel load (นิวตัน) ค่าที่แนะนำหากไม่มีข้อมูลคือ 125×10^{3} นิวตัน

E คือ ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของราง (นิวตันต่อตารางเมตร) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 210×10^{9} นิวตันต่อตารางเมตร

I_{rail} คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของราง (เมตร^4)

W_{max} คือ ค่าการทรุดตัวมากสุดของรางซึ่งอยู่ติดกับโครงสร้างทาง ค่าที่แนะนำคือ 1.5×10^{-3} เมตร

γ_C คือ ค่าความปลอดภัยและค่าปรับแก้ โดย มีค่าเท่ากับ 1.5 สำหรับข้อต่อทางกล และเท่ากับ 1.0 สำหรับข้อต่อรางรถไฟที่รองรับ

การทดสอบจะทำการให้น้ำหนักกระทำกับชิ้นส่วนตัวอย่าง โดยความถี่ของแรงที่กระทำมีค่าระหว่าง $3-5\ \mathrm{Hz}$ และจำนวนรอบการกระทำเท่ากับ 3 ล้านรอบ เมื่อการทดสอบเสร็จสิ้นลงจึงทำการตรวจสอบความเสียหายที่เกิดขึ้น หากไม่พบความเสียหายแสดงว่าชิ้นส่วนตัวอย่างผ่านการทดสอบทั้งนี้ รายละเอียดในการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดสามารถดูได้จากคู่มือ

4.5.3 คุณสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้า (electrical insulation)

ค่าการเป็นฉนวนของรอยต่อทางกลถูกกำหนดไว้ในการทดสอบแบบแห้ง (dry) ดังนี้

1) ค่าความต้านทานระหว่าง rail – rail ต้องมากกว่า 30 เมกะโอห์ม
2) ค่าความต้านทานระหว่าง rail – fishplate ต้องมากกว่า 30 เมกะโอห์ม
3) ค่าความต้านทานระหว่าง rail – rail ต้องมากกว่า 200 เมกะโอห์ม
4) ค่าความต้านทานระหว่าง rail – fishplate ต้องมากกว่า 200 เมกะโอห์ม

โดยค่าความต้านทานนี้จะใช้ได้ในการทดสอบรอยต่อทางกลที่เป็นประกับฉนวนราง และไม่ได้ใช้ในรอยต่อทางกลทั่วไป รายละเอียดในการทดสอบค่าการเป็นฉนวนสามารถดูได้จากคู่มือการออกแบบและก่อสร้าง

4.5.4 การทดสอบการดัดโค้ง

เมื่อดัดโค้งที่ 120 องศา เหล็กประกับรางจะต้องไม่ปรากฏรอยปริร้าว แตก บนผิวเหล็กประกับรางที่ผิวด้านนอก

4.5.5 ค่าความคลาดเคลื่อนของระยะต่าง ๆ ที่ยอมให้

ค่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนดจะอ้างอิงที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ดังแสดงใน**ตารางที่ 6**

ตารางที่ 6 ค่าความคลาดเคลื่อนของระยะต่าง ๆ

รายการ	พิกัดความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้	
	สูงสุด (มม.)	ต่ำสุด (มม.)
ความยาว	+1.6	-1.6
เส้นผ่าศูนย์กลางรูสลักเกลียว	+0.8	-0.0
ระยะห่างระหว่างรูสลักเกลียว	+0.8	-0.8
การได้ฉากของปลาย	0.4	0.4

4.6 จุดต่อเผื่อขยาย (expansion joints)

4.6.1 ข้อกำหนดทั่วไป

1) ส่วนรองรับ (support panel)

ในกรณีที่รอยต่อยอมให้มีการเคลื่อนที่ได้ 1 ข้าง จำนวนของหมอนรองใต้รอยต่อเพื่อต้านทานการเคลื่อนที่ควรมีอย่างน้อย 4 ตัว และในส่วนของรางบริเวณรอยต่อซึ่งยอมให้มีการเคลื่อนตัวนั้น อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวที่ใช้ยึดรางกับหมอนรองประแจ ควรเป็นประเภทเครื่องยึดเหนี่ยวแบบความต้านทานต่ำ ทั้งนี้เพื่อให้รางบริเวณดังกล่าวสามารถเคลื่อนตัวได้

นอกจากนั้น หมอนรองรางควรมีการยึดรั้งเข้าด้วยกัน ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้ตัวยึดหมอน (bearer strap) รางกัน (guard rail) หรือ แผ่นรองรางต่อเนื่อง (continuous base plate) เป็นต้น

การใช้ตัวยึดหมอนนั้นมีความสำคัญมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่รอยต่อเป็นประเภทที่ยอมให้มีการเคลื่อนตัวทั้งสองด้าน ทั้งนี้เพื่อให้เป็นการแน่ใจว่าระยะระหว่างหมอนรองประแจจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง ทั้งในช่วงเวลาใช้งานและการบำรุงรักษา

2) เครื่องยึดเหนี่ยวแบบความต้านทานต่ำ

ค่าการยึดเหนี่ยวทางแนวยาวของอุปกรณ์ยึดราง ไม่ว่ากรณีใด ๆ ก็ตาม ควรจะมีค่าน้อยกว่าค่าการยึดรั้งระหว่างหมอนรองประแจกับหินโรยทาง นอกจากนั้น ค่าความต้านทานการคืบ (creep resistance) ควรจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 5 กิโลนิวตัน ต่อแผ่นที่ใช้ในการติดตั้ง (per base plate)

3) ลูกกลิ้งรองราง

ลูกกลิ้งรองราง ต้องสามารถรองรับการเคลื่อนตัวของรางและบังคับให้รางอยู่ในทิศทางที่ถูกต้องได้ ทั้งในกรณีรางเดียวและทั้งสองราง

4) ความต้านทานในแนวยาวโดยรวม

ค่าความต้านทานตามแนวยาวของรางตรงจุดต่อเผื่อขยายควรมีการกำหนด โดยสามารถทำให้แรงที่เกิดขึ้นในรางอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ปลายรางทั้งสองนั้นลดลงได้

4.6.2 การออกแบบขนาดช่องว่างที่จุดต่อเผื่อขยาย

1) ปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบขนาดช่องว่าง ประกอบด้วย

1.1) ความต้านทานการเคลื่อนตัวตามแนวยาวของรางระหว่างหมอนรถไฟและหินโรยทาง

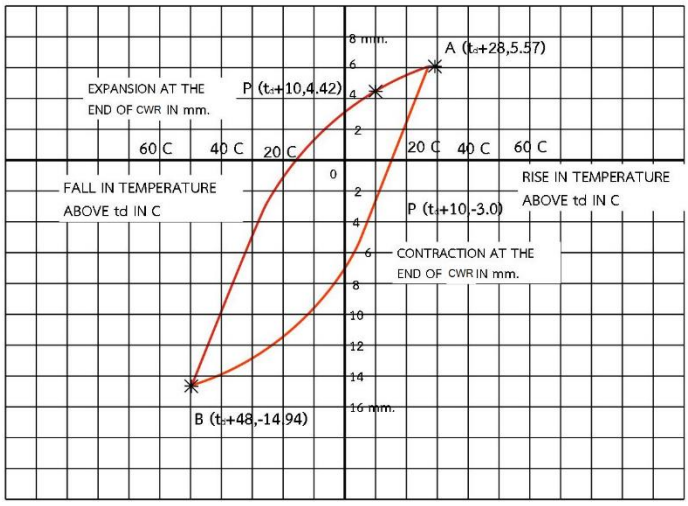
1.2) พื้นที่หน้าตัดของราง

1.3) ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของราง

1.4) ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของราง (α)

1.5) อุณหภูมิการคลายความเค้นของรางรถไฟ (t_d)

1.6) ช่องว่างเริ่มต้น (initial gap) ที่อุณหภูมิการคลายความเค้น ขนาดของช่องว่างหากไม่มีการกำหนดจากบริษัทผู้ผลิตสามารถคำนวณได้จากการสร้างเส้นโค้งฮีสเทอรีซิส (hysteresis) การเคลื่อนที่ของรางลิ้นประแจต่อรางประคองลิ้น (tongue/stock rail) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังแสดงใน**รูปที่ 11**



รูปที่ 11 ตัวอย่างเส้นโค้งฮีสเทอรีซิสการเคลื่อนที่ของรางลิ้นประแจต่อรางประคองลิ้น ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

การเคลื่อนที่ของ รางลิ้นประแจและรางประคองลิ้น จากตำแหน่งอุณหภูมิการคลายความเค้นของรางไปสู่จุดที่อุณหภูมิสูงสุด (จุด A) ใน**รูปที่ 11** สามารถคำนวณ**สมการ (4)**

$$AE\alpha^2\left(t_{\max}-t_d\right)^2/2R \qquad (4)$$

และ จุดต่ำสุดของอุณหภูมิ (จุด B) สามารถคำนวณได้จาก**สมการ (5)**

$$AE\alpha^2 t_{\max}^2/4R \qquad (5)$$

โดยที่

A คือ พื้นที่หน้าตัดของราง (ตารางเซนติเมตร)

E คือ ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของราง (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของราง (/องศาเซลเซียส)

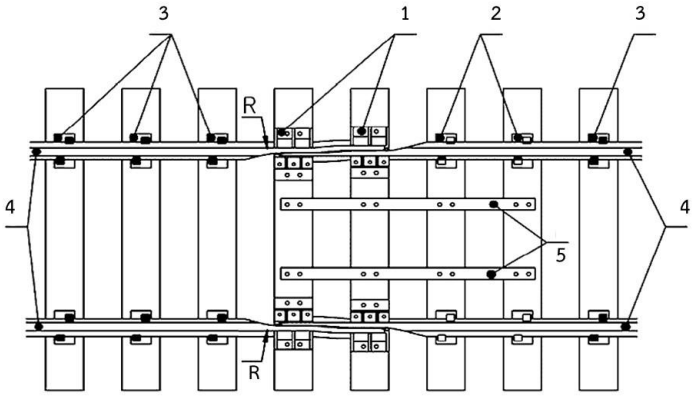
$t_{\max}$ คือ อุณหภูมิสูงสุด

t_d คือ อุณหภูมิการคลายความเค้นของรางรถไฟ

R คือ longitudinal ballast resistance (กิโลกรัม / เซนติเมตร / ราง)

2) ประเภทของจุดต่อเผื่อขยาย

2.1) รางลิ้นประแจปรับได้ (adjustment switch) ที่ไม่มีรางกัน (เคลื่อนที่ได้ทั้งสองด้าน) แสดงดัง**รูปที่ 12**



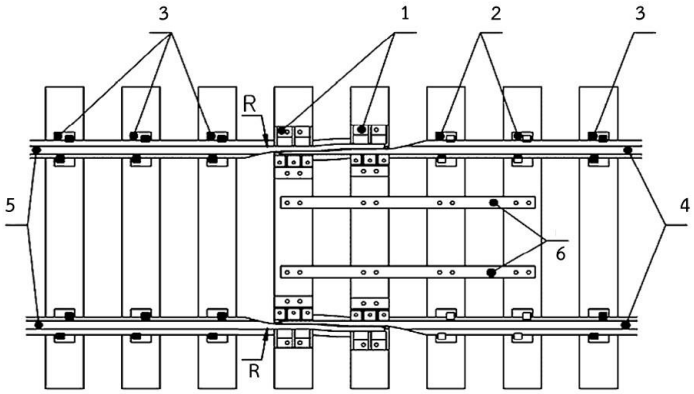
เครื่องหมาย

1 รางเลื่อน (slide chair)
2 อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง ยึดรั้งต่ำ (low restrain fastening)
3 อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง (standard fastening)
4 รางเคลื่อนที่ได้ (moveable rails)
5 ตัวยึดหมอน (bearer straps)
R จุดอ้างอิง (reference point)

รูปที่ 12 รางลิ้นประแจปรับได้ที่ไม่มีรางกัน (เคลื่อนที่ได้ทั้งสองด้าน)

(ที่มา: ประยุกต์จากคู่มือการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ สนข.)

2.2) รางลิ้นประแจปรับได้ที่ไม่มีรางกัน (เคลื่อนที่ได้ด้านเดียว) แสดงดัง**รูปที่ 13**



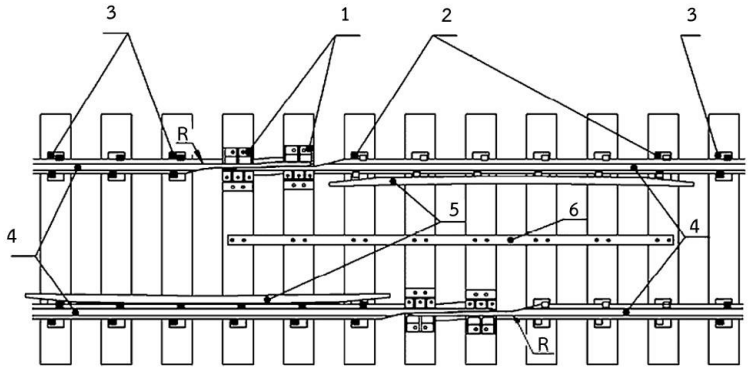
เครื่องหมาย

1 รางเลื่อน (slide chair)
2 อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง ยึดรั้งต่ำ (low restrain fastening)
3 อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง (standard fastening)
4 รางเคลื่อนที่ได้ (moveable rails)
5 รางเคลื่อนที่ไม่ได้ (fixed rails)
6 ตัวยึดหมอน (bearer straps)
R จุดอ้างอิง (reference point)

รูปที่ 13 รางลิ้นประแจที่ไม่มีรางกัน (เคลื่อนที่ได้ด้านเดียว)

(ที่มา: ประยุกต์จากคู่มือการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ สนข.)

2.3) รางลิ้นประแจปรับได้ที่มีรางกัน (เคลื่อนที่ได้ทั้งสองด้าน) แสดงดัง**รูปที่ 14**



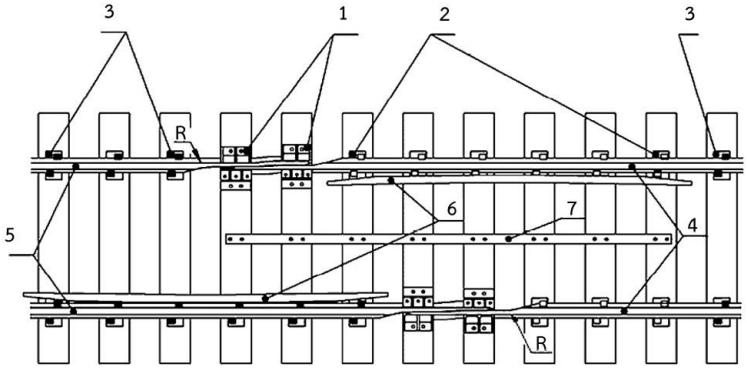
เครื่องหมาย

1 รางเลื่อน (slide chair)
2 อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง ยึดรั้งต่ำ (low restrain fastening)
3 อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง (standard fastening)
4 รางเคลื่อนที่ได้ (moveable rails)
5 รางกัน (check rails)
6 ตัวยึดหมอน (bearer straps)
R จุดอ้างอิง (reference point)

รูปที่ 14 รางลิ้นประแจปรับได้ที่มีรางกัน (เคลื่อนที่ได้ทั้งสองด้าน)

(ที่มา: ประยุกต์จากคู่มือการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ สนข.)

