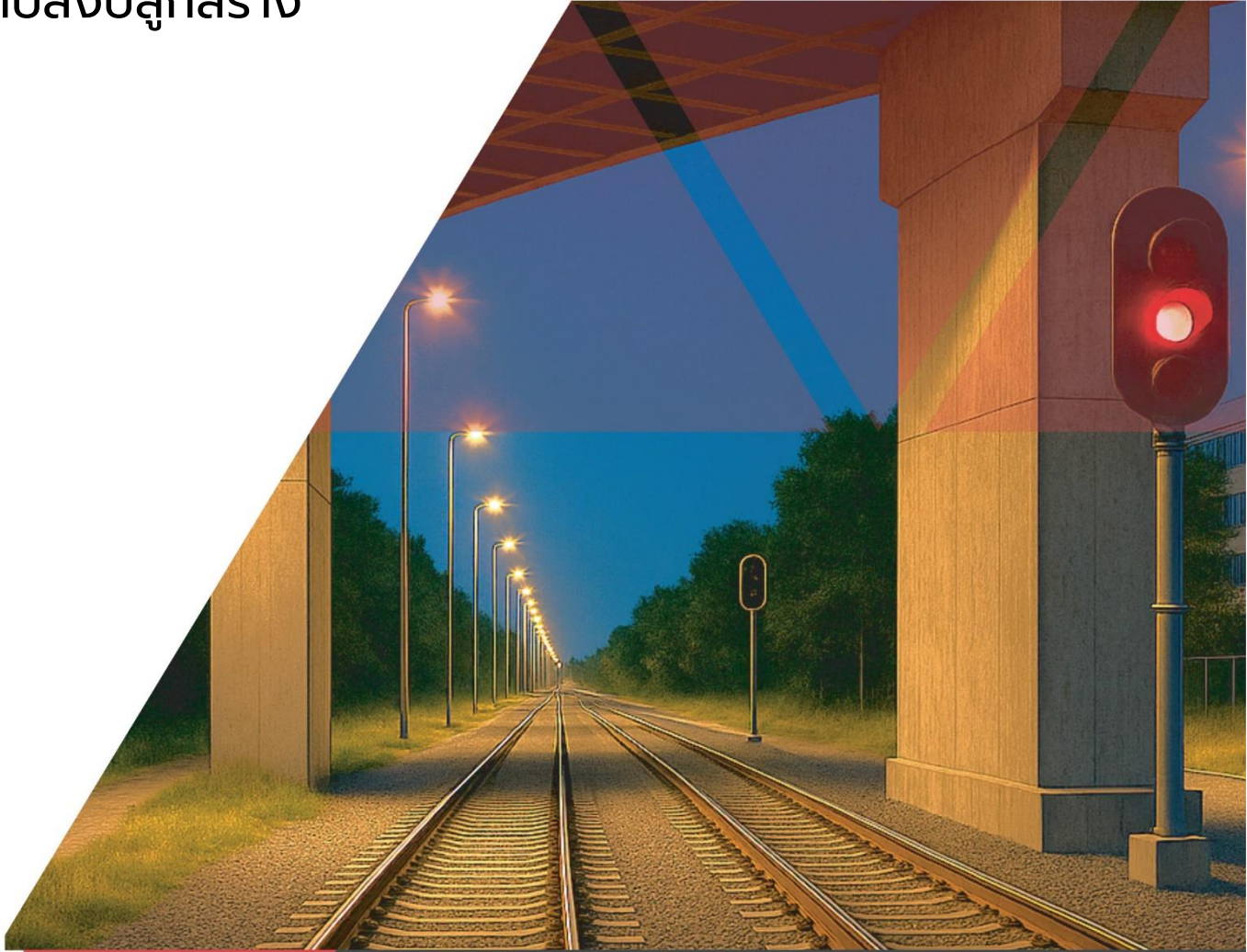




มขร. - C - 015 - 2568

มาตรฐานการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างในเขตขนส่งทางรางระดับดิน
และการลดความสูญเสียกรณีเกิดอุบัติเหตุรถไฟตกราง
และชนกับสิ่งปลูกสร้าง



Standards for Construction of Structures in At-Grade
Railway Zones and Measures to Mitigate Damage
from Train Derailments and Collisions with Structures



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



Facebook/DRT.OfficialFanpage



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

กองมาตรฐานความปลอดภัยและบำรุงทาง
กรมการขนส่งทางราง



รายนามคณะกรรมการจัดทำมาตรฐานการขนส่งทางราง

คณะกรรมการ

1. นายอธิภู จิตรานุเคราะห์
กรรมการขนส่งทางราง ประธานกรรมการ
2. นายป๋วยวิธวินท์ ลูชัยชนะ
สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กรรมการ
3. นายมนต์ชัย ชุ่มอินทรจักร
สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร กรรมการ
4. นายกำพล บุญชม
การรถไฟแห่งประเทศไทย กรรมการ
5. นายสุพัต พิพัฒน์กุล
การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย กรรมการ
6. นายอานุภาพ เกียรติกำจร
บริษัท รถไฟฟ้า ร.ฟ.ท. จำกัด กรรมการ
7. นายภณสินธุ์ ไพทีกุล
สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กรรมการ
8. นายสุธี โอฬารฤทธินันท์
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กรรมการ
9. นายอนุสรณ์ ทนหมื่นไวย
สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กรรมการ
10. นายบุญพงษ์ กิจวัฒนาชัย
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ กรรมการ
11. นายวิศพล ลัญฉน์วัฒน์
บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) กรรมการ
12. นายหลักฐาน ทองนพคุณ
บริษัท ทางด่วนและรถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน) กรรมการ
13. นายนิวัฒน์ ธิญูปิตินันท์
สมาคมวิศวกรที่ปรึกษาแห่งประเทศไทย กรรมการ
14. นายทยากร จันทรางศุ
กรรมการขนส่งทางราง กรรมการ
และเลขานุการ
15. นายศุภฤกษ์ สุตยอดประเสริฐ
กรรมการขนส่งทางราง กรรมการ
และผู้ช่วยเลขานุการ
16. นายพลากร กลัดเจริญ
กรรมการขนส่งทางราง กรรมการ
และผู้ช่วยเลขานุการ
17. นายนรินทร์ จาตุรพิศานุกุล
กรรมการขนส่งทางราง กรรมการ
และผู้ช่วยเลขานุการ
18. นางสาวโสภิตา อำนวยศิลป์
กรรมการขนส่งทางราง กรรมการ
และผู้ช่วยเลขานุการ
19. นายพงศธร ศิริจันทร์เพ็ญ
กรรมการขนส่งทางราง กรรมการ
และผู้ช่วยเลขานุการ
20. นายปกรณ์ ศรีรักษา
กรรมการขนส่งทางราง กรรมการ
และผู้ช่วยเลขานุการ



รายนามคณะกรรมการจัดทำมาตรฐานโครงสร้างพื้นฐานด้านงานโยธา และความปลอดภัยของระบบราง

คณะกรรมการ

- | | |
|---|-----------------------------------|
| 1. นายพิเชฐ คุณาธรรมรักษ์
กรมการขนส่งทางราง | ประธานกรรมการ |
| 2. นายทยากร จันทรวงศ์
กรมการขนส่งทางราง | รองประธานกรรมการ |
| 3. นายพิชญ พงษ์ไทย
การรถไฟแห่งประเทศไทย | อนุกรรมการ |
| 4. นายพุดตินัย เลื่อนนักรบ
การรถไฟแห่งประเทศไทย | อนุกรรมการ |
| 5. นายสุพัต พิพัฒน์กุล
การรถไฟฯขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย | อนุกรรมการ |
| 6. นางสาวพัชรินา เพชรผ่อง
สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีระบบราง (องค์การมหาชน) | อนุกรรมการ |
| 7. นายอานูภาพ เกียรติกำจร
บริษัท รถไฟฟ้า ร.ฟ.ท. จำกัด | อนุกรรมการ |
| 8. นายพรศักดิ์ ครุฑกุล
บริษัท ทางด่วนและรถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน) | อนุกรรมการ |
| 9. นายใหม่ เพ็ชรขอบ
บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) | อนุกรรมการ |
| 10. นายดิศพล ผดุงกุล
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ | อนุกรรมการ |
| 11. นายประยงค์ อรัญญะ
สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย | อนุกรรมการ |
| 12. นายศุภฤกษ์ สูดยอดประเสริฐ
กรมการขนส่งทางราง | อนุกรรมการ
และเลขานุการ |
| 13. นายนรินทร์ จาตุรพิศานุกุล
กรมการขนส่งทางราง | อนุกรรมการ
และผู้ช่วยเลขานุการ |
| 14. นายปกรณ์ ศรีรักษา
กรมการขนส่งทางราง | อนุกรรมการ
และผู้ช่วยเลขานุการ |



มขร. - C - 015 - 2568
มาตรฐานการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างในเขตขนส่งทางรางระดับดิน
และการลดความสูญเสียกรณีเกิดอุบัติเหตุรถไฟตกรางและชนกับสิ่งปลูกสร้าง
(Standards for Construction of Structures in At-Grade Railway Zones and
Measures to Mitigate Damage from Train Derailments and Collisions
with Structures)

1. บทนำ

1.1 กล่าวนำ

หลักการสำคัญในการบริหารจัดการความปลอดภัยตามแนวเส้นทางรถไฟ คือ การหลีกเลี่ยงการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างบริเวณใกล้เคียงทางรถไฟ เนื่องจากการปฏิบัติการเดินรถไฟอาจเกิดเหตุไม่คาดคิด เช่น อุบัติเหตุรถไฟตกรางหรือขบวนรถหลุดออกจากแนวเส้นทาง ซึ่งรถไฟที่ตกรางบ่อยครั้งมักเดินรถมาด้วยความเร็ว และมีโอกาสชนเข้ากับสิ่งปลูกสร้างซึ่งตั้งอยู่บริเวณทางรถไฟ ส่งผลให้เกิดความสูญเสียต่อชีวิตของผู้โดยสารที่เดินทางมาพร้อมกับรถไฟและผู้ซึ่งอาศัยอยู่ในโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้าง

อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีพบว่ามีบางกรณีที่มีความจำเป็นที่จะต้องมีการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างบริเวณใกล้เคียงทางรถไฟ ทั้งสิ่งปลูกสร้างเพื่อสนับสนุนการเดินรถ เช่น สะพานต่างระดับข้ามทางรถไฟ อาคารสถานี หรืออาคารเพื่อการปฏิบัติการเดินรถ ตลอดจนสิ่งปลูกสร้างอื่นๆ ที่มีอยู่แต่เดิมก่อนหน้าการก่อสร้างทางรถไฟ ทั้งนี้ วัตถุประสงค์ของมาตรฐานฉบับนี้ไม่ใช่การก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างเพื่อให้สามารถต้านทานแรงปะทะจากการชนในลักษณะการชนแบบชนหน้าตรง เนื่องจากการชนในลักษณะดังกล่าวมักส่งผลให้เกิดแรงมหาศาลกระทำกับฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้าง เช่น เสา (Column) หรือกำแพงรับแรงเฉือน (Shear Wall) วัตถุประสงค์ของมาตรฐานฉบับนี้ คือ การลดความเสียหายจากการปะทะ โดยการเสริมความแข็งแรงของฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างในระดับที่เพียงพอที่จะสามารถสะท้อนแรงชน หักเหแรงชน และเปลี่ยนทิศทางแรงชน ตลอดจนกระจายแรงชนผ่านโครงสร้างป้องกันที่มีผิวเรียบ ซึ่งก่อสร้างเป็นระยะทางช่วงหนึ่งตามแนวยาวของฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้าง เพื่อช่วยลดความสูญเสียของชีวิตของผู้โดยสารที่เดินทางมาพร้อมกับรถไฟ และผู้ซึ่งอาศัยอยู่ในโครงสร้างนั้น ตลอดจนความเสียหายต่อขบวนรถและสิ่งปลูกสร้าง

1.2 วัตถุประสงค์

มาตรฐานฉบับนี้กล่าวถึงข้อกำหนดขั้นต่ำเกี่ยวกับการออกแบบและการบริหารจัดการความเสี่ยงของสิ่งปลูกสร้างที่ก่อสร้างใกล้เคียงทางรถไฟในกรณีเกิดอุบัติเหตุรถไฟตกราง ซึ่งจะระบุแรงขั้นต่ำที่ใช้ในการออกแบบ แนวทางวิธีการจัดการสำหรับสิ่งปลูกสร้างดังกล่าว ทั้งมาตรการป้องกันการเกิดเหตุ มาตรการป้องกันการปะทะ ช่วงความเร็วของรถไฟที่อาจจะเดินรถผ่านบริเวณโครงสร้าง กลุ่มบุคคลที่จะได้รับผลกระทบและมีความเสี่ยงกรณีรถไฟตกราง ตลอดจนการประเมินความเสี่ยงที่จะเกิดเหตุรถไฟตกราง



1.3 ขอบเขตของมาตรฐาน

ขอบเขตการใช้งานมาตรฐาน ได้แก่

1.3.1 การออกแบบก่อสร้างสิ่งปลูกสร้าง หรือปรับปรุงสิ่งปลูกสร้างตามแนวเส้นทางขนส่งทางราง ที่ก่อสร้างระดับดิน ทั้งในเมืองและระหว่างเมือง ทั้งทางขนาด 1 เมตร และทางขนาดมาตรฐาน 1.435 เมตร เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นเมื่อรถไฟตกรางและชนเข้ากับสิ่งปลูกสร้าง ทั้งสิ่งปลูกสร้างชั้นเดียว หรือสิ่งปลูกสร้างหลายชั้น แต่ไม่รวมถึงสิ่งปลูกสร้างที่เป็นโครงสร้างเบา เช่น โครงสร้างหลังคา หรือโครงสร้าง กั้นสาดบริเวณชานชาลา

1.3.2 การออกแบบก่อสร้างสิ่งปลูกสร้าง หรือปรับปรุงสิ่งปลูกสร้างในแนวเส้นทางรถไฟที่ใช้เพื่อการโดยสารและการขนส่งสินค้า ทั้งในเส้นทางหลัก เส้นทางหลัก และเส้นทางบริเวณย่าน ที่มีความเร็วการเดินทางไม่เกิน 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และการประเมินความเสี่ยงเพื่อกำหนดมาตรการป้องกันโครงสร้างสิ่งปลูกสร้างตามแนวเส้นทางที่มีความเร็วการเดินทางมากกว่า 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

2. มาตรฐานอ้างอิง

- 1) UIC Code 777-2 (2002) Structures built over railway lines – Construction requirements in the track zone
- 2) EN 1991-1-7 (2006) Actions on structures – Part 1-7: General actions – Accidental actions
- 3) CIVIL-SR-012 (2011) Collision protection of supporting elements adjacent to railways,
- 4) AS 5100.1 (2017) Bridge design – Part 1: Scope and general principles
- 5) AS 5100.2 (2017) Bridge design – Part 2: Design loads
- 6) T HR TR 25000 ST (2017) Buffer stops
- 7) GC/GN5612 (2018) Guidance on loading requirements for the design of railway structures
- 8) AREMA Chapter 8 (2019) Concrete structures and foundations
- 9) มขร. - C - 011 - 2567 (2567) มาตรฐานพิกัดโครงสร้างทางรถไฟ (Structure Gauge)

3. คำนิยาม

1) การตกราง (derailment) หมายถึง เหตุการณ์ที่รถขนส่งทางราง หลุดออกจากทางวิ่ง อาจเกิดบางส่วน ของล้อหรือทั้งขบวนหลุดออกจากทางวิ่ง ส่งผลให้รถไฟไม่สามารถวิ่งต่อไปได้ หรือเกิดความเสียหายต่อ โครงสร้างทางรถไฟและรถขนส่งทางราง

2) แบนปะทะ (Buffer stop) หมายถึง อุปกรณ์ด้านความปลอดภัยที่ติดตั้งบริเวณปลายทางรถไฟ เพื่อป้องกันอุบัติเหตุกรณีรถไฟไม่หยุดในระยะที่กำหนดและวิ่งเลยออกจากแนวปลายทางรถไฟ

3) รางกั้น (Check rail หรือ Guard rail) หมายถึง รางที่ติดตั้งเพิ่มเติมจากรางหลักบนทางรถไฟ เพื่อช่วย นำล้อรถไฟเข้าสู่รางที่ถูกต้อง และป้องกันไม่ให้ล้อรถไฟตกราง

4) ฐานรองรับโครงสร้าง หมายถึง โครงสร้างส่วนที่รับน้ำหนักของสิ่งปลูกสร้าง เช่น เสา หรือกำแพง รับแรงเฉือน



5) พื้นที่อันตรายในเขตทางรถไฟ หมายถึง พื้นที่นับจากแนวกึ่งกลางทางรถไฟที่อยู่ใกล้ที่สุด กับขอบนอกสุดของสิ่งปลูกสร้างที่ก่อสร้างตามแนวเส้นทาง

4. สาเหตุการตกของรถไฟ

สาเหตุการตกของรถไฟอาจเกิดได้จากหลายกรณี ประกอบด้วย

4.1 สาเหตุจากปัญหาด้านการชำรุดของรางและอุปกรณ์เกี่ยวเนื่อง เช่น ข้อบกพร่องของราง (rail defects) รางแตกหัก (broken rail) อุปกรณ์สนับสนุนต่าง ๆ เช่น แผ่นรองราง (baseplates) และประแจ (turnout) ทำงานผิดพลาด

4.2 สาเหตุจากเรขาคณิตของราง เช่น รางมีการโก่งตัว (track warp) รางบิดตัว (track twist)

4.3 สาเหตุจากโครงสร้างตัวรถ เช่น การทำงานผิดพลาดของชุดล้อ (wheelset) โบกี้ (bogie) และปัญหาการรับน้ำหนักตัวรถ (loading)

4.4 สาเหตุจากการปฏิบัติการเดินรถ เช่น การเดินรถด้วยความเร็วสูงเกินกำหนด (over speeding) ระบบอาณัติสัญญาณทำงานผิดพลาด (signalling error) พนักงานควบคุมรถขนส่งทางรางปฏิบัติงานผิดพลาด (human error)

4.5 สาเหตุจากมีสิ่งกีดขวางบริเวณราง เช่น ดินถล่ม ต้นไม้ล้มขวาง ยานพาหนะกีดขวางทางรถไฟ

5. ประเภทของสิ่งปลูกสร้างในเขตขนส่งทางราง

โครงสร้างที่ก่อสร้างบนเส้นทาง จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ดังนี้

5.1 สิ่งปลูกสร้างประเภท ก.

สิ่งปลูกสร้างหลายชั้นซึ่งหากพังทลายลง จะส่งผลทำให้มีผู้เสียชีวิตและบาดเจ็บเป็นจำนวนมาก ได้แก่

1) สิ่งปลูกสร้างหลายชั้นที่มีคนอาศัยอยู่ประจำหรือกึ่งประจำ เช่น อาคารสำนักงาน อาคารสิ่งปลูกสร้างทางธุรกิจ อาคารคอนโดมิเนียม อาคารหอพัก อาคารโรงแรม สถานีรถไฟ

2) สิ่งปลูกสร้างหลายชั้นซึ่งใช้เป็นที่รวมตัวของกลุ่มคน เช่น โรงภาพยนตร์ โรงละคร

3) สิ่งปลูกสร้างหลายชั้นที่มีคนอาศัยอยู่ช่วงเวลาสั้น ๆ เช่น อาคารจอดรถโกดังสินค้า

5.2 สิ่งปลูกสร้างประเภท ข.

