



สวทช.
NSTDA



ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับรางรถไฟ

ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย



โครงการวิจัย

การรวบรวมองค์ความรู้ด้านขนส่งระบบราง:

กรณีศึกษาด้านโครงสร้างพื้นฐาน

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับรางรถไฟ

ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย

จัดทำโดย



รฟท.
NSTDA



โครงการวิจัย การรวบรวมองค์ความรู้ด้านขนส่งระบบราง: กรณีศึกษาด้านโครงสร้างพื้นฐาน

The Knowledge Accumulation of Rail Transportation: Case Study of Infrastructure

โดย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ร่วมกับ การรถไฟแห่งประเทศไทย

ด้วยงบประมาณสนับสนุนจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

พิมพ์ครั้งที่ ๑

เมษายน ๒๕๕๘

จำนวน ๑๐๐ เล่ม

พิมพ์ที่

บริษัท เอนเนอร์ยี่คอนกรีต จำกัด

๘๐๒/๑๖-๑๗ ซอยวัดจันทรีใน ถนนเจริญกรุง

แขวงบางโคล่ เขตบางคอแหลม กรุงเทพมหานคร ๑๐๑๒๐

โทรศัพท์ ๐-๒๖๘๘-๕๐๙๙ โทรสาร ๐-๒๖๘๑-๘๙๓๒

คำนำ

หนังสือ “ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับรางรถไฟ” ฉบับนี้ จัดทำขึ้นภายใต้โครงการวิจัย พัฒนา และวิศวกรรม เรื่อง “การรวบรวมองค์ความรู้ด้านขนส่งระบบราง: กรณีศึกษาด้านโครงสร้างพื้นฐาน” ด้วยการสนับสนุนทุนวิจัย พัฒนาและวิศวกรรมจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) โดยโครงการวิจัยนี้มุ่งหวังให้มีการรวบรวมและประมวลองค์ความรู้ด้านการขนส่ง ระบบราง ซึ่งนำร่องการศึกษา ด้านโครงสร้างพื้นฐานระบบรางและรวบรวมองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องจากหน่วยงานการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.)

ในการจัดทำหนังสือฉบับนี้ คณะผู้จัดทำได้รับการอนุเคราะห์ข้อมูลจากการรถไฟแห่งประเทศไทยในการดำเนินการเรียบเรียงเนื้อหา โดยอาศัยข้อมูลจากเอกสารเกี่ยวกับการผลิตรางรถไฟของฝ่ายการช่างโยธา รฟท. และจากหนังสือ เรื่อง ความรู้เบื้องต้นวิศวกรรมรถไฟ ของ คุณเจน บุญเชื้อ อดีตวิศวกรใหญ่ฝ่ายการช่างโยธา รฟท. นอกจากนี้ คณะผู้จัดทำยังได้รับการอนุเคราะห์ภาพประกอบจากคณะวิศวกรควบคุมการผลิตของฝ่ายการช่างโยธา รฟท. ที่ได้ควบคุมการผลิต ราง เหล่งผลิต ซึ่งจะช่วยให้ผู้อ่านทำความเข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้น

คณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย และขอขอบคุณการรถไฟแห่งประเทศไทยที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและบุคลากรสนับสนุนการดำเนินงานโครงการวิจัยนี้เป็นอย่างดี และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือ “ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับรางรถไฟ” ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อวิศวกร นักปฏิบัติการ ช่างทางรถไฟ นักวิชาการ นักศึกษา ตลอดจนผู้ที่สนใจด้านรถไฟตามสมควร

คณะผู้จัดทำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

โดยความร่วมมือจาก การรถไฟแห่งประเทศไทย

เมษายน ๒๕๕๘

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ ๑ ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับรางรถไฟ	๖
๑.๑ ราง	๖
๑.๑.๑ ขนาดของราง	๖
๑.๑.๒ มาตรฐานหน้าตัดราง	๗
๑.๑.๓ คุณสมบัติของวัสดุราง	๘
๑.๑.๔ ส่วนผสมทางเคมีของราง	๙
๑.๒ ข้อกำหนดบางประการเกี่ยวกับการผลิตรางรถไฟ	๑๐
๑.๒.๑ แบบและมาตรฐานข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง	๑๐
๑.๒.๒ กรรมวิธีการผลิต	๑๐
๑.๒.๓ การทำเครื่องหมาย	๑๐
๑.๒.๔ ความยาวของราง	๑๒
๑.๒.๕ น้ำหนักมวลสารของราง	๑๒
๑.๒.๖ การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของราง	๑๓
๑.๒.๗ การทดสอบทางกล	๑๓
บทที่ ๒ การผลิตรางรถไฟ	๑๔
๒.๑ ประเทศที่ผลิตรางรถไฟ	๑๔
๒.๒ กระบวนการผลิตราง	๑๕
๒.๒.๑ การถลุงเหล็ก	๑๕
๒.๒.๒ การผลิตเหล็กกล้า	๑๖
๒.๒.๓ การหล่อแท่งเหล็ก	๑๗
๒.๒.๔ การรีดราง	๑๗
๒.๓ การตรวจราง	๒๐
บทที่ ๓ การทดสอบคุณภาพของราง	๒๒
๓.๑ การเตรียมการตรวจ	๒๒
๓.๒ การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี	๒๓
๓.๓ การตรวจสอบปริมาณไฮโดรเจนตกค้าง	๒๔

เรื่อง	หน้า
๓.๔ การทดสอบเชิงกล	๒๔
๓.๔.๑ การทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักตกกระแทก	๒๔
๓.๔.๒ การทดสอบความต้านแรงดึง	๒๕
๓.๔.๓ การทดสอบความแข็งที่ผิวราง	๒๕
๓.๔.๔ การทดสอบด้วยตาเปล่า	๒๖
๓.๕ การตรวจสอบมิติและลักษณะทั่วไป	๒๗
๓.๖ การตรวจสอบน้ำหนัก	๓๐
๓.๗ การตรวจสอบข้อ	๓๐
๓.๘ การบันทึกหลักฐานการทดสอบและการตรวจสอบ	๓๐
๓.๙ การออกหนังสือรับรองการตรวจ	๓๑
๓.๑๐ การรายงานการตรวจรับราง	๓๑
บรรณานุกรม	๓๒
ภาคผนวก	๓๓

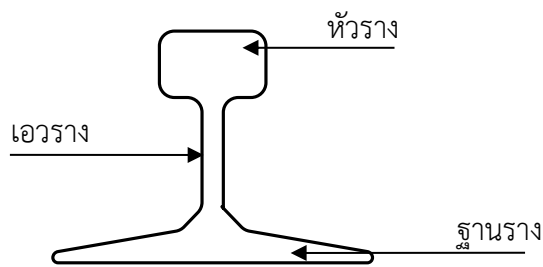
บทที่ ๑

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับรางรถไฟ

๑.๑ ราง

รูปแบบของรางรถไฟมีหน้าตัดคล้ายกับเหล็กรูปพรรณตัวไอ (I) ซึ่งเป็นรูปแบบที่ได้รับการยอมรับการใช้งานด้านเทคนิคและเป็นหน้าตัดรางที่ประหยัด (Economic) ให้ความแข็งแรง (Stiffness) และมีความคงทนต่อการใช้งาน (Durability)

รูปร่าง (Profile) ของรางจะประกอบด้วยส่วนของหัวราง (Head) เอรราง (Web) และฐานราง (Foot) ดังรูปที่ ๑.๑



รูปที่ ๑.๑ ส่วนประกอบของราง

๑.๑.๑ ขนาดของราง

ขนาดรางที่ใช้งานจะกำหนดเป็นน้ำหนักของรางต่อความยาวราง เช่น น้ำหนักเป็นกิโลกรัมต่อเมตร หรือปอนด์ต่อหลา เช่น รางขนาด ๑๐๐ ปอนด์ หน้าตัดราง (Profile) ตามมาตรฐานอังกฤษ (BS) มีน้ำหนัก ๑๐๐ ปอนด์ต่อหลา หรือรางขนาด ๕๐ N เป็นรางหน้าตัดตามมาตรฐานญี่ปุ่น (JIS) มีน้ำหนัก ๕๐ กิโลกรัมต่อเมตร เป็นต้น

ขนาดน้ำหนักของหน้าตัดรางที่แตกต่างกัน จะให้คุณสมบัติความแข็งแรงในการรับน้ำหนักได้ไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบคำนวณหาขนาดของรางที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้งานให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด

การรถไฟแห่งประเทศไทย กำหนดขนาดรางใช้กับทางประธาน ให้รับน้ำหนักเพลา ๒๐ ตัน ความเร็ว ๑๒๐ กิโลเมตรต่อชั่วโมง ใช้ขนาดราง ๑๐๐ ปอนด์ หน้าตัดตามมาตรฐานอังกฤษ (BS) คุณสมบัติของเนื้อวัสดุรางตามมาตรฐาน UIC ๘๖๐ Grade ๙๐๐ A



รูปที่ ๑.๒ (จากซ้ายไปขวา) รางขนาด ๑๐๐, ๘๐, ๗๐ และ ๕๐ ปอนด์ต่อหลา

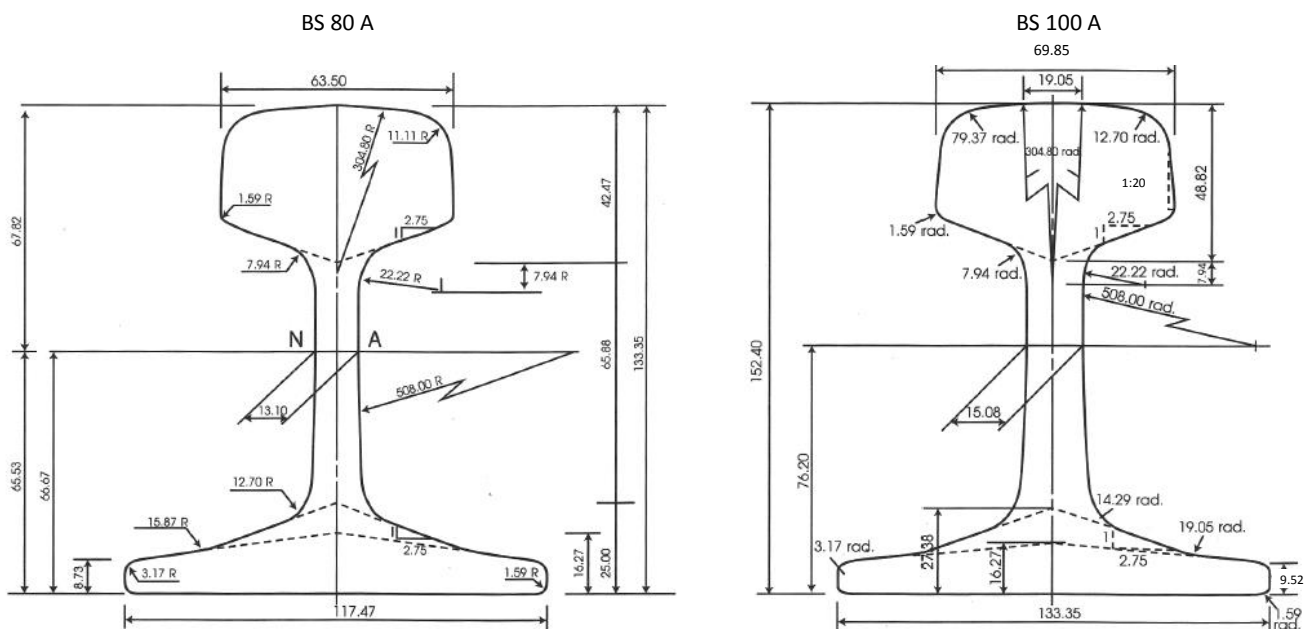
ที่มา: การรถไฟแห่งประเทศไทย

๑.๑.๒ มาตรฐานหน้าตัดราง

รูปร่างของหน้าตัดราง (Profile) จะแตกต่างกันตามมาตรฐานที่การรถไฟในแต่ละประเทศใช้งาน เช่น