2.4) รางลิ้นประแจปรับได้ที่มีรางกัน (เคลื่อนที่ได้ด้านเดียว) แสดงดัง**รูปที่ 15**



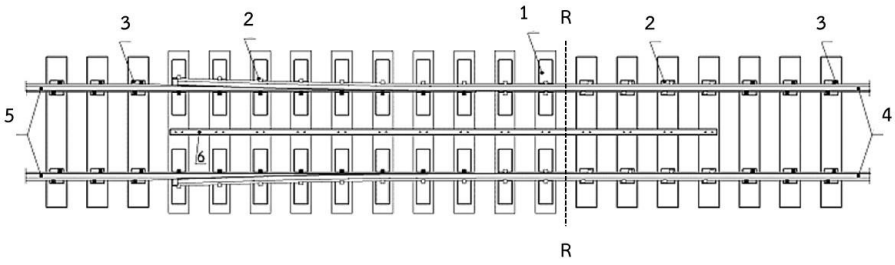
เครื่องหมาย

1 รางเลื่อน (slide chair)
2 อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง ยึดรั้งต่ำ (low restrain fastening)
3 อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง (standard fastening)
4 รางเคลื่อนที่ได้ (moveable rails)
5 รางเคลื่อนที่ไม่ได้ (fixed rails)
6 รางกัน (check rails)
7 ตัวยึดหมอน (bearer straps)
R จุดอ้างอิง (reference point)

รูปที่ 15 รางลิ้นประแจปรับได้ที่มีรางกัน (เคลื่อนที่ได้ด้านเดียว)

(ที่มา: ประยุกต์จากคู่มือการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ สนข.)

2.5) รางลิ้นประแจส่วนขยาย (expansion switch) เคลื่อนที่ไม่ได้ ส่วนรางประคองลิ้น (Stock Rails) เคลื่อนที่ได้ แสดงดัง**รูปที่ 16**



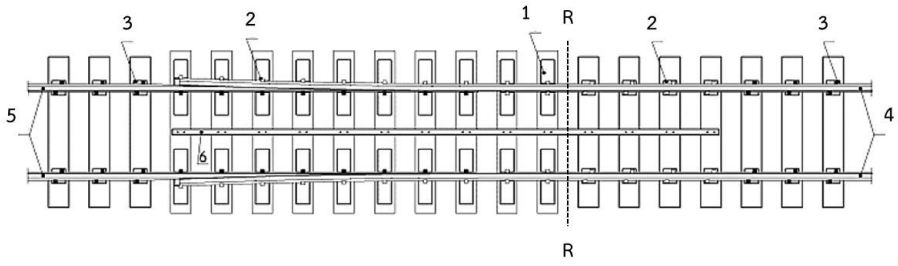
เครื่องหมาย

1 รางเลื่อน (slide chair)
2 อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง ยึดรั้งต่ำ (low restrain fastening)
3 อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง (standard fastening)
4 รางประคองลิ้นเคลื่อนที่ได้ (moveable stock rails)
5 รางลิ้นเคลื่อนที่ไม่ได้ (fixed switch rails)
6 ตัวยึดหมอน (bearer straps)
R จุดอ้างอิง (reference point)

รูปที่ 16 รางลิ้นประแจส่วนขยายเคลื่อนที่ไม่ได้ ส่วนรางประคองลิ้นเคลื่อนที่ได้

(ที่มา: ประยุกต์จากคู่มือการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ สนข.)

2.6) รางลิ้นประแจส่วนขยายเคลื่อนที่ได้ ส่วนรางประคองลิ้นเคลื่อนที่ไม่ได้ แสดงดัง**รูปที่ 17**

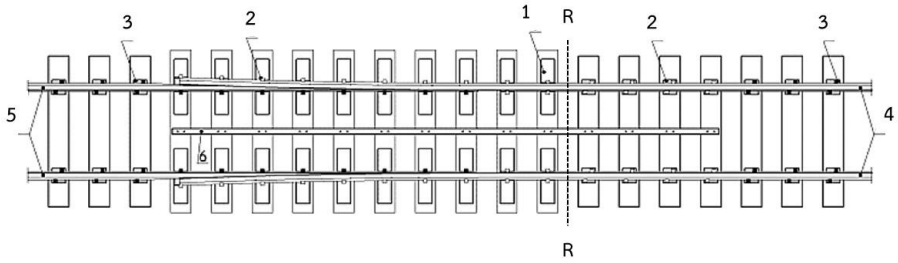


เครื่องหมาย

1 รางเลื่อน (slide chair)
2 อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง ยึดรั้งต่ำ (low restrain fastening)
3 อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง (standard fastening)
4 รางประคองลิ้นเคลื่อนที่ไม่ได้ (fixed stock rails)
5 รางลิ้นเคลื่อนที่ได้ (moveable switch rails)
6 ตัวยึดหมอน (bearer straps)
R จุดอ้างอิง (reference point)

รูปที่ 17 รางลิ้นประแจส่วนขยายเคลื่อนที่ได้ ส่วนรางประคองลิ้นเคลื่อนที่ไม่ได้
(ที่มา: ประยุกต์จากคู่มือการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ สนข.)

2.7) รางลิ้นประแจส่วนขยายและรางประคองลิ้นเคลื่อนที่ได้ แสดงดัง**รูปที่ 18**



เครื่องหมาย

1 รางเลื่อน (slide chair)
2 อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง ยึดรั้งต่ำ (low restrain fastening)
3 อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง (standard fastening)
4 รางประคองลิ้นเคลื่อนที่ได้ (moveable stock rails)
5 รางลิ้นเคลื่อนที่ได้ (moveable switch rails)
6 ตัวยึดหมอน (bearer straps)
R จุดอ้างอิง (reference point)

รูปที่ 18 รางลิ้นประแจส่วนขยายและรางประคองลิ้นเคลื่อนที่ได้
(ที่มา: ประยุกต์จากคู่มือการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ สนข.)

5. อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง (fastener)

5.1 ทั่วไป

อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางเป็นส่วนประกอบสำคัญของทางรถไฟที่มีหน้าที่ยึดรั้งให้รางอยู่ติดกับหมอนหรือพื้นคอนกรีตอย่างมั่นคง โดยตลอดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางนั้น จะมีแรงต่าง ๆ ที่มากระทำอยู่ตลอดเวลา เช่น แรงจากการยืดหดตัวและการโก่งตัวออกด้านข้าง รวมไปถึงการขยับขึ้นลงแนวดิ่งของราง แรงกระแทกจากล้อรถไฟทั้งในแนวดิ่ง แนวยาวและด้านข้าง ซึ่งแปรผันไปตามความเร็วของรถไฟและสภาพของทางรถไฟ เป็นต้น ปัจจัยดังกล่าวมีผลทำให้การออกแบบและเลือกใช้อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง จำเป็นต้องคำนึงถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

1) สามารถรักษาตำแหน่งของรางให้อยู่บนหมอนอย่างมั่นคง
2) สามารถต้านแรงกระทำกับตัวรางในแนวดิ่ง แนวด้านข้างและแนวยาวได้อย่างปลอดภัย
3) สามารถดูดซับแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากล้อรถไฟโดยให้ความยืดหยุ่นกับระบบรางและหมอนรองราง (elastic resilience)
4) ปกป้องหรือลดการเสียดสีบนราง/หมอนรองราง
5) เป็นฉนวนไฟฟ้าสำหรับวงจรไฟฟ้าของอุปกรณ์อาณัติสัญญาณ
6) มีความคงทนต่อสภาพแวดล้อมในพื้นที่ได้
7) ติดตั้งได้ง่าย โดยไม่ต้องใช้เครื่องมือที่ซับซ้อน
8) มีการออกแบบที่ป้องกันการขโมยถอดรื้อออกจากทางได้โดยง่าย
9) มีส่วนประกอบน้อยชิ้น และง่ายต่อการซ่อมบำรุง

5.1.1 วัตถุประสงค์

มาตรฐานนี้ใช้กำหนดคุณสมบัติของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางรถไฟแบบยึดโดยตรงชนิดยืดหยุ่น (direct fixation elastic fastener)

5.1.2 ขอบเขต

1) มาตรฐานนี้ครอบคลุมถึงอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางรถไฟแบบยืดหยุ่นสำหรับทางรถไฟขนาด 1.000 เมตร และ 1.435 เมตร
2) มาตรฐานนี้ครอบคลุมถึงอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางรถไฟแบบยืดหยุ่นสำหรับหมอนคอนกรีตและแผ่นพื้นทางรถไฟคอนกรีต
3) มาตรฐานนี้ใช้พื้นฐานของน้ำหนักลงเพลาและความเร็วของสายทางตาม มขร. – C – 001 -2564 มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ (Track Classification)

5.2 ข้อกำหนดขั้นต่ำของการออกแบบ

5.2.1 ข้อกำหนดทั่วไป

1) อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางแบบยืดหยุ่นที่จะนำมาใช้งานได้ต้องได้รับการพิสูจน์ในระดับสากลภายใต้สภาวะการทำงานปกติบนระบบทางรถไฟที่สำคัญมาไม่น้อยกว่า 5 ปี หรือต้องมีข้อมูลการทดสอบที่น่าเชื่อถือซึ่งระบุว่าระบบจะมีคุณสมบัติตามข้อกำหนดทั้งหมดของมาตรฐานนี้ โดยอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรวมไปถึงอุปกรณ์ฝังยึด (shoulder) จะต้องมีความสามารถในการทนต่อแรงกระทำซ้ำ ๆ ภายในสภาวะการใช้งานปกติโดยไม่มีการล้าหรือต้องมีการบำรุงรักษาที่มากเกินไป
2) การออกแบบอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 2528 หรือ EN-13481 หรือ UIC-864-5 เว้นแต่จะระบุไว้เป็นอย่างอื่นในมาตรฐานฉบับนี้
3) ส่วนประกอบของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางที่ถอดประกอบไม่ได้หรือต้องมีการหล่อเข้ากับชิ้นส่วนอื่น จะต้องได้รับการออกแบบและผลิตเพื่อให้มีอายุการใช้งานขั้นต่ำ 50 ปีภายใต้ปริมาณการจราจรตามสายทางที่ถูกใช้งาน
4) ส่วนประกอบของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางที่ถอดประกอบได้หรือไม่มีการหล่อเข้ากับชิ้นส่วนอื่น จะต้องได้รับการออกแบบและผลิตเพื่อให้มีอายุการใช้งานขั้นต่ำ 25 ปีภายใต้ปริมาณการจราจรตามสายทางที่ถูกใช้งาน

5.2.2 รายละเอียดของทางรถไฟ

1) อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางจะใช้ร่วมกับราง BS-100A, UIC-54E1 และ 60E1 สำหรับทางรถไฟขนาด 1.000 เมตร รวมรถไฟฟ้าสายสีแดง และ UIC-60 สำหรับทางรถไฟขนาด 1.435 เมตร
2) ความลาดเอียงของการวางรางคือ 1:20 และ 1:40
3) อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางจะใช้ร่วมกับทางรถไฟที่มีน้ำหนักลงเพลาและความเร็วสูงสุดของรถไฟแต่ละประเภท ตามข้อกำหนดใน มขร. – C – 001 -2564 มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ (Track Classification)

5.2.3 คุณสมบัติของชุดอุปกรณ์

1) ชุดอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางจะต้องสามารถยึดรางเข้ากับหมอนหรือแผ่นพื้นได้อย่างมั่นคง โดยจะต้องสามารถคงสภาพทางรถไฟให้มีความราบเรียบและความกว้างคงที่รวมไปถึงต้านทานแรงกระทำต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นขณะใช้งานได้ เช่น แรงกระแทกจากล้อ แรงยกตัวจากการสั่นสะเทือนและแรงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เป็นต้น โดยคุณสมบัติในการใช้งานจะต้องเป็นไปตามที่กำหนด พร้อมผลการทดสอบที่เชื่อถือได้
2) แผ่นรองรางจะต้องถูกออกแบบให้มีคุณสมบัติในการจัดวางตำแหน่งของตนเองให้อยู่ตำแหน่งที่เหมาะสมบนหมอนได้ (self-locating)
3) แผ่นรองรางจะต้องถูกออกแบบให้สามารถติดตั้งร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ ในชุดอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวได้โดยง่าย
4) ความเป็นฉนวนไฟฟ้าของชุดอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวต้องมีความต้านทานไฟฟ้าเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดปัญหาต่อระบบขณะใช้งาน โดยชุดอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวจะต้องถูกทดสอบความต้านทานต่อกระแสไฟฟ้าตามขั้นตอนที่กำหนด

5.3 คุณสมบัติของส่วนประกอบในชุดอุปกรณ์ยึดเหนี่ยว

5.3.1 ส่วนประกอบที่หล่อเข้ากับชิ้นส่วนอื่น (cast-in component)

1) ต้องออกแบบให้มีอายุการใช้งานไม่น้อยกว่าหมอนหรือแผ่นพื้นทางรถไฟ โดยไม่ต้องมีการซ่อมบำรุง (maintenance free)
2) ต้องมีคุณสมบัติที่ทนต่อการกัดกร่อนจากสภาพแวดล้อมปกติในการใช้งานและจะต้องมีการแสดงรายละเอียดในการป้องกันการกัดกร่อนโดยเฉพาะในส่วนที่มีการสัมผัสกับหินโรยทาง
3) ต้องสามารถทนต่อแรงกระทำซ้ำ ๆ ที่เกิดจากปริมาณการจราจรในสายทางได้โดยไม่เกิดความเสียหายจากการล้า

5.3.2 คลิป (clip)

คลิปจะต้องทำจากเหล็กกล้าสปริงและผลิตตามกระบวนการหล่อ การชุบแข็ง และการดัด เพื่อให้มีประสิทธิภาพตามที่ระบุ

5.3.3 แผ่นรองราง (rail pad)

แผ่นรองรางต้องทำจากวัสดุที่มีค่าความแข็งเกร็ง (stiffness) ที่พอเหมาะเพื่อให้มีความสามารถในการซับแรงกระแทกภายใต้แรงกระแทกและในขณะเดียวกันก็ต้องสามารถคงรูปไว้ได้โดยไม่ทำให้รางเคลื่อนที่ได้มากเกิน เช่น วัสดุ HDPE (high density polyethylene) วัสดุ EVA (ethylene vinyl acetate) ยาง (rubber) เป็นต้นและมีคุณสมบัติตามที่กำหนดในมาตรฐานนี้หรือตามข้อตกลงในสัญญา โดยวัสดุควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1) มีส่วนผสมของคาร์บอนดำ (Carbon black content) ร้อยละ 1.0 - 1.5
2) มีความหนาแน่น 0.930 - 0.952 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
3) มีค่า Melt Flow Index (MFI) 3.4 - 5.2 กรัมต่อ 10 นาที
4) มีค่า reground น้อยกว่าร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก
5) เป็นวัสดุทนต่อแสง UV
6) เป็นวัสดุผิวเรียบและเป็นเนื้อเดียว
7) คุณสมบัติของวัสดุจะต้องคงที่ตลอดช่วง 60 องศาเซลเซียส และ -10 องศาเซลเซียส

แผ่นรองรางต้องมีความสามารถในการรับน้ำหนักลงเพลาของรถไฟแต่ละประเภท ตามข้อกำหนดใน มขร. – C – 001 -2564 มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ (Track Classification) และ มอก. 2667-2558 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นยางรองรางรถไฟและความกว้างของแผ่นรองรางจะต้องได้รับการออกแบบเพื่อให้เหมาะสมกับหมอนและความหนาต่ำสุดที่ยอมให้คือ 5.0 มม.