สิ่งปลูกสร้างชั้นเดียว หรือสิ่งปลูกสร้างที่ไม่ได้รองรับโครงสร้างเหนือขึ้นไป ซึ่งหากพังทลายลงอาจส่งผลทำให้มีผู้เสียชีวิตและบาดเจ็บ ได้แก่

1) สิ่งปลูกสร้างชั้นเดียวซึ่งไม่ได้รองรับการใช้งานระยะยาว เช่น ที่จอดรถ โกดังสินค้า ตลอดจนร้านอาหาร หรือตลาดที่ไม่มีผู้คนหนาแน่น

2) สิ่งปลูกสร้างที่ไม่ได้รองรับโครงสร้างเหนือขึ้นไป และมีการใช้งานบางช่วงเวลา เช่น ถนน สะพานรถยนต์ สะพานรถไฟ สะพานลอยคนข้าม หรือโครงสร้างอื่น ๆ ในลักษณะเดียวกัน

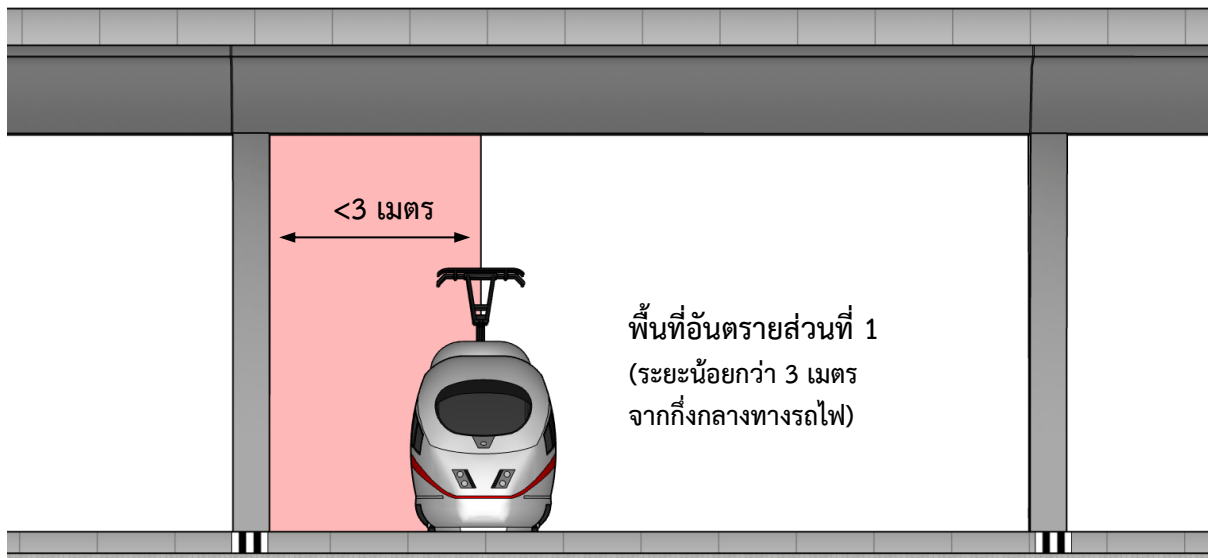
อย่างไรก็ตามในการออกแบบให้คำนึงถึงรูปแบบการใช้งานและความปลอดภัยเป็นหลัก ในบางกรณีสิ่งปลูกสร้างประเภท ข. อาจมีรูปแบบพฤติกรรมการใช้งานเช่นเดียวกับประเภท ก. เช่น โครงสร้างสะพานขนาดใหญ่ที่อยู่ในเขตพื้นที่เมืองซึ่งมีปริมาณการจราจรหนาแน่น ผู้ออกแบบอาจพิจารณาออกแบบโดยใช้เกณฑ์การออกแบบที่สูงขึ้นเพื่อความปลอดภัย

6. พื้นที่อันตรายในเขตทางรถไฟ

พื้นที่นับจากแนวกึ่งกลางทางรถไฟที่อยู่ใกล้สิ่งปลูกสร้างมากที่สุด กับขอบนอกสุดของสิ่งปลูกสร้างที่ก่อสร้างตามแนวเส้นทาง โดยพื้นที่แต่ละกลุ่มจะมีความเสี่ยงแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระยะห่างจากแนวกึ่งกลางทางรถไฟ และจะมีความเสี่ยงเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะห่างดังกล่าวลดลง โดยพื้นที่อันตรายแต่ละกลุ่มประกอบด้วย

6.1 พื้นที่อันตรายส่วนที่ 1

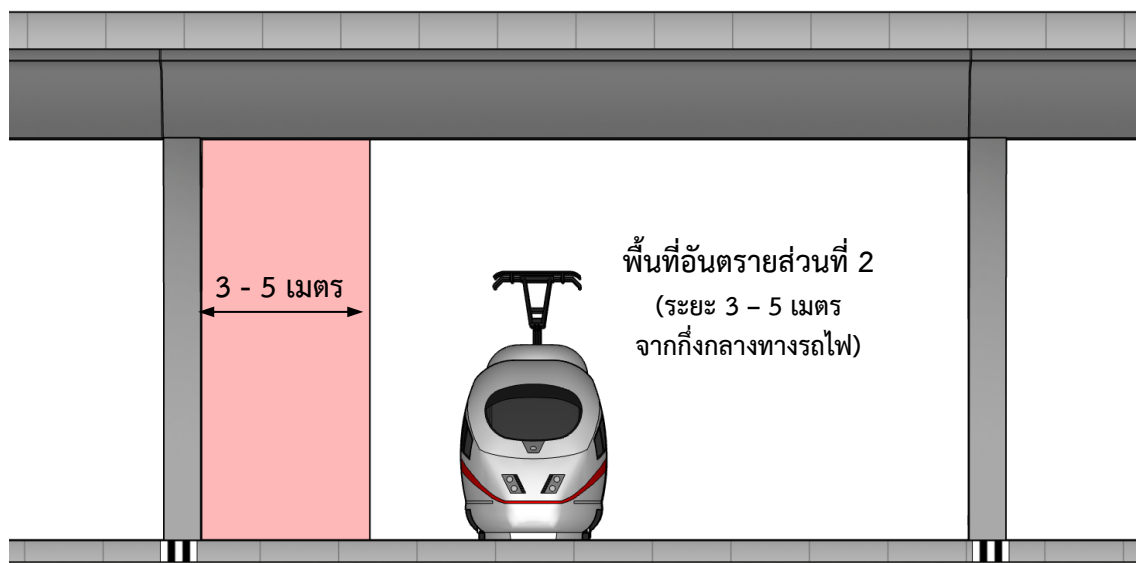
พื้นที่ซึ่งมีระยะในแนวราบน้อยกว่า 3.0 เมตร จากกึ่งกลางทางรถไฟ (รูปที่ 6-1)



รูปที่ 6-1 พื้นที่อันตรายส่วนที่ 1

6.2 พื้นที่อันตรายส่วนที่ 2

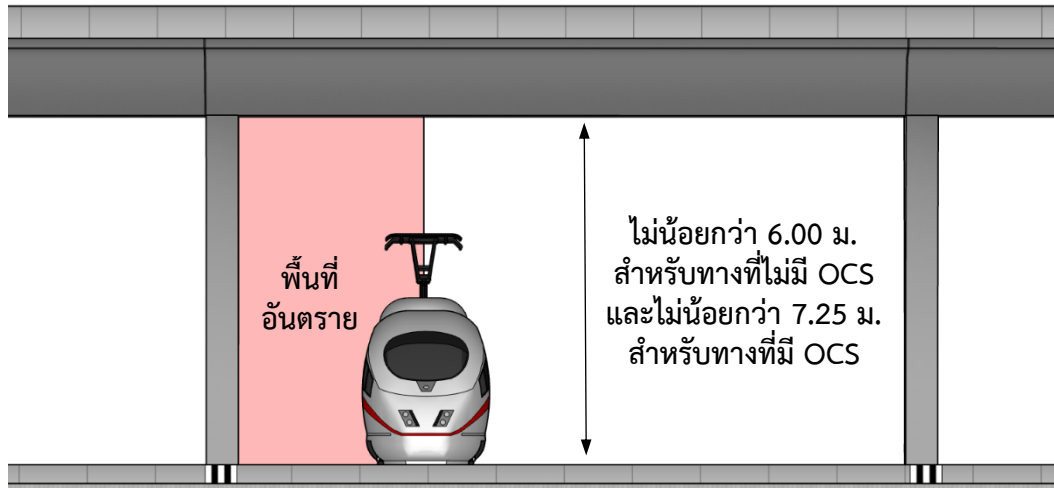
พื้นที่ซึ่งมีระยะในแนวราบระหว่าง 3.0 เมตร จนถึง 5.0 เมตร จากกึ่งกลางทางรถไฟ (รูปที่ 6-2)



รูปที่ 6-2 พื้นที่อันตรายส่วนที่ 2



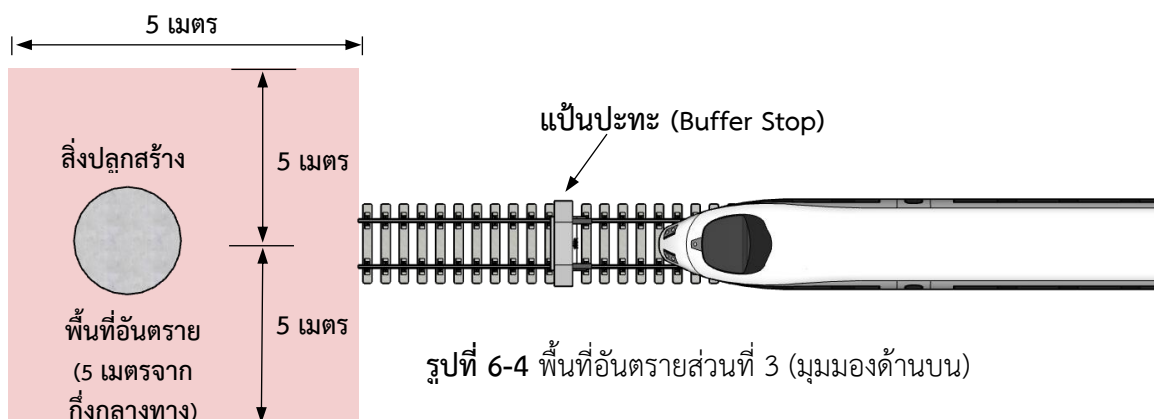
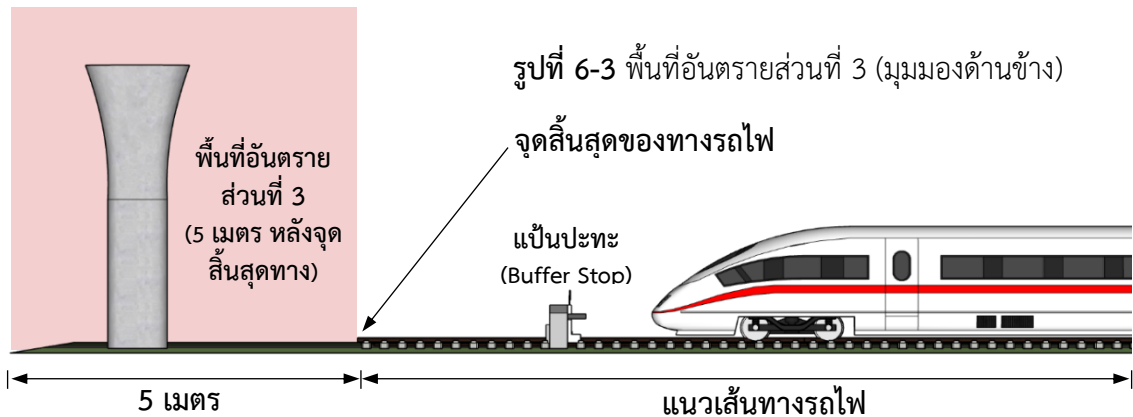
ทั้งนี้ นอกจากพื้นที่อันตรายส่วนที่ 1 และ 2 แล้ว ในกรณีที่ต้องก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างเหนือทางรถไฟ ให้ระยะจากสันรางถึงส่วนล่างสุดของสิ่งปลูกสร้างมีความสูงไม่น้อยกว่า 6.00 เมตร สำหรับทางรถไฟที่ไม่มี การติดตั้งระบบจ่ายไฟฟ้าเหนือราง (Overhead Catenary System : OCS) และสูงไม่น้อยกว่า 7.25 เมตร สำหรับทางรถไฟที่ติดตั้งระบบจ่ายไฟฟ้าเหนือราง (OCS) ทั้งนี้ ผู้ออกแบบควรมีการคำนึงถึงแผนการพัฒนา ด้านระบบรางในอนาคต (รูปที่ 6-3)



รูปที่ 6-3 ความสูงขั้นต่ำของสิ่งปลูกสร้างจากระดับสันราง

6.3 พื้นที่อันตรายส่วนที่ 3

พื้นที่ซึ่งอยู่ด้านหลังจากจุดสิ้นสุดของทางรถไฟ โดยมีระยะห่างจากจุดสิ้นสุดของทางออกไปเป็นระยะ 5.0 เมตร และอยู่ห่างจากจุดกึ่งกลางทางรถไฟออกไปด้านละ 5.0 เมตร (รูปที่ 6-3 และ 6-4)





7. กลุ่มความเร็วที่เดินรถ

การออกแบบสิ่งปลูกสร้างตามแนวเส้นทางรถไฟ จำเป็นต้องคำนึงถึงความเร็วที่เดินรถในเส้นทางนั้น ๆ โดยหากเส้นทางรถไฟมีความเร็วในการเดินรถสูง เมื่อเกิดอุบัติเหตุจะส่งผลให้เกิดความเสียหายและความสูญเสียมากขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มมาตรการป้องกันมากขึ้น โดยพื้นที่แต่ละกลุ่มความเร็ว ประกอบด้วย

7.1 ความเร็วกลุ่มที่ 1

สิ่งปลูกสร้างตามแนวเส้นทางรถไฟ ที่มีการปฏิบัติการเดินรถไฟด้วยความเร็วมากกว่า 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ถึง 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

7.2 ความเร็วกลุ่มที่ 2

สิ่งปลูกสร้างตามแนวเส้นทางรถไฟ ที่มีการปฏิบัติการเดินรถไฟด้วยความเร็วมากกว่า 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ถึง 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

7.3 ความเร็วกลุ่มที่ 3

สิ่งปลูกสร้างตามแนวเส้นทางรถไฟ ที่มีรถไฟลากจูง (Shunting) หรือสับเปลี่ยน (Marshalling) ให้บริการซึ่งมีความเร็วสูงสุด 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

7.4 ความเร็วกลุ่มอื่น ๆ

สิ่งปลูกสร้างตามแนวเส้นทางรถไฟ ที่มีการปฏิบัติการเดินรถไฟด้วยความเร็วมากกว่า 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ถึง 300 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

8. ปัจจัยความเสี่ยงอื่นที่ต้องพิจารณา

8.1 นอกเหนือจากเกณฑ์การออกแบบตามข้อกำหนดดังกล่าวข้างต้นแล้ว ควรพิจารณาปัจจัยเสี่ยงอื่น ๆ เพิ่มเติม ดังนี้

- 1) จำนวนของผู้คนที่อยู่ภายในสิ่งปลูกสร้าง
- 2) จำนวนของผู้โดยสารที่อยู่ภายในขบวนรถ
- 3) ความถี่ในการเดินรถ
- 4) ประเภทของรถที่ใช้ทางรถไฟดังกล่าว (เช่น รถไฟโดยสาร รถไฟขนส่งสินค้า)
- 5) จำนวนของทางรถไฟ (เช่น ทางเดี่ยว ทางคู่ ทางสาม หรือมากกว่า)
- 6) ประแจและจุดตัดทางรถไฟที่อยู่ใกล้เคียง
- 7) รัศมีความโค้งของทางรถไฟ

8) ประเภทและองค์ประกอบของสิ่งปลูกสร้างนั้น (เช่น ความสำคัญของสิ่งปลูกสร้าง ความสูงของสิ่งปลูกสร้าง หรือสภาพของพื้นที่โดยรอบสิ่งปลูกสร้าง)

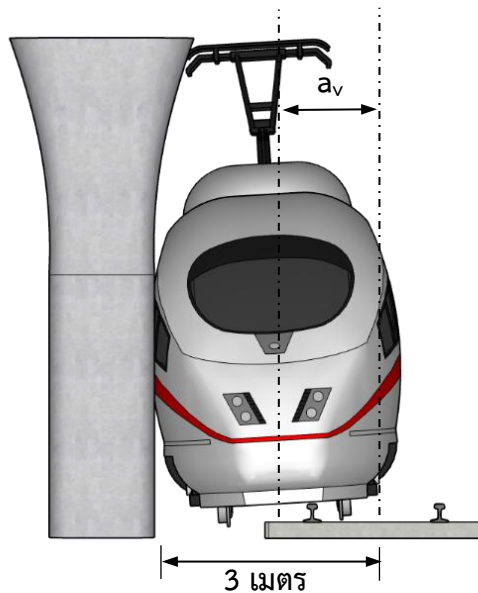
8.2 ในการพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ตามข้อ 8.1 ให้พิจารณาไม่เพียงเฉพาะการใช้งานในปัจจุบันอย่างเดียว แต่รวมถึงการคาดการณ์รูปแบบการใช้งานและการใช้ประโยชน์ของทางรถไฟและสิ่งปลูกสร้างในอนาคต

8.3 หากผู้ออกแบบพิจารณาปัจจัยความเสี่ยงตามข้อ 8.1 แล้ว เห็นว่าสิ่งปลูกสร้างดังกล่าวมีปัจจัยความเสี่ยงเพิ่มมากขึ้น ผู้ออกแบบอาจออกแบบโครงสร้างโดยใช้เกณฑ์การออกแบบที่สูงขึ้น

9. รูปแบบการชนของรถไฟที่ตกรางกับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างในเขตทางรถไฟ

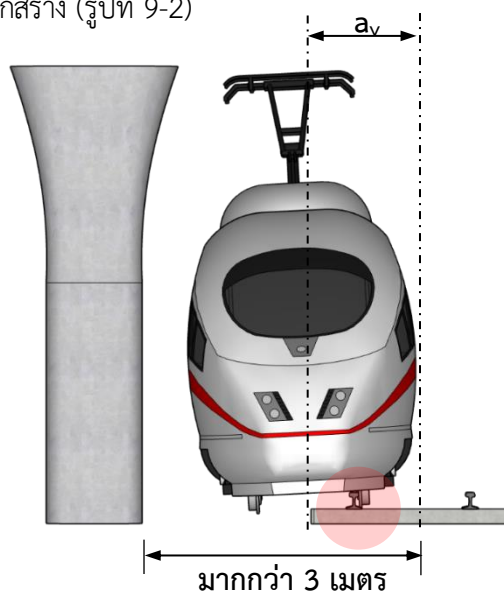
ตัวอย่างการชนโดยทั่วไปในพื้นที่อันตรายส่วนที่ 1 - 2 มีลักษณะดังนี้

9.1 กรณีฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างมีระยะห่างจากกึ่งกลางทางน้อยกว่า 3 เมตร เมื่อรถไฟตกรางรถไฟจะเคลื่อนตัวหลุดออกจากแนวรางเป็นระยะทาง a_v และชนเข้ากับสิ่งปลูกสร้าง (รูปที่ 9-1)



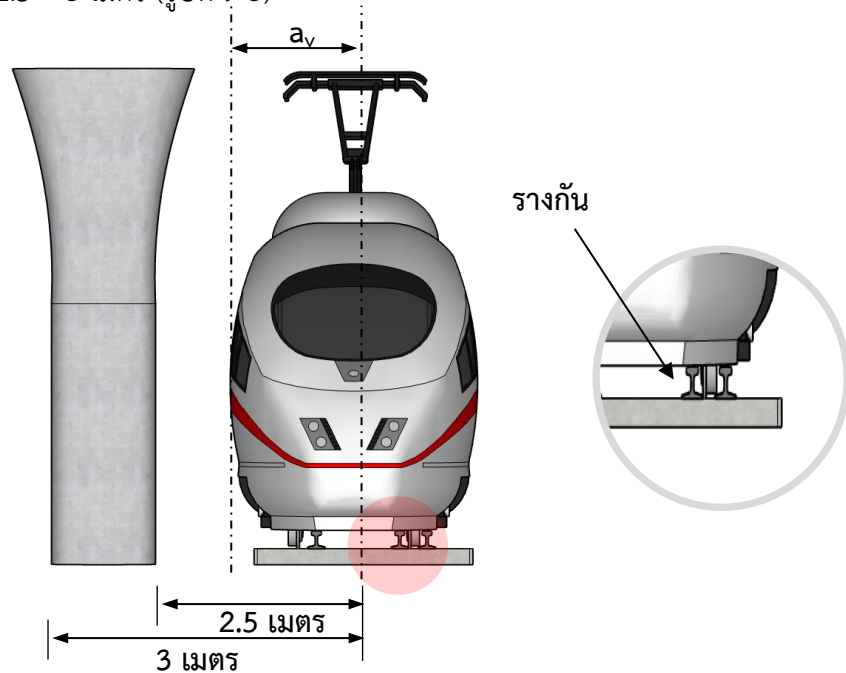
รูปที่ 9-1 ภายในพื้นที่อันตรายส่วนที่ 1 เมื่อรถไฟตกรางรถไฟจะชนเข้ากับสิ่งปลูกสร้าง

9.2 กรณีฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างมีระยะห่างจากกึ่งกลางทางมากกว่า 3 เมตร เมื่อรถไฟตกรางและเคลื่อนตัวหลุดออกจากแนวรางเป็นระยะทาง (a_v) (ประมาณเท่ากับความกว้างของทาง) รางฝั่งด้านนอกจะทำหน้าที่เสมือนเป็นรางกันเพื่อไม่ให้ขบวนรถหลุดออกจากแนวเส้นทางและชนกับฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้าง (รูปที่ 9-2)



รูปที่ 9-2 พื้นที่อันตรายส่วนที่ 2 รางฝั่งด้านนอกจะช่วยป้องกันขั้นหนึ่งก่อนชนเข้ากับฐานรองรับโครงสร้าง

9.3 กรณีฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างเดิมที่สร้างไว้อยู่ก่อนหน้า มีระยะห่างน้อยกว่า 3 เมตร และทำการแก้ไขได้ยาก อาจเพิ่มการป้องกันโดยการติดตั้งรางกันเพื่อช่วยจำกัดระยะทางที่รถเคลื่อนตัวหลุดออกจากราง ภายในเขต 2.5 – 3 เมตร (รูปที่ 9-3)

