มขร. – C – 002 – 2564

มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง สำหรับทางขนาด 1,435 มิลลิเมตร

(BALLASTLESS TRACK DESIGN)

จัดทำโดย

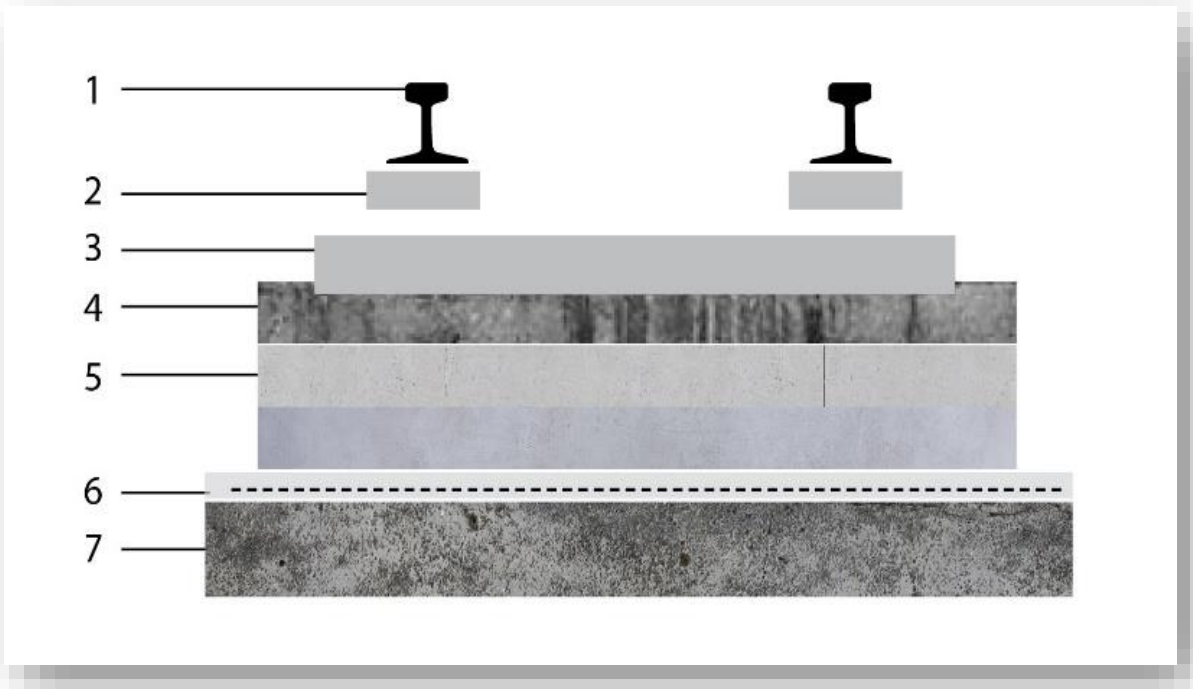
กรมการขนส่งทางราง

กองมาตรฐานความปลอดภัยและบำรุงทาง

1 ทั่วไป (General)

1.1 วัตถุประสงค์

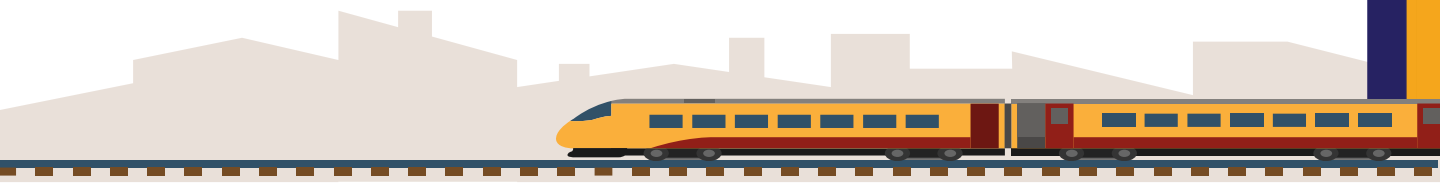
มาตรฐานเล่มนี้ระบุข้อกำหนดทั่วไปและเกณฑ์ทางเทคนิคเกี่ยวกับการออกแบบทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง โดยระบบโครงสร้างทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง ประกอบไปด้วย (หรือไม่จำเป็นต้องมี) องค์ประกอบหลัก องค์ประกอบรองและส่วนต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 องค์ประกอบโครงสร้างทางแบบไม่มีหินโรยทาง
องค์ประกอบหลัก รองและส่วนต่าง ๆ

โดยส่วนประกอบหลักของโครงสร้างทางรถไฟ จะมีดังนี้

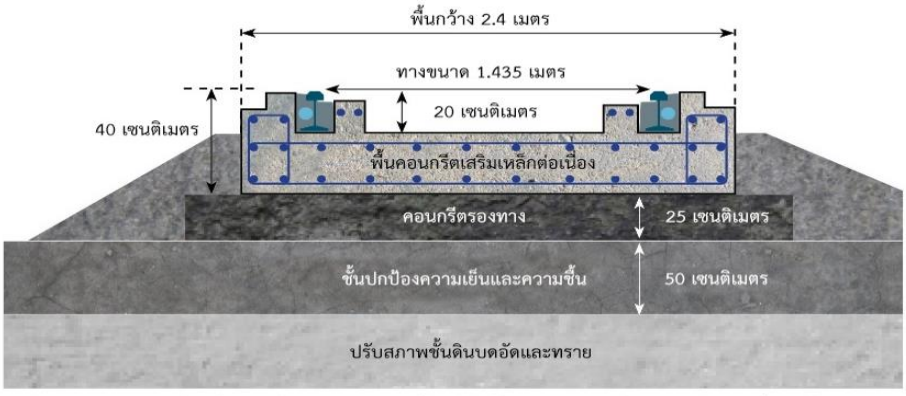
1. ราง ประแจสับราง (Rail/Switch and crossing)
2. ระบบยึดเหนี่ยวราง หรือ ในบางระบบจะเป็นระบบฝังรางเข้ากับส่วนที่ 3 (Fastening system/ System for embedded rail) ได้แก่ ตัวยึด (Clip) ตัวหนีบ (Clamp) แผ่นรองราง (Rail Pad) วัสดุยึดประสาน (Adhesive)
3. ส่วนประกอบที่นำมารองราง (Prefabricated Element) เช่น หมอนคอนกรีต (Concrete Sleeper) บล็อก (Block) พื้น (Slab)
4. ชั้นคั่นกลางระหว่างหมอนรองรางกับพื้น หรือ คอนกรีตรองราง (Intermediate Layer/Concrete Filling Layer)
5. ชั้นทาง (Pavement) ได้แก่ พื้นคอนกรีตรองรางแบบชั้นเดียวหรือหลายชั้น (Single-layered pavement/Multi-layered pavement)
6. ชั้นรองพื้นคอนกรีตรองราง (Intermediate layer) เช่น Foil/Sheeting และวัสดุทดแทน (Compensation Layer)
7. โครงสร้างรองรับทางรถไฟ (Substructure) อาจจะเป็นพื้นคอนกรีต พื้นสะพาน ชั้นรองผิวทาง หรือคันทางแล้วแต่ลักษณะการออกแบบที่รองรับ



