

ความรู้เบื้องต้น วิศวกรรมรถไฟ

เจน บุญชื้อ

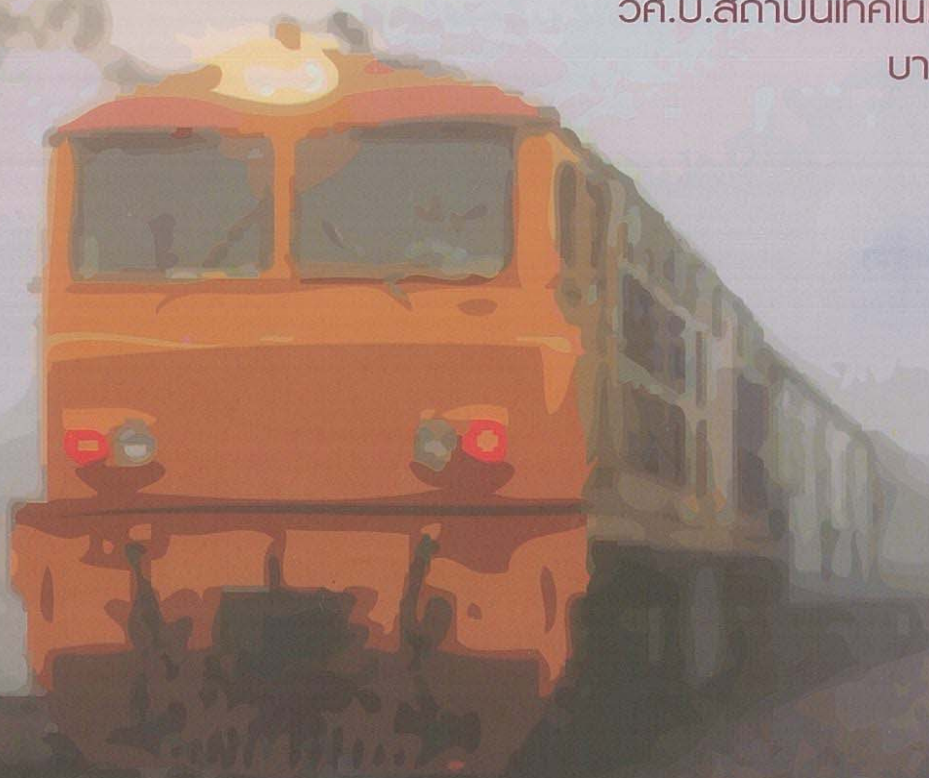
วิศวกรใหญ่ ฝ่ายการช่างโยธา

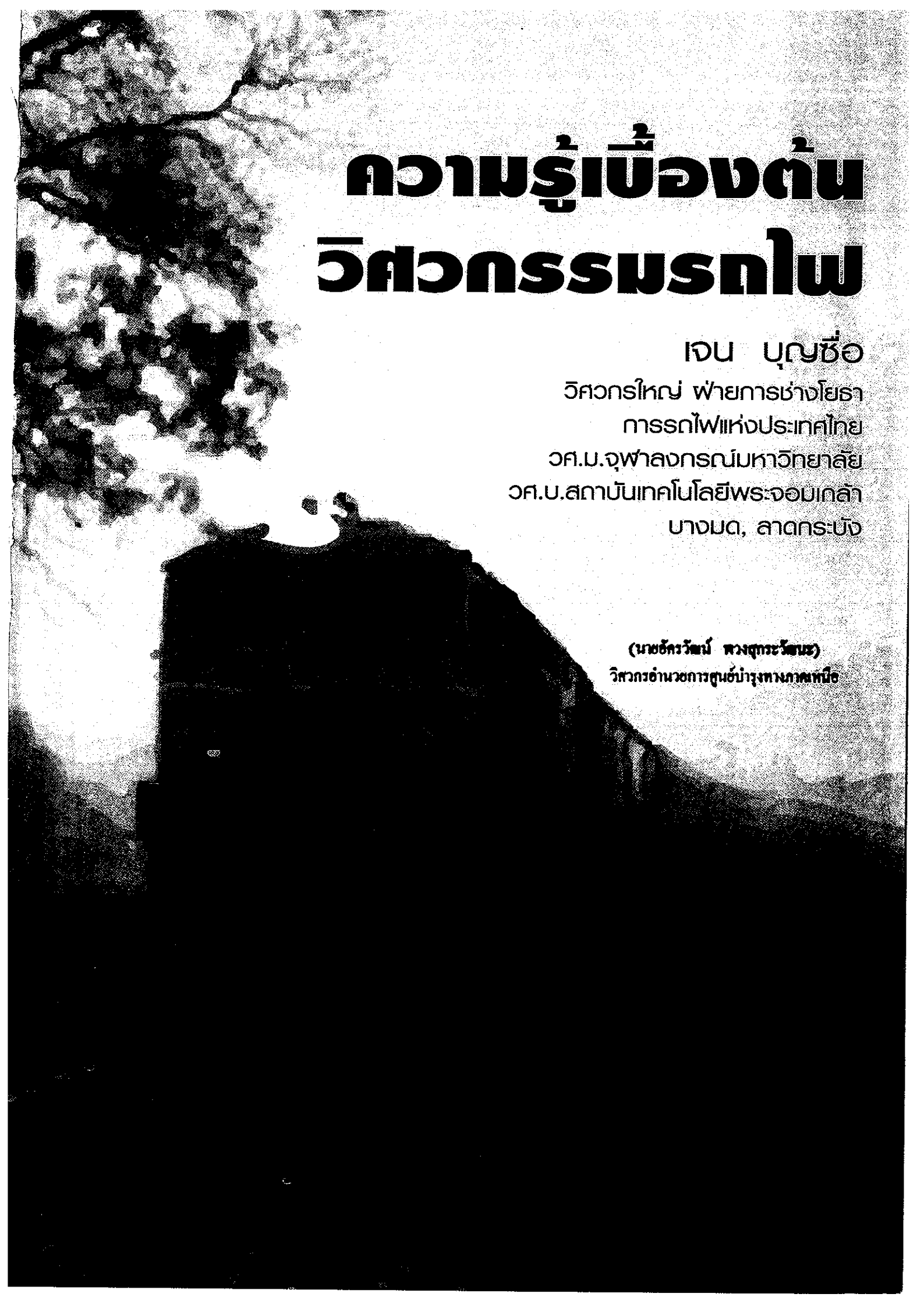
การรถไฟแห่งประเทศไทย

วศ.ม.จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วศ.บ.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

บางมด, ลาดกระบัง





ความรู้เบื้องต้น วิศวกรรมไฟฟ้า

เจน บุญชื้อ

วิศวกรใหญ่ ฝ่ายการช่างโยธา
การรถไฟแห่งประเทศไทย
วศ.ม.จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วศ.บ.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
บางมด, ลาดกระบัง

(นายธีรวัฒน์ พงศธรวิเศษ)
วิศวกรชำนาญการศูนย์บำรุงทางภาคเหนือ

โครงสร้างทางรถไฟ



ความรู้เบื้องต้นวิศวกรรมรถไฟ

เจน บุญชื้อ

วิศวกรใหญ่ ฝ่ายการช่างโยธา

การรถไฟแห่งประเทศไทย

วศ.ม.จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วศ.บ.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

บางมด, ลาดกระบัง

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537

พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 800 เล่ม พ.ศ. 2554

พิมพ์ที่ ห้างหุ้นส่วนจำกัด แฉงไทย

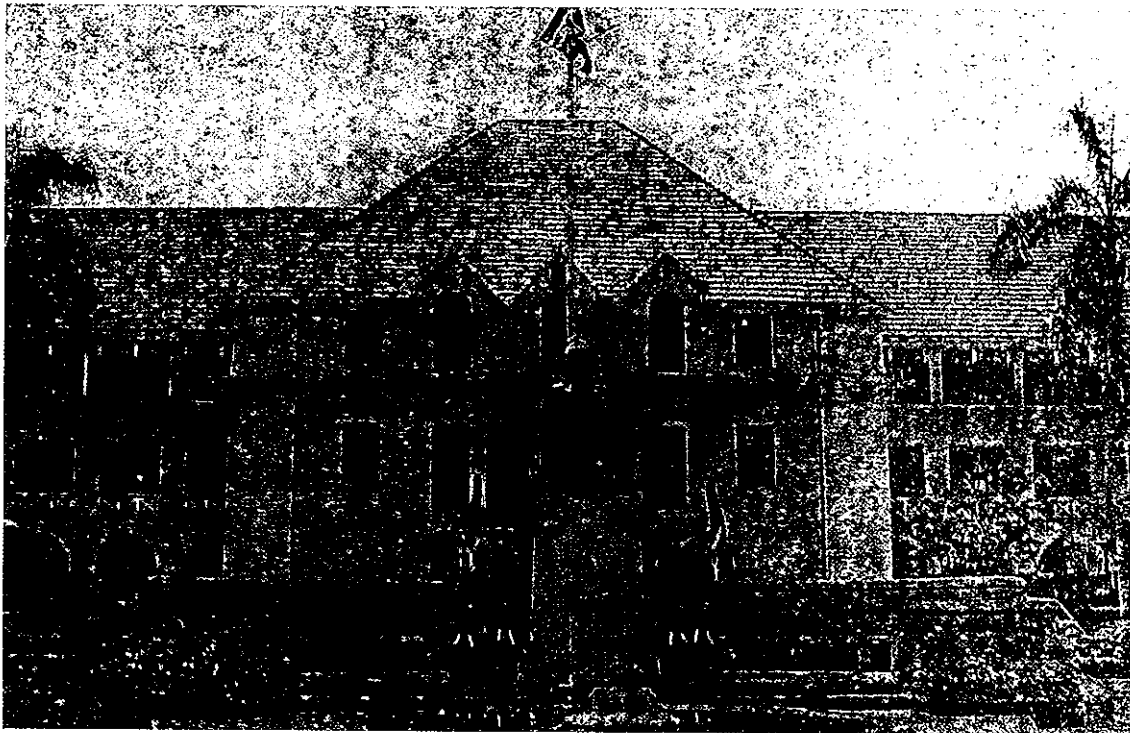
เลขที่ ๑๐๐ ถนนสุขุมวิท กรุงเทพฯ ๑๐๑



๗/๕
๒๕๕
๑ ม.ค. ๒๕๕๕

(นายอัครวิทย์ พวงตุระวิริยะ)
วิศวกรอำนวยการศูนย์บำรุงทางภาคเหนือ

ความรู้พื้นฐาน วิศวกรรมรถไฟ





ภาพวาดพระบรมฉายาลักษณ์
โดย เจน บุณชื้อ

(นายอัศวิน พวงตุกระวัฒนะ)
วิศวกรอำนวยการศูนย์บำรุงทางภาคเหนือ



Certificate

This is to certify that Mr. Jain Boonsue
has successfully completed a course of Individual Training
in the field of Railway Yards Improvement

at Ministry of Transport
Japan National Railway

from June 20, 1986 *to* August 3, 1986

organized by Japan International Cooperation Agency
under the International Cooperation Programme of the
Government of Japan.


PRESIDENT
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
JAPAN

Date: August 3, 1986





DIRECTORATE OF RESEARCH & TRAINING
PAKISTAN RAILWAYS
GOVERNMENT OF PAKISTAN
WALTON — LAHORE



No. PRTC/B-3(Pt.III/Track).

Dated December 31, 1984

2nd Advance Track Technology Course
August - December, 1984

Evaluation report on
Mr. Jain Boonsue

Nominated by the
Government of Thailand

through

the Dy. Director General
State Railway of Thailand
Bangkok, Thailand.

Mr. Jain Boonsue having been nominated by the Government of Thailand under Pakistan Technical Assistance Programme participated in the 'Second Advanced Track Technology Course' held at Pakistan Regional Railway Training College from 21st August to 20th December, 1984. He participated in all lectures, special lectures, seminars, practical demonstration and study tours as laid down in the training programme.

PERFORMANCE

Mr. Jain Boonsue is a very intelligent officer. His participation in the training programme was objective. He displayed keen interest in acquisition of knowledge and showed extreme diligence. He is able to apply theoretical abstracts to practical situations. His approach was analytical.

In addition he has been given adequate exposure to other related fields of Railway working including management.

He is a confident practical engineer with special aptitude for Research. He can acquit himself creditably in any position of responsibility.

GRADING

He is placed in grade A+ (Excellent)

Counter signed

(Engr. Ghias-ud-Din)
Director/Research & Training

(Ahmad Kamal)
Joint Director/Civil Engg.

Pakistan Regional Railway Training College
Walton - Lahore
Established By United Nations
1954



Certifies the participation of

Jain Boonsue

in a course of instructions in advance techniques of railway Track Engineering
at this college from 21st August to 20th December 1984

witness our hand and seal at the Directorate of Training

Railways Walton Lahore Pakistan

this 13th day of December 1984



ENGR. AHMAD KAMAL
JOINT DIRECTOR CIVIL ENGINEERING



ENGR. GHIAS-UD-DIN
Director
RESEARCH & TRAINING

เอกสาร "ความรู้เบื้องต้น วิศวกรรมรถไฟ" ผู้เขียนได้จัดทำขึ้น โดยใช้ข้อมูลจากเอกสารด้าน รถไฟหลายประเทศ เช่น ญี่ปุ่น อินเดีย เยอรมัน อังกฤษ และการรถไฟไทย เป็นต้น บทความประกอบด้วย เรื่องโครงสร้างทางรถไฟ การวิเคราะห์โครงสร้างทางรถไฟรางเชื่อมยาว การยกโค้งทางรถไฟ และชุดประแจใช้งานในทางรถไฟ พร้อมได้มีภาพและตัวอย่างแสดงไว้ เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจเป็นพื้นฐานเทคนิคทางรถไฟ ที่จะใช้ในการออกแบบและกำหนดสำหรับงานทางรถไฟ โดยหวังว่าจะเป็นประโยชน์ ต่อผู้ที่ให้ความสนใจงานด้านทางรถไฟตามสมควร

เจน บุญชื้อ



	หน้า
บทที่ 1	
โครงสร้างทางรถไฟ	1
ลักษณะโครงสร้างทางรถไฟ	2
1. โครงสร้างทาง แบบ Ballast Track	3
1.1 ราง (Rail)	3
1.2 เครื่องยึดเหนี่ยวราง (Fastening)	16
1.3 จานรองราง (Base Plate)	19
1.4 หมอนรองราง (Tie หรือ Sleeper)	24
1.5 หินโรยทาง (Ballast)	26
บทที่ 2	29
ก. ทฤษฎีและการวิเคราะห์โครงสร้างทางรถไฟ	30
1. ทฤษฎีคานยาวบนพื้นอีลาสติก	30
2. แรงที่รางกระทำต่อหมอน	32
3. Impact Factor	32
4. แรงกดบนพื้นทาง	32
5. พิกัดกำหนดการออกแบบ	32
6. ตัวอย่างการวิเคราะห์	33
7. การวิเคราะห์แบบกลุ่มล้อรถไฟ	37
ข. การวิเคราะห์การหลุดตัวของคันทางรถไฟ	39
ค. การวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทาง	42
ภาคผนวก	
ภาคผนวก 1. ชนิดของรถจักรและน้ำหนักเพลา	45
ภาคผนวก 2. ค่าเปรียบเทียบสภาพของทาง	46
Ballast Coefficient, CBR, Bearing Capacity	
ภาคผนวก 3. พิกัดเขตโครงสร้าง และเขตบรรทุกรถไฟ (ขนาดทาง 1 ม.)	47

	49
1. ร่างเชื่อมยาว	50
2. พฤติกรรมการรับแรงของหัวต่อราง	50
3. ร่าง	51
4. อุณหภูมิราง	51
5. แรงต่อต้านการยืดหดของราง	52
6. ร่างเชื่อม	52
6.1 ร่างสั้น	52
6.2 ร่างเชื่อมสั้น	53
6.3 ร่างเชื่อมยาว	54
7. ร่างต่อรางเชื่อมยาว	57
8. ผลการศึกษาและทดลองความต้านทานหินโรยทาง	58
9. มาตรฐานความยาวของรางเชื่อมยาว	59
10. ข้อกำหนดบางประการของการวางรางเชื่อมยาว	59
11. ประโยชน์ของรางเชื่อมยาว	60
12. ส่วนที่ไม่ดีหรือความไม่เหมาะสมของรางเชื่อมยาว	60
ภาคผนวก	63
1. ผลของอุณหภูมิที่มีต่อแรงดันและการยืดหดของราง	63
2. ส่วนยืดหดของปลายรางและความยาวของรางเชื่อมยาว	65
3. ตัวอย่างการวิเคราะห์รางสั้น	67
4. ตัวอย่างการวิเคราะห์รางยาว	71
5. ตัวอย่างการวิเคราะห์รางเชื่อมยาว	74
6. ตัวอย่างการหาความสัมพันธ์ระยะหัวต่อรางกับอุณหภูมิวางราง	76

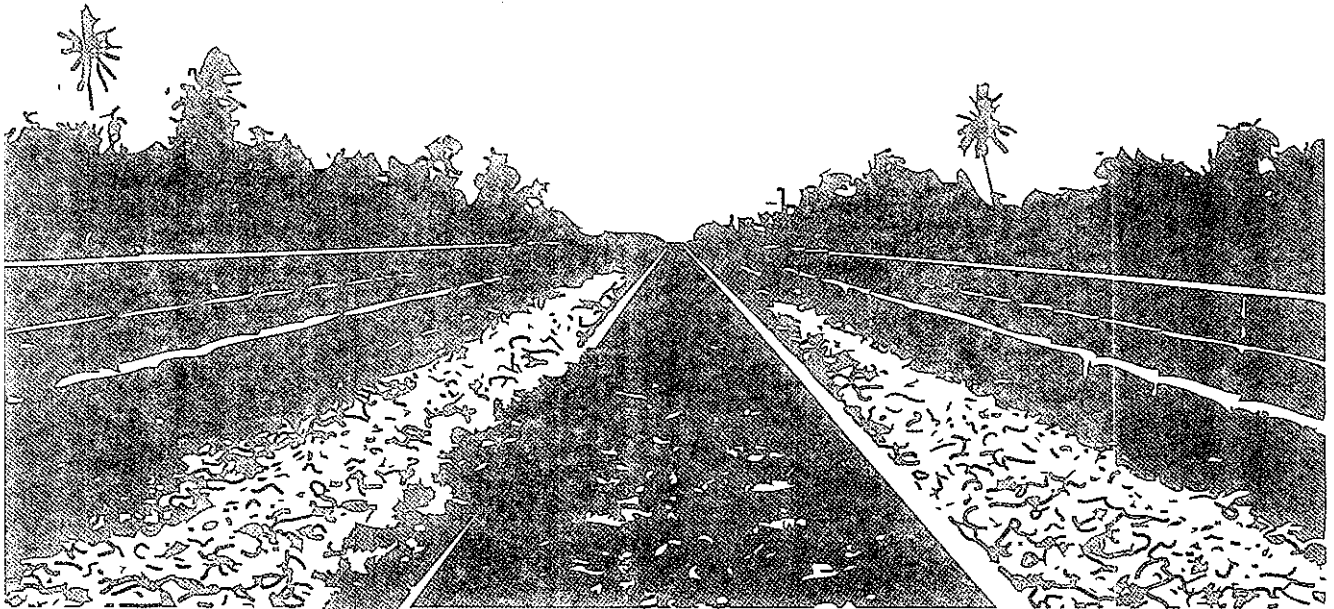




	หน้า
บทที่ 4 ค่าการยกโค้ง	79
1. การยกโค้งทางรถไฟ	80
2. วิธีปฏิบัติการยกโค้ง	80
3. ผลเสียของทางโค้ง	80
4. ค่ายกโค้ง	81
5. การกำหนดค่ายกโค้งจริงในสนาม	82
6. โค้งต่อ	90
7. โค้งมุมตั้ง	92
8. การขยายขนาดทาง	96
9. ระยะของตัวรถ	100
บทที่ 5 ขุดประแจ	103
1. ขุดประแจ	104
2. ส่วนต่างๆที่สำคัญของขุดประแจ	104
2.1 ส่วนของขุดลิ้นประแจ	105
2.2 รางลิ้นประแจ	106
2.3 หัวตะเฒ่	108
3. ทางตัดประแจ	109
4. ชนิดของประแจ	111
5. การวัดมุมประแจ	114
6. ระยะต่างๆ ของขุดประแจ	115
7. หลักปลอดภัย	115
8. รูปสัณเฑประแจชนิดต่างๆ	117

บทที่ 1

โครงสร้างทางรถไฟ





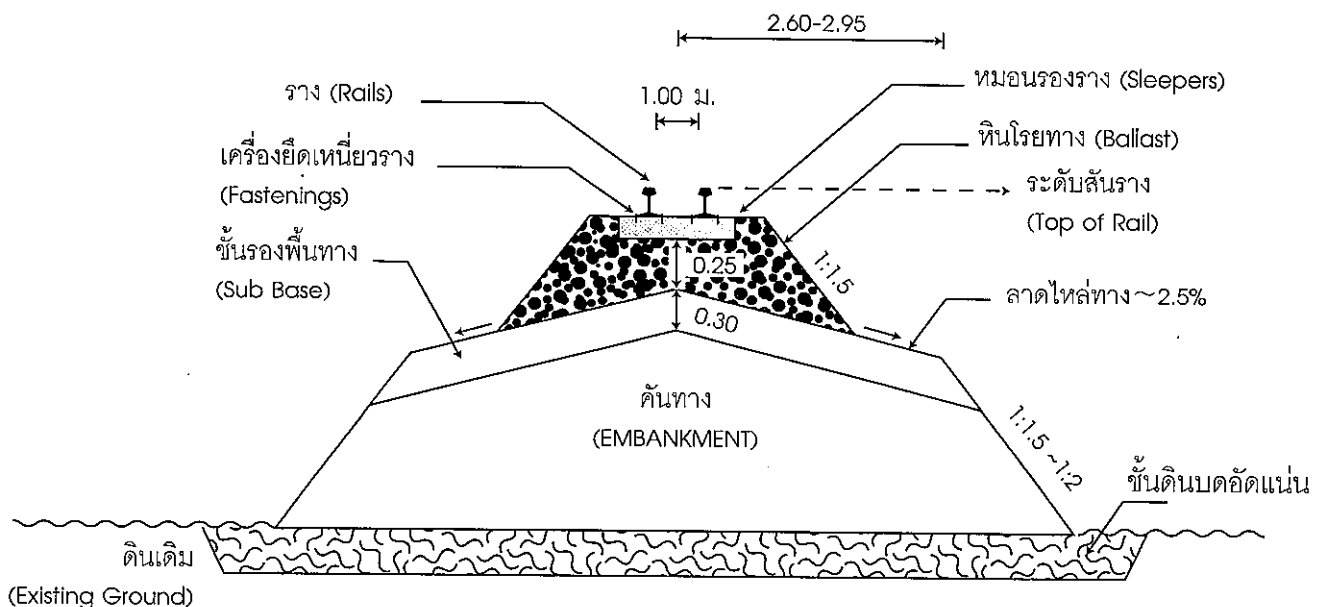
โครงสร้างทางรถไฟ

ลักษณะโครงสร้างทางรถไฟ

การออกแบบโครงสร้างทางรถไฟ เพื่อรองรับน้ำหนักจากล้อรถไฟนั้น ได้มีการออกแบบและพัฒนาหลากหลายรูปแบบจนถึงปัจจุบัน เป็นที่ยอมรับที่ใช้งานมี 2 รูปแบบ คือ

1. โครงสร้างทางแบบมีหินโรยทาง (Ballast Track)
2. โครงสร้างทางแบบ Slab — Track (Ballastless Track)

1) โครงสร้างทางแบบ Ballast Track เป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลาย (Conventional Track) เนื่องจากค่าก่อสร้างไม่สูงเป็นที่รับได้ในทางเทคนิค และเป็นโครงสร้างที่สามารถใช้กับรถไฟธรรมดาไปจนถึงรถไฟความเร็วสูง เช่น รถไฟความเร็วสูง TGV. ของการรถไฟฝรั่งเศส เป็นต้น โครงสร้างทางแบบนี้จะประกอบด้วยราง เครื่องยึดเหนี่ยวราง หมอนรองราง และหินโรยทาง ประกอบเป็นโครงสร้างทางรถไฟเพื่อใช้งานรองรับน้ำหนัก จากล้อรถไฟได้ดีด้วยคุณสมบัติ มีความยืดหยุ่น เหมาะสมกับการรับน้ำหนักกระแทก (Impact) จากล้อเหล็กทางรถไฟได้ดีกว่ารูปแบบอื่น ๆ เท่าที่เคยใช้มาในอดีตตลอดจนการบำรุงรักษาทางไม่ยุ่งยาก สามารถควบคุมได้ตลอดการใช้งาน แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างทางรถไฟ (ขนาดทาง 1.00 ม.)

บทความนี้จะกล่าวถึงเฉพาะโครงสร้างทางแบบ Ballast Track เนื่องจากโครงสร้างทางรถไฟแบบ Ballastless Track จะเป็นรูปแบบเทคนิคอีกด้านอื่น โดยจะออกแบบให้รางวางอยู่บนคอนกรีต มีแผ่นยางรองรับในแต่ละส่วนเพื่อช่วยดูดซับ

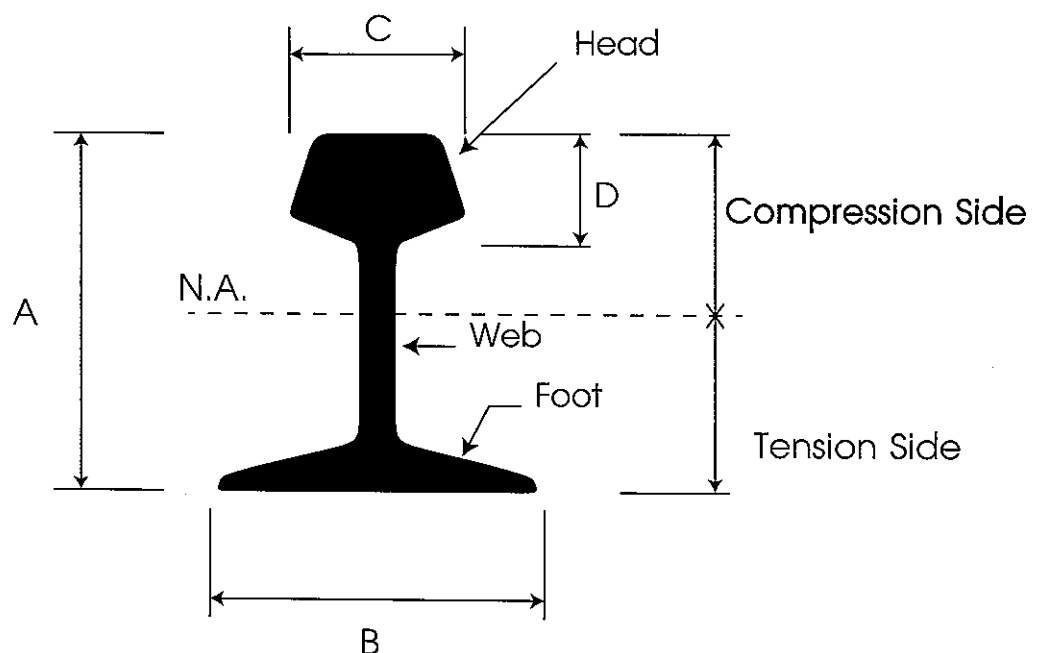
ออกแบบโครงสร้างเป็นรูปแบบการใช้งานแบบถาวร นิยมออกแบบใช้กับโครงสร้างพิเศษ สำหรับรถไฟความเร็วสูง หรือ โครงสร้างทางรถไฟที่ไม่ต้องการให้มีส่วนสำหรับการดูแลและซ่อมบำรุงทางมาก เหมือนดังเช่นกับโครงสร้างแบบ Ballast track รวมถึงเส้นทางรถไฟที่มีขบวนรถหนาแน่น มีช่วงเวลาสำหรับการบำรุงรักษาทางน้อย รวมถึงเส้นทางที่คับแคบไม่สะดวกต่องานบำรุงรักษาทาง เช่น รถไฟฟ้าใต้ดิน รถไฟขนส่งมวลชน หรือรถไฟความเร็วสูง เป็นต้น แต่ค่าก่อสร้างเริ่มแรกสูง เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างทาง Ballast Track มาก แต่ให้ความมั่นใจ ความปลอดภัยในการเดินรถสูงกว่า เนื่องจากวัสดุต่าง ๆ ที่นำมาใช้งานจะคงทนถาวร มีอายุการใช้งานยาวนาน

ในประเทศไทย มีทางรถไฟแบบ Slab-Track ใช้งานอยู่หลายเส้นทาง เช่น รถไฟฟ้าใต้ดินทางบริษัทรถไฟฟ้ากรุงเทพจำกัด (มหาชน) (MRT) รถไฟฟ้ายกระดับ บริษัทระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพจำกัด (มหาชน) (BTS) และรถไฟฟ้ายกระดับ Airport Rail Link เป็นต้น

โครงสร้างทางรถไฟ Ballast Track จะประกอบด้วยวัสดุทางที่สำคัญ คือ

1.1) ราง (Rail)

รูปแบบของรางรถไฟ จะมีหน้าตัดคล้ายกับเหล็กรูปพรรณตัวไอ (I) เป็นรูปแบบที่ได้รับการยอมรับการใช้งานด้านเทคนิคและเป็นหน้าตัดรางที่ประหยัด (Economic) ให้ความแข็งแรง (Stiffness) และมีความคงทนต่อการใช้งาน (Durability) รูปโปรไฟล์ (Profile) ของรางจะประกอบด้วยส่วนของหัวราง (Head) เหวราง (Web) และฐานราง (Foot) แสดงดังรูปที่ 2





มาตรฐานขนาดราง จะมีมาตรฐานที่ต่างกัน ตามข้อกำหนดการใช้งานของการรถไฟในแต่ละประเทศ เช่น

UIC. มาตรฐานราง International Union of Railways

BS. มาตรฐานรางของการรถไฟอังกฤษ

SNCF. มาตรฐานรางของการรถไฟฝรั่งเศส

JNR. มาตรฐานรางของการรถไฟญี่ปุ่น

AREA. มาตรฐานรางของการรถไฟอเมริกา

และ SRT, RSR, รฟท. มาตรฐานรางของการรถไฟแห่งประเทศไทย เป็นต้น

1.1.1) ขนาดของราง ขนาดรางที่ใช้งานจะกำหนดเป็นน้ำหนักของรางต่อความยาวราง เช่น น้ำหนักรางเป็น กิโลกรัมต่อเมตรหรือน้ำหนักเป็นปอนด์ต่อหลา เช่น รางขนาด 100 A ปอนด์ คือ หน้าตัดรางตามมาตรฐาน BS. มีน้ำหนัก 100 ปอนด์ ต่อหลา หรือรางขนาด 50 N คือหน้าตัดรางตามมาตรฐานญี่ปุ่น (JIS) มีน้ำหนัก 50 กิโลกรัมต่อเมตร เป็นต้น แสดงตัวอย่างขนาดรางดังรูปที่ 3 และรูปที่ 3.1 ถึง 3.5

ขนาดน้ำหนักของหน้าตัดรางที่แตกต่างกัน จะให้คุณสมบัติความแข็งแรงรับน้ำหนักได้ไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบคำนวณหาขนาดของรางที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้งานให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด

การรถไฟไทยกำหนดขนาดรางใช้กับทางประธานรับน้ำหนักเพลลา 20 ตัน ความเร็ว 120 กม. / ชม. ขนาด 100 ปอนด์ A คือ ราง 100 ปอนด์ A ตามโปรไฟล์ของ BS. คุณสมบัติของเนื้อวัสดุรางตามมาตรฐาน "UIC 860 Grade 900 A"

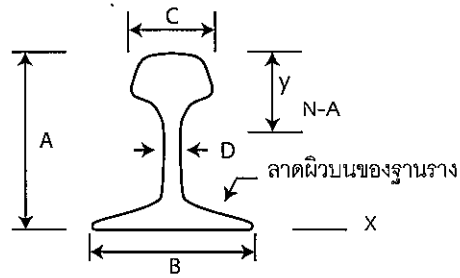
คุณสมบัติกำลังของวัสดุราง อยู่ในชั้นเหล็กกล้า โดยทั่วไปคุณสมบัติของรางที่ใช้งานจะมีค่า Ultimate Tensile Strength (UTS) ระหว่าง 7,000 — 13,000 กก./ซม.²

วัสดุรางจะกำหนด Grade เป็นชนิด A หรือ B เช่น

ราง 100 A รางชนิดนี้ค่า tensile Strength จะขึ้นอยู่กับค่าส่วนผสมของ Carbon (C) ในเนื้อโลหะเป็นตัวแปรหลัก รางชนิด A จะมีคุณสมบัติเชื่อมต่อกันได้ง่าย เหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นรางเชื่อมยาว

ราง 100 B รางชนิดนี้ ค่า Tensile Strength จะขึ้นอยู่กับค่าส่วนผสมของ Manganese (Mn) ในเนื้อโลหะเป็นตัวแปรหลัก รางชนิด B จะมีคุณสมบัติเชื่อมยากไม่เหมาะนำมาใช้กับงานเชื่อมต่อกัน แต่ให้ความเหนียวแข็ง (Toughness) สูงกว่ารางชนิด A เหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นรางสั้น ชนิดที่มีหัวต่อราง ที่ใช้งานจะมีค่าความแข็ง (Hardness) สูงมากกว่า 250 HB ขึ้นไป แสดงดังรูปที่ 4

ตัวอย่าง ตารางคุณสมบัติรางชนิดต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 3

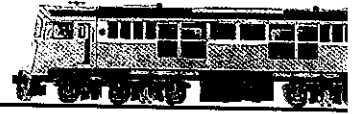


British Standard "A" Design Rail Section			
		80 A	100 A
Rail Height A	mm	133.35	152.40
Foot Width B	mm	117.47	133.35
Head Width C	mm	63.50	96.85
Min Web Thickness	D	13.10	15.08
Head Area	mm ²	2270	2856
Wed Area	mm ²	1007	1350
Foot Area	mm ²	1789	2187
Total Area	mm ²	5065	6393
Section Weight	kg/m	39.76	50.18
Moment of Inertia I xx	cm ⁴	1205	1961
Moment of Inertia I yy	cm ⁴	220	340
Distance of NA. from Top Rail	mm	67.89	77.69
Section Modulus Z xx	cm ³	117	252
Section Modulus Z yy	cm ³	37	51

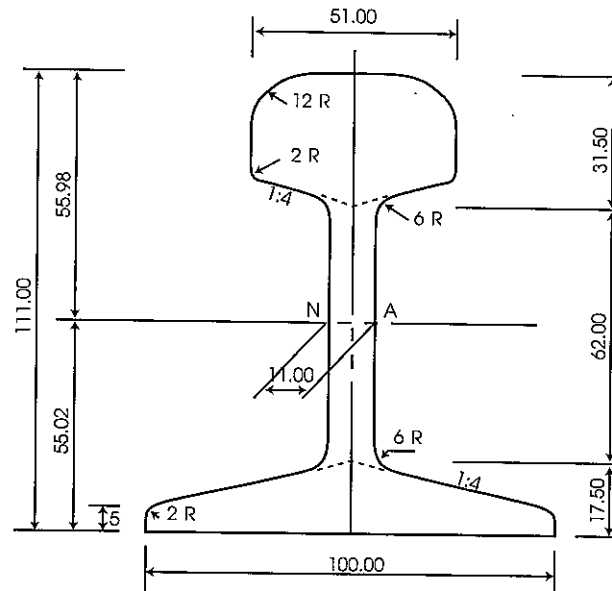
รูปที่ 3 ตารางแสดงขนาดและคุณสมบัติราง
(ตัวอย่างราง 80 A และ 100 A)

Grade เหล็กราง จะกำหนดเป็น Grade A และ Grade B ค่า Tensile Strength ของ Gauge A จะขึ้นอยู่กับส่วนผสมของ Carbon (C) ส่วนค่า Tensile Strength ของ Grade B จะขึ้นอยู่กับส่วนผสมของ Manganese (Mn)

โปรไฟล์หน้าตัดรางของ British Standard (BS.) จะกำหนดโปรไฟล์หน้าตัดรางแบบ A และ B ความแตกต่างทั้งสองแบบอยู่ที่ลาดผิวบนของส่วนฐานราง เป็นลาดเอียง 2 ระดับ และลาดเอียงระดับเดียว

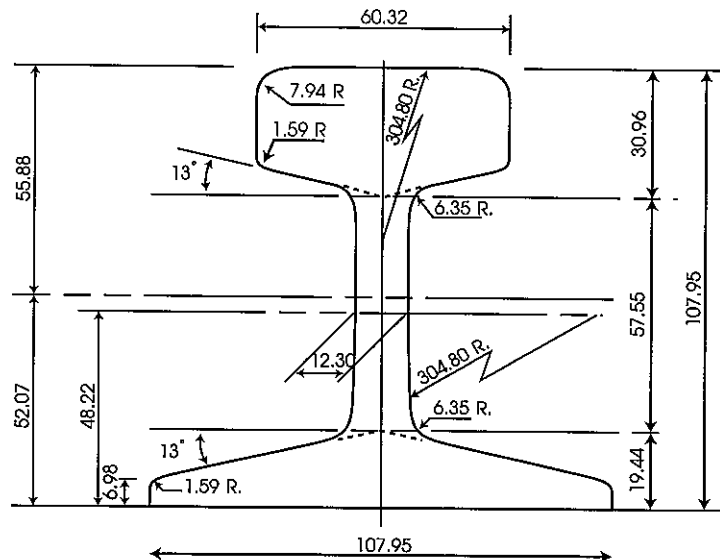


50 RSR.

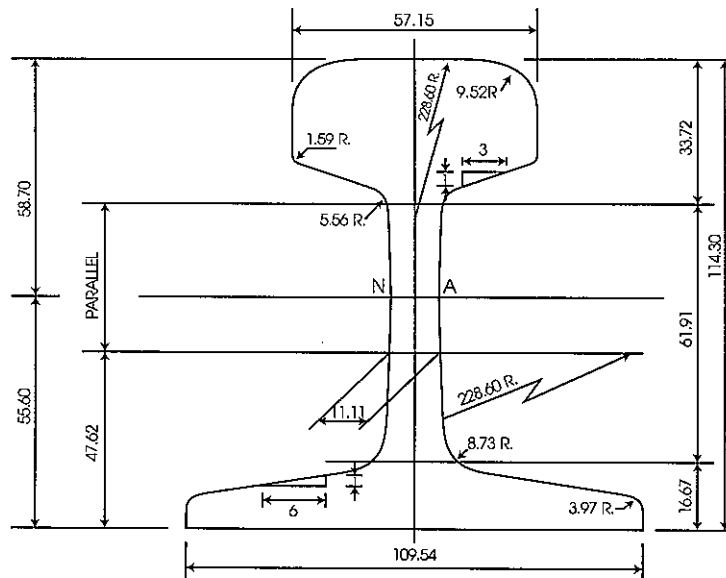


Head area	1376.000	mm. ²
Web area	708.00	mm. ²
Foot area	1119.00	mm. ²
Wole section	3203.00	mm. ²
Calculated mass	24.80	kg/m.
Moment of inertia	550.30	cm. ⁴
Section modulus :		
Top	98.30	mm. ³
Bottom	100.02	mm. ³
Distance from top of rail to neutral axis	55.98	mm.