AREA, AREMA	มาตรฐานของอเมริกา
BS	มาตรฐานของอังกฤษ
EN	มาตรฐานของยุโรป
GB, TB	มาตรฐานของจีน
JIS	มาตรฐานของญี่ปุ่น
RSR, SRT	มาตรฐานของการรถไฟแห่งประเทศไทย
UIC	มาตรฐานของ International Union of Railways

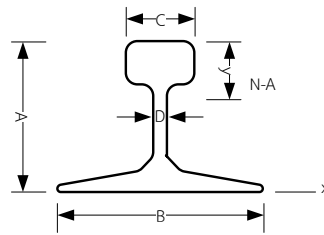
ปัจจุบันการรถไฟฯ ใช้รางหน้าตัดตามมาตรฐานของอังกฤษ (BS) เป็นหลักสำหรับรถไฟธรรมดา และใช้รางหน้าตัดตามมาตรฐาน UIC และ EN สำหรับรถไฟไฟฟ้า



ที่มา: ดัดแปลงจาก เจน บุญเชื้อ (๒๕๕๔)

รูปที่ ๑.๓ หน้าตัดราง BS ๘๐ A และ ๑๐๐ A

ตารางที่ ๑ คุณสมบัติหน้าตัดราง BS ๘๐ A และ BS ๑๐๐ A



Standard Design Rail Section ตามแบบมาตรฐานของการรถไฟแห่งประเทศไทย			
	Unit	BS ๘๐ A	BS ๑๐๐ A
Rail Height (A)	mm	๑๓๓.๓๕	๑๕๒.๔๐
Foot Width (B)	mm	๑๑๗.๔๗	๑๓๓.๓๕
Head Width (C)	mm	๖๓.๕๐	๖๙.๘๕
Min. Web Thickness (D)	mm	๑๓.๑๐	๑๕.๐๘
Head Area	mm ^๒	๒,๒๗๐.๙๖	๒,๘๕๕.๗๙
Web Area	mm ^๒	๑,๐๐๖.๔๕	๑,๓๕๐.๓๒
Foot Area	mm ^๒	๑,๗๙๓.๕๔	๒,๑๘๖.๕๐
Total Area	mm ^๒	๕,๐๗๐.๙๕	๖,๓๙๒.๖๑
Section Weight (calculated)	kg/m	๓๙.๘๐	๕๐.๑๘๒
Moment of Inertia (I _{xx})	cm ^๔	๑,๒๐๙.๑๕	๑,๙๖๑
Distance of Neutral Axis from Top of Rail	mm	๖๗.๘๒	๗๗.๖๙
Section Modulus (Z), Top	cm ^๓	๑๗๘.๒๙	๒๕๒.๔๒
Section Modulus (Z), Bottom	cm ^๓	๑๘๔.๕๒	๒๖๒.๔๘

ที่มา: การรถไฟแห่งประเทศไทย และเจน บุญชื้อ (๒๕๕๔)

๑.๑.๓ คุณสมบัติของวัสดุราง

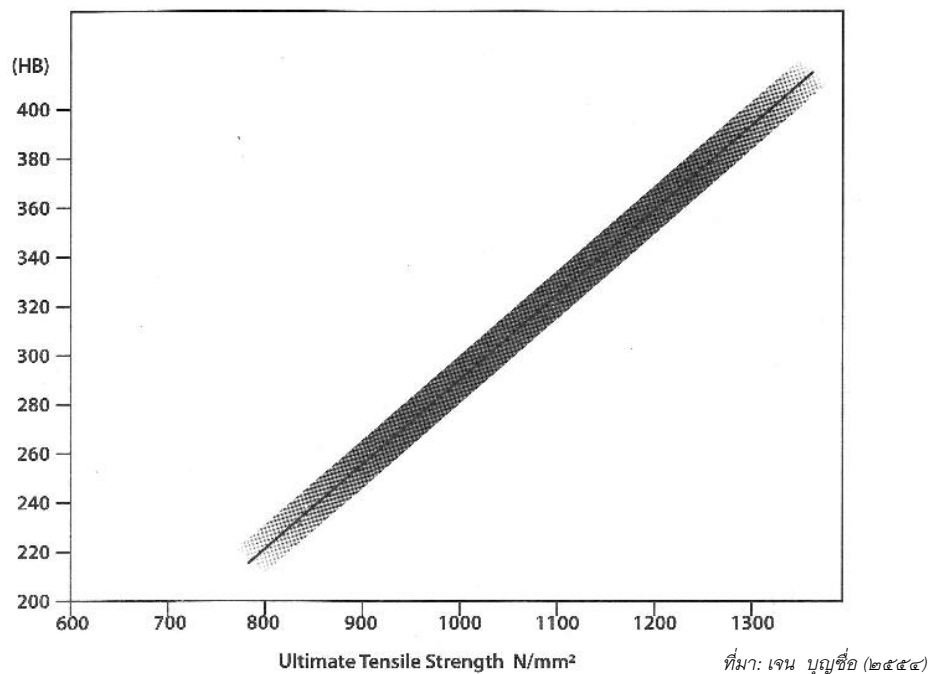
กำลังวัสดุของรางอยู่ในชั้นเหล็กกล้า โดยทั่วไปคุณสมบัติของรางที่ใช้งานจะมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength, UTS) ระหว่าง ๗,๐๐๐ – ๑๓,๐๐๐ กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร

วัสดุรางจะกำหนดชั้น (Grade) ของเหล็ก เป็นชนิด A หรือ B เช่น

ราง ๑๐๐ A รางชนิดนี้ค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) จะขึ้นอยู่กับค่าส่วนผสมของคาร์บอน ในเนื้อโลหะเป็นตัวแปรหลัก รางชนิด A จะมีคุณสมบัติเชื่อมต่อกันได้ง่ายเหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นรางเชื่อมยาว

ราง ๑๐๐ B รางชนิดนี้ค่าความต้านทานแรงดึงจะขึ้นอยู่กับการผสมของแมงกานีสในเนื้อโลหะเป็นตัวแปรหลัก รางชนิด B จะมีคุณสมบัติเชื่อมยากไม่เหมาะนำมาใช้กับงานเชื่อมต่อกัน แต่ให้ความแข็ง (Toughness) สูงกว่ารางชนิด A เหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นรางสั้น ชนิดที่มีหัวต่อราง

ค่าความแข็ง (Hardness) ของหัวรางจะสัมพันธ์กับความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) ของราง โดยทั่วไปความแข็งของหัวรางจะกำหนดไว้ประมาณ ๒๖๐ – ๓๐๐ HB



รูปที่ ๑.๔ ความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (UTS) และค่าความแข็งของหัวราง (HB)

๑.๑.๔ ส่วนผสมทางเคมีของราง

ส่วนผสมทางเคมี (Chemical Composition) สำหรับใช้ผลิตรางของการรถไฟแต่ละประเทศ จะกำหนดใช้มาตรฐานแตกต่างกัน เช่น มาตรฐานของอังกฤษ (BS) มาตรฐานของอเมริกา (AREMA) หรือมาตรฐานของรถไฟยุโรป (UIC) เป็นต้น

สำหรับการรถไฟแห่งประเทศไทย กำหนดใช้ส่วนผสมทางเคมีตามมาตรฐาน UIC

ตารางที่ ๒ ส่วนผสมทางเคมีของรางตามมาตรฐาน UIC ๘๖๐-๐

Grade	คาร์บอน (C) %	ซิลิกอน (Si) %	แมงกานีส (Mn) %	ฟอสฟอรัส (P) %	ซัลเฟอร์ (S) %	UTS N/mm ^๒	Elongation %
๙๐๐ A	๐.๖๐ – ๐.๘๐	๐.๑๐ – ๐.๕๐	๐.๘๐ – ๑.๓๐	≤๐.๐๔	≤๐.๐๔	๘๘๐–๑,๐๓๐	≥๑๐
๙๐๐ B	๐.๕๕ – ๐.๗๕	๐.๑๐ – ๐.๕๐	๑.๓๐ – ๑.๗๐	≤๐.๐๔	≤๐.๐๔		

ที่มา: UIC ๘๖๐-๐

๑.๒ ข้อกำหนดบางประการเกี่ยวกับการผลิตรางรถไฟ

๑.๒.๑ แบบและมาตรฐานข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง

รางรถไฟที่ผลิตและจัดส่งให้แก่การรถไฟแห่งประเทศไทยจะเป็นไปตามแบบและมาตรฐาน UIC เลขที่ ๘๖๐-๐ (ฉบับที่ ๘, ๑-๗-๑๙๘๖) และข้อกำหนดอื่นๆ ของการรถไฟฯ

๑.๒.๒ กรรมวิธีการผลิต

กรรมวิธีผลิตเหล็ก มีหลายวิธี ได้แก่

- แบบพ่นอากาศ เป็นกรด (Openhearth, Acid)
- แบบพ่นอากาศ, เป็นด่าง (Openhearth, Acid)
- แบบเบสเชมเมอร์ เป็นกรด (Bessemer, Acid)
- แบบเบสเชมเมอร์ เป็นด่าง (Bessemer, Basic)
- แบบไฟฟ้า (Electric)
- แบบพ่นออกซิเจน (Oxygen Blow)

การผลิตเหล็กท่อนจะผลิตโดยการหลอม (หล่อ) อย่างต่อเนื่อง (Continuous Casting) ปริมาณไฮโดรเจนที่เหลือในขั้นตอนการผลิตแล้วเสร็จจะต้องไม่เกิน ๑.๕ ส่วนต่อล้านส่วน (PPM) ซึ่งในการผลิตจะต้องนำกรรมวิธีการกำจัดก๊าซมาใช้เพื่อลดปริมาณไฮโดรเจนตกค้าง