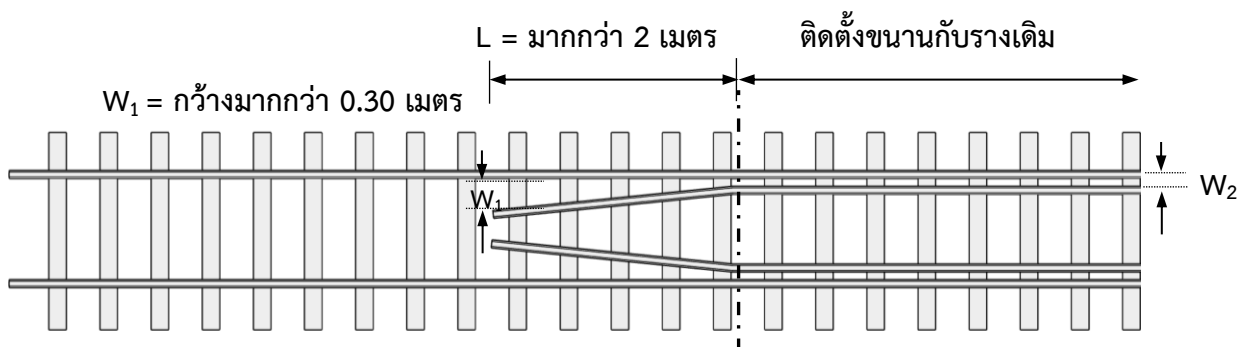


รูปที่ 9-3 การติดตั้งรางกันเพื่อลดอันตรายจากการตกราง

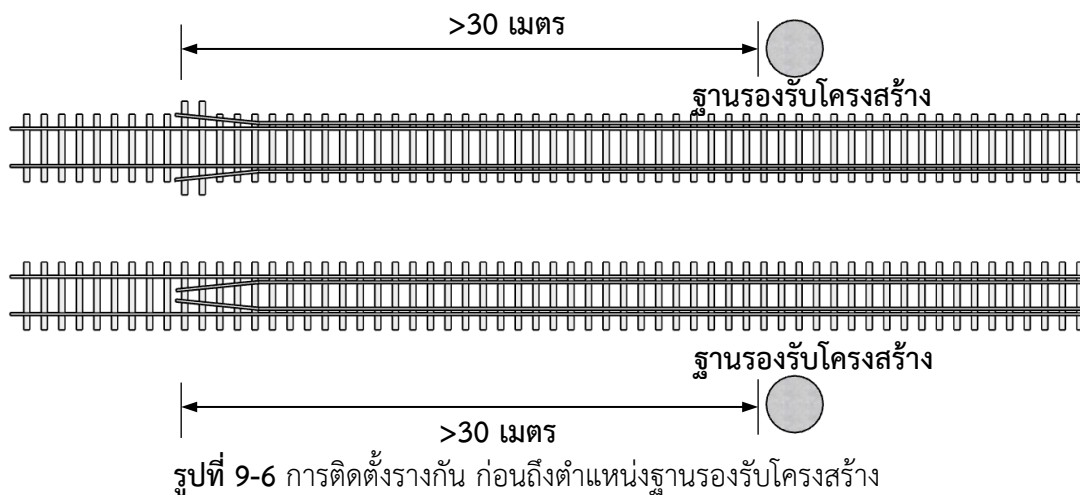
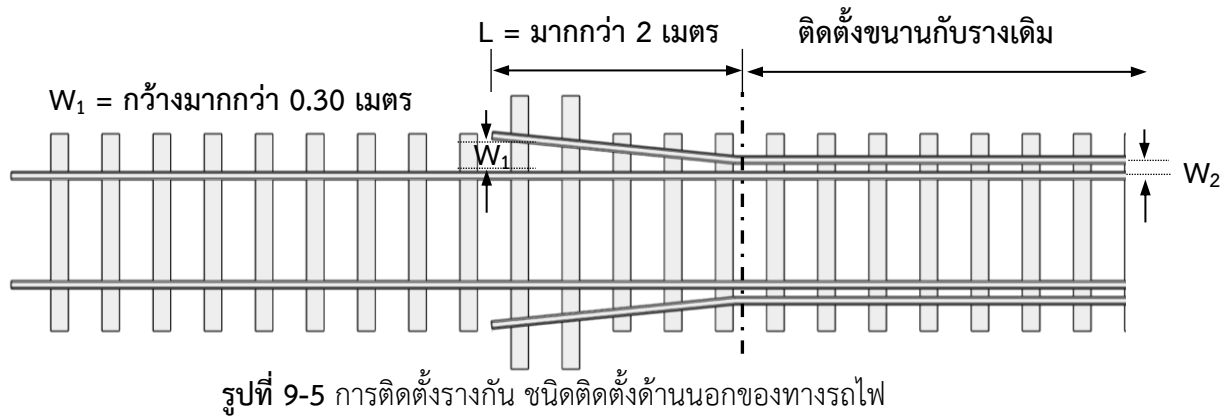
ทั้งนี้ สามารถติดตั้งรางกันกับโครงสร้างที่มีระยะห่างมากกว่า 3 เมตร เพื่อเพิ่มความปลอดภัยได้อีกชั้นหนึ่ง

9.4 รางกันจะมีประสิทธิภาพช่วยป้องกันรถไฟตกรางได้ค่อนข้างมาก หากติดตั้งในทางรถไฟที่มีการเดินรถด้วยความเร็วไม่สูงมาก เช่น ความเร็วกลุ่มที่ 3 (ทางรถไฟที่มีการลากจูงหรือสับเปลี่ยน)

9.5 การติดตั้งรางกันเพื่อป้องกันรถไฟตกราง รางกันควรมีความยาว (L) อย่างน้อย 2 เมตร ความกว้าง (W_1) ควรมากกว่า 0.30 เมตร และควรติดตั้งเป็นระยะทางไม่น้อยกว่า 30 เมตร ก่อนถึงฐานรองรับโครงสร้างระยะห่างในแนวขนาน (W_2) อาจพิจารณาตามความเหมาะสม สอดคล้องกับขบวนรถที่เดินรถบนทางรถไฟดังกล่าว หรืออาจใช้ค่าประมาณ 0.20 เมตร (รูปที่ 9-4 ถึง 9-6)



รูปที่ 9-4 การติดตั้งรางกัน ชนิดติดตั้งด้านในของทางรถไฟ



10. การออกแบบเพื่อป้องกันโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างประเภท ก.

ควรหลีกเลี่ยงการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างบริเวณทางรถไฟ และให้ก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างห่างจากทางรถไฟให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ อย่างไรก็ตาม หากไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ในขั้นตอนการออกแบบ ให้ออกแบบโดยกำหนดขนาดของโครงสร้าง กันชน และอุปกรณ์ป้องกันการชน อย่างน้อยดังนี้

10.1 รูปแบบการป้องกันโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างประเภท ก. ในพื้นที่อันตรายส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2

10.1.1 การออกแบบฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างในลักษณะเป็นกำแพงต่อเนื่อง ฐานรองรับโครงสร้างควรมีลักษณะดังนี้

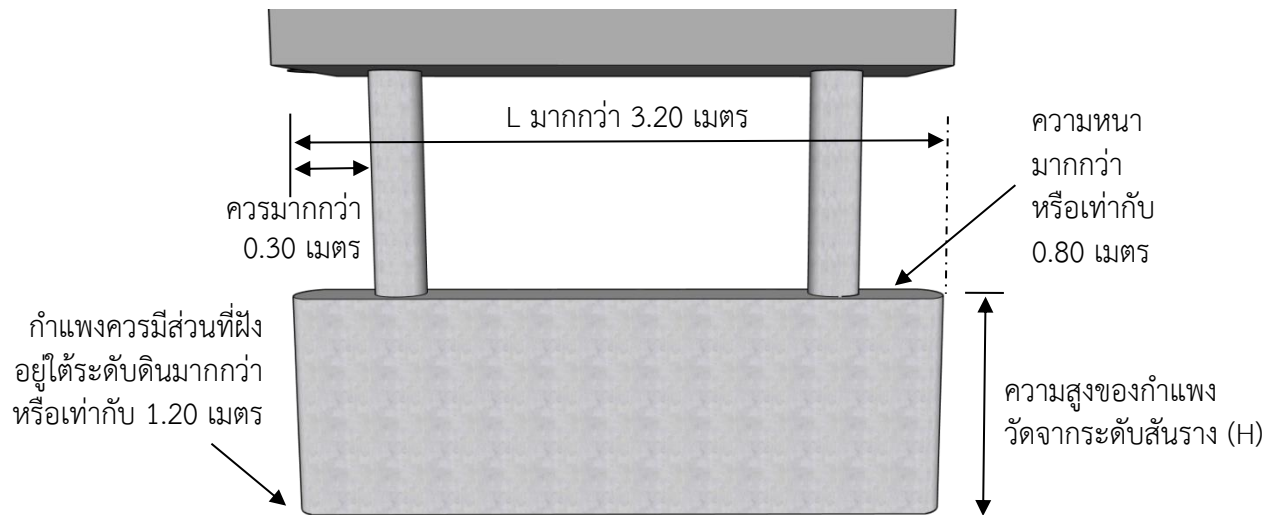
- 1) กำแพงมีความหนาอย่างน้อย 0.80 เมตร
- 2) กำแพงควรมีส่วนที่ฝังอยู่ใต้ระดับพื้นดินลึกมากกว่าหรือเท่ากับ 1.20 เมตร
- 3) กำแพงควรมีขนาดและสัดส่วนขั้นต่ำดังนี้
 - 3.1) $W \geq 0.80$ (ความหนามากกว่าหรือเท่ากับ 0.80 เมตร)
 - 3.2) $L : W = 4 : 1$ (ความยาวคิดเป็นสี่เท่าของความกว้าง)
 - 3.3) $L \geq H/2$ (ความยาวมากกว่าหรือเท่ากับครึ่งหนึ่งของความสูง)

โดย L = ความยาวของกำแพง (เมตร) W = ความกว้างของกำแพง (เมตร) และ H = ความสูงของกำแพงเมื่อวัดจากระดับส้นราง (เมตร)

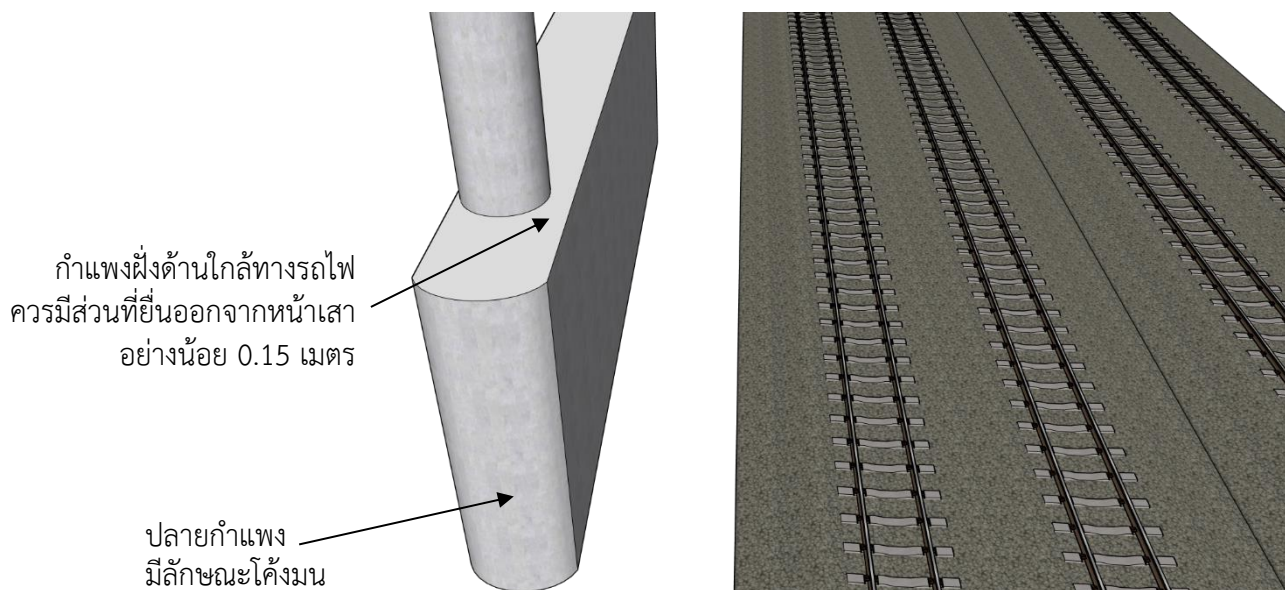
4) กำแพงควรมีส่วนยื่นออกจากหน้าเสาในฝั่งใกล้เคียงกับทางรถไฟมากกว่าหรือเท่ากับ 0.15 เมตร และหากมีทางรถไฟผ่านทั้งสองฝั่งของโครงสร้าง ให้มีกำแพงหุ้มทั้งสองฝั่งของโครงสร้าง

5) ผิวของกำแพงมีลักษณะเรียบ และปลายของกำแพงมีลักษณะโค้งมน

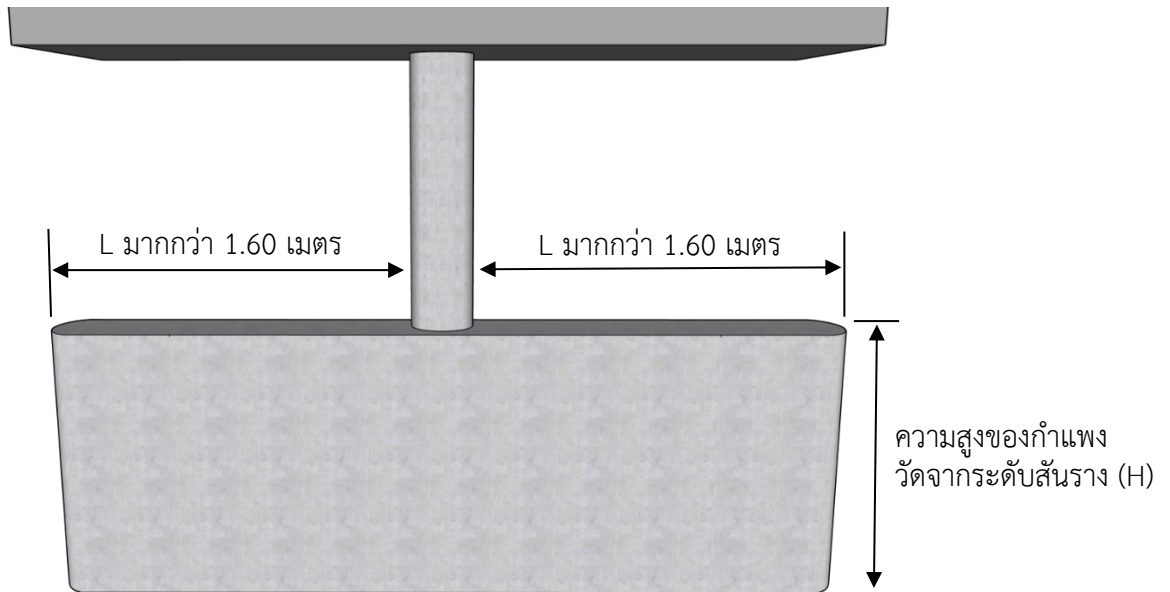
10.1.2 ผู้ออกแบบอาจออกแบบฐานรองรับโครงสร้างส่วนล่างให้เป็นกำแพงต่อเนื่องเพื่อป้องกันความเสียหายเมื่อเกิดอุบัติเหตุรถไฟตกราง โดยส่วนที่เป็นกำแพงต่อเนื่องมีความสูง และขนาดไม่น้อยกว่าที่กำหนดตามข้อ 10.1.1 รายละเอียดตามรูปที่ 10-1 ถึง 10-3



รูปที่ 10-1 รูปแบบและขนาดฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างกรณีออกแบบให้เป็นกำแพงต่อเนื่อง



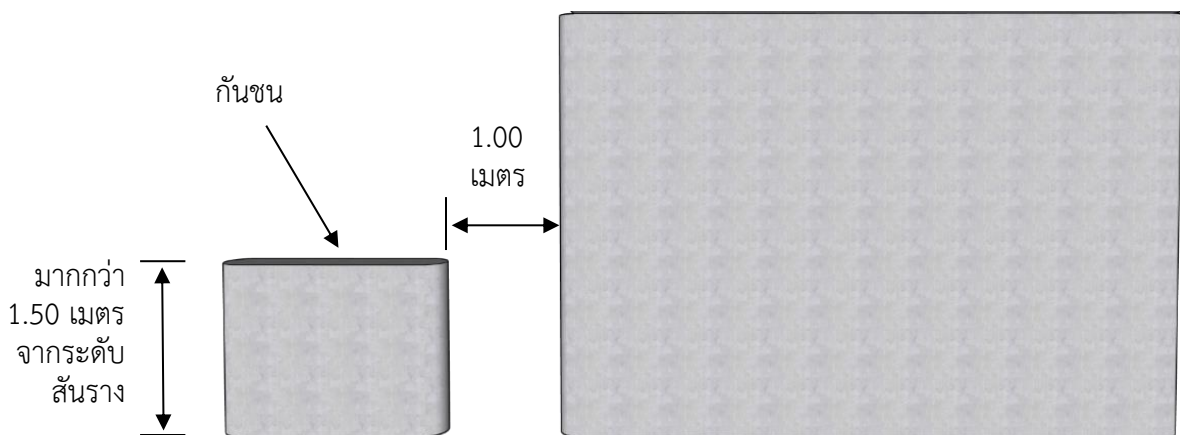
รูปที่ 10-2 รูปแบบและขนาดฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างกรณีออกแบบให้เป็นกำแพงต่อเนื่อง



รูปที่ 10-3 รูปแบบและขนาดฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้าง
กรณีออกแบบให้เป็นกำแพงต่อเนื่อง

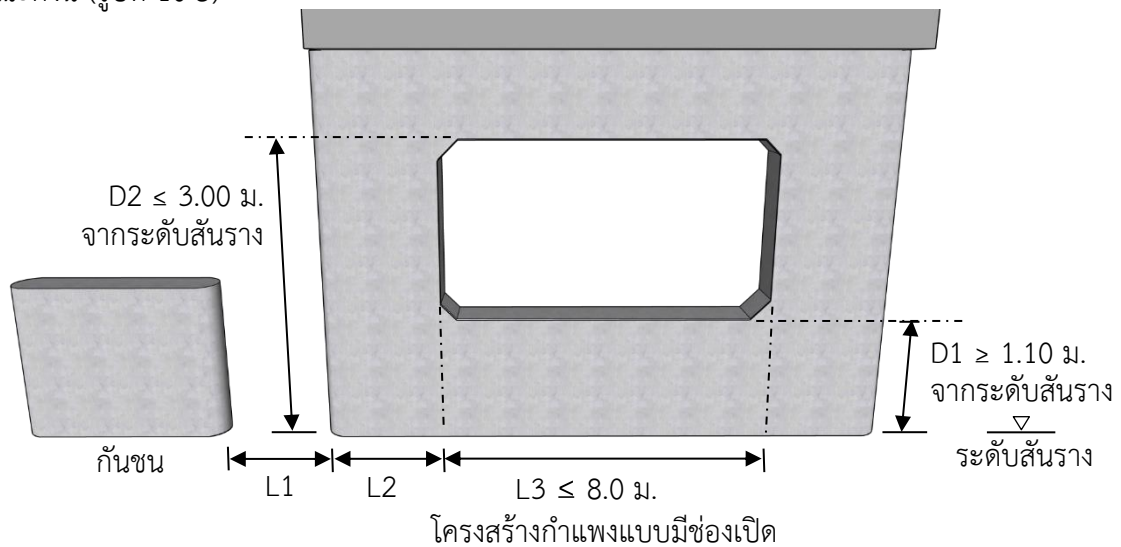
10.1.3 กรณีหากไม่สามารถออกแบบฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างให้รับแรงกระทำขั้นต่ำจากรถไฟที่ตกรางได้ ผู้ออกแบบอาจพิจารณาออกแบบให้มีโครงสร้างกันชนบริเวณด้านหน้าฐานรองรับโครงสร้าง โดยโครงสร้างกันชนควรมีลักษณะดังนี้ (รูปที่ 10-4)

- 1) กันชนมีความสูงมากกว่า 1.50 เมตร หนามากกว่า 0.80 เมตร
- 2) กันชนมีระยะห่างจากโครงสร้าง 1.00 เมตร
- 3) ผิวของกันชนมีลักษณะเรียบ และปลายของกันชนมีลักษณะโค้งมน



รูปที่ 10-4 รูปแบบและขนาดของฐานรองรับโครงสร้าง กรณีออกแบบให้มีกันชนบริเวณด้านหน้า

10.1.4 กรณีออกแบบฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างให้เป็นกำแพงแบบมีช่องเปิดจากก่อสร้างในลักษณะดังนี้ (รูปที่ 10-5)



รูปที่ 10-5 รูปแบบและขนาดของฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้าง กรณีออกแบบให้มีกันชนบริเวณด้านหน้าฐานรองรับโครงสร้าง และฐานรองรับโครงสร้างมีช่องเปิด

โดย	$L1$	คือ	ระยะห่างระหว่างกันชนและฐานรองรับโครงสร้าง มีขนาด 1.00 เมตร
	$L2$	คือ	ระยะกว้างจากขอบของโครงสร้างของฐานรองรับโครงสร้างจนถึงช่องเปิด มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับครึ่งหนึ่งของความกว้างช่องเปิด และมากกว่าหรือเท่ากับ 3 เมตร ($L2 \geq L3/2$ และ $L2 \geq 3.00$ เมตร)
	$L3$	คือ	ความกว้างของช่องเปิดมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 8.0 เมตร
	$D1$	คือ	ความสูงของสันรางจนถึงส่วนล่างของช่องเปิด สูงมากกว่าหรือเท่ากับ 1.10 เมตร
	$D2$	คือ	ความสูงของสันรางจนถึงส่วนบนของช่องเปิด สูงน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3.0 เมตร