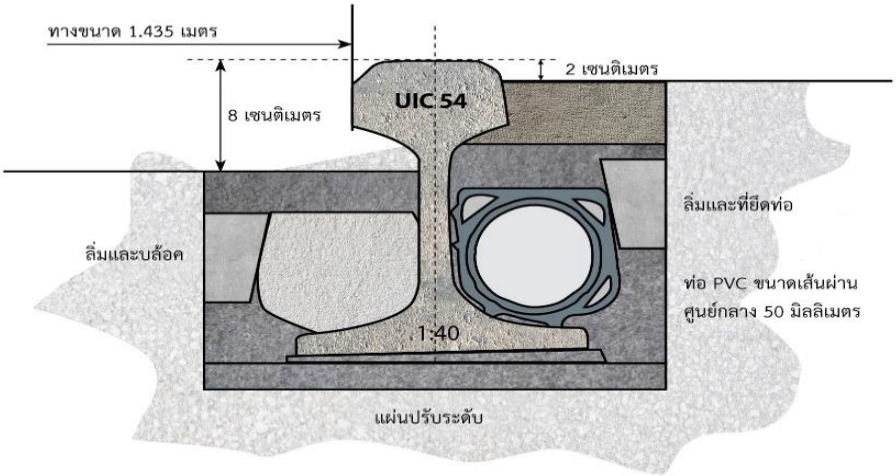
รูปแบบของโครงสร้างทางแบบไม่มีหินโรยทางมีมากมายหลายรูปแบบ ซึ่งขึ้นกับเทคนิคการออกแบบ การถ่ายแรงจากรถไฟไปยังโครงสร้างทางรถไฟ รูปแบบโครงสร้างทางสามารถแบ่งประเภทตามลักษณะการยึดรางได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ

1.1.1 โครงสร้างทางแบบไม่มีหินโรยทางแบบมีจุดรองรับต่อเนื่องหรือรางแบบฝัง (Embedded Rail System)

เป็นโครงสร้างทางที่รางฝังอยู่ใน Elastomeric Concrete หรือ วัสดุประสานซีเมนต์ (Cement) ซึ่งอยู่ในพื้นคอนกรีต ระบบนี้มีชื่อย่อว่า Embedded Rail System (ERS) โดยใช้ระบบรองรับแบบต่อเนื่องดังแสดงในรูปที่ 2 โดยโครงสร้างทางประกอบด้วยรางที่ฝังอยู่ในพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบต่อเนื่องวางอยู่บนฐานที่ทำให้แน่นด้วยซีเมนต์และรองด้วยทราย



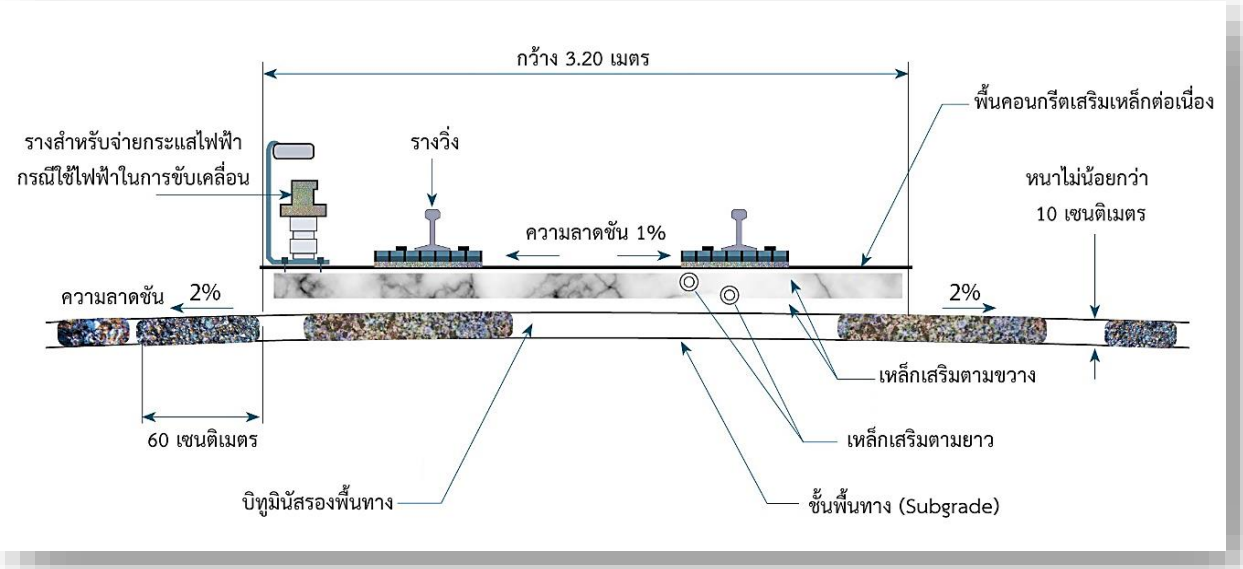
ภาพตัดขวางรายละเอียดโครงสร้างทางประเภทไม่มีหินโรยทางแบบมีจุดรองรับต่อเนื่องหรือรางแบบฝัง



รูปที่ 2 ตัวอย่างโครงสร้างทางรถไฟแบบไม่มีหินโรยทางแบบระบบรางฝัง (Embedded Rail System (ERS))

1.1.2 โครงสร้างทางแบบไม่มีหินโรยทางแบบมีระบบยึดเหนี่ยวราง (Fastening System)