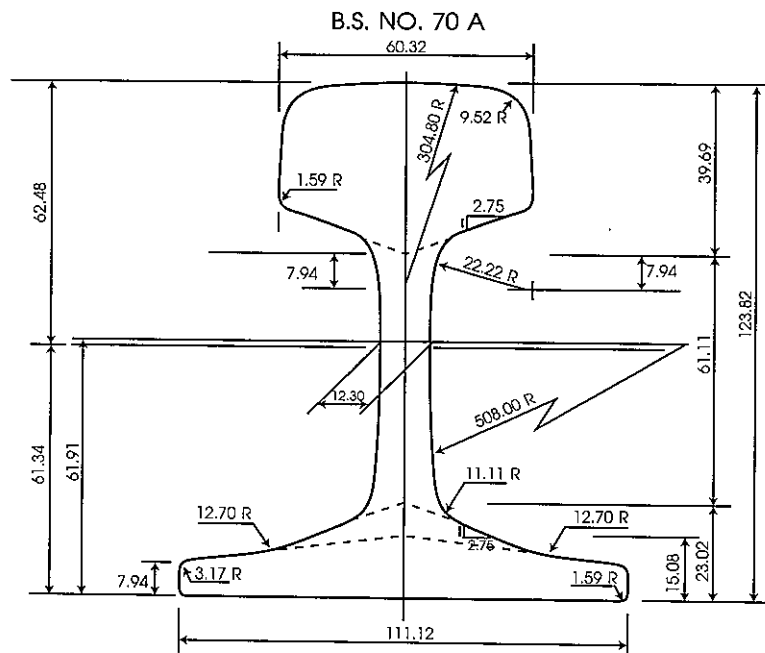
60 A.S.C.E.



Head area	1616.98	mm. ²
Web area	754.33	mm. ²
Foot area	1415.49	mm. ²
Wole section	3825.80	mm. ²
Calculated mass	29.76	kg/m.
Moment of inertia	607.70	cm. ⁴
Section modulus :		



Head area	1703.85	mm. ²
Web area	773.73	mm. ²
Foot area	1321.34	mm. ²
Wole section	3798.92	mm. ²
Calculated mass	29.822	kg/m.
Moment of Inertia	680.85	cm. ⁴
Section modulus :		
Top	115.98	mm. ³
Bottom	122.98	mm. ³
Distance from top of rail to neutral axis	58.70	mm.



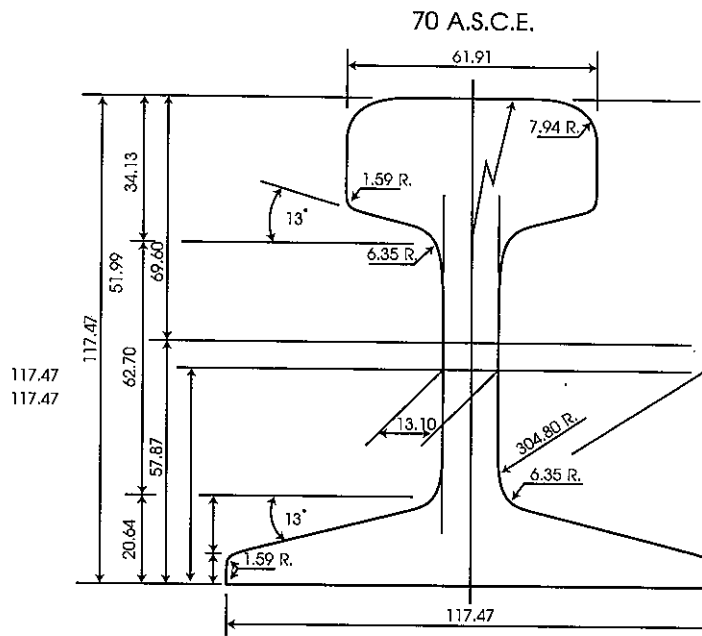
Head area	2019.35	mm. ²
Web area	870.96	mm. ²
Foot area	1548.38	mm. ²
Wole section	4438.69	mm. ²
Calculated mass	34.84	kg/m.
Moment of inertia	911.96	cm. ⁴
Section modulus :		
Top	145.96	mm. ³
Bottom	148.67	mm. ³
Distance from top of rail to neutral axis	62.48	mm.

รูปที่ 3.2

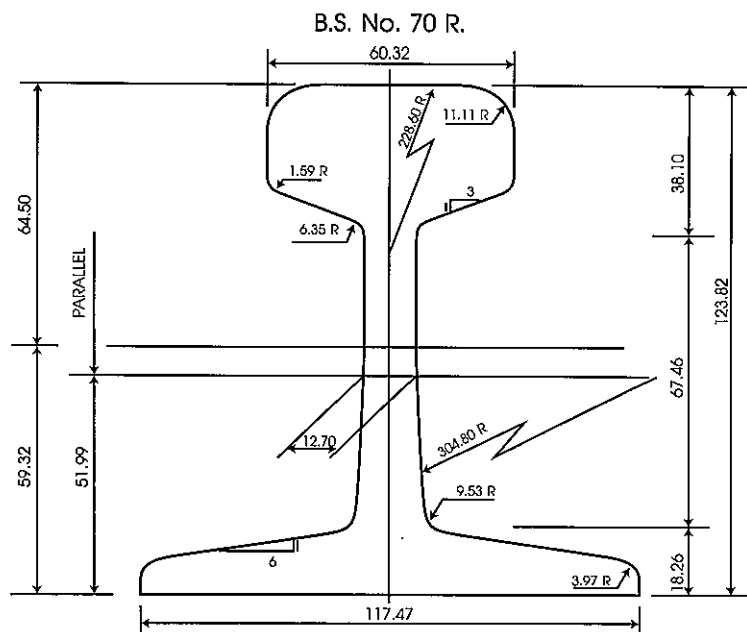
ความสูงเขี้ยวรถ วิศวะการขนส่ง



โครงสร้างทางรถไฟ

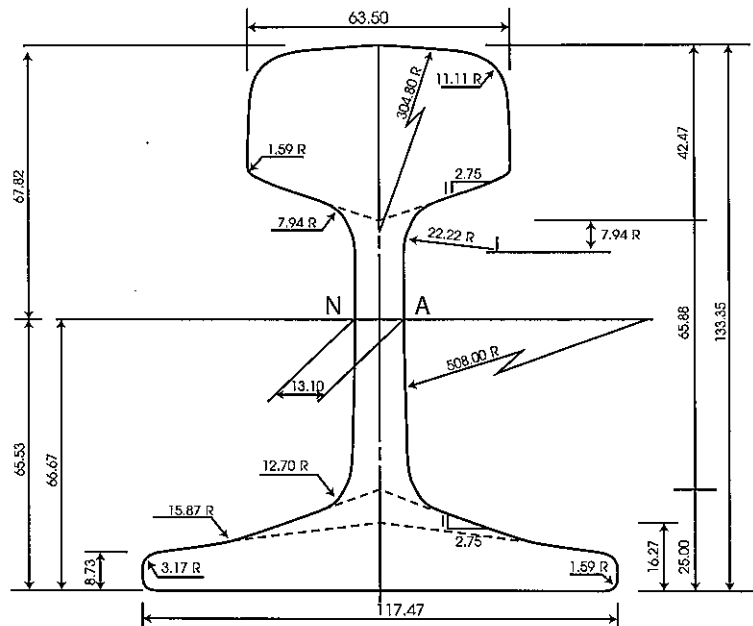


Head area	1770.23	mm. ²
Web area	1016.27	mm. ²
Foot area	1607.04	mm. ²
Wole section	4393.54	mm. ²
Calculated mass	34.49	kg/m.
Moment of inertia	819.97	cm. ⁴
Section modulus :		
Top	137.58	mm. ³
Bottom	141.69	mm. ³
Distance from top of rail to neutral axis	59.60	mm.



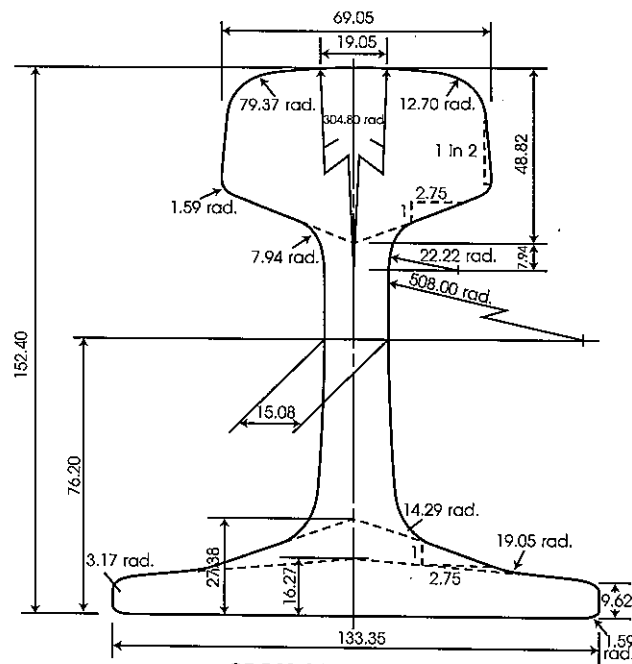
Head area	1921.29	mm. ²
Web area	948.38	mm. ²
Foot area	1567.74	mm. ²
Wole section	4437.41	mm. ²
Calculated mass	34.72	kg/m

B.S. NO. 80 A.



Head area	2270.96	mm. ²
Web area	1006.45	mm. ²
Foot area	1793.54	mm. ²
Wale section	5070.95	mm. ²
Calculated mass	39.80	kg/m.
Moment of inertia	1209.15	cm. ⁴
Section modulus :		
Top	178.29	mm. ³
Bottom	184.52	mm. ³
Distance from top of rail to neutral axis	67.82	mm.

B.S. NO. 100 A.



CROSS SECTION OF RAIL

Sectional area	63.92	cm. ²
Moment of inertia	1961.00	cm. ²
Section Modulus (top)	252.42	cm. ²
Section modulus (btm)	262.47	cm. ²
Distance from top of rail to neutral axis	77.688	mm.
Calculated mass	50.182	kg/m.

รูปที่ 3.4





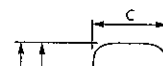
Standard Dimensions and Weights

Specifications		Dimensions									
		A		B		C		D		E	
		mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in
Japanese Industrial Standards	- 37 kg	122.24	-	122.24	-	62.71	-	13.49	-	36.12	-
	- 40 kg N	140.00	-	122.00	-	64.00	-	14.00	-	41.00	-
	- 50 kg N	153.00	-	127.00	-	65.00	-	15.00	-	49.00	-
	- 60 kg	174.00	-	145.00	-	65.00	-	16.50	-	49.00	-
JIS E 1101 1990	90 lbs	-	5-5/8	-	5-1/8	-	2-9/16	-	9/16	-	1-15/32
	100 lbs	-	6	-	5-3/8	-	2-11/16	-	9/16	-	1-21/32
	Engineering	-115 lbs	-	6/5/8	-	5-1/2	-	2-23/32	-	5/8	-
	AREA 1988	-132 lbs	-	7-1/8	-	6	-	3	-	21/32	-
Chapter 4, Rail	-136 lbs	-	7-5/16	-	6	-	2-15/16	-	11/16	-	1-3/4
											1-15/16
International Union Of Railways	-54 kg	159.00	-	140.00	-	72.20	-	16.00	-	49.40	-
	- 60 kg	172.00	-	150.00	-	74.30	-	16.50	-	51.00	-
	UIC 1979	70 lbs A	123.82	4-7/8	111.12	4-3/8	60.32	2-3/8	12.30	31/64	39.69
British Standards BS 11 1985	- 75 lbs R	128.59	5-1/16	122.24	4-13/16	61.91	2-7/16	13.10	33/64	39.69	1-9/16
	80 lbs A	133.35	5-1/4	117.47	4-5/8	63.50	2-1/2	13.10	33/64	42.47	1-43/64
	90 lbs A	142.87	5-5/8	127.00	5	66.67	2-5/8	13.89	35/64	46.04	1-13/16
	100 lbs A	152.40	6	133.35	5-1/4	69.85	2-3/4	15.08	19/32	48.82	1-59/64
Chinese National Railways	43 kg	140.00	-	114.00	-	70.00	-	14.50	-	42.00	-
	- 50 kg	152.00	-	132.00	-	70.00	-	15.80	-	42.00	-
	GB 2585-81	60 kg	176.00	-	150.00	-	73.00	-	16.50	-	48.50
Union Pacific Railways		-135 lbs	-	7-1/16	-	6	-	3	-	11/16	-
Canadian National Railway		-136 lbs CN	-	7-15/16	-	6	-	2-15-16	-	11/16	-
											1-15/16

Note : 1. * denotes sections manufactured by NKK.

2. Requirements for dimension and types other than those listed above are met subject to negotiation.

				Cross Section area		Weight		Moment Of inertia		Section Modulus			
										Head		Base	
F		G		S		W		Ix		Zx		Zx	
mm	in	mm	in	Cm ²	In ²	kg/m	Lbs/Yd	Cm ⁴	In ⁴	Cm ³	In ³	Cm ³	In ³
21.43	-	53.78	-	47.30	-	37.20	-	952	-	149	-	163	-
25.50	-	70.00	-	52.00	-	40.90	-	1,378	-	186	-	197	-
30.00	-	76.00	-	64.20	-	50.40	-	1,960	-	242	-	274	-
30.10	-	77.50	-	77.50	-	60.80	-	3,090	-	321	-	397	-
-	1	-	2-29/32	-	8.82	-	90.0	-	38.7	-	12.6	-	15.2
-	1-1/16	-	2-31/32	-	9.95	-	101.5	-	49.0	-	15.1	-	17.8
-	1-1/8	-	3-1/4	-	11.25	-	114.7	-	65.6	-	18.0	-	22.0
-	1-3/16	-	3-7/8	-	12.95	-	132.1	-	88.2	-	22.5	-	27.6
-	1-3/16	-	3-7/8	-	13.35	-	136.2	-	94.9	-	23.9	-	28.3
30.20	-	74.97	-	69.34	-	54.43	-	2,346	-	279.2	-	312.9	-
31.50	-	80.95	-	76.86	-	60.34	-	3,055	-	335.5	-	377.4	-
23.02	29/32	61.91	2-7/16	44.39	6.88	34.84	70.24	911.96	21.91	145.84	8.90	148.79	9.08
18.65	47/64	53.98	2-1/8	47.19	7.31	37.04	74.67	1,031.30	25.50	159.09	9.71	171.50	10.47
25.00	63/64	66.67	2-5/8	50.71	7.86	39.80	80.24	1,209.15	29.05	178.29	10.88	184.52	11.26
26.19	4-4/32	71.44	2-13/16	57.35	8.89	45.02	90.75	1,557.53	37.42	219.69	13.04	222.90	13.56
27.38	1-5/64	76.20	3	63.81	9.89	50.09	100.97	1,950.87	46.87	250.23	15.27	258.60	20.29
27.00	-	62.50	-	57.00	-	44.65	-	1,489	-	208.3	-	217.3	-
27.00	-	68.50	-	65.80	-	51.51	-	2,037	-	251.3	-	287.2	-
30.50	-	79.00	-	77.45	-	60.64	-	3,217	-	339.4	-	396.0	-
-	1-3/16	-	3-3/4	-	13.08	-	133.4	-	86.0	-	22.0	-	27.0
-	1-3/16	-	3-7/8	-	13.35	-	136.2	-	94.9	-	23.9	-	28.3



ส่วนผสมทางเคมีของราง (Chemical Composition)

ส่วนผสมทางเคมีเพื่อใช้ผลิตรางในแต่ละการรถไฟ จะมีมาตรฐานกำหนดใช้ที่แตกต่างกัน เช่น มาตรฐานทางการรถไฟอังกฤษ (BS) มาตรฐานของการรถไฟอเมริกา (AREMA) และมาตรฐานการรถไฟยุโรป (UIC) เป็นต้น

ส่วนผสมทางเคมีของ UIC (International Union of Railways) กำหนดดังนี้ (ความสัมพันธ์ทางส่วนผสมทางเคมี กับ Tensile Strength แสดงดังรูปที่ 4)

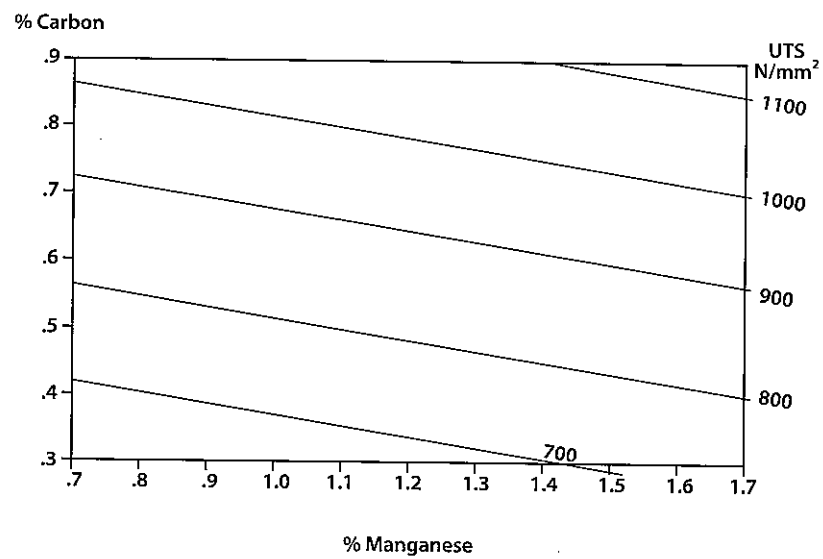
UIC 860	C	Si	Mn	P	S	UTS กก./ซม. ²	Elongation %
ราง Grade 900 A	0.60-0.80	0.10-0.50	0.80-1.30	≤0.05	≤0.04	≥8,000	≥10
ราง Grade 900 B	0.55-0.75	0.10-0.50	1.30-1.70	≤0.04	≤0.04	≥10,300	

ค่าความแข็งของหัวราง (HB) จะสัมพันธ์กับ Tensile Strength ของรางโดยทั่วไป ความแข็งของหัวราง จะกำหนดไว้ประมาณ 250 — 300 HB แสดงดังรูปที่ 5



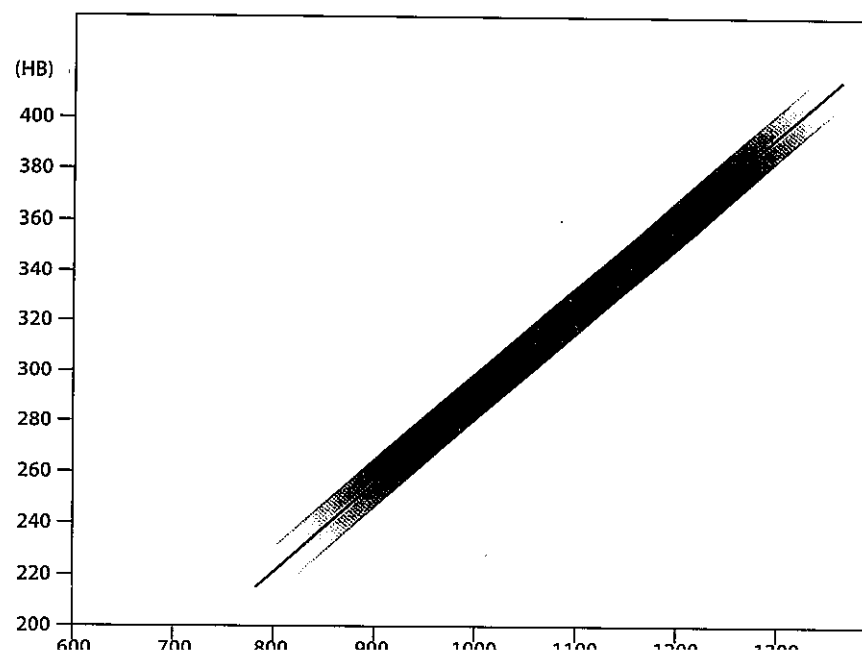


ความสัมพันธ์ Ultimate Tensile Strength ดังส่วนผสม Carbon (C) และ Manganese (Mn) แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของค่า UTS, C, Mn

ความสัมพันธ์ Ultimate Tensile Strength ต่อค่า Hardness (HB) แสดงดังรูปที่ 5



1.1.2) การผลิตราง การผลิตรางในปัจจุบันส่วนใหญ่ผลิตโดยวิธี Openhearth จากกรรมวิธีอื่น ๆ อีกหลายวิธี ดังเช่น

Openhearth	=	OH
Openhearth , Basic	=	OB
Bessemer, Acid	=	BA
Bessemer, Basic	=	BB
Electric	=	E
Oxygen Blow	=	O

1.1.3) การรีดราง (Rolling of Rails) กรรมวิธีในการผลิตราง จะมีการจัดทำ Casting Process เหล็กที่หลอมละลายแล้วจะถูกเทจากเตาหลอม Furnace มาที่ Ladle หนึ่งจะหนักประมาณ 60 — 70 ตัน และสามารถเทลงใน Ingot ได้ 12 — 17 Ingots ภายหลังที่ปล่อยไว้ให้เย็นประมาณ 30 นาที แล้วจึงนำแบบออกนำ ingot ที่ได้ เป็นวัตถุดิบ (แท่งเหล็ก) เพื่อนำไปเข้ากระบวนการรีดเหล็ก (Rail Rolling) ตามขั้นตอนต่าง ๆ ให้ได้ขนาดหน้าตัดของรางที่ต้องการ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการหลอมเหล็ก ทำแท่งเหล็กเป็นวัตถุดิบสำหรับนำไปรีดเป็นรางเหล็กได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างมาก กำหนดเป็นมาตรฐานการผลิตรางเหล็ก ด้วยวิธี Continuous Casting Process ซึ่งวิธีนี้ในการเตรียมวัตถุดิบ เพื่อใช้ในการรีดเป็นรางเหล็ก จะได้เนื้อโลหะที่มีส่วนผสมทางเคมีที่สม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีกว่าวิธี Casting Process วัตถุดิบที่จัดเตรียมโดยวิธีนี้เรียกว่า Bloom แสดงดังรูปที่ 5.1

สัญลักษณ์แสดงที่เอวรางเพื่อให้ทราบประวัติที่มาของรางที่ผลิต แสดงดังรูปที่ 5.2



[illegible]

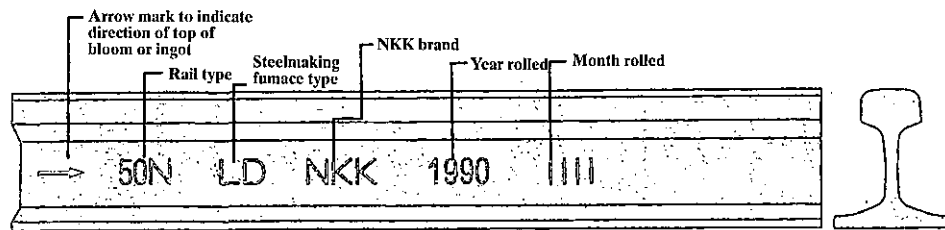
Thicker head-handling equipment

Marking (Branding and Stamping)

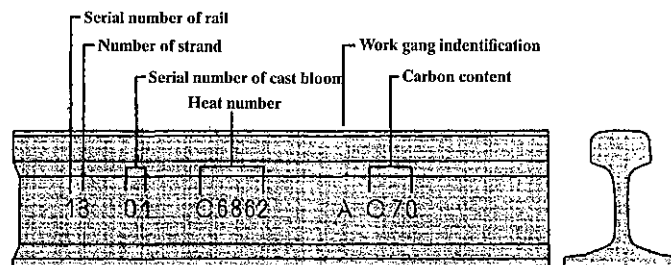
To identify case histories of manufacture, letters and numerical figures are shown in relief and hot-stamped on the web, as shown below.

Japanese Industrial Standard

(1) Rolled letters. (Branding)

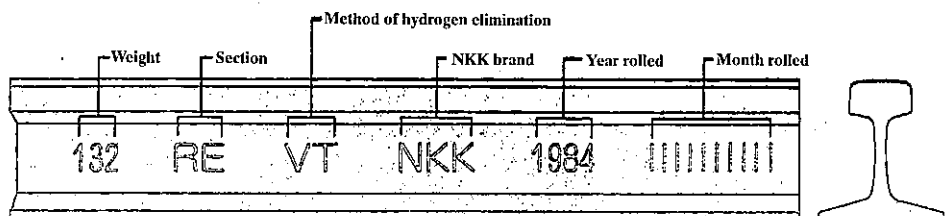


(2) Hot-stamped letters (Stamping)

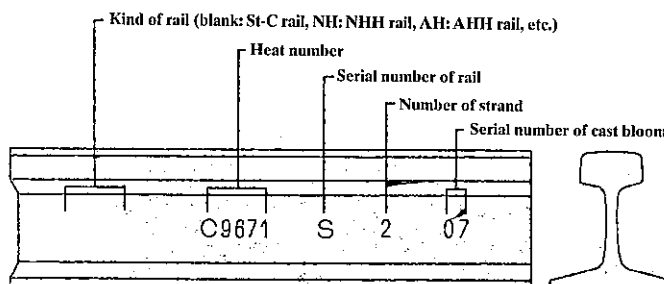


American Railway Engineering Association

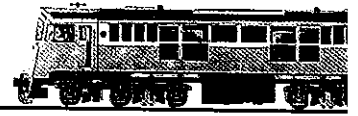
(1) Rolled letters. (Branding)



(2) Hot-stamped letters (Stamping)

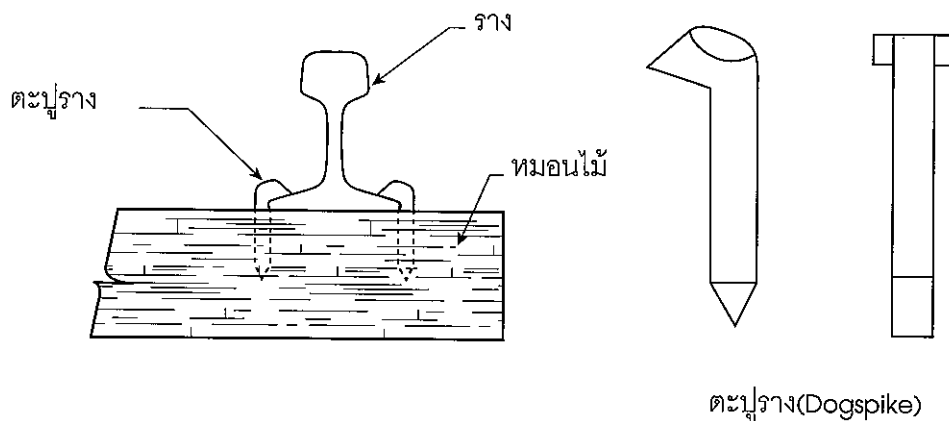


รูปที่ 5.2 ภาพแสดงสัญลักษณ์ต่าง ๆ บนเอวราง

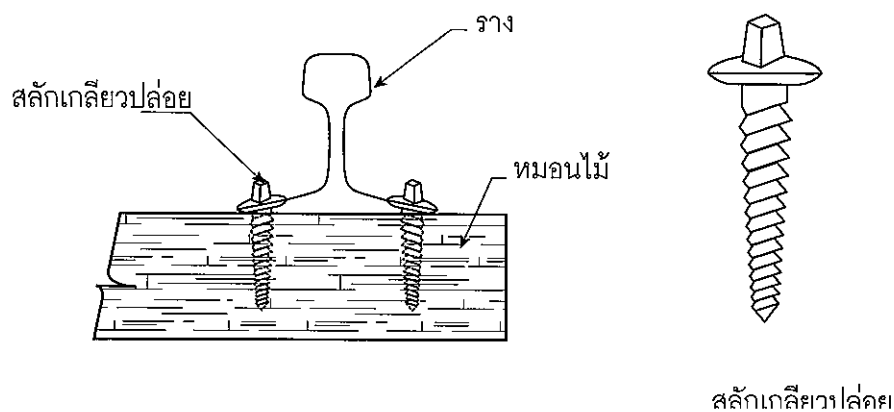


1.2) เครื่องยึดเหนี่ยวราง (Fastening) เครื่องยึดเหนี่ยวรางถือเป็นวัสดุทางที่ใช้สำหรับตรึงยึดรางให้ติดกับหมอนรองราง เพื่อให้ได้ระยะห่างระหว่างรางได้ขนาดทาง (Gauge) ตามที่ต้องการ

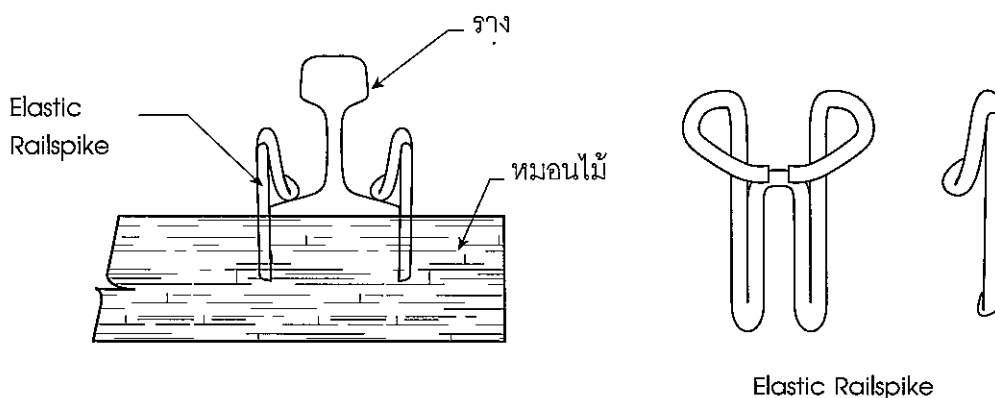
1.2.1) เครื่องยึดเหนี่ยวรางสำหรับหมอนไม้ เครื่องยึดเหนี่ยวสำหรับหมอนไม้ที่นิยมจะเป็น ตะปูราง สลักเกลียวปล่อยด้วยมีราคาไม่แพง หรือเรียกว่า แบบ Fixed Types เครื่องยึดเหนี่ยวแบบนี้จะช่วยให้รางไม่พลิกตัวหรือฐานรางขยับตัว แต่มีแรงกดต่ำ (Spring) บนฐานรางได้น้อยหรือไม่มีเลยจึงไม่สามารถป้องกันรางเคลื่อนตัวในแนวยาว (รางเดิน) จากการขยายตัวของรางอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ หรือการเคลื่อนตัวของรางอันเนื่องจากการเบรคของล้อรถ เป็นต้น ตัวอย่างเครื่องยึดเหนี่ยว แสดงดังรูปที่ 6 และ 7



