

## สทร. CT-6002:2568

## มาตรฐานการทดสอบโดยไม่ทำลายบนรอยเชื่อมรางรถไฟ - การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ

## (STANDARD FOR NON-DESTRUCTIVE TESTING OF RAIL WELDS

## - VISUAL TESTING)

## 1. ทัวไป

การทดสอบรอยเชื่อมรางรถไฟโดยวิธีการตรวจพินิจ (visual testing: VT) เป็นวิธีการทดสอบโดยไม่ทำลาย (non-destructive testing: NDT) ที่อาศัยหลักการตรวจสอบด้วยสายตาโดยตรง หรือใช้เครื่องมือช่วยในการมองเห็น เช่น แว่นขยาย หรือเครื่องมือวัดด้านมิติ เพื่อประเมินลักษณะภายนอกของรอยเชื่อมและบริเวณกระแทกร้อน โดยการทดสอบหารอยความไม่ต่อเนื่องที่ปรากฏบนพื้นผิว เช่น รอยร้าว การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ หรือรูพรุน รวมถึงการประเมินความสม่ำเสมอและคุณภาพของรอยเชื่อม นอกจากนี้ การทดสอบยังครอบคลุมถึงการตรวจสอบความตรงของแนวราง (rail alignment) โดยเฉพาะบริเวณรอยต่อที่ผ่านกระบวนการเชื่อม ซึ่งอาจเกิดความคลาดเคลื่อนในทั้งแนวตั้งและแนวนอนที่ส่งผลกระทบต่อความเรียบของราง ความสั่นสะเทือน และอัตราการสึกหรอของล้อและรางระหว่างการใช้งาน ด้วยเหตุนี้ การทดสอบโดยไม่ทำลายบนรอยเชื่อมรางรถไฟ โดยวิธีการตรวจพินิจ จึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการประเมินคุณภาพของรอยเชื่อม ทั้งในด้านความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมและความตรงของแนวราง เพื่อให้มั่นใจในความปลอดภัยของการเดินรถไฟ

## 1.1 วัตถุประสงค์

1.1.1 เพื่อกำหนดวิธีการทดสอบรอยเชื่อมรางรถไฟโดยวิธีการตรวจพินิจ ซึ่งครอบคลุมการทดสอบหารอยความไม่ต่อเนื่องบนผิวรอยเชื่อมและบริเวณกระแทกร้อน รวมถึงการทดสอบความตรงของแนวรางบริเวณรอยเชื่อม

1.1.2 เพื่อกำหนดเกณฑ์การยอมรับของรอยความไม่ต่อเนื่องบนผิวรอยเชื่อม และค่าพิสัยความเผื่อความตรงของแนวรางที่ทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ

## 1.2 ขอบข่าย

1.2.1 มาตรฐานฉบับนี้ครอบคลุมการทดสอบโดยไม่ทำลายบนรอยเชื่อมรางรถไฟ โดยวิธีการตรวจพินิจบริเวณรอยเชื่อมตอรางที่เชื่อมโดยกระบวนการเชื่อมวาบ (flash butt welding) กระบวนการเชื่อมอะลูมิเนียมเทอร์มิก (aluminothermic welding) และรอยเชื่อมซ่อมหัวรางที่เชื่อมโดยกระบวนการเชื่อมอาร์ก (arc welding) หรือรอยเชื่อมซ่อมหัวรางที่เชื่อมโดยกระบวนการเชื่อมอะลูมิเนียมเทอร์มิก (aluminothermic welding)

- 1.2.2 มาตรฐานฉบับนี้ใช้สำหรับการทดสอบโดยไม่ทำลาย โดยวิธีการตรวจพินิจ บนรอยเชื่อมรางรถไฟที่ผลิตจากวัสดุรางเกรด R200 R220 R260 R260Mn R320Cr R350HT และ R350LHT โดยมีน้ำหนักต่อความยาวไม่น้อยกว่า 46 kg/m ตามที่ระบุไว้ในมาตรฐาน EN 13674-1:2011 หรือรางรถไฟตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า ตามที่อ้างอิงในมาตรฐาน มขร. – C – 005 – 2566
- 1.2.3 มาตรฐานฉบับนี้ใช้สำหรับการทดสอบเพื่อควบคุมคุณภาพรอยเชื่อมในงานก่อสร้างและซ่อมบำรุงรางรถไฟประเภทต่าง ๆ ตามมาตรฐาน มขร. – C – 001 – 2564 ซึ่งครอบคลุมทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางในเมือง ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางชานเมือง ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางระหว่างเมือง และทางรถไฟสำหรับปฏิบัติการในย่าน
- 1.2.4 มาตรฐานฉบับนี้กำหนดเกณฑ์การยอมรับหรือไม่ยอมรับรอยความไม่ต่อเนื่องของรอยเชื่อมรางไฟ และเกณฑ์การยอมรับค่าพิกัดความเผื่อความตรงของแนวราง เพื่อใช้เป็นบรรทัดฐานในการประเมินผล นอกเหนือจากเกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐานฉบับนี้ต้องได้รับการอนุมัติจากองค์กร
- 1.2.5 การทดสอบรอยเชื่อมรางโดยวิธีการตรวจพินิจ สามารถดำเนินการได้ทันทีหลังจากการรอยเชื่อมเย็นตัวลงใกล้อุณหภูมิห้อง ในกรณีที่ต้องการทดสอบหารอยร้าวขณะเย็น (cold crack) ต้องทดสอบหลังจากการเชื่อมแล้วเสร็จไม่น้อยกว่า 48 ชั่วโมง
- 1.2.6 มาตรฐานฉบับนี้ใช้หน่วยวัดในระบบสากล SI Units (International System Of Units) เป็นหลัก

## 2. มาตรฐานอ้างอิง

- 2.1 มขร. – C – 001 มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ (track classification)
- 2.2 มขร. – C – 003 มาตรฐานการตรวจสอบความเสียหายของรางรถไฟ (rail inspection)
- 2.3 มขร. – C – 005 มาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ (track components)
- 2.4 IAB-360r1–25 IIW Guideline for Implementation of IIW Scheme for Certification of Welding Inspection Personnel
- 2.5 ASNT SNT–TC–1A Personnel qualification and Certification in Nondestructive testing
- 2.6 ISO 9712 Non-destructive testing – Qualification and certification of NDT personal
- 2.7 AWS QC1 Specification for AWS Certification of Welding Inspectors (CWI)
- 2.8 EN 13674–1 Railway applications – Track – Rail – Part 1: Vignole railway rails 46 kg/m and above

## 2.9 CSWIP-WI-6-92 Requirements for the Certification of Visual Welding Inspectors

Welding Inspectors and Senior Welding Inspectors (fusion welding) in accordance with the requirements of BS EN ISO 17637

มาตรฐานอ้างอิงในมาตรฐานฉบับนี้ให้ใช้ฉบับล่าสุด แต่ทั้งนี้ต้องไม่ขัดแย้งกับมาตรฐานฉบับนี้

### 3. นิยาม

“การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ” (visual testing: VT) หมายถึง วิธีการทดสอบโดยไม่ทำลายเพื่อหารอยบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นด้วยสายตาหรือใช้เครื่องมือช่วยขยาย