ระบบโครงสร้างทางแบบไม่มีหินโรยทางมักจะใช้ระบบที่มีระบบยึดเหนี่ยวราง ซึ่งระบบโครงสร้างทางนี้จะมีหลายระบบ และมีชื่อเรียกหลากหลายตามแต่ละรูปแบบการออกแบบ รูปที่ 3



รูปที่ 3 รูปแบบทั่วไปของพื้นทางคอนกรีตเสริมเหล็กแบบต่อเนื่อง (Continuously Reinforced Concrete Slab Track System, CRC) ที่มีระบบยึดเหนี่ยวราง (Fastening System)

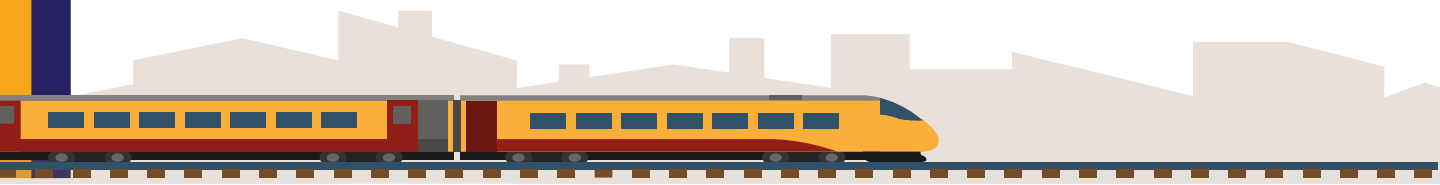
1.2 ขอบเขต

1. มาตรฐานฉบับนี้ใช้สำหรับระบบขนส่งทางรางในประเทศไทย
2. มาตรฐานฉบับนี้ใช้สำหรับระบบขนส่งทางรางในเมือง ชานเมือง และระหว่างเมืองที่มีขนาดทาง 1,435 มิลลิเมตร เท่านั้น

1.3 มาตรฐานอ้างอิง

มาตรฐานเล่มนี้เป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐานการออกแบบส่วนประกอบทางรถไฟในส่วนโครงสร้างทางรถไฟแบบไม่มีหินโรยทาง มาตรฐานเล่มนี้ กำหนดขึ้นโดยใช้เอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

1. มาตรฐานการขนส่งทางรางของกรมการขนส่งทางราง เรื่อง มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ (Track Classification)
2. มาตรฐานการขนส่งทางรางของกรมการขนส่งทางราง เรื่อง มาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ (Track Components)
3. มาตรฐานการขนส่งทางรางของกรมการขนส่งทางราง เรื่อง มาตรฐานตำแหน่งเปลี่ยนผ่านบนทางรถไฟ (Railway Track Transition Zone)



2 นิยามและสัญลักษณ์

2.1 นิยาม

ทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง (Ballastless Track) คือ ทางรถไฟที่ใช้พื้นคอนกรีตเพื่อรองรับทางรถไฟ แทนที่การใช้หินโรยทาง (Ballast) โดยพื้นคอนกรีตนี้จะเทเพื่อเชื่อมกับหมอนรองราง (Concrete sleeper) ในกรณีที่มีหมอนรองราง หรือใช้รองรับทางรถไฟโดยตรงโดยไม่มีหมอนรองรางก็ได้ ขึ้นอยู่กับการออกแบบ

2.2 สัญลักษณ์

ERS หมายถึง Embedded Rail System

CRC หมายถึง Continuous Reinforced Concrete Slab Track System

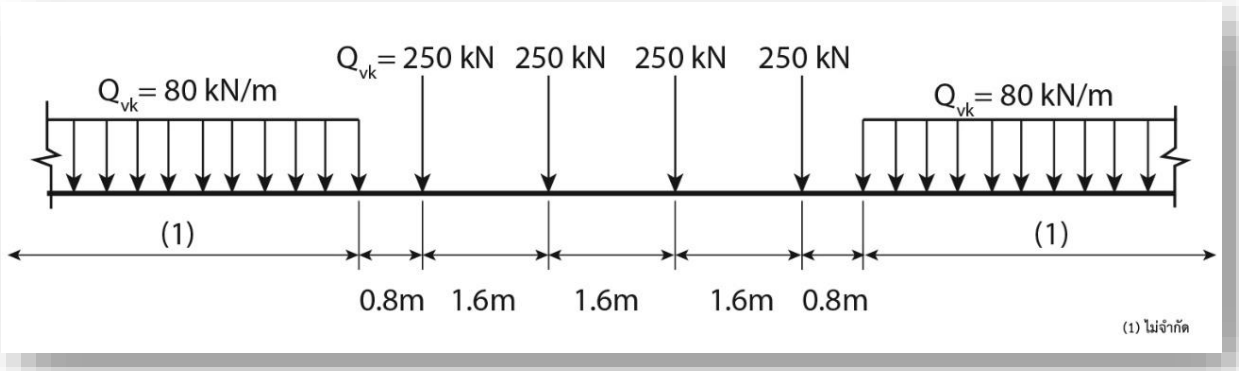
3 แรงกระทำที่พิจารณา (Load Condition)

3.1 องค์ประกอบของน้ำหนักบรรทุกที่ต้องพิจารณา

ทางรถไฟต้องรับน้ำหนักบรรทุกในสามทิศทางที่เกิดขึ้นซ้ำ ๆ และพร้อม ๆ กัน ตลอดเวลาที่ใช้งาน โดยแรงที่กระทำกับทางรถไฟประกอบด้วย