ทั้งนี้ ผู้ผลิตจะต้องส่งผลของการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกลและทางเคมีให้แก่ตัวแทนของการรถไฟแห่งประเทศไทยเพื่อตรวจสอบด้วย

๑.๒.๓ การทำเครื่องหมาย

การทำเครื่องหมาย (Marking) บนราง ประกอบด้วยเครื่องหมายการรีดเหล็ก ตราประทับเหล็กขณะร้อน และตราประทับเหล็กขณะเย็น ดังนี้

เครื่องหมายการรีดเหล็ก จะต้องทำเป็นตัวอักษรตัวหนาขนาดสูงผ่านการรีด และมีขนาดอย่างน้อย ๒๐ มิลลิเมตร ไว้ที่ด้านหนึ่งของเอวรางของรางแต่ละท่อน ประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

- ชื่อและ/หรือ เครื่องหมายของผู้ผลิต
- ปีที่ทำการผลิต
- เดือนที่ทำการผลิตในรูปอักษรโรมัน
- กรรมวิธีการผลิตเหล็ก เช่น

○ = การพ่นออกซิเจน

E = ไฟฟ้า

OA = การพ่นอากาศ, เป็นกรด

BA = การถลุงเหล็กแบบเบสเชมเมอร์ เป็นกรด

OB = การพ่นอากาศ, เป็นด่าง

BB = การถลุงเหล็กแบบเบสเชมเมอร์ เป็นด่าง

- ลูกศรชี้ถึงทิศทางของสายการหลอม (หล่อ) อย่างต่อเนื่อง

- หมายเลขและตัวอักษรแสดงขนาดราง เช่น ๑๐๐ A
- SRT ชื่อย่อของการรถไฟแห่งประเทศไทย
- สัญลักษณ์ $\overline{\hspace{1cm}}$ แสดงถึงเหล็กชั้นมาตรฐาน ๙๐๐ A

ตัวอย่าง X & Co. 1991 III O $\overleftrightarrow{\hspace{1cm}}$ หรือ 100 A SRT $\overline{\hspace{1cm}}$

ตราประทับเหล็กขณะร้อน

รายละเอียดต่อไปนี้จะต้องประทับบนเอวรางอีกด้านหนึ่งขณะเหล็กร้อน โดยมีขนาดอย่างน้อย ๑๐ มิลลิเมตร

- Grade of Rail (ชั้นของเหล็ก)
- Heat or Charge Number (หมายเลขของการหลอมของรางที่ได้รีดมา)
- Rail Number (อักษร A, B, C,.....ถึง Z เพื่อบอกตำแหน่งของรางที่รีดได้จากส่วนบนถึงส่วนล่างของเหล็กท่อน)
- Strand Number (หมายเลขของสายเหล็กที่หลอมอย่างต่อเนื่อง เช่น ๑, ๒, ๓,.....)
- Bloom Number (หมายเลขของเหล็กแท่ง เช่น ๐๑, ๐๒, ๐๓)

ตัวอย่าง 900A C1234 A 2 03



ที่มา: ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย

รูปที่ ๑.๕ การทำตราประทับเหล็กขณะร้อน

ตราประทับเหล็กขณะเย็น

เป็นการประทับตราขณะรางเย็น สำหรับรางที่ผลิตทุกเส้นบริเวณปลายรางที่เป็นส่วนบนของเหล็กท่อน ในปัจจุบันผู้ผลิตรางส่วนใหญ่ใช้กระดาษกาวกันน้ำหรือสติ๊กเกอร์แสดงรหัสแท่ง (Barcode) หรือรหัสแท่งสองมิติ (QR Code) ติดไว้ที่หน้าตัดรางบริเวณส่วนหัวราง โดยมีรายละเอียดประกอบด้วย ชื่อหรือสัญลักษณ์ของผู้ผลิตราง ขนาดหน้าตัดราง ความยาวของราง ปีที่ผลิต มาตรฐานที่ใช้ผลิต และรายละเอียดต่างๆ ของตราประทับเหล็กขณะร้อน

๑.๒.๔ ความยาวของราง

ปัจจุบันกำหนดใช้ความยาวรางมาตรฐาน ยาวท่อนละ ๒๕.๐๐ เมตร รางที่ผลิตเสร็จจะถูกจัดส่งตามความยาวที่กำหนดและตามจำนวนที่สั่ง โดยจะหาที่หน้าตัดราง เว้นที่หัวราง เพื่อสะดวกในการจำแนกตามความยาวราง ดังนี้

ราง ๒๕ เมตร ทาสีเหลือง

ราง ๑๘ เมตร ทาสีขาว

ราง ๑๒ เมตร ทาสีดำ

ราง ๙ เมตร ทาสีชมพู



ที่มา: ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย

รูปที่ ๑.๖ หน้าตัดรางที่ทาสีและติดสติ๊กเกอร์แสดงรายละเอียดของรางเมื่อผลิตเสร็จ

๑.๒.๕ น้ำหนักมวลสารของราง

น้ำหนักมวลของรางตามที่ได้คำนวณไว้แล้ว จะมีน้ำหนัก ๕๐.๑๘๒ กิโลกรัมต่อเมตร โดยคำนวณจากความหนาแน่นของเหล็ก ๗.๘๕ กรัม ต่อ ลูกบาศก์เซนติเมตร ในการตรวจสอบน้ำหนักมวลของรางที่ถูกต้องสำหรับรางที่ผลิตแต่ละครั้ง ผู้จัดซื้อจะสุ่มเลือกรางที่ผลิตได้แต่ละชุดมาตรวจสอบ น้ำหนักที่ซึ่งได้จะต้องไม่เกินกว่า ๒% และไม่น้อยกว่า ๐.๕% จากน้ำหนักมวลของรางที่คำนวณได้

๑.๒.๖ การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของราง

ผู้ผลิตจะวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของรางและส่งผลการวิเคราะห์ที่สมบูรณ์ให้แก่ผู้ซื้อสำหรับการหลอม (หล่อ) แต่ละครั้งหลังจากการรีดราง (Rolling) ส่วนประกอบของสารเคมีของเหล็กจะต้องเป็นไปตามขั้นมาตรฐานที่กำหนด (ตารางที่ ๒)

๑.๒.๗ การทดสอบทางกล

สำหรับเหล็กเกรด ๙๐๐ A แรงดึงที่สูงสุดที่เหล็กขาดต้องอย่างน้อย ๘๘๐ นิวตัน ต่อ ตารางมิลลิเมตร โดยไม่มีข้อจำกัดสูงสุดและมีการยืดตัวหลังจากเหล็กขาดแล้วไม่น้อยกว่า ๑๐% ตามที่กำหนดในตารางที่ ๒

บทที่ ๒

การผลิตรางรถไฟ

๒.๑ ประเทศที่ผลิตรางรถไฟ

ปัจจุบันมีหลายประเทศที่สามารถผลิตรางเหล็กที่นำมาใช้เป็นรางรถไฟ ตัวอย่างของประเทศที่มีการผลิตราง เช่น

- ประเทศญี่ปุ่น บริษัท FUJI
บริษัท Nippon Steel Corporation โรงงาน Yawata ที่เมือง Yahata
- ประเทศออสเตรีย บริษัท Oesterreichisch Alpine Motangesellschaft เมือง Donawitz
บริษัท Voest Alpine Donawitz เมือง Donawitz
- ประเทศเยอรมัน บริษัท August Thyssen-Hütte AG
- ประเทศสเปน บริษัท Aceralia เมือง Gijón, Asturias
- ประเทศสหรัฐอเมริกา บริษัท US Steel เมือง Tennessee
บริษัท Colorado Fuel & Iron Co.
บริษัท Bethlehem Steel & Co. เมือง Sparrows
- ประเทศจีน Anshan Sci & Tech Profile Steel Company
Baotou Iron & Steel (Group) Company (Baogang)
Handan Iron & Steel (Group) Company (Hangang)
Panzhuhua Iron & Steel (Group) Company (Pangang)

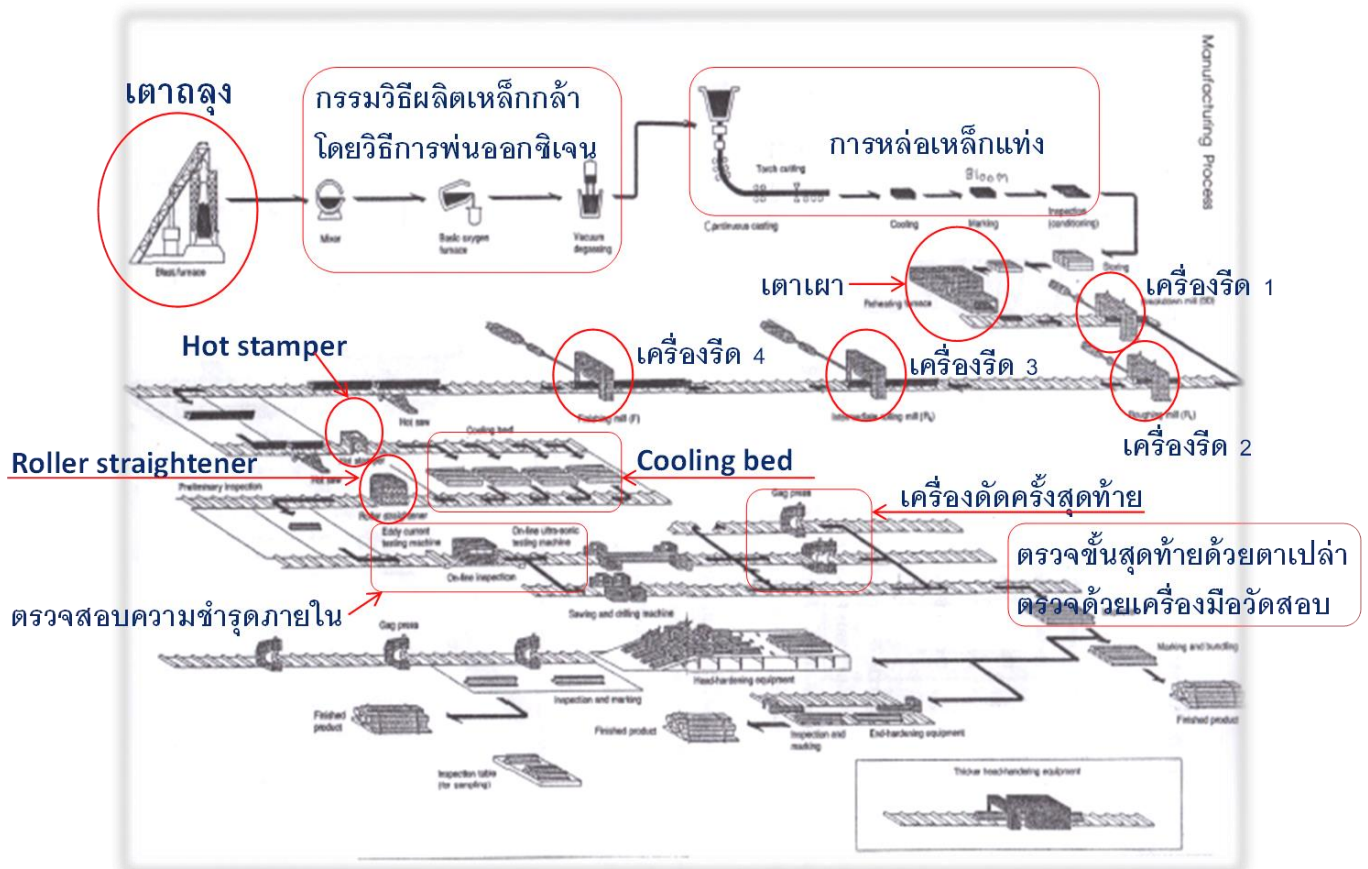


รูปที่ ๒.๑ โรงงานผลิตราง Baogang ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน

ที่มา: ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย

๒.๒ กระบวนการผลิตราง

กระบวนการผลิตราง (Rail Manufacturing Process) มีลำดับขั้นตอนโดยสังเขปแสดงในรูปที่ ๒.๒



ที่มา: ดัดแปลงจาก เจน บุญเชื้อ (๒๕๕๔)

รูปที่ ๒.๒ กระบวนการผลิตราง

๒.๒.๑ การถลุงเหล็ก

การถลุงเหล็ก (Iron Making) เป็นการนำสินแร่เหล็ก (Iron Ore) เศษเหล็ก (Pig Iron) ใส่เตาถลุง (Blast Furnace)

ปกติในตอนนี้เหล็กจะมีฟอสฟอรัส ประมาณ ๐.๑% และมีกำมะถัน ประมาณ ๐.๐๔% ซึ่งจะต้องมีกระบวนการลดปริมาณกำมะถัน (Desulphurizing) ด้วยการนำปูนขาว (CaO) ใส่ลงไปจนกระทั่งปริมาณกำมะถันลดลงเหลือไม่เกิน ๐.๐๐๕%



ที่มา: ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย

รูปที่ ๒.๓ การถลุงเหล็ก

๒.๒.๒ การผลิตเหล็กกล้า

การผลิตเหล็กกล้า (Steel Making) ในปัจจุบันนิยมใช้กรรมวิธีพ่นออกซิเจน (Oxygen Blow) หรือ LD Converter โดยนำเหล็กที่ถลุงแล้วไปทำให้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้น โดยให้เหล็กเหลวผ่านเข้าไปในเตาถลุงอีกเตาหนึ่ง (Basic Oxygen Furnace) ซึ่งมีความจุประมาณ ๓๐๐ ตัน และพ่นแก๊สออกซิเจนลงไป ในช่วงนี้จะมีการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของเหล็กเหลวเพื่อควบคุมปริมาณให้เป็นไปตามข้อกำหนด รวมทั้งการกำจัดแก๊สไฮโดรเจนด้วยวิธีที่เรียกว่า Vacuum Degassing โดยใช้ RH Degasser เพื่อให้รางที่ผลิตมีปริมาณไฮโดรเจนตกค้าง (Residual Hydrogen) ไม่เกิน ๑.๕ PPM

การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีอาจจะใช้เครื่องมือที่มีชื่อว่า Vacuum - Emission Spectrophotometric Analyzer เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่สำคัญในชิ้นตัวอย่างเหล็ก ส่วนปริมาณแก๊สไฮโดรเจนตกค้างสามารถตรวจสอบได้โดยใช้เครื่องมือที่มีชื่อว่า Hydrogen Determinator



ที่มา: ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย

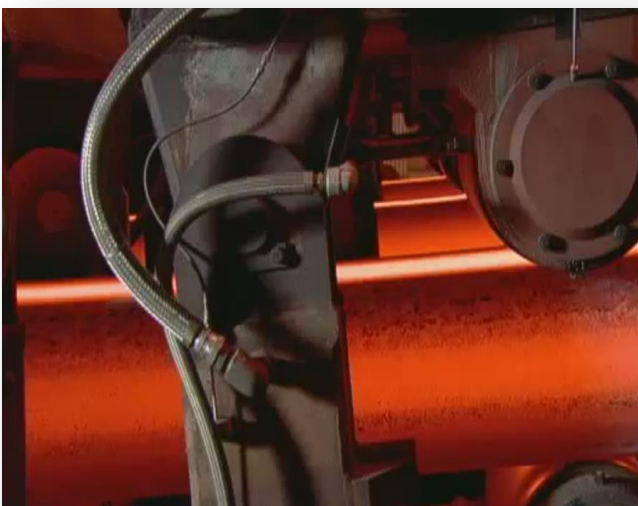
รูปที่ ๒.๔ การผลิตเหล็กกล้า

๒.๒.๓ การหล่อแท่งเหล็ก

ในกระบวนการหล่อแท่งเหล็ก (Bloom Casting) เหล็กกล้าเหลวจะผ่านไปยัง Bloom Continuous Caster เพื่อหล่อเป็นเหล็กแท่งสี่เหลี่ยมขนาดหน้าตัด ๒๕๐ x ๓๕๕ มม. ยาวต่อเนื่องที่เรียกว่า Bloom

Bloom จะถูกตัดเป็นท่อนๆ ด้วยไฟ (Torch Cutting) แล้วทิ้งไว้ให้เย็น (Cooling) ก่อนนำไปทำเครื่องหมาย (Marking) โดยเครื่องหมายที่ทำบนเหล็กแท่งจะประกอบด้วย Heat หรือ Charge Number, Strand Number และ Bloom Number

ต่อจากนั้นเป็นการตรวจขนาดหน้าตัดและสภาพผิวของ Bloom โดยการเดินตรวจด้วยตา (Visual Inspection) ก่อนนำไปกองเก็บ



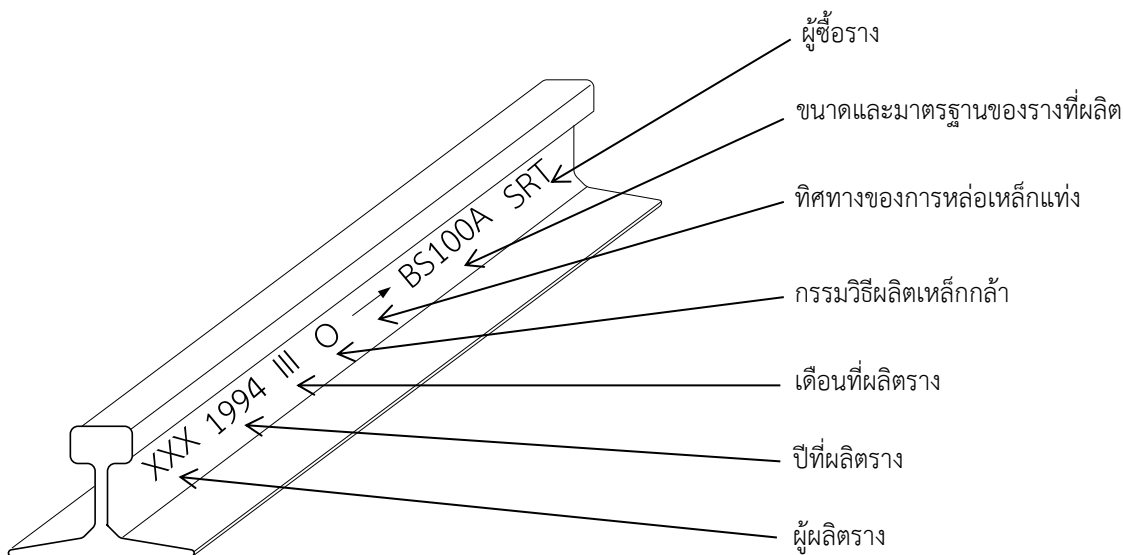
ที่มา: ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย

รูปที่ ๒.๕ การหล่อแท่งเหล็ก

๒.๒.๔ การรีดราง

ในกระบวนการรีดราง (Rail Rolling) จะนำ Bloom ที่กองเก็บมาตรวจสอบเครื่องหมายอันประกอบด้วย Heat Number, Strand Number และ Bloom Number แล้วจึงลำเลียงส่ง Bloom เข้าเตาเผา (Reheating Furnace) เพื่อเผาให้เหล็กร้อนแดงที่อุณหภูมิประมาณ ๑,๓๐๐ °C โดยใช้เวลาเผาประมาณ ๑ ชั่วโมงต่อเหล็ก ๑๕๐ ตัน

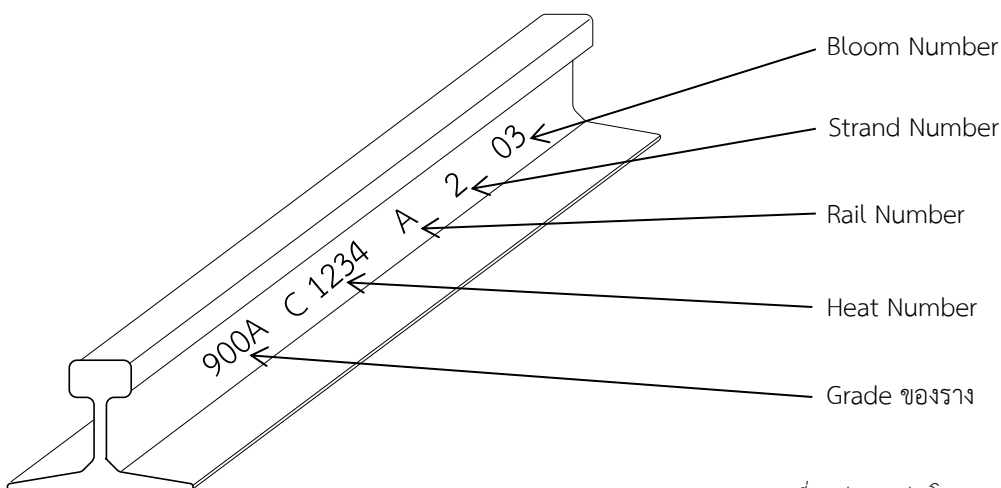
เมื่อออกจากเตาเผา Bloom จะถูกลำเลียงไปเข้าเครื่องรีดรวม ๔ เครื่อง เรียงตามลำดับ คือ Breakdown Mill, No.๑ Rouging Mill, No.๒ Rouging Mill และ Finishing Mill เมื่อผ่านเข้าเครื่องรีดแต่ละเครื่อง Bloom จะได้รับการรีดจำนวน ๗, ๕, ๓ และ ๑ ครั้งตามลำดับ รวมการรีดทั้งสิ้น ๑๖ ครั้ง กว่าที่จะสำเร็จออกมาเป็นราง ซึ่งมีความยาวประมาณ ๑๐๐ เมตร เครื่องหมายที่เอวรางด้านหนึ่งซึ่งเรียกว่า Rolling Mark จะปรากฏขึ้นขณะที่รางผ่านการรีดครั้งสุดท้ายโดย Finishing Mill