“การเชื่อมวาบ” (flash butt welding) หมายถึง การเชื่อมชนความต้านทานซึ่งชิ้นงานเคลื่อนเข้าหากันอย่างช้า ๆ โดยมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเฉพาะจุดสัมผัสทำให้โลหะเอี่ยม และเมื่ออุณหภูมิเชื่อมสูงถึงจุดที่กำหนดแล้วจะมีแรงดันชิ้นงานเข้าหากัน

“การเชื่อมอะลูมิเนียมเทอร์มิก” (aluminothermic welding) หมายถึง การเชื่อมหลอม (fusion welding) ซึ่งความร้อนในการเชื่อมได้จากการเกิดปฏิกิริยาของสารผสมเทอร์มิต ทำให้โลหะเกิดการหลอมเหลวกลายเป็นโลหะเชื่อมชิ้นงานที่ถูกทำให้ร้อนไว้ก่อนแล้ว

“เกณฑ์การยอมรับ” (acceptance criteria) หมายถึง เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินการยอมรับของรอยความไม่ต่อเนื่องของรอยเชื่อมซึ่งเป็นไปตามที่มาตรฐานนี้กำหนด

“ข้อกำหนดวิธีการปฏิบัติงาน” (work instruction: WI) หมายถึง เอกสารที่กำหนดขั้นตอน วิธีการ และข้อกำหนดต่าง ๆ ที่ผู้ปฏิบัติงานต้องปฏิบัติตาม เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องตามมาตรฐาน

“ข้อกำหนดวิธีการเชื่อม” (welding procedure specification: WPS) หมายถึง เอกสารที่กำหนดรายละเอียด ขั้นตอนปฏิบัติ และตัวแปรกำหนดในการเชื่อม ใช้เพื่อควบคุมการเชื่อมเพื่อให้ได้งานที่ตรงตามมาตรฐานหรือข้อกำหนด

“ฐานราง (rail foot) หมายถึง ส่วนล่างของรางที่รองรับและถ่ายน้ำหนักลงบนหมอนรองราง

“บริเวณกระทบร้อน” (heat-affected zone: HAZ) หมายถึง บริเวณโลหะชิ้นงานที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนจากการเชื่อม การเชื่อมประสาน การบัดกรี หรือการตัดด้วยความร้อน ส่งผลให้คุณสมบัติเชิงกลหรือโครงสร้างจุลภาคเปลี่ยนแปลง

“ใบรายงานการทดสอบ” (testing report) หมายถึง ใบแสดงรายละเอียดของการทดสอบพร้อมด้วยผลการทดสอบ

“ใบสัณนิเทศการทำงาน” (written procedure) หมายถึง เอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อกำหนดวิธีการทดสอบที่ใช้กับรางรถไฟหรือรอยเชื่อมรางรถไฟโดยเฉพาะ โดยต้องระบุขั้นตอน วิธีการ เงื่อนไข และรายละเอียดที่เกี่ยวข้องอย่างครบถ้วนตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ในมาตรฐานฉบับนี้

“ผู้ทดสอบ” (examiner หรือ inspector) หมายถึง ผู้ทดสอบรอยเชื่อมรางรถไฟโดยวิธีการตรวจพินิจ

“ราง” (rail) หมายถึง รางเหล็กที่รับน้ำหนักและถ่ายทอดภาระจากล้อรถไฟไปยังหมอนรองรางรถไฟ และเป็นตัวประกอบการวิ่งของรถไฟ

“รอยความไม่ต่อเนื่อง” (discontinuity) หมายถึง รอยแยกในเนื้อวัสดุ

“รอยเชื่อม” (weld) หมายถึง รอยที่เกิดจากการเชื่อมโลหะ

“รอยบกพร่อง” (defect) หมายถึง รอยความไม่ต่อเนื่องรอยหนึ่งหรือกลุ่มหนึ่งที่เกินเกณฑ์การยอมรับที่กำหนด

“รอยร้าวขณะเย็น” (cold crack) หมายถึง รอยร้าวที่เกิดหลังการเชื่อม ขณะโลหะเย็นลงใกล้อุณหภูมิห้อง โดยมีสาเหตุจากไฮโดรเจนตกค้าง ความเค้นตกค้าง และโครงสร้างเปราะ

“หน่วยงานทดสอบ” (agency) หมายถึง หน่วยงานซึ่งคู่สัญญาเป็นผู้แต่งตั้งให้ทำหน้าที่ทดสอบรอยเชื่อมรางรถไฟโดยวิธีการตรวจพินิจ

“หัวราง” (rail head) หมายถึง ส่วนของรางด้านบนที่รองรับล้อรถไฟ

“เอวราง” (rail web) หมายถึง ส่วนของรางที่อยู่ระหว่างหัวรางและฐานราง

“องค์กร” (railway authority) หมายถึง หน่วยงานที่กำกับดูแลด้านการขนส่งทางราง หรือเจ้าของโครงการ หรือผู้ว่าจ้าง ซึ่งเป็นเจ้าของโครงสร้างพื้นฐาน

#### 4. เงื่อนไขการทดสอบ

4.1 ก่อนการทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ หน่วยงานทดสอบต้องได้รับการอนุมัติใบสั่งเทคนิคการทำงาน (written procedure) จากองค์กร ซึ่งต้องจัดทำและลงนามรับรองโดยบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย โดยวิธีการตรวจพินิจ ระดับ 3 ตามมาตรฐานที่ระบุไว้ในหัวข้อที่ 5 โดยใบสั่งเทคนิคการทำงานต้องระบุหัวข้อหลักอย่างน้อย ดังต่อไปนี้

4.1.1 ชื่อใบสั่งเทคนิคการทำงาน เลขที่เอกสาร วันที่จัดทำ ชื่อผู้จัดทำ ชื่อผู้อนุมัติ และชื่อองค์กร

4.1.2 วัตถุประสงค์ ขอบเขต และเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง

4.1.3 เงื่อนไขการทดสอบ

4.1.4 คุณสมบัติของผู้ทดสอบ

4.1.5 รายการเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

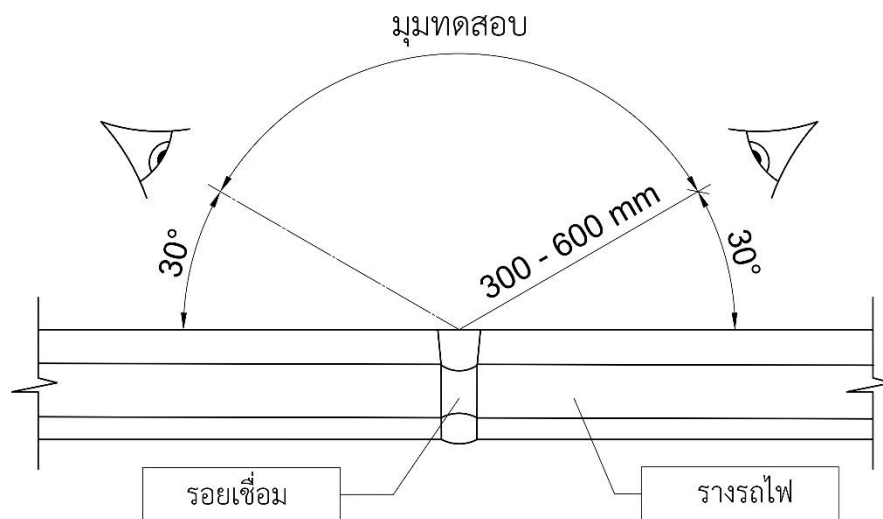
4.1.6 ขั้นตอนการทดสอบ

4.1.7 เกณฑ์การยอมรับ

4.1.8 รูปแบบและรายละเอียดการรายงานผลการทดสอบ

4.1.9 วิธีการดำเนินการเมื่อผลการทดสอบไม่เป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับ

- 4.2 ก่อนการทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ ต้องทำความสะอาดรอยเชื่อมและบริเวณใกล้เคียงโดยรอบอย่างน้อย 25 mm บริเวณที่ทดสอบต้องแห้งสนิทและปราศจากสิ่งสกปรก จารบี น้ำมัน คราบสเกล สลักเม็ดโลหะกระเด็น สี และสิ่งอื่น ๆ ที่อาจปกปิดหรือบดบังรอยความไม่ต่อเนื่องได้
- 4.3 การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ ควรกระทำในระยะห่างจากผิวที่ทดสอบระหว่าง 300 mm ถึง 600 mm โดยมุมทดสอบให้เป็นไปตามที่แสดงในรูปที่ 1
- 4.4 บริเวณผิวที่ทดสอบต้องมีค่าความสว่างไม่น้อยกว่า 350 lx โดยค่าความสว่างที่แนะนำควรอยู่ที่ 500 lx
- 4.5 สามารถใช้แหล่งกำเนิดแสงเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มความคมชัดของการทดสอบและช่วยให้สามารถมองเห็นรอยความไม่ต่อเนื่องได้ชัดเจนยิ่งขึ้น



รูปที่ 1 มุมทดสอบ

(ข้อ 4.3)

ที่มา: ประยุกต์จากมาตรฐาน ISO 17637:2016 Non-destructive testing of weld  
– Visual testing of fusion-welded joint

## 5. คุณสมบัติของผู้ทดสอบ

การทดสอบรอยเชื่อมรางรถไฟ โดยวิธีการตรวจพินิจและการประเมินผลเพื่อการยอมรับ ต้องดำเนินการโดยบุคลากรที่มีคุณสมบัติและความสามารถที่เหมาะสม มาตรฐานฉบับนี้กำหนดให้บุคลากรที่ทดสอบต้องได้รับการรับรองตามมาตรฐานอย่างน้อยหนึ่งมาตรฐาน ดังนี้ (1) มาตรฐาน ISO 9712 (2) มาตรฐาน ASNT SNT-TC-1A (3) มาตรฐาน AWS CWI (4) มาตรฐาน CSWIP (5) มาตรฐาน IIW IWI-C หรือมาตรฐานอื่นที่มีระดับเทียบเท่า ซึ่งได้รับการยอมรับจากองค์กร หรือเป็นไปตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนดของสัญญา

## 6. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

มาตรฐานฉบับนี้แนะนำให้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบดังต่อไปนี้ โดยมีภาพตัวอย่างเครื่องมือและรายละเอียดการใช้งานแสดงไว้ในภาคผนวก ก

6.1 ไม้บรรทัด (steel ruler) หรือสายวัด

6.2 ไม้วัดความตรงราง (rail straight edge gauge)

6.3 เกจวัดแนวเชื่อมเอนกประสงค์ (multi-purpose gauge)

6.4 เครื่องมือวัดความเข้มของแสงสว่าง (lux meter)

6.5 ฟीलเลอร์เกจ (feeler gauge)

6.6 แวนขยาย กำลังขยายระหว่าง 2 ถึง 5 เท่า

6.7 เครื่องมือช่วยในการทดสอบโดยการวิพากษ์ เช่น กระดาษ ไฟฉาย เป็นต้น

หมายเหตุ เครื่องมือจะต้องได้รับการสอบเทียบหรือการทวนสอบจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ อย่างน้อยทุก 12 เดือน เพื่อรักษาความถูกต้องและแม่นยำในการใช้งาน

## 7. รายละเอียดการทดสอบรอยเชื่อมรางรถไฟโดยวิธีการตรวจพินิจ

การทดสอบรอยเชื่อมรางโดยวิธีการตรวจพินิจแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่ การทดสอบก่อนการเชื่อม ระหว่างการเชื่อม และหลังการเชื่อม โดยต้องดำเนินการตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 7.1 การทดสอบก่อนการเชื่อม

7.1.1 ขนาดและรูปร่างของการเตรียมรอยเชื่อม ต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนดวิธีการเชื่อม (WPS)

7.1.2 ความตรงศูนย์ (alignment) และตำแหน่งการติดตั้งราง ต้องสอดคล้องกับแบบรูปหรือข้อกำหนดวิธีการปฏิบัติงาน (WI)

7.1.3 ความสะอาดผิวรอยต่อและบริเวณใกล้เคียงอย่างน้อย 25 mm ต้องปราศจากคราบสกปรกและสิ่งปนเปื้อน

### 7.2 การทดสอบระหว่างการเชื่อม

7.2.1 รอยเชื่อมทุกรอยหรือทุกชั้นต้องได้รับการทำความสะอาดก่อนการเชื่อมในขั้นถัดไป โดยต้องปราศจากสิ่งสกปรกหรือวัสดุใด ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของรอยเชื่อม

7.2.2 รอยความไม่ต่อเนื่องที่ปรากฏบนรอยเชื่อมและบริเวณกระแทกร้อน (HAZ) เช่น รอยร้าว การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ หรือรูพรุน หากพบรอยความไม่ต่อเนื่องใด ๆ ต้องได้รับการแก้ไขให้เรียบร้อยก่อนดำเนินการเชื่อมในขั้นถัดไป

7.2.3 ตรวจสอบความสมบูรณ์ของการหลอมระหว่างรอยเชื่อมแต่ละชั้น และระหว่างรอยเชื่อมกับราง โดยพิจารณาจากรูปร่างของรอยเชื่อมและลักษณะของการหลอมที่เหมาะสมก่อนการเชื่อมชั้นถัดไป

หมายเหตุ ข้อกำหนดการทดสอบระหว่างการเชื่อมนี้ ใช้สำหรับรอยเชื่อมซ่อมหัวรางที่เชื่อมโดยกระบวนการเชื่อมอาร์กเท่านั้น

### 7.3 การทดสอบหลังการเชื่อม

7.3.1 ผิวรอยเชื่อมและบริเวณใกล้เคียงต้องทำความสะอาด โดยขจัดสิ่งสกปรกหรือสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ เช่น สลัก เศษโลหะ หรือวัสดุอื่นใดที่อาจบดบังรอยความไม่ต่อเนื่องบนผิวรอยเชื่อม

7.3.2 การเจียรรอยเชื่อมบริเวณหัวรางครั้งสุดท้าย ต้องทำโดยหลีกเลี่ยงการเกิดความร้อนสะสมที่สูงเกินไป ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสมบัติทางโลหะวิทยาของรอยเชื่อมและราง

7.3.3 ความเรียบของผิวรอยเชื่อม (flatness) และการควบคุมโลหะเชื่อมส่วนเกินภายหลังการเจียร (reinforcement) ต้องทดสอบโดยการวัดระยะจากผิวรอยเชื่อมชั้นสุดท้ายหลังการเจียรครั้งสุดท้ายถึงระดับผิวราง โดยใช้ไม้วัดความตรงรางร่วมกับฟิลเลอร์เกจ สำหรับทดสอบบริเวณบนหัวรางและข้างหัวราง และใช้เกจวัดแนวเชื่อมเอนกประสงค์สำหรับทดสอบบริเวณเอวรางและฐานราง โดยผลการทดสอบต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ตามเกณฑ์การยอมรับในหัวข้อที่ 9.1