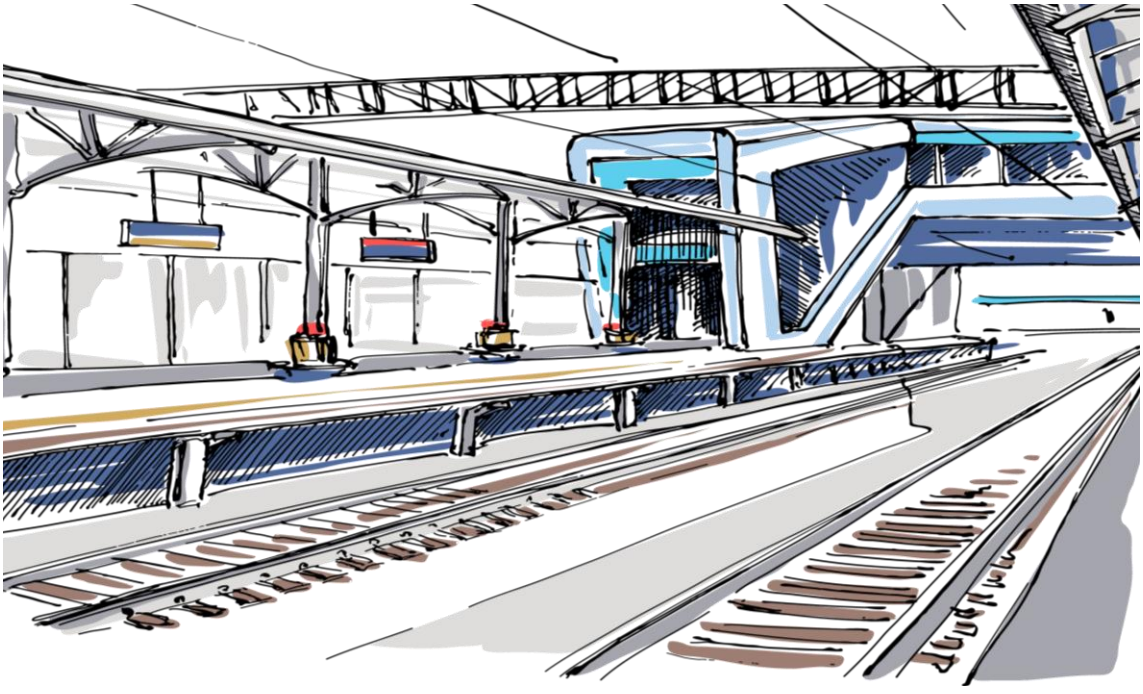
3.1.1 แรงกระทำในแนวดิ่ง (Vertical Load)

เกิดจากน้ำหนักบรรทุกกดลงเพลา น้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งจากสภาพการจราจรปกติ ซึ่งสามารถใช้การกระจายน้ำหนักลงรางตามชนิดและน้ำหนักลงเพลาจริงของรถไฟ หากไม่ระบุชนิดและน้ำหนักลงเพลาของรถไฟ สามารถใช้การกระจายน้ำหนักลงรางตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 น้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งสำหรับรถไฟในสภาพการจราจรปกติ

โดยที่ q_{vk} = แรงกระทำหรือน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่ง หน่วยเป็น กิโลนิวตัน



โดยน้ำหนักดังกล่าวสามารถใช้ตัวคูณประกอบ เพื่อปรับแก้ค่าให้มากขึ้นสำหรับการจราจรที่มากกว่าปกติ หรือลดลงสำหรับการจราจรที่เบากว่าปกติ นอกจากนั้น การกระจายน้ำหนักดังกล่าวยังสามารถนำไปคูณกับตัวคูณประกอบ เพื่อคำนวณแรงเนื่องจากแรงหนีศูนย์กลาง และแรงจากการเบรกได้ ทั้งนี้ ค่าตัวคูณประกอบอาจเป็นค่าใดค่าหนึ่งดังต่อไปนี้ 0.75 หรือ 0.83 หรือ 0.91 หรือ 1.00 หรือ 1.10 หรือ 1.21 หรือ 1.33 หรือ 1.46

ซึ่งกำหนดตามความเหมาะสมของการใช้ทางโดยผู้ออกแบบ โดยทางรถไฟที่มีการเดินรถไฟระหว่างประเทศหรือใช้ในการขนส่งสินค้า ควรใช้ค่ามากกว่า 1 ทั้งนี้ ค่า 1.33 เป็นค่าที่แนะนำสำหรับการเดินรถไฟระหว่างประเทศหรือใช้ในการขนส่งสินค้า

3.1.2 แรงกระทำในแนวราบ (Horizontal Forces)

1 แรงหนีศูนย์

เป็นแรงที่เกิดขึ้นในกรณีที่รถไฟต้องเข้าโค้ง เมื่อเข้าโค้ง แรงหนีศูนย์ qtk จะต้องนำมาพิจารณา แรงหนีศูนย์ สามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

$$q_{tk} = \frac{v^2}{g \times r}(f \times q_{vk}) \quad (1)$$

โดยที่ q_{tk} คือ แรงหนีศูนย์ หน่วยเป็น กิโลนิวตัน

v คือ ความเร็วสูงสุดขณะเข้าโค้ง หน่วยเป็น เมตร/วินาที

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก เท่ากับ 9.8 เมตร/วินาที^{2}

r คือ รัศมีความโค้ง หน่วยเป็น เมตร

กำหนดให้ f คือ ตัวคูณประกอบปรับลด ดังสมการ (2)

สำหรับโครงสร้างที่ตั้งอยู่บริเวณที่ใช้ความเร็วต่ำกว่า 120 km/h ให้พิจารณาแรงหนีศูนย์จาก

1) กรณีใช้ความเร็วสูงสุด ณ ตำแหน่งที่ตั้งของโครงสร้าง ให้ใช้ค่าตัวคูณประกอบปรับลด (f) เท่ากับ 1.0

สำหรับโครงสร้างที่ตั้งอยู่บริเวณที่ใช้ความเร็วมากกว่าหรือเท่ากับ 120 km/h ให้แบ่งการพิจารณาออกเป็นสองรูปแบบคือในอนาคต

1) กรณีที่ใช้ความเร็วเท่ากับ 120 km/h ให้ใช้ค่าตัวคูณประกอบปรับลด (f) เท่ากับ 1.0

2) กรณีใช้ความเร็วสูงสุด ณ ตำแหน่งที่ตั้งของโครงสร้าง โดยใช้ค่าตัวคูณประกอบปรับลด (f) ที่คำนวณได้จากสมการ (2)