การเลือกแผ่นรองรางจะขึ้นกับลักษณะการใช้งานโดยเฉพาะในระยะยาวและสภาพแวดล้อม รวมทั้งชนิดของรางที่ใช้ สำหรับโค้งมากกว่า 2 องศา และสำหรับบริเวณใช้งานที่มีสภาวะแวดล้อมรุนแรง การเลือกใช้แผ่นรองรางต้องใส่ใจเป็นพิเศษ อาจเลือกใช้แผ่นรองรางแบบสามแผ่นประกบ (three-part sandwich pad) ที่ประกอบด้วยปะเก็นโฟม (form gasket) ชั้นล่างแผ่นขัดสี (abrasion plate) ชั้นกลาง และวัสดุมีชื่อเรียกว่า “วัสดุเทอร์โมพลาสติก (shape factored thermoplastic material)” ชั้นบน หรืออาจเลือกใช้แผ่นรองรางแบบสองแผ่นประกบ (Two-part sandwich pad) ที่ประกอบด้วย

แผ่นขัดสีชั้นล่างและวัสดุเทอร์โมพลาสติกชั้นบน หรืออาจเลือกใช้แผ่นรองรางชั้นเดียวทำจากวัสดุมีชื่อเรียกว่า “ยางเสริม (reinforced elastomer)”

5.3.4 แผ่นรองเสริม (spacers)

ต้องมีคุณสมบัติทางกลและถูกทดสอบภายใต้สภาวะการใช้งานเช่นเดียวกับแผ่นรองราง และต้องถูกออกแบบให้สามารถคงตำแหน่งได้ตลอดอายุการใช้งานหลังจากที่ติดตั้งลงบนทางรถไฟ รวมถึงต้องสามารถทนต่อรังสีอัลตร้าไวโอเลต โอโซนและการกัดกร่อน ตลอดอายุการใช้งาน

5.3.5 ฉนวน (insulation) (สำหรับใช้กับหมอนคอนกรีต)

ฉนวนจะถูกใช้เพื่อป้องกันการรบกวนต่อระบบอาณัติสัญญาณและป้องกันการเสื่อมสภาพที่อาจเกิดขึ้นโดยการรั่วของกระแสไฟฟ้า จากเหตุผลข้างต้น จำเป็นต้องก่อสร้างทางรถไฟให้มีฉนวนไฟฟ้าที่แยกรางและหมอนออกจากกัน โดยฉนวนต้องถูกออกแบบให้ติดตั้งร่วมกับชุดอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางได้โดยง่ายโดยไม่กระทบต่อประสิทธิภาพด้านอื่นของชุดอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง โดยในระบบรถไฟมีพื้นที่การจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบรถไฟ 2 ระบบ คือ

(1) พื้นที่ระบบรถไฟ ที่ไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้ากับระบบรถไฟ

(2) พื้นที่ระบบรถไฟ ที่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้ากับระบบรถไฟ

ซึ่งความต้องการของการเป็นฉนวนในพื้นที่ระบบรถไฟจะแตกต่างกัน เช่น รถไฟในเมืองหรือเมโทรที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบรถไฟ 750 โวลต์ หรือรถไฟความเร็วสูงที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบรถไฟ 25 กิโลโวลต์ ความเป็นฉนวนของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวที่ต้องการจะต้องครอบคลุมและสอดคล้องกับมาตรฐาน EN 50122-2 เรื่องการกัดกร่อน (corrosion) แต่ถ้าไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้ากับระบบรถไฟ เช่น รถไฟระหว่างเมือง ความต้องการของการเป็นฉนวนก็จะมีแต่ในระบบอาณัติสัญญาณ ซึ่งต้องไม่กระทบกับระบบวงจรไฟตอน (track circuit)

5.4 คุณภาพการผลิต (manufacture qualities)

5.4.1 มิติและความคลาดเคลื่อน

อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางจะต้องผลิตและจำหน่ายให้ได้ตามขนาดที่ได้ออกแบบ โดยจะต้องมีการตรวจวัดขนาดและบันทึกค่าคลาดเคลื่อนก่อนทำการตรวจรับโดยผู้รับผิดชอบ

5.4.2 พื้นผิวภายนอก

อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางจะต้องปราศจากร่องรอยบนพื้นผิว รอยแตกหรือร่องรอยที่บ่งชี้ว่าอาจทำให้เกิดปัญหาขณะใช้งานนอกจากนี้พื้นผิวจะต้องปราศจากส่วนเกินใด ๆ ซึ่งอาจทำให้เกิดการบาดเจ็บต่อผู้ปฏิบัติการหรืออาจทำให้เกิดการติดขัดระหว่างการติดตั้ง

5.4.3 การเคลือบผิว

อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางจะต้องมีการเคลือบป้องกันเพื่อป้องกันการกัดกร่อน วัสดุเคลือบผิวต้องไม่ประกอบด้วยวัสดุใด ๆ ที่อาจเป็นอันตรายต่อความปลอดภัยหรือความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม การเคลือบผิวต้องสามารถป้องกันชุดยึดได้จากสภาวะการใช้งานปกติในแต่ละพื้นที่ นอกจากนี้การเคลือบผิวจะต้องไม่มีผลต่อขนาดของอุปกรณ์ซึ่งอาจทำให้ไม่สามารถใช้งานร่วมกับส่วนประกอบอื่น ๆ ได้

5.4.4 เครื่องหมาย

อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางทุกชุดจะต้องมีการตีตราสินค้าที่อ่านได้อย่างชัดเจนและมีความคงทน เพื่อระบุชนิดและเลขบอกลำดับชุดที่ทำการการผลิต

5.5 การทดสอบและการรับรอง

อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางแต่ละชุดจะต้องมีการสุ่มตรวจสอบและรับรองคุณภาพก่อนนำมาใช้งานจริง โดยอ้างอิงกับมาตรฐาน มอก. 2528, EN-13146 และ UIC-864-5 โดยจะต้องมีผลการทดสอบดัง **ตารางที่ 7**

ตารางที่ 7 คุณสมบัติและการทดสอบของชุดอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง

การทดสอบ	คุณสมบัติที่ต้องทำการทดสอบ	วิธีการทดสอบ	ค่าที่ยอมให้	ข้อสังเกต
1	ความต้านทานต่อแรงกระทำแนวยาว	มอก.2528 หรือ EN-13146-1	ไม่ต่ำกว่า 7 กิโลนิวตัน ณ จุดที่เกิดการเลื่อนไถล	การทดสอบนี้ต้องดำเนินการก่อนการทดสอบแรงกระทำซ้ำ
2	ความแข็งเกร็งในแนวดิ่ง	EN-13146-4, EN-13146-9	ไม่เกินกว่า 35 กิโลนิวตันต่อเมตร	ต้องไม่เกิดการเลื่อนไถล การครากหรือการแตกหักของชิ้นส่วน โดยค่าความแข็งเกร็งในแนวดิ่งจะถูกคำนวณในช่วงแรงกระทำระหว่าง 5 ถึง 80 กิโลนิวตัน
3	ความแข็งเกร็งเชิงพลศาสตร์	EN 13481-5, Annex B	ไม่เกินกว่า 1.4	อัตราส่วนสามารถคำนวณได้โดยนำค่าความแข็งเกร็งเชิงพลศาสตร์หารด้วยค่าความแข็งเกร็งเชิงสถิต
4	แรงกดของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง	มอก. 2528 หรือ EN-13146-7	ไม่ต่ำกว่า 20 กิโลนิวตันต่อชุดรางหนึ่งข้าง	แรงกดที่คลิปหนึ่งตัวต้องมีไม่น้อยกว่า 10 กิโลนิวตัน การทดสอบนี้ต้องดำเนินการก่อนการทดสอบแรงกระทำซ้ำ
5	ความต้านทานไฟฟ้า	มอก. 2528 หรือ EN-13146-5	ไม่ต่ำกว่า 5 กิโลโอห์ม	ในกรณีที่จำเป็นอาจใช้ค่าที่สูงกว่าที่กำหนดนี้

การทดสอบ	คุณสมบัติที่ต้องทำการทดสอบ	วิธีการทดสอบ	ค่าที่ยอมให้	ข้อสังเกต
6	ความต้านทานต่อการสึกกร่อน	EN-13146-6	ชิ้นส่วนของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวจะต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติในการใช้งานหลังจากการทดสอบ	
7	แรงกระทำซ้ำ	มอก. 2528 หรือ EN-13146-4	ต้องไม่ปรากฏถึงร่องรอยการสึกหรือการเสียรูป หลังจากที่ทำการทดสอบ	
7A	ความแข็งเกร็งแนวดิ่งหลังจากทดสอบแรงกระทำซ้ำ	มอก. 2528 หรือ EN-13146-4	ต้องมีค่าไม่ต่างไปจากก่อนทำการทดสอบเกิน 25 เปอร์เซ็นต์	ต้องไม่มีร่องรอยการเสียหาย ฉีกขาดหรือการเลื่อนไถล
7B	ความต้านทานต่อแรงกระทำแนวยาวหลังจากทดสอบแรงกระทำซ้ำ	มอก. 2528 หรือ EN-13146-1	ต้องมีค่าไม่ต่างไปจากก่อนทำการทดสอบเกิน 20 เปอร์เซ็นต์	ต้องไม่เกิดการเลื่อนไถล การครากหรือการแตกหักของชิ้นส่วน ยกเว้นรางที่ยอมให้เกิดการเลื่อนไถลได้ โดยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการเคลื่อนตัวในแนวยาวจะต้องถูกบันทึกและรับรองโดยผู้รับผิดชอบ
7C	แรงกดของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง หลังจากทดสอบแรงกระทำซ้ำ	มอก. 2528 หรือ EN-13146-7	ต้องมีค่าไม่ต่างไปจากก่อนทำการทดสอบเกิน 20 เปอร์เซ็นต์	
8	การถอนออกของวัสดุฝังยึด	มอก. 2528	แรงถอนต้องไม่ต่ำกว่า 60 กิโลนิวตันต่อวัสดุฝังยึดหนึ่งตัว	
9	การต้านทานแรงกระทำด้านข้างของวัสดุฝังยึด	มอก. 2528	ไม่ต่ำกว่า 70 กิโลนิวตันต่อชุดรางหนึ่งข้าง	

การทดสอบ	คุณสมบัติที่ต้องทำการทดสอบ	วิธีการทดสอบ	ค่าที่ยอมให้	ข้อสังเกต
10	การซับแรงกระแทก	EN-13146-3	ค่าการลดแรงกระแทกต้องไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์	
11	การต้านทานต่อการคืบ	มอก. 2528	ไม่น้อยกว่า 9 กิโลนิวตัน ณ ตำแหน่งที่เริ่มเกิดการไถล รายงานผลการเคลื่อนตัวของรางภายใต้แรงกระทำแนวยาวที่หัวราง 24.5 กิโลนิวตัน เป็นเวลา 5 นาที	
12	การต้านทานต่อแรงกระทำด้านข้าง	มอก. 2528	รายงานผลการเคลื่อนตัวของรางภายใต้แรงกระทำแนวเอียง 30 องศาจากพื้นระนาบ ที่หัวราง 90 กิโลนิวตัน	
13	การต้านทานต่อแรงบิด (torsional resistant)	มอก. 2528	รายงานผลความสัมพันธ์ของแรงบิดและการหมุนรอบตัวของราง	
14	การยกตัวของราง	มอก. 2528	รายงานผลของแรงกระทำเพื่อให้รางยกขึ้น 0.25 มม. บนรางหนึ่งด้าน	
15	การตรวจสอบมิติ	มอก. 2528	ตรวจสอบมิติของทางวิ่งหลังจากติดตั้งอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวเข้ากับรางแล้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคลิปต้องคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.2 เปอร์เซ็นต์ และค่าความกลมต้องไม่เบี่ยงเบนเกิน 0.25 มม.	
16	การฉีกขาดของแผ่นรอง	UIC-864-5		

การทดสอบ	คุณสมบัติที่ต้องทำการทดสอบ	วิธีการทดสอบ	ค่าที่ยอมให้	ข้อสังเกต
17	อุณหภูมิอ่อนตัวของแผ่นรองราง	UIC-864-5	มีค่า Melt Flow Index 3.4 – 5.2 กรัมต่อ 10 นาที คุณสมบัติของวัสดุจะต้องคงที่ตลอดช่วง + 60 และ -10 องศาเซลเซียส	
18	ความหนาแน่นของแผ่นรองราง	UIC-864-5	ไม่น้อยกว่า 0.930 - 0.952 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	

6. หมอนรองราง (sleeper)

6.1 ทั่วไป

หมอนรองรางเป็นส่วนประกอบทางรถไฟที่สำคัญมากในการรองรับน้ำหนักจากรถไฟ โดยหมอนทำหน้าที่เป็นฐานรองรับรางไปตลอดความยาว การออกแบบหมอนรองรางต้องให้สามารถต้านทานแรงกระทำซ้ำต่าง ๆ และถ่ายแรงจากรางรถไฟไปสู่หินโรยทางหรือชั้นวัสดุอื่นที่รองรับได้ รวมทั้งต้องมีความทนทานต่อสภาวะใช้งาน

1) **สำหรับทางรถไฟชนิดหินโรยทาง (ballasted track system)** จะใช้หมอนรองรางในการถ่ายแรงจากรางรถไฟไปสู่หินโรยทาง หมอนรองรางสำหรับทางรถไฟชนิดหินโรยทางอาจแบ่งออกได้เป็น 2 แบบใหญ่ ๆ ตามรูปร่างและลักษณะการใช้งาน คือ
   1. หมอนคอนกรีตอัดแรง (prestressed concrete sleeper) ซึ่งเป็นแท่งคอนกรีตอัดแรงแท่งเดี่ยว (monoblock) หรืออาจจะเรียกว่า หมอนคอนกรีตอัดแรงแท่งเดี่ยว (prestressed monoblock sleeper)
   2. หมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง (prestressed Bearer) ซึ่งเป็นแท่งคอนกรีตอัดแรงแท่งเดี่ยว (monoblock) สำหรับรองประแจ
2) **สำหรับทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง (ballastless track system)** ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก องค์ประกอบรอง และส่วนต่าง ๆ ดังรายละเอียดใน มขร. – C – 002 -2564 มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง สำหรับทางขนาด 1,435 มิลลิเมตร (ballastless track design) โดยมีทั้งแบบใช้และไม่ใช้หมอนรองราง ทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทางแบบใช้หมอนรองรางซึ่งจัดเป็นประเภทแบบมีระบบยึดเหนี่ยวราง (fastening system) จะใช้หมอนรองรางซึ่งอาจจะเป็นแบบใดแบบหนึ่ง (หมอนคอนกรีตอัดแรง หมอนคอนกรีตแท่งคู่ หรือหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง) ในการถ่ายแรงจากรางรถไฟไปสู่ชั้นที่รองรับ (supporting layer) แทนหินโรยทาง ซึ่งมักจะทำด้วยคอนกรีตหรือแอสฟัลท์คอนกรีต (Asphalt concrete) ทั้งนี้หมอนรองรางสำหรับทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทางอาจแบ่งออกได้เป็น 2 แบบใหญ่ ๆ ตามรูปแบบหรือลักษณะการติดตั้งบนชั้นที่รองรับ คือ
   1. หมอนรองรางแบบฝังในชั้นที่รองรับ (sleeper embedded in supporting layer) เช่น หมอนคอนกรีตแท่งคู่ฝังในพื้นคอนกรีต (twin-Block concrete sleeper embedded in concrete) เป็นต้น
   2. หมอนรองรางแบบวางบนชั้นที่รองรับ (sleeper on top of supporting layer) เช่น หมอนคอนกรีตอัดแรงวางบนพื้นแอสฟัลท์คอนกรีต (prestressed concrete sleeper on top of asphalt concrete) เป็นต้น

6.1.1 วัตถุประสงค์

มาตรฐานนี้ระบุข้อกำหนดทั่วไปหรือขั้นต่ำเกี่ยวกับการออกแบบ การทดสอบและรับรอง รวมทั้งการผลิตหมอนคอนกรีตสำหรับทางรถไฟชนิดหินโรยทางและทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง

6.1.2 ขอบเขต

1) สำหรับหมอนคอนกรีตสำหรับทางรถไฟชนิดหินโรยทาง มาตรฐานนี้ครอบคลุมหมอนคอนกรีตอัดแรง และหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง
2) สำหรับหมอนคอนกรีตสำหรับทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง มาตรฐานนี้ครอบคลุมหมอนรองรางแบบฝังในชั้นที่รองรับ และหมอนรองรางแบบวางบนชั้นที่รองรับ
3) สำหรับความเร็วสูงสุด ประเภทของการขนส่ง น้ำหนักลงเพลา และขนาดทาง มาตรฐานนี้ครอบคลุมตาม มขร. – C – 001 -2564 มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ (Track Classification)
4) มาตรฐานนี้ครอบคลุมระยะเรียงหมอนรองรางระหว่าง 500 – 750 มม.