7.3.4 รอยความไม่ต่อเนื่องที่ปรากฏบนผิวรอยเชื่อม เช่น รอยร้าว การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ หรือรูพรุน รวมถึงบริเวณกระพุ้งร้อน ต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ตามเกณฑ์การยอมรับในหัวข้อที่ 9.2

7.3.5 ความตรงของแนวรางบริเวณรอยเชื่อมต้องเป็นไปตามวิธีการทดสอบที่ระบุไว้ในภาคผนวก ข และต้องไม่เกินค่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนดไว้ตามเกณฑ์การยอมรับในหัวข้อที่ 9.3 โดยข้อกำหนดนี้ใช้กับรางที่ติดตั้งบนทางตรงเท่านั้น ในกรณีที่ต้องการทดสอบรางที่ติดตั้งบนทางโค้ง ต้องได้รับการอนุมัติจากองค์กร

## 8. การรายงานผลการทดสอบ

การรายงานผลการทดสอบจะต้องจัดทำในใบรายงานผลการทดสอบ โดยต้องมีรายละเอียดอย่างน้อยดังต่อไปนี้ ตัวอย่างใบรายงานผลการทดสอบแสดงไว้ในภาคผนวก ค

8.1 ชื่อโครงการและวันที่ทดสอบ

8.2 รายชื่อและคุณสมบัติของผู้ทดสอบ

8.3 ชื่อหน่วยงานทดสอบ

8.4 เอกสารอ้างอิงที่ใช้ทดสอบ เช่น WPS WI หรือมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

8.5 อัตลักษณ์ของรอยเชื่อมที่ทดสอบ เช่น หมายเลขรอยเชื่อม ตำแหน่งราง

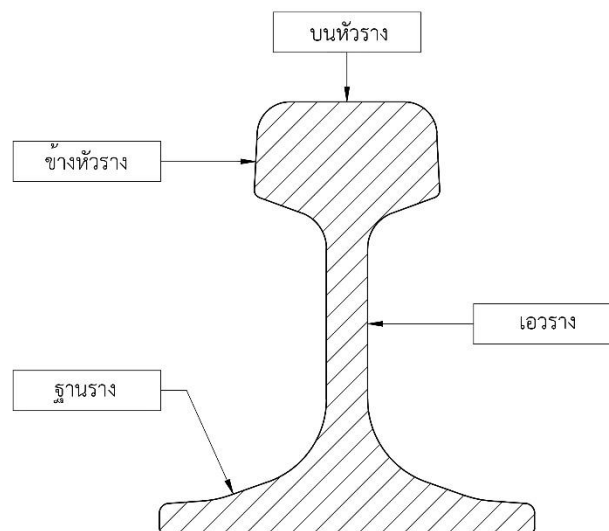
8.6 ชนิดและขนาดของรางที่ทดสอบ



- 8.7 ประเภทรอยเชื่อม เช่น เชื่อมต่อราง หรือเชื่อมซ่อมหัวราง
  - 8.8 กระบวนการเชื่อม
  - 8.9 ชนิดของโลหะเติม (ถ้ามี)
  - 8.10 รายการเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ พร้อมหมายเลขประจำเครื่องมือและวันที่สอบเทียบครั้งสุดท้าย
  - 8.11 ค่าความสว่างบริเวณที่ทดสอบ และแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้
  - 8.12 รายงานผลการทดสอบโลหะเชื่อมส่วนเกินหลังการเจีย
  - 8.13 รายละเอียดรอยความไม่ต่อเนื่องบนผิวรอยเชื่อม พร้อมทั้งระบุขนาดและตำแหน่ง (ถ้ามี)
  - 8.14 ผลการทดสอบความตรงของแนวรางบริเวณรอยเชื่อม
  - 8.15 ผลการประเมินโดยสรุปตามเกณฑ์การยอมรับที่ใช้ (ผ่าน/ไม่ผ่าน) พร้อมข้อเสนอแนะ (ถ้ามี)
9. เกณฑ์การยอมรับ

9.1 โลหะเชื่อมส่วนเกินหลังการเจีย (reinforcement)

โลหะเชื่อมส่วนเกินหลังการเจียครั้งสุดท้ายของรอยเชื่อมต่อราง และรอยเชื่อมซ่อมหัวราง ต้องมีค่าไม่เกิน เกณฑ์ที่ระบุไว้ในตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2 ตามลำดับ โดยองค์ประกอบของรางแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 องค์ประกอบของราง

(ข้อ 9.1)

ที่มา: ประยุกต์จากมาตรฐาน AS 1085.20 – 2020 *Railway Track Material*

*Part 20: Welding of steel rail*



ตารางที่ 1 เกณฑ์การยอมรับการทดสอบโลหะเชื่อมส่วนเกินหลังการเจียของรอยเชื่อมต่อราง  
(ข้อ 9.1)

| ลำดับ | กระบวนการเชื่อม                                          | โลหะเชื่อมส่วนเกินหลังการเจีย (mm) |              |                      |                      |
|-------|----------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------|----------------------|----------------------|
|       |                                                          | บนหัวราง                           | ข้างหัวราง   | เอวราง               | ฐานราง               |
| 1     | การเชื่อมวาบ<br>(flash butt welding)                     | 0.0 ถึง +0.15                      | 0.0 ถึง +0.3 | 0.0 ถึง +2.0         | 0.0 ถึง +2.0         |
| 2     | การเชื่อมอะลูมิเนียมเทอร์มิก<br>(aluminothermic welding) | 0.0 ถึง +0.15                      | 0.0 ถึง +0.3 | ไม่ต่ำกว่า<br>ผิวราง | ไม่ต่ำกว่า<br>ผิวราง |

ตารางที่ 2 เกณฑ์การยอมรับการทดสอบโลหะเชื่อมส่วนเกินหลังการเจียของรอยเชื่อมซ่อมหัวราง  
(ข้อ 9.1)

| ลำดับ | กระบวนการเชื่อม                                          | โลหะเชื่อมส่วนเกินหลังการเจีย (mm) |              |        |        |
|-------|----------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------|--------|--------|
|       |                                                          | บนหัวราง                           | ข้างหัวราง   | เอวราง | ฐานราง |
| 1     | การเชื่อมอะลูมิเนียมเทอร์มิก<br>(aluminothermic welding) | 0.0 ถึง +0.15                      | 0.0 ถึง +0.3 | –      | –      |
| 2     | การเชื่อมอาร์ก<br>(arc welding)                          | 0.0 ถึง +0.15                      | 0.0 ถึง +0.3 | –      | –      |

## 9.2 รอยความไม่ต่อเนื่อง (discontinuity)

รอยความไม่ต่อเนื่องบนผิวรอยเชื่อมของรอยเชื่อมต่อรางและรอยเชื่อมซ่อมหัวราง ต้องไม่ปรากฏ รอยบกพร่องใด ๆ ตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 3 และตารางที่ 4 ตามลำดับ โดยตัวอย่างภาพรอยบกพร่อง แต่ละชนิดแสดงไว้ในภาคผนวก ง

ตารางที่ 3 ชนิดรอยบกพร่องที่ไม่ยอมรับบนรอยเชื่อมต่อราง  
(ข้อ 9.2)

| ลำดับ | กระบวนการเชื่อม                                              | ชนิดรอยบกพร่อง                          |
|-------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1     | การเชื่อมวาบ<br>(flash butt welding)                         | การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (lack of fusion) |
| 2     | การเชื่อมด้วยอะลูมิเนียมเทอร์มิก<br>(aluminothermic welding) | รอยไหม้จากทราย (sand burn)              |