ที่มา: ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย

รูปที่ ๒.๖ เครื่องหมายการรีดเหล็ก (Rolling Mark)

รางที่รีดแล้วจะผ่านเข้าเครื่อง Hot Stamper เพื่อทำเครื่องหมายที่เอวรางด้านตรงข้ามกับ Rolling Mark เครื่องหมายนี้เรียกว่า Hot Stamp หรือตราประทับขณะเหล็กร้อน จากนั้นรางยาวจะผ่านเข้าแท่นผึ่ง (Cooling Bed) เพื่อผึ่งรางให้เย็น โดยจะถูกตัดปลายด้วยใบเลื่อยเพื่อให้มีความยาวเหมาะสมที่จะวางรางบนแท่นผึ่งได้ ผู้ผลิตอาจจะเก็บตัวอย่างท่อนรางสั้นจากส่วนที่ตัดไว้วัดสมบัติและหน้าตัดในระหว่างการผลิตด้วย รางที่ผึ่งจะได้รับการตรวจวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องมืออัตโนมัติ ส่วนความยาวรางเมื่อเย็นลงถึงอุณหภูมิปกติก็จะได้รับการคำนวณด้วย



ที่มา: ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย

รูปที่ ๒.๗ ตราประทับเหล็กขณะร้อน (Hot Stamp)



ที่มา: ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย

รูปที่ ๒.๘ รางเหล็กขณะรีดร้อน



ที่มา: ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย

รูปที่ ๒.๙ รางเหล็กที่รีดเสร็จจนแทนผึงราง

๒.๓ การตรวจราง

รางที่เย็นแล้วจะผ่านไปเข้าเครื่องดัด (Roller Straightener) รางที่ดัดแล้วจะต้องผ่านการตรวจเบื้องต้น (Preliminary Inspection) ซึ่งเป็นการตรวจด้วยตาเปล่าเกี่ยวกับความเรียบร้อยของผิวราง ความคดโค้ง (Sweep) ความโก่งงอ (Camber) การบิดตัว (Twist) และความราบเรียบ (Flatness) ได้ฐานราง

รางจะผ่านต่อไปเข้ากระบวนการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (On-line Inspection, Non-destructive Test - NDT) ซึ่งรวมถึงการตรวจสอบมิติหน้าตัดของรางตามมาตรฐาน (Profile Check) การตรวจวัดความตรงของราง (Straightness) การตรวจสอบข้อบกพร่องบริเวณผิวส่วนบนของรางด้วยไฟฟ้า (Eddy Current) การตรวจสอบความชำรุดภายในด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง (Ultrasonic) โดยกำหนดให้รางทุกท่อนต้องผ่านการตรวจสอบ Ultrasonic



ที่มา: ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย

รูปที่ ๒.๑๐ ศูนย์ควบคุมการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive Testing Center)

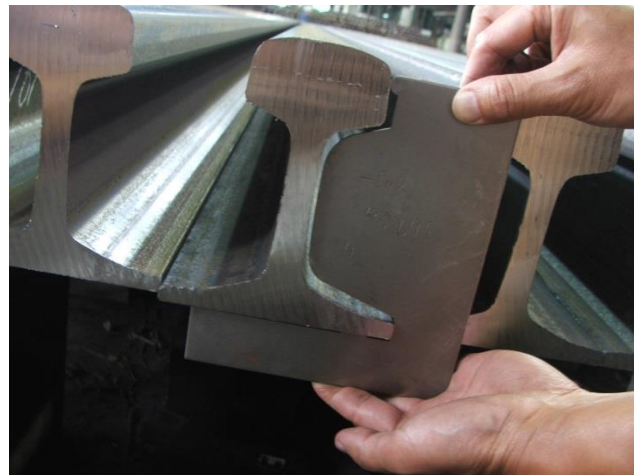
รางที่ผ่านกระบวนการตรวจสอบ NDT แล้วจะผ่านต่อไปยังเครื่องตัดเจาะ (Sawing and Drilling Machine) เพื่อตัดรางให้ได้ความยาวตามต้องการและเจาะรูที่เอวราง (ถ้าต้องการ) ณ ที่นี้รางจะได้รับการตรวจสอบความยาว ความได้ฉากที่ปลายราง (End Squareness) ขนาดและตำแหน่งของรูที่เอวราง ความตรงและการบิด (Twist) ที่ปลายราง ก่อนผ่านเข้าเครื่องดัด (Gag Press) เป็นครั้งสุดท้าย การลบเหลี่ยมมุม (Bevelling and Chamfering) จะกระทำกันตอนนี้

ต่อจากนั้นเป็นการตรวจขั้นสุดท้ายในสายการผลิต ซึ่งเป็นการตรวจทั้งด้วยตาเปล่าและการใช้เครื่องมือวัดสอบ (Inspection Gauge) สิ่งที่ตรวจได้แก่ ขนาด รูปร่าง การลบเหลี่ยมมุม ทวิสต์ การคดโค้งโก่งงอ รวมทั้งการตรวจรอยร้าว (Heat Cracks) ที่หน้าตัดรางโดยใช้ผงแม่เหล็ก (Magnaflux)

รางที่ผ่านการตรวจขั้นสุดท้ายจะถูกนำไปยังสถานที่กองเก็บชั่วคราว (Temporary Storage) ณ ที่นั้นจะมีการสุ่มตรวจในสิ่งต่อไปนี้

- ความตรง หมายถึง ความคดโค้งงอ บิดเบี้ยว หัวทั้งท่อนราง และโดยเฉพาะที่ปลายราง
- ขนาด หมายถึง ความยาว ขนาด ความสมมาตร ความได้ฉากของหน้าตัดราง ขนาดและตำแหน่งของรูที่เจาะที่เอวราง (ถ้ามี)
- รูปร่าง
- ความชำรุดภายนอกที่ปรากฏที่ผิวราง
- รอยร้าวที่หน้าตัดราง
- การทำเครื่องหมาย รวมถึง Rolling Mark, Hot Stamp และการทาสีเพื่อจำแนกรางตามความยาว

การตรวจรับรางที่เป็นการตรวจเพื่อรับของ (Acceptance Inspection) โดยผู้ซื้ออาจกระทำโดยการส่งวิศวกรตรวจ (Inspecting Engineer) ของผู้ซื้อเองไปทำการตรวจ ณ สถานที่ผลิตหรือโดยการว่าจ้างบริษัทที่รับจ้างตรวจไปทำการตรวจให้ก็ได้ โดยวิธีการตรวจเป็นไปตามแนวทางที่ได้กล่าวไว้ รางที่ผ่านการตรวจรับจะถูกจัดมัดเป็นมัดๆ ลำเลียงบรรทุกขึ้นรถไฟไปกองไว้ที่โกดังท่าเรือเพื่อเตรียมการบรรทุกลงเรือส่งให้ผู้ซื้อต่อไป



ที่มา: ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย

รูปที่ ๒.๑๑ การเดินตรวจรางด้วยตาเปล่าบนลานตรวจราง (Inspection Bed) และการตรวจมิติ

ของหน้าตัดรางด้วย Go / No Go Gauge*

*เครื่องมือแบบ GO/NO GO หมายถึง เครื่องมือที่จัดทำขึ้นเพื่อความสะดวกรวดเร็วในการตรวจสอบขนาดโดยจัดทำให้มีค่าความคลาดเคลื่อน + (สำหรับวัดขนาดดูว่าโตกว่ามาตรฐานหรือไม่) และ - (สำหรับวัดขนาดดูว่าเล็กกว่ามาตรฐานหรือไม่) อยู่ด้วยกันหรืออยู่ภายในเครื่องมืออันเดียวกัน

การตรวจสอบกระทำด้วยการนำเครื่องมือส่วนที่มีค่าความคลาดเคลื่อน + และ - สวมไปตรงส่วนที่ต้องการตรวจสอบขนาดตามลำดับขนาดจะผ่านการตรวจสอบต่อเมื่อเครื่องมือส่วนที่มีค่าความคลาดเคลื่อน + สามารถผ่านส่วนที่ตรวจสอบไปได้ (GO) ในขณะที่เครื่องมือส่วนที่มีค่าความคลาดเคลื่อน - ไม่สามารถผ่านส่วนที่ตรวจสอบนั้น (NO GO)

บทที่ ๓

การทดสอบคุณภาพของราง

๓.๑ การเตรียมการตรวจ

ในการตรวจสอบคุณภาพของรางที่ผลิตผู้ซื้อจะแต่งตั้งวิศวกรตรวจ (Inspecting Engineer) เพื่อทำการตรวจสอบรางตามรายการจำเพาะทางเทคนิค (Technical Specification) และสัญญาซื้อขายราง (Contract) สำคัญของการตรวจสอบ ได้แก่

๑. กระบวนการผลิตเหล็กกล้า (Steel Making Process)
๒. การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี (Chemical Analysis)
๓. การทดสอบเชิงกล (Mechanical Test) ประกอบด้วย
 - การทดสอบการรับน้ำหนักตกกระแทก (Falling Weight Test)
 - การทดสอบความต้านแรงดึง (Tensile Test)
 - การทดสอบความแข็งที่ผิวราง (Brinell Hardness Test)
 - การทดสอบด้วยตาเปล่า (Macroscopic Test)
๔. การทดสอบน้ำหนัก ซึ่งทำโดยการชั่งน้ำหนักรางเพื่อหาน้ำหนักเฉลี่ยของราง ซึ่งถือว่าเป็นน้ำหนักจริง (Actual Weight)

นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบมิติ (Dimensional Inspection) ของรางตามมาตรฐานและแบบรูป ประกอบด้วย การวัดมิติต่างๆ ดังต่อไปนี้

๑. ส่วนสูงของราง (Height of Rail)
๒. ความกว้างของฐานราง (Width of Flange)
๓. ความกว้างของหัวราง (Width of Head)
๔. ความหนาของเอวราง (Thickness of Web)
๕. ระยะระหว่างผิวสัมผัสเหล็กกับราง (Distance between Fishing Surfaces)
๖. ความลาดเอียงของผิวสัมผัสเหล็กกับราง (Inclination of Fishing Surfaces)
๗. การได้ฉากของส่วนสูง (Squareness of Height)
๘. การได้ฉากของฐานราง (Squareness of Flange)
๙. ความไม่สมมาตรของหน้าตัดราง (Asymmetry of Rail Section)
๑๐. ความตรงที่ปลายราง (Straightness at Rail End)
๑๑. ทวิสต์ที่ปลายฐานราง (Twist at Rail End)