6.2 ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับหมอนรองราง

6.2.1 น้ำหนักบรรทุก

ทางรถไฟต้องสามารถรับน้ำหนักบรรทุกในสามทิศทางที่เกิดขึ้นซ้ำ ๆ และพร้อม ๆ กัน ตลอดเวลาที่ใช้งาน ประกอบด้วย

1) น้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่ง (vertical load) จากน้ำหนักลงเพลา
2) น้ำหนักบรรทุกในแนวขวาง (transverse load) จากการที่ต้องบังคับทิศทาง
3) น้ำหนักบรรทุกในแนวยาว (longitudinal load) จากการเร่งและลดความเร็ว และจากความเค้นเนื่องจากความร้อนในรางเชื่อมยาว

ภายใต้น้ำหนักบรรทุกสภาวะต่างๆ ที่รวมผลกระทบทางพลวัตแล้ว หมอนรองรางต้องสามารถรักษารูปทรงทางเรขาคณิตของทางรถไฟ คือ ขนาดทาง ระดับทาง และแนวเส้นทาง

6.2.2 การกระจายน้ำหนักบรรทุก

สำหรับการกระจายน้ำหนักบรรทุกลงหมอนรองราง ในทางทฤษฎีน้ำหนักจากแคร่รถไฟ (Bogie) ถ่ายลงเพลารถไฟเป็นน้ำหนักลงเพลา (axle load) น้ำหนักลงเพลาจะเฉลี่ยถ่ายสู่รางรถไฟโดยล้อรถไฟเรียกว่า น้ำหนักลงล้อ (wheel load) น้ำหนักบรรทุกจากรางจะถ่ายสู่หมอนที่พื้นที่รองรับราง เรียกว่า น้ำหนักลงพื้นที่รองรับราง (rail seat load) ซึ่งจะต้องทราบเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบหมอนรองรางและต้องรวมผลกระทบทางพลวัตแล้ว

ในการพิจารณาการกระจายน้ำหนักบรรทุกให้พิจารณาหมอนรองรางประกอบเสร็จ (assembly) อันประกอบด้วย ราง อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง และหมอนรองราง ที่รองรับด้วยหินโรยทางหรือชั้นวัสดุอื่น เสมือนคานที่วางบนที่รองรับยืดหยุ่น (as a beam on a continuous or discrete resilient support) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการกระจายของน้ำหนักบรรทุกจากรางจะขึ้นกับโมเมนต์ความเฉื่อยของราง ระยะเรียงหมอนรองราง และความยืดหยุ่นโดยรวมของส่วนประกอบต่าง ๆ ที่รองรับราง น้ำหนักลงพื้นที่รองรับรางอาจคิดเป็นสัดส่วนหรือร้อยละของน้ำหนักลงล้อก็ได้

6.2.3 วัสดุ

วัสดุทั้งหมดต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้องหรือตามข้อตกลงในสัญญา

6.2.3.1 คอนกรีต

ในการเลือกวัสดุสำหรับผสมคอนกรีตต้องมั่นใจว่าจะทำให้คอนกรีตมีความทนทาน (durability) ในระยะยาว และเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องต้องส่งเพื่อขออนุมัติใช้วัสดุ คอนกรีตต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้องหรือตามข้อตกลงในสัญญา สำหรับคอนกรีตอัดแรง คอนกรีตควรมีความต้านแรงอัดสูงสุดที่อายุ 28 วันไม่น้อยกว่า 60 เมกกะปาสคาล เมื่อทดสอบด้วยแท่งตัวอย่างรูปลูกบาศก์มาตรฐาน

6.2.3.2 เหล็ก

เหล็กอัดแรง (prestressing tendon) เหล็กเสริม (reinforcing steel) และแท่งเหล็กต่อหมอน (steel connection bar) ต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้องหรือตามข้อตกลงในสัญญา

สำหรับเหล็กเสริม (reinforcing steel) การเชื่อมต่ออนุญาตให้ทำได้เฉพาะในการต่อประกอบ (assembly) เท่านั้น และเหล็กเสริมที่ใช้ต้องเป็นเกรดที่เชื่อมได้

6.2.3.3 วัสดุฝังยึด

อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางต้องเป็นไปตามมาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ (Track Components) ของกรมการขนส่งทางราง ผิวของวัสดุฝังยึดต่างๆ ที่สัมผัสกับคอนกรีตต้องสะอาด ไม่มีโคลน น้ำมัน สนิม หรือสิ่งปนเปื้อนที่อาจเป็นผลเสียต่อคอนกรีต

6.2.4 การออกแบบ

การออกแบบหมอนรองรางต้องเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดในมาตรฐานนี้หรือตามข้อตกลงในสัญญา ในการออกแบบหมอนรองราง ค่าที่ต้องใช้ในการออกแบบคือโมเมนต์ดัดที่พื้นที่รองรับรางและที่กึ่งกลางหมอน ซึ่งอาจจะทราบค่าได้โดยตรงจากการวัดจริง (empirical method) ภายใต้สภาวะการใช้งาน (service conditions) หรือจากการวิเคราะห์ทางทฤษฎี (theoretical method)

สำหรับการวิเคราะห์ทางทฤษฎี จะต้องพิจาณาน้ำหนักลงพื้นที่รองรับรางซึ่งขึ้นโดยเฉพาะกับน้ำหนักลงเพลาหรือน้ำหนักลงล้อก่อน เพื่อนำไปคำนวณโมเมนต์ดัดสำหรับการออกแบบต่อไป ทั้งนี้ในการพิจารณาน้ำหนักลงพื้นที่รองรับรางและโมเมนต์ดัดให้ใช้หลักการของคานวางบนที่รองรับยืดหยุ่น โดยน้ำหนักลงพื้นที่รองรับรางอาจคิดเป็นสัดส่วนหรือร้อยละของน้ำหนักลงเพลาหรือน้ำหนักลงล้อก็ได้ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น

แนวทางการออกแบบหมอนคอนกรีต แสดงในคู่มือการออกแบบและก่อสร้างองค์ประกอบของทางรถไฟ

6.2.4.1 ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ

การออกแบบหมอนรองรางต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) การบำรุงรักษา ซึ่งขึ้นกับ คุณภาพของทางรถไฟและรถไฟ และมีผลต่อการกระจายน้ำหนักบรรทุก การกระจายแรงปฏิกิริยาจากชั้นที่รองรับตามความยาวของหมอนคอนกรีต
2) สภาพการวางรางประกอบด้วย น้ำหนักของหมอนคอนกรีต ความยาวของหมอนคอนกรีต ความลึกของหมอนคอนกรีต และวิธีการติดตั้งราง
3) การออกแบบส่วนประกอบทางรถไฟ เช่น แนวรางและระยะเรียงหมอนคอนกรีต อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง การลดแรงกระแทกของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง ค่าความแข็งเกร็ง (stiffness) ในแนวตั้งของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง ความต้านทานไฟฟ้า เป็นต้น
4) การออกแบบวางแนวเส้นทางรถไฟและการบรรทุก ประกอบด้วย น้ำหนักลงเพลา ความเร็วสูงสุด และน้ำหนักบรรทุกในแนวโค้ง
5) หมอนคอนกรีตต้องมีอายุใช้งานไม่น้อยกว่า 40 ปี

6.2.4.2 น้ำหนักลงพื้นที่รองรับรางออกแบบ

น้ำหนักลงพื้นที่รองรับรางออกแบบ (design rail seat load, P_d) จะเป็นสัดส่วนกับน้ำหนักลงเพลาที่รวมผลกระทบทางพลวัตด้วยค่าปัจจัยน้ำหนักบรรทุกพลวัต (impact factor, I) และรวมผลของการถ่ายและกระจายน้ำหนักลงล้อระหว่างหมอนด้วยค่าปัจจัยการกระจายน้ำหนักบรรทุก (load distribution factor, D)

ค่าปัจจัยน้ำหนักบรรทุกพลวัตนั้นต้องรวมผลกระทบของความเร็วและสภาพของทางรถไฟด้วย (track condition)

ค่าปัจจัยการกระจายน้ำหนักบรรทุกอาจคำนวณได้จากสองวิธีใหญ่ ๆ บนหลักการของคานวางบนที่รองรับยืดหยุ่น คือ

1) ประยุกต์ใช้หลักการของคานวางบนที่รองรับยืดหยุ่นโดยตรง (direct method) โดยสมมุติว่าที่รองรับยืดหยุ่นมีค่าโมดูลัสคงที่

สำหรับหมอนรองรางบนทางรถไฟชนิดหินโรยทาง ค่าปัจจัยการกระจายน้ำหนักบรรทุกอย่างน้อยต้องพิจารณาจากระยะเรียงหมอนรองราง พิจารณาจากค่า Stiffness ของราง แผ่นรองราง หินโรยทาง และดินเดิม

สำหรับหมอนรองรางบนทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง ค่าปัจจัยการกระจายน้ำหนักบรรทุกอย่างน้อยต้องพิจารณาจากระยะเรียงหมอนรองรางหรือระยะห่างอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง พิจารณาจากค่า stiffness ของราง แผ่นรองราง ชั้นวัสดุที่รองรับ และดินเดิมหรือโครงสร้างที่รองรับ

2) ใช้หลักการประมาณด้วยตัวแปรบางตัวเท่านั้น ซึ่งยังคงให้ค่าเทียบเท่ากับการคำนวณโดยตรง (empirical method) ค่าปัจจัยการกระจายน้ำหนักบรรทุกอย่างน้อยต้องพิจารณาจากคุณสมบัติของราง และระยะเรียงหมอนรองรางหรือระยะห่างอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง

6.2.4.3 โมเมนต์ดัดออกแบบ

ในการคำนวณโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในหมอนรองราง ให้ใช้หลักการคานวางบนที่รองรับยืดหยุ่น และต้องคำนึงถึงสิ่งที่จะมีผลกระทบต่อการกระจายแรงและค่าสติฟเนสเฉลี่ยของที่รองรับใต้หมอนอันส่งผลถึงค่าโมเมนต์ดัด ดังต่อไปนี้ด้วย

1) ความยาวและความกว้างด้านล่างของหมอนที่ไม่คงที่ซึ่งจะทำให้การกระจายแรงไม่สม่ำเสมอ
2) คุณภาพและความไม่สม่ำเสมอของหินโรยทาง
3) คุณภาพและความไม่สม่ำเสมอของดินเดิม

กรณีที่แบบจำลองอย่างง่าย (simplified design model) และสมมุติให้การกระจายแรงและค่าสติฟเนสเฉลี่ยของที่รองรับใต้หมอนมีค่าคงที่ เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณโมเมนต์ดัด จะต้องมีการเผื่อค่าโมเมนต์ดัดที่จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากผลกระทบข้างต้นด้วย

โมเมนต์ดัดออกแบบอย่างน้อยควรพิจารณาที่พื้นที่รองรับรางและที่กึ่งกลางหมอนอันเกิดจากน้ำหนักลงพื้นที่รองรับรางออกแบบ

6.2.4.4 การออกแบบรูปร่าง

รูปร่างและขนาดต่างๆ ของหมอนคอนกรีตให้เป็นไปตามข้อตกลงในสัญญา พิกัดความคลาดเคลื่อนสูงสุดของขนาดหมอนคอนกรีตสำหรับทางรถไฟชนิดหินโรยทางระบุใน**ตารางที่ 8** ในกรณีของหมอนคอนกรีตสำหรับทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง พิกัดความคลาดเคลื่อนสูงสุดอาจมีค่าน้อยลงตามข้อตกลงในสัญญา

ตารางที่ 8 พิกัดความคลาดเคลื่อนสูงสุดของขนาดหมอนคอนกรีต

(ที่มา: ประยุกต์จากมาตรฐาน BS EN 13230-1:2016)

มิติ	พิกัดความคลาดเคลื่อน
ความยาวของหมอนคอนกรีต	± 5.0 มม.
ความกว้างด้านบนและล่างของหมอนคอนกรีต	± 5.0 มม.
ความสูงที่ตำแหน่งใดๆ ตลอดความยาวของแท่งคอนกรีตเสริมเหล็ก	- 3.0 ถึง + 10.0 มม.
ความสูงที่ตำแหน่งใดๆ ตลอดความยาวของหมอนคอนกรีตอัดแรง	- 2.0 ถึง + 5.0 มม.
ความยาวของแท่งคอนกรีตเสริมเหล็ก	± 8.0 มม.
ความเอียงหรือลาดของพื้นที่รองรับราง	1:45 ถึง 1:35
ความเรียบของผิวพื้นที่รองรับราง	± 0.5 มม.
ความตรงด้านข้างหมอนคอนกรีต	± 5.0 มม.
ความเอียงหรือระดับของพื้นที่รองรับรางในทิศทางตั้งฉากกับแนวแกนราง	± 30 ลิปดา

6.2.4.5 ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก

ระยะหุ้มของคอนกรีตสำหรับเหล็กชนิดต่าง ๆ ให้เป็นไปตามข้อตกลงในสัญญา โดยค่าระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กขั้นต่ำควรเป็นไปตามที่ระบุใน**ตารางที่ 9**

ตารางที่ 9 ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก

ตำแหน่ง	ระยะหุ้ม
เหล็กอัดแรงที่ผิวล่างหมอนคอนกรีต	$\geq$ 35 มม.
เหล็กอัดแรงที่ผิวบนและผิวข้างหมอนคอนกรีต ยกเว้นที่ปลายหมอน	$\geq$ 25 มม.
เหล็กอัดแรงบริเวณวัสดุฝังยึด	$\geq$ 12 มม.
เหล็กเสริมที่ผิวล่างหมอนคอนกรีต	$\geq$ 25 มม.
เหล็กเสริมที่ผิวบนและผิวข้างหมอนคอนกรีต	$\geq$ 20 มม.
เหล็กเสริมที่พื้นที่รองรับราง	$\geq$ 15 มม.

6.2.4.6 ความเค้นแบกทาน

การออกแบบต้องมั่นใจว่าความเค้นแบกทานที่เกิดในหินโรยทางหรือชั้นวัสดุรองรับจะไม่เกินกว่าค่าที่ยอมให้ โดยหมอนคอนกรีตอาจจะมีความกว้างและความสูงไม่เท่ากันตลอดความยาว แต่ต้องมีพื้นที่ด้านล่างเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดความเค้นแบกทานเกินกว่าค่าที่ยอมให้ การตรวจสอบจะตรวจสอบภายใต้การรับโมเมนต์ดัดออกแบบบวกที่พื้นที่รองรับราง

ความเค้นแบกทานบนหินโรยทาง (ballast pressure, fb) ขึ้นกับความกว้างเฉลี่ยของด้านล่างของหมอนรองราง (b) และความยาวการกระจายแรงใต้พื้นที่รองรับราง (a) ซึ่งขึ้นกับระยะห่างระหว่างราง (g) และความยาวหมอนรองราง (L) ความเค้นแบกทานบนหินโรยทางคำนวณได้จากสมการใน**ตารางที่ 10** ซึ่งอยู่บนสมมุติฐานที่ว่าแรงดันใต้พื้นที่รองรับรางมีการกระจายสม่ำเสมอ (uniform pressure distribution)

สำหรับหินโรยทางคุณภาพสูงทนแรงขัดสีได้ดี ความเค้นแบกทานในหินโรยทางต้องไม่เกิน 0.586 เมกกะปาสคาลหรือ 85 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ตารางที่ 10 ความเค้นแบกทานบนหินโรยทาง

ระยะห่างระหว่างราง (g)	ความยาวการกระจายแรงใต้พื้นที่รองรับราง (a)	ความเค้นแบกทานบนหินโรยทาง (f_b)
g > 1.5 เมตร (ขนาดทางมาตรฐานหรือกว้าง)	$a = L - g$	$f_b = \frac{P_d}{b(L-g)}$
1.5 เมตร > g > 1.0 เมตร (ขนาดทางแคบ)	$a = 0.8(L-g)$	$f_b = \frac{P_d}{0.8b(L-g)}$

6.2.4.7 การออกแบบคอนกรีตอัดแรง

ข้อมูลจากการออกแบบ เช่น แรงอัด ตำแหน่งเหล็กอัดแรง การยึดเหล็กอัดแรง เป็นต้น ต้องระบุให้ชัดเจน โดยพิกัดความคลาดเคลื่อนสูงสุดของแรง และตำแหน่งต่าง ๆ ของเหล็กอัดแรงต้องเป็นไปตามที่ระบุใน**ตารางที่ 11**