ตารางที่ 3 ชนิดรอยบกพร่องที่ไม่ยอมรับบนรอยเชื่อมต่อราง (ต่อ)  
(ข้อ 9.2)

| ลำดับ | กระบวนการเชื่อม                                           | ชนิดรอยบกพร่อง                                                                    |
|-------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 2     | การเชื่อมด้วยอะลูมิเนียมเทอร์มิก (aluminothermic welding) | รอยบกพร่องบนวงรอบรอยเชื่อม (surface defects in the weld collar)                   |
|       |                                                           | รอยฉีกขณะร้อน (thermal contraction – hot tear)                                    |
|       |                                                           | รอยร้าวจากการล้า (fatigue cracks)                                                 |
|       |                                                           | รอยฉีกตามขวางของรอยเชื่อม (transversal tearing of the surface weld material)      |
|       |                                                           | ความเสียหายของวงรอบรอยเชื่อม บริเวณรูระบายแก๊ส (weld collar damage at vent riser) |

ตารางที่ 4 ชนิดรอยบกพร่องที่ไม่ยอมรับบนรอยเชื่อมซ่อมหัวราง  
(ข้อ 9.2)

| ลำดับ | กระบวนการเชื่อม                                           | ชนิดรอยบกพร่อง                                                                    |
|-------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | การเชื่อมด้วยอะลูมิเนียมเทอร์มิก (aluminothermic welding) | รอยไหม้จากทราย (sand burn)                                                        |
|       |                                                           | รอยบกพร่องบนวงรอบรอยเชื่อม (surface defects in the weld collar)                   |
|       |                                                           | รอยฉีกขณะร้อน (thermal contraction – hot tear)                                    |
|       |                                                           | รอยร้าวจากการล้า (fatigue cracks)                                                 |
|       |                                                           | รอยฉีกตามขวางของรอยเชื่อม (transversal tearing of the surface weld material)      |
|       |                                                           | ความเสียหายของวงรอบรอยเชื่อม บริเวณรูระบายแก๊ส (weld collar damage at vent riser) |
| 2     | การเชื่อมอาร์ก (arc welding)                              | รูพรุน (porosity)                                                                 |
|       |                                                           | รอยร้าวบนผิวราง (surface cracking)                                                |
|       |                                                           | รอยร้าวตามขวาง (transverse cracking)                                              |
|       |                                                           | การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (lack of fusion)                                           |

### 9.3 ความตรงของแนวราง (rail alignment)

ความตรงของแนวรางในบริเวณรอยเชื่อมต่อราง และรอยเชื่อมซ่อมหัวรางต้องไม่เกินค่าที่ระบุไว้ในตารางที่ 5 และ ตารางที่ 6 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 เกณฑ์การยอมรับการทดสอบความตรงของแนวรางบนรอยเชื่อมต่อราง  
(ข้อ 9.3)

| ลำดับ | กระบวนการเชื่อม                                          | ค่าความคลาดเคลื่อนความตรงของแนวราง (mm) |                        |
|-------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------|
|       |                                                          | แนวตั้ง<br>(บนหัวราง)                   | แนวนอน<br>(ข้างหัวราง) |
| 1     | การเชื่อมวาบ<br>(flash butt welding)                     | 0.0 ถึง +0.3                            | -0.5 ถึง +0.5          |
| 2     | การเชื่อมอะลูมิเนียมเทอร์มิก<br>(aluminothermic welding) | 0.0 ถึง +0.3                            | -0.5 ถึง +0.5          |

ตารางที่ 6 เกณฑ์การยอมรับการทดสอบความตรงของแนวรางบนรอยเชื่อมซ่อมหัวราง  
(ข้อ 9.3)

| ลำดับ | กระบวนการเชื่อม                                          | ค่าความคลาดเคลื่อนความตรงของแนวราง (mm) |                        |
|-------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------|
|       |                                                          | แนวตั้ง<br>(บนหัวราง)                   | แนวนอน<br>(ข้างหัวราง) |
| 1     | การเชื่อมอะลูมิเนียมเทอร์มิก<br>(aluminothermic welding) | 0.0 ถึง +0.3                            | -0.5 ถึง +0.5          |
| 2     | การเชื่อมอาร์ก<br>(arc welding)                          | 0.0 ถึง +0.3                            | -0.5 ถึง +0.5          |

## 10. เอกสารอ้างอิง

- 10.1 สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2560). มาตรฐานเลขที่ มอก. 2750 – 2559 การทดสอบรอยเชื่อมโดยไม่ทำลาย – การทดสอบรอยเชื่อมแบบหลอมละลาย โดยวิธีการตรวจพินิจ
- 10.2 สำนักงานราชบัณฑิตยสภา (2558). พจนานุกรมศัพท์การเชื่อม ฉบับราชบัณฑิตยสภา
- 10.3 กรมโยธาธิการและผังเมือง (2551). มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1561-51 มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กgrupพรรณด้วยวิธีตรวจพินิจ (*Standard Method for Weldment Examination in Steel Structure with Visual Method*)
- 10.4 European Standard. (2021). EN 16729-5:2021 *Railway applications – Infrastructure – Non-destructive testing on rails in track – Part 5: Non-destructive testing on rails in track*
- 10.5 Australian Standard. (2020). AS 1085.20 – 2020 *Railway Track Material Part 20: Welding of steel rail.*
- 10.6 International Organization for Standardization. (2016). *International Standard ISO 17637 Non-destructive testing of weld – Visual Testing of Fusion-welded Joints.*
- 10.7 American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association. (2015). *Chapter 4 Rail Part 3.11 Specification for Fabrication of Continuous Welded Rail.*
- 10.8 British Standard. (2006). *BS EN 14730-2:2006 Railway application – Track – Aluminothermic welding of rails - Part 2: Qualification of aluminothermic welders, approval of contractors and acceptance of weld*

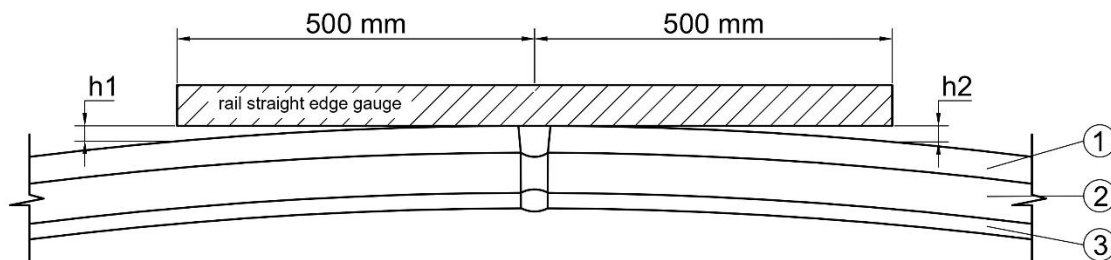
## ภาคผนวก ก

### การทดสอบความคลาดเคลื่อนความตรงของแนวราง

1. การทดสอบความตรงของแนวรางบริเวณรอยเชื่อม ต้องทดสอบทั้งในแนวตั้ง (vertical alignment) และแนวนอน (horizontal alignment) โดยวัดจากจุดกึ่งกลางของรอยเชื่อมไปยังแต่ละด้านของแนวราง ในระยะด้านละ 500 mm
2. การทดสอบต้องใช้ไม้วัดความตรงราง โดยวางให้จุดกึ่งกลางของไม้วัดความตรงราง อยู่ในช่วง  $\pm 20$  mm จากจุดกึ่งกลางของรอยเชื่อม
3. การวัดความตรงของแนวรางในแนวตั้ง (vertical alignment) ต้องทดสอบบนหัวราง โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณี ดังนี้
  - 3.1 กรณีที่รางโค้งนูน (peak) ดังที่แสดงในรูปที่ ก.1 ค่าความคลาดเคลื่อนความตรงของแนวรางสามารถ ประเมินได้โดยใช้สมการที่ ก.1

$$P = \frac{h1 + h2}{2} \quad (\text{ก.1})$$

เมื่อ  $P$  คือ ความคลาดเคลื่อนความตรงของแนวรางในแนวตั้ง  
 $h1$  และ  $h2$  คือ ระยะห่างที่วัดได้จากบริเวณผิวบนหัวรางทั้งสองด้าน