10.2 รูปแบบการป้องกันโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างประเภท ก. ในพื้นที่อันตรายส่วนที่ 3

10.2.1 สิ่งปลูกสร้างที่อยู่ในพื้นที่อันตรายส่วนที่ 3 สามารถกำหนดรูปแบบของฐานรองรับโครงสร้างได้อย่างอิสระ อย่างไรก็ตาม ฐานรองรับโครงสร้างควรรับแรงชนได้ไม่น้อยกว่าแรงขั้นต่ำตามข้อ 12.6 และบริเวณสิ้นสุดปลายราง ควรมีการติดตั้งแป้นปะทะ (Buffer Stop) และติดตั้งกำแพงป้องกันโครงสร้างเพื่อป้องกันอีกชั้นหนึ่งบริเวณด้านหลังของแป้นปะทะ เพื่อป้องกันอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นกับฐานรองรับโครงสร้างกรณีรถไฟไม่หยุดในระยะที่กำหนด

10.2.2 แป้นปะทะ (Buffer Stop)

1) ในการปฏิบัติการเดินรถปกติ รถไฟควรหยุดก่อนถึงแป้นปะทะเป็นระยะทาง 5.00 เมตร เพื่อลดความเสี่ยงและป้องกันความเสียหายในการชนระหว่างรถไฟและแป้นปะทะ โดยแป้นปะทะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการทำงานของแป้นปะทะ ประกอบด้วยแป้นปะทะแบบดูดซับพลังงาน (Energy absorbing buffer stop) และแป้นปะทะแบบยึดตรึง (Fixed buffer stop)



1.1) แบนปะทะแบบดูดซับพลังงาน

แบ่งออกเป็น 3 ประเภทย่อย ประกอบด้วย

ก. แบนปะทะแบบเสียดทาน

แบนปะทะดังกล่าวจะใช้สำหรับในกรณีที่มีพื้นที่เพียงพอในการติดตั้งและเพียงพอในการหยุดรถไฟ เนื่องจากกลไกการทำงานของแบนปะทะจะมีการเลื่อนไถลตามแนวเส้นทางรถไฟไปพร้อมกับรถไฟที่ค่อย ๆ ลดความเร็วลงจนหยุดนิ่ง แบนปะทะแบบเสียดทานสามารถติดตั้งได้ทั้งในพื้นที่เส้นทางหลัก ทางหลัก และพื้นที่บริเวณย่านซ่อมบำรุง

ข. แบนปะทะแบบไฮดรอลิก

แบนปะทะแบบไฮดรอลิกจะทำหน้าที่สลายพลังงานจากรถไฟภายหลังการชน โดยอุปกรณ์แกนไฮดรอลิกซึ่งจะเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของขบวนรถ โดยรถไฟที่ค่อย ๆ ลดความเร็วลงจนหยุดนิ่ง แบนปะทะแบบไฮดรอลิก สามารถติดตั้งได้ทั้งในพื้นที่เส้นทางหลัก และทางหลัก

ค. แบนปะทะแบบเสียดทานและไฮดรอลิก

แบนปะทะดังกล่าวจะใช้กลไกการทำงานควบคู่กันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหยุดรถและสามารถติดตั้งในพื้นที่ที่รถไฟมีความเร็วสูงขึ้น เมื่อเกิดการปะทะของรถไฟ แกนไฮดรอลิกจะช่วยลดแรงปะทะจากขบวนรถ ในขณะที่พลังงานบางส่วนจะถูกส่งถ่ายผ่านไปยังโครงสร้างของแบนปะทะส่งผลให้แบนปะทะเกิดการเลื่อนไถลจนรถไฟหยุด

1.2) แบนปะทะแบบยึดตรึง

แบนปะทะแบบยึดตรึงอาจยินยอมให้ใช้ในจุดสิ้นสุดทางรถไฟในเส้นทางที่รถไฟมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่สูงนัก เช่น ทางรถไฟสำหรับเข้าศูนย์ซ่อมบำรุง

2) ภายในบริเวณพื้นที่อันตรายส่วนที่ 3 ควรมีการติดตั้งแบนปะทะ ดังนี้

ตารางที่ 10-1 แสดงรูปแบบการติดตั้งแบนปะทะ (Buffer Stop) สำหรับในแต่ละประเภททางรถไฟ

ประเภทของแบนปะทะ	รถไฟบรรทุกผู้โดยสาร	รถไฟโดยสารเปล่า	รถไฟสินค้า	รถซ่อมบำรุง
1. ทางรถไฟที่มีสิ่งปลูกสร้าง	ดูดซับพลังงาน	ดูดซับพลังงาน	ดูดซับพลังงาน	-
2. ทางรถไฟไม่มีสิ่งปลูกสร้าง				
2.1 เส้นทางหลัก	ทางสร้างใหม่ - ดูดซับพลังงาน ทางรถไฟเดิม - ดูดซับพลังงาน หรือยึดตรึง	ทางสร้างใหม่ - ดูดซับพลังงาน ทางรถไฟเดิม - ดูดซับพลังงาน หรือยึดตรึง	ทางสร้างใหม่ - ดูดซับพลังงาน ทางรถไฟเดิม - ดูดซับพลังงาน หรือยึดตรึง	-
2.2 เส้นทางหลักสำหรับพักรอหรือกลับรถ	-	ทางสร้างใหม่ - ดูดซับพลังงาน ทางรถไฟเดิม - ดูดซับพลังงาน หรือยึดตรึง	-	-
2.3 เส้นทางหลักสำหรับซ่อมบำรุง	-	-	-	ดูดซับพลังงาน หรือยึดตรึง
2.4 เส้นทางหลักสำหรับรถไฟสินค้า	-	-	ดูดซับพลังงาน หรือยึดตรึง	-
2.5 เส้นทางในศูนย์บำรุง	-	ดูดซับพลังงาน หรือยึดตรึง	ดูดซับพลังงาน หรือยึดตรึง	-



11. หน่วยแรงที่ใช้ในการออกแบบเพื่อป้องกันโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างประเภท ก.

ในการออกแบบ ควรหลีกเลี่ยงการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างบริเวณทางรถไฟ และให้ก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างห่างจากทางรถไฟให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ อย่างไรก็ตาม หากไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ในขั้นตอนการออกแบบ ควรออกแบบโดยกำหนดให้สิ่งปลูกสร้างสามารถรับแรงกระทำเทียบเท่าเพื่อป้องกันการชนจากรถไฟที่ตกราง

11.1 ทิศทางของแรงจากรถไฟที่ตกรางที่กระทำเข้ากับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างประเภท ก.

11.1.1 ในการออกแบบฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้าง ควรคำนึงถึงแรงชนจากรถไฟที่ตกรางที่กระทำกับฐานรองรับโครงสร้าง โดยทั่วไปแรงกระทำดังกล่าวจะเป็นแรงกระทำเทียบเท่าในแนวราบ กระทำกับฐานรองรับของโครงสร้างที่ความสูง 1.8 เมตร จากระดับสันรางรถไฟ (รูปที่ 11-1)

11.1.2 นอกเหนือจากแรงกระทำเทียบเท่านี้แล้ว การออกแบบฐานรองรับโครงสร้างควรมีการพิจารณารวมน้ำหนักบรรทุกทุกถาวร และน้ำหนักบรรทุกจรอื่น ๆ ประกอบการพิจารณาด้วย

11.1.3 ควรพิจารณาแรงกระทำเทียบเท่าจากรถไฟที่ตกราง กับชิ้นส่วนของสิ่งปลูกสร้างอื่น ๆ ที่อยู่ต่อเนื่องกับฐานรองรับ ทั้งส่วนที่อยู่ใต้ฐานรองรับ และส่วนที่อยู่เหนือฐานรองรับด้วย

11.1.4 ในการออกแบบควรมีการตรวจสอบสิ่งปลูกสร้างที่ออกแบบไว้ทุกชิ้นส่วน เพื่อให้มั่นใจได้ว่าในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ชนแบบรุนแรง ฐานรองรับจะสามารถรองรับน้ำหนักจากสิ่งปลูกสร้างได้ แม้ฐานรองรับบริเวณจุดที่ชนและบริเวณใกล้เคียงจุดที่ชนจะพังทลายไป และสิ่งปลูกสร้างมีหน้าตัดของฐานรองรับเหลืออยู่เพียงบางส่วนของหน้าตัดทั้งหมด

11.1.5 มาตรฐานฉบับนี้ ได้กำหนดแรงสำหรับใช้ในการออกแบบเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างเพื่อป้องกันการวิบัติจากการชนกรณีเกิดอุบัติเหตุรถไฟที่ตกราง ทั้งนี้ ผู้ออกแบบอาจพิจารณามาตรการอื่น ๆ นอกเหนือจากแรงในมาตรฐานฉบับนี้ เช่น การจัดระบบโครงสร้างให้มีความต่อเนื่อง (continuity) และมีเสถียรภาพส่วนเกิน (redundancy) เพื่อช่วยจำกัดพื้นที่การวิบัติในกรณีที่ระบบหรือชิ้นส่วนโครงสร้างเกิดความเสียหายจากอุบัติเหตุการชนของรถไฟตกราง รวมถึงการออกแบบเพื่อป้องกันการวิบัติอย่างต่อเนื่อง (progressive collapse)

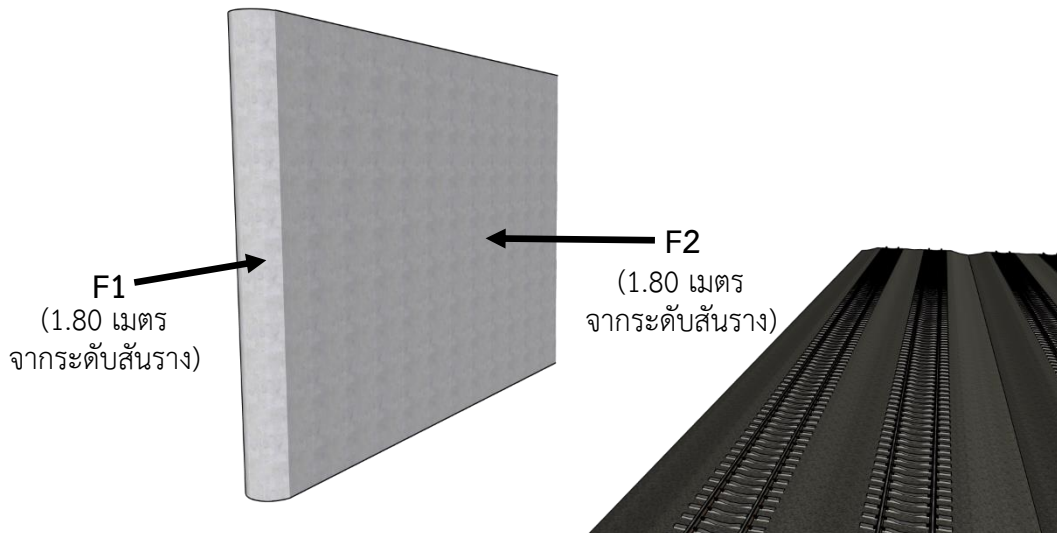
11.2 โครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างประเภท ก. พื้นที่อันตรายส่วนที่ 1 กลุ่มความเร็วที่ 1 2 และ 3

11.2.1 ฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างควรมีการออกแบบให้มีลักษณะเป็นกำแพงต่อเนื่อง โดยควรต้านทานแรงได้อย่างน้อย ดังนี้

1) $F_1 = 10,000$ กิโลนิวตัน ในแนวขนานกับทางรถไฟ และ

2) $F_2 = 3,500$ กิโลนิวตัน ในแนวตั้งฉากกับทางรถไฟ

โดยให้แรง F_1 และ F_2 กระทำพร้อมกันกับฐานรองรับโครงสร้างที่ความสูง 1.8 เมตร จากระดับสันราง และนำค่าแรงดังกล่าวไปใช้ในการคำนวณในการรวมแรงหรือน้ำหนักบรรทุก (Load case) แยกในแต่ละกรณี

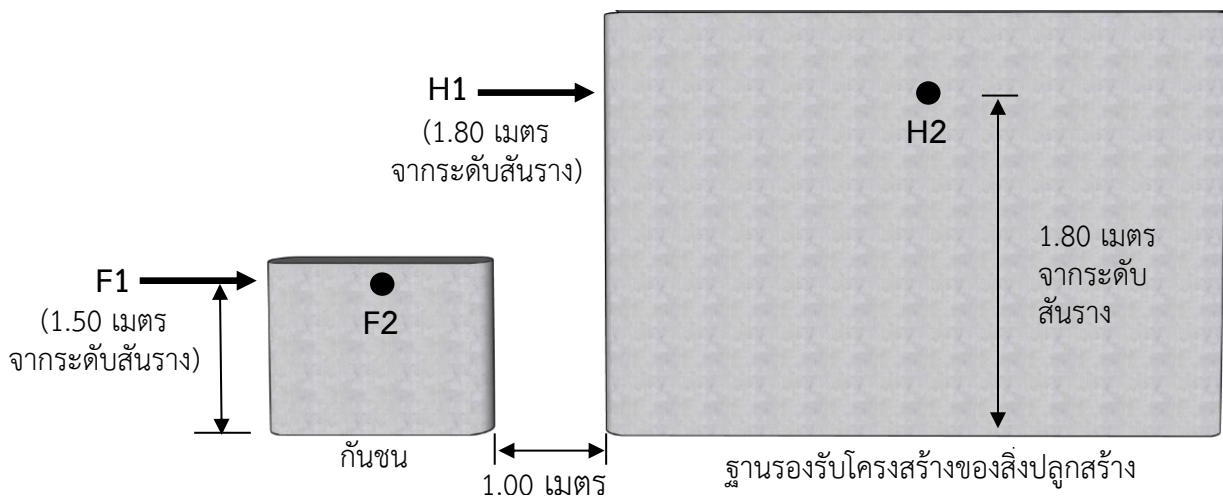


รูปที่ 11-2 แรงที่กระทำกับฐานรองรับโครงสร้างที่เป็นกำแพงต่อเนื่อง

11.2.2 กรณีฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างที่เป็นกำแพงต่อเนื่อง ไม่สามารถออกแบบให้รับแรงตามข้อ 11.2.1 ได้ ให้มีกันชนป้องกันด้านหน้าของสิ่งปลูกสร้าง โดยกันชนควรต้านทานแรงได้อย่างน้อย ดังนี้

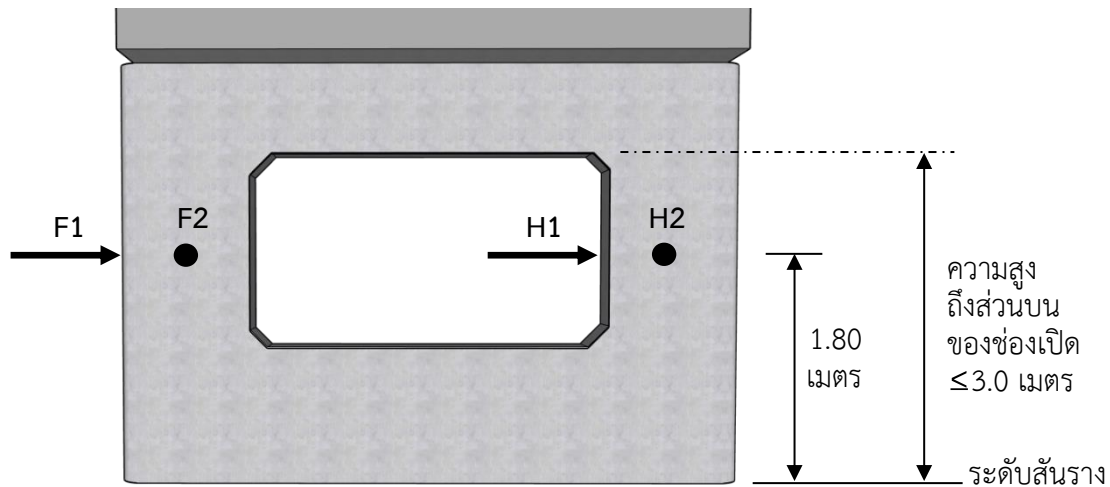
- 1) $F1 = 10,000$ กิโลนิวตัน ในแนวขนานกับทางรถไฟ และ
- 2) $F2 = 3,500$ กิโลนิวตัน ในแนวตั้งฉากกับแนวทางรถไฟ และกำแพงต่อเนื่องควรต้านทานแรงได้อย่างน้อย ดังนี้
- 3) $H1 = 4,000$ กิโลนิวตัน ในแนวขนานกับทางรถไฟ และ
- 4) $H2 = 1,500$ กิโลนิวตัน ในแนวตั้งฉากกับทางรถไฟ

ทั้งนี้ $F1$ และ $F2$ คือ แรงที่กระทำกับโครงสร้างแถวแรกสุด ซึ่งมีโอกาสต้องรับแรงชนจากรถไฟตกรางเป็นอันดับแรก $H1$ และ $H2$ คือแรงที่กระทำกับโครงสร้างลำดับถัดไป โดยออกแบบแรง $F1$ และ $F2$ ให้กระทำพร้อมกันกับกันชนที่ความสูง 1.50 เมตร จากสันราง และออกแบบให้แรง $H1$ และ $H2$ กระทำพร้อมกันกับฐานรองรับโครงสร้างที่ความสูง 1.80 เมตร จากสันราง และนำค่าแรงดังกล่าวไปใช้ในการคำนวณในการรวมแรงหรือน้ำหนักบรรทุก (Load case) แยกในแต่ละกรณี (รูปที่ 11-2)



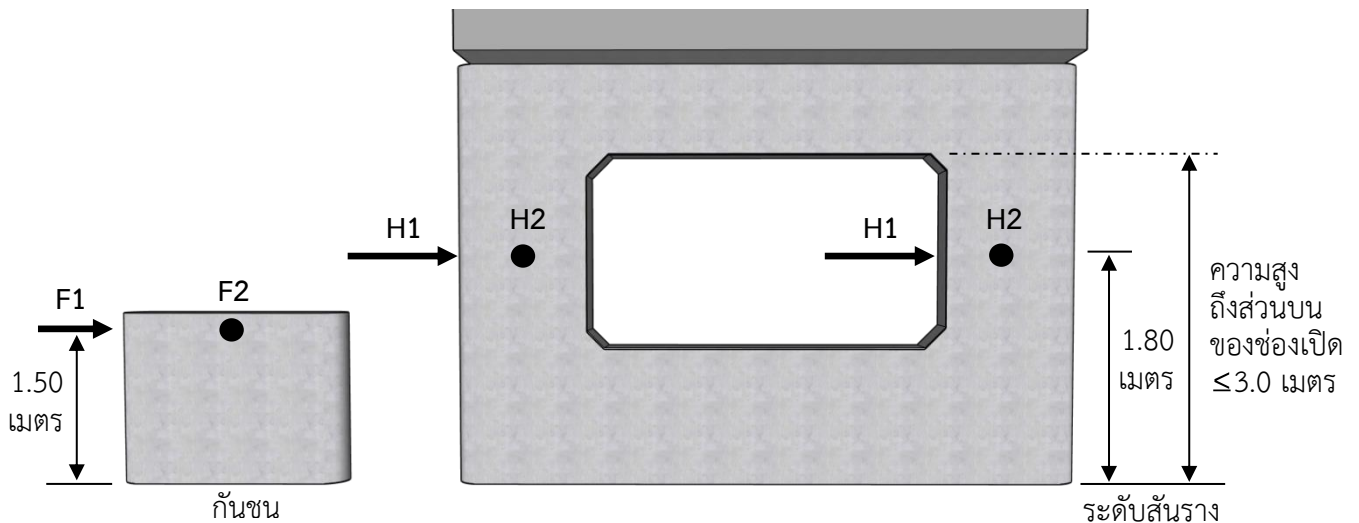
รูปที่ 11-2 แรงที่กระทำกรณีออกแบบให้มีกันชนบริเวณด้านหน้าฐานรองรับโครงสร้าง

11.2.3 กรณีฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างเป็นกำแพงแบบมีช่องเปิด สามารถออกแบบโดยใช้แรงขั้นต่ำเทียบเคียงกับข้อ 11.2.2 โดยมีตำแหน่งของแรงที่กระทำกับฐานรองรับโครงสร้าง ดังรูปที่ 11-3



รูปที่ 11-3 แรงที่กระทำกรณีฐานรองรับโครงสร้างเป็นกำแพงแบบมีช่องเปิด

11.2.4 กรณีฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างเป็นกำแพงแบบมีช่องเปิดและมีโครงสร้างกันชนบริเวณด้านหน้า สามารถออกแบบโดยใช้แรงขั้นต่ำเทียบเคียงกับข้อ 11.2.2 โดยตำแหน่งของแรงที่กระทำกับฐานรองรับโครงสร้าง ดังรูปที่ 11-4



รูปที่ 11-4 แรงที่กระทำกรณีฐานรองรับโครงสร้างเป็นกำแพงแบบมีช่องเปิดและมีกันชนบริเวณด้านหน้า

11.3 โครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างประเภท ก. พื้นที่อันตรายส่วนที่ 2 กลุ่มความเร็วที่ 1