รูปที่ 6 แสดงการใช้ตะปูรางยึดฐานราง บนหมอนไม้ ปกติใช้ 2 — 3 ตัว



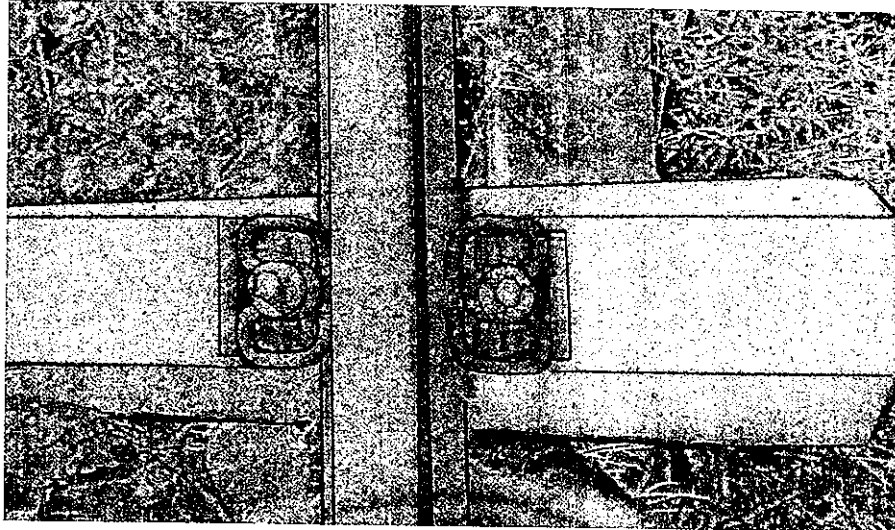
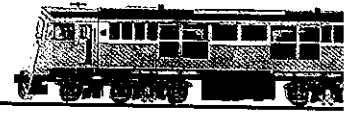
เครื่องยึดเหนี่ยวชนิดหนึ่ง หรือเรียกว่า Spring Types ใช้สำหรับหมอนไม้ เครื่องยึดเหนี่ยวแบบนี้ นอกจากจะป้องกันไม่ให้รางพลิกตัว หรือฐานรางขยับตัว (รางฟอก) แล้วป้องกันรางเดินได้อีกด้วย ซึ่งจะเหมาะสมที่จะใช้กับรางเชื่อมยาวด้วย มีรูปแบบสปริงให้เกิดแรงกดที่ฐานรางป้องกันไม่ให้รางขยับตัว หรือเคลื่อนตัวได้โดยง่าย หรือเรียกว่า Elastic Rail Spike มีหลายรูปแบบที่บริษัทต่าง ๆ ผลิตออกมา เพื่อใช้งานทางรถไฟ ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 8



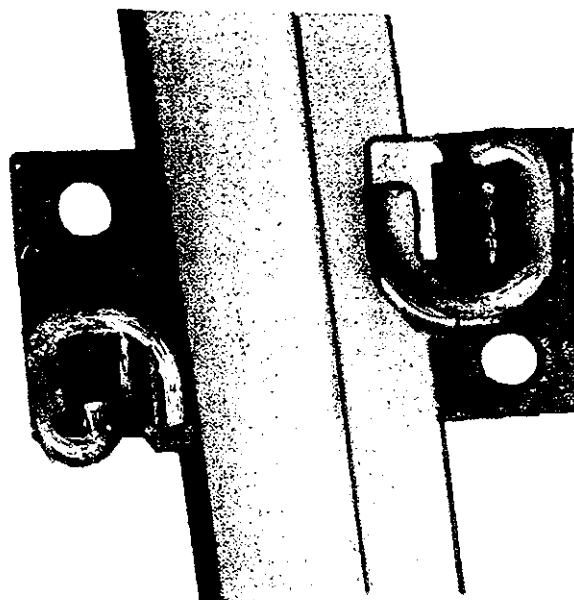
รูปที่ 8 เครื่องยึดเหนี่ยวสปริง (Elastic Rail Spike) ยึดฐานรางบนหมอนไม้

1.2.2) เครื่องยึดเหนี่ยวรางสำหรับหมอนคอนกรีต เครื่องยึดสำหรับหมอนคอนกรีตจะออกแบบเป็นแบบ Spring Type เพื่อให้มีคุณสมบัติครอบคลุมในการยึดฐานรางและป้องกันรางเดิน เนื่องจากหมอนคอนกรีตมีคุณสมบัติที่เหมาะสมใช้กับรางเชื่อมยาว เครื่องยึดเหนี่ยวที่ใช้จึงจำเป็นใช้แบบ Spring Clip ปัจจุบันมีหลายบริษัทผลิตขึ้นเพื่อใช้งานหลายรูปแบบ เช่น เครื่องยึดเหนี่ยว Pandrol ของประเทศ ของประเทศอังกฤษ แบบ Vossloh ของประเทศเยอรมัน และ Stadel ของประเทศฝรั่งเศส เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 9





เครื่องเหนี่ยวสปริง "Vossloh"



เครื่องยึดเหนี่ยวสปริง "Pandrol"

รูปที่ 9 เครื่องยึดเหนี่ยวแบบ Spring Clips สำหรับหมอนคอนกรีต

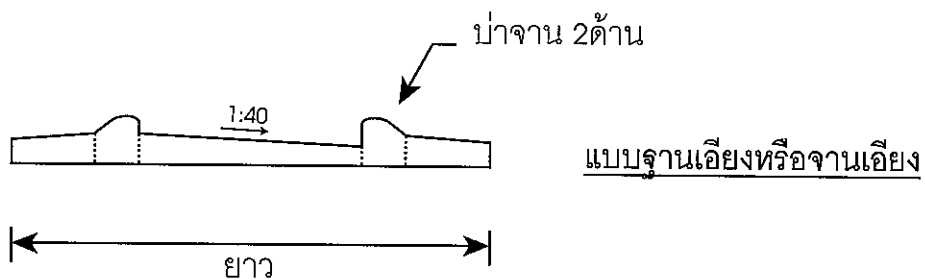
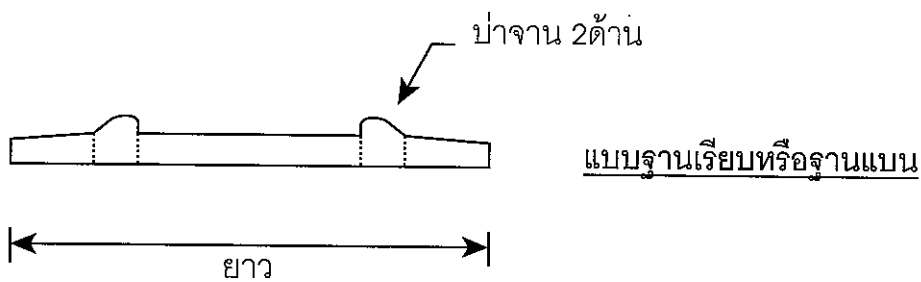
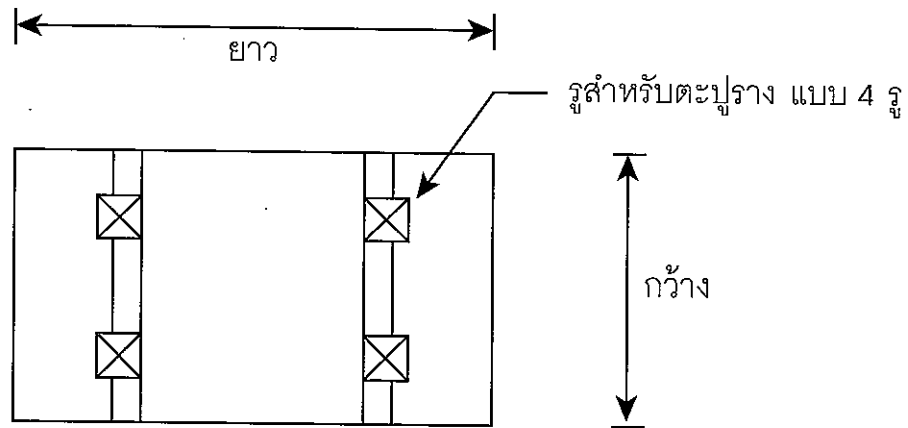
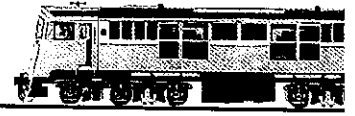
คุณสมบัติที่เหมาะสมทางเทคนิคของเครื่องยึดเหนี่ยวราง

- 1) มีคุณสมบัติรักษาระยะขนาดทาง (gauge) ได้ดี
- 2) ให้แรงกดฐานรางได้ดี ตลอดการใช้งานการเดินรถ
- 3) มีคุณสมบัติรับแรงสั่นสะเทือนได้ดี (Vibration) ไม่เกิดการล้าตัวตลอดอายุการใช้งาน
- 4) มีการคงรูปได้ดี ไม่มีผลกระทบต่องานบำรุงรักษาทาง
- 5) มีแรงกดสูงเพียงพอต่อการเดินของรางได้ดี
- 6) ควรจะเป็นรูปแบบเมื่อติดตั้งแล้วคงอยู่ได้ถาวรไม่หลุดหรือคลายตัวได้ง่าย (Fit and Forget)
- 7) ควรมีคุณสมบัติ เมื่อถอดออกมาแล้ว สามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ดีเหมือนเดิม
- 8) ควรมีรูปแบบน้อยชิ้น เพื่อต่อการติดตั้งและบำรุงรักษา
- 9) ควรมีลักษณะป้องกันการขโมยได้ดี
- 10) ควรเป็นชนิดที่นิยมใช้งานโดยทั่วไปเพื่อสะดวกต่อการรักษา และการสำรองอะไหล่ในอนาคต
- 11) ควรมีราคาถูก และมีอายุการใช้งานยาวนาน เช่นเดียวกับอายุการใช้งานหมอนคอนกรีต

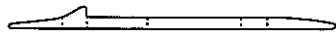
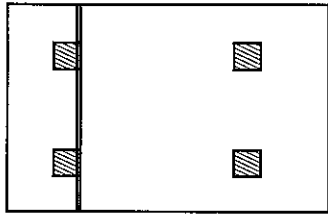
1.3 ฐานรองราง (Base Plate)

ฐานรองราง เป็นวัสดุทางที่ใช้วางใต้รางกับหมอนไม้ เพื่อช่วยดูดซับกระจายแรงจากฐานรางลงบนผิวหมอนไม้ให้น้อยลง ช่วยให้หมอนไม้มีอายุการใช้งานได้ยาวนานขึ้น โดยเฉพาะหากใช้หมอนไม้ชนิดแข็งปานกลาง สำหรับในทางโค้งมีความจำเป็นต้องติดตั้งฐานรองรางทุกท่อนหมอน เนื่องจากในทางโค้งจะเกิดแรงเหวี่ยงด้านข้างของตัวรถสูง มีผลให้เนื้อไม้เสียหายได้มากกว่าในส่วนของทางตรง ฐานรองรางมีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและมีช่องสำหรับจำนวนของตะปูรางที่จะใช้งาน ฐานรองรางที่ใช้กับทางโค้ง จะใช้จำนวนตะปูรางมากกว่าทางตรง ในทางตรงทั่วไปจะใช้ตะปูราง 2 — 3 ตัวต่อหนึ่งฐานรางแต่สำหรับในทางโค้งจะใช้ตะปูรางมากถึง 4 ตัว ต่อฐานราง เป็นต้น ตัวอย่างของฐานรองรางแสดงดังรูปที่ 10 และรูปที่ 10.1 ถึง 10.2

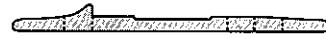
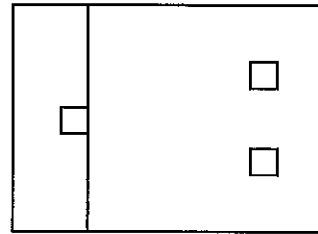




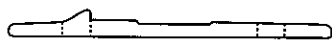
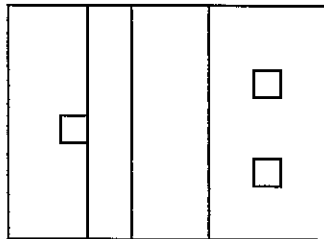
รูปที่ 10 แบบงานรองรางสำหรับหมอนไม้ ชนิดงานเรียบและแบบชนิดงานเอียง และมีบ่างาน 2 ด้าน (งานรองรางแบบอื่น ๆ อาจจะมี 2 หรือ 3 รูป หรือ มีบ่างานด้านเดียว หรือ ไม่มีบ่างาน (งานแบน) เลยกก็ได้ ขึ้นอยู่กับความจำเป็น



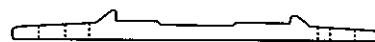
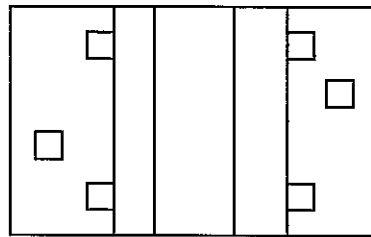
งานแบนป่าเดียว 4 รู



งานแบนป่าเดียว 3 รู



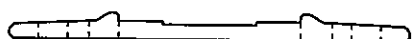
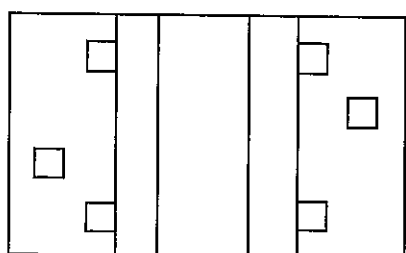
งานเอียงป่าเดียว 3 รู
มีร่องใต้ฐานราง



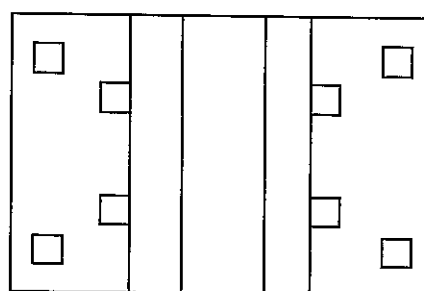
งานเอียง 2 ป่า 6 รู
มีร่องใต้ฐานราง

รูปที่ 10.1

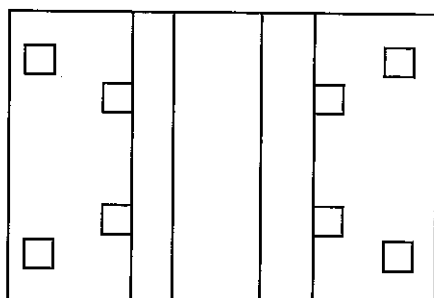




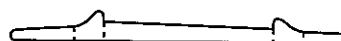
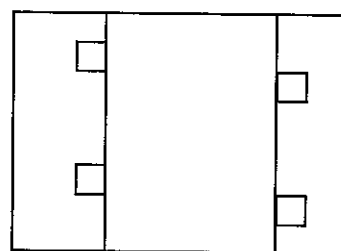
งานแบบ 2 ป่า 6 รุ
มีร่องใต้ฐานราง



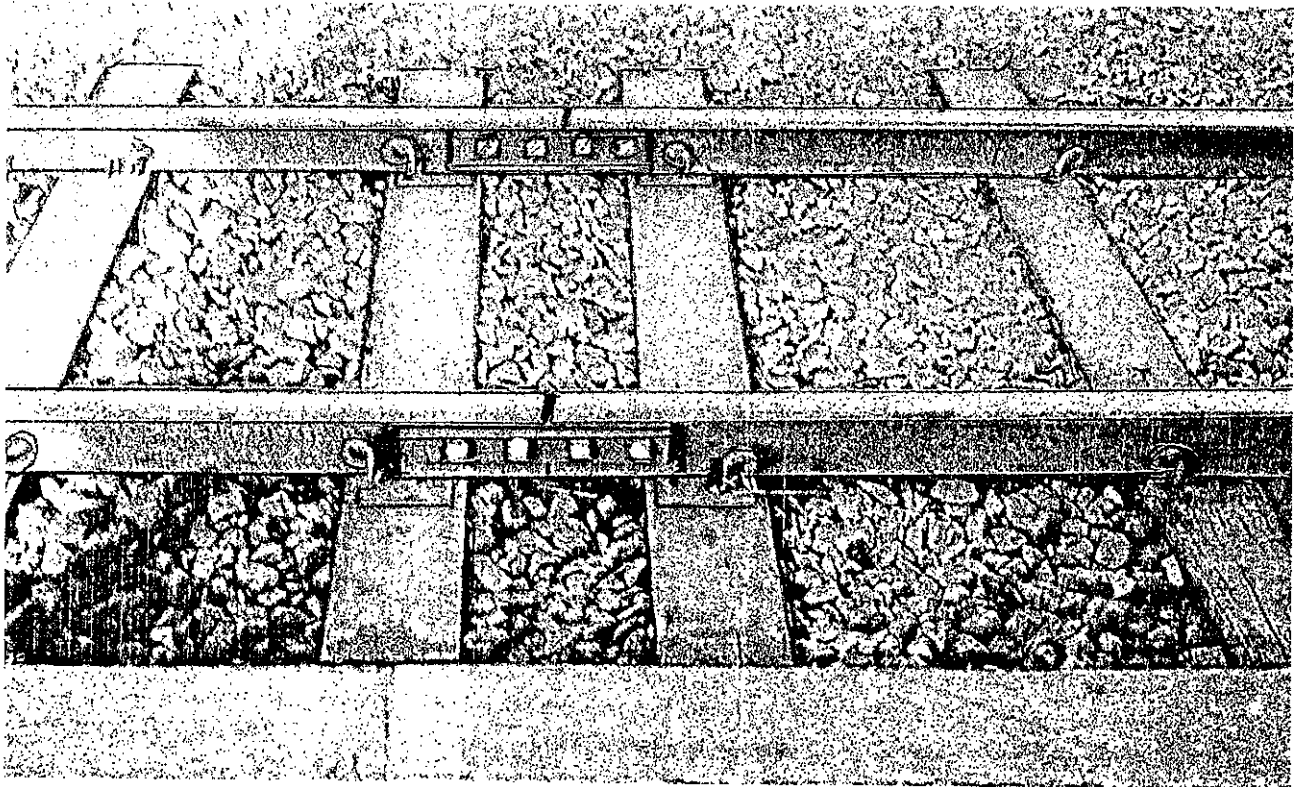
งานแบบ 2 ป่า 8 รุ
มีร่องใต้ฐานราง



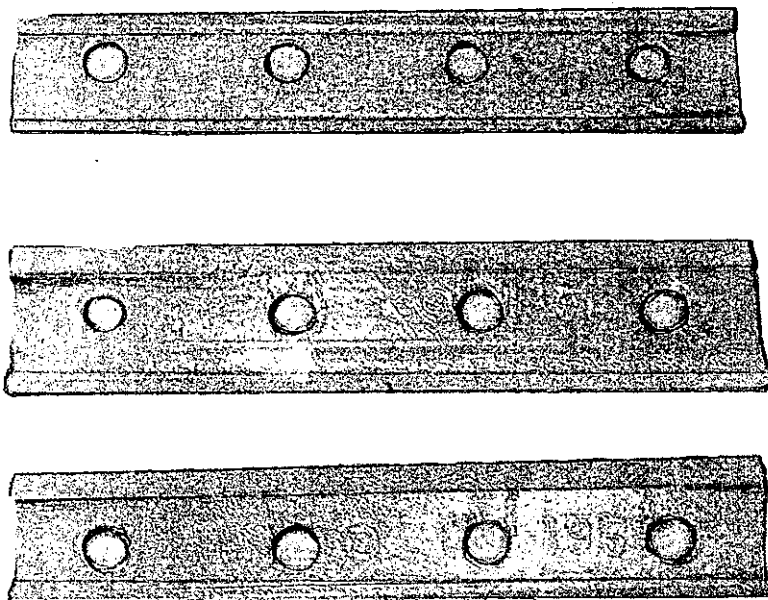
งานเอียง 2 ป่าเดียว 8 รุ
มีร่องใต้ฐานราง



งานเอียง 2 ป่า 4 รุ
มีร่องใต้ฐานราง



หัวต่อรางแบบใช้เหล็กประกบราง
รูปที่ 10.3



รูปแบบ เหล็กประกบราง
รูปที่ 10.4



1.4) หมอนรองราง (Tie หรือ Sleeper)

หมอนรองรางถือเป็นวัสดุทางที่ใช้งานรองรับน้ำหนักจากฐานหรือจานรองราง ลงสู่ผิวหน้าหมอนเพื่อช่วยกระจายแรงผ่านหมอน ลงไปยังชั้นหินโรยทาง ปัจจุบันหมอนรองรางมีใช้งานอยู่ 3 ชนิด คือ

- 1) หมอนไม้ (Timber Sleeper)
- 2) หมอนคอนกรีต (Concrete Sleeper)
- 3) หมอนเหล็ก (Steel Sleeper)

ในที่นี้จะกล่าวถึงหมอนไม้ และหมอนคอนกรีต เนื่องจากหมอนเหล็กไม่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีข้อจำกัดบางประการในด้านเทคนิค เช่น หมอนมีน้ำหนักเบา ให้แรงต่อต้านด้านข้างการเคลื่อนตัวของหมอนได้น้อยกว่าหมอนไม้และหมอนคอนกรีต หรือปัญหาอันเกิดจากกระแสไฟฟ้าลัดวงจร เนื่องจากหมอนเหล็กเป็นสื่อนำไฟฟ้าที่ดีกว่าหมอนไม้ หรือหมอนคอนกรีต เป็นต้น

1) หมอนไม้ (Timber Sleeper) ไม้ที่นำมาใช้เป็นหมอนทาง จะกำหนดเป็นไม้เนื้อแข็ง เพื่อให้ความแข็งแรง อายุการใช้งานได้นาน แต่หากเป็นไม้เนื้อแข็งปานกลางแล้วจะกำหนดให้อาบน้ำยา (Treatment) เพื่อให้เนื้อไม้มีความคงทน อายุการใช้งานได้ยาวนาน

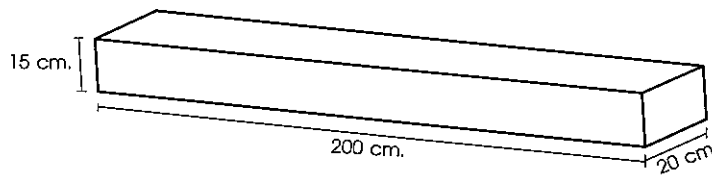
ข้อดีของการใช้หมอนไม้

- 1) ราคาไม่แพง (ในบางประเทศ) ง่ายต่อการผลิต
- 2) ช่วยดูดซับ (Absorbs) แรงกระแทก (Impact) ได้ดี
- 3) ง่ายต่อการขนส่งและบรรทุก
- 4) ง่ายต่อการซ่อมบำรุง ในการวางและปรับแก้ระยะห่างของรางและระยะหมอนได้ง่าย
- 5) สามารถใช้งานร่วมกับหินโรยทางได้ดี
- 6) สามารถใช้เป็นไม้หมอนบนสะพานได้
- 7) เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี

ข้อเสียของหมอนไม้

- 1) อายุใช้งานไม่ยาวนาน เสื่อมตามสภาพอากาศ
- 2) เมื่อเสื่อมสภาพ เช่น หมอนยุบ หรือแตก ยากต่อการบำรุงรักษา สภาพทางให้ได้ดีเหมือนเดิม
- 3) ติดไฟได้ง่าย

หมอนไม้ที่ใช้กับทางรถไฟไทย เป็นหมอนไม้เนื้อแข็ง ขนาดความกว้าง 20 ซม. ยาว 200 ซม.หนา 15 ซม. แสดงดังรูป



2)หมอนคอนกรีต (Concrete Sleeper) หมอนคอนกรีตยังเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายด้วยปัญหาไม้ขาดแคลน เช่น ในประเทศไทย รัฐบาลได้กำหนดนโยบายปิดป่า จำเป็นต้องจัดหาหมอนไม้จากต่างประเทศ ทำให้มีราคาแพง เพราะคุณภาพไม้ไม่ดีพอ เมื่อเทคโนโลยีคอนกรีตพัฒนาขึ้นมาก ทำให้สามารถออกแบบและผลิตหมอนคอนกรีตมาใช้งานแทน ค่าใช้จ่ายโดยรวมจะไม่แพง เมื่อเปรียบเทียบกับราคาหมอนไม้ในปัจจุบัน หมอนคอนกรีตที่ใช้งานมี 2 แบบ คือ แบบ Prestress Concrete และ แบบ Post Tension Concrete ตามความต้องการการใช้งานในแต่ละประเทศ

ข้อดีของหมอนคอนกรีต

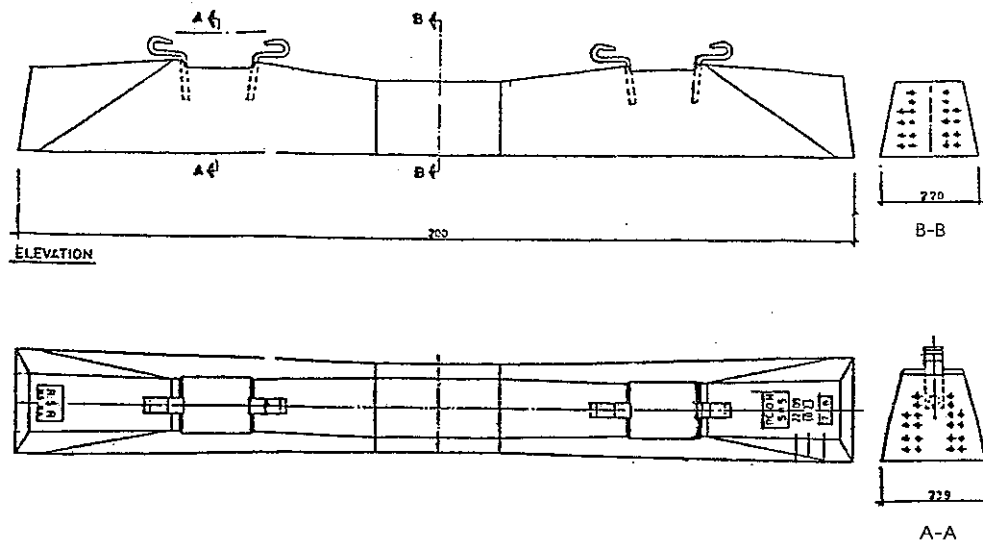
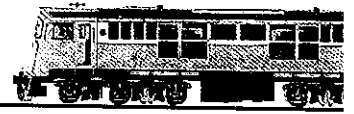
- 1) มีความแข็งแรงสูง น้ำหนักของหมอนมีส่วนช่วยต่อต้านการเคลื่อนตัวของรางเชื่อมยาวได้ดี
- 2) อุปกรณ์เครื่องยึดเหนี่ยวหมอนคอนกรีตมีคุณภาพสูง โดยกำหนดเลือกใช้แบบสปริง
- 3) สามารถเป็นฉนวนป้องกันกระแสไฟฟ้าได้ดี
- 4) มีอายุการใช้งานยาวนานโดยทั่วไปกำหนดไว้ 50 ปี
- 5) สามารถผลิตได้ครั้งละจำนวนมาก ๆ โดยการผลิตแบบ

Mass Produced

ข้อเสียของหมอนคอนกรีต

- 1) การขนส่งและการบรรทุกยุ่งยากกว่าหมอนไม้ เนื่องจากหมอนมีน้ำหนักมาก ต้องใช้เครื่องมือ เครื่องจักรกลช่วย
- 2) การบำรุงรักษา การอัดหินต้องใช้เครื่องมือกลหนัก เช่น รถอัดหิน เป็นต้น
- 3) หมอนจะแตกชำรุดมาก หากเกิดเหตุรถตกราง และการซ่อมเปลี่ยนหมอนใหม่ยากกว่าหมอนไม้

หมอนคอนกรีตที่ใช้กับการรถไฟไทย เป็นหมอนคอนกรีตแบบ Prestress Concrete มีขนาดความกว้างประมาณ 25 ซม. หนาประมาณ 22 ซม. ความยาว 200 ซม. แสดงดังรูป



รูปที่ 11 แบบหมอนคอนกรีต อัดแรง (สำหรับขนาดทาง 1 ม.)

1.1.5) หินโรยทาง (Ballast)

หินโรยทางที่ใช้จะเป็นหินย่อยขนาดใหญ่จากโรงไม่ ใช้หินประเภทหินปูน (Lime Stone) หรือหินแกรนิต (Granite) สำหรับหมอนคอนกรีตแล้วนิยมใช้หินแกรนิตเป็นหินโรยทาง เนื่องจากมีความแข็งแรง ไม่ถูกย่อยหรือเสียหายจากแรงกดทับของหมอนคอนกรีตที่มีกำลังสูงได้ดีกว่าหินปูน ขนาดมวลรวมคละของหินโรยทางจะมีขนาดใหญ่ คือตั้งแต่ 50 มม. 25 มม. ลงไป ต้องปราศจากมวลขนาดเล็ก หรือฝุ่นที่จะทำให้เกิดฝุ่นโคลนหรือความสกปรกในชั้นหินโรยทางได้

คุณสมบัติของหินโรยทาง

- 1) ช่วยกระจายน้ำหนักจากใต้หมอนแผ่กระจายลงยังผิวคันทางให้สม่ำเสมอ
- 2) ให้ความต้านทานของการเคลื่อนตัวของทางทั้งแนวยาวและด้านข้างได้ดี
- 3) มีการระบายน้ำได้ดี
- 4) มีความหนาแน่น และอัดตัวกันได้ดี เมื่อได้รับอัดหินแล้ว
- 5) มีความยืดหยุ่นตัวในการรับน้ำหนักกระแทก (Impacted load) ได้ดี

คุณสมบัติของวัสดุหินโรยทาง

- 1) ควรจะมีราคาถูก
- 2) มีความแข็ง (Hard) คงทน (durable) ทนต่อการสึกหรอ (Tough and wear resistance) ได้ดี
- 3) มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมคม (Cubical size , Sharp Edges)
- 4) มีโครงสร้างที่เกาะยึดกันแล้วมีโพรงเพื่อการระบายน้ำได้ดี

ขนาดมวลรวมคละ (Gradation) ของหินโรยทางในแต่ละการรถไฟจะกำหนด Gradation ของหินโรยทางไม่เหมือนกัน แต่จะใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผลการใช้งานศึกษา และบำรุงรักษาทางในแต่ละประเทศนั้นๆ ที่ได้ใช้กันมาจนเป็นที่พอใจ ัวอย่างมวลรวมคละของหินโรยทาง ดังตารางในรูปที่ 12

Sieve Size (mm)	76	60	50	40	25	20
% Passing by weight	100	80-100	25-70	0-20	0-55	0-5

รูปที่ 12 ตารางแสดง Gradation หินโรยทาง



บทที่ 2

ทฤษฎีและการวิเคราะห์ โครงสร้างทางรถไฟ



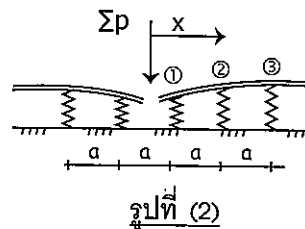
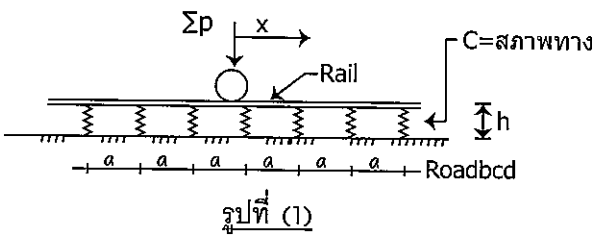
โครงสร้างทางรถไฟ



บทที่

ทฤษฎีและการวิเคราะห์โครงสร้างทางรถไฟ

ก) ทฤษฎี การวิเคราะห์โครงสร้างทางรถไฟ เพื่อสำหรับการวิเคราะห์ ได้แสดงไว้ดังนี้



กำหนดให้

ΣP = น้ำหนักจากล้อรถ

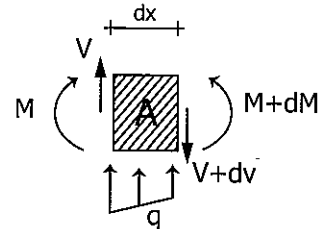
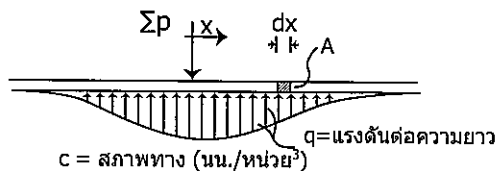
a = ระยะหมอนรองราง

b = ความกว้างหมอน

h = ความหนาหินโรยทาง

c = สภาพทาง

1) ทฤษฎีคานายาวบนพื้นอีลาสติก จากรูปที่ (1) แสดงลักษณะของแรงต่างๆ กระทำต่อราง ดังรูปที่ 3



รูปที่ (3)

จากทฤษฎีอีลาสติกที่ดี เมื่อกำหนดสปริงมีระยะรองรับต่อหนึ่งหน่วยตลอดความยาวราง และ ω คือความกว้างของฐานราง

$$EI \left(\frac{d^4 y}{dx^4} \right) = -q \quad \dots \dots \dots (1)$$

โดยที่

$$q = \omega c y \quad \dots \dots \dots (2)$$

กำหนดให้

$$k = \omega c \text{ (นน./หน่วย}^2\text{)}$$

แทนค่า สมการ (2) ใน (1)

$$EI \left(\frac{d^4 y}{dx^4} \right) = -k y \quad \dots \dots \dots (3)$$

จากสมการ (3) จะได้

$$y = e^{-\beta x} (c_1 \cos \beta x + c_2 \sin \beta x) \quad \dots \dots \dots (4)$$

และได้

$$-\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}} \quad \dots \dots \dots (5)$$

1.1 วิเคราะห์ C_1, C_2 เมื่อกำหนดระยะ $x = 0$ จะได้ความลาดชันของเส้นโค้ง อีลาสติก เป็น ศูนย์ นั่น คือ

จากสมการ (4) จะได้ $y = Ce^{-\beta x} (\cos \beta x + \sin \beta x)$ 6)

ค่า C สามารถได้จากความสมดุลย์ของแรง $\sum F = 0$ ของชิ้นส่วน A

คือ $2 \int_0^\infty q dx = 2 \int_0^\infty k y dx = \sum P$ (7)

แทนค่า y ของสมการ (6) ใน (7) จะได้

$$c = \frac{\sum P \beta}{2 \kappa}$$

นั่นคือ $y = \left(\frac{\sum P \beta}{2 \kappa} \right) e^{-\beta x} (\cos \beta x + \sin \beta x)$ (8)

1.2 ผลการวิเคราะห์ จากสมการ (8) สามารถวิเคราะห์หาค่าต่าง ๆ ได้ คือ

1.2.1) โมเมนต์ $M = \frac{\sum P}{4 \beta} e^{-\beta x} (\cos \beta x - \sin \beta x)$

1.2.2) แรงเฉือน $V = \frac{\sum P}{2} e^{-\beta x} \cos \beta x$

1.2.3) Slope $Q = -\frac{\sum P \beta}{\kappa} e^{-\beta x} \sin \beta x$

1.2.4) Deflection $y = \frac{\sum P \beta}{2 \kappa} e^{-\beta x} (\cos \beta x + \sin \beta x)$

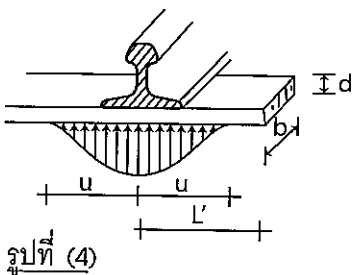
หมายเหตุ เมื่อทราบค่า β จากสมการ (10) ก็สามารถหาค่า κ ได้จาก
สมการ (5)

1.3 สภาพทาง (Ballast Coefficient.C) กับความสัมพันธ์ค่า κ เมื่อกำหนดให้ G คือค่า Spring Constant ของทาง (นน. / หน่วย) และมีระยะรองรับรางเป็นระยะ a (ระยะห่างระหว่างหมอน) นั่น คือ

ค่าเฉลี่ย $\kappa = \frac{G}{a}$ (นน. / หน่วย²)

แทนค่า K ในสมการ (5) $\beta = \sqrt[4]{\frac{G}{4EIa}}$ (9)

เมื่อกำหนดพื้นที่แรงกระทำได้หมอนดังรูปที่ (4) จากผลการทดลอง



พท.แรงกระทำได้หมอน = $2ub$

แรงกระทำได้หมอน $R = C (2ub)$ (นน./หน่วย)

นั่นคือ $R = G$

แทนค่า $R = G$ ในสมการ (9) จะได้

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{C(2ub)}{4EIa}}$$

หรือ $\mu = 1/\beta = \sqrt[4]{\frac{2EIa}{cub}}$ (10)

และค่า $u = L' \left(1 - \frac{0.036L'}{\sqrt[4]{d^3}} \right)$ (หน่วยเป็นนิ้ว)





- 2) แรงที่รางกระทำต่อหมอน แรงที่กระทำต่อบนผิวหมอน จากน้ำหนักล้อส่งผ่าน ราง สามารถวิเคราะห์ได้จากรูปที่ (2) ดังนี้

$$P_1 = 2 \int_0^{a/2} k y dx = \left[-2 \frac{k}{\beta} \frac{\beta \sum P}{2k} e^{-\beta x} \cos \beta x \right]_0^{a/2} = \sum P (e^{-\beta x} \cos \beta x)_0^{a/2}$$

$$P_2 = \int_{a/2}^{3a/2} k y dx = \frac{\sum P}{2} (e^{-\beta x} \cos \beta x)_{a/2}^{3a/2}$$

$$P_3 = \int_{3a/2}^{5a/2} k y dx = \frac{\sum P}{2} (e^{-\beta x} \cos \beta x)_{3a/2}^{5a/2}$$

- 3) IMPACT FACTOR (I) จากการทดลองของการรถไฟญี่ปุ่น กำหนดไว้ดังนี้ (V = ความเร็วรถ เป็น กม./ชม.)