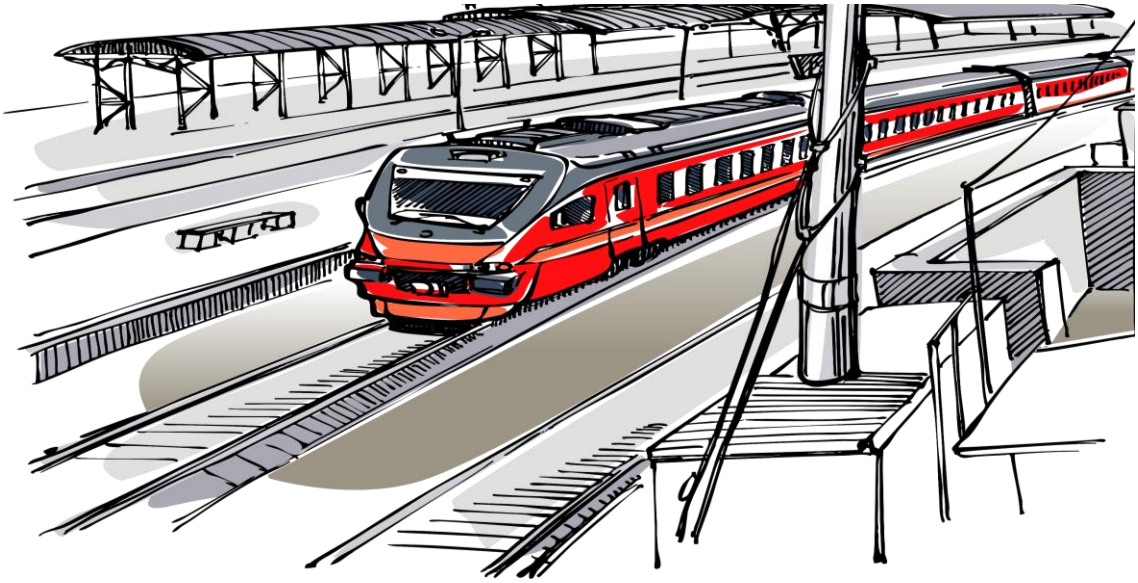
หมายเหตุ ความเร็วสูงสุดที่ใช้ในการคำนวณ ควรคำนึงถึงโอกาสในการยกระดับความเร็วหากมีการปรับปรุงคุณภาพของเส้นทางในอนาคต

$$f = \left[1 - \frac{V - 120}{1000}\left(\frac{814}{V} + 1.75\right)\left(1 - \sqrt{\frac{2.88}{L_f}}\right)\right] \leq 1.0 \qquad (2)$$

และ L_f คือ ค่าความยาวของแรงกระทำ ที่ส่งอิทธิพลของแรงหนีศูนย์ไปสู่ชิ้นส่วนใดชิ้นส่วนหนึ่งของโครงสร้างที่กำลังพิจารณา มีหน่วยเป็นเมตร (ซึ่งค่า L_f อาจแตกต่างกันไปตามชิ้นส่วนแต่ละชิ้นในโครงสร้าง โดยสามารถคำนวณโดยละเอียดได้จากการวิเคราะห์เส้นแรงอิทธิพล (influence line) หรือวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างอื่นๆที่น่าเชื่อถือ)

V คือ คือความเร็วที่พิจารณาในการออกแบบมีหน่วยเป็น กิโลเมตรต่อชั่วโมง

กำหนดให้ f คือ เท่ากับ 1 เมื่อ $V \leq 120$ กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือ $L_f \leq 2.88$



2 แรงจากการเร่งและเบรก

แรงจากการเร่งและเบรกจะกระทำที่ด้านบนของราง และกระทำตามแนวยาวของราง ตามทิศทางของทางรถไฟ แรงนี้ให้พิจารณาเป็นแรงกระทำแบบกระจายและสม่ำเสมอ ตลอดแนวที่แรงกระทำ $(L_{a,b})$ การคำนวณแรงกระทำให้คำนวณตามสมการ (3) และสมการ (4)

แรงจากการเร่ง = 33 x $L_{a,b}$ กิโลนิวตัน $\leq 1,000$ กิโลนิวตัน (3)

แรงจากการเบรค = 20 x $L_{a,b}$ กิโลนิวตัน $\leq 1,000$ กิโลนิวตัน (4)

โดยที่ $(L_{a,b})$ = ความยาวของแนวแรงที่กระทำ หน่วยเป็นเมตร ภายใต้น้ำหนักบรรทุก สภาวะต่าง ๆ รูปทรงทางเรขาคณิตของทางรถไฟ คือ ขนาดทาง ระดับทาง และแนวเส้นทางต้องอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

3.2 ชนิดของแรงกระทำ

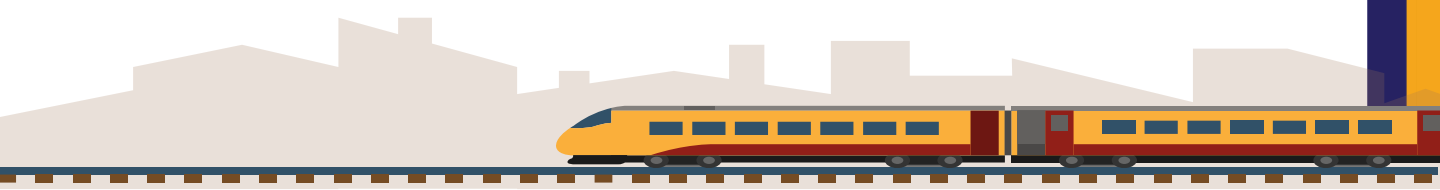
แรงที่มากระทำแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ

3.2.1 แรงกระทำแบบสถิต (Static Load)

น้ำหนักลงเพลาที่กระทำกับรางและถ่ายจากรางมายังพื้น ซึ่งจะต้องใช้กรณีของน้ำหนักกระทำรูปแบบต่างๆ เช่น การเกิดแรงหนีศูนย์ การกระจายน้ำหนักจากตัวรถลงรางที่ไม่สมมาตร การยกโค้ง ทั้งตามมาตรฐานที่กำหนดและน้ำหนักของตัวรถไฟจริงที่จะนำมาใช้

3.2.2 แรงกระทำแบบพลศาสตร์ (Dynamic Load)

แรงกระทำในแนวดิ่งเนื่องจากพฤติกรรมแบบพลศาสตร์จะแปรผันไปตามความเร็วของรถ (vehicle speed) สภาพของรถ (vehicle condition) และคุณภาพของทางวิ่ง (track quality) ทั้งนี้ ค่าดังกล่าวสามารถคำนวณได้โดยใช้ตัวประกอบในการคูณ (kd) กับแรงกระทำแบบสถิต (Static) ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ค่าตัวคูณ (kd) เท่ากับ 1.5 โดยประมาณ (โดยค่าดังกล่าวจะสอดคล้องกับในสภาวะที่เกิดความเร่งแนวดิ่งสูงสุดที่ตัวรถ (maximum vertical acceleration of car-body) เท่ากับ 5.0 เมตร/วินาที^{2}) อย่างไรก็ตาม แรงกระทำแบบพลศาสตร์สามารถคำนวณได้โดยใช้พิจารณาข้อมูลอื่นๆ ดังนี้