ตารางที่ 11 ตำแหน่งและแรงของเหล็กอัดแรง

รายการ	พิกัดความคลาดเคลื่อนสูงสุด
ตำแหน่งในแนวดิ่งของจุดศูนย์กลางมวลของเหล็กอัดแรง	$\pm$ 3 มม.
ตำแหน่งในแนวดิ่งของเหล็กอัดแรงแต่ละเส้น	$\pm$ 5.0 มม.
ตำแหน่งในแนวนอนของเหล็กอัดแรงแต่ละเส้น	$\pm$ 5.0 มม.
แรงอัดทั้งหมด (ของแรงอัดออกแบบ)	$\pm$ ร้อยละ 5

หมอนคอนกรีตอัดแรงควรออกแบบด้วยหลักการการอัดแรงเต็มที่ (full prestressing) และต้องมีความยาวเพียงพอสำหรับระยะฝังยึด (bond development length) ของลวดอัดแรง และความเค้นที่เกิดขึ้นในคอนกรีตที่สภาวะต่างๆ ต้องไม่เกินกว่าค่าที่ยอมให้ ซึ่งพิจารณาจากความต้านทานต่อการล้าของคอนกรีต (fatigue resistance of concrete) ความเค้นคอนกรีตที่ยอมให้ที่แต่ละสภาวะคำนวณได้จากสมการใน**ตารางที่ 12**

ตารางที่ 12 ความเค้นคอนกรีตที่ยอมให้สำหรับคอนกรีตอัดแรง

ความเค้น	ค่าความเค้นที่ยอมให้ (เมกกะปาสคาล)
ความเค้นอัดในคอนกรีตที่ยอมให้ขณะถ่ายแรง (F_{ct})	$F_{ct} = 0.6f'_{ci}$
ความเค้นดึงในคอนกรีตที่ยอมให้ขณะถ่ายแรง (F_{tt})	$F_{tt} = 0.25\sqrt{f'_{ci}}$
ความเค้นอัดในคอนกรีตที่ยอมให้ขณะใช้งาน (F_{cw})	$F_{cw} = 0.45f'_{c}$
ความเค้นดึงในคอนกรีตที่ยอมให้ขณะใช้งาน (F_{tw})	$F_{tw} = 0.50\sqrt{f'_{c}} \leq 3$

6.2.4.8 การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก

ข้อมูลจากการออกแบบ เช่น ปริมาณเหล็กเสริม ตำแหน่งการเสริมเหล็ก เป็นต้น ต้องระบุให้ชัดเจน ตำแหน่งเหล็กเสริมต้องคลาดเคลื่อนจากที่ออกแบบไม่เกิน $\pm$ 5 มม.

6.2.5 การผลิต

รายละเอียดขั้นตอนการผลิตต้องได้รับการอนุมัติก่อนดำเนินการ เช่น การผสมคอนกรีตแบบหล่อ การเทและการหล่อคอนกรีต การดึงและการตัดเหล็กเสริมอัดแรง การบ่มคอนกรีต การถอดแบบ และการขนย้ายหมอนคอนกรีต เป็นต้น

6.2.5.1 การบ่ม

การบ่มหรือการป้องกันการสูญเสียความชื้นต้องเริ่มทำให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้หลังจากการหล่อคอนกรีต ตามวิธีการที่ได้รับการอนุมัติ

6.2.5.2 ผิวของหมอนคอนกรีต

ผิวบนและข้างของหมอนคอนกรีตต้องมีลักษณะสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามที่ผิวใดๆ ของหมอนคอนกรีตอาจจะมีรูเล็กๆ ที่เกิดจากอากาศกระจายตัวอยู่ได้

ผิวล่างของหมอนคอนกรีตสำหรับทางรถไฟชนิดหินโรยทางต้องหยาบและสม่ำเสมอ ส่วนผิวล่างของหมอนคอนกรีตสำหรับทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทางให้เป็นไปตามที่ตกลงในสัญญา

ผิวบริเวณพื้นที่รองรับรางต้องมีการตรวจสอบเป็นอย่างดี ต้องไม่มีโพรงขนาดใหญ่ ในบริเวณดังกล่าว

ข้อกำหนดขั้นต่ำสำหรับลักษณะผิวของหมอนคอนกรีตต้องเป็นไปตามข้อตกลงและเป็นที่ยอมรับของทุกฝ่าย โดยอาจจะแสดงด้วยตัวอย่าง และ/หรือ รูปถ่าย

การซ่อมผิวหมอนคอนกรีตหลังจากการแกะแบบสามารถทำได้ ถ้าไม่กระทบต่อความสามารถในการรับแรงของหมอนและวิธีการซ่อมได้รับการอนุมัติ

6.2.5.3 การทำเครื่องหมาย

หมอนคอนกรีตแต่ละท่อนต้องมีการทำเครื่องหมายถาวรแสดงข้อมูล อย่างน้อยดังต่อไปนี้

(ก) วันเดือนปีที่ผลิต

(ข) หมายเลขแบบหล่อ

(ค) โรงงานผู้ผลิต

6.2.6 การทดสอบ

การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1) การทดสอบยืนยันการออกแบบหรือการทดสอบเฉพาะแบบ (design approval test or type test) เป็นการทดสอบเพื่อแสดงให้เห็นว่าหมอนคอนกรีตเป็นไปตามที่ออกแบบ จึงเป็นการทดสอบกับหมอนคอนกรีตที่คำนวณออกแบบใหม่ หรือมีการเปลี่ยนสถานที่ผลิตหรือกระบวนการผลิตหรือวัสดุ
2) การทดสอบประจำ (routine test or proof test) เป็นการทดสอบเพื่อควบคุมคุณภาพการผลิต ตัวอย่างที่ทดสอบได้จากการสุ่มตามวิธีการชักตัวอย่างที่กำหนด

สำหรับหมอนคอนกรีตอื่นๆ เช่น หมอนคอนกรีตรางคู่ (dual gauge sleeper) ขั้นตอนการทดสอบต้องเป็นไปตามข้อตกลงและเป็นที่ยอมรับของทุกฝ่าย โดยอาจพิจารณาใช้การทดสอบตามมาตรฐานนี้เป็นแนวทางร่วมกับการพิจารณาผลกระทบของการมีรางคู่ด้วย

6.2.6.1 การทดสอบหมอน

การทดสอบหมอนประกอบด้วย การทดสอบมิติ และการทดสอบการรับน้ำหนัก สำหรับการทดสอบการรับน้ำหนักมี 2 การทดสอบใหญ่ๆ คือ

(ก) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดสถิต (static bending test) เป็นการทดสอบการรับโมเมนต์ดัดเพื่อยืนยันพฤติกรรมของหมอนคอนกรีตภายใต้สภาวะน้ำหนักสถิต การทดสอบนี้ทำทั้งในการทดสอบยืนยันการออกแบบและการทดสอบประจำ แต่ตำแหน่งที่พิจารณาอาจจะแตกต่างกัน เช่น การทดสอบประจำอาจจะทำเฉพาะการทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวกที่พื้นที่รองรับราง

(ข) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดกระทำซ้ำ (fatigue bending test) เป็นการทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวกเพื่อยืนยันพฤติกรรมของหมอนคอนกรีตภายใต้สภาวะน้ำหนักพลวัตสภาวะหนึ่งที่จำลองน้ำหนักบรรทุกที่เกิดจากรถไฟวิ่งผ่านตลอดอายุการใช้งาน การทดสอบนี้ใช้ในการทดสอบยืนยันการออกแบบ

6.2.6.2 การทดสอบหมอนประกอบเสร็จ

สำหรับการทดสอบหมอนประกอบเสร็จหรือหมอนคอนกรีตที่มีอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางและราง รายละเอียดระบุในหัวข้อเกี่ยวกับอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง

6.2.7 การควบคุมคุณภาพ

ในการผลิตต้องมีระบบคุณภาพ ระบุในคู่มือคุณภาพที่ต้องพิจารณาทุกขั้นตอน ทุกหน้าที่และทรัพยากรทั้งหมดที่ใช้ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าหมอนคอนกรีตมีคุณภาพตามข้อตกลงในสัญญา คู่มือคุณภาพต้องมีแผนคุณภาพ (quality plan) สำหรับการผลิตหมอนคอนกรีตที่ระบุรายละเอียดทั้งหมดที่เกี่ยวกับการผลิต เช่น โครงสร้างองค์กรและผู้รับผิดชอบ วัสดุที่ใช้ กระบวนการและขั้นตอนการผลิต การกองเก็บ การขนส่ง เป็นต้น

6.2.7.1 การควบคุมคุณภาพระหว่างการทดสอบยืนยันการออกแบบ

เอกสารด้านคุณภาพทั้งหมดของหมอนคอนกรีตและรายละเอียดการทดสอบที่ใช้ในการทดสอบยืนยันการออกแบบ ต้องได้รับการอนุมัติก่อนทำการทดสอบ อย่างน้อยประกอบด้วย

(ก) รูปแบบรายละเอียดของหมอนคอนกรีต

(ข) รายละเอียดส่วนผสมคอนกรีต

(ค) รายละเอียดการผลิตหมอนคอนกรีต

(ง) การทดสอบและวิธีการทดสอบ

รายงานผลการทดสอบต้องแสดงให้เห็นว่าผลการทดสอบเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนดหรือตามที่ตกลงกันหรือไม่

ผลจากการทดสอบยืนยันการออกแบบอาจจะใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดน้ำหนักบรรทุกทดสอบในการทดสอบประจำ

6.2.7.2 การควบคุมคุณภาพระหว่างการผลิต

ก่อนเริ่มการผลิตหมอนคอนกรีต แผนคุณภาพและเอกสารด้านคุณภาพทั้งหมดเกี่ยวกับการรับรองวัสดุและวิธีการผลิต ต้องได้รับการอนุมัติก่อน

แผนคุณภาพต้องมีรายละเอียดในเรื่องดังต่อไปนี้

(ก) ความถี่ในการทดสอบมิติ

(ข) ความถี่ในการทดสอบการรับน้ำหนัก

(ค) ระบบและกลไกในการเพิ่มความถี่ในการตรวจสอบเมื่อมีการพบข้อบกพร่อง

(ง) มาตรการที่จะปฏิบัติหากพบว่าเกิดข้อบกพร่องขึ้น เพื่อให้มั่นใจได้ว่าหมอนคอนกรีตที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตมีคุณภาพ

6.3 หมอนคอนกรีตอัดแรง

6.3.1 การออกแบบหมอนคอนกรีตอัดแรง

การออกแบบหมอนคอนกรีตอัดแรงให้ออกแบบให้เป็นไปตามที่กำหนดในมาตรฐานนี้หรือตามข้อตกลงในสัญญา แนวทางการออกแบบแสดงในคู่มือการออกแบบและก่อสร้างองค์ประกอบของทางรถไฟ

6.3.2 การผลิตหมอนคอนกรีตอัดแรง

ก่อนเริ่มการผลิต ผู้ผลิตต้องส่งข้อมูลการผลิต อย่างน้อยประกอบด้วยข้อมูลต่อไปนี้

1) ข้อมูลวัสดุที่จะใช้ในส่วนผสมคอนกรีต เช่น การกระจายตัวของขนาดคละของมวลรวม
2) อัตราส่วนผสมคอนกรีต
3) คุณสมบัติของคอนกรีต เช่น กำลังอัดคอนกรีตที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน
4) คุณสมบัติของลวดอัดแรง
5) แรงดึงในลวดอัดแรง
6) การหล่อและการบ่มหมอนคอนกรีต
7) ค่าขั้นต่ำของความต้านแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตที่ต้องการก่อนการอัดแรง
8) การตัดลวดอัดแรง
9) การกองเก็บหลังการผลิต

6.3.3 การทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรง

การทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงให้ทำตามที่ระบุในมาตรฐานนี้หรือตามข้อตกลงในสัญญา การชักตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบให้ทำตาม มอก. 2528 เล่ม 2 : วิธีชักตัวอย่างหมอนคอนกรีตอัดแรงสำหรับรางรถไฟ

6.3.3.1 การจัดวางตัวอย่างทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรง

ในการทดสอบการรับน้ำหนักของหมอนคอนกรีตอัดแรงตามรายละเอียดด้านล่าง ให้จัดวางตัวอย่างทดสอบตาม มอก. 2528 เล่ม 3 : การทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงสำหรับรางรถไฟ

1) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดสถิต แบ่งเป็น
   (ก) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวกที่พื้นที่รองรับราง
   (ข) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดลบที่พื้นที่รองรับราง
   (ค) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวกที่กึ่งกลางหมอนคอนกรีต
   (ง) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดลบที่กึ่งกลางหมอนคอนกรีต
2) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดกระทำซ้ำ
   (ก) การทดสอบการรับแรงกระทำซ้ำที่พื้นที่รองรับราง

สำหรับการทดสอบในพื้นที่รองรับราง ปลายหมอนคอนกรีตด้านที่ไม่ได้ทำการทดสอบให้ปล่อยอิสระโดยไม่ต้องมีการรองรับ

6.3.3.2 น้ำหนักบรรทุกทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรง

น้ำหนักบรรทุกทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงคำนวณได้จากสมการใน**ตารางที่ 13**

ตารางที่ 13 น้ำหนักบรรทุกทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรง

การทดสอบ	น้ำหนักบรรทุกทดสอบ (kN)
การรับโมเมนต์ดัดบวก ที่พื้นที่รองรับราง	$P_{tR+} = \frac{2M_{crR+}}{(0.33-0.045)}$; $M_{crR+} = S_{bR}\left(-f_t' + \frac{P}{A_R}\right) + Pe_R$
การรับโมเมนต์ดัดลบ ที่พื้นที่รองรับราง	$P_{tR-} = \frac{2\lvert M_{crR-}\rvert}{(0.33-0.075)}$; $M_{crR-} = S_{tR}\left(f_t' - \frac{P}{A_R}\right) + Pe_R$
การรับโมเมนต์ดัดบวก ที่กึ่งกลางหมอนคอนกรีต	$P_{tC+} = \frac{2M_{crC+}}{(0.5g-0.075)}$; $M_{crC+} = S_{bC}\left(-f_t' + \frac{P}{A_C}\right) + Pe_C$
การรับโมเมนต์ดัดลบ ที่กึ่งกลางหมอนคอนกรีต	$P_{tC-} = \frac{2\lvert M_{crC-}\rvert}{(0.5g-0.075)}$; $M_{crC-} = S_{tC}\left(f_t' - \frac{P}{A_C}\right) + Pe_C$

หมายเหตุ: กำหนดให้ความเค้นอัดเป็นบวก; ระยะเยื้องศูนย์ (e) ต่ำกว่าแกนสะเทินเป็นบวก; โมเมนต์ดัดหน่วยเป็นกิโลนิวตันเมตร

6.3.3.3 วิธีทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรง

วิธีทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงให้ทำตาม มอก. 2528 เล่ม 3 : การทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงสำหรับรางรถไฟ

6.3.3.4 การทดสอบยืนยันการออกแบบหมอนคอนกรีตอัดแรง

การทดสอบยืนยันการออกแบบหมอนคอนกรีตอัดแรงให้ทำตามรายการทดสอบที่แสดงใน**ตารางที่ 14** และการทดสอบทั้งหมดต้องผ่านเกณฑ์การทดสอบที่กำหนด