3.1) $I = 1 + \frac{V}{100}$ สำหรับวิเคราะห์ความแข็งแรงของราง และน้ำหนักส่งผ่านรางกระทำต่อผิวหมอน

3.2) $I = 1 + \frac{0.6V}{100}$ สำหรับวิเคราะห์ความหนาหินโรยทางและแรงกดบนพื้นทาง

- 4) แรงกดบนพื้นทาง จากผลการทดลองของการรถไฟญี่ปุ่น กำหนดไว้ดังนี้

$$P = \frac{50}{10 + h^{1.35}} P_s$$

แรงกดในชั้นหินโรยทาง $P_s = cy$

ระยะหลุดตัวชั้นหินโรยทาง $y = \eta \frac{2P_1}{Ac}$ เมื่อ $\eta = 1.044$ (ค่าเฉลี่ยหมอนไม้)

$\eta = 1.00$ (หมอนคอนกรีต)

P_1 = จากสมการแสดงไว้ในข้อ 2)

A = พื้นที่ใต้หมอนทั้งหมด (ชม²)

h = ความหนาหิน (ชม.)

c = สภาพทาง (กก./ชม³)

- 5) พิกัดกำหนดในการออกแบบ

5.1 แรงเค้นในราง กำหนดไม่เกินกว่าดังนี้ (Ultimate Tensile Stress > 7,200 กก./ชม²)

น้ำหนักผ่านทางต่อปี (ล้านตัน)

แรงเค้นในราง (กก./ชม²)

> 10

1325

5 — 10

1663

2 — 5

1843

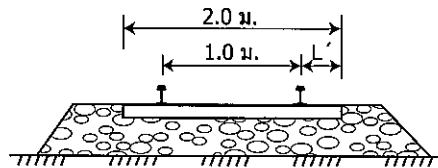
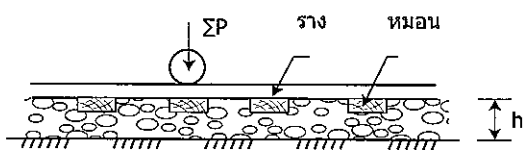
5.2 แรงเค้นในหมอนไม้ กำหนดไม่เกินกว่า 100 กก./ซม² (พันธไม้เนื้อแข็ง)

5.2 แรงกดบนพื้นทาง กำหนดไม่เกินกว่า 15 ตัน/ม²

5.3 สภาพของทาง C = Ballast Coefficient. กำหนดดังนี้.-

สภาพทาง	C (กก./ซม ³)
ไม่ดีมาก	2
ไม่ดี	5
ดี	8 — 10
ดีมาก	12 — 15
แกร่งมาก	30 — 60

6) ตัวอย่างการวิเคราะห์ โครงสร้างทางรถไฟ กำหนดดังรูป



6.1 หมอนไม้	กำหนดให้	สภาพทาง	c	= 7 (กก./ซม ³)
		น้ำหนักเพลาน้ำหนักเหล็ก		= 13.75 ตัน
		หมอนไม้		= 20 × 15 × 200 ซม.
		ระยะหมอน	a	= 65 ซม.
		ความหนาหิน	h	= 20
		ความเร็วรถ	V	= 100 (กก./ซม)
		ราง		= 70 R
			I	= 888 ซม ⁴
			Z	= 136 ซม ³
			E	= 2.1 × 10 ⁶ กก./ซม. ²

วิธีการวิเคราะห์

$$\Sigma P = P \left(1 + \frac{v}{100} \right) = \frac{13.75}{2} \left(1 + \frac{100}{100} \right)$$

$$= 13.75 \text{ ตัน}$$

$$\text{หมอนไม้ หนา } d = 15 \text{ ซม.} = 6 \text{ นิ้ว}$$

$$\text{และ } E = 50 \text{ ซม.} = 20 \text{ นิ้ว}$$

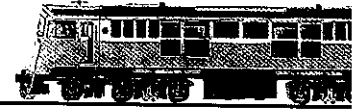
$$\text{หาค่า } u = L \left(1 - \frac{0.036L'}{4\sqrt{d^3}} \right) = 20 \left(\frac{0.036 \times 20}{6^{3/4}} \right)$$

$$= 16.24'' = 41.20 \text{ ซม.}$$

$$\mu = \sqrt[4]{\frac{2EIa}{cub}} = \sqrt[4]{\frac{2 \times 2.1 \times 10^6 \times 888 \times 65}{7 \times 41.20 \times 20}} = 80.52 \text{ ซม.}$$

$$\beta = 0.0124 \text{ ซม.}^{-1}$$





จากกรณีล้อยเดี่ยว ระยะ $x=0$

$$\begin{aligned}
 6.1.1 \text{ โมเมนต์} \quad M &= \frac{\sum P}{4\beta} e^{-\beta x} (\cos \beta x - \sin \beta x) \\
 &= \frac{13.75}{4(0.0124)} \times 1 = 277.22 \text{ ตัน - ซม.} \\
 &= 2.772 \text{ ตัน - ม.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 6.1.2 \text{ แรงเค้น} \quad &= \frac{M}{Z} = \frac{2.772(1000 \times 100)}{136} \\
 &= 2038.23 \text{ กก./ซม}^2 < 2360.0 \text{ กก./ซม}^2 \text{ (ใช้ได้)}
 \end{aligned}$$

6.1.3 แรงส่งผ่านรางกระทำต่อบนหมอน

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \sum P [e^{-\beta x} \cos \beta x]_0^{\frac{a}{2}} \\
 &= 13.75 [1 - e^{-(0.0124 \times 32.5)} \cos(0.0124 \times 32.5)] \\
 &= 5.296 \text{ ตัน (ค่านี้ใช้วิเคราะห์ความแข็งแรงของหมอน)}
 \end{aligned}$$

6.1.4 แรงกดบนพื้นทาง

$$\begin{aligned}
 \text{แรง } P_1 \text{ กระทำจากใต้หมอน} \quad &= P \left(1 + \frac{0.6V}{100} \right) [e^{-\beta x} \cos \beta x]_0^{\frac{a}{2}} \\
 &= \frac{13.75}{2} \left(1 + \frac{0.6 \times 100}{100} \right) [1 - e^{-(0.0124 \times 32.5)} (0.0124 \times 32.5)] \\
 &= 4.238 \text{ ตัน}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ballast Settlement} \quad y &= \eta \frac{2P_1}{Ac} = 1.044 \frac{2(4.238)1000}{20 \times 200 \times 7} \\
 &= 0.3160 \text{ ซม.} = 3.160 \text{ มม.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{แรงกดในชั้นหินโรยทาง} \quad Ps &= cy = 7 \times 0.316 = 2.212 \text{ กก./ซม}^2 \\
 &= 22.12 \text{ ตัน/ม}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{แรงกดบนพื้นทาง} \quad P &= \frac{50}{(10 + h^{1.35})} Ps = \frac{50}{(10 + 20^{1.35})} (2.212) \\
 &= 1.65 \text{ กก./ซม}^2 \\
 &= 16.50 \text{ ตัน/ม}^2 > 15 \text{ ตัน/ม}^2 \text{ (ใช้ไม่ได้)} \\
 &\text{ควรปรับระยะหมอนหรือเพิ่มความหนา} \\
 &\text{หินโรยทาง หรือปรับใหม่ทั้งสองแบบ}
 \end{aligned}$$

6.2) หมอนคอนกรีต

$$\begin{aligned}
 \text{กำหนดให้ สภาพทาง } c &= 7 \text{ (กก./ซม}^3) \\
 \text{น้ำหนักเพลลา} &= 13.75 \text{ ตัน}
 \end{aligned}$$

พท. รับแรงได้หมอน	$A = 2040 \text{ ซม}^2$ (ต่อหนึ่งข้าง)
ระยะหมอน	$a = 60 \text{ ซม.}$
ความหนาหิน	$h = 20 \text{ ซม.}$
ความเร็วรถ	$V = 100 \text{ (กม./ชม)}$
ราง	$= 70 \text{ R}$
	$I = 888 \text{ ซม}^4$
	$Z = 136 \text{ ซม}^3$
	$E = 2.1 \times 10^6 \text{ กก./ซม}^2$

วิธีการวิเคราะห์

$$\Sigma P = P \left(1 + \frac{V}{100} \right) = \frac{13.75}{2} \left(1 + \frac{100}{100} \right)$$

$$= 13.75 \text{ ตัน}$$

หาค่า

$$\mu = \sqrt[4]{\frac{4EIa}{Ac}} = \sqrt[4]{\frac{4 \times 2.1 \times 10^6 \times 888 \times 60}{2040 \times 7}}$$

$$= 74.82 \text{ ซม.}$$

หรือ

$$\beta = 0.0134 \text{ ซม}^{-1}$$

จากกรณีล้อเดียว ระยะ $x = 0$

6.2.1 โมเมนต์ $M = \frac{\Sigma P}{4\beta} e^{-\beta x} (\cos \beta x - \sin \beta x)$

$$= \frac{13.75}{4(0.0134)} \times 1 = 256.53 \text{ ตัน - ซม.}$$

$$= 2.565 \text{ ตัน - ม.}$$

6.2.2 แรงเค้น $= \frac{M}{Z} = \frac{2.565(1000 \times 100)}{136}$

$$= 1886.25 \text{ กก./ซม}^2 < 2360.0 \text{ กก./ซม}^2 \text{ (ใช้ได้)}$$

6.2.3 แรงส่งผ่านรางกระทำต่อบนหมอน

$$P_1 = \Sigma P [e^{-\beta x} \cos \beta x]_0^{\frac{\pi}{2}}$$

$$= 13.75 [1 - e^{-(0.0134 \times 30)} \cos(0.0134 \times 30)]$$

$$= 5.285 \text{ ตัน (ค่านี้ใช้วิเคราะห์ความแข็งแรงของหมอน)}$$

6.2.4 แรงกดบนพื้นทาง

แรง P_1 กระทำจากได้หมอน $= P \left(1 + \frac{0.6V}{100} \right) [e^{-\beta x} \cos \beta x]_0^{\frac{\pi}{2}}$

$$= \frac{13.75}{2} \left(1 + \frac{0.6 \times (100)}{100} \right) \times 0.38442$$

$$= 4.228 \text{ ตัน}$$





Ballast Settlement $y = \eta \frac{2P_1}{2Ac} = 1 \times \frac{(8.456)1000}{(4080)7}$
 $= 0.2983 \text{ ซม.} = 2.983 \text{ มม.}$

แรงกดในชั้นหินโรยทาง $Ps = cy = 7 \times 0.2983 = 2.088 \text{ กก./ซม}^2$
 $= 20.88 \text{ ตัน/ม}^2$

แรงกดบนพื้นทาง $P = \frac{50}{(10 + h^{1.35})} Ps = \frac{50}{(10 + 20^{1.35})} (2.088)$
 $= 1.566 \text{ กก./ซม}^2$
 $= 15.66 \text{ ตัน/ม}^2 > 15 \text{ ตัน/ม}^2 \text{ (ใช้ไม่ได้)}$
 ควรปรับระยะหมอนหรือเพิ่มความหนา
 หินโรยทาง หรือปรับใหม่ทั้งสองแบบ)

6.3) ปรับโครงสร้างทางใหม่ เพื่อให้รองรับความเร็วขบวนรถได้ จากตัวอย่าง ข้อ (6) ปรับแก้ไขใหม่ ดังนี้

6.3.1) หมอนไม้ เพิ่มความหนาหินโรยทางจาก 20 ซม. เป็น 25 ซม.

จากแรงกดในชั้นหินโรยทาง $Ps = 22.12 \text{ ตัน/ม}^2$

$$P = \frac{50}{(10 + h^{1.35})} Ps = \frac{50}{(10 + 25^{1.35})} (2.212)$$

$$= 1.269 \text{ กก./ซม}^2$$

$$= 12.69 \text{ ตัน/ม}^2 < 15 \text{ ตัน/ม}^2$$

(ใช้ได้)

6.3.2) หมอนคอนกรีต เพิ่มความหนาหินโรยทางจาก 20 ซม. เป็น 25 ซม.

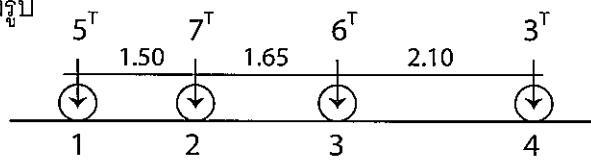
จากแรงกดในชั้นหินโรยทาง $Ps = 20.88 \text{ ตัน/ม}^2$

$$P = \frac{50}{(10 + 25^{1.35})} (2.088)$$

$$= 1.198 \text{ กก./ซม}^2$$

$$= 11.98 \text{ ตัน/ม}^2 < 15 \text{ ตัน/ม}^2 \text{ (ใช้ได้)}$$

- 7) การวิเคราะห์แบบกลุ่มล้อยอดไฟ เพื่อหาโมเมนต์สูงสุดในกลุ่มล้อยอดไฟ
กำหนดกลุ่มล้อยอดไฟแสดงดังรูป



กำหนด	สภาพทาง	$c = 7$ (กก./ชม.)
	หมอนไม้	$= 20 \times 15 \times 200$ ชม.
	ระยะหมอน	$a = 65$ ชม.
	ความหนาหิน	$h = 20$
	ความเร็วรถ	$V = 100$ (กก./ชม)
	ราง	$= 70 R$
		$I = 888$ ชม. ⁴
		$Z = 136$ ชม.
		$E = 2.1 \times 10^6$ กก./ชม. ²

วิธีการวิเคราะห์

หาค่า $u = L' \left(1 - \frac{0.036L'}{d^{3/4}} \right) = 20 \left(1 - \frac{0.036 \times 20}{6^{3/4}} \right)$
 $= 16.24'' = 41.20$ ชม.

หาค่า $\mu = \sqrt[4]{\frac{2EIa}{cub}} = \sqrt[4]{\frac{2 \times 2.1 \times 10^6 \times 888 \times 65}{7 \times 41.20 \times 20}}$
 $= 80.52$ ชม.

หรือ $\beta = 0.0124$ ชม.⁻¹

และ $\sum P_1 = 5 \left(1 + \frac{V}{100} \right) = 10$ ตัน

$\sum P_2 = 7 \left(1 + \frac{V}{100} \right) = 14$ ตัน

$\sum P_3 = 6 \left(1 + \frac{V}{100} \right) = 12$ ตัน

$\sum P_4 = 3 \left(1 + \frac{V}{100} \right) = 6$ ตัน

จากสูตร โมเมนต์ $M = \frac{\sum P}{4\beta} e^{-\beta x} (\cos \beta x - \sin \beta x)$

6.3.1) โมเมนต์ที่จุดล้อยอด 1

ล้อยอด 1 ($x = 0$ ชม.) $M = \frac{10}{4(0.0124)} \times 1 = 201.60$ ตัน - ชม.

ล้อยอด 2 ($x = 150$ ชม.) $M = \frac{14}{0.0496} \times 0.156(-0.285 - 0.958) = -54.75$ ตัน - ชม.

ล้อยอด 3 ($x = 315$ ชม.) $M = \frac{12}{0.0496} \times 0.02(-0.721 - (-0.692)) = -0.140$ ตัน - ชม.

ล้อยอด 4 ($x = 525$ ชม.) $M = \frac{6}{0.0496} \times 0.0014(0.973 - 0.224) = 0.130$ ตัน - ชม.

ผลรวมโมเมนต์ที่ล้อยอด 1 $= 146.85$ ตัน - ชม.





6.3.2) โมเมนต์ที่จุดล้อ 2

ล้อ 1 (x = 150 ซม.)	$M = \frac{10}{0.0496} \times 0.156(-0.285 - 0.958)$	=	-39.09	ตัน - ซม.
ล้อ 2 (x = 0 ซม.)	$M = \frac{14}{0.0496} \times 1$	=	282.25	ตัน - ซม.
ล้อ 3 (x = 165 ซม.)	$M = \frac{12}{0.0496} \times 0.129(-0.457 - 0.889)$	=	-42.01	ตัน - ซม.
ล้อ 4 (x = 375 ซม.)	$M = \frac{6}{0.0496} \times 0.009(-0.062 - (-0.998))$	=	1.02	ตัน - ซม.
ผลรวมโมเมนต์ที่ล้อ 2		=	202.17	ตัน - ซม.

6.3.3) โมเมนต์ที่จุดล้อ 3

ล้อ 1 (x = 315 ซม.)	$M = \frac{10}{0.0496} \times 0.02(-0.721 - (-0.692))$	=	-0.11	ตัน - ซม.
ล้อ 2 (x = 165 ซม.)	$M = \frac{14}{0.0496} \times 0.129(-0.457 - 0.889)$	=	-49.00	ตัน - ซม.
ล้อ 3 (x = 0 ซม.)	$M = \frac{12}{0.0496} \times 1$	=	241.93	ตัน - ซม.
ล้อ 4 (x = 210 ซม.)	$M = \frac{6}{0.0496} \times 0.073(-0.858 - 0.512)$	=	-12.10	ตัน - ซม.
ผลรวมโมเมนต์ที่ล้อ 3		=	180.72	ตัน - ซม.

6.3.4) โมเมนต์ที่จุดล้อ 4

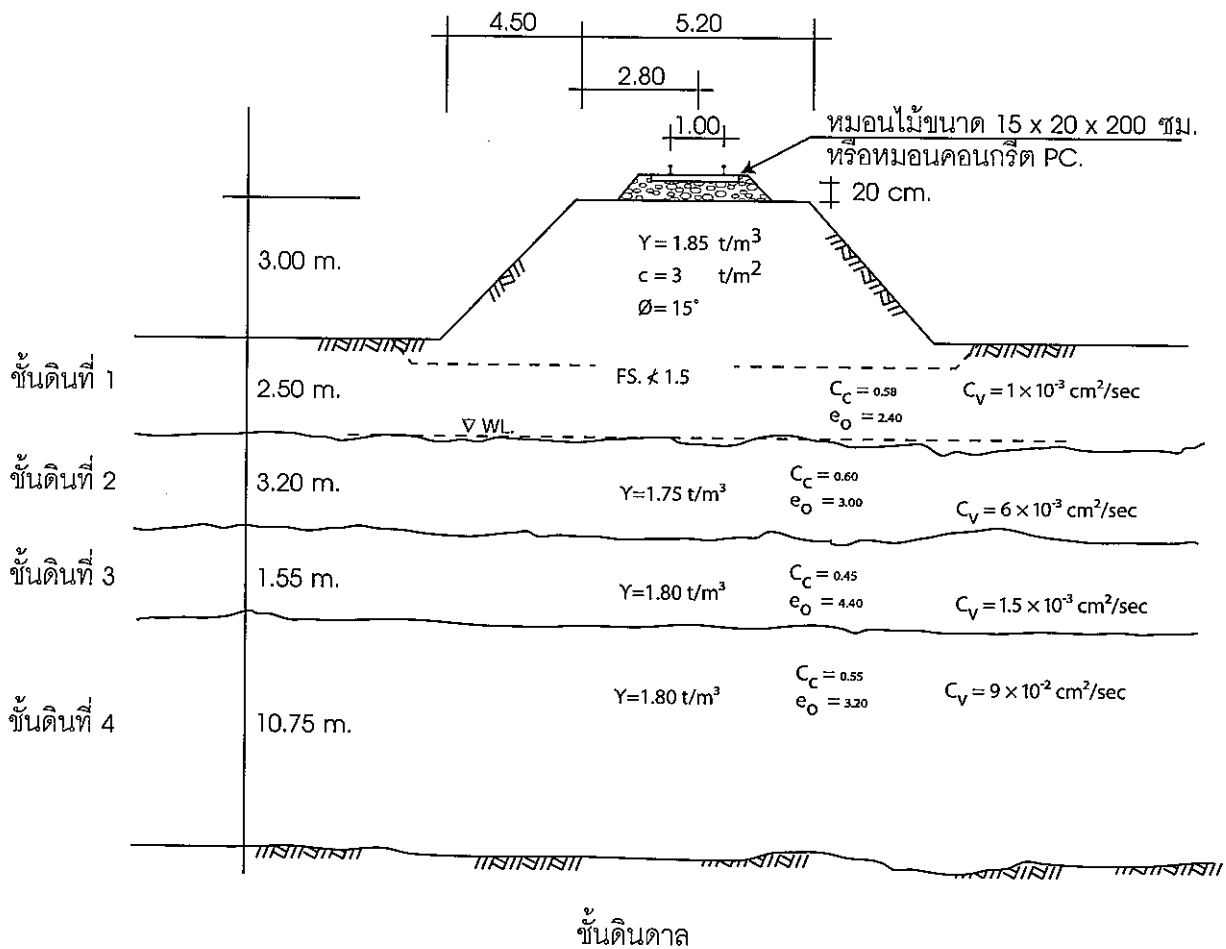
ล้อ 1 (x = 525 ซม.)	$M = \frac{10}{0.0496} \times 0.0014(0.973 - 0.224)$	=	0.21	ตัน - ซม.
ล้อ 2 (x = 375 ซม.)	$M = \frac{14}{0.0496} \times 0.009(-0.062 - (-0.998))$	=	2.40	ตัน - ซม.
ล้อ 3 (x = 210 ซม.)	$M = \frac{12}{0.0496} \times 0.073(-0.858 - 0.512)$	=	-24.20	ตัน - ซม.
ล้อ 4 (x = 0 ซม.)	$M = \frac{6}{0.0496} \times 1$	=	120.96	ตัน - ซม.
ผลรวมโมเมนต์ที่ล้อ 4		=	99.37	ตัน - ซม.

6.3.4) โมเมนต์สูงสุด จากกลุ่มล้อรถไฟข้างต้น จะได้

โมเมนต์สูงสุดเกิดขึ้นที่ล้อ 2 มีค่าเท่ากับ 282.25 ตัน - ซม.

ข) การวิเคราะห์ การทรุดตัวของคันทางรถไฟ

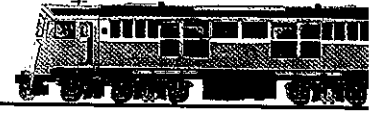
กำหนด รูปแบบคันทางรถไฟ และข้อมูลจากการสำรวจดิน ดังรูป



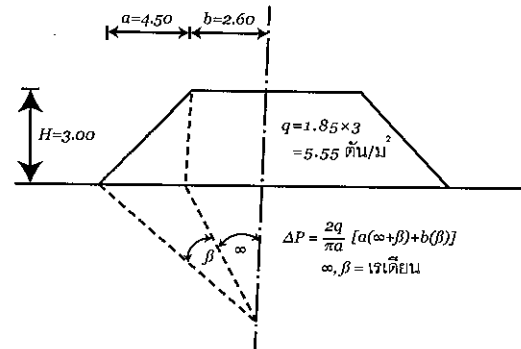
1) วิเคราะห์หา Earth Pressure (Ps) ของแต่ละชั้นดิน

ชั้นดิน	ระยะลึก (ม.)	Earth pressure (Ps)			
1.	1.25	$1.85 (1.25)$	$= 2.31$	ตัน/ม^2	$= 0.231 \text{ กก/ซม}^2$
2.	4.10	$1.85 (2.50) + 0.75 (1.6)$	$= 5.83$	ตัน/ม^2	$= 0.583 \text{ กก/ซม}^2$
3.	6.475	$1.85 (2.50) + 0.75 (3.2) + 0.90 (0.775)$	$= 7.72$	ตัน/ม^2	$= 0.772 \text{ กก/ซม}^2$
4.	12.625	$1.85 (2.50) + 0.75 (3.2) + 0.90 (1.55) + 0.80 (5.375)$	$= 12.72$	ตัน/ม^2	$= 1.272 \text{ กก/ซม}^2$





2) วิเคราะห์ Pressure distribution จากน้ำหนักคันทาง (ΔP)



ชั้นดิน ระยะลึก (ม.)	(ΔP)
1. 1.25	$\frac{2 \times 5.55}{\pi \times 4.50} [4.50(1.12 + 0.27) + 2.60(0.27)]$ $= 5.46 \text{ ตัน/ม}^2 = 0.546 \text{ กก/ซม}^2$
2. 4.10	$\frac{2 \times 5.55}{\pi \times 4.50} [4.50(0.565 + 0.482) + 2.60(0.482)]$ $= 4.69 \text{ ตัน/ม}^2 = 0.469 \text{ กก/ซม}^2$
3. 6.475	$\frac{2 \times 5.55}{\pi \times 4.50} [4.50(0.382 + 0.449) + 2.6(0.449)]$ $= 3.85 \text{ ตัน/ม}^2 = 0.385 \text{ กก/ซม}^2$
4. 12.625	$\frac{2 \times 5.55}{\pi \times 4.50} [4.50(0.203 + 0.310) + 2.6(0.310)]$ $= 2.44 \text{ ตัน/ม}^2 = 0.244 \text{ กก/ซม}^2$

3) ผลรวม Pressure ที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นดิน

ชั้นดิน	($P_0 + \Delta P$)
1.	$0.231 + 0.546 = 0.777 \text{ กก/ซม}^2$
2.	$0.583 + 0.469 = 1.052 \text{ กก/ซม}^2$
3.	$0.772 + 0.385 = 1.157 \text{ กก/ซม}^2$
4.	$1.272 + 0.244 = 1.516 \text{ กก/ซม}^2$

4) การทรุดตัวของดินแต่ละชั้น

	$S = \frac{C_c H}{1 + e_o} \log \left(\frac{P_0 + \Delta P}{P_0} \right)$	
ชั้นดินที่ 1	$S = \frac{0.58 \times 2.5(100)}{(1 + 2.4)} \log \left[\frac{0.231 + 0.546}{0.231} \right]$	= 22.47 ซม.
ชั้นดินที่ 2	$S = \frac{0.60 \times 3.2(100)}{(1 + 3.0)} \log \left[\frac{0.583 + 0.469}{0.583} \right]$	= 12.305 ซม.
ชั้นดินที่ 3	$S = \frac{0.45 \times 1.55(100)}{(1 + 3.0)} \log \left[\frac{0.772 + 0.385}{0.772} \right]$	= 2.269 ซม.

5) วิเคราะห์หา Consolidation settlement กับระยะเวลา

5.1) กำหนด Equivalent C_v แทนของแต่ละชั้นดินทั้งหมด

กำหนด C_v เป็นของชั้นดินที่ 1 คือ 1×10^{-3} ซม²/วินาที

$$\begin{aligned}
 5.2) \text{ Equivalent } H &= H_1 \sqrt{\frac{C_{v1}}{C_{v2}}} + H_2 \sqrt{\frac{C_{v1}}{C_{v2}}} + H_3 \sqrt{\frac{C_{v1}}{C_{v3}}} + H_4 \sqrt{\frac{C_{v1}}{C_{v4}}} + \dots \\
 &= 250 \sqrt{\frac{1 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{-3}}} + 320 \sqrt{\frac{1 \times 10^{-3}}{6 \times 10^{-3}}} + 155 \sqrt{\frac{1 \times 10^{-3}}{1.5 \times 10^{-3}}} + 1075 \sqrt{\frac{1 \times 10^{-3}}{9 \times 10^{-2}}} \\
 &= 250 + 130.64 + 40.02 + 113.32 \\
 &= 533.98 \text{ ซม.}
 \end{aligned}$$

6) วิเคราะห์หา Consolidation settlement (Single Drainage, $H = H$)

$$t = \frac{H^2}{C_v} T_v \quad C_v = 1 \times 10^{-3} \text{ ซม}^2/\text{วินาที}$$

$$= 2592 \text{ ซม}^2/\text{วินาที}$$

$$\text{และ} \quad \frac{H^2}{C_v} = \frac{(533.98)^2}{2592} = 110.0 \text{ เดือน}$$

U %	T_v	การทรุดตัว	t (เดือน)
10	0.008	$0.10 \times 47.77 = 4.77$	$110 \times 0.008 = 0.88$
20	0.031	$0.20 \times 47.77 = 9.54$	$110 \times 0.031 = 3.41$
30	0.071	$0.30 \times 47.77 = 14.32$	$110 \times 0.071 = 7.81$
40	0.126	$0.40 \times 47.77 = 19.10$	$110 \times 0.126 = 13.86$
50	0.197	$0.50 \times 47.77 = 23.88$	$110 \times 0.197 = 21.67$
60	0.287	$0.60 \times 47.77 = 28.66$	$110 \times 0.287 = 31.57$
70	0.403	$0.70 \times 47.77 = 33.44$	$110 \times 0.403 = 44.33$
80	0.567	$0.80 \times 47.77 = 38.20$	$110 \times 0.567 = 62.37$
90	0.847	$0.90 \times 47.77 = 42.99$	$110 \times 0.847 = 93.28$

$$\text{เมื่อ } U < 60\%, \quad T_v = \frac{\pi}{4} \left(\frac{U}{100} \right)^2$$

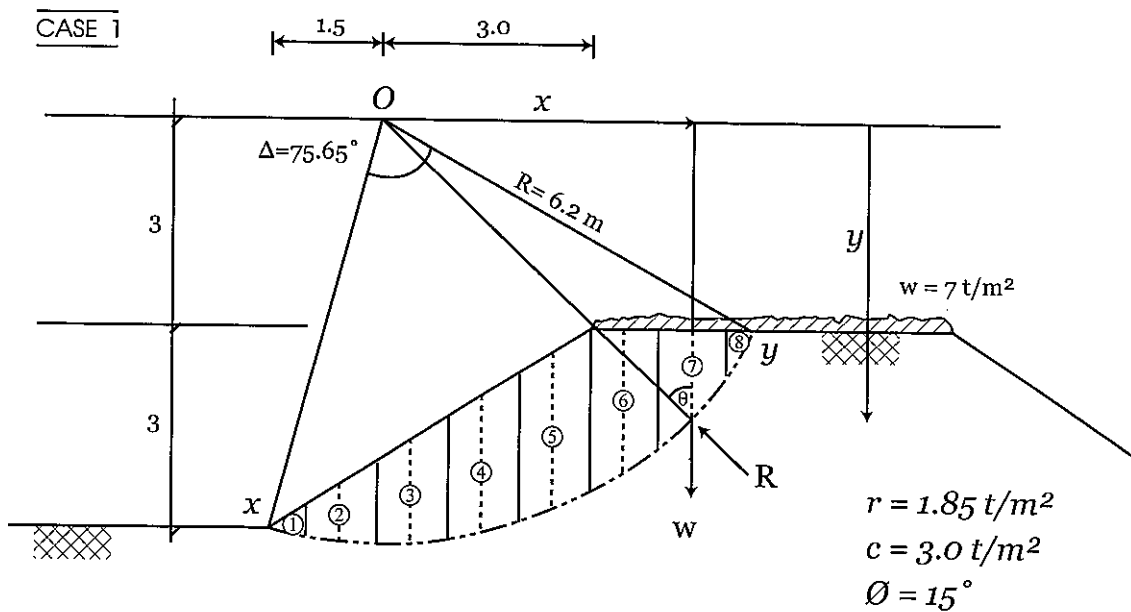
$$U > 60\%, \quad T_v = \left[-0.9332 \log \left(1 - \frac{U}{100} \right) - 0.0851 \right]$$





ค) การวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทาง

เสถียรภาพของคันทางกำหนดความปลอดภัยไม่ต่ำกว่า 1.5



$$\begin{aligned}
 \text{FACTOR OF SAFETY} &= \frac{\sum (c + W \cos \theta \tan \phi)}{\sum W \sin \theta} & \hat{xy} &= \frac{75.65 \times \pi \times 6.2}{180} \\
 &= \frac{c \times l + \tan \phi \sum N}{\sum T} & &= 8.186 \text{ m} \\
 &= \frac{3.0 \times 8.186 + \tan 15^\circ \times 29.04}{18.068}
 \end{aligned}$$

$$FS = 1.79$$

SLICE No.	WIDTH (b) m	h m	x m	y m	W=rbh	$\cos \theta = Y/R$	$\sin \theta = X/R$	$W \cos \theta$	$W \sin \theta$
1	0.5	0.25	-1.25	6.1	0.23	0.98	-0.20	0.23	-0.05
2	1.0	0.85	-0.5	6.2	1.57	1.00	-0.08	1.07	-0.13
3	1.0	1.50	0.5	6.2	2.78	1.00	0.08	2.78	0.22
4	1.0	2.00	1.5	6.0	3.70	0.17	0.24	3.59	0.89
5	1.0	2.30	2.5	5.7	4.26	0.92	0.40	3.92	1.70
6	1.0	2.10	3.5	5.1	10.89	0.82	0.56	8.93	6.10
7	1.0	1.25	4.5	4.25	9.31	0.69	0.73	6.42	6.80
8	0.4	0.30	5.2	3.3	3.96	0.53	0.84	2.10	2.538