ก่อนดำเนินการตรวจสอบ วิศวกรตรวจจะประชุมร่วมกับผู้ผลิตรางเพื่อรับทราบเกี่ยวกับแผนการผลิตและการทดสอบราง และเจรจาตกลงในรายละเอียดเกี่ยวกับการตรวจรับ โดยวิศวกรตรวจจะยึดถือข้อกำหนดในรายการจำเพาะทางเทคนิค มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง และเงื่อนไขของสัญญาเป็นหลักในการเจรจา

๓.๒ การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี

การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าจะกระทำก่อนรีดและหลังรีดเหล็ก เพื่อหาปริมาณของธาตุหลักอันประกอบด้วย คาร์บอน (C), แมงกานีส (Mn), ซิลิกอน (Si), ฟอสฟอรัส (P) และซัลเฟอร์หรือกำมะถัน (S)

การตรวจสอบก่อนรีดกระทำโดยการนำเหล็กเหลวจาก Ladle ไปแช่เย็นให้แข็งตัวแล้วตัดเป็นแผ่นตัวอย่างตัดผิวหน้าด้านบนให้เรียบ นำไปเข้าเครื่อง Vacuum – Emission Spectrophotometric Analyzer เมื่อเดินเครื่องจะเกิด Electric Arc และเครื่องจะตรวจวัดปริมาณของธาตุและโลหะอื่นๆ ที่ผสมอยู่ในเหล็ก แล้วแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์ทางจอภาพ (Monitor) ขณะเดียวกันก็มีการพิมพ์ผลออกมาทางเครื่องพิมพ์ (Printer) ด้วย

การตรวจสอบหลังรีดก็เป็นไปในทำนองเดียวกัน คงต่างกันที่แผ่นตัวอย่างซึ่งได้จากการตัดชิ้นส่วนจากรางที่ผลิตเสร็จ

ส่วนผสมทางเคมีสำหรับราง Grade ๙๐๐ A จะต้องอยู่ภายในพิสัยที่กำหนดตามมาตรฐาน UIC ๘๖๐-๐ (ตารางที่ ๒)



รูปที่ ๓.๑ การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยระบบอัตโนมัติ

ที่มา: ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย

๓.๓ การตรวจสอบปริมาณไฮโดรเจนตกค้าง

การตรวจสอบปริมาณไฮโดรเจนตกค้าง (Residual Hydrogen) กระทำทั้งก่อนรีดและหลังรีดเหล็ก การตรวจสอบก่อนรีดกระทำโดยใช้หลอดดูดเหล็กเหลวจาก Ladle นำไปแช่เย็นให้แข็งตัวแล้วตัดเป็นก้อนตัวอย่าง หนักประมาณ ๒ กรัม นำไปเข้าเครื่อง Hydrogen Determinator พร้อมกับใส่ Electrode เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านก้อนตัวอย่างจะเกิดความร้อนสูงจนกระทั่งก้อนตัวอย่างหลอมละลาย แก๊สไฮโดรเจนที่ตกค้างจะแยกตัวออกจากโลหะเหลวไปผ่านเครื่องตรวจนับปริมาณไฮโดรเจน (Hydrogen Counter) ปริมาณไฮโดรเจนที่ตกค้างจะปรากฏทางจอภาพ ขณะเดียวกันก็มีการพิมพ์ผลออกมาทางเครื่องพิมพ์ด้วย

การตรวจสอบหลังการรีดก็เป็นไปในทำนองเดียวกัน คงต่างกันที่ก้อนตัวอย่างซึ่งได้จากการตัดชิ้นส่วนจากราง ปริมาณไฮโดรเจนตกค้างหลังรีดจะต้องไม่เกิน ๑.๕ ppm



ที่มา: ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย

รูปที่ ๓.๒ การตรวจสอบปริมาณไฮโดรเจนตกค้างก่อนและหลังการผลิตราง

๓.๔ การทดสอบเชิงกล

๓.๔.๑ การทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักตกกระแทก

การทดสอบด้วยน้ำหนักตกกระแทก (Falling Weight Test) กระทำโดยนำท่อนรางตัวอย่างความยาวไม่น้อยกว่า ๑.๓ เมตร วางตั้งบนที่รองรับ (Bearers) ๒ จุด แต่ละจุดห่างกัน ๑ เมตร แล้วปล่อยแท่งน้ำหนัก ๑,๐๐๐ กก. จากระดับความสูงประมาณ ๗.๖ ม. ตกลงไปกระแทกตรงกลางท่อนราง ท่อนรางตัวอย่างจะต้องทนทานแรงตกกระแทกดังกล่าวได้โดยไม่แตกหักหรือมีรอยร้าวเกิดขึ้น โดยเฉพาะบริเวณด้านล่างของฐานราง วัดค่าแอ่นตัว (Deflection) ของรางไว้ ค่าแอ่นตัวควรอยู่ระหว่าง ๔๐ – ๕๐ มิลลิเมตร สำหรับราง Grade ๙๐๐ A



ที่มา: ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย

รูปที่ ๓.๓ ชิ้นรางที่ผ่านการรับน้ำหนักตกกระแทกและวัดค่าแอนตัว

๓.๔.๒ การทดสอบความต้านทานแรงดึง

การทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile Test) กระทำโดยนำแท่งตัวอย่างกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ๑๐ มิลลิเมตร ความยาว (Gauge Length) ๕๐ มิลลิเมตร ที่ตัดมาจากรางไปเข้าเครื่องดึงดึงจนกระทั่งขาดออกจากกัน บันทึกค่าแรงดึงสูงสุดและความยาวของแท่งตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงไว้เพื่อนำไปคำนวณหาความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) และการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at Break) ซึ่งค่าที่คำนวณได้สำหรับราง Grade ๙๐๐ A จะต้องไม่น้อยกว่า ๙๐ กิโลกรัม ต่อ ตารางมิลลิเมตร และ ๑๐% ตามลำดับ

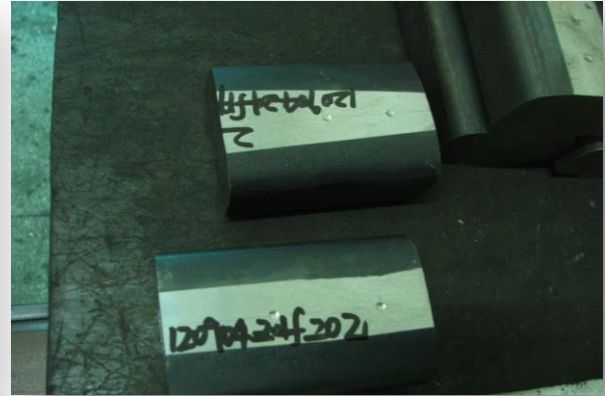


ที่มา: ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย

รูปที่ ๓.๔ การทดสอบความต้านทานแรงดึง

๓.๔.๓ การทดสอบความแข็งที่ผิวราง

การทดสอบความแข็งแบบไบรเนลล์ที่ผิวราง (Brinell Hardness Test) กระทำโดยนำแผ่นตัวอย่างหน้าตัดรางสำหรับการทดสอบไปขัดผิวด้านบนให้เรียบและสะอาดแล้วนำไปรับการกดด้วยเครื่องกดที่มีหัวกดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ๑๐ มิลลิเมตร น้ำหนักกด ๓,๐๐๐ กิโลกรัม โดยค้างน้ำหนักไว้นาน ๑๕ นาที แล้วหาค่า Brinell Hardness Number (BHN) โดยการเปรียบเทียบขนาดของหลุมบนแผ่นตัวอย่างกับขนาดของหลุมบนแผ่นมาตรฐานที่ทราบค่า BHN แล้ว ค่า BHN ที่ได้ควรอยู่ระหว่าง ๒๗๐ - ๒๙๐ สำหรับราง Grade ๙๐๐ A



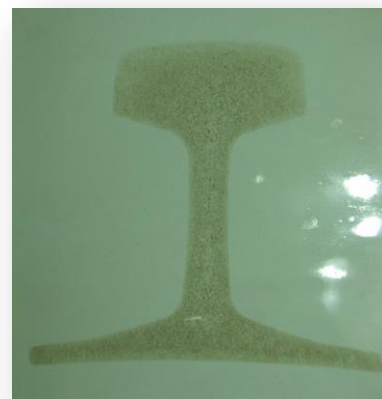
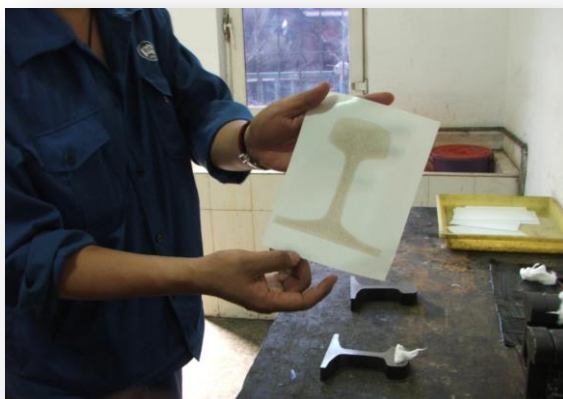
ที่มา: ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย

รูปที่ ๓.๕ การทดสอบความแข็งแรงแบบไพรเนลที่ผิวราง

๓.๔.๔ การทดสอบด้วยตาเปล่า

การทดสอบด้วยตาเปล่า (Macroscopic Test) กระทำโดยนำแผ่นตัวอย่างหน้าตัดตรงสำหรับการทดสอบไปขัดผิวด้านบนให้เรียบและสะอาด ตรวจสอบรอยแยก (Shrinkage Cavity) ด้วยตาเปล่า แผ่นหน้าตัดตรงจะต้องปราศจากรอยแยกจึงจะใช้เป็นตัวอย่างในการทดสอบได้ นำกระดาษถ่ายรูป (Photographic Paper) ขนาดโตกว่าขนาดหน้าตัดตรงเล็กน้อยที่แช่ไว้ในกรดกำมะถันเจือจาง (๕% Sulphuric Acid Solution) มาเช็ดน้ำกรดออก ทากระดาษลงไปบนผิวหน้าตัดตรงที่เตรียมไว้ แล้วชุบรีดไปมาให้ทั่วหน้าตัดตรงเป็นเวลาประมาณ ๓ นาที จึงดึงกระดาษออกจากหน้าตัดตรงนำไปแช่ในน้ำยา ๑๕ – ๔๐% Aqueous Solution ประมาณ ๑๐ นาที แล้วจึงนำกระดาษไปล้างน้ำก่อนนำเข้าเครื่องอบกระดาษให้แห้ง เมื่อกระดาษแห้งก็จะปรากฏรูปหน้าตัดตรง (Baumann Sulfur Print) ขึ้น