ตารางที่ 14 การทดสอบยืนยันการออกแบบหมอนคอนกรีตอัดแรง

การทดสอบ	วิธีการทดสอบ	เกณฑ์การทดสอบ
1) มิติ (ความยาว ความกว้าง ความสูง ตำแหน่งของลวดอัดแรงแต่ละเส้น ความตรงด้านข้าง ความเรียบของผิวที่พื้นที่รองรับราง ความเอียงของพื้นที่รองรับราง ความเอียงของพื้นที่รองรับรางในทิศตั้งฉากกับแนวแกนราง)	มอก. 2528 เล่ม 3 : การทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงสำหรับรางรถไฟ	ไม่เกินพิกัดความคลาดเคลื่อนตามตารางที่ 8
2) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวกที่พื้นที่รองรับราง		ไม่เกิดการแตกร้าว
3) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดลบที่พื้นที่รองรับราง		ไม่เกิดการแตกร้าว
4) การทดสอบการรับแรงกระทำซ้ำที่พื้นที่รองรับราง		ไม่เกิดการแตกร้าว
5) การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวของลวดอัดแรง		การเลื่อนไหลของเสนลวดตองไมเกิน 0.025 มม.
6) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวกที่กึ่งกลางหมอนคอนกรีต		ไม่เกิดการแตกร้าว
7) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดลบที่กึ่งกลางหมอนคอนกรีต		ไม่เกิดการแตกร้าว

6.3.3.5 การทดสอบประจำสำหรับหมอนคอนกรีตอัดแรง

การทดสอบประจำสำหรับหมอนคอนกรีตอัดแรงให้ทำตามรายการทดสอบที่แสดงใน**ตารางที่ 15** และการทดสอบทั้งหมดต้องผ่านเกณฑ์การทดสอบที่กำหนด

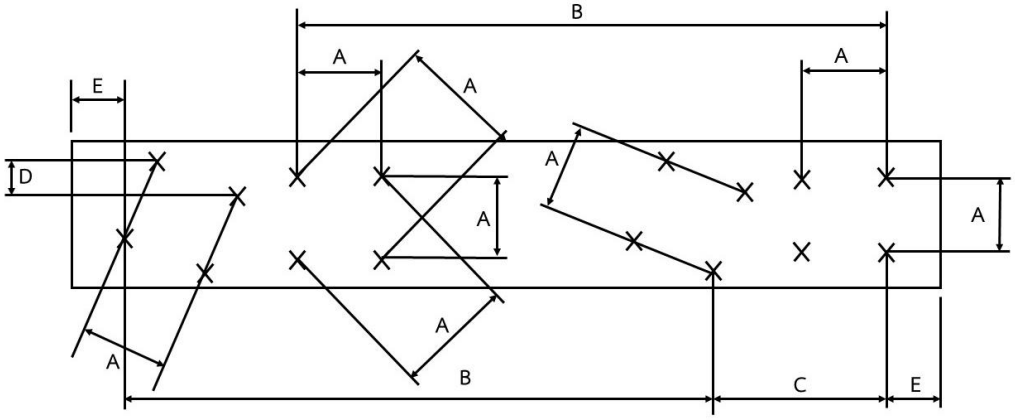
ตารางที่ 15 การทดสอบประจำสำหรับหมอนคอนกรีตอัดแรง

การทดสอบ	วิธีการทดสอบ	เกณฑ์การทดสอบ
1) มิติ (ความยาว ความกว้าง ความสูง ตำแหน่งของลวดอัดแรงแต่ละเส้น)	มอก. 2528 เล่ม 3 : การทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงสำหรับรางรถไฟ	ไม่เกินพิกัดความคลาดเคลื่อนตาม**ตารางที่ 8** และ**ตารางที่ 11**
2) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวกที่พื้นที่รองรับราง		ไม่เกิดการแตกร้าว

6.4 หมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง

6.4.1 ข้อกำหนดพิเศษสำหรับหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง

1) การออกแบบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรงต้องออกแบบภายใต้โมเมนต์ดัดบวกและลบที่ทำให้หมอนรองประแจยังคงมีความตรงตลอดความยาว
2) ตำแหน่งของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางต้องมีการระบุตำแหน่งที่ชัดเจนเพื่อไม่ให้มีเหล็กอัดแรงในบริเวณนั้น
3) ความคลาดเคลื่อนต้องเป็นไปตามเกณฑ์ต่อไปนี้
   (ก) ค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนสูงสุดของหมอนรองประแจให้ใช้ดัง**ตารางที่ 8**
   (ข) ในกรณีที่ทำการทดสอบมิติเบื้องต้น เพื่อลดผลกระทบจากการหดตัวของคอนกรีต ต้องทำการทดสอบหลังจากอัดแรงแล้วเป็นเวลา 48 ชั่วโมง
   (ค) ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง ให้ทำการตรวจสอบตาม**รูปที่ 19** และต้องเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดใน**ตารางที่ 16**



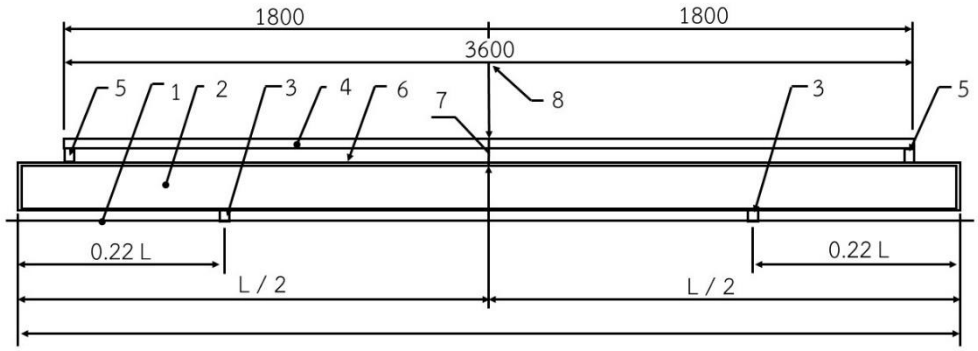
รูปที่ 19 การตรวจสอบตำแหน่งอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางบนหมอนรองประแจ

(ที่มา: ประยุกต์จากมาตรฐาน BS EN 13230-4:2016)

ตารางที่ 16 พิกัดความคลาดเคลื่อนสูงสุดของตำแหน่งอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางบนหมอนรองประแจ

ระยะตามรูปที่ 18	พิกัดความคลาดเคลื่อน (มม.)
A และ D	± 1.0
B และ C	± 1.5
E	± 10

(ง) สำหรับหมอนรองประแจที่มีความยาวตั้งแต่ 4 เมตรขึ้นไป ให้พิจารณาความคลาดเคลื่อนของความตรงของหมอน โดยให้ทำการตรวจสอบตาม**รูปที่ 20** และต้องมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3 มม. ยกเว้นหมอนรองประแจมีความยาวมากกว่า 6 เมตร ความคลาดเคลื่อนอาจจะยอมให้มีค่ามากกว่า 3 มม. ได้



1 แท่นรองรับ (rigid support)
2 หมอนรองประแจ
3 จุดรองรับหน้าตัดขนาด 50 มม. X 50 มม. ตลอดความกว้างของหมอน
4 วัสดุอ้างอิงในการวัดความตรง
5 จุดรองรับตลอดความกว้างของหมอน
6 ผิวบนของหมอน
7 ตำแหน่งที่ตรวจสอบความตรงของหมอน

รูปที่ 20 การตรวจสอบความตรงของหมอนรองประแจ

(ที่มา: ประยุกต์จากมาตรฐาน BS EN 13230-4:2016)

6.4.2 การออกแบบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง

การออกแบบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรงให้ออกแบบให้เป็นไปตามที่กำหนดในมาตรฐานนี้หรือตามข้อตกลงในสัญญา แนวทางการออกแบบแสดงในคู่มือการออกแบบและก่อสร้างองค์ประกอบของทางรถไฟ

6.4.3 การผลิตหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง

ก่อนเริ่มการผลิต ผู้ผลิตต้องส่งข้อมูลการผลิต อย่างน้อยประกอบด้วยข้อมูลต่อไปนี้

1) ข้อมูลวัสดุที่จะใช้ในส่วนผสมคอนกรีต เช่น การกระจายตัวของขนาดคละของมวลรวม
2) อัตราส่วนผสมคอนกรีต
3) คุณสมบัติของคอนกรีต เช่น กำลังอัดคอนกรีตที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน
4) คุณสมบัติของลวดอัดแรง
5) แรงดึงในลวดอัดแรง
6) การหล่อและการบ่มหมอนรองประแจ
7) ค่าขั้นต่ำของความต้านแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตที่ต้องการก่อนการอัดแรง
8) การตัดลวดอัดแรง
9) การกองเก็บหลังการผลิต

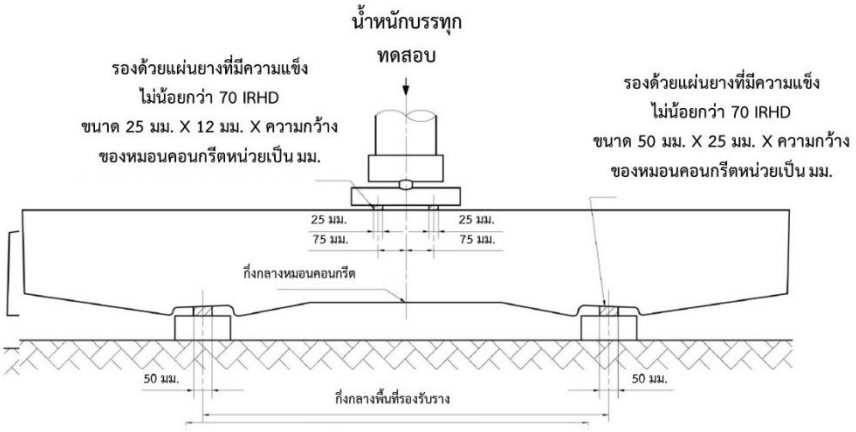
6.4.4 การทดสอบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง

การทดสอบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรงให้ทำตามที่ระบุในมาตรฐานนี้หรือตามข้อตกลงในสัญญา การชักตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบให้ทำตาม มอก. 2528 เล่ม 2 : วิธีชักตัวอย่างหมอนคอนกรีตอัดแรงสำหรับรางรถไฟ

6.4.4.1 การจัดวางตัวอย่างทดสอบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง

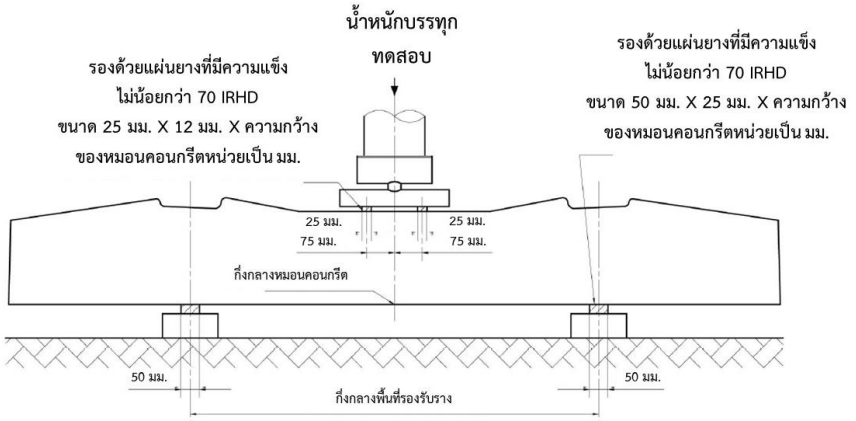
สำหรับการทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวก และโมเมนต์ดัดลบให้จัดวางตัวอย่างหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรงตาม**รูปที่ 21** และ**รูปที่ 22** ตามลำดับ โดยถ้าเป็นการทดสอบการรับโมเมนต์ดัดลบให้วางหมอนรองประแจกลับด้านเพื่อให้ผิวด้านล่างของหมอนอยู่ด้านบน ในการทดสอบ

สำหรับการทดสอบการรับโมเมนต์ดัดกระทำซ้ำให้จัดวางตาม**รูปที่ 21** เช่นกันแต่ให้น้ำหนักบรรทุกทดสอบกระทำที่กึ่งกลางตัวอย่างแทน



รูปที่ 21 การทดสอบโมเมนต์ลบที่กึ่งกลางหมอนคอนกรีต

(ที่มา: ประยุกต์จาก มอก. 2528 เล่ม 3)



รูปที่ 22 การทดสอบโมเมนต์บวกที่กึ่งกลางหมอนคอนกรีต

(ที่มา: ประยุกต์จาก มอก. 2528 เล่ม 3)

1) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดสถิต แบ่งเป็น
   (ก) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวก
   (ข) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดลบ
2) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดกระทำซ้ำ
   (ก) การทดสอบการรับแรงกระทำซ้ำที่กึ่งกลางหมอน

6.4.4.2 น้ำหนักบรรทุกทดสอบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง

น้ำหนักบรรทุกทดสอบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรงคำนวณได้จากสมการใน **ตารางที่ 17**

ตารางที่ 17 น้ำหนักบรรทุกทดสอบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง

การทดสอบ	น้ำหนักบรรทุกทดสอบ (kN)
การรับโมเมนต์ดัดบวก	1. $P_{t+} = \frac{M_{cr+}}{0.35}$; $M_{cr+} = S_b\left(-f'_t + \frac{P}{A}\right) + Pe$
การรับโมเมนต์ดัดลบ	2. $P_{t-} = \frac{\lvert M_{cr-}\rvert}{0.35}$; $M_{cr-} = S_t\left(f'_t - \frac{P}{A}\right) + Pe$

หมายเหตุ: กำหนดให้ความเค้นอัดเป็นบวก; โมเมนต์ดัดหน่วยเป็น กิโลนิวตันเมตร

6.4.4.3 วิธีทดสอบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง

วิธีทดสอบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรงให้ทำตาม มอก. 2528 เล่ม 3 : การทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงสำหรับรางรถไฟ

6.4.4.4 การทดสอบยืนยันการออกแบบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง

การทดสอบยืนยันการออกแบบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรงให้ทำตามรายการทดสอบที่แสดงใน**ตารางที่ 18** และการทดสอบทั้งหมดต้องผ่านเกณฑ์การทดสอบที่กำหนด

ตารางที่ 18 การทดสอบยืนยันการออกแบบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง

การทดสอบ	วิธีการทดสอบ	เกณฑ์การทดสอบ
1) มิติ (ความยาว ความกว้าง ความสูง ตำแหน่งของลวดอัดแรงแต่ละเส้น ความตรงด้านข้าง ความเรียบของผิวที่พื้นที่รองรับราง ตำแหน่งของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง ความตรงของหมอนรองประแจ)	มอก. 2528 เล่ม 3 : การทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงสำหรับรางรถไฟ	ไม่เกินพิกัดความคลาดเคลื่อนตาม**ตารางที่ 8** และ **ตารางที่ 16**
2) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวก		ไม่เกิดการแตกร้าว
3) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดลบ		ไม่เกิดการแตกร้าว
4) การทดสอบการรับแรงกระทำซ้ำที่กึ่งกลางหมอนรองประแจ		ไม่เกิดการแตกร้าว
5) การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวของลวดอัดแรง		การเลื่อนไหลของเสนลวดตองไม่เกิน 0.025 มม.