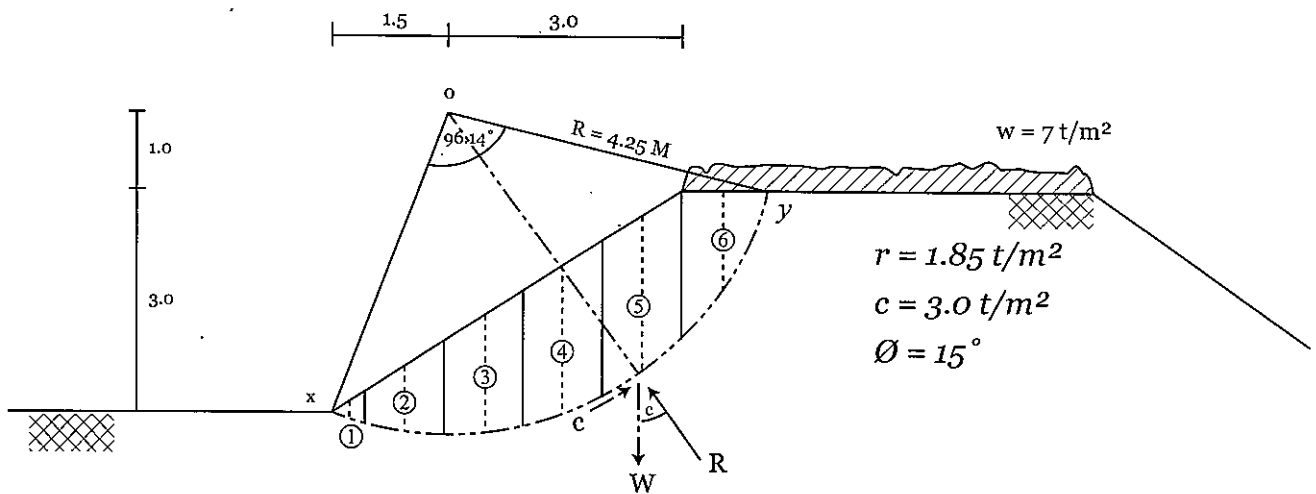
[illegible]

[illegible]

โครงสร้างทางรถไฟ



CASE 3



$$\begin{aligned}
 \text{FACTOR OF SAFETY} &= \frac{\sum (c + W \cos \theta \tan \phi)}{\sum W \sin \theta} & \hat{xy} &= \frac{96.14 \times \pi \times 4.25}{180} \\
 &= 8.186 \text{ m} \\
 &= \frac{3.0 \times 7.121 + \tan 15^\circ \times 16.503}{12.235} & &= 7.131 \text{ M} \\
 \text{FS} &= 2.10
 \end{aligned}$$

SLICE No.	WIDTH (b) m	h m	x m	y m	W=rh	$\cos \theta = Y / R$	$\sin \theta = X / R$	$W \cos \theta$	$W \sin \theta$
1	0.4	0.25	-1.20	4.05	0.185	0.953	-0.282	0.176	-0.052
2	1.0	0.85	-0.50	4.20	1.573	0.988	-0.118	1.554	-0.185
3	1.0	1.50	0.50	4.20	2.775	0.988	0.118	2.742	0.326
4	1.0	1.95	1.50	3.95	3.608	0.929	0.353	3.353	1.273
5	1.0	2.05	2.50	3.45	3.793	0.812	0.588	3.079	2.231
6	1.1	1.80	3.55	2.80	3.960	0.547	0.835	2.168	3.306

ชนิดของรถจักรและน้ำหนักเพลา

<u>ALSTHOM (2400 hp.)</u>	<u>DL 15</u>
<u>UIC 20</u>	<u>GE (1320 hp.) (2507)</u>
<u>KRUPP (1500 hp.) (2512)</u>	<u>HENSCHEL (1200 hp.) (2507)</u>
<u>DAVENPORT (500 hp.) (2495)</u>	<u>DAVENPORT (1000 hp.)</u>
<u>HITACHI (950 hp.)</u>	<u>DIESEL RAIL CAR (2-220 hp.)</u>
<u>HITACHI (2860 hp.)</u>	





ภาคผนวก 2
ค่ากำหนดสภาพของทาง

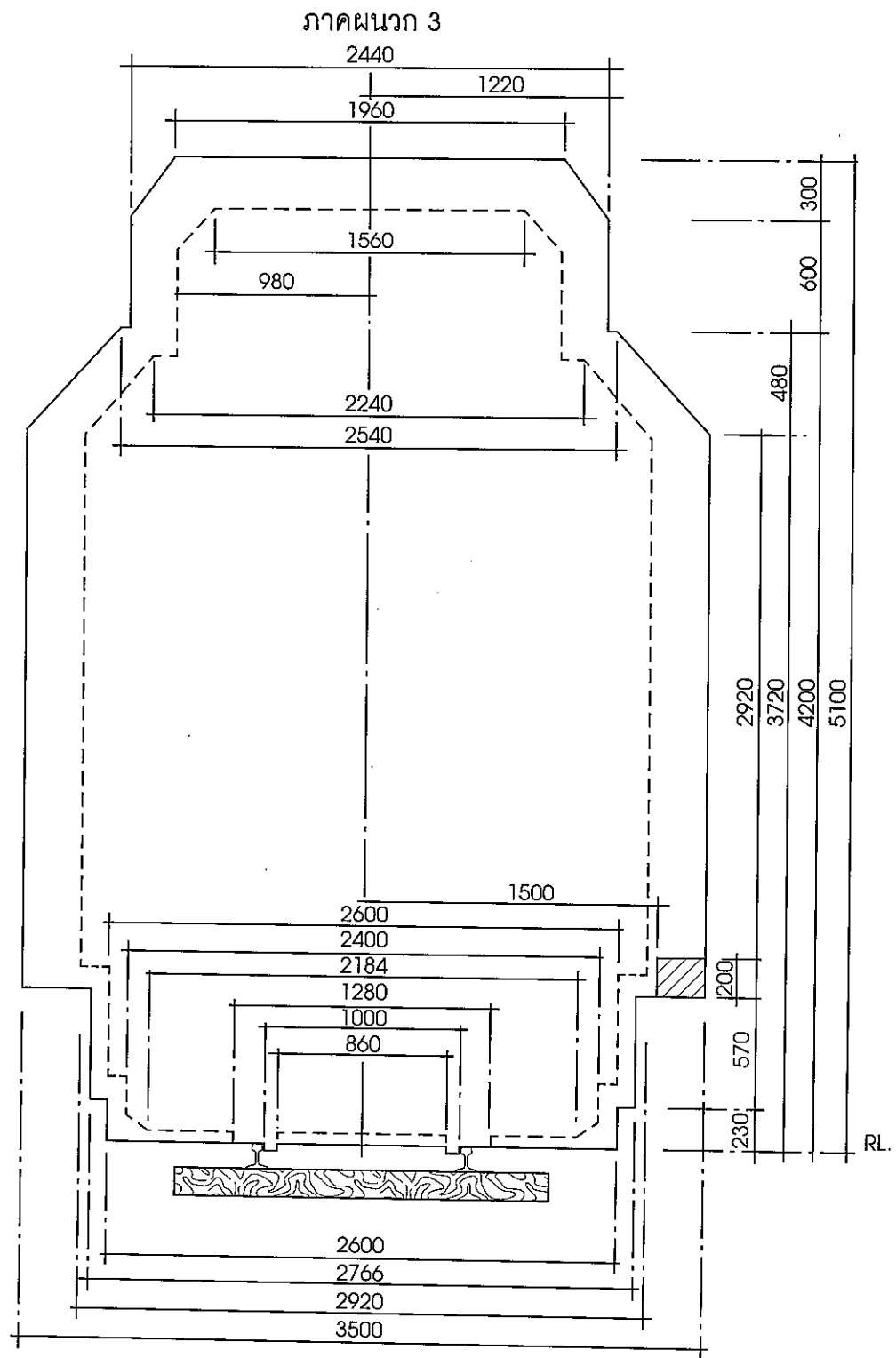
Values of The Modulus of Subgrade

Modulus C Kg/cm ² /cm. (Ballast Coefficient)											
2.8	4.2			5.5	7.0			13.8			22
General soil rating 0.5 subgrade, subbase or base											
Very poor subgrade	Poor subgrade	Fair to good subgrade			Excellent subgrade	Good subbase		Good base	Best base		

ค่าเปรียบเทียบ Ballast Coefficient

MODULUS OF SUBGRADE REACTION = Kg/cm ² /cm																		
2.8		4.2			5.5	7.0	8.3	11.0	13.8	16.6	19.4	22						
BEARING VALUE, t/m ² (30 cm. diameter plate, 1 in. deflection)																		
	7				14	21		28	35	42	49							
CALIFORNIA BEARING RATIO - C B R																		
3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100

ค่าเปรียบเทียบ Ballast Coefficient (c) กับ CBR, Bearing Capacity)



เขตโครงสร้าง และเขตบรรเทาภัย (การรถไฟแห่งประเทศไทย)

———— เขตโครงสร้าง

----- เขตบรรเทา

ความสูงขั้นต่ำ โสภณศิลป์



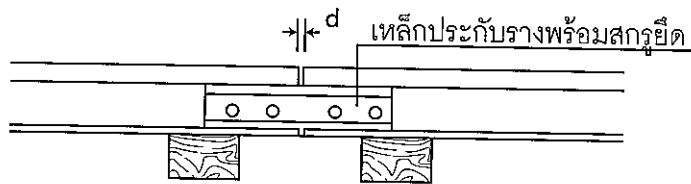
บทที่ 3

รางเชื่อมยาว



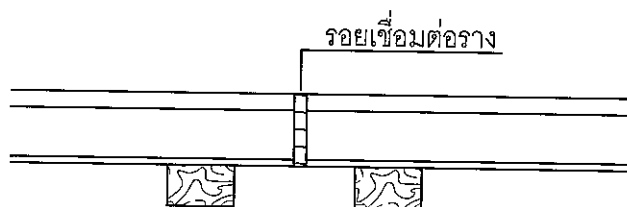


1. รางเชื่อมยาว ในการก่อสร้างทางรถไฟ โดยนำเอารางแต่ละท่อนมาวางต่อเนื่องกัน เพื่อให้เกิดแนวทางขึ้นตามความต้องการ ทำให้เกิดหัวต่อรางขึ้นที่บริเวณจุดปลายต่อรางของแต่ละท่อน ลักษณะหัวต่อรางจะใช้เหล็กประกบกับรางและสกรูต่อรางยึดต่อปลายรางแต่ละท่อนเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 1 เป็นที่นิยมกันแพร่หลายเนื่องจากให้ความสะดวก รวดเร็วและง่ายต่อการก่อสร้าง



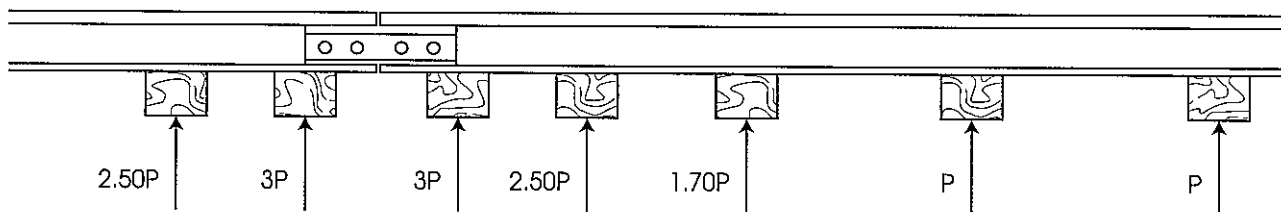
รูปที่ 1 หัวต่อรางประกอบด้วยเหล็กประกบกับราง และสกรูต่อราง d = ระยะห่างหัวต่อราง

เป็นที่ยอมรับกันแล้วว่า ในทางรถไฟนั้น ณ บริเวณหัวต่อรางจะเป็นจุดอ่อนแอหรือจุดเสียแก่ทาง ทำให้เกิดผลเสียต่อทางด้านบำรุงทาง, การเดินรถ, ล้อเลื่อน และงบประมาณการใช้จ่ายในแต่ละปีมาก ดังนั้นเพื่อลดจำนวนหัวต่อรางหรือไม่ให้เกิดหัวต่อรางขึ้นในทาง จึงได้มีการนำเอาวิธีการเชื่อมต่อหัวรางมาใช้ในทาง เรียกว่า รางเชื่อม ดังรูปที่ 2 วิธีการนี้ใช้ลดปัญหาต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นได้มาก



รูปที่ 2 การเชื่อมบริเวณหัวต่อราง

2. พฤติกรรมการรับแรงของหัวต่อราง หมอนรองรับบริเวณใกล้หัวต่อรางจะรับแรงมากกว่าปกติประมาณ 3 เท่า ของการรับแรงปกติ เนื่องจากแรงกระแทกของล้อรถบริเวณหัวต่อรางจะสูงมาก ดังรูปที่ 3 ด้วยสาเหตุนี้บริเวณหัวต่อรางจึงต้องได้รับการดูแลและบำรุงทางมากกว่าปกติ



รูปที่ 3 จากผลการทดสอบ แสดงการรับแรงของหมอนบริเวณหัวต่อราง

3. ราง ขนาดและความยาวมาตรฐานของรางสั้น ที่ใช้งานอยู่ในการรถไฟไทย มีอยู่หลายขนาด เช่น

ราง 50 — 60 ปอนด์ ความยาวท่อนละ 8 — 9 เมตร

ราง 70 R ปอนด์ ความยาวท่อนละ 12 เมตร

ราง 70A, 80A ปอนด์ ความยาวท่อนละ 18 เมตร

โดยทั่วไปรางขนาด 70-80 ปอนด์ จะถูกกำหนดใช้ในทางประธานและมีแผนที่จะเพิ่มขนาดให้ใหญ่ขึ้นเป็น 100 — 120 ปอนด์ ในปัจจุบัน และกำหนดใช้รางเชื่อมยาวในทางประธาน

อุณหภูมิราง อุณหภูมิรางที่ได้มีการบันทึกไว้แต่ละภาค กำหนดดังนี้

อุณหภูมิ °C	เหนือ	กลาง	ใต้
สูงสุด	55	56	-
ต่ำสุด	-3	8	-
อุณหภูมิกลางสำหรับวางราง	30	35	30
ในทางปฏิบัติอนุโลมให้	20 — 40	25 — 45	25 — 45



5. แรงต่อต้านการยืดหดของราง แรงต่อต้านการยืดหดของรางเนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงนั้น ประกอบขึ้นด้วย

1. เหล็กประกบกับรางและสกรูต่อราง (R)
2. เครื่องยึดเหนี่ยวราง, หมอน และหินโรยทาง ซึ่งเรียกรวมกันว่า ความต้านทานของหินโรยทาง (P)

ค่า R และ P เมื่อใช้ในการวิเคราะห์

ค่า R = 4000 ตัน/ราง

P = 3 กก./ชม.

ค่า P ที่ได้จากการทดลอง

หมอนไม้ = 4 กก./ชม.

หมอนคอนกรีต = 5 กก./ชม.

หมอนเหล็ก = 6 กก./ชม.

6. รางเชื่อม วิธีการกำหนดความยาวของรางเชื่อม จะแตกต่างจากความยาวมาตรฐานของรางในข้อ 3 ซึ่งความยาวราง จะกำหนดตามมาตรฐานการผลิตของโรงงานหรือความสะดวกต่อการขนส่ง ความยาวของ รางเชื่อมจะถูกกำหนดตามอาการ เคลื่อนไหวหรือการยืดหดตัวของรางเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะมีส่วนสัมพันธ์กับขนาดของราง ช่องว่างหัวต่อราง อุณหภูมิราง ระยะหมอน ความต้านทานของหินโรยทาง ฯลฯ เป็นต้น การกำหนดความยาวของรางเชื่อมจึงต้องอาศัยการ วิเคราะห์เป็นหลักโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

6.1 รางสั้น (Short Rail) ความยาวรางจะถูกกำหนดตามผลการวิเคราะห์เมื่ออุณหภูมิสูงสุด หรือต่ำสุด ปลายราง ทั้ง 2 ด้าน จะต้องไม่ขยายตัวหรือหดตัวมากกว่า ระยะช่องว่างหัวต่อรางที่กำหนดไว้

ความยาวของรางสั้นอาจจะยาวหรือเท่ากัน ความยาวมาตรฐานของรางสั้นก็ได้ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของแต่ละท้องถิ่นนั้น ๆ

การคำนวณหาความยาวของรางสั้น จากสมการที่ (11) ในภาคผนวก คือ

$$t_0 \leq t_v + \frac{166.7}{A} + 3.135 \frac{L}{A} + 87.7 \frac{d}{L}$$

$$\text{นั่นคือ } L \leq \frac{A(t_0 - t_v) - \sqrt{(166.7 - A(t_0 - t_v))^2 - 6598A - 166.7}}{6.3}$$

เมื่อ d = 6 มม. และ L หมายถึงความยาวของรางสั้นที่จะยาวได้อย่างมากที่สุด

แต่ในทางปฏิบัติ นั้น จะไม่รวมค่าความต้านทานของเหล็กประกับรางและความต้านทานของหินโรยทางเข้าร่วมในสูตร เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ และค่าที่ได้จะอยู่ในด้านความปลอดภัยมากขึ้น เนื่องจากสภาพโครงสร้างทางในสนามจริง ค่าความต้านทานต่าง ๆ เหล่านี้มักจะไม่นับขึ้นอยู่กับการใช้งาน และการบำรุงทางนั้น คือ (จากสมการ(4) ในภาคผนวก)

$$\Delta t = \frac{\Delta L}{\alpha L}$$

หรือ $L = \frac{\Delta L}{\alpha \Delta t} = \frac{du}{\alpha \Delta t}$

เมื่อ L คือความยาวของราง
 $\Delta L, du$ ระยะห่างหัวต่อรางที่ยอมให้มากที่สุด = 12 มม.
 Δt อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสูงสุด
 α สัมประสิทธิ์การขยายตัวของราง

นั่นคือ เราสามารถหาความยาวของรางสั้นได้ เช่น ในภาคเหนือ

$t_o = 55^{\circ}C, t_u = -3^{\circ}C$ และ $du = 12$ มม. (ระยะห่างหัวต่อรางมากที่สุดยอมให้)

จาก
$$L = \frac{du}{\alpha \Delta t} = \frac{(12/1000)}{1.14 \times 10^{-5} \times (55 - (-3))}$$

$$= 18.20 \text{ ม.}$$

ความยาวรางสั้นในภาคเหนือจะต้องยาวไม่เกินกว่า 18.20 ม.

6.2 รางเชื่อมสั้น (LONG RAIL หรือ WELDED JOINT) ความยาวของรางเชื่อมสั้นจะมีความยาวอยู่ระหว่าง รางสั้นกับรางเชื่อมยาว หรืออาจให้คำจำกัดความได้ว่า รางเชื่อมสั้นนั้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสามารถทำให้ระยะหัวต่อรางเคลื่อนชิดติดกันสนิทได้ก่อนที่จะถึงอุณหภูมิสูงสุด และในทางตรงข้าม เมื่ออุณหภูมิต่ำลงจะทำให้หัวต่อรางเกิดการห่างมากขึ้นมากกว่าระยะที่กำหนดให้ได้ก่อนถึงอุณหภูมิต่ำสุดได้

ตัวอย่าง การพิจารณาขนาดความยาวระหว่างรางเชื่อมสั้น (จากสมการที่ (11) ภาคผนวก)

เมื่อแปลงสมการเพื่อหาค่า L จะได้

$$L = \frac{A(t_o - t_u) - \sqrt{(166.7 - A(t_o - t_u))^2 - 6598A - 166.7}}{6.3}$$

เมื่อกำหนด อุณหภูมิสูงสุด $t_o = 55^{\circ}C$
 อุณหภูมิต่ำสุด $t_u = -3^{\circ}C$





ระยะต่อรางเมื่อวางราง $d = 6$ มม. (แทนค่าในสูตรแล้ว)

$R = 4000$ กก./ราง และ $P = 3$ กก./ชม. (แทนค่าในสูตรแล้ว)

อุณหภูมิวางราง $t_v = 30^\circ\text{C}$

พื้นที่หน้าตัดราง $A = 44.3$ ซม.² รางขนาด 70 ปอนด์

แทนค่าในสูตรจะได้

$$L = \frac{44.3(55 - 30) - \sqrt{(166.7 - 44.3(55 - 30))^2 - 6598(44.3) - 166.7}}{6.3}$$

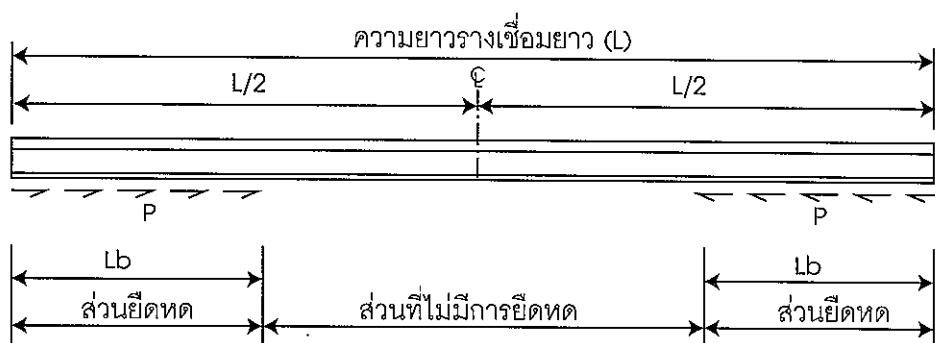
$$= 27.0 \text{ ม.}$$

และเมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติของโครงสร้างที่กำหนดข้างต้น ถ้ามีวัสดุทางและการบำรุงรักษาทางดี จะช่วยให้ค่า R และ P สูงขึ้น ทำให้ระยะความยาวรางมีค่ามากขึ้นกว่า 27.0 นั่นคือ ความยาวรางที่ยาวเกินกว่า 27.0 ม. ถือเป็นความยาวรางเชื่อมสั้น แต่ความยาวรางเชื่อมสั้นในส่วนกลางของท่อนรางยังคงมีการเคลื่อนไหวยังคงมีการยึดหดตัวด้วยเช่นกัน

ทางการรถไฟได้กำหนดความยาวของราง 70 ปอนด์ ที่มีความยาวน้อยกว่า 86.4 ม. คือเป็นรางเชื่อมสั้น

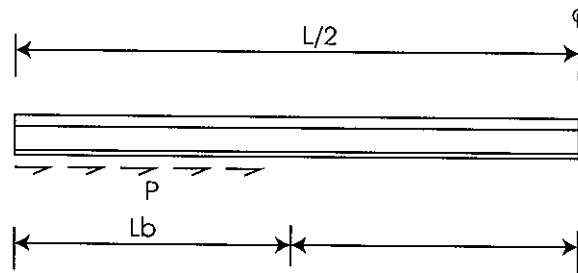
เกี่ยวกับรางเชื่อมสั้นนี้ ถ้าไม่จำเป็นแล้วไม่ค่อยนิยมใช้กันเพราะการบำรุงรักษายากหรือค่าใช้จ่ายในการบำรุงทางสูง เพราะไม่สามารถควบคุมอาการเคลื่อนไหวยของรางได้

6.3 รางเชื่อมยาว (LONG WELOED RAILS) หมายถึง การนำรางยาวมาตรฐานหรือรางสั้นหรือรางเชื่อมสั้น มาเชื่อมต่อกันให้มีความยาวมากพอ จนกระทั่งส่วนกลางของรางเชื่อมสั้นนั้นไม่มีการเคลื่อนไหว (ยึดหรือหด) เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ 4



ความยาวของรางเชื่อมยาว จะยาวเท่าใดนั้นไม่จำกัด แต่จะถูกพิคัดความยาวด้วยสภาพแวดล้อม เช่น รัศมีของโค้ง, สะพาน, วงจรไฟฟ้าเกี่ยวกับอาณัติสัญญาณ และสภาพของโครงสร้างทาง เป็นต้น ทางกรมรถไฟไทย ได้กำหนดความยาวที่ยาวเกินกว่า 90 ม. ขึ้นไป เป็นรางเชื่อมยาว

6.3.1 การคำนวณหาระยะส่วนยืดหดปลายราง (BREATHING LENGTH) L_b ของรางเชื่อมยาว ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงระยะ BREATHING LENGTH

จากผลการวิเคราะห์พบว่า (จากสมการที่ 16, ภาคผนวก)

$$\text{ระยะ} \quad L_b = \sqrt{\frac{EAd}{2P}}$$

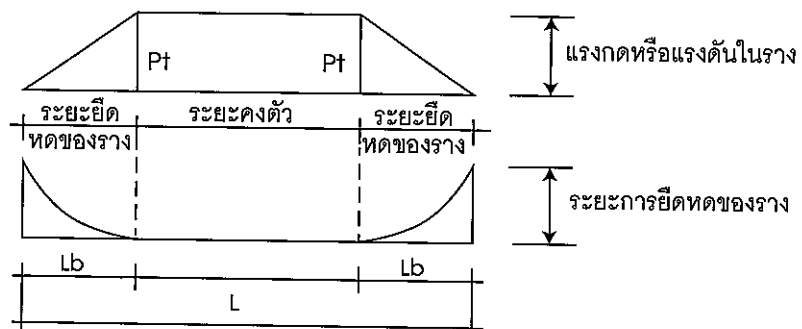
(เมื่อกำหนดหน่วย $E = \text{กก./ซม}^2$, $A = \text{ซม}^2$, $d = \text{มม.}$, $P = \text{กก./ซม}$ และ L_b เป็น ม.)

จะได้ความยาวรางเชื่อมยาว L (จากสมการที่ 17 และ 18 ภาคผนวก)

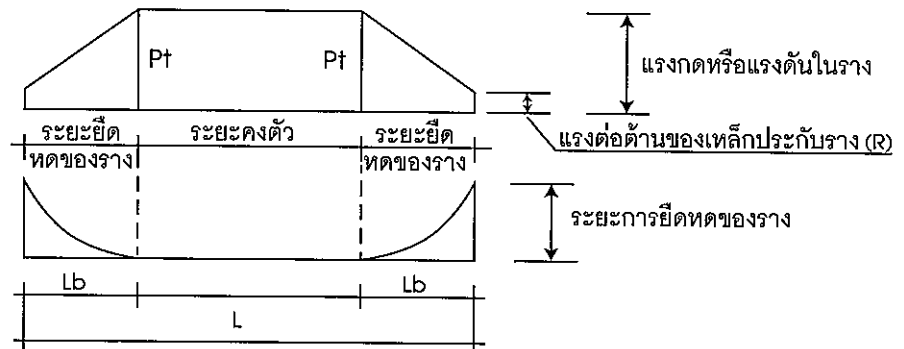
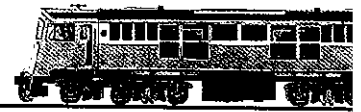
$$L = \sqrt{\frac{EA d_{\max}}{50,000P}}$$

เมื่อแทนค่า $E = 2.1 \times 10^6 \text{ กก./ซม.}$, $d_{\max} = 12 \text{ มม.}$ และ $P = 3 \text{ กก./ซม.}$

จะได้ $L = \sqrt{168A}$ (เมตร)



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ของแรงและการยืดหดของรางเชื่อมยาว เมื่อปลายรางอิสระ



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ของแรงและการยืดหดของรางเชื่อมยาว
เมื่อปลายรางถูกยึดด้วยเหล็กประกับราง (R)

6.4 การวิเคราะห์หาแรงที่เกิดขึ้นในรางเนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจะทำให้เกิดแรงกดหรือแรงดึงในราง โดยมีผลการวิเคราะห์ดังนี้

6.4.1 รางสั้น (Short Rail) ในรางสั้นที่วางในทางจะถือได้ว่าไม่เกิดแรงกดหรือแรงดึงขึ้นในรางเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง เพราะรางสั้นถือได้ว่าการเคลื่อนไหวอิสระเพราะได้มีเนื้อระยะหัวต่อรางไว้มากเพียงพอแล้ว แต่ถ้าหากอุณหภูมิในสนามจริง (บางปี) เกิดสูงกว่าอุณหภูมิสูงสุดที่กำหนดไว้ จะทำให้ระยะหัวต่อรางเกิดการขยายตัวเคลื่อนชิดกันแน่นเกินกว่าที่กำหนดแล้วก็สามารถคำนวณแรงที่เกิดขึ้นได้ คือ (กรณีนี้โดยทั่วไปจะไม่เกิดขึ้น)

$$P_t = R + P \frac{L}{2}$$

P_t = แรงกดที่เกิดขึ้นในราง

R = แรงต้านทานของเหล็กประกับราง

P = ความต้านทานของหินโรยทาง

L = ความยาวของรางสั้น

6.4.2 รางเชื่อมสั้นหรือรางยาว (Long Rail) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในราง (tl) ที่ทำให้ระยะหัวต่อรางเกิดเคลื่อนตัวชิดกันสนิทแล้ว แต่อุณหภูมิยังน้อยกว่าอุณหภูมิสูงสุดที่กำหนดไว้ ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิรางเกิดสูงขึ้นอีกจะทำให้เกิดแรงกดขึ้นโดยค่าแรงกดที่เกิดขึ้นที่บริเวณส่วนกึ่งกลางของท่อนราง

โดยจะมีค่าสูงสุดเมื่ออุณหภูมิถึง t_o สามารถคำนวณได้ คือ

$$Pt = R + \frac{PL}{2} + (t_o - t\ell)\alpha EA$$

แต่อุณหภูมิ ($t\ell$) ที่ทำให้เกิดระยะหัวต่อรางเริ่มชิดกันสนิท หาได้จากสมการ

$$t\ell = t_v + \frac{R}{\alpha EA} + \frac{PL}{4\alpha EA} + \frac{d}{\alpha L}$$

แทนค่า $t\ell$ ในสมการแรกจะได้

$$P = \frac{PL}{4} + (t_o - t_v)\alpha EA - \frac{dEA}{L}$$

สมการข้างต้นจะใช้ได้เมื่อได้มีการกำหนดระยะห่างหัวต่อรางขณะวางรางดัง

สมการ

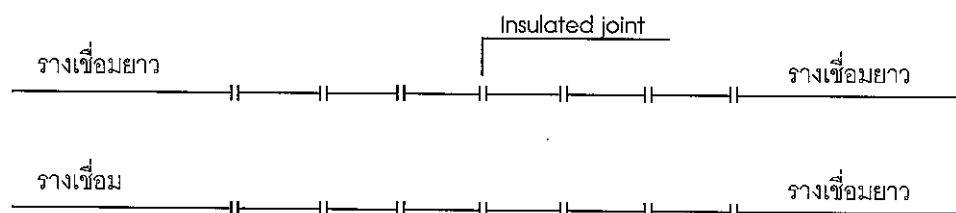
$$d = \frac{PL^2}{2EA}$$

6.4.3 รางเชื่อมยาว(Long Rail) ในการวางรางเชื่อมยาวเมื่อกำหนดอุณหภูมิ (t_s) คืออุณหภูมิที่วางรางโดยยังไม่ได้ขันเครื่องยึดเหนี่ยวรางหรือหมายถึงในรางยังไม่เกิดแรงอัดหรือแรงดึงขึ้น หลังจากขันเครื่องยึดเหนี่ยวต่าง ๆ แน่นแล้ว เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (t) จะทำให้เกิดแรงกดหรือดึงขึ้นในรางดังนี้

$$P = (t - t_s)\alpha EA$$

หรือ $P_{\max} = (t_o - t_s)\alpha EA$ เมื่อ t_o คือ อุณหภูมิสูงสุดกำหนด

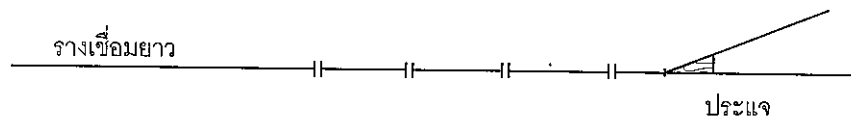
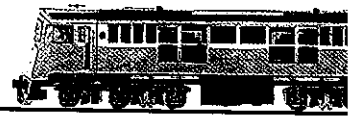
7. รางต่อรางเชื่อมยาว เนื่องจากการที่ไม่สามารถจะเชื่อมรางให้ยาวโดยไม่จำกัดได้โดยตลอดเส้นทางได้ เนื่องจากสภาพแวดล้อมไม่เอื้ออำนวย เช่น มีโค้ง, สถานี, สะพาน, หรือลักษณะของโครงสร้างทางมีมาตรฐานไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องเว้นช่วงของรางเชื่อมยาวไว้ในแต่ละตอนนั้น การเว้นช่วงนี้เพื่อความปลอดภัยและป้องกันรางเดิน และดุ้งขึ้นได้จึงใช้รางต่อชนิดหัวต่อรางประสานต่อกันหลายท่อนต่อ (เพื่อให้ได้ผลรวมของระยะห่างหัวต่อรางมากขึ้น ช่วยความปลอดภัยต่อการเดินของรางได้มากขึ้น ดังรูปที่ 8)



รูปที่ 8 การวางรางค่อในรางเชื่อมยาว

(|| ————— || ความยาว 1 ท่อนของรางต่อ)





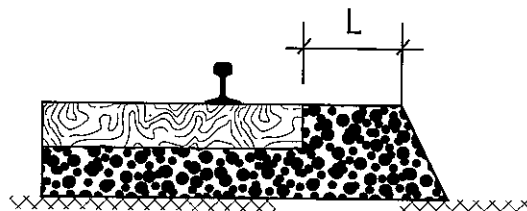
รูปที่ 9 การวางรางต่อหน้าหรือท้ายประแจ

แต่สำหรับในช่วงต่อของรางเชื่อมยาวที่เห็นว่ามีโอกาสที่จะเกิดอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงมาก หรือ มีโอกาสทำให้เกิดรางเดินสูง ในกรณีนี้จะพิจารณาออกแบบใช้ "Expansion Joint" แทนการใช้รางต่อข้างต้น ซึ่งในปัจจุบันนี้ทางการรถไฟยังไม่ได้มีการกำหนดรูปแบบ "Expansion Joint" เพื่อใช้งานอย่างเป็นทางการ (ดูตัวอย่างที่ 2 และ 3 ในภาคผนวก)

8. ผลการศึกษาและทดลองความต้านทานของหินโรยทาง

หินโรยทางช่วยป้องกันการเดินของรางทั้งในทิศทางตามยาวและตามขวาง โดยปริมาณหินโรยทางระหว่างช่วงกลางของหมอนแต่ละท่อน จะป้องกันการเดินของรางในทางยาว และปริมาณหินโรยทางในส่วนหัวหมอนจะช่วยป้องกันการเดินของรางในทางขวาง

8.1 ผลการศึกษาปริมาณของหินโรยทางบริเวณหัวหมอนที่ป้องกันแรงตามขวางเป็นดังนี้ (สำหรับหมอนคอนกรีต)



L ระยะ (ซม.)	30	40	50	60
ค่าเฉลี่ยแรงต้านตามขวาง (กก./ซม.)	6.65	7.93	8.46	9.12
จำนวนการทดสอบ	15	38	53	42

8.2 ผลของขบวนการวิ่งผ่านทางที่ช่วยให้แรงต้านทานตามขวางของทางสูงขึ้น (สำหรับ
หมอนคอนกรีต)

ระยะเวลา (เดือน) หลังจากวางราง	0	6	14
ค่าเฉลี่ยแรงต้านตามขวาง (กก./ชม.)	3.10	3.25	3.75
จำนวนการทดสอบ		5	5

9. มาตรฐานความยาวของรางเชื่อมยาว

9.1 มาตรฐานความยาวของรางเชื่อมยาว ที่เชื่อมจากโรงงานเชื่อมราง

- การรถไฟไทย กำหนดยาวเส้นละ 144 ม.
- การรถไฟญี่ปุ่น กำหนดยาวเส้นละ 200 ม.
- การรถไฟเกาหลี กำหนดยาวเส้นละ 100 ม.
- การรถไฟเยอรมัน กำหนดยาวเส้นละ 120 ม.