1. พิจารณาจากข้อมูลเชิงสถิติของความไม่สม่ำเสมอในแนวดิ่งของทางวิ่ง (vertical track irregularity)

2. พิจารณาจากข้อมูลสเปคตรัม (power spectral density – PSD) ของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นบนรถไฟ ซึ่งได้มาจากการทดสอบหรือการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3. พิจารณาจากข้อมูลที่แสดงถึงพฤติกรรมปฏิสัมพันธ์กันระหว่างรถไฟ-ทางวิ่งและโครงสร้าง (vehicle-track-structure interaction) โดยข้อมูลดังกล่าวต้องมีความสอดคล้องกับสภาวะที่เกิดขึ้นจริงในระดับที่ยอมรับได้

4 วัสดุสำหรับโครงสร้างทางรถไฟแบบไม่มีหินโรยทาง

4.1 คอนกรีต

วัสดุผสมคอนกรีตควรเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 หรือเทียบเท่า โดยมีกำลังอัดของคอนกรีตที่ 28 วัน ไม่ควรต่ำกว่า 280 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร สำหรับก้อนตัวอย่างทดสอบทรงกระบอก (Cylinder) และมีกำลังรับแรงดัดไม่ต่ำกว่า 45 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ไม่เกิน 0.45

ทั้งนี้ ให้คำนึงถึงความคงทนและอายุการใช้งานเป็นหลัก วัสดุที่ใช้ในการผสมคอนกรีตไม่ควรมีผลกระทบต่อความคงทนของคอนกรีต เช่น มวลรวมที่ไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาอัลคาไลน์ (Alkaline-aggregate Reaction) หรือ ปฏิกิริยาทางเคมีที่ส่งผลกระทบต่อความคงทนของคอนกรีต ทั้งนี้ มวลรวมของปฏิกริยาอัลคาไลน์ภายในคอนกรีตไม่ควรเกิน 3 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

4.2 เหล็กเสริม

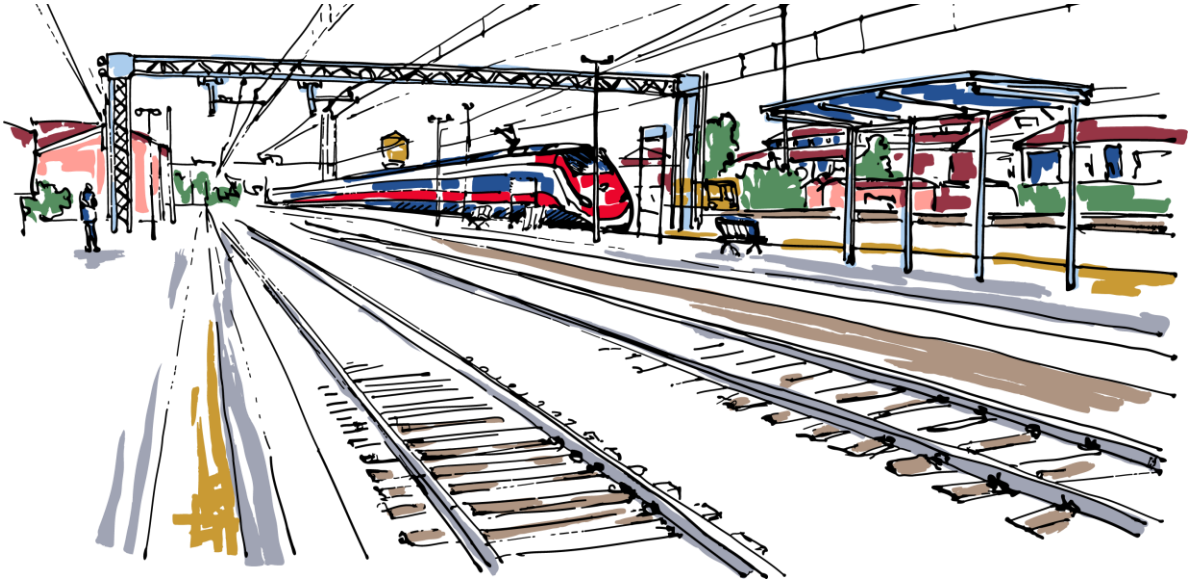
4.2.1 เหล็กเสริม

เหล็กเสริมให้เป็นไปตามที่ออกแบบ หรือมาตรฐาน มอก. ทั้งนี้ เหล็กเสริมควรมีการทดสอบก่อนการนำไปใช้ และมีกำลังไม่ต่ำกว่าค่าที่ใช้ในการออกแบบ

4.2.2 เหล็กเสริมต้านทานการยืดหด

เหล็กเสริมต้านทานการยืดหดตามยาวและตามขวางควรมีการจัดวางให้อยู่ในระดับกึ่งกลางหรือใกล้เคียงระดับกึ่งกลางของคอนกรีต วัตถุประสงค์เพื่อควบคุมการร้าวจากการหดตัวเนื่องจากอุณหภูมิ ทั้งนี้ เหล็กเสริมต้านทานการยืดหดไม่ได้ถูกออกแบบให้รับแรงกระแทกและโมเมนต์จากน้ำหนักของรถไฟ ปริมาณของเหล็กเสริมต้านทานการยืดหดควรมีปริมาณไม่ต่ำกว่า ร้อยละ 0.8 – 0.9 สำหรับหน้าตัดชั้นทางปกติ และไม่ต่ำกว่าร้อยละ 0.4 – 0.5 สำหรับหน้าชั้นทางบริเวณรอยต่อ