วัตถุประสงค์ของ Macroscopic Test ก็เพื่อตรวจสอบคุณภาพของเหล็กด้วยการดูเนื้อเหล็ก ถ้าการกระจายของ Sulfide บนเนื้อเหล็กตามที่ปรากฏในรูปเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ กล่าวคือ ความเข้มของสี (ขาว – ดำ) ในรูปกลมกลืนกัน ย่อมแสดงถึงเหล็กที่มีคุณภาพ ส่วนคุณภาพจะดีมากน้อยเพียงใดสามารถจำแนกได้โดยการนำรูปที่ได้ไปเปรียบเทียบกับรูปมาตรฐาน



ที่มา: ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย

รูปที่ ๓.๖ Baumann Sulfur Print

๓.๕ การตรวจสอบมิติและลักษณะทั่วไป

การตรวจสอบมิติและลักษณะทั่วไป ประกอบด้วยการตรวจสอบขนาด (Dimension) รูปร่าง (Shape) และสภาพผิว (Surface Condition) ดังนี้

๑. ตรวจสอบความยาวของราง

ตรวจโดยการวัดด้วยเทปเหล็ก การวัดควรวัดที่เอวราง ความยาวรางที่วัดได้ต้องอยู่ในพิกัด ± 6 มิลลิเมตร สำหรับรางความยาวมาตรฐาน ๒๔ เมตร หรือต่ำกว่า และ ± 10 มิลลิเมตร สำหรับรางความยาวมาตรฐาน ๒๕ – ๓๖ เมตร

๒. ตรวจสอบความชำรุดที่ผิวราง (Surface Defects)

ตรวจด้วยตาเปล่าโดยเดินตรวจตลอดความยาวราง และสังเกตทั้งที่สันราง ฐานราง และเอวรางทั้งสองด้าน การตรวจให้ตรวจที่สันรางก่อนแล้วพลิกราง เพื่อตรวจฐานราง และเอวรางด้านหนึ่งไปพร้อมกัน หลังจากนั้นจึงพลิกรางเพื่อตรวจเอวรางอีกด้านหนึ่ง ผิวรางต้องเรียบร้อย ไม่มีแผลหรือรอยชำรุดใดๆ ปรากฏให้เห็น

๓. ตรวจสอบความตรงของรางทั้งท่อน

ตรวจโดยเล็งดูด้วยตา แนวรางต้องตรงตลอดท่อน ไม่มีส่วนใดคดโค้ง

๔. ตรวจสอบความตรงที่ปลายราง

ตรวจโดยใช้บรรทัดเหล็ก (Straight – Edge) ยาว ๑.๕ เมตร ทาบที่ด้านข้างของหัวรางทั้งสองด้านเพื่อวัดความตรงในแนวนอน และทาบไปบนสันรางเพื่อวัดความตรงในแนวตั้ง ถ้ารางตรงได้ที่ย่อมไม่ปรากฏช่องว่างระหว่างรางกับบรรทัดเหล็กตลอดความยาวของบรรทัดเหล็ก หากปรากฏช่องว่าง ณ ส่วนใด ให้ใช้ Feeler Gauge หรือ Taper Gauge วัดขนาดของช่องว่าง ค่าที่วัดได้ต้องไม่เกิน ๐.๗ มิลลิเมตร

๕. ตรวจสอบทวิสต์ที่ปลายฐานราง

ตรวจโดยใช้เครื่องมือ ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นอะลูมิเนียม (หนา ๑๒ มิลลิเมตร กว้าง ๑๗๓ มิลลิเมตร ยาว ๑.๐๗ เมตร) เจาะรูตรงกลาง และมีขาเป็นปุ่มแหลม ๔ ขา ตั้งอยู่บริเวณปลายแผ่น ปลายละคู่ห่างกัน ๑ เมตร หนึ่งในสี่ขานั้นสามารถขยับขึ้นลงได้ และเชื่อมต่อกับ Dial Gauge ส่วนอีก ๓ ขาติดตาย การวัดกระทำโดยวางฐานรางขึ้น วางเครื่องมือลงบนฐานราง ขยับขาที่ติด Dial Gauge ให้แตะฐานราง แล้วอ่านค่าจาก Dial Gauge ค่าที่อ่านได้ต้องไม่เกิน ๐.๔ มิลลิเมตร

ปัจจุบันมีเครื่องมือวัดแบบดิจิทัลที่สามารถอ่านค่าทวิสต์จากการวัดได้ทันที

๖. ตรวจสอบความสูงของราง

ตรวจโดยใช้เครื่องมือแบบ GO/NO GO ซึ่งจัดทำภายใต้ค่าความคลาดเคลื่อน ± 0.5 มิลลิเมตร

๗. ตรวจสอบความกว้างของฐานราง

ตรวจโดยใช้เครื่องมือแบบ GO/NO GO ซึ่งจัดทำภายใต้ค่าความคลาดเคลื่อน ± 1.0 มิลลิเมตร

๘. ตรวจสอบความกว้างของหัวราง

ตรวจโดยใช้เครื่องมือแบบ GO/NO GO ซึ่งจัดทำภายใต้ค่าความคลาดเคลื่อน ± 0.5 มิลลิเมตร

๙. ตรวจสอบความหนาของเอวราง

ตรวจโดยใช้เครื่องมือแบบ GO/NO GO ซึ่งจัดทำภายใต้ค่าความคลาดเคลื่อน $+0.0$ กับ -0.5 มิลลิเมตร

๑๐. ตรวจสอบระยะระหว่างผิวสัมผัสหลักประกัราง

ตรวจระยะระหว่างผิวสัมผัสหลักประกัรางทั้งด้านซ้ายและด้านขวาของเอวรางโดยใช้ Gauge A และ Gauge B ซึ่งจัดทำภายใต้ค่าความคลาดเคลื่อน ± 0.5 มิลลิเมตร การตรวจสอบกระทำโดยสอดเครื่องมือเข้าที่เอวรางโดยให้เครื่องมือตั้งฉากกับแนวราง

๑๑. ตรวจสอบความลาดเอียงของผิวสัมผัสหลักประกัราง

ตรวจสอบความลาดเอียงของผิวสัมผัสหลักประกัรางทั้งด้านซ้ายและด้านขวาของเอวรางโดยใช้เครื่องมืออันเดียวกับ Gauge A ดังกล่าวข้างต้น การตรวจสอบกระทำโดยสอดเครื่องมือเข้าที่เอวราง โดยให้เครื่องมือตั้งฉากกับแนวราง แล้วใช้ Feeler Gauge หรือ Taper Gauge วัดขนาดของช่องว่าง (ถ้ามี) บริเวณผิวสัมผัสหลักประกัรางทั้งที่คางรางและฐานราง ค่าที่วัดได้ต้องไม่เกิน ๐.๕ มิลลิเมตร

๑๒. ตรวจสอบการได้ฉากของส่วนสูงของราง

ตรวจโดยใช้เหล็กฉาก ด้วยการวางขาข้างหนึ่งของเหล็กฉากบนหน้าตัดราง ส่วนขาอีกข้างหนึ่งทาไปบนสันรางหรือด้านล่างของฐานรางโดยขนานกับแนวราง ถ้าส่วนสูงของรางไม่ได้ฉากยอมเกิดช่องว่างระหว่างเหล็กฉากกับหน้าตัดราง วัดขนาดช่องว่างดังกล่าวด้วย Feeler Gauge หรือ Taper Gauge ค่าที่วัดได้ต้องไม่เกิน ๐.๖ มิลลิเมตร

๑๓. ตรวจสอบการได้ฉากของฐานราง

ตรวจโดยใช้เหล็กฉาก ด้วยการวางขาข้างหนึ่งของเหล็กฉากทาไปบนหน้าตัดของฐานราง ส่วนขาอีกข้างหนึ่งทาไปตามแนวด้านข้างของฐานราง ถ้าฐานรางไม่ได้ฉากยอมเกิดช่องว่างระหว่างเหล็กฉากกับหน้าตัดของฐานราง วัดขนาดช่องว่างดังกล่าวด้วย Feeler Gauge หรือ Taper Gauge ค่าที่วัดได้ต้องไม่เกิน ๐.๖ มิลลิเมตร

๑๔. ตรวจสอบความไม่สมมาตรของหน้าตัดราง

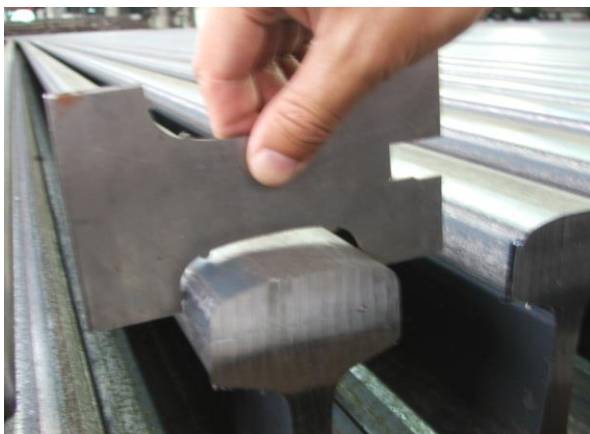
ตรวจความไม่สมมาตรของหน้าตัดรางทั้งด้านซ้ายและด้านขวาของเอวราง โดยใช้เครื่องมือทั้ง Plus Gauge และ Minus Gauge ซึ่งจัดทำภายใต้ค่าความคลาดเคลื่อน ± 0.2 มิลลิเมตร

กรณีตรวจสอบด้วย Plus Gauge เมื่อจะยอยส่วนบนของเครื่องมือแต่ละด้านข้างของหัวรางต้องปรากฏช่องว่างในแนวนอนที่ฐานรางระหว่างเครื่องมือกับด้านข้างของฐานรางหรืออย่างน้อยเครื่องมือต้องสัมผัสราง ๒ จุด คือ ทั้งที่หัวรางและฐานราง

กรณีตรวจสอบด้วย Minus Gauge เมื่อเครื่องมือแตะด้านข้างของฐานรางต้องปรากฏช่องว่างในแนวนอนที่หัวรางระหว่างจะอยส่วนบนของเครื่องมือกับด้านข้างของหัวรางหรือน้อยเครื่องมือต้องสัมผัสราง ๒ จุด คือทั้งที่ฐานรางและหัวราง