การกำหนดความยาวข้างต้นโดยมากพิจารณาถึงความยาวรางเส้นมาตรฐาน และความสะดวก, ความ
ประหยัดต่อการขนส่งเป็นหลัก

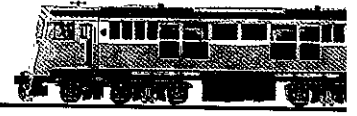
9.2 มาตรฐานความยาวรางเชื่อมที่วางในทาง

- การรถไฟไทย กำหนด 1000 ม.
(ปัจจุบันได้มีการวางรางเชื่อมยาวในทางมากกว่า 1000 ม.)
- การรถไฟญี่ปุ่น กำหนด 1950 ม.
- การรถไฟนิวซีแลนด์ กำหนด 291.2 ม.

10. ข้อกำหนดบางประการของการวางรางเชื่อมยาว การรถไฟญี่ปุ่นได้กำหนดการวางรางเชื่อมยาวไว้ดังนี้

- รัศมีของโค้งไม่ควรน้อยกว่า 600 ม. ยกเว้นกรณีพิเศษ เช่นในเขตชุมชนเมืองหรือมีข้อจำกัดอย่างอื่น รัศมี
โค้งต้องไม่น้อยกว่า 300 ม.





- รัศมีของสองโค้ง แบบ S-Curve ต่อเนื่องกันรัศมีของโค้งต้องไม่น้อยกว่า 1000 ม.
- โค้งทางตั้งรัศมีของโค้งต้องไม่น้อยกว่า 3000 ม.

ส่วนข้อห้ามการวางรางเชื่อมยาวของรถไฟ กำหนดไว้ดังนี้

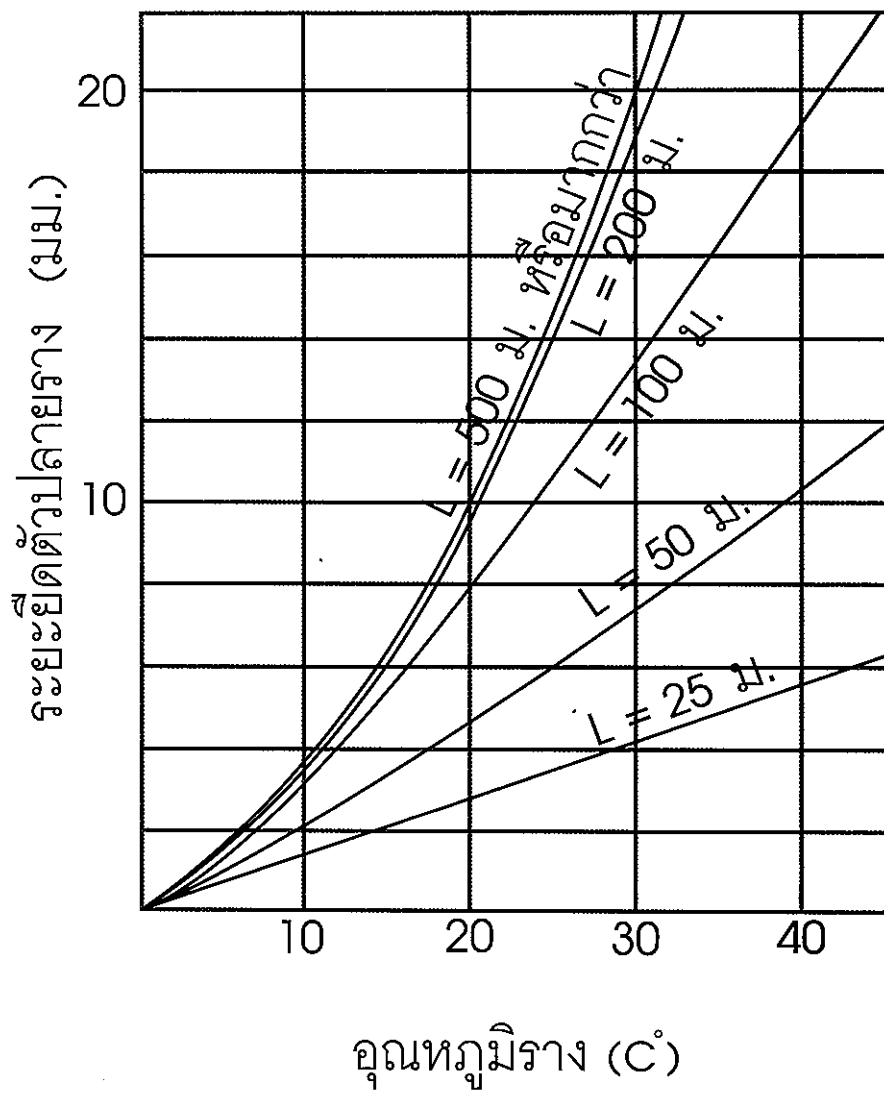
- ในทางตอนที่ไม่ดี
- ทางที่น้ำท่วมทางขาดเป็นประจำ
- ทางที่มีแผนงานที่จะปรับปรุงใหม่เกี่ยวกับระดับ แนวทาง รัศมีโค้ง และพื้นทาง เป็นต้น ฯลฯ
- ทางเบี่ยง
- สะพานชั่วคราว
- สะพานไม้
- สะพานเหล็ก สะพานเหล็กช่วงเดียวยาวไม่เกิน 20 ม. และไม่มี Camber อนุญาตให้วางรางเชื่อมยาวผ่านได้ แต่ปลายรางเชื่อมยาวและระยะยึดหด (Breathing Length) ซึ่งมีระยะประมาณ 50 ม. จากปลายรางเข้ามาต้องไม่อยู่ในสะพานเหล็ก และสะพานเหล็กที่มีตั้งแต่ 2 ช่วงขึ้นไป, มีช่วงยาวเกิน 20 ม., สะพานเหล็กที่มี Camber และปลายรางเชื่อมยาวห่างจากคอสะพานน้อยกว่า 50 ม. สะพานเหล็กดังกล่าวนี้ห้ามวางรางเชื่อมยาว

11. ประโยชน์ของรางเชื่อมยาว

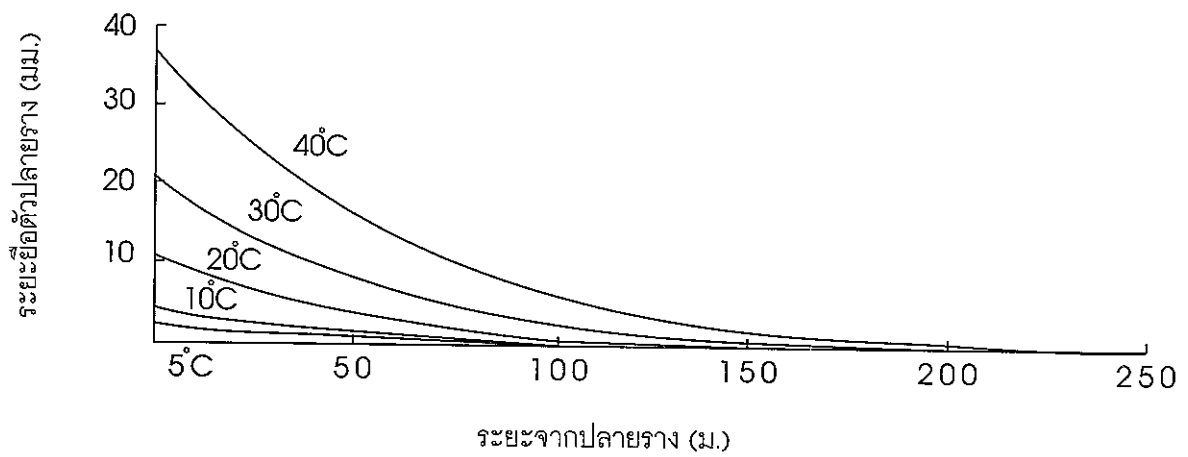
- มีอายุใช้งานได้นานกว่ารางสั้นมาตรฐาน
- ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาทาง
- ประหยัดหมอน
- แก้ปัญหาเกี่ยวกับรางเดิน
- รางชำรุดก่อนอายุ สามารถแก้ไขเปลี่ยนแปลงใหม่ได้ง่าย
- ประหยัดค่าใช้จ่ายด้านล้อเลื่อน
- ก่อผลดีต่อการเดินรถ

12. ส่วนที่ไม่ดีหรือความไม่เหมาะสมของรางเชื่อมยาว

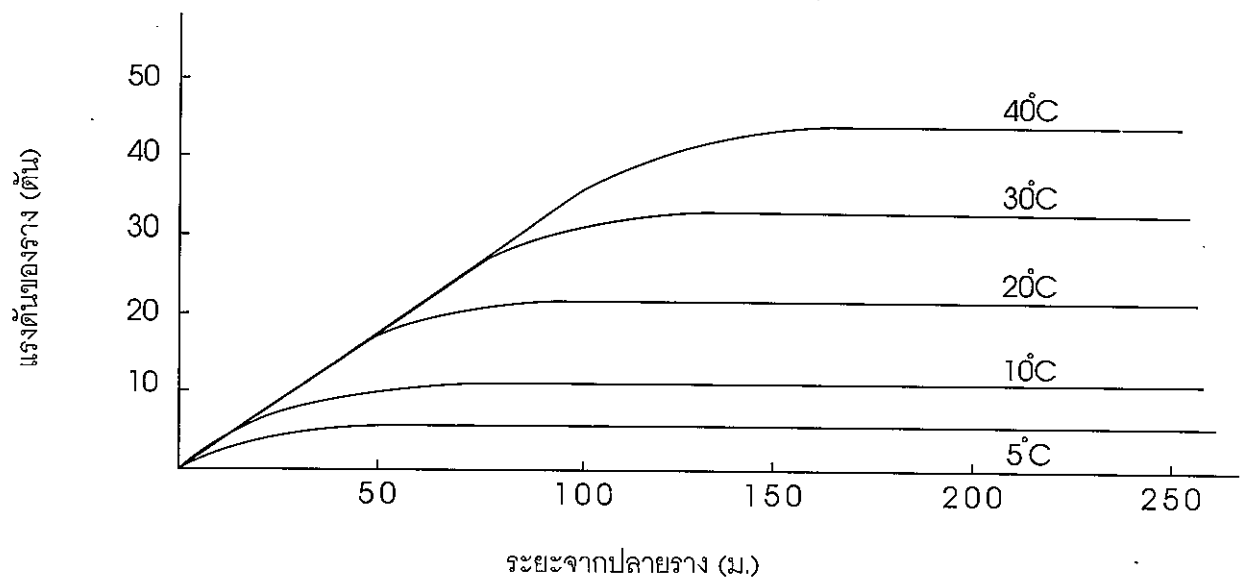
- รางเชื่อมยาวไม่สามารถนำไปวางในทางได้ทุกแห่ง
- สิ้นค่าใช้จ่ายเครื่องยึดเหนี่ยวรางมาก
- ปริมาณหินโรยทางมากขึ้น



รูปที่ 10 ระยะยึดตัวปลายราง เมื่ออุณหภูมิรางสูงขึ้น
(รางขนาด 50 กก./ม.) (L = ความยาวราง)



รูปที่ 11 ระยะห่างจากปลายรางที่เกิดการยืดอก (Breathing Length)
(ราง 50 กก./ม.) มีความยาว 500 ม. หรือมากกว่า



ภาคผนวก

1) ผลของอุณหภูมิที่มีต่อแรงเค้นและการยืดหดของรางในแนวตามยาว

เมื่ออุณหภูมิของรางเปลี่ยนแปลง เช่น เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้รางเกิดการขยายตัว และเกิดแรงดัน (Pt) ในรางมากขึ้น ถ้ามีค่ามากเกินไปจะทำให้รางเกิดการดุ้ง (Bucking) ขึ้นได้ ในทางตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิของรางลดลงจะทำให้รางเกิดการหดตัวและเกิดแรงดึง (T) ขึ้น ถ้ามีค่ามากเกินไปจะทำให้รางเกิดการขาดได้ (Rail Rupture) พฤติกรรมของรางที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากอุณหภูมิสามารถอธิบายได้ดังนี้

เมื่อกำหนดให้

t_v = อุณหภูมิกลางสำหรับวางราง ($^{\circ}C$)

t_o = อุณหภูมิสูงสุด ($^{\circ}C$)

t_u = อุณหภูมิต่ำสุด ($^{\circ}C$)

α = สัมประสิทธิ์การยืดหดของราง = 1.14×10^{-5}

L = ความยาวราง, ΔL = ความยาวรางที่เปลี่ยนไป (ม.)

d = ระยะห่างหัวต่อราง (Rail Gap), Δd = ระยะห่างช่องรางที่เปลี่ยนไป

E = โมดูลัสของราง 2.10×10^6 กก./ซม.²

A = พ.ท. หน้าตัดราง (ซม.²)

Δt = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ($^{\circ}C$)

δ = แรงเค้นนาง (กก./ซม.²)

$$\text{ระยะการยืดหดของราง} \quad \Delta L = \alpha L \Delta t \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{แรงเค้นในราง} \quad \delta = \frac{\Delta L}{L} E = \alpha E \Delta t \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{แรงดันและแรงดึงในราง หรือ Pt หรือ T} = \alpha E A \Delta t \quad \dots\dots\dots (3)$$

กำหนด

R = แรงต่อต้านเหล็กประกับราง = 4000 กก./ราง

P = ความต้านทานหินโรยทาง = 3 กก./ซม.

dv = ระยะห่างหัวต่อราง เมื่อขณะยึดเครื่องยึดเหนี่ยวติดกับราง

ตามทฤษฎีกำหนด 6 มม. แต่ในทางปฏิบัติกำหนด 4 — 8 มม.





$d_{max} = d_o$ = ระยะห่างหัวต่อรางเมื่ออุณหภูมิสูงสุดกำหนดเท่ากับ 0 มม.

d_u = ระยะห่างหัวต่อรางเมื่ออุณหภูมิต่ำสุดกำหนดเท่ากับ 12 มม.

จากสมการ (3) Pt หรือ $T = \alpha EA \Delta t$

$$\Delta t = \frac{Pt \text{ หรือ } T}{\alpha EA}$$

$$\text{และ } \Delta t = \frac{\Delta L}{\alpha L} \dots\dots\dots (4)$$

อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสูงสุดในองค์ประกอบของรางจะรับได้ คือ

ในเหล็กประกบราง $\Delta t_R = \frac{R}{\alpha EA} \dots\dots\dots (5)$

หินโรยทาง $\Delta t_P = \frac{PL}{4\alpha EA}$ (ดูหมายเหตุ) $\dots\dots\dots (6)$

ระยะห่างช่องต่อราง $\Delta t_L = \frac{d}{\alpha L} \dots\dots\dots (7)$

เมื่อ t_v = อุณหภูมิการวางราง นั่นคือ

$$(t_o - t_v) = \frac{R}{\alpha EA} + \frac{PL}{4\alpha EA} + \frac{d}{\alpha L} \dots\dots\dots (8)$$

หรือ $t_o \leq t_v + \frac{R}{\alpha EA} + \frac{PL}{4\alpha EA} + \frac{d}{\alpha L} \dots\dots\dots (9)$

แทนค่าหน่วยของแรงระยะต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ในสมการ (9) จะได้

$$t_o \leq t_v + \frac{R}{\alpha EA} + \frac{100PL}{4\alpha EA} + \frac{d}{1000\alpha L} \dots\dots\dots (10)$$

เมื่อแทนค่า α และ E ใน (10) จะได้

$$t_o \leq t_v + \frac{166.7}{A} + 3.135 \frac{L}{A} + 87.7 \frac{d}{L} \dots\dots\dots (11)$$

เมื่อ t_o, t_v = อุณหภูมิสูงสุด, อุณหภูมิวางราง ($^{\circ}C$)

A = พื้นที่หน้าตัดราง ซม.²

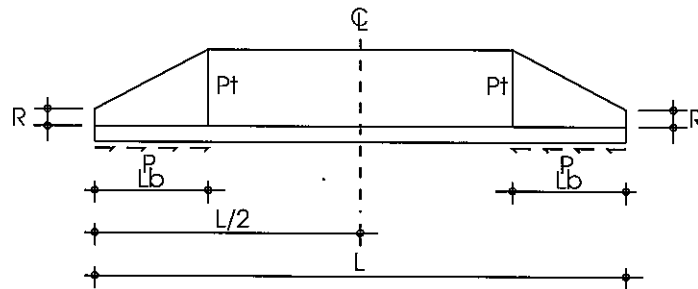
L = ความยาวราง ม.

d = ระยะห่างหัวต่อราง มม.

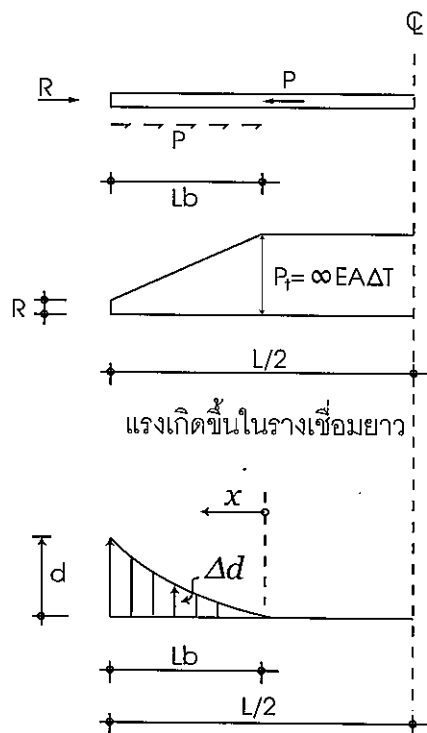
หมายเหตุ อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงที่หินโรยทางสามารถต้านทานได้ $\Delta t_P = \frac{PL}{4\alpha EA}$ โดย P กระทำครึ่งหนึ่งของ L แต่

2) ส่วนยึดหดของปลายราง และความยาวของรางเชื่อมยาว

พฤติกรรมของแรงต่าง ๆ และการขยายตัวของรางเชื่อมยาวแสดงได้ดังรูป



ภาพแสดงส่วนของแรงต่าง ๆ ในรางเชื่อมยาว



แรงเกิดขึ้นในรางเชื่อมยาว

การขยายและหดตัวในรางเชื่อมยาว

กำหนดให้

- L = ความยาวของรางเชื่อมยาว
- Lb = ระยะการยึดหดตัวของปลายราง
- P_t = แรงกดหรือดึงที่เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง
- P = แรงต้านทานของหินโรยทาง
- d = ระยะการยึดหดของปลายราง
- R = แรงต้านทานของเหล็กประกับราง
- A = พื้นที่หน้าตัดราง



จากสมการ (3) $Pt = \alpha EA \Delta t$

แต่ $Pt = P.Lb$

นั่นคือ $PLb = \alpha EA \Delta t$ หรือ $\Delta t = \frac{P.Lb}{\alpha EA}$ (12)

จากสมการ (4) $\Delta t = \frac{d}{\alpha L}$ (13)

จากสมการ (12) = (13)

$$\frac{P.Lb}{\alpha EA} = \frac{d}{\alpha L} \quad \text{..... (14)}$$

สมมติความยาว L ของรางเชื่อมยาวน้อยที่สุดที่ทำให้ส่วนกึ่งกลางรางไม่เกิด

การเคลื่อนไหวพอดิ นั่นคือ $L = 2Lb$ แทนค่าในสมการ (14)

$$\frac{P.Lb}{\alpha EA} = \frac{dv}{\alpha(2Lb)} \quad \text{..... (15)}$$

$$Lb^2 = \frac{EAd_v}{2P}$$

$$Lb = \sqrt{\frac{EAd_v}{2P}} \quad \text{..... (16)}$$

นั่นคือความยาวของรางเชื่อมยาวต้องเท่ากับหรือมากกว่า $2.Lb$

$$L \geq 2 \cdot \sqrt{\frac{EAd_v}{2P}}$$

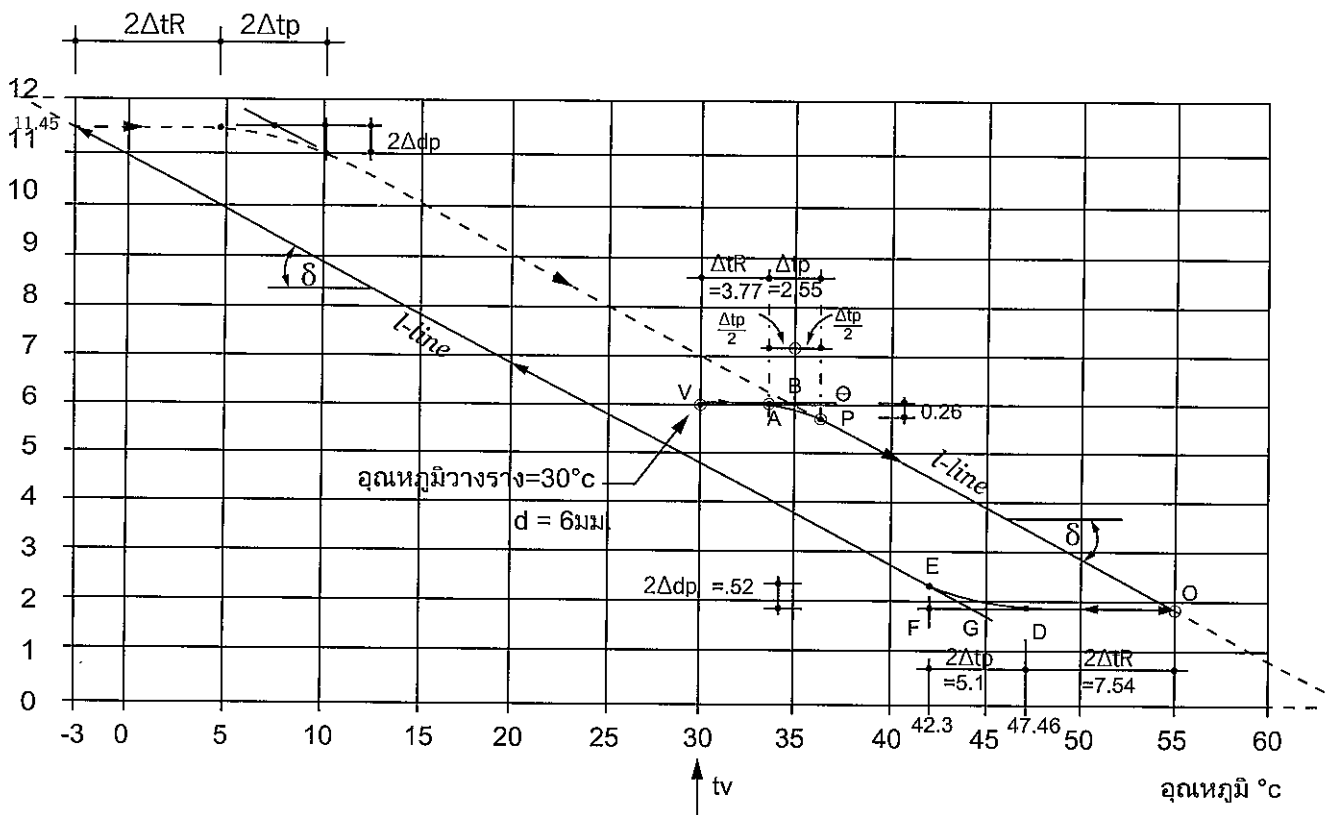
นั่นคือ $L \geq \sqrt{\frac{2EAd_v}{P}} \quad \text{..... (17)}$

แต่ในการวางรางเชื่อมยาวนั้นจะกำหนดการวางรางที่อุณหภูมิกลาง, ระยะหัวต่อราง (dv) จะประมาณ $\frac{d \max}{2}$

และคุณสมบัติของรางเชื่อมยาวนั้นจะมีส่วนที่เกิดการยึดหดได้เฉพาะส่วนปลายรางเท่านั้น โดยที่บริเวณส่วนกึ่งกลางของรางเชื่อมยาวจะไม่เกิดการยึดหดตัว ดังนั้นสมการที่ (17) สามารถกำหนดได้เป็น

ความยาวของรางเชื่อมยาว $L \geq \sqrt{\frac{2EAd \cdot \max}{P}} \quad \text{..... (18)}$

ตัวอย่างที่ 1 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของระยะหัวต่อราง กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของรางสั้น (Short Rail) โดยพิจารณาถึงความต้านทาน R และ P ร่วมกระทำด้วย



กำหนด	ราง 70 ปอนด์	A	=	44.3	² ไร่
		L	=	18	ม.
อุณหภูมิ		to	=	55	(สูงสุด)
		tv	=	30	°C (ขณะวางราง)
		tu	=	-3	°C (ต่ำสุด)
ระยะหัวต่อราง		dv	=	6	มม. (ขณะวางราง)
		du	=	12	มม. (ระยะห่างสูงสุด)
ความต้านทาน		R	=	4000	กก.
		P	=	3	กก./ไร่





วิธีทำ จากรูปข้างต้น

V = จุดแสดงระยะห่างหัวต่อรางและอุณหภูมิขณะวางราง
(dv = 6 มม., tv = 30°C)

1) เมื่ออุณหภูมิช่วงแรงสูงขึ้นระยะห่างหัวต่อรางคงเท่าเดิมอยู่ เพราะถูกต้านทานโดยเหล็กประกับราง (ระยะ VA) นั้น คือ

$$\Delta tR = \frac{R}{\alpha EA} = \frac{4000}{1.14 \times 10^{-5} \times 2.1 \times 10^6 \times 4.3} = 3.77^\circ C$$

2) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอีก ระยะหัวต่อรางจะถูกต้านทานโดยหินโรยทาง แต่แรงต้านทานของหินโรยทาง จะกระทำต่อเนื่องกันไม่เป็นเส้นตรง (มีลักษณะเป็นรูปโค้งพาราโบลา) อุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่หินโรยทางสามารถต้านทานได้ดังนี้

$$\Delta tP = AQ = \frac{100LP}{2\alpha EA} = \frac{100 \times 18 \times 3}{2 \times 1.14 \times 10^{-5} \times 2.1 \times 10^6 \times 44.3} = 2.55^\circ C$$

เนื่องจากแรงต้านทานของหินโรยทางไม่สม่ำเสมอตลอดระยะยาวของรางจึงทำให้ระยะหัวต่อรางเกิดการเคลื่อนตัวขึ้นได้ (ปลายราง) มีการขยายตัวขึ้นได้ ดังนี้ (จากสมการ (17) เมื่อแปลงหน่วยแล้ว, ด้วยเป็นโค้งพาราโบลา ส่วนหารเป็น 4EA)

$$\Delta dp = PQ = \frac{100000LP^2}{4EA} = \frac{100000 \times 3 \times 18^2}{4 \times 2.1 \times 10^6 \times 44.3} = 0.26 \text{ มม.}$$

นั่นคือ อุณหภูมิที่ทำให้ระยะหัวต่อรางลดลงเหลือ 6 — 0.26 = 5.74 มม. (ที่จุด P) คือ ที่อุณหภูมิ

$$tP = tv + \Delta tR + \Delta tP = 30 + 3.77 + 2.55 = 36.32^\circ C$$

3) จากนั้นสามารถหาเส้นสัมพันธ์ $\ell - line$ ของการเปลี่ยนแปลงระยะหัวต่อรางกับอุณหภูมิต่อราง กับอุณหภูมิได้โดยลากเส้นตรงผ่านจุด P ตัดกับจุด B (จุด B เป็นจุดประมาณระยะกึ่งกลาง AQ) เนื่องจากการเคลื่อนตัวของปลายรางเป็นไปลักษณะโค้งพาราโบลา

4) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นต่อจากนี้อีก รางจะเกิดการขยายตัวอย่างอิสระ เนื่องจากไม่มีแรงที่จะมาต่อต้านอีก นั่นคือระยะที่เปลี่ยนของหัวต่อรางจะเป็น $\Delta d = \Delta t\alpha L \times 1000$

ดี คือ

- 5) เนื่องจากเส้น ℓ -line เป็นเส้นตรงที่เกินจุด B และ P สามารถหามุมลาดชันของเส้น ℓ -line

$$\tan \delta = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \alpha L = 1.14 \times 10^{-5} \times 18 \times 1000 = 0.2056$$

ผลการ

- 6) คำนวณหาระยะเปลี่ยนของหัวต่อราง เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงขึ้น (คือ เริ่มระยะจากจุด BP) ดัง

$$d = dv - \Delta dp - (t - tp) \alpha L \times 1000$$

เมื่ออุณหภูมิสูงสุด $t_0 = 55^\circ\text{C}$ หาระยะ Δd ที่ลดระยะลงอีก เป็น

$$\begin{aligned} d &= dv - \Delta dp - (t_0 - tp) \alpha L \times 1000 \\ &= 6 - 0.26 - (55 - 36.32)(1.14 \times 10^{-5} \times 18 \times 1000) = 1.90 \text{ มม.} \end{aligned}$$

คือระยะที่จุด 0 ตามรูป

นั่นคือ เมื่ออุณหภูมิ (55°C) ระยะห่างหัวต่อรางยังเคลื่อนไม่ชิดสนิทกัน (คงเหลือ 1.90 มม.)

- 7) เมื่อรางได้รับอุณหภูมิสูงสุดแล้วต่อไปพิจารณาเมื่ออุณหภูมิลดลง จนกระทั่งลดถึงจุดต่ำสุด (t_u) พฤติกรรมของระยะหัวต่อรางจะเป็นดังนี้

เมื่ออุณหภูมิลดลงจากข้อ (6) ระยะหัวต่อรางจะยังคงไม่เคลื่อนตัว เนื่องจากถูกด้านทานโดยเหล็ก กระทบราง โดยเหล็กกระทบรางสามารถต้านทานอุณหภูมิ ΔtR ได้เป็น 2 เท่า เพราะตอนที่รางเกิดการขยายตัวนั้น ได้ออกแรงต้านทานไว้แล้ว แต่เป็นทิศทางตรงข้ามกันกับการต้านทานเมื่อรางหดตัวเนื่องจากอุณหภูมิลดลง

$$\text{นั่นคือ (จากรูป) ระยะ } OD = 2(\Delta tR) = 2(3.77) = 7.54^\circ\text{C}$$

- 8) ในทำนองเดียวกัน แรงต้านทานของหินโรยทางต่ออุณหภูมิรางที่ลดลง คงต่อต้านเป็น 2 เท่า ของ Δtp เช่นกัน ดังอธิบายไว้ในข้อ (7)

$$\text{นั่นคือ (จากรูป) ระยะ } DF = 2(\Delta tp) = 2(2.55) = 5.10^\circ\text{C}$$

$$\text{ระยะ } FE = 2(\Delta dp) = 2(0.26) = 0.52 \text{ มม.}$$





- 9) นั่นคือ อุณหภูมิที่ทำให้หัวต่อรางขยายเป็น $d_E = 1.90 + 0.52 = 2.15$ มม.