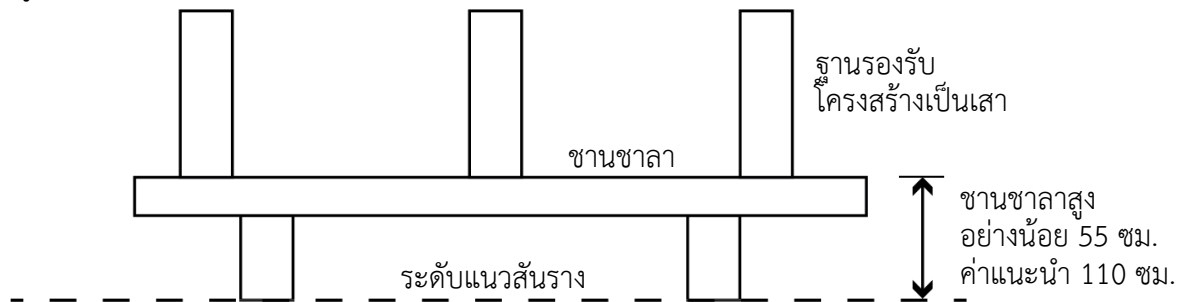
11.3.1 ฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างควรมีการออกแบบให้มีลักษณะเป็นกำแพงต่อเนื่องหรือกำแพงแบบมีช่องเปิด โดยควรต้านทานแรงได้น้อย ดังนี้

- 1) $F1 = 4,000$ กิโลนิวตัน ในแนวขนานกับทางรถไฟ และ
- 2) $F2 = 1,500$ กิโลนิวตัน ในแนวตั้งฉากกับทางรถไฟ

โดยให้แรง $F1$ และ $F2$ กระทำพร้อมกันกับโครงสร้างที่ความสูง 1.8 เมตร จากระดับชั้นราง และนำค่าแรงดังกล่าวไปใช้ในการคำนวณในการรวมแรงหรือน้ำหนักบรรทุก (Load case) แยกในแต่ละกรณี

11.3.2 ฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างควรมีขนาดและลักษณะเช่นเดียวกับข้อ 10.1 หากฐานรองรับโครงสร้างมีขนาดไม่เป็นไปตามข้อ 10.1 แล้ว อาจส่งผลให้เกิดการพังทลายของฐานรองรับโครงสร้างทั้งหมดได้ จึงไม่ควรออกแบบให้ฐานรองรับดังกล่าวอยู่ในตำแหน่งแถวหน้าสุดที่จะเกิดการชน

11.3.3 กรณีหากสิ่งปลูกสร้าง มีขนาดความสูงมากกว่า 55 เซนติเมตร (ค่าแนะนำที่ 110 เซนติเมตร) บริเวณด้านหน้าสิ่งปลูกสร้างแล้ว ฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างดังกล่าวอาจออกแบบเป็นเสาแทนได้ (รูปที่ 11-5)



รูปที่ 11-5 กรณีหากสิ่งปลูกสร้าง มีขนาดความสูงมากกว่า 55 เซนติเมตร (ค่าแนะนำที่ 110 เซนติเมตร) แล้ว ฐานรองรับโครงสร้างดังกล่าวอาจออกแบบเป็นเสาแทนได้

11.4 โครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างประเภท ก. พื้นที่อันตรายส่วนที่ 2 กลุ่มความเร็วที่ 2

11.4.1 ฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างควรมีการออกแบบให้มีลักษณะเป็นกำแพงต่อเนื่องหรือกำแพงแบบมีช่องเปิด โดยควรต้านทานแรงได้อย่างน้อย ดังนี้

1) $F1 = 2,000$ กิโลนิวตัน ในแนวขนานกับทางรถไฟ และ

2) $F2 = 750$ กิโลนิวตัน ในแนวตั้งฉากกับทางรถไฟ

โดยให้แรง $F1$ และ $F2$ กระทำพร้อมกันกับฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างที่ความสูง 1.8 เมตรจากระดับสันราง และนำค่าแรงดังกล่าวไปใช้ในการคำนวณในการรวมแรงหรือน้ำหนักบรรทุก (Load case) แยกในแต่ละกรณี ทั้งนี้ ฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้าง ควรมีขนาดและลักษณะเช่นเดียวกับข้อ 10.1

11.4.2 กรณีหากมีข้อจำกัดทำให้ไม่สามารถออกแบบฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างเป็นกำแพงต่อเนื่องได้ อาจออกแบบฐานรองรับโครงสร้างเป็นเสาได้ หากมีการป้องกันฐานรองรับโครงสร้างดังนี้

1) สิ่งปลูกสร้างมีขนาดความสูงมากกว่า 55 เซนติเมตร (ค่าแนะนำที่ 110 เซนติเมตร) บริเวณด้านหน้าฐานรองรับโครงสร้าง

2) สิ่งปลูกสร้างมีกันชนป้องกันบริเวณด้านหน้าแนวเสาต้นแรกหรือแถวแรกที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดการชนจากรถไฟที่ตกราง โดยกันชนออกแบบในลักษณะที่จะสามารถสะท้อนและกระจายแรงชนออกไปได้ และกันชนและเสาสามารถต้านทานแรงได้อย่างน้อยไม่ต่ำกว่าข้อ 11.4.1

3) ควรออกแบบโดยพิจารณากรณีเสาหนึ่งต้นในตำแหน่งด้านหน้ามีการพังทลายลงเมื่อเกิดการชนจากรถไฟที่ตกราง แต่อาจไม่ต้องพิจารณาถึงกรณีเสาจำนวนหลายต้นที่อยู่ในตำแหน่งหลังเสาต้นแรกเกิดการพังทลายจากการชน

11.5 โครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างประเภท ก. พื้นที่อันตรายส่วนที่ 2 กลุ่มความเร็วที่ 3

11.5.1 การพิจารณาออกแบบฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้าง ควรมีการออกแบบให้มีลักษณะเป็นกำแพงแบบมีช่องเปิด หรือ เสาค้ำ เพื่อช่วยเพิ่มทัศนวิสัยในการมองเห็นขณะที่รถไฟลากจูง (Shunting) หรือสับเปลี่ยน (Marshalling)

11.5.2 ทางรถไฟที่มีการลากจูงและสับเปลี่ยน มักมีการติดตั้งสวิทช์และประแจในบริเวณใกล้เคียง ในกรณีที่ออกแบบฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างเป็นเสาค้ำ จึงควรมีกันชนป้องกันบริเวณด้านหน้าของแนวเสาค้ำต้นแรกหรือแถวแรกที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดการชนจากรถไฟที่ตกราง โดยกันชนออกแบบในลักษณะที่จะสามารถสะท้อนและกระจายแรงชนออกไปได้

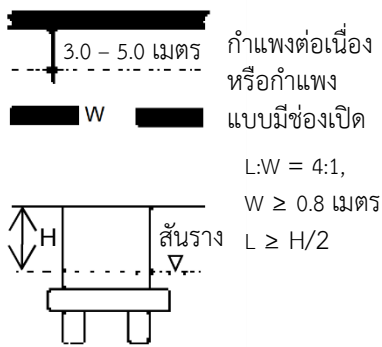
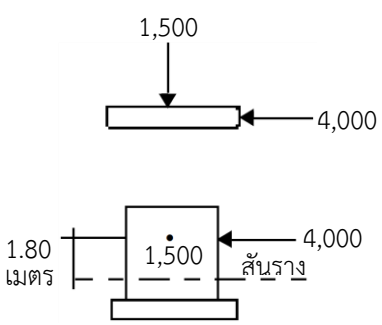
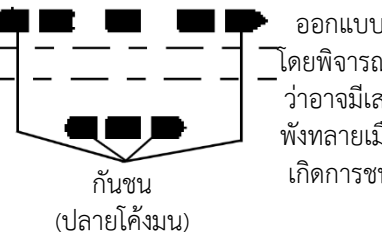
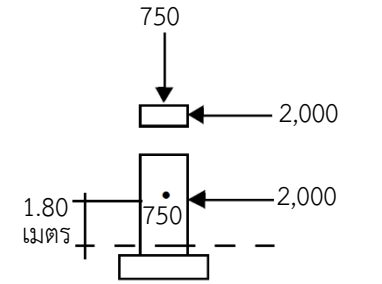
11.5.3 เสาค้ำ กำแพงแบบมีช่องเปิด และกันชนควรต้านทานแรงได้อย่างน้อย ดังนี้


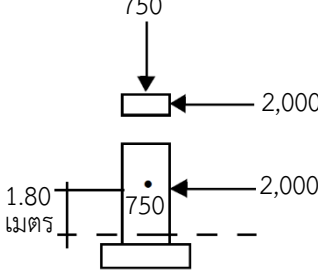
- 1) F1 = 2,000 กิโลนิวตัน ในแนวขนานกับทางรถไฟ และ
- 2) F2 = 750 กิโลนิวตัน ในแนวตั้งฉากกับทางรถไฟ

โดยให้แรง F1 และ F2 กระทำพร้อมกันกับโครงสร้างที่ความสูง 1.8 เมตร จากระดับสันราง และนำค่าแรงดังกล่าวไปใช้ในการคำนวณในการรวมแรงหรือน้ำหนักบรรทุกทุก (Load case) แยกในแต่ละกรณี และอาจออกแบบโดยพิจารณาว่าไม่มีเสาค้ำพังทลายลงเมื่อเกิดการชน

11.5.4 นอกเหนือจากกันชนแล้ว หากเป็นไปได้ ควรมีการติดตั้งรางกันเพิ่มเติมเพื่อป้องกันรถไฟตกราง

ตารางที่ 11-1 สรุปรูปแบบการป้องกันโครงสร้างประเภท ก. ในพื้นที่อันตรายส่วนที่ 2

กลุ่มความเร็ว	ประเภทสิ่งปลูกสร้าง	รูปแบบการก่อสร้าง	ควรต้านทานแรงได้อย่างน้อย (กิโลนิวตัน)
1	ตามแนวเส้นทางรถไฟที่มีความเร็วเดินรถมากกว่า 50 กม./ชม. แต่ไม่เกิน 120 กม/ชม.	 <p>กำแพงต่อเนื่อง หรือกำแพงแบบมีช่องเปิด</p> <p>$L:W = 4:1,$ $W \geq 0.8$ เมตร $L \geq H/2$</p>	
2	ตามแนวเส้นทางรถไฟที่มีความเร็วเดินรถมากกว่า 20 กม./ชม ถึง 50 กม./ชม.	 <p>กำแพงต่อเนื่อง หรือเสาค้ำแบบมีกันชนบริเวณด้านหน้า</p> <p>ออกแบบโดยพิจารณาว่าอาจมีเสาค้ำพังทลายเมื่อเกิดการชน</p> <p>กันชน (ปลายโค้งมน)</p>	

กลุ่มความเร็ว	ประเภทสิ่งปลูกสร้าง	รูปแบบการก่อสร้าง	ควรรต้านทานแรงได้อย่างน้อย (กิโลนิวตัน)
3	ตามแนวเส้นทางรถไฟที่ใช้สำหรับลากจูงและสับเปลี่ยนความเร็วรถไม่เกิน 20 กม./ชม.	ฐานรองรับเป็นเสาเพื่อเพิ่มทัศนวิสัยในการลากจูงและสับหลัก  ติดตั้งกันชนบริเวณด้านหน้าของเสาต้นแรกที่อาจเกิดการปะทะ	

(ที่มา - ประยุกต์จาก UIC)

11.6 โครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างประเภท ก. พื้นที่อันตรายส่วนที่ 3 กลุ่มความเร็วที่ 1 2 และ 3

การออกแบบฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างบริเวณจุดสิ้นสุดทางรถไฟ มีรายละเอียด ดังนี้

11.6.1 การออกแบบฐานรองรับโครงสร้าง

สิ่งปลูกสร้างที่อยู่ในพื้นที่อันตรายส่วนที่ 3 สามารถกำหนดรูปแบบของฐานรองรับโครงสร้างได้อย่างอิสระ โดยฐานรองรับโครงสร้างควรรต้านทานแรงได้ไม่น้อยกว่า 2,000 กิโลนิวตัน ในแนวขนานทางรถไฟ และ 750 กิโลนิวตัน ในแนวตั้งฉากกับทางรถไฟ

11.6.2 การออกแบบแป้นปะทะ (Buffer Stop)

1) การออกแบบแป้นปะทะควรออกแบบโดยประเมินความเสี่ยงจากปัจจัยด้านต่าง ๆ ดังนี้

1.1) น้ำหนักของขบวนรถที่มีการเดินรถในเส้นทางดังกล่าว (โดยทั่วไปประมาณ 750 ตัน สำหรับรถไฟโดยสารระหว่างเมือง)

1.2) ความเร็วกรณีที่ร้ายแรงที่สุดที่อาจเกิดขึ้น ทั้งกรณีอุบัติเหตุจากอุปกรณ์ เช่น ระบบเบรกทำงานผิดพลาด หรือกรณีเหตุผิดพลาดจากปัจจัยมนุษย์ เช่น พนักงานควบคุมรถ (แต่ยกเว้นไม่ต้องพิจารณารวมถึงกรณีพนักงานควบคุมรถประสงคร้ายตั้งใจให้เกิดเหตุร้ายแรงขึ้น) โดยความเร็วรถไฟที่ใช้ในการออกแบบอย่างน้อยที่สุดไม่ควรต่ำกว่า 15 กิโลเมตร/ชั่วโมง

ทั้งนี้ เมื่อออกแบบแล้ว แป้นปะทะควรรต้านทานแรงได้ไม่น้อยกว่า 2,500 กิโลนิวตัน.เมตร

2) เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับรถไฟ แป้นปะทะไม่ควรทำให้เกิดแรงกดตามแนวยาว (Longitudinal) กับโครงประธานของรถไฟเกินกว่า 1,000 กิโลนิวตัน ทั้งนี้ ถึงแม้รถไฟรุ่นใหม่ในปัจจุบัน บริเวณส่วนหน้าของขบวนรถมักถูกออกแบบให้สามารถดูดซับและกระจายแรงจากการชนได้ แต่ในรถไฟรุ่นเก่าบางประเภทไม่ได้ถูกออกแบบให้สามารถดูดซับและกระจายแรงจากการชน จึงอาจได้รับผลกระทบและเกิดความเสียหายได้หากมีแรงกดตามแนวยาวที่กระทำกับตัวรถเกินกว่า 1,000 กิโลนิวตัน

3) การออกแบบแป้นปะทะ ควรออกแบบให้หัวแป้นปะทะ (Bumping Head) สามารถรับแรงกระแทกกับขบวนของรถไฟที่เดินรถในเส้นทางนั้นๆ ทั้งนี้ โดยทั่วไปแล้วรถไฟทางไกลเพื่อการโดยสารระหว่างเมือง ขบวนจะมีความสูงจากสันรางถึงศูนย์กลางขบวนประมาณ 850 มิลลิเมตร

4) วัสดุที่ใช้สำหรับการผลิต Friction Element จะต้องมีความสมบัติเสียดทาน เช่น บรอนซ์ (Bronze) และวัสดุที่ใช้จะต้องทนทานต่อการกัดกร่อน และต้องไม่ให้เกิดการกระจายความร้อนที่เป็นสาเหตุทำให้โครงสร้างเกิดการบิดตัว และมีผลต่อประสิทธิภาพของแป้นปะทะ

5) ช่วงระหว่างรถไฟและแป้นปะทะจะต้องไม่มีสิ่งแปลกปลอมหรือสิ่งกีดขวาง ที่จะเป็นอันตรายต่อรถและพนักงานขับรถ

11.6.3 การออกแบบกันชนป้องกันสิ่งปลูกสร้าง (Impact Wall)

1) ในกรณีที่มีสิ่งปลูกสร้างในพื้นที่อันตรายส่วนที่ 3 ควรมีการติดตั้งกันชนเพื่อป้องกันอีกชั้นหนึ่งบริเวณด้านหลังของแป้นปะทะ โดยเว้นระยะห่างระหว่างจุดสิ้นสุดทางรถไฟและแป้นปะทะ หรือระยะห่างระหว่างแป้นปะทะและกำแพงป้องกันเป็นระยะที่เหมาะสม เพื่อให้แป้นปะทะสามารถช่วยชะลอความเร็วรถไฟก่อนถึงสิ่งปลูกสร้าง

2) กรณีทางรถไฟสำหรับการขนส่งผู้โดยสาร กันชนควรมีความสูงอย่างน้อย 1.5 เมตรเหนือส้นราง และควรต้านทานแรงได้ไม่น้อยกว่า 5,000 กิโลนิวตัน กระทบกับกันชนที่มีความสูง 1.0 เมตรเหนือส้นราง

3) กรณีพื้นที่สำหรับลากจูง (Shunting) และสับเปลี่ยนขบวนรถ (Marshalling) การออกแบบกันชนป้องกันสิ่งปลูกสร้าง ควรให้มีความสูงอย่างน้อย 2.0 เมตรเหนือส้นราง และควรต้านทานแรงได้ไม่น้อยกว่า 10,000 กิโลนิวตัน ที่ความสูง 1.0 เมตรเหนือส้นราง

ตารางที่ 11-2 สรุปรูปแบบการป้องกันโครงสร้างในพื้นที่อันตรายส่วนที่ 3

ประเภทของทางรถไฟ	รูปแบบการก่อสร้าง	ควรต้านทานแรงได้อย่างน้อย (กิโลนิวตัน)
1. ทางสำหรับการขนส่งผู้โดยสาร		5,000 กิโลนิวตัน ที่ความสูง 1.0 เมตร จากส้นราง
2. ทางที่ใช้สำหรับการลากจูงและสับเปลี่ยน		10,000 กิโลนิวตัน ที่ความสูง 1.0 เมตร จากส้นราง

(ที่มา - ประยุกต์จาก UIC)



12. การออกแบบโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างประเภท ข.

12.1 หลักการโดยทั่วไปของสิ่งปลูกสร้างประเภท ข.

12.1.1 โดยปกติแล้ว โอกาสที่รถไฟตกรางและชนเข้ากับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างประเภท ข. เช่น สะพานข้ามทางรถไฟนั้นเกิดขึ้นน้อยครั้ง อย่างไรก็ตาม เมื่อเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวขึ้น อาจส่งผลให้เกิดความสูญเสียกับชีวิตและทรัพย์สิน โดยความสูญเสียที่เกิดขึ้นสำหรับสิ่งปลูกสร้างประเภท ข. ส่วนใหญ่แล้วมักเกิดขึ้นกับผู้โดยสารภายในขบวนรถ จึงไม่ควรมองข้ามโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว และควรมีการพิจารณามาตรการความปลอดภัยรองรับ

12.1.2 เมื่อเกิดอุบัติเหตุรถไฟตกราง การมีอยู่ของฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างในเขตทางรถไฟจะส่งผลให้เกิดความเสี่ยงเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น จึงควรคำนึงถึงระยะห่างด้านข้างระหว่างฐานรองรับกับทางรถไฟที่เหมาะสม

12.1.3 ในกรณีที่เป็นฐานรองรับโครงสร้างที่จะก่อสร้างใหม่ ควรพิจารณามาตรการความปลอดภัยตั้งแต่ระยะเริ่มต้นเพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุให้ได้มากที่สุด และควรหลีกเลี่ยงการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างในพื้นที่ที่มีการติดตั้งสวิตช์หรือประแจสับราง เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวความเสี่ยงจากการปฏิบัติการเดินรถจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

12.1.4 สำหรับฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างที่มีอยู่แล้วก่อนหน้า ในบางครั้งการย้ายฐานรองรับอาจมีข้อจำกัดที่ทำให้การดำเนินการเป็นไปได้ยาก จึงควรมีการวิเคราะห์ความเสี่ยง (Risk assessment) เพื่อลดความเสี่ยงเท่าที่จะสามารถดำเนินการได้ ทั้งนี้ ในหลายพื้นที่อาจไม่จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ความเสี่ยง แต่ในบางพื้นที่ซึ่งมีความเสี่ยงในการปฏิบัติการเดินรถเพิ่มสูงขึ้น เช่น พื้นที่ที่ฐานรองรับโครงสร้างอยู่ในแนวเดียวกับสวิตช์หรือประแจสับราง กรณีดังกล่าวไม่ควรละเลยการวิเคราะห์ความเสี่ยงและความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้น

12.2 คำแนะนำในการออกแบบฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างประเภท ข.