คำอธิบาย

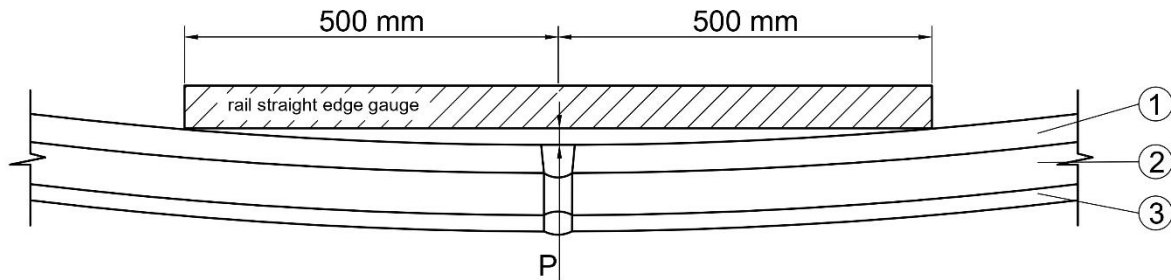
- 1 หมายถึง หัวราง
- 2 หมายถึง เอวราง
- 3 หมายถึง ฐานราง

$h1$  และ  $h2$  หมายถึง ระยะห่างบริเวณบนหัวรางทั้งสองด้าน

รูปที่ ก.1 การวัดความตรงของแนวราง - แนวตั้ง กรณีที่รางโค้งนูน (Peak)  
(ข้อ ก.3)

ที่มา: ประยุกต์จากมาตรฐาน BS EN 14730-2:2006 Railway application – Track – Aluminothermic welding of rails - Part 2: Qualification of aluminothermic welders, approval of contractors and acceptance of weld

3.2 กรณีที่รางโค้งแอ่น (dip) ดังที่แสดงในรูปที่ ก.2 ค่าความคลาดเคลื่อนความตรงของแนวรางสามารถประเมินได้จากค่า  $P$  ซึ่งจะมีค่าเป็นลบ ทั้งนี้มาตรฐานฉบับนี้ไม่ยอมรับกรณีดังกล่าว



#### คำอธิบาย

- 1 หมายถึง หัวราง
- 2 หมายถึง เอวราง
- 3 หมายถึง ฐานราง

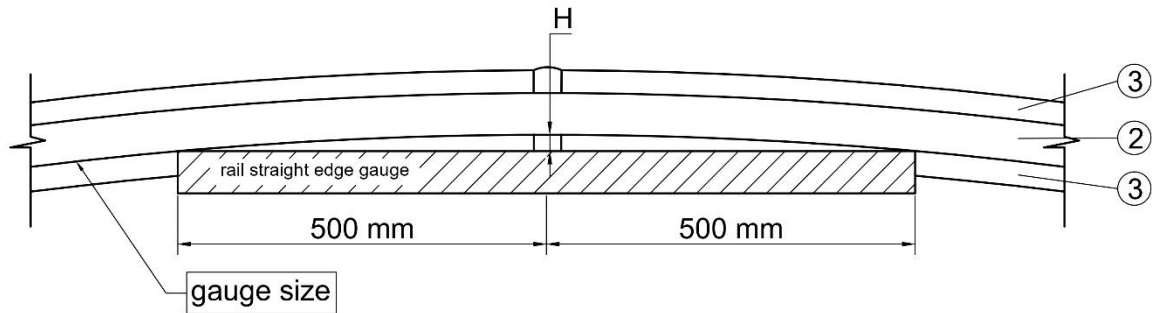
$P$  หมายถึง ความคลาดเคลื่อนความตรงของแนวรางในแนวตั้ง

#### รูปที่ ก.2 การวัดความตรงของแนวราง - แนวตั้ง กรณีที่รางโค้งแอ่น (Dip)

(ข้อ ก.3)

ที่มา: ประยุกต์จากมาตรฐาน BS EN 14730-2:2006 Railway application – Track – Aluminothermic welding of rails - Part 2: Qualification of aluminothermic welders, approval of contractors and acceptance of weld

4. การวัดความตรงของแนวรางในแนวนอน (horizontal alignment) ต้องทดสอบข้างหัวราง ฝั่งด้านใน (gauge size) โดยวัดในตำแหน่งที่อยู่ต่ำกว่าระดับผิวบนหัวรางลงมา 14 mm ค่าความคลาดเคลื่อนความตรงของแนวรางในแนวนอนสามารถประเมินได้ตามที่แสดงในรูปที่ ก.3
5. ค่าความคลาดเคลื่อนความตรงของแนวรางทั้งในแนวตั้งและแนวนอน ต้องวัดโดยใช้ฟิลเลอร์เกจ และต้องบันทึกผลการทดสอบลงในใบรายงานผลการทดสอบ



คำอธิบาย

2 หมายถึง หัวราง

3 หมายถึง ฐานราง

$H$  หมายถึง ความคลาดเคลื่อนความตรงของแนวรางในแนวนอน

**รูปที่ ก.3 การวัดความตรงของแนวราง - แนวนอน**

(ข้อ ก.4)

ที่มา: ประยุกต์จากมาตรฐาน BS EN 14730-2:2006 Railway application – Track – Aluminothermic welding of rails - Part 2: Qualification of aluminothermic welders, approval of contractors and acceptance of weld