ที่จุด E คือ $t_E = t_o - (2\Delta t_R + 2\Delta t_p)$

$$t_E = 55 - (7.54 + 5.1) = 42.36^\circ C$$

- 10) จากจุด E เมื่ออุณหภูมิลดลงอีก ระยะหัวต่อรางจะเคลื่อนตัวขยายเปิดกว้างขึ้นอย่าง โดยอิสระเป็นเส้นตรงที่ขนานกันกับแนวเส้น ℓ -line

นั่นคือ ระยะห่างหัวต่อรางเพิ่มขึ้น คือ

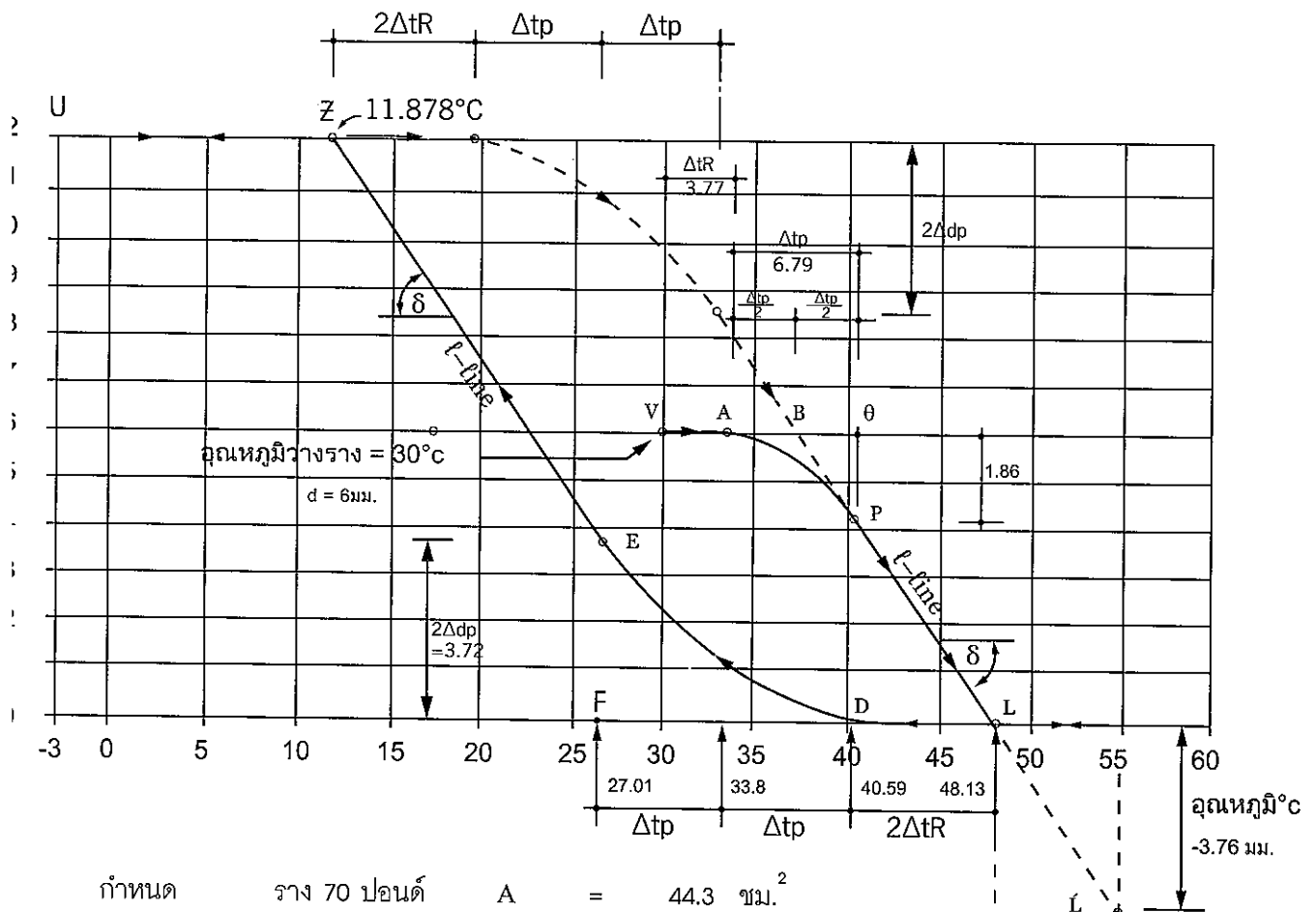
$$\Delta d = d_E + (t - t_E)\alpha L \times 1000$$

ถ้าอุณหภูมิลดต่ำสุด $-3^\circ C$ นั่นคือช่วงอุณหภูมิ $= -3 - (42.36) = 45.36^\circ C$

$$\therefore \Delta d = 2.15 + 45.36 \times 1.14 \times 10^{-5} \times 18 \times 1000 = 11.45 \text{ มม.}$$

นั่นคือ เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงสุด $= -3^\circ C$ ระยะหัวต่อรางยังคงขยายตัวไม่เกินกว่าที่กำหนดให้ (1 มม.) นั่นคือ ราง 70 ปอนด์ ยาว 18 ม. ที่อุณหภูมิวางราง $30^\circ C$ เมื่ออุณหภูมิสูงสุด ระยะหัวต่อรางยังคงไม่ชิดสนิท (เหลือ 1.90 มม.) และเมื่ออุณหภูมิต่ำสุด ($-3^\circ C$) ระยะหัวต่อรางก็ยังคงไม่ขยายตัวมากที่สุด คือไม่เกินกว่า 12 มม. (ระยะห่างหัวต่อรางที่เกิดขึ้น 11.45 มม.) ถือว่าเป็นรางสั้น (Short Rail)

ตัวอย่างที่ 2 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของระยะห่างหัวต่อราง กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของรางเชื่อมสั้น หรือราง เว (Long Rail) โดยพิจารณาถึงความต้านทาน R และ P ร่วมกระทำด้วย



กำหนด	ราง 70 ปอนด์	A	=	44.3 ซม. ²
		L	=	43 ม.
อุณหภูมิ		to	=	55 °C
		tv	=	30 °C
		tu	=	-3 °C
ระยะหัวต่อราง		dv	=	6 มม. (ขณะวางราง)
		du	=	12 มม. (ระยะห่างสูงสุด)
ความต้านทาน		R	=	4000 กก.
		P	=	3 กก./ซม.

อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงในช่วงนี้ต้อง
ระมัดระวัง ต้องเพิ่มความแข็งแรง
โครงสร้างทาง เช่น การอัดหิน, ใส่
ANTICREEP หรือออกแบบให้ปลาย
รางสามารถเคลื่อนตัวได้อิสระไม่น้อย
กว่า (6+3.76) มม. หรือรางต้องสามารถ
ต้านทานแรงดัน หรือแรงดึงจากอุณหภูมิ
เพิ่มขึ้น (55-48.13) = 6.87°C โดย
รางไม่เกิดการดัดขึ้น (ช่วง U-Z ก็
พิจารณา เช่นเดียวกัน)



วิธีทำ วิธีการวิเคราะห์ที่ใช้วิธีเดียวกับที่ใช้กับรางสั้น (Short Rail) แต่ความสัมพันธ์ของระยะห่างหัวต่อรางกับอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจะแตกต่างกัน คือ

$$1) \Delta tR = \frac{R}{\alpha EA} = \frac{4000}{1.14 \times 10^{-5} \times 2.1 \times 10^6 \times 44.3} = 3.77^\circ C$$

$$2) \Delta tp = AQ = \frac{100L}{2\alpha EA} = \frac{100 \times 48 \times 3}{2 \times 1.14 \times 10^{-5} \times 2.1 \times 10^6 \times 44.3} = 6.79^\circ C$$

$$3) \Delta dp = PQ = \frac{100,000RL^2}{4EA} = \frac{100,000 \times 3 \times 48^2}{4 \times 2.1 \times 10^6 \times 44.3} = 1.86 \text{ มม.}$$

$$\text{ระยะหัวต่อรางลดลง} = \overset{(dv)}{6} - 1.86 = 4.14 \text{ มม. (ที่จุด } P)$$

$$\text{คือที่อุณหภูมิ } tp = tv + tR + tp = 30 + 3.77 + 6.79 = 40.56^\circ C$$

4) ลากเส้นความสัมพันธ์ ℓ -line ใช้วิธีการเช่นเดียวกับตัวอย่างที่ 1

5) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอีกต่อไป ปลายรางจะขยายตัวได้อย่างอิสระเพราะไม่มีแรงมาต่อต้านอีก
คือ $\Delta d = \Delta t \alpha L \times 1000$

$$6) \tan \delta = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \alpha L = 1.14 \times 10^{-5} \times 48 \times 1000 = 0.547$$

7) ทหาระยะ d เมื่ออุณหภูมิขึ้นสูงสุดคือที่ $55^\circ C$

$$d = dv - \Delta dp - (to - tp) \alpha L \times 1000$$

$$= 6 - 1.86 - (55 - 40.56) 1.14 \times 10^{-5} \times 48 \times 1000 = -3.76 \text{ มม (ที่จุด } L' \text{ ในรูป)}$$

ค่าระยะห่างหัวต่อราง d ที่อุณหภูมิ $55^\circ C$ มีค่าติดลบแสดงว่าหัวต่อรางเกิดการเคลื่อนชิดกันก่อน ($d=0$ มม)

ก่อนที่จะถึงอุณหภูมิสูงสุด ($55^\circ C$)

นั่นคือ หาอุณหภูมิที่ทำให้หัวต่อรางเกิดการเคลื่อนชิดกันสนิท จากสมการในหัวข้อ (4)

$$\Delta d = \Delta t \alpha L \times 1000$$

$$(6 - 1.86) = (t - 40.56) 1.14 \times 10^{-5} \times 48 \times 1000$$

$$t = 48.13^\circ C \text{ (ที่จุด } L)$$

7) เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 48.13°C จะเกิดแรงดันของปลายรางต่อปลายรางที่ตรงกันข้ามมากขึ้น จนถึงอุณหภูมิสูงสุด (55°C) ในช่วงที่อุณหภูมิสูงกว่า 48.13°C ต้องระมัดระวังการบำรุงรักษามากเพื่อให้ค่า P ของหินทรายทางสูงขึ้นจะช่วยป้องกันการเดินของรางของอุณหภูมิในช่วงนี้ ($55 - 48.13^{\circ}\text{C} = 6.87^{\circ}\text{C}$) ได้มากพอจึงจะไม่เกิดการดุ้งของรางขึ้น

เมื่ออุณหภูมิลดลงจะทำให้ระยะห่างตัวต่อรางเริ่มขยายตัวห่างกันมากขึ้น ดังแสดงแนวเส้นความสัมพันธ์ของการเคลื่อนตัวได้ดังนี้ (จากรูป)

ระยะ $LD = 2(\Delta tR) = 2(3.77) = 7.54^{\circ}\text{C}$

8) ระยะ $DF = 2(\Delta tp) = 2(6.79) = 13.58^{\circ}\text{C}$

ระยะ (d) $FE = 2(\Delta dp) = 2(1.86) = 3.72 \text{ มม.}$

9) อุณหภูมิที่ทำให้ระยะหัวต่อรางเหลือ 3.72 มม. คือ

$$t_E = 48.13 - 2\Delta tR - 2\Delta tp = 27.01^{\circ}\text{C}$$

10) เมื่ออุณหภูมิลดลงอีกจากระยะหัวต่อรางที่ E จะทำให้เกิดการหดตัวเป็นไปอย่างอิสระ เพราะไม่มีแรงมาต่อต้านอีก, คำนวณหาอุณหภูมิต่ำสุดที่ทำให้ระยะหัวต่อรางขยายตัวมากที่สุดที่ยอมให้ (12 มม.)

จาก $\Delta d = \Delta t\alpha L \times 1000$

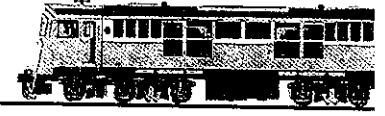
$$(du - d_E) = (t_E - t)\alpha L \times 1000$$

$$(12 - 3.72) = (27.01 - t)1.14 \times 10^{-5} \times 48 \times 1000$$

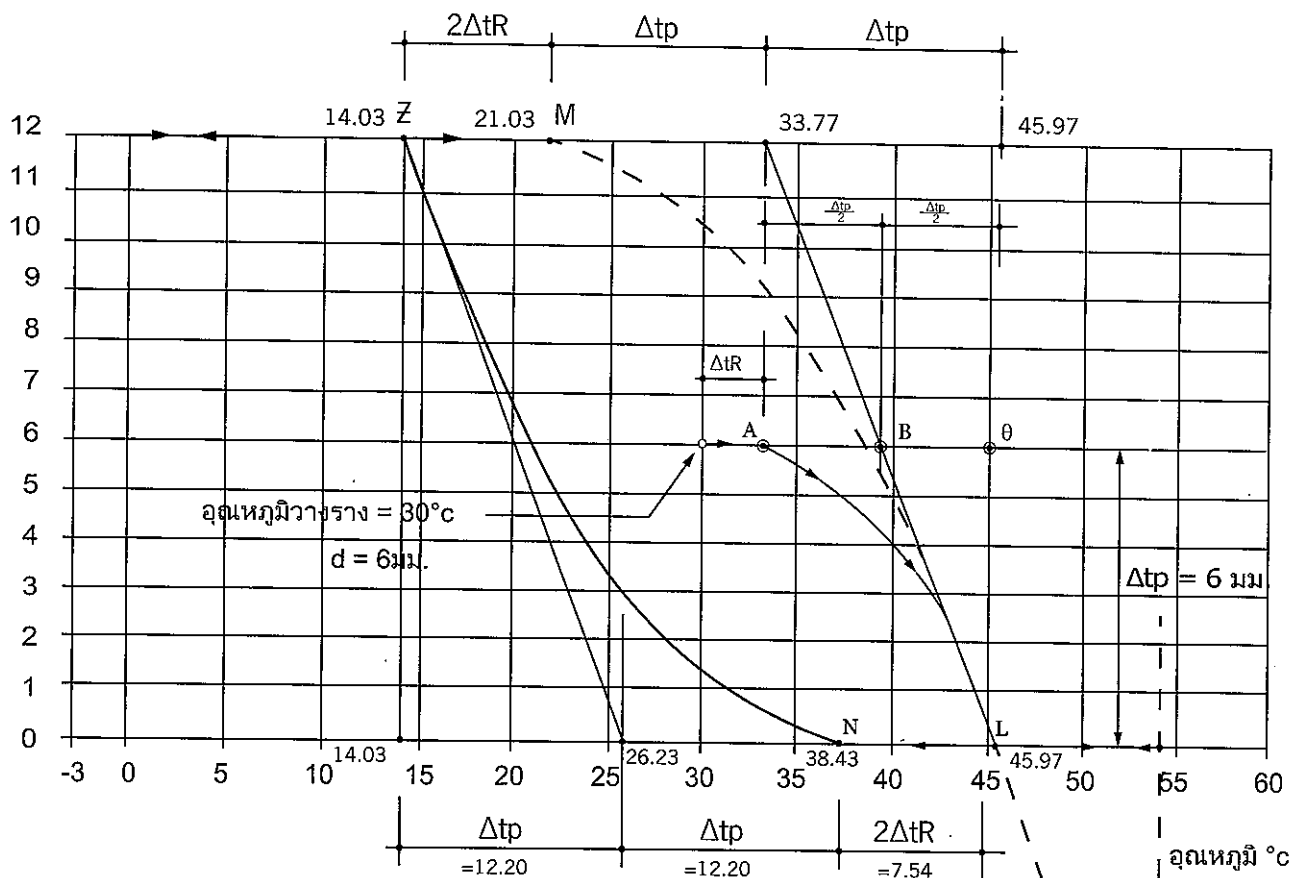
$$t = 11.878^{\circ}\text{C} \text{ คือที่จุด (Z)}$$

นั่นคือ ระยะหัวต่อรางจะเกิดการขยายตัวห่างมากที่สุด 12 มม. (ค่าสูงสุดที่ยอมให้) จะเกิดขึ้น ก่อนถึงอุณหภูมิต่ำสุด (-3°C) คืออุณหภูมิ 11.878°C ดังนั้นในช่วงอุณหภูมิจาก 11.878°C ถึง -3°C จะทำให้รางเกิดแรงดีระหว่างปลายรางมากขึ้น (เหล็กประกบกับราง, สกรูต่อรางจะต้องแข็งแรงมากพอที่จะรับได้) เพื่อป้องกันแรงดึงที่เกิดขึ้นในช่วงนี้ มากเกินไปจนเป็นสาเหตุให้รางเกิดขากจากกันได้ จำเป็นต้องระมัดระวังดูแลและบำรุงรักษาทางเพื่อให้ได้ค่า P สูงขึ้น และมีมากพอที่จะต่อต้านการขยายตัวของรางในช่วงนี้ได้พฤติกรรมต่าง ๆ ข้างต้นจะเห็นว่าแตกต่างจากรางสั้น, เพราะราเชื่อมสั้นหรือรางยาว จะก่อให้เกิดระยะหัวต่อรางเกิดการขยายตัวสูงสุดและต่ำสุดได้ก่อนที่จะถึงอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด เป็นเหตุให้ต้องระมัดระวังดูแล บำรุงรักษาทางเป็นพิเศษเช่นกัน





ตัวอย่างที่ 3 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ ของระยะห่างหัวต่อราง กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของรางเชื่อมยาว (Long Welded Rail) โดยพิจารณาความต้านทาน R และ F รวมกระทำ



กำหนด	ราง 70 ปอนด์	A	=	44.3	ซม. ²
		L	=	144	ม.
อุณหภูมิ		t _o	=	55	°C
		t _v	=	30	°C
		t _u	=	-3	°C
ระยะหัวต่อราง		d _v	=	6	มม. (ขณะวางราง)
		d _u	=	12	มม. (ระยะห่างสูงสุด)
ความต้านทาน		R	=	4000	กก.
		P	=	3	กก./ซม.

วิธีทำ

- 1) ตรวจสอบความยาว 144 ม. ของราง 70 ปอนด์ ถือว่าเป็นรางเชื่อมยาวหรือไม่

$$\text{จากสมการ} \quad L = \sqrt{\frac{2EAd \max}{P}}$$

$$L = \sqrt{\frac{2 \times 2.1 \times 10^6 \times 44.3 \times 12}{3 \times 100,000}} = 86.26 \text{ ม.}$$

นั่นคือ ความยาว 144 ม > 86.26 ม. ถือว่าเป็นรางเชื่อมยาวได้

- 2) หาระยะส่วนยึดหดปลายรางของรางเชื่อมยาว

$$\text{จากสมการ} \quad Lb = \sqrt{\frac{EAdv}{2P}}$$

เมื่อสมมติให้ $dv = \frac{d \max}{2}$

$$Lb = \sqrt{\frac{2 \times 2.1 \times 10^6 \times 44.3 \times 6}{2 \times 3 \times 100,000}}$$

$$= 30.50 \text{ ม.}$$

3) เนื่องจากการเคลื่อนตัวของระยะห่างหัวต่อรางของรางเชื่อมยาว จะถูกกำหนดโดยความต้านทานของหินโรยทางเป็นสำคัญ และส่วนที่ยึดหดของรางนั้นจะเกิดขึ้นที่ปลายรางเป็นระยะประมาณ 30.50 ม. เท่านั้น

- 4) ดังนั้น

$$\text{จากสมการ} \quad \Delta tR = \frac{R}{\alpha EA} = \frac{4000}{1.14 \times 10^{-5} \times 2.1 \times 10^6 \times 44.3} = 3.77^\circ C$$

$$\Delta tp = \frac{100LP}{2\alpha EA} = \frac{100 \times (86.26) \times 3}{2 \times 1.14 \times 10^{-5} \times 2.1 \times 10^6 \times 44.3} = 12.200^\circ C$$

$$\Delta dp = \frac{100,000PL^2}{4EA} = \frac{100,000 \times 3 \times (86.26)^2}{4 \times 2.1 \times 10^6 \times 44.3} = 6.00 \text{ มม.}$$

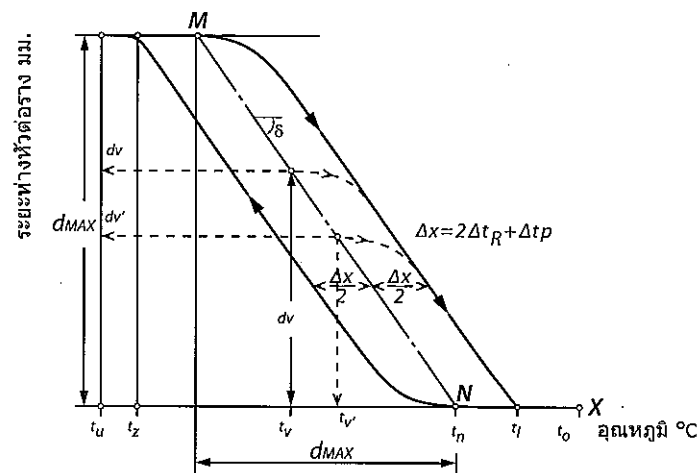
- 5) นำค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้ไปสร้างเส้นโค้งสัมพันธ์ ℓ -line ตามที่ได้แสดงไว้ดังรูป ข้างต้น

จากการคำนวณจะเห็นว่า ถ้าอุณหภูมิมากกว่า $45.97^\circ C$ และต่ำกว่า $14.03^\circ C$ จำเป็นต้องระมัดระวังดูแลและบำรุงรักษาทางให้ดีเป็นพิเศษ เพื่อป้องกันรางคู้งและรางขาดจากกันได้ โดยใส่ ANTICREEP ให้เพียงพอ หรือออกแบบให้ปลายรางเคลื่อนตัวได้อิสระมากพอที่จะรองรับการขยายตัวเพิ่มขึ้นได้





ตัวอย่างที่ 4 การพิจารณาหาความสัมพันธ์ของการกำหนดอุณหภูมิวางราง กับระยะหัวต่อราง เพื่อใช้กำหนดในการวางราง จากตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 นั้นได้แสดงวิธีการสร้างเส้นแนวโค้งสัมพันธ์ ระหว่างระยะหัวต่อราง กับอุณหภูมิวางรางแล้ว ถ้าอุณหภูมิในสนามมีอุณหภูมิที่แตกต่างจากที่ได้กำหนดไว้เดิม เราก็สามารถที่จะกำหนดอุณหภูมินั้น เป็นอุณหภูมิสำหรับวางรางได้ โดยกำหนดระยะห่างหัวต่อรางให้เหมาะสม ด้วยการพิจารณาจากแนวโค้งสัมพันธ์ที่ได้จัดทำขึ้นตามขนาดและความยาวของรางที่ได้คำนวณไว้แล้ว ดังรูป



รูปแสดง แนวโค้งสัมพันธ์ ℓ -line ของรางขนาด และความยาวชนิดหนึ่งที่คำนวณได้

จากรูป จะเห็นว่าแนวเส้นปะ MN (ซึ่งเป็นเส้นแบ่งกึ่งกลางระหว่างแนวโค้งตรงทั้ง 2) จะเป็นแนวเส้นที่ใช้กำหนดอุณหภูมิระยะหัวต่อราง สำหรับวางรางได้ เช่น ถ้าอุณหภูมิในสนามเป็น t_v กำหนดระยะหัวต่อรางขณะวางรางเป็น d_v (ดังแสดงตามรูปข้างต้น)

หรือสามารถกำหนดเป็นสมการใช้กำหนดระยะหัวต่อรางขณะวางราง เมื่ออุณหภูมิสนามเป็น t_v ดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{dv}{t_n - t_v} &= \tan \delta \\ dv &= (t_n - t_v) \tan \delta \\ &= (t_n - t_v) \alpha L 1000 \end{aligned}$$

จากตัวอย่างที่ 2 ถ้าอุณหภูมิในสนามเป็น $35^{\circ}C$ ขณะที่ทำการวางราง จะคำนวณหาระยะห่างหัวต่อรางที่ใช้ในการวางรางได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{จากตัวอย่างที่ 2} \quad t_n &= t_l - \left(\Delta t_R - \frac{\Delta t_p}{2} \right) \\
 &= 48.13 - (3.77 + 3.395) = 40.965^{\circ}C \\
 \therefore \text{จะได้} \quad dv &= (t_n - t_v) \alpha L \\
 &= (40.965 - 35) (1.14 \times 10^{-5} \times 48 \times 1000) \\
 &= 3.26 \text{ มม.}
 \end{aligned}$$

นั่นคือ เมื่อกำหนดวางรางขนาด 70 ปอนด์ ความยาว 48 ม. ที่อุณหภูมิ $35^{\circ}C$ ระยะห่างหัวต่อรางขณะวางรางกำหนดเป็น 3.26 มม.



บทที่ 4

การยกเครื่อง





การยกโค้งทางรถไฟ

1. การยกโค้งทางรถไฟ

เส้นทางรถไฟโดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนของแนวทางตรง และส่วนของแนวทางโค้งที่มีรัศมีโค้งแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศและความเหมาะสมของการออกแบบตามมาตรฐานที่กำหนด

ในส่วนทางแนวตรงโดยปกติระดับสันรางทั้งสองข้างจะอยู่ในระดับเดียวกัน แต่สำหรับในส่วนของทางโค้งแล้วมีความจำเป็นจะต้องยกรางด้านนอกโค้งให้สูงกว่ารางด้านในโค้ง เนื่องจากขณะที่รถวิ่งเข้ามาในทางโค้งจะเกิดแรงชนิดหนึ่งกระทำต่อตัวรถ คือแรงเหวี่ยงด้านข้าง (Centrifugal Force) ผลักตัวรถออกมาทางด้านนอกโค้ง การยกรางด้านนอกโค้งให้สูงกว่าด้านในโค้ง (Superelevation หรือ Cant) เพื่อให้เกิดประโยชน์ดังนี้

- 1.1 เพื่อให้การกระจายน้ำหนักของล้อรถกระทำต่อรางทั้งสองด้าน ให้น้ำหนักได้เท่ากัน หรือใกล้เคียงกัน
- 1.2 เพื่อช่วยในการลดการสึกหรอของหัวรางและบั้งใบล้อรถ เนื่องจากการเบียดของบั้งใบล้อ
- 1.3 เพื่อลดแรงเหวี่ยงด้านข้างอันจะก่อให้เกิดความไม่สบายต่อผู้โดยสาร และความเสียหายต่อสิ่งของภายในตัวรถ และทางรถไฟ

2. วิธีปฏิบัติการยกโค้งในภาคสนาม โดยทั่วไปจะมี 3 วิธี คือ

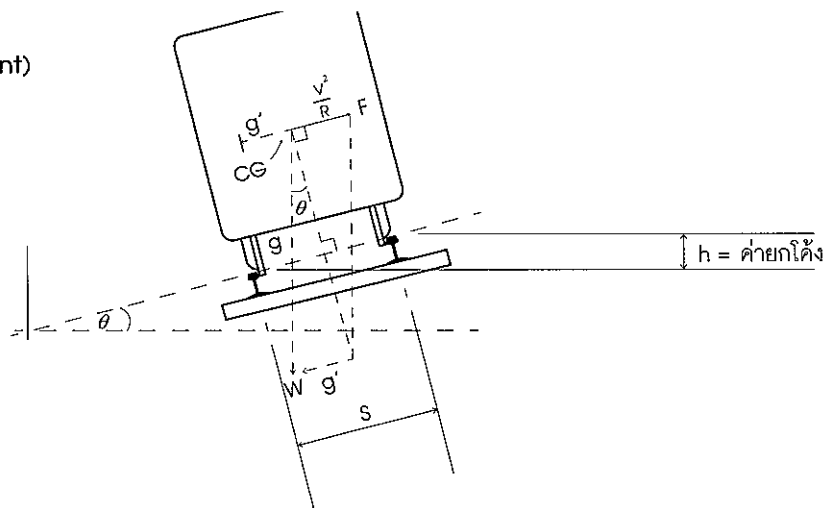
- 2.1 ยกรางนอกโค้งให้สูงกว่ารางในโค้ง โดยระดับสันรางในโค้งเท่ากับระดับสันราง ของทางตรง
- 2.2 ลดระดับรางในโค้งให้ต่ำกว่ารางนอกโค้ง โดยระดับสันรางนอกโค้งเท่ากับระดับ สันรางของทางตรง
- 2.3 ปรับระดับทั้งรางในโค้งและนอกโค้ง โดยผสมผสานทั้งวิธีตามข้อ 2.1 และ 2.2 เพื่อให้ได้ค่ายกโค้งตามที่ต้องการ

วิธีปฏิบัติโดยทั่วไปการรถไฟต่าง ๆ รวมถึงการรถไฟไทยได้ใช้วิธีการยกโค้งตามข้อ 2.1 สำหรับกรณีที่มีข้อจำกัด เช่น ทางโค้งในอุโมงค์ สะพาน หรือทางผ่านอาคารพิจารณาวิธีการยกโค้งโดยวิธีอื่นตามความจำเป็นได้

3. ผลเสียของทางโค้งต่อโครงสร้างทางรถไฟ

- 3.1 รัศมีของทางโค้งและค่ายกโค้งจะเป็นข้อจำกัดความเร็วรถที่จะวิ่งผ่านโค้งนั้น ๆ
- 3.2 ในทางโค้งจะทำให้การบำรุงรักษาทางยุ่งยากและมีค่าบำรุงรักษาทางสูงกว่าทางตรง
- 3.3 เป็นสาเหตุทำให้หัวรางสึกมากกว่าในทางตรง เนื่องจากการเบียดเสียดสีจากใบล้อรถ ทำให้อายุรางสั้นลง

4. ค่าการยกโค้ง (Cant)



กำหนด	S	=	ความกว้างของทาง (ระหว่างราง)
	h	=	ค่ายกโค้ง
	g	=	อัตราความเร่งแรงโน้มถ่วงโลก
	V	=	ความเร็วรถในโค้ง
	R	=	รัศมีโค้ง
	W	=	น้ำหนักตัวรถ

วิธีคำนวณ

$$\sin \theta = \frac{h}{s} \quad \dots\dots\dots (1)$$

หรือ $\sin \theta = \frac{F}{W} \quad \dots\dots\dots (2)$

นั่นคือ $\frac{h}{s} = \frac{F}{W}$

ค่ายกโค้งสมดุลย์ $h = \frac{Fs}{W} \quad \dots\dots\dots (3)$

(Equilibrium Cant)

จาก อัตราเร่งเหวี่ยงออกนอกโค้ง มีค่า $= \frac{V^2}{R} \quad \dots\dots\dots (4)$

(Redail acceleration)

และอัตราความเร่งแรงเข้าในโค้ง $g' = g \frac{h}{s} \quad \dots\dots\dots (5)$

จาก (4) แรงเหวี่ยงกระทำต่อน้ำหนักรถไฟ $W \quad F = \frac{W}{g} \cdot \frac{V^2}{R} \quad \dots\dots\dots (6)$

(Centrituzal force)

แทนค่า F ในสมการ (3) $h_e = \frac{W}{g} \cdot \frac{V^2}{R} \cdot \frac{s}{W}$

ค่ายกโค้งสมดุลย์ $h_e = \frac{V^2 s}{gR} \quad \dots\dots\dots (7)$

(Equilibrium Cant)





ทำสูตรเพื่อใช้ในทางปฏิบัติ

จากสมการ (7)

$$h_e = \frac{V^2 s}{gR}$$

นั่นคือ

$$h_e = \frac{V^2 s}{127R} \dots\dots\dots (8)$$

เมื่อ

S = ความกว้างระหว่างราง เป็น มิลลิเมตร

h = ค่ายกโค้งสมดุลย์ เป็น มิลลิเมตร

g = อัตราความเร็วแรงโน้มถ่วงโลก เป็น 9.81 เมตร/วินาที

v = ความเร็วรถไฟในโค้ง กม./ชม.

R = รัศมีโค้ง เป็น เมตร

หรือจากสมการ (7)

$$h_e = \frac{V^2 s}{gR}$$

$$= \frac{V^2 (1.06)}{9.81R} = \frac{\text{กม}^2 \times \text{วินาที}^2 \times 1.06 \times 1000^2 \text{ เมตร}^2}{9.81 \times \text{เมตร} \times 3600^2 \times \text{วินาที}^2}$$

$$= \frac{\text{กม}^2 \times \text{วินาที}^2 \times 1.06 \times 1000^2 \times 1000 \text{ เมตร}^2}{9.81 \times \text{เมตร} \times 3600^2 \times \text{วินาที}^2}$$

นั่นคือ ค่ายกโค้งสมดุลย์

$$h_e = 8.338 \frac{v^2}{R} \quad (\text{มิลลิเมตร}) \dots\dots\dots (9)$$

เมื่อ

S = ความกว้างระหว่างราง เป็น มิลลิเมตร (ประมาณ 1.06 ม.)

h = ค่ายกโค้งสมดุลย์ เป็น มิลลิเมตร

g = อัตราความเร่งแรงโน้มถ่วงโลก เป็น 9.81 เมตร/วินาที²

v = ความเร็วรถไฟในโค้ง กม./ชม.

R = รัศมีโค้ง เป็น เมตร

การกำหนดค่ายกโค้งจริงในสนาม

เนื่องจากขบวนรถต่าง ๆ ที่วิ่งผ่านโค้งหนึ่ง ๆ มีความเร็วที่แตกต่างกัน เช่น ขบวนรถด่วน รถเร็ว รถธรรมดา หรือรถสินค้า จะไม่สามารถที่จะออกแบบให้มีค่ายกโค้งสำหรับขบวนรถใดรถหนึ่งโดยเฉพาะได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบค่าการยกโค้งที่สามารถรองรับความเร็วรถต่าง ๆ ที่วิ่งผ่านโค้งนั้นได้ โดยยังคงไม่กระทบต่อความสบายของผู้โดยสาร ได้ กำหนดค่ายกโค้งสูงสุดและค่ายกโค้งต่ำสุดไว้ดังนี้

5.1 ค่ายกโค้งต่ำสุดที่ยอมให้

กรณีได้ออกแบบค่ายกโค้งสมดุลย์ (Equilibrium Cant) ให้สำหรับความเร็วขบวนรถหนึ่ง แต่ค่าการยกโค้งนี้

ค่าสูงสุดทางแรงเร่งด้านข้างต่อผู้โดยสาร

ประเทศ	Max . Exceeding Centrifugal Force
เยอรมัน	0.067 g = 0.65 ม/วินาที ²
ฝรั่งเศส	0.10 g = 0.98 ม/วินาที ²
อังกฤษ	0.073 g = 0.71 ม/วินาที ² (ทางรถไฟขัณฑ์) และ 0.06 g = 0.58 ม/วินาที ² (ทางรถไฟทั่วไป)
การรถไฟไทย	0.047 g = 0.46 ม/วินาที ²

ค่ายกโค้งต่ำสุดที่ยอมให้ h_{min}

$$\text{จากสมการ (4) - (5)} \quad \frac{V^2}{R} - g' = \frac{V^2}{R} - g \frac{h}{s} \leq 0.46 \text{ (รฟท.)}$$

$$= \frac{V^2}{12.96R} - \frac{h}{108.05} \leq 0.46$$

$$\text{นั่นคือ } h_{min} = \frac{8.338v^2}{R} - 50 \quad \dots\dots\dots (10)$$

เมื่อ h_{min} = ค่ายกโค้งต่ำสุดที่ยอมให้ (มม.)

V = ความเร็วรถ (กม./ชม.)

R = รัศมี (ม.)

นั่นคือ ค่ายกโค้งจริงในสนามเท่ากับ h_{min} แล้วเท่ากับยอมให้ขบวนรถที่มีความเร็วสูงกว่าวิ่งผ่านโค้งนั้นได้โดยที่ความเร็วต้องไม่เกินค่าส่วนของทางยกโค้ง (Cant deficiency) ที่ยอมให้ 50 มม. (รฟท.)

จากสมการ (9) สามารถที่จะกำหนดความเร็วรถสูงสุดที่ยอมให้วิ่งผ่านโค้งที่ได้กำหนดค่าการยกโค้งในสนามไว้เท่ากับ h ดังนี้

$$V_{max} = \sqrt{\frac{(h + 50)R}{8.338}} \quad \dots\dots\dots (11)$$

เมื่อ V_{max} = ความเร็วสูงสุดที่ยอมให้ (กม./ชม.)

h = ค่ายกโค้งจริงในสนาม (มม.)

R = รัศมี (ม.)





5.2 ค่ายกโค้งสูงสุดที่ยอมให้

ค่ายกโค้งสูงสุดที่จะกำหนดไว้ในสนาม คำนึงกรณีที่ยานพาหนะได้จอดนิ่งอยู่ในโค้งนั้น โดยที่รถจะไม่พลิกคว่ำตกลงข้างทางหรือสิ่งของไหลลื่นตกจากชั้นวางของได้ จึงได้มีการกำหนดค่ายกโค้งสูงสุดไว้โดยพิจารณากรณีที่รถจอดบนทางโค้ง จะต้องมีความอัตราเร่งเหวี่ยงที่ในโค้งไม่เกินกว่า 0.98 ม./วินาที² (การรถไฟในยุโรป) หรือยอมไม่เกินกว่า 0.833 ม./วินาที สำหรับการรถไฟไทย

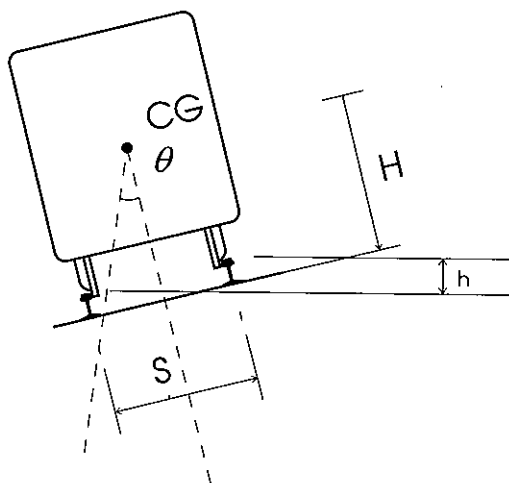
ค่ายกโค้งสูงสุดที่ยอมให้ h_{max}

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (4) — (5)} \quad \frac{V^2}{R} - g' &= \frac{V^2}{R} - g \frac{h}{s} \leq 0.833 \\ &= \frac{V^2}{12.96R} - \frac{h}{108.05} \leq 0.833 \\ h_{max} &\leq 90 \text{ มม.} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (12)$$

นั่นคือค่ายกโค้งสูงสุดในสนาม รฟท. กำหนดไว้ = 90 มม.