คำแนะนำต่อไปนี้ครอบคลุมโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างประเภท ข. ทั้งการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างใหม่และการปรับสิ่งปลูกสร้างเดิมที่มีอยู่ก่อนหน้า ได้แก่

12.2.1 คำแนะนำเรื่องการประเมินความเสี่ยง

1) ในขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง นอกเหนือจากปัจจัยที่ระบุในมาตรฐานฉบับนี้แล้ว ผู้ออกแบบอาจพิจารณาเพิ่มเติมในปัจจัยดังต่อไปนี้

1.1) ความพร้อมในการกู้ภัยต่าง ๆ ตลอดจนความสะดวกและอุปสรรคในการเข้าถึงจุดที่เกิดอุบัติเหตุ ทั้งนี้ ปัจจัยดังกล่าวอาจแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่และภูมิภาค

1.2) ความเสียหายของรถไฟและฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างเมื่อเกิดการชน

1.3) ผลกระทบต่อการจราจร และการจราจรทางถนน และการจราจรทางราง

ทั้งนี้ ภายหลังจากพิจารณาปัจจัยดังกล่าวแล้ว ผู้ออกแบบอาจจัดให้มีมาตรการอื่น ๆ เพิ่มเติมนอกเหนือจากที่ระบุในมาตรฐานฉบับนี้

2) ผลที่ได้จากการประเมินความเสี่ยง ควรใช้พิจารณาควบคู่กับดุลพินิจของวิศวกร และเกณฑ์ข้อบังคับของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ก่อนนำมาวิเคราะห์มาตรการและแนวทางป้องกันที่เหมาะสม

12.2.2 คำแนะนำในเรื่องมาตรการลดความเสี่ยง และการกำหนดรูปแบบของการก่อสร้าง

1) ควรเพิ่มระยะห่างด้านข้างระหว่างฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างและทางรถไฟ
2) หลีกเลี่ยงการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างบริเวณสวิตช์และประแจสับราง
3) ในกรณีที่พบข้อจำกัดทำให้ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างบริเวณสวิตช์และประแจสับรางได้ ให้พิจารณาก่อสร้างเป็นกำแพงต่อเนื่อง ทั้งกำแพงต่อเนื่องแบบเต็มความสูงหรือกำแพงต่อเนื่องที่มีความสูงกึ่งหนึ่งโดยไม่น้อยกว่าความสูงขั้นต่ำที่กำหนด และควรเพิ่มระยะห่างตามแนวยาวระหว่างฐานรองรับโครงสร้างกับสวิตช์และประแจสับราง

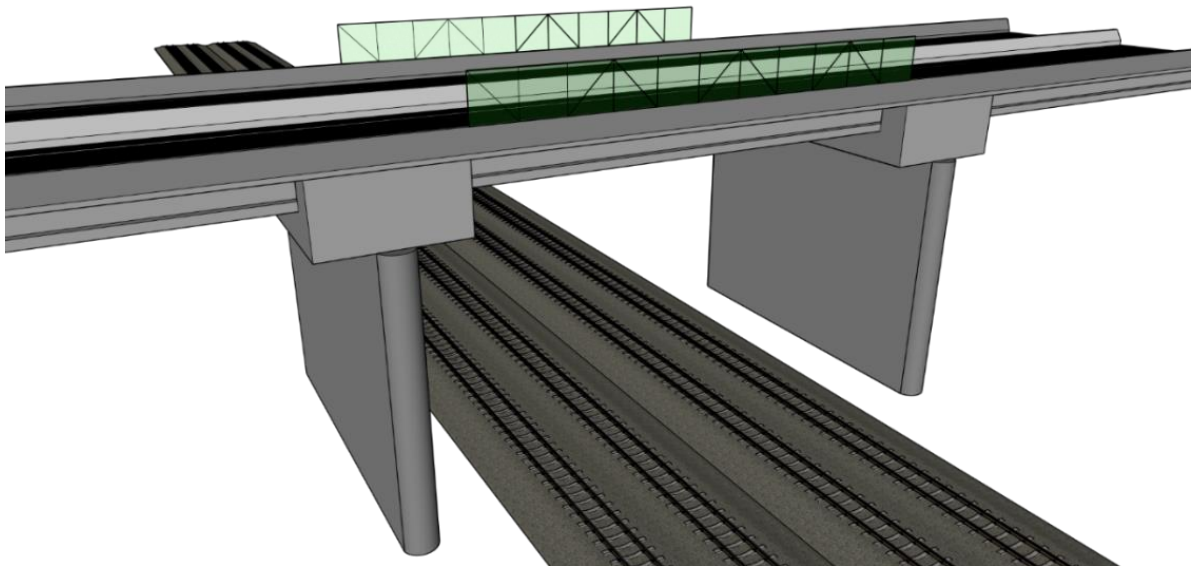
4) กำแพงต่อเนื่องควรมีขนาดและสัดส่วนขั้นต่ำดังนี้

$$W \geq 0.60 \quad (\text{ความหนามากกว่าหรือเท่ากับ } 0.60 \text{ เมตร})$$

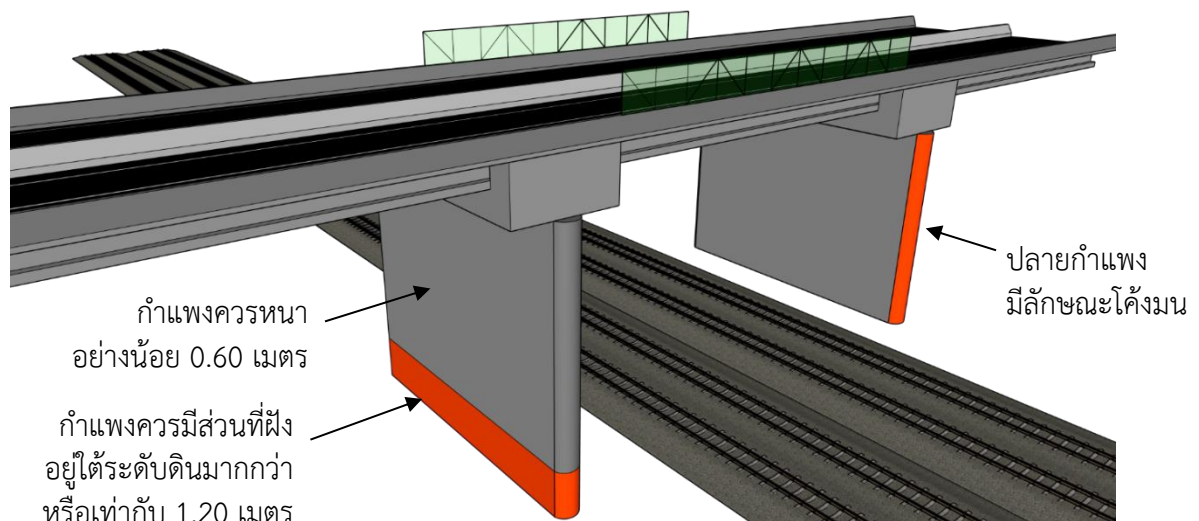
$$L : W = 4 : 1 \quad (\text{ความยาวคิดเป็นสี่เท่าของความกว้าง})$$

$$L \geq H/2 \quad (\text{ความยาวมากกว่าหรือเท่ากับครึ่งหนึ่งของความสูง})$$

โดย L = ความยาวของกำแพง (เมตร) W = ความกว้างของกำแพง (เมตร) และ H = ความสูงของกำแพงเมื่อวัดจากระดับสันราง (เมตร) ทั้งนี้ รายละเอียดในส่วนอื่น ๆ อาจพิจารณาเทียบเคียงจากโครงสร้างประเภท ก. ตามข้อ 10.1



รูปที่ 12-1 รูปแบบและขนาดของฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างกรณีออกแบบให้เป็นกำแพงต่อเนื่อง



รูปที่ 12-2 รูปแบบและขนาดของฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างกรณีออกแบบให้เป็นกำแพงต่อเนื่อง

5) หลีกเลี่ยงการก่อสร้างฐานรองรับโครงสร้างเป็นเสาต้นเดี่ยวหลายต้นแยกออกจากกัน หากไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ให้ออกแบบโครงสร้างให้สามารถคงอยู่ได้ถึงแม้ว่าเสาต้นใดต้นหนึ่งจะพังทลายจากการปะทะกับรถไฟที่ตกราง

6) พิจารณาออกแบบให้เสายึดติดกับโครงสร้างในลักษณะยึดแน่น (Fixed End Connection) หลีกเลี่ยงเสาที่รองรับโครงสร้างในลักษณะแบบพิน (Pin-Jointed Piers)

12.3 แนวทางการประเมินความเสี่ยงและกำหนดมาตรการลดความเสี่ยงของสิ่งปลูกสร้างประเภท ข. ที่จะก่อสร้างขึ้นใหม่

โครงสร้างประเภท ข. ที่จะก่อสร้างขึ้นใหม่ ควรมีการประเมินความเสี่ยงและกำหนดมาตรการลดความเสี่ยงตามแนวทางดังต่อไปนี้

12.3.1 พิจารณารายละเอียดของสิ่งปลูกสร้าง ว่าเป็นสิ่งปลูกสร้างประเภทใด (เช่น สะพานข้ามทางรถไฟ)

12.3.2 พิจารณาดำเนินการของสิ่งปลูกสร้างดังกล่าวว่าจะก่อสร้างอยู่ในตำแหน่งใด ตำแหน่งที่จะก่อสร้างมีระยะห่างด้านข้างระหว่างสิ่งปลูกสร้างกับทางรถไฟที่ใกล้ที่สุดเท่าใด บริเวณดังกล่าวมีสวิตช์และประแจติดตั้งอยู่ใกล้เคียงหรือไม่

12.3.3 รวบรวมข้อมูลประเภทของรถไฟที่เดินรถผ่านบริเวณสิ่งปลูกสร้าง (ความเร็วและความถี่ในการเดินรถไฟ) ประเภทของโครงสร้างทางรถไฟใกล้เคียง (ทางเดี่ยวหรือทางคู่) สถิติการตกรางของรถไฟที่ผ่านมา เป็นต้น

12.3.4 พิจารณาความเป็นไปได้ของสถานการณ์ต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นจากรถไฟที่ตกรางกับโครงสร้างประเภท ข. (เช่น โครงสร้างสะพานข้ามทางรถไฟ) โดยประกอบด้วยสถานการณ์ต่าง ๆ ดังนี้



- 1) โอกาสที่รถไฟจะชนเข้ากับสะพาน
- 2) โอกาสที่สะพานจะพังทลายลงจากการชนของรถไฟ
- 3) โอกาสที่รถไฟจะชนเข้ากับรถไฟอีกขบวนที่สวนทางมา (ในกรณีที่ ทางรถไฟที่อยู่บริเวณใต้สะพานเป็นทางคู่)
- 4) ประเภทของรถไฟอีกขบวนที่สวนทางมา (รถไฟโดยสาร หรือรถไฟสินค้า)

12.3.5 พิจารณาความเป็นไปได้ของทุกกรณี และนำมาประเมินความเสี่ยงที่จะส่งผลให้เกิดความสูญเสียต่อมนุษย์

12.3.6 กำหนดมาตรการแนวทางการลดความเสี่ยงต่างๆ พร้อมทั้งประมาณราคาค่าใช้จ่ายในการดำเนินการในแต่ละมาตรการ เพื่อป้องกันความเสียหายกรณีหากเกิดอุบัติเหตุรถไฟตกรางและชนเข้ากับสิ่งปลูกสร้างและส่งผลให้มีผู้เสียชีวิตจำนวนหลายราย

12.3.7 พิจารณาค่าคุ้มค่าในการดำเนินการในแต่ละมาตรการ โดยคำนึงถึงอัตราความเสี่ยงและความเป็นไปได้ที่อาจจะเกิดขึ้น กับค่าใช้จ่ายในการดำเนินการแต่ละมาตรการ และมูลค่าวงเงินที่เต็มใจจะจ่ายเพื่อป้องกันการสูญเสียชีวิต

12.3.8 คัดเลือกมาตรการที่เหมาะสมในการป้องกันความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นกับสิ่งปลูกสร้าง และดำเนินการตามมาตรการดังกล่าว

12.4 แนวทางการพิจารณาสิ่งปลูกสร้างประเภท ข. ที่ก่อสร้างไว้เดิมอยู่ก่อนหน้า

12.4.1 ให้พิจารณาดำเนินการของสิ่งปลูกสร้างประเภท ข. (เช่น สะพานข้ามทางรถไฟ) ที่มีอยู่เดิมก่อนหน้า ว่าบริเวณดังกล่าวมีสวิตช์หรือประแจติดตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงหรือไม่ หากไม่มีสวิตช์หรือประแจติดตั้งในบริเวณใกล้เคียงแล้ว สามารถยกเว้นให้ไม่ต้องดำเนินการใด ๆ เพิ่มเติมได้ ทั้งนี้ ระยะห่างระหว่างสวิตช์และประแจกับฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างเดิมที่ยินยอมให้ นั้น มีค่าไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับความเร็วของขบวนรถไฟในเส้นทางนั้น และความเฉื่อยของขบวนรถหลังจากที่รถไฟตกราง โดยระยะห่างของสวิตช์และประแจกับฐานรองรับโครงสร้างที่ยินยอมให้ สามารถพิจารณาได้จากสมการความเร่งดังนี้

สมการหาระยะห่างระหว่างสวิตช์และประแจ กับฐานรองรับโครงสร้างที่ยินยอมให้

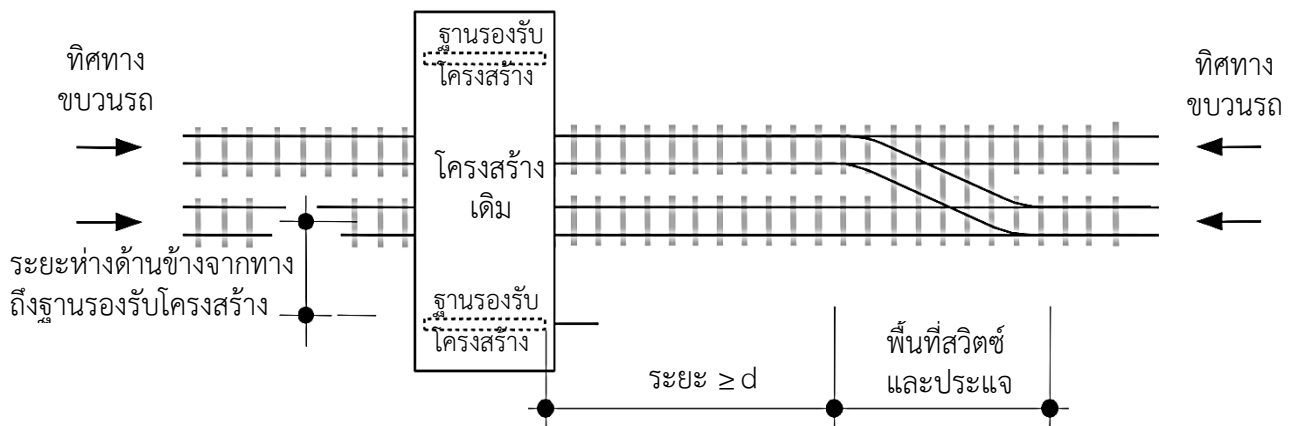
$$\text{สมการ 12-1} \quad d = 0.0386 V^2/a'$$

โดยที่ d หมายถึง ระยะทางยาวสุดที่รถไฟตกรางเคลื่อนที่ด้วยความเฉื่อยจนหยุด (เมตร)

V หมายถึง ความเร็วรถไฟก่อนตกราง (กิโลเมตร/ชั่วโมง)

a' หมายถึง ความเร่งที่ลดลงของรถไฟ (เมตร/วินาที²)

โดยหากพิจารณาแล้ว พบว่าตำแหน่งของสวิตช์และประแจอยู่ห่างจากฐานรองรับโครงสร้างเดิมที่มีอยู่ก่อนหน้า มากเกินกว่าระยะ d แล้ว สามารถยกเว้นให้ไม่ต้องดำเนินการใด ๆ เพิ่มเติม (รูปที่ 13-1)



รูปที่ 12-3 แสดงระยะห่างระหว่างสวิตช์และประแจกับโครงสร้างประเภท ข. เดิมที่มีอยู่ก่อนหน้า (d) ที่สามารถยกเว้นไม่ต้องดำเนินการใด ๆ เพิ่มเติม (ที่มา - ประยุกต์จาก UIC)

12.4.2 ในกรณีหากพบว่ามีสิ่งปลูกสร้างเดิมมีสวิตช์หรือประแจติดตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงใกล้กว่าระยะ d แล้ว ให้ใช้มาตรการในการพิจารณาเช่นเดียวกับการพิจารณาสิ่งปลูกสร้างที่จะก่อสร้างใหม่ เช่น การประเมินความเสี่ยงต่าง ๆ โดยหากบริเวณดังกล่าวพิจารณาแล้วพบว่าสามารถยินยอมให้ก่อสร้างโครงสร้างใหม่ได้ นั้นหมายความว่าโครงสร้างเก่าที่มีอยู่เดิมนั้นสามารถยอมรับได้เช่นกัน



ภาคผนวก ก

แนวทางการประเมินความเสี่ยงสำหรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างในแนวเส้นทางเดินรถ

การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) ดังต่อไปนี้ เป็นเพียงแนวทางการประเมินความเสี่ยงของสิ่งปลูกสร้างในแนวเส้นทางเดินรถ โดยยกตัวอย่างโครงสร้างประเภท ข. (สะพานข้ามทางรถไฟ) ในเบื้องต้นเท่านั้น และค่าบางค่าที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยงในตัวอย่างนี้ไม่ใช่ค่าที่มาตรฐานฉบับนี้แนะนำ เนื่องด้วยค่าที่ใช้ในบางตัวแปรควรได้มาจากการเก็บรวบรวมจากสถิติการเกิดอุบัติเหตุที่ผ่านมา และอาจแตกต่างกันไปในแต่ละผู้ให้บริการ

ผนวก 1 ความเป็นไปได้ที่รถไฟจะตกรางบริเวณใกล้เคียงฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้าง

โอกาสที่รถไฟจะตกรางบริเวณใกล้เคียงสะพานข้ามทางรถไฟ อาจพิจารณาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{สมการผนวก 1-1} \quad P1 = e_r \times d \times Z_d \times 365 \times 10^{-3}$$

โดยที่	P1	หมายถึง	โอกาสที่รถไฟจะตกราง
	e_r	หมายถึง	อัตราการตกรางของรถไฟต่อกิโลเมตร (จำนวนครั้งที่ตกราง/กิโลเมตรรวมที่เดินรถ)
	Z_d	หมายถึง	จำนวนเที่ยวรถไฟต่อวัน (เที่ยว/วัน)
	d	หมายถึง	ระยะทางยาวสุดที่รถไฟจะตกราง (เมตร) (สมมุติฐานว่าภายหลังจากรถไฟตกรางแล้ว รถไฟเคลื่อนที่ต่อในทิศทางขนานกับแนวรางรถไฟ)

ทั้งนี้ ระยะทางยาวสุดที่รถไฟจะตกราง (d) สามารถพิจารณาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{สมการผนวก 1-2} \quad d = 0.0386 V^2/a'$$

โดยที่	V	หมายถึง	ความเร็วรถไฟขณะที่เริ่มตกราง (กิโลเมตร/ชั่วโมง)
	a'	หมายถึง	ความเร่งของรถไฟที่ลดลง (เมตร/วินาที ²)

หากรถไฟก่อนตกราง เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับ 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และหากรถไฟตกรางแล้วมีความเร่งที่ลดลงในอัตรา -1.5 เมตร/วินาที² รถไฟจะใช้ระยะทางในการหยุดประมาณ 370 เมตร หรือหากรถไฟตกรางแล้วมีความเร่งลดลงในอัตรา -3.0 เมตร/วินาที² รถไฟจะใช้ระยะทางในการหยุดประมาณ 185 เมตร

อัตราการตกรางของรถไฟต่อกิโลเมตร (e_r) ให้พิจารณาโดยอ้างอิงข้อมูลจากการเก็บสถิติการตกรางจริงที่ผ่านมา โดยจากสถิติพบว่าการตกรางบริเวณใกล้เคียงสวิตช์และประแจมีอัตราสูงกว่าบริเวณรางปกติอย่างมีนัยสำคัญ (พิจารณาว่าสวิตช์และประแจส่วนใหญ่อยู่บริเวณใกล้เคียงสถานี)

ตารางผนวก 1-1 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการตกรางของรถไฟในบริเวณรางปกติและบริเวณใกล้เคียงสวิตช์และประแจของประเทศในกลุ่ม Union International of Railways (UIC)

ประเภทของรถไฟ	อัตราการตกรางบริเวณรางปกติ (ครั้ง/เที่ยว-กิโลเมตร)	อัตราการตกรางบริเวณย่านสถานี (ใกล้เคียง สวิตช์และประแจ) (ครั้ง/เที่ยว-กิโลเมตร)
รถไฟผู้โดยสาร	0.25×10^{-8}	2.5×10^{-8}
รถไฟขนส่งสินค้า	2.5×10^{-8}	25×10^{-8}



จำนวนเที่ยวรถไฟต่อวัน (Zd) มาจากการข้อมูลการเดินทางรถไฟจริงที่ผ่านสิ่งปลูกสร้างหรือฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างดังกล่าว (ตัวอย่างเช่น 100 เที่ยว/วัน สำหรับรถไฟทางเดียว และ 200 เที่ยว/วัน สำหรับรถไฟทางคู่ เป็นต้น)

ผนวก 2 ความเป็นไปได้ที่รถไฟที่ตกรางจะชนเข้ากับฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้าง

ความเป็นไปได้ (P2) ที่รถไฟจะชนเข้ากับฐานรองรับโครงสร้างสะพาน สามารถคำนวณได้จากสมการ 2-1 หรือ 2-2

สมการผนวก 2-1
$$P2 = [(b - a) / b]^2 \times 0.5 \times c / d$$

สมการผนวก 2-2
$$P2 = \{[(b - a) / b]^2 + [(b - (a+4.2))/b]^2\} \times 0.25 \times c/d$$