6.4.4.5 การทดสอบประจำสำหรับหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง

การทดสอบประจำสำหรับหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรงให้ทำตามรายการทดสอบที่แสดงใน**ตารางที่ 19** และการทดสอบทั้งหมดต้องผ่านเกณฑ์การทดสอบที่กำหนด

ตารางที่ 19 การทดสอบประจำสำหรับหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง

การทดสอบ	วิธีการทดสอบ	เกณฑ์การทดสอบ
1) มิติ (ความยาว ความกว้าง ความสูง ตำแหน่งของลวดอัดแรงแต่ละเส้น)	มอก. 2528 เล่ม 3 : การทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงสำหรับรางรถไฟ	ไม่เกินพิกัดความคลาดเคลื่อนตามตาม **ตารางที่ 8** และ **ตารางที่ 11**
2) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวกที่พื้นที่รองรับราง		ไม่เกิดการแตกร้าว

6.5 หมอนรองรางแบบฝังในชั้นที่รองรับ

6.5.1 ข้อกำหนดพิเศษสำหรับหมอนรองรางฝังในชั้นที่รองรับ

หมอนรองรางฝังในชั้นที่รองรับ จะติดตั้งด้วยการเทชั้นคอนกรีต (concrete filling layer) ที่หน้างานเพื่อหุ้มหมอนเป็นโครงสร้างทางรถไฟ ชั้นคอนกรีตที่เทเป็นชั้นที่รองรับหมอนนั้นจะต้องทำหน้าที่ในการเชื่อมประสานกับชั้นที่รองรับถัดไปด้วยซึ่งอาจจะเป็นพื้นคอนกรีต (concrete pavement or concrete base layer) ให้สามารถถ่ายแรงและทำให้โครงสร้างทางรถไฟมีความมั่นคง

ผิวบนของชั้นคอนกรีตที่เทหน้างานซึ่งจะเป็นผิวบนของทางรถไฟด้วยนั้น จะต้องเรียบเอียงให้ระบายน้ำจากผิวทางได้ดี

น้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์ดัดให้คำนวณด้วยหลักการเดียวกันกับหมอนคอนกรีตสำหรับทางรถไฟชนิดหินโรยทาง

การออกแบบชั้นที่รองรับให้ออกแบบตาม มขร. – C – 002 -2564 มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง สำหรับทางขนาด 1,435 มิลลิเมตร (Ballastless Track Design)

6.5.2 การออกแบบหมอนรองรางฝังในชั้นที่รองรับ

การออกแบบหมอนรองรางฝังในชั้นที่รองรับ กำหนดให้ออกแบบตามหลักการออกแบบหมอนแต่ละประเภท เช่น หมอนคอนกรีตอัดแรง หมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง เป็นต้น หรือออกแบบตามข้อตกลงในสัญญา

6.5.3 การผลิตหมอนรองรางฝังในชั้นที่รองรับ

การผลิตหมอนรองรางฝังในชั้นที่รองรับ กำหนดให้ผลิตตามการผลิตหมอนแต่ละประเภท เช่น หมอนคอนกรีตอัดแรง หมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง เป็นต้น หรือผลิตตามข้อตกลงในสัญญา

6.5.4 การทดสอบหมอนรองรางฝังในชั้นที่รองรับ

การทดสอบหมอนรองรางฝังในชั้นที่รองรับ กำหนดให้ทดสอบตามการทดสอบหมอนแต่ละประเภท เช่น หมอนคอนกรีตอัดแรง หมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง เป็นต้น หรือทดสอบตามข้อตกลงในสัญญา

6.6 โครงสร้างทางแบบมีจุดรองรับต่อเนื่องหรือรางแบบฝัง (embedded rail system)

6.6.1 ข้อกำหนดพิเศษสำหรับหมอนรองรางแบบวางบนชั้นที่รองรับ

การยึดหมอนรองรางกับชั้นที่รองรับ (connection) ต้องออกแบบให้สามารถถ่ายแรงและทำให้โครงสร้างทางรถไฟมีความมั่นคง

น้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์ดัดให้คำนวณด้วยหลักการเดียวกันกับหมอนคอนกรีตสำหรับทางรถไฟชนิดหินโรยทาง

การออกแบบชั้นที่รองรับให้ออกแบบตาม มขร. – C – 002 -2564 มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง สำหรับทางขนาด 1,435 มิลลิเมตร (Ballastless Track Design)

6.6.2 การออกแบบหมอนรองรางแบบวางบนชั้นที่รองรับ

การออกแบบหมอนรองรางวางบนชั้นที่รองรับ ขึ้นกับว่าใช้หมอนรองรางแบบใด ซึ่งอาจจะเป็นหมอนคอนกรีตอัดแรง หมอนคอนกรีตแท่งคู่ หรือหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง ซึ่งถ้าใช้แบบใดก็ให้ออกแบบตามหลักการออกหมอนแบบนั้น ๆ หรือตามข้อตกลงในสัญญา

6.6.3 การผลิตหมอนรองรางแบบวางบนชั้นที่รองรับ

การผลิตหมอนรองรางวางบนชั้นที่รองรับ ขึ้นกับว่าใช้หมอนรองรางแบบใด ซึ่งอาจจะเป็นหมอนคอนกรีตอัดแรง หมอนคอนกรีตแท่งคู่ หรือหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง ซึ่งถ้าใช้แบบใดก็ให้ผลิตตามการผลิตหมอนแบบนั้น ๆ หรือตามข้อตกลงในสัญญา

6.6.4 การทดสอบหมอนรองรางแบบวางบนชั้นที่รองรับ

การทดสอบหมอนรองรางวางบนชั้นที่รองรับ ขึ้นกับว่าใช้หมอนรองรางแบบใด ซึ่งอาจจะเป็นหมอนคอนกรีตอัดแรง หมอนคอนกรีตแท่งคู่ หรือหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง ซึ่งถ้าใช้แบบใดก็ให้ทดสอบตามการทดสอบหมอนแบบนั้น ๆ หรือตามข้อตกลงในสัญญา

บรรณานุกรม

[1] AREMA Manual for Railway Engineering: Volume 1: Track: Chapter 30: Ties

[2] AS 1085.14: 2003 - Railway track material: Part 14: Prestressed concrete sleepers

[3] EN 13230-1: 2016 - Railway applications - Track - Concrete sleepers and bearers - Part 1: General requirements

[4] EN 13230-2: 2016 - Railway applications - Track - Concrete sleepers and bearers - Part 2: Prestressed monoblock sleepers

[5] EN 13230-4: 2016 - Railway applications - Track - Concrete sleepers and bearers - Part 4: Prestressed bearers for switches and crossings

[6] EN 13230-6: 2014 - Railway applications - Track - Concrete sleepers and bearers - Part 6: Design

[7] EN 16432-2: 2015 - Railway applications – Ballastless track systems - Part 2: Subsystems and components

[8] EN 13674-1:2011- Railway applications - Track - Part 1: Vignole railway rails 46 kg/m and above

[9] UIC 860 O Technical Specification for The Supply of Rails

[10] UIC 864-5 Technical Specification for The Supply of Rail Seat Pads

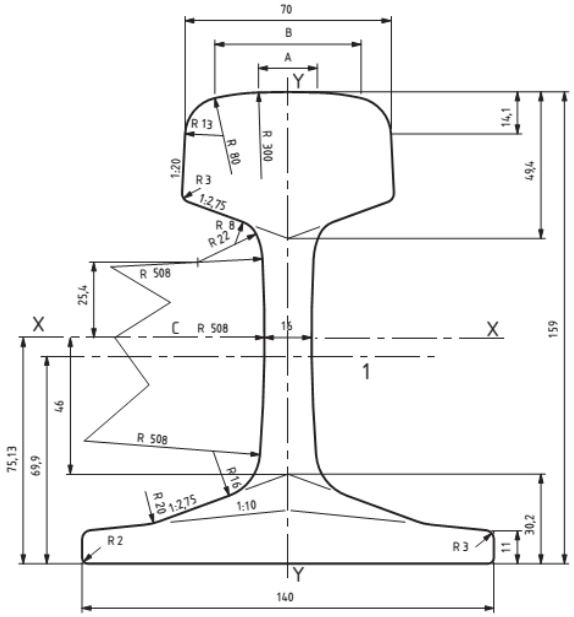
[11] มอก. 2528 เล่ม 2 : วิธีชักตัวอย่างหมอนคอนกรีตอัดแรงสำหรับรางรถไฟ

[12] มอก. 2528 เล่ม 3 : การทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงสำหรับรางรถไฟ

[13] มอก. 2667 : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นยางรองรางรถไฟ

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก หน้าตัดราง 54E1



หน่วย : มม.

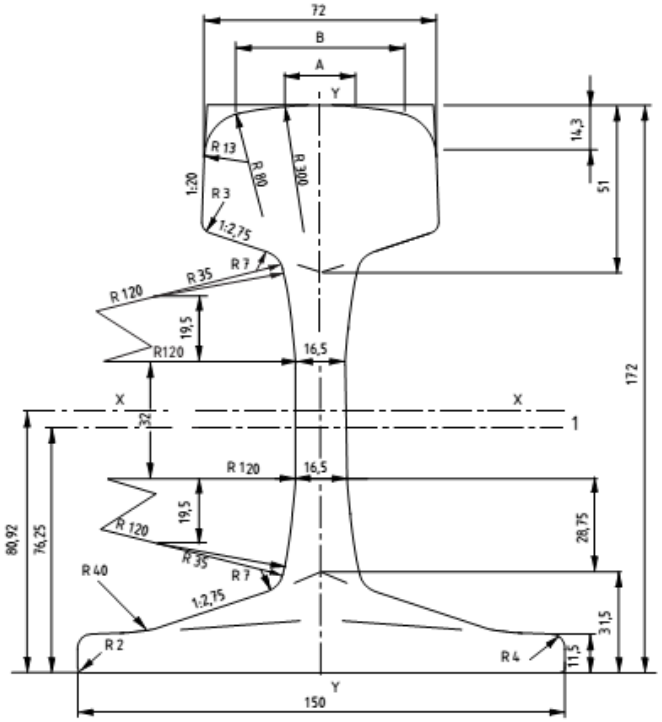
เครื่องหมาย

พื้นที่ตัดขวาง	:	69.77 ซม.^{2}
น้ำหนักต่อความยาว	:	54.77 กก./เมตร
โมเมนต์ความเฉื่อยแกน x-x	:	2337.9 ซม.^{4}
มอดูลัสหน้าตัด–ส่วนหัว	:	278.7 ซม.^{3}
มอดูลัสหน้าตัด– ส่วนฐาน	:	311.2 ซม.^{3}
โมเมนต์ความเฉื่อยแกน y-y	:	419.2 ซม.^{4}
มอดูลัสหน้าตัดแกน y-y	:	59.9 ซม.^{3}
ขนาดกว้างยาว	:	A = 20.024 มม. B = 49.727 มม.

รูปที่ ก.1 หน้าตัดราง 54E1

(ที่มา: ประยุกต์จากมาตรฐาน BS EN 13674-1:2011)

ภาคผนวก ข หน้าตัดราง 60E1



หน่วย : มม.

เครื่องหมาย

พื้นที่ตัดขวาง	:	76.70 ซม.^{2}
น้ำหนักต่อความยาว	:	60.21 กก./เมตร
โมเมนต์ความเฉื่อยแกน x-x	:	3038.3 ซม.^{4}
โมดูลัสหน้าตัด–ส่วนหัว	:	333.6 ซม.^{3}
โมดูลัสหน้าตัด– ส่วนฐาน	:	375.5 ซม.^{3}
โมเมนต์ความเฉื่อยแกน y-y	:	512.3 ซม.^{4}
โมดูลัสหน้าตัดแกน y-y	:	68.3 ซม.^{3}
ขนาดกว้างยาว	:	A = 20.456 มม.
		B = 52.053 มม.

รูปที่ ข.1 หน้าตัดราง 60E1

(ที่มา: ประยุกต์จากมาตรฐาน BS EN 13674-1:2011)

แบบฟอร์มแนะนำ : ภาคผนวก ค (ร่าง) ใบประกาศนียบัตรผ่านการฝึกอบรม

Diploma in Aluminothermic Welding of Rails

In hereby awarded to

Name_____ First name_____

Date of Birth_____

Date_____ Diploma No_____

Process Supplier	Skill Modules Passed	Extra Skills Passed Cutting Methods

แบบฟอร์มแนะนำ : ภาคผนวก ง (ร่าง) ใบอนุญาตให้เชื่อม

Permit to Weld

Employer_____ Certificate No_____

Welder's Full Name_____ Sample No_____ Photo

ISSUE DATE_____ EXPIRY DATE _____

Is permitted access to the Railway Infrastructure
for the purposes of Aluminothermic Welding on line categories:

_____

Approved for processes:

_____

Process
Supplier_____
Processes_____
Rail cutting methods:

_____

The above-mentioned person has been deemed qualified and competent in the following additional area:

Issuing Railway Authority Signed_____ Printed Name_____

Surrender Conditions

The following conditions will require the employer to surrender the Permit to Weld to the Railway Authority

Change of Employer Termination of Welding Activity Demand by Railway Authority

แบบฟอร์มแนะนำ : ภาคผนวก จ (ร่าง) แบบฟอร์มการตรวจรับประแจ

แบบฟอร์มนี้จัดทำเพื่อช่วยในการตรวจรับประแจ ลิ้นประแจและจุดตัด

<table>
<tr><td colspan="4">CUSTOMER</td></tr>
<tr><td colspan="2">Purchaser Name:</td><td>Quote No:</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Contact Name:</td><td>Line item(s):</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Project:</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">Ref. No.:</td><td>Date:</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Rail Infrastructure owner:</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">Specification/ Drg References:</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="10">DESIGN CRITERIA</td><td colspan="2">Design Life: _ _ _ _ _MGT, or _ _ _ _ years</td><td>Annual Gross Tones mtpa</td></tr>
<tr><td colspan="2">Axle Load _ _ _ _ __ _ _ _ _t (max)</td><td>Structure Gauge Standard –</td></tr>
<tr><td colspan="2">Main Line Speed_ _ _ _ __ _ _ _ _ km/h</td><td>Diverge Speed _ _ _ _ __ _ _ _ _km/h</td></tr>
<tr><td colspan="2">Allowable Cant Deficiency _ _ _ _ ___ _ _ _mm</td><td>Rate of cant deficiency(max) _ _ _ __ _ _ _ _mm/s</td></tr>
<tr><td colspan="2">Flangeway Width _ _ _ _ __ _ _ _ _mm</td><td>Flangeway Depth mm</td></tr>
<tr><td colspan="2">Crossover Track Centers_ _ _ _ __ _ _ _ _ mm</td><td>Other:</td></tr>
<tr><td colspan="3">Rolling Stock</td></tr>
<tr><td colspan="2">Wheel back to back _ _ _ _ __ _ _ _ _mm</td><td>Wheel Profile –</td></tr>
<tr><td colspan="2">Axle Centers_ _ _ _ __ _ _ _ _ m</td><td>Bogie Centers _ _ _ _ __ _ _ _ _m</td></tr>
<tr><td colspan="2">Comments -</td><td></td></tr>
</table>

GENERAL	Product	Turnout	Crossover-single	Crossover – Scissor type	Diamond	Single Slip	Double Slip
		Catchpoint	Crossing only	Switch only	Switch Assembly	Other –	
	Rail	31 kg	41 kg	50 kg	53 kg	60 kg	68 kg
		Other kg	HH Y / N	Vertical	Canted	Drilled fishplates	Undrilled
	Flexing	Straight	Similar	Contrary	Special	Other –	
	Hand	Right	Left	Unhanded	Unknown		
	Gauge	Narrow – 1067	Std – 1435	Broad – 1600	Dual – B/S or N/S	Other –	
	Comments –						

Plating & Fastenings	Switch Panel	Cast in Shoulders	Screw spikes	Other –
	Crossing Panel	Cast in Shoulders	Screw spikes	Other –
	Closure Panel	Plated	Un-plated	Other –
		Cast in Shoulders	Screw spikes	
	Comments –			

CROSSING	Type	Compound	RBM	Mono-block	SNX
		Spring Wing	Fabricated V	Other	
	Angle	1 in		or	
	Extended Legs	.....mm	Long Legs	Short Legs	Both Legs
	Comments -				
SWITCHES	Product	Full Set	Half Set	Blades only	Other -
	Type	Tangential	Fixed Heel	Pivot Heel	Other -
		Asymmetric Rail	Standard Rail	Other -	
	Radius	.....m		RH	LH
	Openings	Toe ..... mm			Throat..... mm (min)
	Extended Legs	Stock rail ..... m		Front, Back or both	
		Switch Rail .....m			
	Comments -				
SWITCH OPERATION	Lever	Required	Not Required	Location RH / LH side	
		Type –			
	Machine	Required	Not Required	Location RH / LH side	
		Other –		Trailable Operation Yes / No	
	Machine Type	Description –			
	Rodding	Required	Not Required		
	Back drive Yes / No				
	Switch Rodding Type	Locking Type –		Detection Type –	
		Other -			
	SNX Rodding Type	Locking Type –		Detection Type –	
		Other –			
	Comments -				