5 การออกแบบโครงสร้างทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง



5.1 ข้อควรพิจารณาในการออกแบบ

การออกแบบทางรถไฟชนิดพื้นคอนกรีต จะใช้หลักการของการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องสามารถรับแรงกระทำจากน้ำหนักบรรทุกประเภทต่าง ๆ ได้อย่างปลอดภัย และสามารถถ่ายน้ำหนักบรรทุกลงไปยังโครงสร้างส่วนล่างได้อย่างมีเสถียรภาพ เช่น ชั้นพื้นทาง พื้นทางคอนกรีต พื้นทางแอสฟัลท์คอนกรีต หรือ พื้นสะพาน เป็นต้น น้ำหนักบรรทุกที่พื้นคอนกรีตจะต้องรับ เช่น น้ำหนักที่ถ่ายจากรางแบบสถิตศาสตร์ แบบพลศาสตร์ หรือ หน่วยแรงจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวคอนกรีต

5.2 หลักการออกแบบแผ่นพื้น

5.2.1 หลักการออกแบบ

การประกอบกันของระบบโครงสร้างทางชนิดพื้นคอนกรีต ทั้งในแบบมีอุปกรณ์ยึดรั้งราง หรือเป็นแบบรางฝัง บนชิ้นส่วนคอนกรีตแบบหล่อสำเร็จหรือหล่อในที่ ให้พิจารณาชิ้นส่วนนั้นเป็นคานต่อเนื่อง หรือคานแบบไม่ต่อเนื่องที่รองรับน้ำหนักบรรทุกตามหัวข้อที่ 3 (แรงกระทำที่พิจารณา) โมเมนต์ของความเฉื่อยของราง ระยะระหว่างอุปกรณ์ยึดรั้ง และความยืดหยุ่นของระบบทั้งหมดบนจุดรองรับ มีผลต่อการกระจายแรงกระทำในแนวดิ่งและแนวราบจากราง โครงสร้างที่รองรับรางหรือแผ่นพื้น ซึ่งอาจประกอบด้วย ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ หรือชิ้นส่วนหล่อในที่ จะต้องออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักในรูปของโมเมนต์ดัดในแนวระนาบและนอกระนาบเพื่อส่งต่อไปยังโครงสร้างส่วนล่างได้อย่างปลอดภัย โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นจะต้องทำให้โครงสร้างรองรับรางมีพฤติกรรมอยู่ในช่วงยืดหยุ่นโดยไม่เกิดการเสียรูปอย่างถาวร (Plastic Deformation) หรืออาจเกิดการเสียรูปอย่างถาวรแต่จำกัด ซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบในแต่ละชิ้นส่วนย่อย การคำนวณระดับความเค้นที่เกิดขึ้นในระบบย่อย (Subsystem) หรือส่วนประกอบ จะต้องไม่เกินระดับกำลังที่กำหนดไว้ ระดับโมเมนต์ดัดและความเค้นดึงเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกในกรณีต่าง ๆ สามารถคำนวณแยกกันได้และนำมารวมกันในภายหลัง ซึ่งน้ำหนักบรรทุกที่มากระทำจะคำนึงถึง น้ำหนัก รวมถึงผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิด้วย

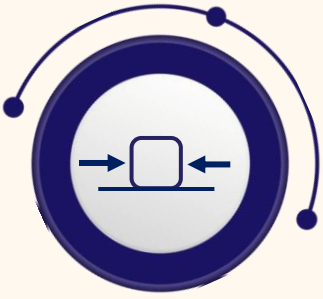
5.2.2 ขั้นตอนในการคำนวณ

ขั้นตอนที่ 1

คำนวณโมเมนต์ดัดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจากราง
(Bending Moment due to rail seat load)

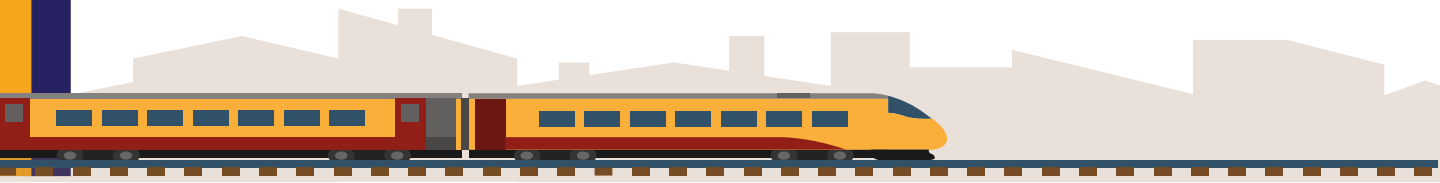
ขั้นตอนที่ 2

คำนวณโมเมนต์เนื่องจากอุณหภูมิ
(Temperature Gradient)



ขั้นตอนที่ 3

คำนวณแรงที่กระทำบนชิ้นส่วนอื่นที่เกี่ยวข้องกัน



ขั้นตอนที่ 1

คำนวณโมเมนต์ดัดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจากราง

(Bending Moment due to rail seat load)

สามารถใช้หลักการของพื้นบน Winkler Foundation ในการคำนวณโมเมนต์ดัดตามแนวแกนและแนวนอกระนาบ และหลักการคานบน Winkler Foundation ในการคำนวณโมเมนต์ดัดตามแนวแกน และนำผลจากโมเมนต์ดัดสูงสุดในการออกแบบต่อไป

ขั้นตอนที่ 2

คำนวณโมเมนต์เนื่องจากอุณหภูมิ (Temperature Gradient)

ที่แตกต่างกันในระบบรองรับราง พื้นคอนกรีต พื้นทาง คานคอนกรีต เมื่อรับความร้อนจากแสงแดด หรือจากกระบวนการใด จะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผิวบนและผิวล่างของคอนกรีตที่ไม่เท่ากัน ความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะก่อให้เกิดหน่วยแรงขึ้นในหน้าตัดของคอนกรีต การคำนวณหน่วยแรงจะสามารถแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมเพื่อให้หาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในหน้าตัดของคอนกรีตได้อย่างถูกต้อง

ขั้นตอนที่ 3

คำนวณแรงที่กระทำบนชิ้นส่วนอื่นที่เกี่ยวข้องกัน ได้แก่

1. คำนวณแรงระหว่างระบบยึดรั้ง (Fastening System) กับระบบรองรับ (Supporting Structures) เช่น ชิ้นส่วนสำเร็จรูป พื้น
2. คำนวณน้ำหนักที่กระทำบนชิ้นส่วนที่ประกอบกันและการกระจายน้ำหนัก
3. คำนวณแรงในชิ้นส่วนตามขวาง หรือหมอนรองรางและการกระจายน้ำหนัก
4. คำนวณแรงในคานตามยาว การกระจายน้ำหนักตามยาว
5. คำนวณแรงในพื้น หรือโครงสร้างรับน้ำหนักทั้งตามยาวและตามขวาง
6. คำนวณแรงกระทำกับพื้นแอสฟัลท์คอนกรีต (ถ้ามี)