ทั้งนี้ สมการ 2-1 ใช้สำหรับรถไฟทางเดียว และสมการ 2-2 ใช้สำหรับรถไฟทางคู่

โดยที่	d	หมายถึง	ระยะทางยาวสุดที่รถไฟจะตกราง (เมตร)
	b	หมายถึง	การคาดการณ์ระยะด้านข้างสูงสุดที่รถไฟเบนออกจากแนวราง ทั้งนี้ อาจประมาณค่า b ได้จาก $V^{0.55}$
	a	หมายถึง	ระยะห่างในแนวด้านข้างจากจุดกึ่งกลางทางรถไฟจนถึงขอบ ของฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้าง
	c	หมายถึง	ระยะขนานกับแนวราง ที่ระยะด้านข้าง “a” ซึ่งมีความเสี่ยง ต่อการชนจากรถไฟที่ตกราง (ดูภาพผนวก 1 ประกอบ) ทั้งนี้ ค่า c อาจคำนวณได้จากสมการที่ 3

สมการผนวก 2-3
$$c = (d/b) \times (b - a)$$

ทั้งนี้ สมการผนวก 2-3 ใช้สำหรับกรณีค่า $b > a$

สำหรับกรณีที่ค่า $b < a$ อาจพิจารณาให้ค่า c เทียบเท่า 0

ทั้งนี้ หากตั้งสมมติฐานว่ารถไฟตกรางแล้ว รถไฟมีความเร็วลดลงในอัตรา 3 เมตร/วินาที² แล้ว ค่า c ในแต่ละช่วงความเร็ว (V) จะสามารถพิจารณาได้จากตารางผนวก 2-1

ตารางผนวก 2-1 แสดงค่า c ในแต่ละช่วงความเร็ว และระยะห่างของฐานรองรับโครงสร้าง

ระยะห่างในแนวด้านข้าง (a) (เมตร)	ความเร็วขณะรถไฟตกราง (V) (กิโลเมตร/ชั่วโมง)				
	80	120	160	230	300
3	60	145	268	578	1007
5	45	119	228	509	906
7	30	92	188	441	806
10	8	52	127	338	655



การคำนวณค่า P2 จากสมการผนวก 2-1 และ 2-2 อยู่บนสันนิษฐานว่ารถไฟเดินรถมาด้วยความเร็วหนึ่งและเมื่อตกรางแล้วมีการเบี่ยงเบนออกจากแนวราง โดยที่รางรถไฟไม่ช่วยป้องกันการเบี่ยงเบนของตัวรถ

หากตั้งสมมติฐานว่ารถไฟตกรางแล้ว รถไฟมีความเร็วลดลงในอัตรา 3 เมตร/วินาที² แล้วค่า P2 จะสามารถพิจารณาได้จากตารางผนวก 2-2 และ 2-3

ตารางผนวก 2-2 แสดงค่า P2 สำหรับรถไฟทางเดี่ยว

ระยะห่างในแนวด้านข้าง (a) (เมตร)	ความเร็วขณะที่รถไฟตกราง (V) (กิโลเมตร/ชั่วโมง)				
	80	120	160	230	300
3	0.19	0.24	0.27	0.31	0.33
5	0.08	0.13	0.17	0.21	0.24
7	0.025	0.06	0.09	0.14	0.17
10	0.001	0.01	0.03	0.06	0.09

ตารางผนวก 2-3 แสดงค่า P2 สำหรับรถไฟทางคู่

ระยะห่างในแนวด้านข้าง (a) (เมตร)	ความเร็วขณะที่รถไฟตกราง (V) (กิโลเมตร/ชั่วโมง)				
	80	120	160	230	300
3	0.12	0.17	0.20	0.24	0.27
5	0.05	0.08	0.12	0.16	0.19
7	0.01	0.04	0.06	0.10	0.13
10	0.002	0.01	0.02	0.04	0.07

ผนวก 3 โอกาสที่สิ่งปลูกสร้างประเภท ข. หรือสะพาน จะพังทลายลงจากการชน

ความเป็นไปได้ (P3) ที่สะพานจะพังทลายลงจากการชนของรถไฟที่ตกราง สามารถคำนวณได้จากสมการผนวก 3 ดังนี้

$$\text{สมการผนวก 3 } P3 = \{ 1 - 2/3 [t (2b - 2a - t) / (b - a)^2] \} \times \alpha$$

ทั้งนี้ สมการผนวก 3 ใช้สำหรับกรณีค่า $b - t - a > 0$

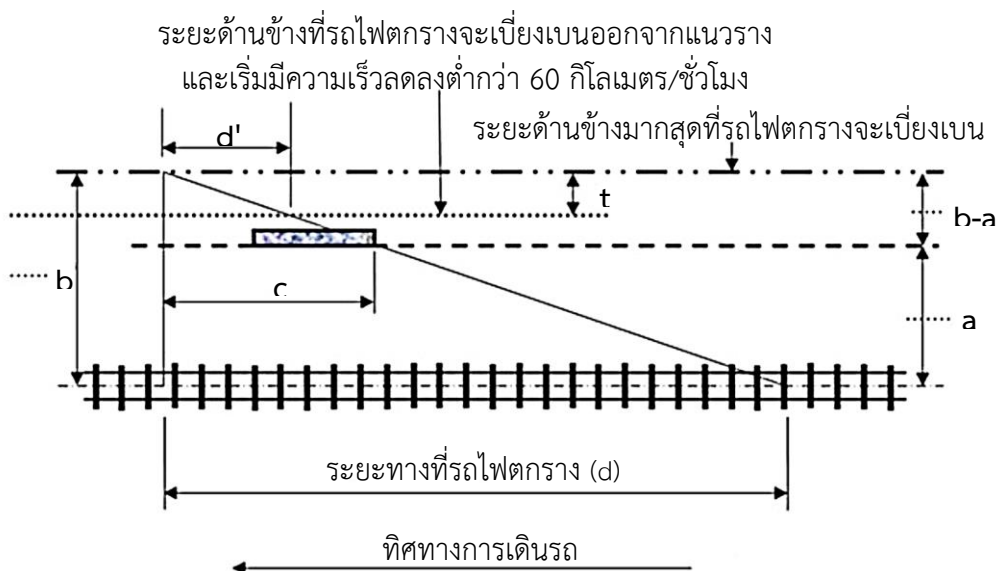
โดยที่ t หมายถึง ระยะด้านข้างที่รถไฟตกรางจะเบี่ยงเบนออกจากแนวรางและมี
ความเร็วลดลงต่ำกว่า 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง โดยค่า t สามารถ
คำนวณได้จาก $t = (a \times d') / (d - d')$

d' หมายถึง ระยะทางตามแนวยาวที่รถไฟที่ตกรางมีความเร็วลดลงต่ำกว่า
60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (กรณีที่รถไฟมีความเฉื่อยในอัตรา 3.0
เมตร/วินาที² อาจพิจารณาใช้ค่าคงที่เท่ากับ 45 เมตร)

α หมายถึง ค่าความแข็งแรงของโครงสร้าง (Robustness Factor) โดยพิจารณาจากความแข็งแรงและความสมบูรณ์ของโครงสร้าง และความต่อเนื่องของฐานรองรับโครงสร้าง

ทั้งนี้ หาก α มีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงโครงสร้างมีการพังทลายลงเมื่อเกิดการชนระหว่างรถไฟที่ตกรางกับฐานรองรับโครงสร้างที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมงหรือมากกว่า

อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติแล้ว ไม่ใช่โครงสร้างจะมีการพังทลายลงทุกครั้งที่เกิดการชน ดังนั้น หากประเมินว่าชนแล้วโครงสร้างสามารถรับแรงชนดังกล่าวได้ อาจใช้ค่า α ที่ลดลงน้อยกว่า 1 (เช่น 0.5 เป็นต้น) ทั้งนี้ ในขั้นตอนการพิจารณา ควรพิจารณาค่า α ตามสถิติการเกิดอุบัติเหตุรถไฟชนกับฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างที่ผ่านมา หรือการพิจารณาโดยความเห็นของวิศวกรเพื่อกำหนดค่า α ที่เหมาะสม และควรตระหนักเสมอว่าเมื่อเกิดการชนระหว่างรถไฟที่ตกรางกับฐานรองรับโครงสร้างแล้ว พลังงานจากการชนจะเพิ่มขึ้นทวีคูณเมื่อรถไฟมีความเร็วเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นในอัตรายกกำลังสอง (V^2)



ภาพผนวก 3-1 แสดงระยะต่างๆ ในการพิจารณาประเมินความเสี่ยงกรณีรถไฟตกราง (ที่มา - ประยุกต์จาก UIC)

ผนวก 4 โอกาสที่รถไฟที่ตกรางจะชนกับรถไฟที่อยู่ข้างเคียง (ในกรณีที่ทางรถไฟเป็นทางคู่)

กรณีดังกล่าวใช้เฉพาะกรณีที่บริเวณฐานรองรับโครงสร้างสะพาน มีทางรถไฟที่เป็นทางคู่หรือมากกว่าเท่านั้น โดยการเกิดเหตุรถไฟกับชนรถไฟข้างเคียงอาจเกิดได้ทั้งกรณี 1) รถไฟชนกับรถไฟข้างเคียงโดยไม่ชนกับสิ่งปลูกสร้าง หรือ 2) รถไฟชนกับโครงสร้างก่อนและชนต่อเนื่องกับรถไฟข้างเคียง

ค่าของ P4 อาจใช้ค่า 0.1 โดยผู้ออกแบบอาจใช้ค่า P4 ที่มากขึ้นเมื่อ

- เส้นทางดังกล่าวมีการเดินรถไฟมากกว่า 100 ขบวนต่อวัน
- รถไฟที่เดินรถบนเส้นทางดังกล่าวมีการกำหนดความเร็วในการเดินรถไฟไว้เป็นการเฉพาะ เช่น รถไฟขนส่งผู้โดยสารที่มีความเร็วในการเดินรถค่อนข้างสูง หรือรถไฟขนส่งสินค้าที่เป็นการขนส่งด่วน

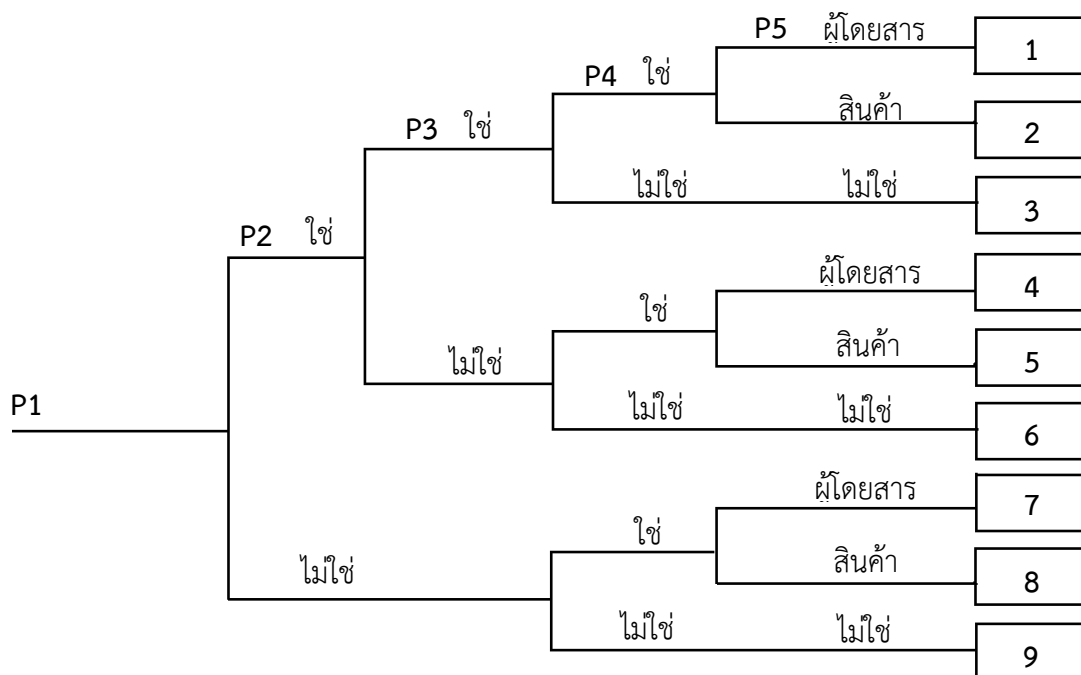
**ผนวก 5 ประเภทของรถไฟที่เดินรถในทางข้างเคียง (ในกรณีที่ทางรถไฟเป็นทางคู่)**

กรณีดังกล่าวใช้เฉพาะกรณีที่บริเวณฐานรองรับโครงสร้างสะพาน มีทางรถไฟที่เป็นทางคู่เท่านั้น โดยพิจารณาจากประเภทของรถไฟที่เดินรถสวนในทิศทางตรงกันข้าม ไม่ว่าจะเดินรถไฟขนส่งผู้โดยสาร หรือรถไฟขนส่งสินค้า

ผนวก 6 ความเป็นไปได้ที่จะเกิดเหตุการณ์แต่ละกรณี เมื่อมีเหตุการณ์ไฟตกราง (P_{Szi})

พิจารณาความเป็นไปได้ที่จะเกิดเหตุการณ์แต่ละกรณี โดยจัดทำแผนภูมิความเป็นไปได้ดังนี้

P1	P2	P3	P4	P5	P _{Szi}
รถไฟตกราง	ชนกับ	สิ่งปลูกสร้าง	รถไฟชน	ประเภทของ	ความ
บริเวณใกล้เคียง	สิ่งปลูกสร้าง	พังทลาย	กับรถไฟที่อยู่	รถไฟข้างเคียง	เป็นไปได้
สิ่งปลูกสร้าง	หรือไม่	หรือไม่	ข้างเคียง		



การพิจารณาความเป็นไปได้ที่จะเกิดเหตุการณ์แต่ละกรณี เมื่อมีเหตุการณ์ไฟตกราง สามารถพิจารณาได้จากผลคูณของ P1 – P5 ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\text{สมการผนวก 6 } P_{Szi} = P1 \times P2 \times P3 \times P4 \times P5$$

ผนวก 7 ความเสียหายต่อมนุษย์ในแต่ละกรณีความเป็นไปได้

ความเสียหายต่อมนุษย์ในแต่ละกรณีความเป็นไปได้ (Szi) สามารถพิจารณาจากตารางผนวก 7-1 โดย Sz1 ถึง Sz2 เป็นค่าของรถไฟขนส่งผู้โดยสาร และ Sz10 ถึง Sz18 เป็นค่าของรถไฟขนส่งสินค้า โดยค่าดังกล่าวอยู่บนสมมติฐานว่ารถไฟโดยสารมีผู้โดยสารจำนวน 300 คนต่อขบวน และรถไฟสินค้ามีผู้โดยสารจำนวน 1 คนต่อขบวน ทั้งนี้ สาเหตุที่ต้องมีการให้ความสำคัญกับการประเมินความเสียหายต่อมนุษย์ เนื่องจากความเสียหายต่อมนุษย์มีมูลค่าความเสียหายมากกว่าความเสียหายต่อสิ่งปลูกสร้างและขบวนรถ ในขณะที่ข้อพิจารณาอื่น ๆ ตามข้อ 12.2.1 นั้นขึ้นอยู่กับดุลพินิจของผู้ประเมินว่ามีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญและจะพิจารณาประเด็นดังกล่าวหรือไม่



ตารางผนวก 7-1 ความเสียหายต่อมนุษย์ (จำนวนของผู้สูญเสีย) ในแต่ละกรณีความเป็นไปได้
สำหรับในแต่ละช่วงความเร็วการเดินทาง

ความสูญเสียต่อมนุษย์ ในแต่ละกรณีความเป็นไปได้	ความเร็วการเดินทาง (V : กิโลเมตร/ชั่วโมง)			
	ไม่เกิน 120	V = 160	V = 230	V = 300
Sz1	15	27	56	96
Sz2	10	18	36	62
Sz3	8	14	30	51
Sz4	11	20	41	70
Sz5	7	12	25	43
Sz6	5	10	20	34
Sz7	9	16	33	56
Sz8	6	10	20	34
Sz9	3	5	10	17
Sz10	13	7	-	-
Sz11	3	2	-	-
Sz12	3	2	-	-
Sz13	8	5	-	-
Sz14	0.3	0.2	-	-
Sz15	0.04	0.02	-	-
Sz16	6	4	-	-
Sz17	0.3	0.2	-	-
Sz18	0.02	0.01	-	-

โดยความสูญเสียต่อมนุษย์ในแต่ละกรณีความเป็นไปได้ โดยจำแนกตามประเภทการชน สามารถดูได้จากตาราง
ผนวก 7-2 และ 7-3 ดังต่อไปนี้

ตารางผนวก 7-2 ความเสียหายของมนุษย์สำหรับรถไฟขนส่งผู้โดยสาร (Sz1 - Sz9)
จำแนกตามประเภทการชน

กรณีความเป็นไปได้	Sz1	Sz2	Sz3	Sz4	Sz5	Sz6	Sz7	Sz8	Sz9
ชนสิ่งปลูกสร้าง	ใช่	ใช่	ใช่	ใช่	ใช่	ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่
สิ่งปลูกสร้างพังทลาย	ใช่	ใช่	ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่
ชนกับรถไฟใกล้เคียง	โดยสาร	สินค้า	ไม่ใช่	โดยสาร	สินค้า	ไม่ใช่	โดยสาร	สินค้า	ไม่ใช่



ตารางผนวก 7-3 ความเสียหายของมนุษย์สำหรับรถไฟขนส่งสินค้า (Sz10 – Sz18)
จำแนกตามประเภทการชน

กรณีความเป็นไปได้	Sz10	Sz11	Sz12	Sz13	Sz14	Sz15	Sz16	Sz17	Sz18
ชนสิ่งปลูกสร้าง	ใช่	ใช่	ใช่	ใช่	ใช่	ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่
สิ่งปลูกสร้างพังทลาย	ใช่	ใช่	ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่
ชนกับรถไฟใกล้เคียง	โดยสาร	สินค้า	ไม่ใช่	โดยสาร	สินค้า	ไม่ใช่	โดยสาร	สินค้า	ไม่ใช่

ผนวก 8 การคำนวณความสูญเสียต่อมนุษย์

การคำนวณความสูญเสียต่อมนุษย์ (Harm to people : D_{szi}) สามารถคำนวณได้โดยนำความเป็นไปได้อันจะเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ ในแต่ละกรณี (P_{szi}) คูณกับความเสียหายของมนุษย์ (Szi) ตามสมการผนวก 8

$$\text{สมการผนวก 8 } D_{szi} = P_{szi} \times Szi$$

ทั้งนี้ ความเป็นไปได้อันจะเกิดเหตุการณ์แต่ละกรณี (P_{szi}) ได้จากสมการผนวก 6 และความเสียหายของมนุษย์ (Szi) ได้จากตารางผนวก 7-1

ผนวก 9 ปัจจัยการหลีกเลี่ยงความสูญเสีย

ขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดปัจจัยการหลีกเลี่ยงความสูญเสีย (Aversion Factor : A_{pf}) ทั้งนี้ โดยปกติทั่วไปจะตั้งอยู่บนสมมติฐานว่ามีค่าเท่ากับ 1 ยกเว้นในบางกรณีที่อาจพิจารณาใช้ค่าอื่น ๆ ตามปัจจัยอื่นเพิ่มเติม เช่น สมรรถนะของโครงสร้างรถขนส่งทางรางในการป้องกันการชน ความเร็วเฉลี่ยของขบวนรถ จำนวนประชาชนที่อยู่ภายในสิ่งปลูกสร้าง โดยได้รับความเห็นชอบจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

ผนวก 10 คำนวณค่าความเสี่ยง (Annual Perceived Risk) ในแต่ละกรณีความเป็นไปได้

ประเมินความเสี่ยง (Annual Perceived Risk : R_b) ในแต่ละกรณีความเป็นไปได้อันนำค่าปัจจัยการหลีกเลี่ยงความเสียหาย (Aversion Factor : A_{pf}) คูณกับความเสียหายต่อมนุษย์ (Szi) ตามสมการผนวก 10

$$\text{สมการผนวก 10 } R_b = A_{pf} \times D_{szi}$$

ผนวก 11 คำนวณผลรวมค่าความเสี่ยง (Annual Perceived Risk) สำหรับทุกกรณีความเป็นไปได้

คำนวณผลรวมการรับรู้ความเสี่ยงสำหรับทุกกรณีความเป็นไปได้อันจะเกิดกับฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้าง โดยแยกประเภทรถไฟโดยสาร (R_{bp}) และรถไฟสินค้า (R_{bf}) จากสมการดังต่อไปนี้

สมการผนวก 11

$$R_{bp} = \sum_{i=1}^{i=9} Rb \text{ สำหรับรถไฟขนส่งผู้โดยสาร และ}$$

$$R_{bf} = \sum_{i=10}^{i=18} Rb \text{ สำหรับรถไฟขนส่งสินค้า}$$

**ผนวก 12 ประเมินการค่าความเสี่ยงในด้านการเงินงบประมาณ**

การประเมินการรับรู้ความเสี่ยงจาก (R_{bpm}, R_{bfm}) ในด้านการเงินและงบประมาณ สามารถคำนวณได้จากมูลค่าการป้องกันการสูญเสียชีวิต (value for preventing a fatality : V_{pf}) ซึ่งคือมูลค่าในด้านการเงินที่ภาครัฐยินยอมลงทุนด้านงบประมาณเพื่อป้องกันการสูญเสียของชีวิตประชาชน ทั้งนี้ การเลือกค่า V_{pf} ที่เหมาะสม มีผลสำคัญต่อการประเมินความเสี่ยง โดยค่าความเสี่ยงในด้านการเงินงบประมาณสามารถคำนวณได้จากสมการผนวก 12-1 และ 12-2