**ภาคผนวก ข**  
**ตัวอย่างรายการเครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบ**

| ลำดับ | ชื่อเครื่องมือ                                          | รายละเอียดการใช้งาน                                                                                                       | คุณลักษณะเฉพาะ                                                                                                                                                                                        | ภาพตัวอย่าง                                                                           |
|-------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | ไม้บรรทัด<br>(steel ruler)                              | ใช้สำหรับการวัดขนาดทั่วไป เช่น ขนาดรอยต่อ ความยาวของรอยบกพร่อง หรือระยะจากตำแหน่งอ้างอิง                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- พิสัยการวัด ไม่น้อยกว่า 1 m</li> <li>- ความแม่นยำในการอ่าน ไม่น้อยกว่า 1 mm</li> </ul>                                                                       |    |
| 2     | ไม้วัดความตรงราง<br>(rail straight edge gauge)          | ใช้ตรวจสอบความตรงของรางในแนวตั้ง (vertical) และแนวนอน (horizontal) โดยเฉพาะบริเวณรอยเชื่อม                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ผลิตจากโลหะความหนา ไม่น้อยกว่า 6 mm</li> <li>- พิสัยการวัด ไม่น้อยกว่า 1 m</li> <li>- ความเรียบของผิวที่ใช้ทดสอบ ไม่น้อยกว่า 20 <math>\mu</math>m</li> </ul> |   |
| 3     | เกจวัดแนวเชื่อม<br>เอนกประสงค์<br>(multi-purpose gauge) | ใช้วัดขนาดรอยเชื่อม เช่น ความสูงของโลหะเชื่อม ส่วนเกิน (reinforcement) รอยเว้า (undercut) หรือ ความลึกของรอยบากมุม รอยต่อ | <ul style="list-style-type: none"> <li>- พิสัยการวัด ไม่น้อยกว่า 20 mm</li> <li>- ความแม่นยำในการอ่าน ไม่น้อยกว่า 0.5 mm</li> </ul>                                                                   |  |
| 4     | เครื่องมือวัดความเข้มของแสงสว่าง<br>(lux meter)         | ตรวจวัดระดับความสว่างในพื้นที่ทดสอบให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- พิสัยการวัด ไม่น้อยกว่า 2,000 lx</li> <li>- ความแม่นยำในการอ่าน ไม่น้อยกว่า 1 lx</li> </ul>                                                                  |  |

| ลำดับ | ชื่อเครื่องมือ                  | รายละเอียดการใช้งาน                                                                                                                                                      | คุณลักษณะเฉพาะ                                                                                                        | ภาพตัวอย่าง                                                                           |
|-------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 5     | ฟีลเลอร์เกจ<br>(feeler gauge)   | วัดค่าความคลาดเคลื่อนของแนวตรงราง (gap) ระหว่างไม้วัดความตรงรางกับผิวราง                                                                                                 | - ความแม่นยำในการวัดไม่น้อยกว่า 0.05 mm                                                                               |    |
| 6     | กระจกเงา<br>(inspection mirror) | ใช้สะท้อนภาพเพื่อดูบริเวณที่มองไม่เห็นโดยตรง เช่น ใต้รอยเชื่อม หรือด้านในแอวราง                                                                                          | - กระจกเงาทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 25 - 50 mm<br>- ด้ามจับแบบยืดหด ความยาวเมื่อยืดออกไม่น้อยกว่า 300 mm |    |
| 7     | ไฟฉาย<br>(inspection light)     | เพิ่มแสงสว่างในระหว่างการทดสอบ โดยเฉพาะในบริเวณที่มีแสงสว่างไม่เพียงพอ เช่น ใต้หัวราง พื้นที่อับแสง หรือบริเวณที่เกิดเงาซึ่งอาจบดบังรายละเอียดของรอยเชื่อมหรือพื้นผิวราง | - ความสว่างที่ไม่น้อยกว่า 1,000 lx                                                                                    |  |

## ภาคผนวก ค

## ตัวอย่างใบรายงานผลการทดสอบโดยไม่ทำลายบนรอยเชื่อมรางรถไฟ - การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ

|                                                                          |                                                                                                                                  |                      |                                                                    |                                 |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| โลโก้<br>หน่วยงานทดสอบ                                                   | ใบรายงานผลการทดสอบโดยไม่ทำลายบนรอยเชื่อมรางรถไฟ<br>การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ                                                   |                      |                                                                    | ชื่อ - ที่อยู่<br>หน่วยงานทดสอบ |
| ชื่อโครงการ:                                                             |                                                                                                                                  | เลขที่รายงาน:        |                                                                    | วันที่ทดสอบ:                    |
| ชื่อผู้ทดสอบ:                                                            |                                                                                                                                  | คุณสมบัติผู้ทดสอบ:   |                                                                    | หมายเลขใบรับรอง:                |
| ใบสั่งเทคนิคการทำงาน:                                                    |                                                                                                                                  |                      |                                                                    |                                 |
| หมายเลขรอยเชื่อม:                                                        | ตำแหน่งราง:                                                                                                                      | ชนิดของราง:          | ขนาดของราง:                                                        |                                 |
| ประเภทของรอยเชื่อม:                                                      | <input type="checkbox"/> เชื่อมต่อราง <input type="checkbox"/> เชื่อมซ่อมหัวราง                                                  |                      |                                                                    |                                 |
| กระบวนการเชื่อม:                                                         | <input type="checkbox"/> Flash Butt Welding <input type="checkbox"/> Aluminothermic welding <input type="checkbox"/> Arc welding |                      |                                                                    |                                 |
| ชนิดของโลหะเติม (ถ้ามี):                                                 |                                                                                                                                  |                      |                                                                    |                                 |
| รายการเครื่องมือและอุปกรณ์                                               |                                                                                                                                  |                      |                                                                    |                                 |
| ลำดับที่ 1:                                                              | หมายเลขอุปกรณ์:                                                                                                                  |                      | วันที่สอบเทียบ:                                                    |                                 |
| ลำดับที่ 2:                                                              | หมายเลขอุปกรณ์:                                                                                                                  |                      | วันที่สอบเทียบ:                                                    |                                 |
| เงื่อนไขการทดสอบ:                                                        | <input type="checkbox"/> สายตา <input type="checkbox"/> แวนซ์ฉาย <input type="checkbox"/> อื่น ๆ .....                           |                      |                                                                    |                                 |
| ค่าความสว่างบริเวณทดสอบ:                                                 |                                                                                                                                  | แหล่งกำเนิดแสงสว่าง: |                                                                    |                                 |
| โลหะเชื่อมส่วนเกินหลังการเจีย (reinforcement)                            |                                                                                                                                  |                      |                                                                    |                                 |
| บนหัวราง:                                                                | mm                                                                                                                               | ผลการประเมิน:        | <input type="checkbox"/> ยอมรับ <input type="checkbox"/> ไม่ยอมรับ |                                 |
| ข้างหัวราง:                                                              | mm                                                                                                                               | ผลการประเมิน:        | <input type="checkbox"/> ยอมรับ <input type="checkbox"/> ไม่ยอมรับ |                                 |
| เอวราง:                                                                  | mm                                                                                                                               | ผลการประเมิน:        | <input type="checkbox"/> ยอมรับ <input type="checkbox"/> ไม่ยอมรับ |                                 |
| ฐานราง:                                                                  | mm                                                                                                                               | ผลการประเมิน:        | <input type="checkbox"/> ยอมรับ <input type="checkbox"/> ไม่ยอมรับ |                                 |
| รอยความไม่ต่อเนื่อง (discontinuity)                                      |                                                                                                                                  |                      |                                                                    |                                 |
| ตำแหน่ง                                                                  | ชนิดรอยบกพร่อง                                                                                                                   | ขนาด (mm)            | ผลการประเมิน                                                       |                                 |
|                                                                          |                                                                                                                                  |                      | <input type="checkbox"/> ยอมรับ <input type="checkbox"/> ไม่ยอมรับ |                                 |
|                                                                          |                                                                                                                                  |                      | <input type="checkbox"/> ยอมรับ <input type="checkbox"/> ไม่ยอมรับ |                                 |
|                                                                          |                                                                                                                                  |                      | <input type="checkbox"/> ยอมรับ <input type="checkbox"/> ไม่ยอมรับ |                                 |
| ความตรงของแนวราง (rail alignment)                                        |                                                                                                                                  |                      |                                                                    |                                 |
| แนวตั้ง (บนหัวราง) :                                                     | mm                                                                                                                               | ผลการประเมิน:        | <input type="checkbox"/> ยอมรับ <input type="checkbox"/> ไม่ยอมรับ |                                 |
| แนวนอน (ข้างหัวราง):                                                     | mm                                                                                                                               | ผลการประเมิน:        | <input type="checkbox"/> ยอมรับ <input type="checkbox"/> ไม่ยอมรับ |                                 |
| สรุปผลการประเมิน                                                         |                                                                                                                                  |                      |                                                                    |                                 |
| <input type="checkbox"/> ผ่านเกณฑ์ <input type="checkbox"/> ไม่ผ่านเกณฑ์ |                                                                                                                                  |                      |                                                                    |                                 |
| ข้อเสนอแนะ:                                                              |                                                                                                                                  |                      |                                                                    |                                 |
| .....                                                                    |                                                                                                                                  |                      |                                                                    |                                 |
|                                                                          | ผู้ทดสอบ                                                                                                                         | ผู้ตรวจสอบ           | ผู้รับรอง                                                          |                                 |
| ชื่อ - นามสกุล                                                           |                                                                                                                                  |                      |                                                                    |                                 |
| ลายมือชื่อ                                                               |                                                                                                                                  |                      |                                                                    |                                 |
| ตำแหน่ง                                                                  |                                                                                                                                  |                      |                                                                    |                                 |
| วัน/เดือน/ปี                                                             |                                                                                                                                  |                      |                                                                    |                                 |