ความล้าจากหน่วยแรง จากการดัดที่ยอมให้สูงสุดจากน้ำหนักรถไฟ สามารถคำนวณได้โดยใช้หลักการของ Multi-layer Theory Model โดยที่ค่ายังโมดูลัสที่แนะนำสามารถใช้ค่าอีลาสติกโมดูลัส (E) = 50,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยโดยทั่วไปได้ และค่าเฉลี่ยความล้าจากโมเมนต์ดัดสามารถใช้ 8 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

5.2.3 การออกแบบหน้าตัดของแผ่นพื้น

การออกแบบแผ่นพื้นจะใช้หลักการเดียวกับการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป เมื่อได้หน่วยแรงที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 2 ตามข้อ 5.2.2 จะทำการเสริมเหล็กให้สอดคล้องกับหน่วยแรงที่คำนวณได้ การออกแบบสามารถใช้ได้ทั้งวิธีหน่วยแรงใช้งาน และวิธีกำลัง

6 ระบบยึดเหนี่ยวราง (Rail Fastening System)

โดยทั่วไปแล้วรางจะมีการยึดรั้งและยึดเหนี่ยวต่อเนื่องในระยะทุกๆ 0.60 เมตร ถึง 0.75 เมตร กรณีมีการยึดเหนี่ยวในระยะนอกเหนือจากระยะดังกล่าว จำเป็นต้องมีการออกแบบเฉพาะเพื่อประเมินความเหมาะสม และความปลอดภัย โดยพิจารณาจากข้อมูลปริมาณการจราจร แนวเส้นทางและลักษณะทางกายภาพของราง ตลอดจนความเร็วที่ใช้ในการเดินรถ โดยมีข้อมูลอ้างอิงจากผลการทดสอบที่เชื่อถือได้รองรับ ทั้งนี้ รายละเอียดของระบบยึดเหนี่ยวราง ให้อ้างอิงตามมาตรฐานการขนส่งทางราง ของกรมการขนส่งทางราง เรื่อง มาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ

7 ข้อควรพิจารณาพิเศษ

7.1 ตำแหน่งเปลี่ยนผ่าน (Transition Zone)

1. ตำแหน่งเปลี่ยนผ่าน (Transition Zone) เช่น จุดที่เชื่อมต่อระหว่างสะพานกับทางรถไฟ หรือจุดที่เปลี่ยนจากทางรถไฟแบบมีหินโรยทางเป็นโครงสร้างทางแบบพื้นคอนกรีต จะต้องได้รับการพิจารณาเป็นพิเศษ

2. การออกแบบตำแหน่งเปลี่ยนผ่านจะต้องพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างทางรถไฟที่มีความแข็งเกร็งสูงหรือทางรถไฟแบบทางรถไฟแบบพื้นทางคอนกรีต และทางรถไฟที่มีความแข็งแรงต่ำหรือทางรถไฟแบบหินโรยทาง โดยวิธีการที่ใช้ในการออกแบบต้องเป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับและสามารถใช้งานได้อย่างประหยัดและเหมาะสม

รายละเอียดเพิ่มเติมของจุดเชื่อมต่อให้อ้างอิง มาตรฐานการขนส่งทางราง ของกรมการขนส่งทางราง เรื่อง มาตรฐานตำแหน่งเปลี่ยนผ่านบนทางรถไฟ

7.2 จุดสิ้นสุดของทางรถไฟแบบไม่มีหินโรยทาง

จุดสิ้นสุดของทางรถไฟแบบไม่มีหินโรยทางจะต้องมีรอยต่อให้ขยายตัว (Expansion Joint) เพื่อให้พื้นคอนกรีตสามารถเคลื่อนที่ได้

7.3 ความต่อเนื่องของทางรถไฟแบบไม่มีหินโรยทาง และคานของสะพาน

ส่วนนี้จะใช้กับทางรถไฟแบบพื้นคอนกรีตแบบตรงและต่อกับจุดรองรับแบบธรรมดาของคานสะพานที่มีช่วงฐานรองรับที่มีความยาวถึง 23 เมตร ถ้ามีความต้องการต่อความยาวของพื้นคอนกรีตบนคานที่รองรับสะพาน (Bridge Deck) จะต้องทำตามข้อกำหนดดังนี้

1. เพื่อที่จะลดรอยแตกบนพื้นคอนกรีตและเพื่อให้พื้นและคานที่รองรับสะพานเกิดการเคลื่อนตัวได้ ควรที่จะมีการลดแรงเสียดทานระหว่างพื้นคอนกรีตและคานของสะพาน
2. ควรให้มี 2 ชั้นของ Bituminous Material แยก โดยแผ่นโพลียูรีเทน (Polyurethane) 2 แผ่นระหว่าง พื้นคอนกรีตและคานของสะพาน
3. วัสดุเทฟลอนสามารถนำมาใช้เพื่อลดแรงเสียดทานได้

บรรณานุกรม

(1) สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.), “งานออกแบบรายละเอียดโครงการระบบขนส่งกรุงเทพมหานคร ช่วงแบริ่ง-สมุทรปราการ และออกแบบโครงสร้างพื้นฐาน สิ่งอำนวยความสะดวกด้านการจราจรที่เกี่ยวข้อง”

(2) EN 1991-2:2003: Actions on structures - Part 2: Traffic loads on bridges

(3) EN 16432-1:2015: Railway applications – Ballastless Track Systems - Part 1: General requirements

(4) EN 16432-2:2015: Railway applications - Ballastless Track Systems - Part 2: Subsystem and components

(5) EN 16432-3:2015: Railway applications - Ballastless Track Systems - Part 3: Acceptance

(6) AREMA Manual for Railway Engineering: 2011: Volume 2: Concrete Structures and Foundations: Part 27 Concrete Slab Track

(7) KR C-14040 Concrete Track Structure

กรมการขนส่งทางราง
กระทรวงคมนาคม

กรมการขนส่งทางรางใส่ใจ
เพื่อความสุขและความปลอดภัย ในการเดินทางระบบรางของไทย