สมการผนวก 12-1 $R_{bpm} = (V_{pf}) \times R_{bp}$ สำหรับรถไฟขนส่งผู้โดยสาร และ

สมการผนวก 12-2 $R_{bfm} = (V_{pf}) \times R_{bf}$ สำหรับรถไฟขนส่งสินค้า

ผนวก 13 ประเมินมูลค่าที่ใช้ในการดำเนินมาตรการป้องกันความสูญเสีย

เป็นการประเมินค่าใช้จ่ายของแต่ละทางเลือกแนวทางการดำเนินการป้องกันและลดความเสี่ยง เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบกับมาตรการที่เหมาะสมที่สุดในการพิจารณาแนวทางการป้องกันความเสี่ยง โดยสามารถคำนวณได้จากสมการผนวก 13-1

สมการผนวก 13-1 $A = [C_s \times (1+Z)^N \times Z] / [(1+Z)^N - 1]$

โดยที่ C_s หมายถึง ต้นทุนในด้านการลงทุนของแต่ละมาตรการ (ต้นทุนแรกเริ่ม) ซึ่งได้มาจากผลรวมของ $(A)/(1+Z)^n$ ของค่า n ตั้งแต่ 1 จนถึง N

A หมายถึง ต้นทุนเฉลี่ยรายปี

N หมายถึง อายุที่ออกแบบ (ปี)

Z หมายถึง อัตราดอกเบี้ยเฉลี่ยต่อปี

ทั้งนี้ ต้นทุนค่าบำรุงรักษารายปีอาจกำหนดไว้ในต้นทุนเฉลี่ยรายปี (A) และอัตราดอกเบี้ยเฉลี่ยต่อปี (Z) อาจประเมินว่าเท่ากับร้อยละ 5 หรือให้เป็นไปตามที่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกำหนด

ต้นทุนรวมรายปี (C_{tot}) สามารถคำนวณได้จากสมการผนวก 13-2 ดังนี้

สมการผนวก 13-2 $C_{tot} = A + (Y \times C_s)$

โดยที่ Y หมายถึง ค่าบำรุงรักษาต่อปีเมื่อเทียบกับต้นทุนในการลงทุน (อาจใช้ค่าเท่ากับร้อยละ 2)



ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการประเมินความเสี่ยงสำหรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างในแนวเส้นทางเดินรถ

ตัวอย่างดังต่อไปนี้เป็นแนวทางการประเมินความเสี่ยงของการเดินรถไฟทางคู่ (รถไฟขนส่งผู้โดยสาร) กับสิ่งปลูกสร้างประเภท ข. ซึ่งก่อสร้างไว้เดิมอยู่ก่อนหน้า (สะพานรถยนต์ข้ามทางรถไฟ มีฐานรองรับเป็นเสาอยู่ห่างจากกึ่งกลางทางรถไฟเป็นระยะทาง 3 เมตร) โดยมีรายละเอียดข้อมูล ดังนี้

1. ข้อมูลการเดินรถ

1.1 ความเร็วของขบวนรถโดยสารก่อนตรวง (V) = 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

1.2 เมื่อขบวนรถตรวงแล้วรถไฟมีความเร่งลดลง (a') ในอัตรา 3 กิโลเมตร/วินาที²

1.3 ค่าความแข็งแรงของโครงสร้าง (α) = 1.0 (โครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างมีการพังทลายเมื่อเกิดการชน)

1.4 จำนวนเที่ยวรถไฟต่อวัน (Z_d) = 100 เที่ยว/วัน (รถไฟทางคู่)

1.5 ขบวนรถโดยสารและขบวนรถสินค้ามีสัดส่วนจำนวนเที่ยวการเดินทางใกล้เคียงกัน

1.6 บริเวณที่จะก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างมีสวิตช์และประแจอยู่ห่างออกไปเป็นระยะ 75 เมตร

1.7 สถิติอัตราการตรวงของรถไฟบริเวณทางปกติ = 0.25×10^{-8} เที่ยว.กิโลเมตร และสถิติการตรวงบริเวณใกล้สวิตช์และประแจเท่ากับ 2.5×10^{-8} เที่ยว.กิโลเมตร

2. ตรวจสอบระยะห่างระหว่างโครงสร้างของสะพานและสวิตช์และประแจ (d) ดังนี้

$$d = 0.0386 V^2/a'$$

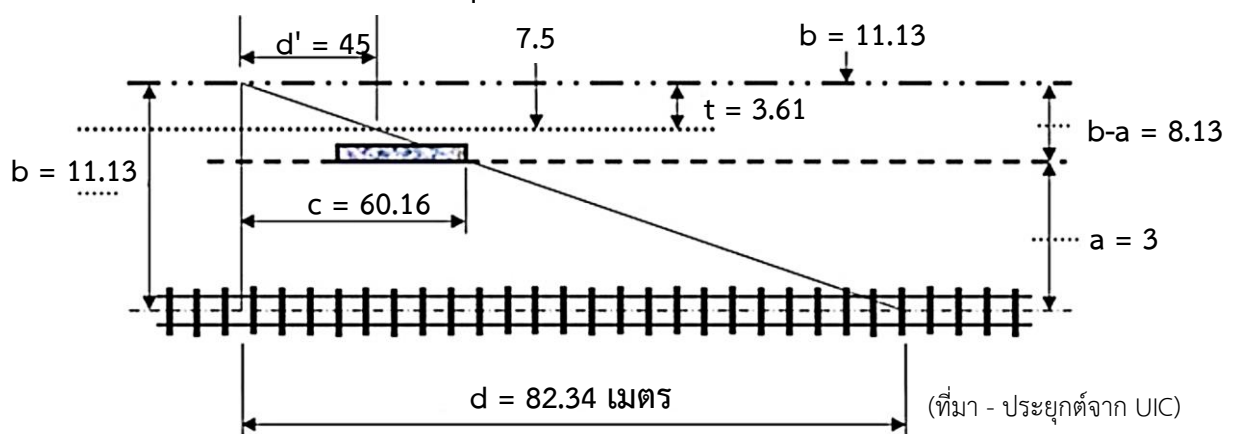
$$d = 0.0386 (80^2/3) = 82.34 \text{ เมตร}$$

เนื่องด้วยระยะ d = 82.34 เมตร มีค่ามากกว่าระยะห่างของประแจ (75 เมตร) บริเวณฐานรองรับของสิ่งปลูกสร้างดังกล่าวจึงอยู่ในพื้นที่สวิตช์และประแจ จึงควรพิจารณาประเมินความเสี่ยงของสิ่งปลูกสร้างและมาตรการป้องกัน

3. พิจารณาประเมินความเสี่ยงของสิ่งปลูกสร้าง และมาตรการป้องกัน สามารถดำเนินการได้โดยนำข้อมูลการเดินรถมาพิจารณาคำนวณตัวแปรค่าความเสี่ยงต่าง ๆ ได้ดังนี้

b	c	d	d'	t
11.13	60.16	82.34	45	3.61

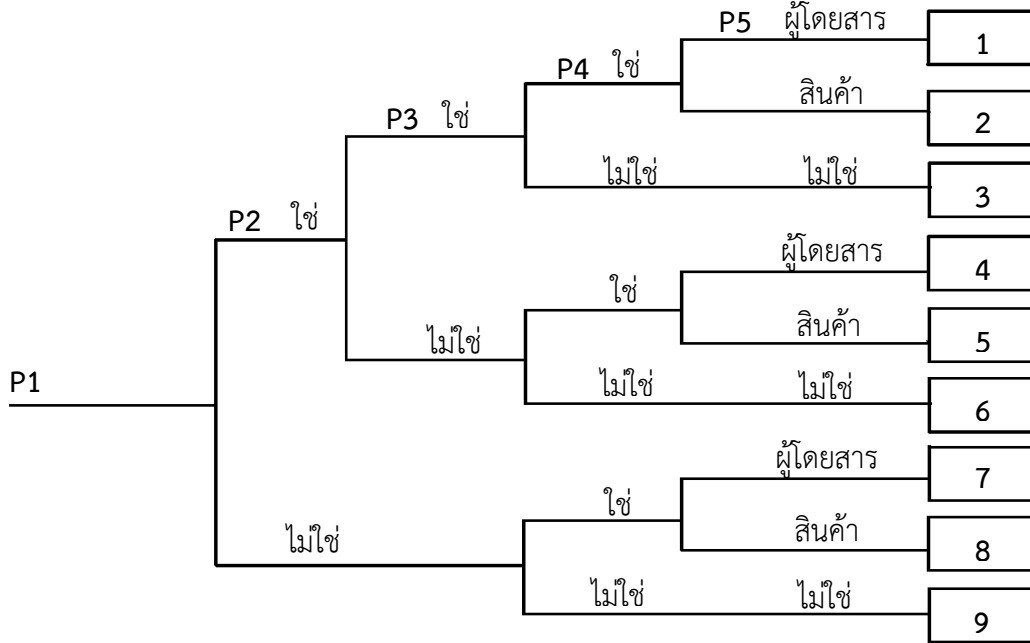
แผนภาพแสดงระยะต่างๆ ในการพิจารณาประเมินความเสี่ยงกรณีรถไฟ





4. จากข้อมูลการเดินทางดังกล่าวนำมาจัดทำแผนภูมิความเสี่ยงได้ดังนี้

P1 รถไฟตกราง บริเวณใกล้เคียง สิ่งปลูกสร้าง
 P2 ชนกับ สิ่งปลูกสร้าง หรือไม่
 P3 สิ่งปลูกสร้าง พังทลาย หรือไม่
 P4 รถไฟชน กับรถไฟที่อยู่ข้างเคียง
 P5 ประเภทของ รถไฟข้างเคียง
 P_{szi} ความ เป็นไปได้



5. นำข้อมูลดังกล่าวมาพิจารณาความเป็นไปได้ในแต่ละกรณีได้ดังตารางต่อไปนี้

ความเป็นไปได้	รถไฟตกราง	ชนกับสะพาน	สะพานพังทลาย	ชนต่อเนื่องกับขบวนใกล้เคียง	ประเภทขบวนรถที่เดินรถในทางข้างเคียง		ความเป็นไปได้แต่ละกรณี
					โดยสาร	สินค้า	
	P1	P2	P3	P4	P5		P _{szi}
1	7.51413E-05	0.12029974	0.53917485	0.1	0.5	-	2.43693E-07
2	7.51413E-05	0.12029974	0.53917485	0.1	-	0.5	2.43693E-07
3	7.51413E-05	0.12029974	0.53917485	-	-	-	4.87386E-06
4	7.51413E-05	0.12029974	-	0.1	0.5	-	4.51974E-07
5	7.51413E-05	0.12029974	-	0.1	-	0.5	4.51974E-07
6	7.51413E-05	0.12029974	-	-	-	-	9.03948E-06
7	7.51413E-05	-	-	0.1	0.5	-	3.75707E-06
8	7.51413E-05	-	-	0.1	-	0.5	3.75707E-06
9	7.51413E-05	-	-	-	-	-	7.51413E-05
รวมความเป็นไปได้ทุกกรณี							9.79601E-05



6. นำข้อมูลมาคำนวณค่าความเสี่ยงในด้านการเงินและงบประมาณ โดยกำหนดค่าตัวแปรดังต่อไปนี้

6.1 กำหนดมูลค่าการป้องกันการสูญเสียชีวิต (value for preventing a fatality : Vpf) (มูลค่าทางการเงินที่เต็มใจจะจ่ายเพื่อป้องกันการสูญเสียชีวิต) ซึ่งมูลค่า Vpf จะแตกต่างกันในแต่ละประเทศ โดยเบื้องต้นในตัวอย่างนี้จะกำหนดให้มูลค่าความเต็มใจจ่ายของประเทศไทยประมาณ 6.67 ล้านบาท

6.2 โดยจะคำนวณหาค่า Rbpmi ได้ตามตาราง

กรณี	Pszi	Szi	D _{szi}	Apf	Rbp	Vpf	R _{bpm}
Psz1 - Sz1	2.43693E-07	15	0.0014694	1	0.001469		
Psz2 - Sz2	2.43693E-07	10	0.0009796	1	0.00098		
Psz3 - Sz3	4.87386E-06	8	0.00078368	1	0.000784		
Psz4 - Sz4	4.51974E-07	11	0.00107756	1	0.001078		
Psz5 - Sz5	4.51974E-07	7	0.00068572	1	0.000686		
Psz6 - Sz6	9.03948E-06	5	0.0004898	1	0.00049		
Psz7 - Sz7	3.75707E-06	9	0.00088164	1	0.000882		
Psz8 - Sz8	3.75707E-06	6	0.00058776	1	0.000588		
Psz9 - Sz9	7.51413E-05	3	0.00029388	1	0.000294		
รวม					0.007249	6,670,000	48,351.17

7. กำหนดมาตรการดำเนินการป้องกันการ พร้อมทั้งทางเลือกสำรองต่าง ๆ โดยในตัวอย่างนี้จะเป็นมาตรการดำเนินการและค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างที่สมมุติขึ้นเพื่อเป็นตัวอย่างในการพิจารณา ดังนี้

7.1 มาตรการที่ 1 ก่อสร้างกันชนบริเวณด้านหน้าแนวเสาต้นแรกและต้นสุดท้ายที่ซึ่งมีความเสี่ยงที่จะเกิดการปะทะจากรถไฟที่ตกรางเป็นอันดับแรก โดยกันชนมีลักษณะโค้งมนเพื่อหักเหแรงชนออกจากแนวสิ่งปลูกสร้าง ประเมินราคาค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง 250,000 บาท

7.2 มาตรการที่ 2 ก่อสร้างกำแพงต่อเนื่องระหว่างช่วงเสา โดยกำแพงมีความสูงกึ่งหนึ่งของความสูงเสา โดยประเมินราคาค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง 600,000 บาท

7.3 มาตรการที่ 3 เพิ่มระยะห่างจากกึ่งกลางทางรถไฟให้มากขึ้นเพื่อลดความเสี่ยงและแรงปะทะจากรถไฟที่ตกราง โดยรื้อถอนฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างเดิมที่ระยะ 3 เมตร และก่อสร้างฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างใหม่ที่ระยะ 6 เมตรจากกึ่งกลางทางรถไฟ โดยประเมินราคาค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ 8,000,000 บาท

8. คำนวณเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางการเงินในแต่ละมาตรการ ดังนี้

8.1 สมมติฐานตัวแปรด้านการเงิน

8.1.1 กำหนดสัดส่วนของค่าบำรุงรักษาต่อปีคิดเป็นร้อยละ 2 ของต้นทุนในการลงทุนเริ่มแรก

8.1.2 กำหนดอัตราดอกเบี้ยเฉลี่ย (Z) ร้อยละ 5 ต่อปี

8.1.3 เปรียบเทียบความคุ้มค่าด้านการลงทุนที่ระยะเวลา 30 ปี และ 120 ปี

8.2 จากข้อมูลที่มี สามารถนำมาวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินในแต่ละมาตรการ จากอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio) ได้ดังนี้



มาตรการ	R _{bpm} (บาท)	C _s (บาท)	A (บาท)		C _{tot} (บาท)		อัตราส่วนผลตอบแทน ต่อต้นทุน (B/C Ratio)	
			30	120	30	120	30	120
1	48,351	250,000	16,263	12,536	21,263	17,536	2.274	2.757
2	48,351	600,000	39,031	30,086	51,031	42,086	0.947	1.149
3	42,290	8,000,000	520,411	401,150	680,411	561,150	0.062	0.075

8.3 ทางเลือกมาตรการที่ 3 มีค่า R_{bpm} ที่แตกต่างจากมาตรการอื่น เนื่องจากมีการเปลี่ยนระยะห่างระหว่างโครงสร้างกับแนวกึ่งกลางทางรถไฟ (b) จากเดิม 3 เมตร เป็น 6 เมตร

9. จากการวิเคราะห์อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio) พบว่า

9.1 มาตรการที่ 1 (ก่อสร้างกันชนบริเวณด้านหน้าแนวเสาต้นแรกและต้นสุดท้าย) มีความคุ้มค่าทางการเงินมากที่สุดที่ B/C Ratio₁₂₀ = 2.757 และ B/C Ratio₃₀ = 2.274 ตามลำดับ

9.2 กรณีหากผู้ออกแบบพิจารณาแล้วเห็นว่ามาตรการที่ 1 ไม่เพียงพอ อาจเลือกใช้มาตรการที่ 2 (ก่อสร้างกำแพงต่อเนื่อง) เพื่อให้มีความปลอดภัยเพิ่มมากขึ้น และยังมีค่าคุ้มค่าทางการเงินที่ B/C Ratio₁₂₀ = 1.149 สำหรับความคุ้มค่าทางการเงินของระยะ 30 ปี ซึ่ง B/C Ratio₃₀ = 0.947 (ต่ำกว่า 1) นั้น ถือว่าไม่ได้มีผลอย่างมีนัยสำคัญมากนัก เมื่อพิจารณาว่าการประเมินความเสี่ยงนี้ตั้งอยู่บนสมมุติฐานในหลายกรณี และมีความไม่แน่นอนในหลายตัวแปร

9.3 ในส่วนของมาตรการที่ 3 (รื้อถอนฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้าง และก่อสร้างฐานรองรับโครงสร้างใหม่ให้ห่างจากกึ่งกลางทางรถไฟมากขึ้น) พบว่ามีความคุ้มค่าทางการเงินที่ B/C Ratio₁₂₀ เพียง 0.075 และ B/C Ratio₃₀ เพียง 0.062 ซึ่งไม่คุ้มค่าที่จะดำเนินการ

อย่างไรก็ตาม หากกรณีตัวอย่างที่ยกมาไม่ใช่การปรับปรุงสิ่งปลูกสร้างเดิมที่มีอยู่ก่อนหน้า แต่เป็นมาตรการสำหรับสิ่งปลูกสร้างที่สร้างขึ้นใหม่แล้ว มาตรการที่ 3 การปรับแก้ไขแบบแปลนขยายฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้าง เช่น เสาของสะพานให้ห่างจากกึ่งกลางทางรถไฟมากขึ้น อาจเป็นทางเลือกที่ดีทางเลือกหนึ่งในการพิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุน เนื่องจากสิ่งปลูกสร้างที่สร้างขึ้นใหม่ จะไม่มีค่าใช้จ่ายในการรื้อถอนฐานรองรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างเดิม และโครงการก่อสร้างใหม่ ต้นทุนที่จะถูกนำมาคิดความคุ้มค่า (C_s) จะมีเพียงเฉพาะค่าใช้จ่ายส่วนต่างเพื่อเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างหรือปรับปรุงให้มีความยาวช่วง (Span) ยาวขึ้นเท่านั้น ไม่ใช่ต้นทุนทั้งหมดในการก่อสร้างเหมือนกับกรณีการแก้ไขสิ่งปลูกสร้างเดิมที่มีอยู่ก่อนหน้าดังกล่าวข้างต้น



บรรณานุกรม

- [1] European Committee for Standardization, *EN 1991-1-7: Eurocode 1 – Actions on structures – Part 1-7: General actions – Accidental actions*, Brussels, Belgium: CEN, 2006.
- [2] International Union of Railways, *UIC Code 777-2: Structures built over railway lines – Construction requirements in the track zone*, Paris, France: UIC, 2002.
- [3] American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association, *AREMA Manual for Railway Engineering – Chapter 8: Concrete structures and foundations*, Lanham, MD: AREMA, 2019.
- [4] Standards Australia, *AS 5100.1: Bridge design – Part 1: Scope and general principles*, Sydney, Australia: Standards Australia, 2017.
- [5] Standards Australia, *AS 5100.2: Bridge design – Part 2: Design loads*, Sydney, Australia: Standards Australia, 2017.
- [6] Queensland Rail, *CIVIL-SR-012: Collision protection of supporting elements adjacent to railways*, Brisbane, Australia: Queensland Rail, 2011.
- [7] Queensland Government, Department of Transport and Main Roads, *Guide to development in a transport environment*, Brisbane, Australia: TMR, 2015.
- [8] Rail Safety and Standards Board, *GC/GN5612: Guidance on loading requirements for the design of railway structures*, London, UK: RSSB, 2018.
- [9] Transport Asset Standards Authority, *T HR TR 25000 ST: Buffer stops*, Sydney, Australia: NSW Government, 2017.
- [10] Railway Technical Research Institute, *Fundamental technology for a successful railway: Civil engineering*, Tokyo, Japan: RTRI, n.d.
- [11] สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (TDRI), *การประเมินค่าความสูญเสียจากอุบัติเหตุทางถนนของไทย*, กรุงเทพฯ: ทีดีอาร์ไอ, 2567.
- [12] กรมการขนส่งทางราง, *มขร. - C - 011 - 2567: มาตรฐานพิกัดโครงสร้างทางรถไฟ (Structure Gauge)*, กรุงเทพฯ: กรมการขนส่งทางราง, 2567.
- [13] การรถไฟแห่งประเทศไทย, *รายการเฉพาะทางเทคนิคสำหรับการผลิตหรือจัดหาแป้นปะทะชนิดไฮดรอลิกและเสียดทาน*, กรุงเทพฯ: การรถไฟแห่งประเทศไทย, 2567.



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



Facebook/DRT.OfficialFanpage



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