## ภาคผนวก ง

ตัวอย่างรูปภาพรอยบกพร่องบนรอยเชื่อมรางรถไฟในกระบวนการเชื่อมต่าง ๆ

### 1. กระบวนการเชื่อมวาบ (flash butt welding)

#### 1.1 การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (lack of fusion)



รูปที่ ง.1 การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (lack of fusion)

ที่มา: ARTC (2021). ETN-01-06 Weld Quality Management Manual

### 2. กระบวนการเชื่อมอะลูมิเนียมเทอร์มิก (aluminothermic Welding)

#### 2.1 รอยไหม้จากทราย (sand burn)



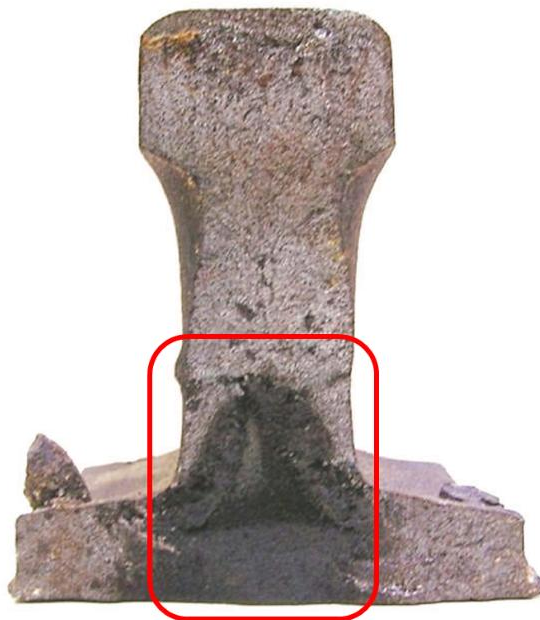
รูปที่ ง.2 รอยไหม้จากทราย (sand burn)

## 2.2 รอยบกพร่องบนวงรอบรอยเชื่อม (surface defaces in the weld collar)



รูปที่ ง.3 รอยบกพร่องบนวงรอบรอยเชื่อม (surface defaces in the weld collar)

## 2.3 รอยฉีกขณะร้อน (Thermal contraction – hot tear)



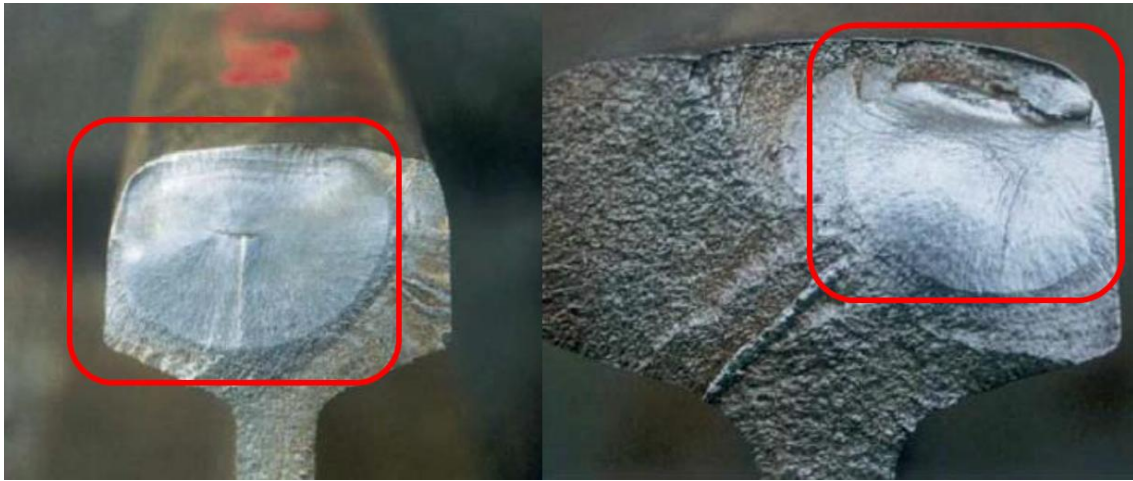
รูปที่ ง.4 รอยฉีกขณะร้อน (thermal contraction – hot tear)

ที่มา: EN 16729-5:2021 Railway applications – Infrastructure

– Non-destructive testing on rails in track – Part 5: Non-destructive testing on rails in track



### 2.3 รอยร้าวจากการล้า (fatigue cracks)



รูปที่ ง.5 รอยร้าวจากการล้า (fatigue cracks)

ที่มา: มาตรฐาน มขร. - C - 003 - 2564 มาตรฐานการตรวจสอบความเสียหายของรางรถไฟ  
(rail inspection)

### 2.5 รอยฉีกตามขวางของรอยเชื่อม (transversal tearing of surface weld material)



รูปที่ ง.6 รอยฉีกตามขวางของรอยเชื่อม (transversal tearing of surface weld material)

## 2.6 ความเสียหายของวงรอบรอยเชื่อม บริเวณรูระบายแก๊ส (weald collar damage at vent riser)



## รูปที่ ง.7 ความเสียหายของวงรอบรอยเชื่อม บริเวณรูระบายแก๊ส (Weld collar damage at vent riser)

ที่มา: EN 16729-5:2021 Railway applications – Infrastructure

– Non-destructive testing on rails in track – Part 5: Non-destructive testing on rails in track

## 3. กระบวนการเชื่อมอาร์ก (arc welding)

### 3.1 รูพรุน (porosity)



## รูปที่ ง.8 รูพรุน (porosity)

### 3.2 รอยร้าวบนผิวราง (surface cracking)



รูปที่ ง.9 รอยร้าวบนผิวราง (surface cracking)

### 3.3 รอยร้าวตามขวาง (transverse cracking)



รูปที่ ง.10 รอยร้าวตามขวาง (transverse cracking)

ที่มา: EN 16729-5:2021 Railway applications – Infrastructure

– Non-destructive testing on rails in track – Part 5: Non-destructive testing on rails in track



### 3.4 การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (lack of fusion)



รูปที่ ง.11 การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (lack of fusion)