รูปที่ ๓.๗ ตรวจสอบความสูงของรางและความกว้างที่ฐานราง



รูปที่ ๓.๘ ตรวจสอบความกว้างของหัวรางและความหนาของเอวราง

ที่มา: ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย



รูปที่ ๓.๙ ตรวจสอบระยะระหว่างผิวสัมผัสเหล็กประกบรางและความไม่สมมาตรของหน้าตัดราง

๓.๖ การตรวจสอบน้ำหนัก

การชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักที่แท้จริงของราง กระทำโดยสุ่มตัวอย่างรางที่ผ่านการตรวจสอบและการทดสอบตามที่กำหนดแล้ว วัดความยาวรางแต่ละท่อนก่อนนำไปชั่งน้ำหนัก โดยแยกเป็นแต่ละ Charge Number ไม่ปะปนกัน รวมความยาวและน้ำหนักของรางทั้งหมด แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นกิโลกรัมต่อเมตร ซึ่งจะถือเป็นน้ำหนักแท้จริงของราง (Actual Weight) น้ำหนักแท้จริงของรางนี้ยอมให้แตกต่างจากน้ำหนักมาตรฐาน (Calculated Weight) ได้ภายในพิกัด -๐.๕ กับ +๒.๐% เช่น ราง BS ๑๐๐ A มีน้ำหนักมาตรฐาน (Theoretical Weight) เท่ากับ ๕๐.๑๘๒ กิโลกรัม ต่อเมตร น้ำหนักแท้จริงควรมีค่าตั้งแต่ ๔๙.๙๓๑๑ ถึง ๕๑.๑๘๕๖ กิโลกรัม ต่อเมตร



ที่มา: ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย

รูปที่ ๓.๑๐ การหาน้ำหนักแท้จริงของรางโดยการชั่งน้ำหนักขึ้นราง

๓.๗ การตรวจสอบซ้ำ

ถ้าการทดสอบหรือการตรวจสอบใดๆ ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดในครั้งแรก ให้ทดสอบหรือตรวจสอบซ้ำ (Check Test) โดยเพิ่มจำนวนตัวอย่างสำหรับการทดสอบหรือตรวจสอบเป็น ๒ เท่า (Double Basis) ของจำนวนตัวอย่างที่ไม่ผ่านการทดสอบหรือตรวจสอบ และในการทดสอบหรือตรวจสอบซ้ำนี้ทุกตัวอย่างจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดทุกประการ จึงจะถือว่าผ่านการทดสอบหรือการตรวจสอบ

๓.๘ การบันทึกหลักฐานการทดสอบและการตรวจสอบ

ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี การตรวจสอบปริมาณไฮโดรเจนตกค้าง การทดสอบเชิงกล ตลอดจนการตรวจสอบขนาดรูปร่างและสภาพผิว รวมถึงผลการชั่งน้ำหนัก ข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนท่อนรางที่ตรวจทั้งหมด จำนวนท่อนรางที่คัดออก จำนวนท่อนรางที่ตรวจแล้วรับ จำนวนรางที่สั่งซื้อ (ระบุเป็นท่อนพร้อมน้ำหนัก) จำนวนรางที่ตรวจรับไว้แล้ว (ระบุเป็นท่อนพร้อมน้ำหนัก) และจำนวนรางที่ยังค้างการตรวจรับ (ระบุเป็นท่อนพร้อมน้ำหนัก) จะถูกบันทึกไว้เป็นหลักฐาน

๓.๙ การออกหนังสือรับรองการตรวจ

เมื่อวิศวกรได้ดำเนินการตามขั้นตอนการตรวจและได้บันทึกผลการทดสอบและตรวจสอบแล้ว ถ้าผลการทดสอบและตรวจสอบเป็นไปตามที่กำหนด ก็จะออกหนังสือรับรองการตรวจราง (Inspection Certificate) แก่ผู้ผลิตไว้เป็นหลักฐาน

๓.๑๐ การรายงานการตรวจรับราง

เมื่อวิศวกรตรวจได้ออกหนังสือรับรองการตรวจรางแก่ผู้ผลิตแล้ว จะรายงานเป็นหนังสือถึงการรถไฟผู้ซื้อโดยมีหนังสือรับรองการตรวจรางและมีสำเนาหนังสือรับรองที่ออกให้แก่ผู้ผลิตรางแนบไปกับรายงานด้วย โดยสาระสำคัญของรายงานจะประกอบด้วยบทสรุปเกี่ยวกับการผลิตราง การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ การตรวจวัดมิติต่างๆ การตรวจสอบน้ำหนัก การเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักจริงกับน้ำหนักมาตรฐาน และการขนส่งรางจากแหล่งผลิตมายังประเทศไทย

.....

บรรณานุกรม

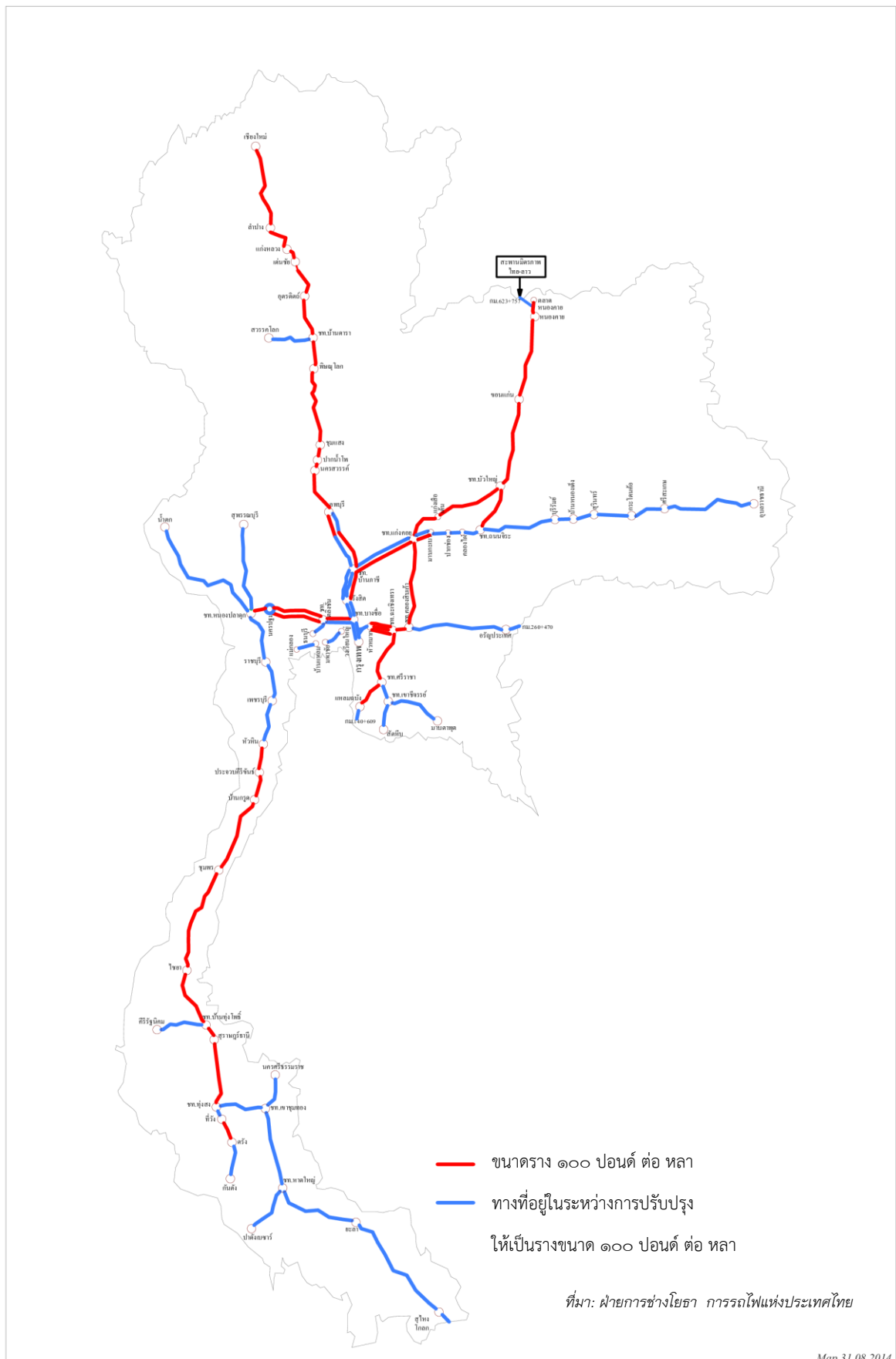
ศูนย์วิชาการ ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย (๒๕๓๗), ข้อมูลบางประการเกี่ยวกับรางและการผลิต

ศูนย์วิชาการ ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย (๒๕๓๗), ข้อเสนอแนะบางประการเกี่ยวกับการตรวจรับราง

เจน บุญชื้อ (๒๕๕๔), ความรู้เบื้องต้นวิศวกรรมรถไฟ ห้างหุ้นส่วนจำกัด แผงไทย

International Union of Railways, Technical Specification for the Supply of Rails UIC Code ๘๖๐-๐ ๘th Edition, ๑-๗-๑๙๘๖

ภาคผนวก



บันทึก

ผู้ดำเนินการโครงการวิจัย

รศ. คมสัน จิระภัทรศิลป์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	หัวหน้าแผนงานวิจัย
ผศ. ดร. มงคล กงศ์หิรัญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	หัวหน้าโครงการวิจัย
ผศ. ดร. กิติเดช สันติชัยอนันต์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	นักวิจัย
ดร. อรรถพล เก่าประเสริฐ	การรถไฟแห่งประเทศไทย	ผู้ช่วยนักวิจัย
พศิน ยามิ	การรถไฟแห่งประเทศไทย	ผู้ช่วยนักวิจัย
พิชญ พงษ์ไทย	การรถไฟแห่งประเทศไทย	ผู้ช่วยนักวิจัย
ว่าที่ ร.ต. คงศักดิ์ ปัญญาคง	การรถไฟแห่งประเทศไทย	ผู้ช่วยนักวิจัย

ที่ปรึกษา

สุชีพ สุขสว่าง	รองวิศวกรใหญ่ ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย
ดร. กฤษ อนุรักษ์กมลกุล	รักษาการรองผู้อำนวยการใหญ่ (ด้านปฏิบัติการและซ่อมบำรุง) บริษัท รถไฟฟ้า ร.ฟ.ท. จำกัด

รวบรวม เรียบเรียง และจัดรูปเล่ม

พศิน ยามิ	กองแผนงานบำรุงทาง ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย
พิชญ พงษ์ไทย	กองทางถาวร ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย
ดร. อรรถพล เก่าประเสริฐ	กองทางถาวร ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย

ขอขอบคุณภาพประกอบเนื้อหาจาก

คณะวิศวกรควบคุมการผลิตรางและประแจ ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย
คุณเจน บุญเชื้อ อดีต วิศวกรใหญ่ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย
Anshan Sci & Tech Profile Steel Company, Baotou Iron & Steel (Group) Company และ Handan Iron & Steel (Group) Company



NSTDA



โครงการวิจัย การรวบรวมองค์ความรู้ด้านขนส่งระบบราง: กรณีศึกษาด้านโครงสร้างพื้นฐาน
The Knowledge Accumulation of Rail Transportation: Case Study of Infrastructure

โดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ร่วมกับ การรถไฟแห่งประเทศไทย

ด้วยงบประมาณสนับสนุนจาก

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