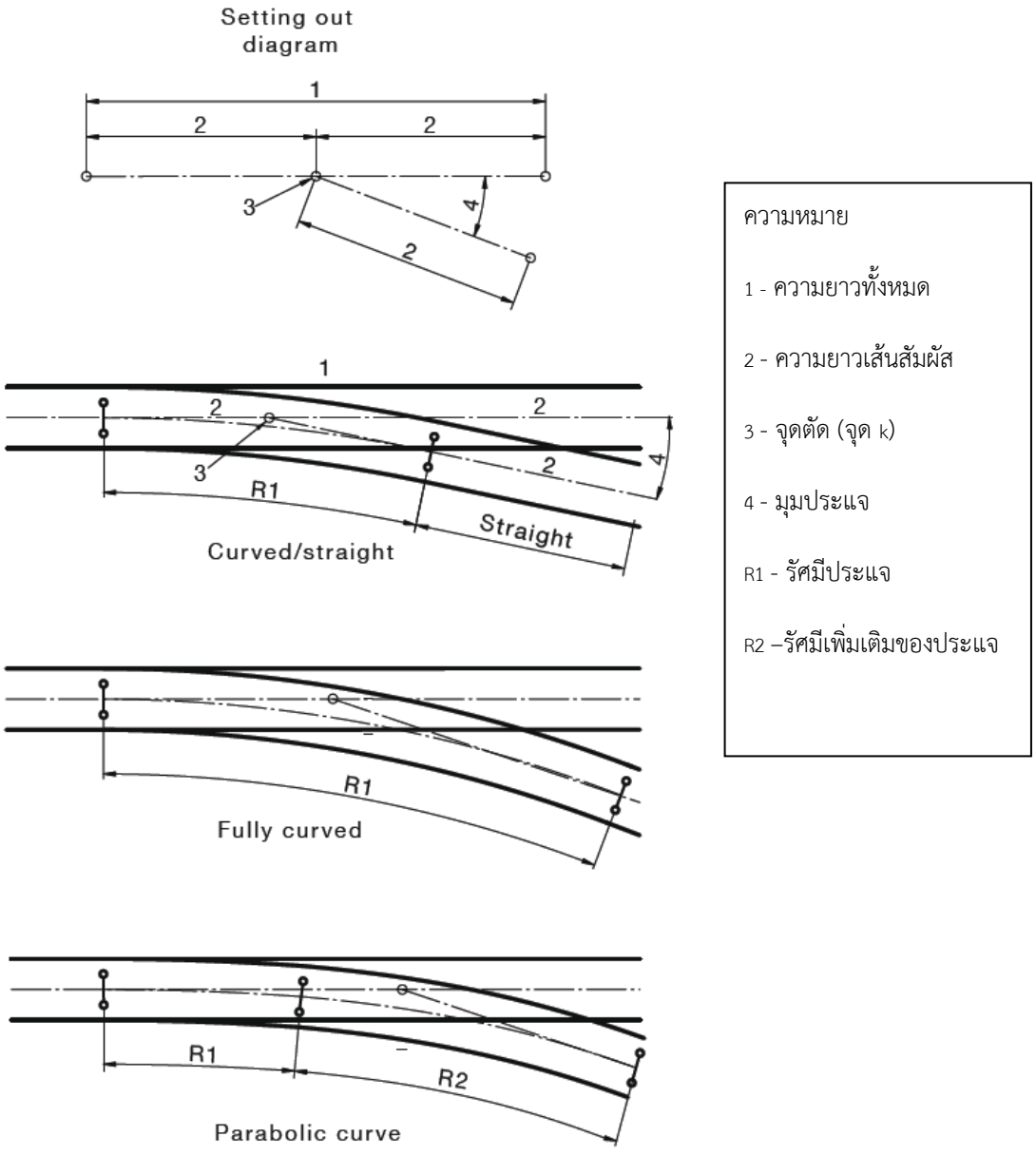
BEARERS	Bearers	Required	Not Required		
	Type	Timber	Concrete	Steel	Composite
		Other -			
	In Bearer	Steel	Other -		
		Points Yes / No	Front & Rear	Front only	
		SNX - Yes / No			
	Comments -				

OTHER ITEMS	Closures	GIRJ and location	Resilient Fasteners	Plating	Cant Plates
	Junction Rails	Guardrails	SNX Rollers	Switch Rollers	Insulation Pads
	Manuals		Other -		
		Comments -			

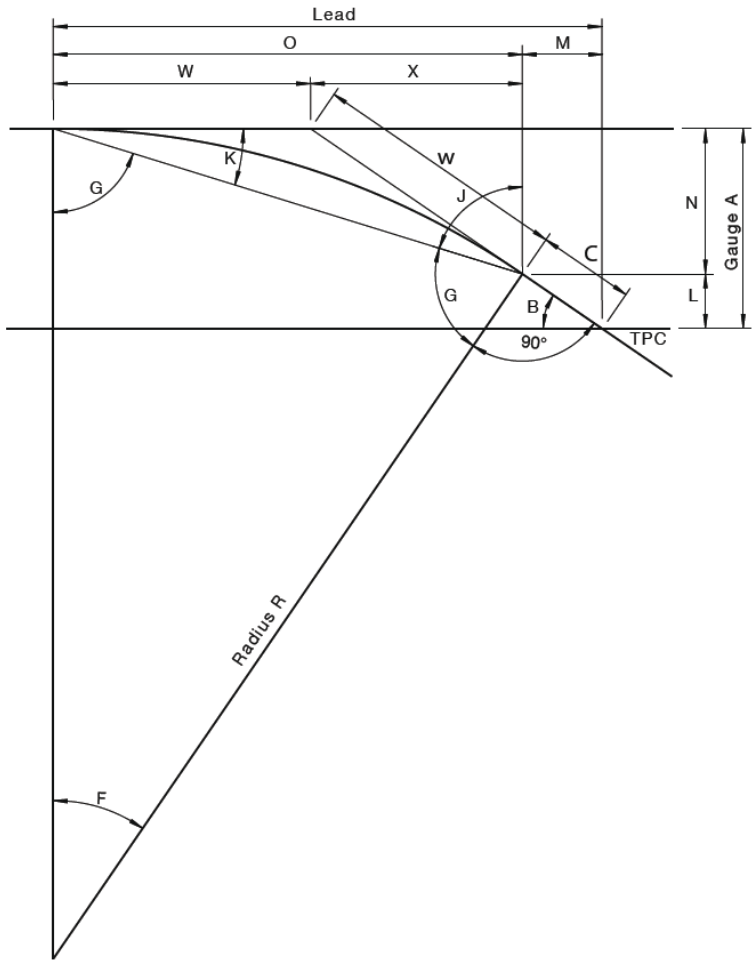
DELIVERY DETAILS	Delivery Date to site Yes / No
	Location –
	Trial Assembly Yes / No
	Yes / No Comments –

แบบฟอร์มแนะนำ : ภาคผนวก ฉ การออกแบบรูปร่างของประแจด้วยวิธี เส้นสัมผัส (Tangential)

การออกแบบรูปร่างของประแจด้วยวิธีเส้นสัมผัส (Tangential) นั้น ช่วงโค้งของประแจจะเริ่มที่จุดสัมผัสของรัศมีและสิ้นสุดที่จุดสมมุติที่มีมุมเบี่ยงเท่ากับมุมประแจที่ต้องการ ดังแสดงใน**รูปที่ ฉ.1** และ**รูปที่ ฉ.2**



รูปที่ ฉ.1 รูปแบบของการออกแบบประแจด้วยวิธีเส้นสัมผัส (Tangential)



ความหมาย

ขนาดทางA= ขนาดทาง, หน่วยมิลลิเมตร

B = มุมของจุดตัดหน่วยองศา = $\tan^{-1}$(1/อัตราส่วนจุดตัด) e.g. $\tan^{-1}$(1/8)

C = ความยาวทางตรงหน่วยมิลลิเมตร

จุด (Point thickness) = 0 mm

มุม (Entry angle) = 0

G + K	=	90°
L		= C × Sin B
M		= C × Cos B
N	=	A – L
W		= N × Cosec B
X		= N × Cot B
O	=	W + X
K		= Tan^{-1}N/O
G		= J = 90 – K
B	=	F = 180 – 2G

รูปที่ ฉ.2 รายละเอียดของตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้กำหนดรูปร่างทางกายภาพของประแจ (สำหรับจุดตัดแบบเส้นตรง Straight Crossing)

ตารางที่ ฉ.1 และ**ตารางที่ ฉ.2** แสดงค่าของตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบประแจโดยวิธีเส้นสัมผัส (Tangential) โดยแบ่งตามขนาดของทางรถไฟ

ตารางที่ ฉ.1 ตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบประแจโดยวิธีเส้นสัมผัส (Tangential) สำหรับทางรถไฟขนาดมาตรฐาน 1.435 เมตร

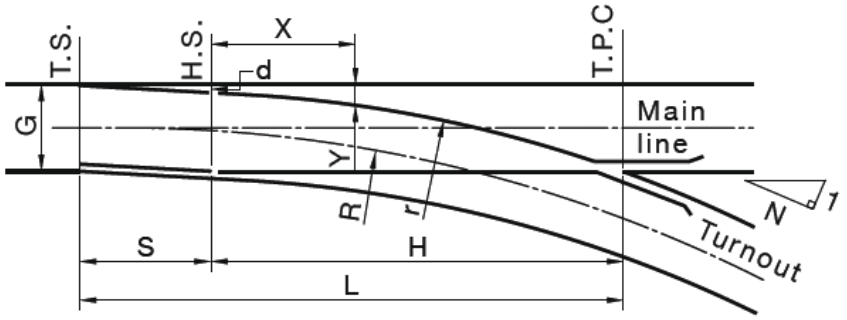
รัศมี (เมตร)	อัตราส่วนประแจ (1:N)	จุดตัด (มม.)	ความยาวก่อนถึงจุดตัด (มม.)	มุมของจุดตัด (องศา)
160	6.6	12052	20939	7.662236°
160	8.25	9662	21054	6.911227°
190	7	13503	22862	7.033006°
190	9	10523	22988	6.340192°
250	8.25	15096	26296	6.133080°
250	10.5	11878	26489	5.440332°
300	9	16616	28853	5.599601°
300	12	12478	29238	4.763642°
500	12	20797	37391	4.763642°
500	15	16648	37707	3.814075°
800	15	26637	46827	3.814075°
800	18.5	21606	47083	3.094058°
1000	20	25000	52790	2.864192°
1200	18.5	32409	56996	2.801473°
1200	24	24989	57754	2.385957°

ตารางที่ ฉ.2 ตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบประแจโดยวิธีเส้นสัมผัส (Tangential) สำหรับทางรถไฟขนาด 1.0 เมตร

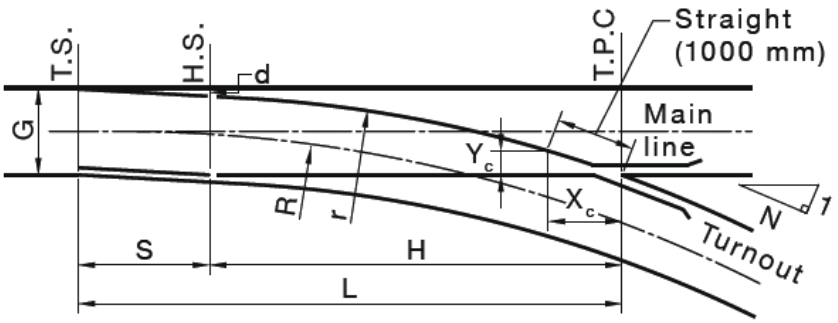
รัศมี (เมตร)	อัตราส่วนประแจ (1:N)	จุดตัด (มม.)	ความยาวรางนำ (มม.)	มุมของจุดตัด (องศา)
130	8.25	7850	16308	6.911227°
200	10	9975	20205	5.710593°
280	12	11646	23920	4.763642°
300/250	12	12060	24402	4.763642°
500	16	15610	31960	3.576334°
1235	25	24684	50213	2.290610°

ภาคผนวก ช การออกแบบรูปร่างของประแจด้วยวิธี เส้นตัดวงกลม (Secant)

การออกแบบรูปร่างประแจด้วยวิธี เส้นตัดวงกลมนับเป็นวิธีแรกที่ถูกนำมาใช้ในการออกแบบ ซึ่งการออกแบบด้วยวิธีดังกล่าวจะทำให้ได้รูปร่างของประแจที่เรียบง่าย โดยช่วงลิ้นประแจจะเป็นเส้นตรงแล้วจึงตามด้วยเส้นโค้งในบริเวณหลังจากผ่านลิ้นประแจไปแล้วดัง**รูปที่ ช.1**



(a) Turnout with curved crossing



(b) Turnout with straight crossing

รูปที่ ช.1 ลักษณะของประแจที่ถูกออกแบบด้วยวิธี เส้นตัดวงกลม (Secant)

ตารางที่ ช.1 ตัวแปรและความหมายในการออกแบบประแจโดยวิธี เส้นตัดวงกลม (Secant)

ตัวแปร	ความหมาย
สันของลิ้นประแจ (HS)	ปลายลิ้นประแจมีหน้าตัดรางเต็ม
ปลายของลิ้นประแจ (TS)	ปลายบางของลิ้นประแจ (ปลายตรงข้ามสันของประแจ)
ตำแหน่งจุดตัดทางทฤษฎี	จุดตัดผ่านของเส้นแนวทาง ณ จุดตัด
รัศมี (R)	รัศมีของทางประธาน
รัศมี (r)	รัศมีของโค้งประแจ
ขนาดทาง (G)	ขนาดของทางรถไฟ
อัตราส่วนมุมประแจ (N)	อัตราส่วน~~ของ~~ความเบี่ยงของประแจ
มุมประแจ (α)	มุมประแจ หน่วยองศา
มุมลิ้นประแจ (B)	มุมระหว่างเส้นทางรถไฟและรางประคองลิ้น
กึ่งกลางของสัน (d)	ระยะห่างระหว่างเส้นทางรถไฟและสันของประแจ
ความยาวลิ้นประแจ (S)	ความยาวประแจจากสันถึงปลายของลิ้นประแจ
ทางนำช่วงสั้น (H)	ระยะห่างระหว่างสันลิ้นประแจถึงจุดตัดทางทฤษฎี (TPC) ที่วัดตามแนวเส้นทางประธาน
ทางนำ (L)	ระยะห่างระหว่างปลายลิ้นประแจถึงจุดตัดทางทฤษฎี (TPC) ที่วัดตามแนวเส้นทางประธาน

การออกแบบประแจด้วยวิธี เส้นตัดวงกลมจะใช้สมการดัง**ตารางที่ ช.2** สำหรับคำนวณหาค่ารายละเอียดทางกายภาพต่าง ๆ โดยจะมีเส้นโค้งที่เริ่ม ณ ตำแหน่งต่อจาก ลิ้นประแจวิ่งไปจนถึงจุดตัดทางทฤษฎีดังแสดงใน **รูปที่ ช.1**

ตารางที่ ช.2 สมการคำนวณค่ารายละเอียดต่าง ๆ สำหรับการออกแบบประแจด้วยวิธีเส้นตัดวงกลม

ตัวแปร	สมการ
ทางนำ (L)	$$Lead(L) = (G-d)Cot\left(\frac{1}{2(A+B)}\right)+S$$
รัศมี (r)	$$Radius(r) = \frac{G-d}{\left[Cos(B)-Cos(A)\right]}$$
ระยะร่น (Y)	$$Offset(y) = d + xTan\left[\frac{1}{2\left[B+Sin^{-1}\left(\frac{x}{r}+Sin(B)\right)\right]}\right]$$ ระยะร่น (Y) จะคำนวณทุก ๆ 1 เมตรเพื่อความถูกต้องแม่นยำในขณะติดตั้งประแจ

ในหลายประเทศและโครงการระบบรางหลายแห่ง นิยมใช้ประแจที่ถูกออกแบบด้วยวิธี เส้นตัดวงกลม เนื่องจากไม่ยุ่งยากในการออกแบบและติดตั้ง รวมทั้งมีค่าใช้จ่ายในการผลิตที่ต่ำ อย่างไรก็ตามการใช้งานประแจแบบ เส้นตัดวงกลมโดยทั่วไปจะใช้กับสายทางที่มีความเร็วต่ำหรือในย่านสถานี