5.3 ค่ายกโค้งสูงสุดที่ยอมให้

การกำหนดค่ายกโค้งสูงสุด สามารถพิจารณาได้อีกวิธีโดยคำนึงถึงค่าความปลอดภัย (Factor of safety) นี้จะป้องกันไม่ให้เกิดอุบัติเหตุพลิกตกจากรางในโค้งได้ ดังนี้



เช่นกำหนด $S = 1060$ มม.

สมมุติระยะจุดศูนย์ถ่วงของตัวรถ $H_{CG} = 1700$ มม.

$$\text{จากสมการ (13)} \quad h = \frac{(1060)^2}{\dots\dots\dots}$$

$$\frac{h}{s} = \frac{(S/2)}{H}$$

$$h = \frac{S^2}{2H}$$

กำหนด F.S = 3

$$h = \frac{S^2}{3(2H)} = \frac{S^2}{6H} \quad \dots\dots\dots (13)$$

ค่ายกโค้งสูงสุดของการรถไฟญี่ปุ่น	ค่าส่วนขาดการยกโค้งของการรถไฟญี่ปุ่น
hmax = 200 mmJR (ขนาดราง 1.435 ม.)	Cd < 50 mm (โดยทั่วไป)
hmax = 105 mmJR (ขนาดราง 1.065 ม.)	Cd < 60 mm (electric car, Diesel car)
hmax = 90 mmJR (ขนาดราง 1.000 ม.)	Cd < 110 mm (tilting train)
	รฟท. Cd < 50 mm

5.4 ค่ายกโค้งในสนามสำหรับความเร็วรถที่แตกต่างกัน

ในการออกแบบค่ายกโค้ง เมื่อทราบค่าสูงสุดและต่ำสุดของการยกโค้งแล้วจึงต้องพิจารณาถึงค่ายกโค้งที่เหมาะสมสามารถรองรับความเร็วของขบวนรถต่าง ๆ ที่วิ่งผ่านได้โดยไม่เกิดปัญหา วิธีที่จะยกโค้งให้เหมาะสมกับความเร็วที่แตกต่างกันมีหลายวิธี

สำหรับการรถไฟ ใช้วิธียกโค้งประมาณ $\frac{2}{3}$ ของค่ายกโค้งสมดุลย์ สำหรับความเร็วสูงสุดที่วิ่งผ่านโค้งนั้น คือ

$$h = \frac{2}{3} \times 8.338 \frac{(V_{\max} + 5)^2}{R}$$

$$h = \frac{5.558(V_{\max} + 5)^2}{R} \dots\dots\dots (14)$$

เมื่อ h = ค่ายกโค้งจริงในสนาม (มม.)
 $V_{\max}$ = ความเร็วสูงสุดของรถ (กม./ชม.)
R = รัศมีโค้ง (ม.)

5.5 ค่าส่วนเกินของการยกโค้ง (Cant excess)

ค่าส่วนเกินของการยกโค้ง หมายถึง ค่ายกโค้งจริงในสนามสูงกว่าค่ายกโค้งที่รองรับความเร็วขบวนรถช้า เช่น รถธรรมดา รถท้องถิ่น รถสินค้า เป็นต้น เมื่อค่ายกโค้งในสนามสูงกว่าค่ายกโค้งจริงสำหรับความเร็วของรถช้าแล้ว จะมีผลทำให้ล้อรถเบียดและกดรางในมากขึ้น เป็นเหตุให้หัวรางสึกเร็วขึ้น กระทั่งต่อความเร็วและความแรงของขบวนรถที่จะวิ่งผ่านโค้งนั้นจึงได้มีการกำหนดค่าส่วนเกินของการยกโค้ง (Cant excess (Ce)) ขึ้น เพื่อไม่ให้มีค่ามากเกินไป เช่น การรถไฟไทย กำหนดไว้ที่ 60 มม. และสำหรับการรถไฟอินเดียได้กำหนดไว้ 65 มม. (สำหรับทางขนาด 1 ม.) และ 75 มม. สำหรับทางขนาด Broad Gauge (BG.) เป็นต้น



5.5 การคำนวณหาความเร็วขบวนรถโดยเฉลี่ย V_o

ในการคำนวณหาค่าการยกโค้ง นอกจากจะใช้สูตรของ รฟท. ที่กำหนดการแทนค่าความเร็วรถโดยให้ความเร็วสูงสุด V_{max} แล้ว มีหลายวิธีที่จะใช้การแทนค่าความเร็วรถเป็นความเร็วเฉลี่ยจากชนิด ประเภทขบวนรถที่มีความเร็วแตกต่างกันวิ่งผ่านโค้งนั้น เช่น

$$(5.4.1) \quad V_o = \sqrt{\frac{\sum nV^2}{\sum n}} \quad V = \text{speeds classified by kinds of train}$$

$n = \text{number of train classified by kinds}$

$$(5.4.2) \quad V_o = \sqrt{\frac{\sum nV^2 \left(1 + \frac{V}{100}\right)}{\sum n \left(1 + \frac{V}{100}\right)}} \quad \frac{V}{100} = \text{Impact coefficient}$$

$$(5.4.3) \quad V_o = \frac{V_1^2 + V_2^2}{2} \quad V_1 = \text{minimum speed}$$

$V_2 = \text{maximum speed}$

จากสูตรความเร็วเฉลี่ย V_o ข้างต้น ที่นิยมใช้งานคือสูตรข้อ (5.4.1)

ตัวอย่างที่ 1 จงคำนวณหาค่ายกโค้ง

กำหนด โค้งรัศมี $R = 800$ ม.
 ความเร็ว รถโดยสาร $V_{\max} = 100$ กม./ชม.
 ความเร็ว รถสินค้า $V_{\max} = 70$ กม./ชม.

วิธีทำ

จากสมการ (14) ค่ายกโค้ง รพท.
$$h = \frac{5.558(V_{\max} + 5)^2}{R}$$
$$= \frac{5.558(100 + 5)^2}{800}$$
$$= 76.60 \text{ มม.}$$

กำหนดค่ายกโค้ง $h = 80.00$ มม.

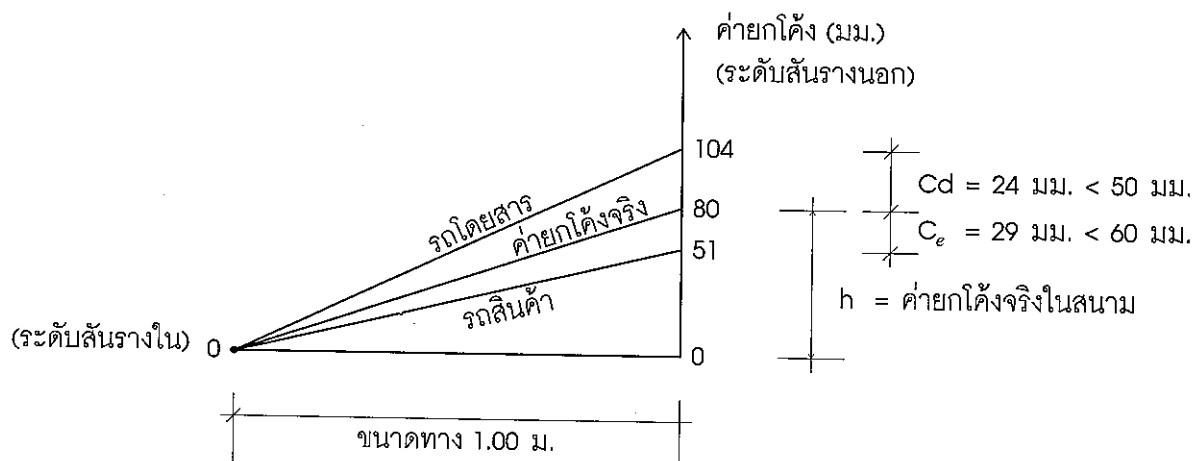
ตรวจสอบ

จากสมการ (9) ค่ายกโค้งสมดุสย รถโดยสาร
$$h_e = 8.338 \frac{(100)^2}{800}$$
$$= 104 \text{ มม.}$$

ค่ายกโค้งสมดุสย รถสินค้า
$$h_e = 8.338 \frac{(70)^2}{800}$$
$$= 51 \text{ มม.}$$

ค่าส่วนขาดการยกโค้งรถโดยสาร $C_d = 104 - 80$ มม.
 $= 24 < 50$ มม. (ใช้ได้)

ค่าส่วนเกินการยกโค้งรถสินค้า $C_e = 80 - 51$ มม.
 $= 29 < 60$ มม. (ใช้ได้)



โครงสร้างทางรถไฟ



ตัวอย่างที่ 2 จงคำนวณหาความเร็วรถวิ่งผ่านโค้งในชุดประแจ

กำหนด ประแจ 1:12 รัศมีโค้งเส้นประแจ = 225 ม.

วิธีทำ

การวางชุดประแจจะไม่มีกรยกโค้ง นั่นคือ $h = 0$ มม.

แต่ค่าที่ยอมให้ของส่วนขาดการยกโค้ง (รฟท) $C_d = 50$ มม.

จากสมการ (11)
$$V_{\max} = \sqrt{\frac{(h + 50)R}{8.338}}$$

แทนค่า $h = 0$

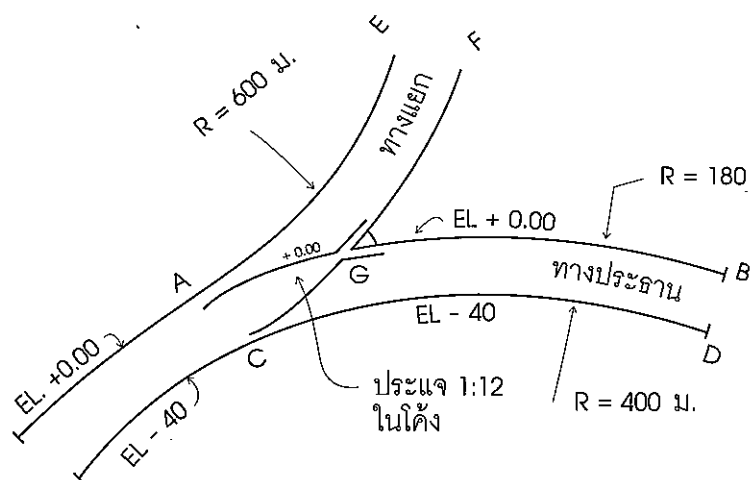
นั่นคือ
$$V_{\max} = \sqrt{\frac{(0 + 50)225}{8.338}}$$

ความเร็วผ่านโค้งในชุดประแจ $V_{\max} = 36.73$ กม./ชม.

รฟท. กำหนด ความเร็วไม่เกินกว่า 35 กม./ชม.

< 36.73 ใช้ได้

ตัวอย่างที่ 3



กำหนด

ทางรถไฟสายแยกรัศมี 600 ม. มีประแจสำหรับแยกออกจากแนวทางประธานรัศมี 400 ม. เมื่อกำหนดความเร็วสูงสุดวิ่งในทางแยก 30 กม./ชม. จงคำนวณค่ายกโค้งและความเร็วสูงสุดที่ยอมให้วิ่งในทางประธาน

วิธีทำ

$$\text{รัศมีในทางแยก} = 600 \text{ ม.}$$

$$\begin{aligned} 1) \text{ ค่ายกโค้งสมดุลย์} \quad h_e &= 8.338 \frac{(V)^2}{R} \\ &= 8.338 \frac{30^2}{600} \\ &= 12.50 \text{ มม.} = 10 \text{ มม.} \end{aligned}$$

$$2) \text{ กำหนดค่าส่วนขนาดของการยกโค้ง} = 50 \text{ มม.}$$

$$\text{ค่ายกโค้งที่ยอมให้} = 10 - 50 = -40 \text{ มม.}$$

$$\text{ค่ายกโค้งของทางสายแยก} = -40 \text{ มม.} \text{ นั่นคือ รางนอกโค้งจะต่ำกว่ารางในโค้ง 40 มม.}$$

(3) โค้งทางสายแยกจะมีระดับต่ำกว่ารางใน 40 มม. การที่รางนอกโค้งของสายแยกต่ำกว่ารางในโค้งเรียกว่า

“Negative Superelevation”

4) จากการปรับระดับการยกโค้งของทางสายแยก จะทำให้ทางประธานมีค่ายกโค้งเท่ากับ -40 มม. นั่นคือรางในโค้งของทางประธานต่ำกว่า รางนอกโค้ง 40 มม.

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (11)} \quad V_{\max} &= \sqrt{\frac{(h + 50)R}{8.338}} \\ &= \sqrt{\frac{(40 + 50)400}{8.338}} \end{aligned}$$

$$\text{นั่นคือความเร็วสูงสุดใน} = 65.70$$

$$V_{\max} = 65.00 \text{ กม./ชม}^2$$





6. โค้งต่อ (Transition curve)

ในการออกแบบโค้งทางรถไฟ หากกำหนดให้ส่วนโค้งกลมเชื่อมต่อโดยตรงกับแนวทางตรงแล้ว จะทำให้ขบวนรถวิ่งผ่านทางตรงเข้าสู่ทางโค้งอย่างทันทีทันใด ทำให้เกิดแรงสับuddenเกิดแรงเหวี่ยง กระทำต่อผู้โดยสารอย่างทันทีทันใด เป็นผลให้เกิดความไม่สบายต่อผู้โดยสารตลอดจนจะมีผลต่อความมั่นคงของตัวรถ สร้างความเสียหายต่อโครงสร้างทางรถไฟ ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดแรงเหวี่ยงด้านข้างเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด จึงได้มีการออกแบบโค้งต่อเพื่อเชื่อมต่อระหว่างทางตรงกับทางโค้งกลม ทั้งนี้เพื่อให้แรงเหวี่ยงนี้เกิดเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จากศูนย์จนถึงสูงสุด เมื่อเข้าสู่ส่วนต้นโค้งของทางโค้ง

6.1 รูปแบบทางโค้งต่อ

โค้งต่อมีลักษณะแนวทางโค้งที่รัศมีเปลี่ยนแปลงไปทีละน้อยโดยสม่ำเสมอ จากรัศมีอนันต์จนถึงต้นโค้งกลม คือ ค่อย ๆ เปลี่ยนจากเส้นตรงสู่โค้งกลม จะช่วยทำให้

6.1.1 ลดอาการสับuddenของขบวนรถขณะผ่านทางตรงเข้าสู่ทางโค้ง

6.1.2 ลดการสึกหรอของรางนอกโค้ง และลดการถูกกดทับของรางต่ำให้น้อยลง

6.1.3 ลดการสึกหรอของปลอกล้อและบังใบล้อเลื่อน

6.2 ลักษณะรูปแบบทางโค้งต่อมีหลายแบบ ดังนี้

6.2.1 Cubic Parabola

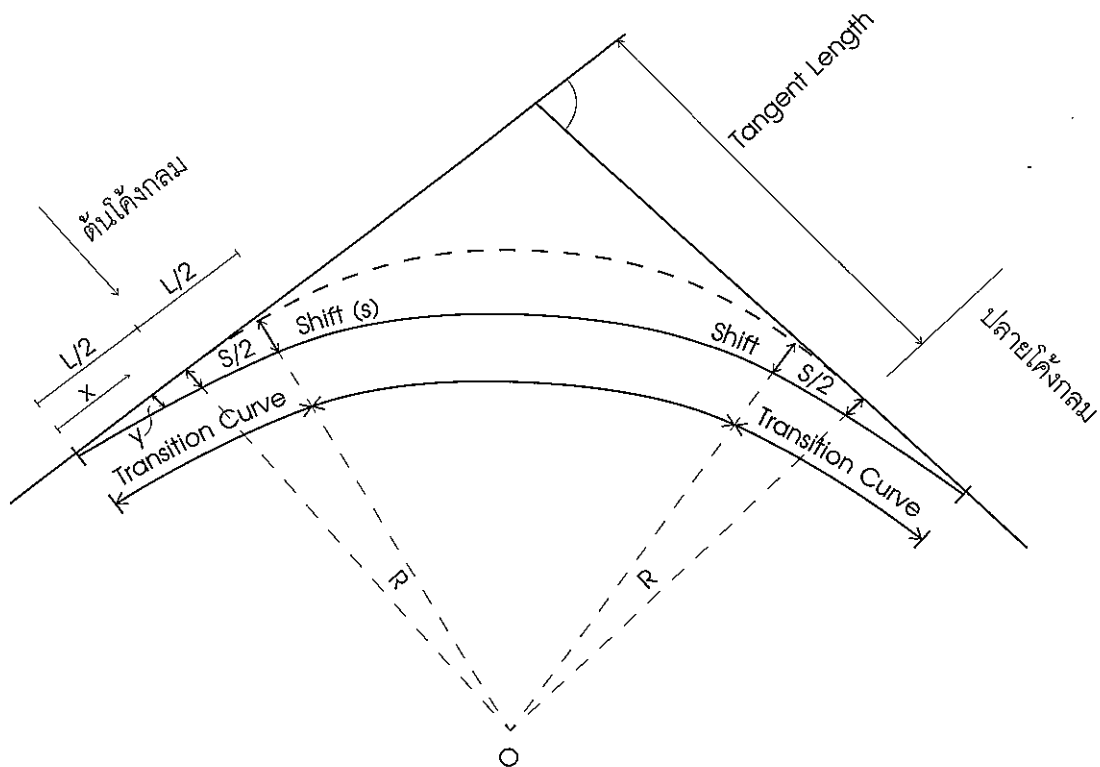
6.2.2 "S" shape transition curve

6.2.4 Sine curve

6.2.5 Clothoid Curve

โดยทั่วไปในการออกแบบนิยมใช้แบบ Cubic Parabola เช่น การรถไฟญี่ปุ่น การรถไฟอินเดีย และการรถไฟไทย เป็นต้น

6.3 รูปแบบโค้งต่อร่วมกับโค้งกลม



ค่าขยับโค้งกลม (Shift) เพื่อให้โค้งกลมสอดคล้องกับโค้งต่อ

จากสูตร Cubic Parabola

$$y = \frac{x^3}{6RL}$$

x = ระยะค่าจากเส้นตรง

y = ระยะจุดเริ่มของโค้งต่อ

R = รัศมีโค้งกลม

L = ความยาวโค้งต่อ

ค่าขยับโค้งกลม (Shift)

$$s = \frac{L^2}{24R}$$

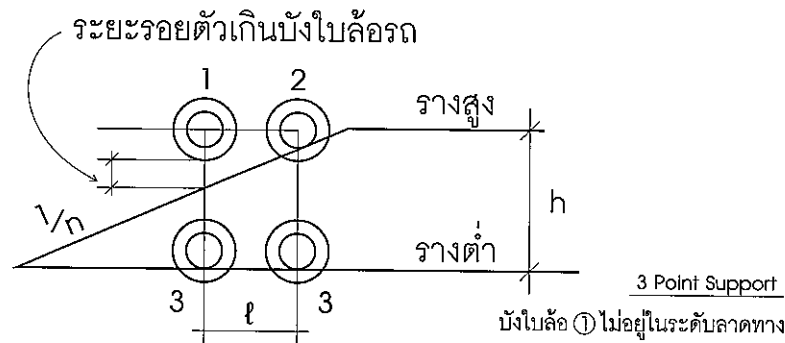




6.4 ความยาวของโค้งต่อ (Transition Length)

การออกแบบความยาวโค้งต่อ มีหลายวิธีโดยต้องคำนึงถึงความสะดวกของผู้โดยสาร ความยาวของโค้งต่อจะมีความสัมพันธ์กับค่ายกโค้ง (Cant (C)) ความเร็วรถ (V) และค่าส่วนขาดของการยกโค้ง (Cd) ซึ่งต้องนำมาพิจารณาดังนี้

6.4.1 L_1 (ความยาวโค้งต่อสัมพันธ์ค่า C) โดยกำหนดลาดชันของโค้งต่อสูงสุดไม่เกิน $\frac{1}{400}$ เพื่อป้องกันการป็นรางหรือเหตุให้รถตกรางได้จากกรณี 3-point support การรถไฟญี่ปุ่นกำหนด ดังนี้



- ทางรถไฟชั้น 1 $L_1 = 1 C$
 - ทางรถไฟชั้น 2 $L_1 = 0.8 C$
 - ทางรถไฟชั้น 3 $L_1 = 0.6 C$
 - ทางรถไฟชั้น 4 $L_1 = 0.4 C$
- เมื่อ $L_1 = 1$ เมตร
 $C = \text{มม.}$

บังใบล้อ ① ไม่อยู่ในระดับลาดทาง
 เกิดการลื่นไถล และป็นหัวรางได้ถ้าโค้ง
 ต่อมีลาดชันเกินไป หรือเรียกว่าเกิดการ
 TWIST ขึ้น

6.4.2 L_2 (ความยาวโค้งต่อสัมพันธ์ค่า C.V) โดยกำหนดค่าส่วนขาดของการยกโค้งโดยพิจารณา Riding Quality ของการเดินรถ

- ทางรถไฟชั้น 1 $C_d \leq 29 \text{ มม.}$ $L_2 = 0.010 CV$
- ทางรถไฟชั้น 2 $C_d \leq 29 \text{ มม.}$ $L_2 = 0.010 CV$
- ทางรถไฟชั้น 3 $C_d \leq 35 \text{ มม.}$ $L_2 = 0.008 CV$
- ทางรถไฟชั้น 4 $C_d \leq 40 \text{ มม.}$ $L_2 = 0.007 CV$

เมื่อ $V = \text{ความเร็วรถสูงสุด กม./ชม.}$

$C = \text{มม.}$

$L_2 = \text{ม.}$

6.4.3 L_3 (ความยาวโค้งต่อสัมพันธ์ค่าอัตราเร่งแรงเหวี่ยงออก) เมื่อคำนึงถึง Riding Quality ได้กำหนดอัตราเร่งแรงเหวี่ยงมีค่าไม่เกิน $0.03 g$ และค่าส่วนขาดของการยกโค้ง (C_d) ไม่เกิน 32 มม.

$$\text{สำหรับทางรถไฟทุกชั้น} \quad L_3 = 0.009 C_d V$$

$$C_d = \text{มม.}$$

6.4.4 ความยาวโค้งต่อ ความยาวโค้งต่อการรถไฟไทย

กำหนดสัมพันธ์กับค่ายกโค้ง (C) ดังนี้

ความเร็วรถ > 70 กม./ชม. $L \geq 700C$

กรณีจำเป็น $L \geq 600C$

ความเร็วรถ < 70 กม./ชม. $L \geq 600C$

กรณีจำเป็น $L \geq 400C$

ปัจจุบันได้กำหนด $L \geq 1000C$

เมื่อ C = มม.

L = มม.

เส้นทางรถไฟของรถไฟญี่ปุ่น

ชั้นทาง	น้ำหนักผ่านทาง (ล้านตัน/ปี)	ความเร็วรถ (กม./ชม.)	
		สูงสุด	เฉลี่ย
1	> 20	120	67
2	10 — 20	120	62
3	5 — 10	110	51
4	< 5	85	45

ตัวอย่างที่ 4 จงคำนวณหาความยาวโค้งต่อ ทางโค้งรัศมี 800 ม.

กำหนด ความเร็วรถ V = 120 กม./ชม.

ค่ายกโค้ง C = 90 มม.

วิธีทำ จากสูตรความยาวโค้งต่อ

$$L_1 = 1. C = 1 \times 90 = 90 \text{ ม.}$$

$$L_2 = 0.010 CV = 0.010 \times 90 \times 120 = 108 \text{ ม.}$$

$$L_3 = 0.009 C_d V = 0.009 \times 32 \times 120 = 34.56 \text{ ม.}$$

ในคือ เลือกความยาวโค้งต่อที่ได้ยาวสุด $L_2 = 108$ ม. หรือปัดตัวเลขเป็น 100 ม.

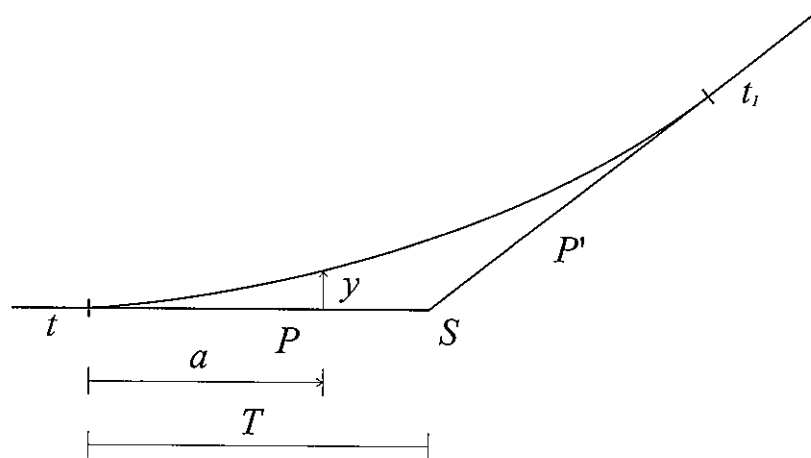




7. โค้งมุมตั้ง Vertical Curve

เส้นทางรถไฟที่ผ่านภูมิประเทศที่มีระดับความสูงแตกต่างกัน ทำให้ต้องออกแบบลาดทาง (Gradient) ขึ้น ความชันสูงสุดของลาดทางการรถไฟไทยกำหนดไม่เกิน 10/มิล. ($\frac{1}{1000}$) ดังนี้ เมื่อลาดทางมีการเปลี่ยนแปลงไปจึงจำเป็นต้องออกแบบโค้งมุมตั้งหรือโค้งหงายรองรับ ส่วนยอดของลาดทางที่ติดกัน การกำหนดรัศมีโค้งมุมตั้ง ทางการรถไฟกำหนดให้รัศมีมากกว่า 10,000 ม. หรือกรณีจำเป็นต้องไม่น้อยกว่า 5,000 ม. เพื่อป้องกันมิให้ขบวนรถเกิดการกระตุกโดยกระทันหัน ซึ่งอาจทำให้ขบวนรถขาด หรือทำให้แรงดึงระหว่างขบวนรถลดลง เป็นการลดทอนกำลังฉุดลากของหัวรถจักรที่จะวิ่งผ่านโค้งมุมนั้นได้เต็มพิกัด

การคำนวณค่าต่าง ๆ ของพิกัดโค้งมุมตั้งมีหลายวิธี ขึ้นอยู่กับความละเอียดของงานที่ต้องการ ในทางปฏิบัติทางรถไฟไทยได้กำหนดสูตรเพื่อใช้งานดังนี้



สมมุติให้	T	= ความยาวเส้นสัมผัส (เมตร)
	P และ P'	= ค่าความลาดชัน
	R	= รัศมีโค้งมุมตั้ง กำหนด 5,000 ม.

กรณีที่ 1 ระหว่างทางราบถึงลาดชัน P

$$T = \frac{P}{2} R = 2500P$$

กรณีที่ 2 ระหว่างลาดไปให้ทิศทางเดียวกัน

$$T = \frac{P - P'}{2} R = 2500(P - P')$$

กรณีที่ 3 ระหว่างลาด ซึ่งลาดในทิศทางตรงข้าม

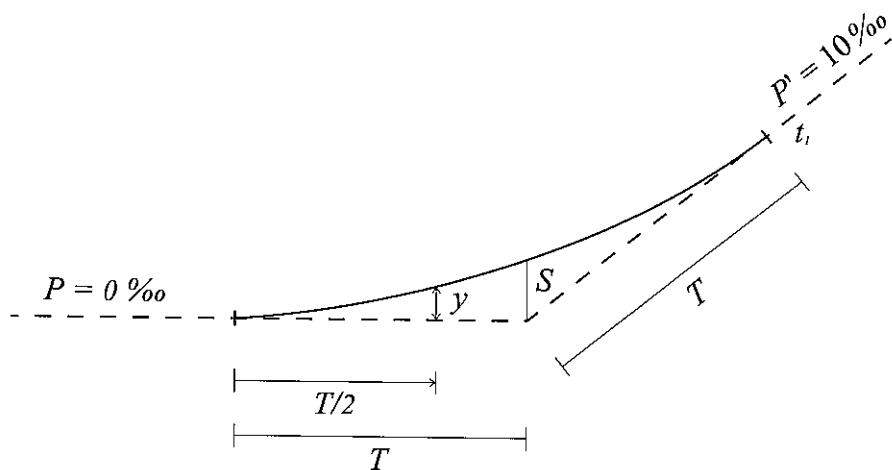
$$T = \frac{P + P'}{2} R = 2500(P + P')$$

สูตรคำนวณค่าระยะโค้ง $y = \frac{a^2}{2R} = \frac{a^2}{10,000}$

และจุดยอด $s = \frac{T^2}{2R} = \frac{T^2}{10,000}$ (โดยประมาณ)

ตามที่แสดงในรูประยะ a แสดงไว้เป็นเส้นในทางราบแต่ในทางปฏิบัติใช้วัดระยะนี้ไปตามพื้นดินขนานกับเส้นส่วนลาด ซึ่งจะไม่ทำให้มีค่าคลาดเคลื่อนมากนัก เพราะมุมที่เกี่ยวข้องนั้นเล็กมาก

ตัวอย่างที่ 5 จงคำนวณหาความยาวของเส้นสัมผัสของโค้งมุมตั้ง ดังรูป มีรัศมีโค้งเท่ากับ 5000 เมตร และระยะค้ำมุมยอดโค้ง และระยะค้ำที่กึ่งกลางของเส้นสัมผัส



วิธีทำ ความยาวของเส้นสัมผัส $T = \frac{P}{2} R = \frac{10}{2} \times \frac{5000}{1000} = 25$ ม.

ระยะค้ำมุมยอดโค้ง $S = \frac{T^2}{2R} = \frac{25^2}{2(5000)} = 0.0625$ ม.

ระยะค้ำที่กึ่งกลางเส้นสัมผัส $y = \frac{a^2}{2R} = \frac{(25/2)^2}{2(5000)} = 0.0156$ ม.





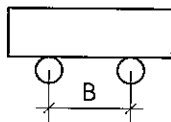
8. การขยายขนาดทาง (gauge widening)

ในทางโค้ง เมื่อรถวิ่งผ่านจะทำให้บังใบล้อรถเกิดเบียดรางขึ้นโดยเฉพาะโค้งที่มีรัศมีน้อย ยิ่งรัศมีโค้งยิ่งน้อยเพียงใด แรงเบียดของบังใบล้อจะเพิ่มมากขึ้น จะเป็นเหตุให้หัวรางสึกมากขึ้น หรืออาจเป็นเหตุให้รถป็นรางตกรางขึ้นได้ เพื่อให้ล้อรถเคลื่อนตัวได้โดยสะดวกและป้องกันมิให้บังใบล้อเบียดรางเกินควร จึงมีความจำเป็นต้องขยายขนาดทางให้ได้ออกไปเล็กน้อย เพื่อเพิ่มระยะความกว้างของขนาดทางมากขึ้น โดยวิธีขยับรางในของโค้ง

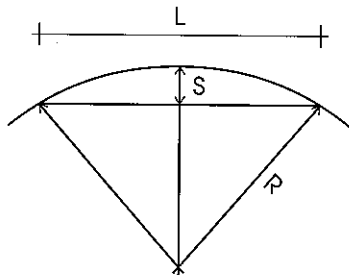
ค่าขยายขนาดทางสามารถคำนวณหาได้ทางเรขาคณิต ดังต่อไปนี้

8.1 สำหรับล้อรถชนิด 2 เฟลา

ลักษณะของรถหรือโบกี้รถ 2 เฟลา

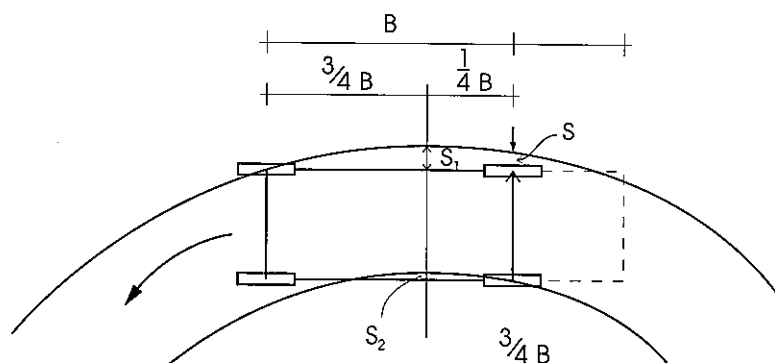


จากสูตรระยะค่า (S) ของโค้งกลม



$$S = \frac{L^2}{8R} \quad \dots\dots\dots (15)$$

จากลักษณะรูปแบบล้อรถวิ่งผ่านโค้ง ดังรูป



จากรูป ลักษณะการเคลื่อนตัวของล้อรถ แบบ 2 เหล่า ในโค้งจะได้

จากสมการ (15)
$$S_1 = \frac{L^2}{8R} = \frac{(1.5B)^2}{8R} \dots\dots\dots (16)$$

ค่าการคำนวณขยายขนาดทาง S_1 ที่ได้จะเป็นค่าขยายขนาดทางที่นิยมใช้กับในทางเรขาคณิต แต่สามารถวิเคราะห์โดยละเอียดได้ ในกรณีพิจารณาให้ล้อหลังวิ่งผ่านโค้งโดยไม่เบียดรางมากเกินไป เช่นดังนี้

$$S_1 = \frac{\left(\frac{3}{4}B\right)^2}{2R} \dots\dots\dots (17)$$

และ
$$S_2 = \frac{\left(\frac{B}{4}\right)^2}{2R} \dots\dots\dots (18)$$

นั่นคือ
$$S = S_1 - S_2 = \frac{B^2}{4R} \dots\dots\dots (19)$$

หากนำระยะ play ของล้อรถมาร่วมพิจารณาแล้วจะช่วยลดค่าการขยายขนาดทางน้อยลงอีก ล้อรถไฟมีค่า play คือ ช่องว่างระหว่างขอบบังโคลนถึงขอบสันรางด้านละประมาณ 6.5 มม. นั่นคือ ระยะ play ของล้อทั้งหมดเท่ากับ $2 \times 6.5 = 13$ มม. เมื่อนำระยะ play ครึ่งหนึ่ง 6.5 มม. มาใช้ร่วมด้วยจะเป็นการช่วยให้การพิจารณากำหนดค่าขยายขนาดทางเพื่อใช้งานได้อีกทางหนึ่ง

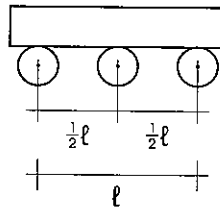
จากสมการ (16)
$$S_1 = \frac{(1.5B)^2}{8R} - 6.5 \text{ (มม.)} \dots\dots\dots (20)$$

จากสมการ (19)
$$S = \frac{B^2}{4R} - 6.5 \text{ (มม.)} \dots\dots\dots (21)$$

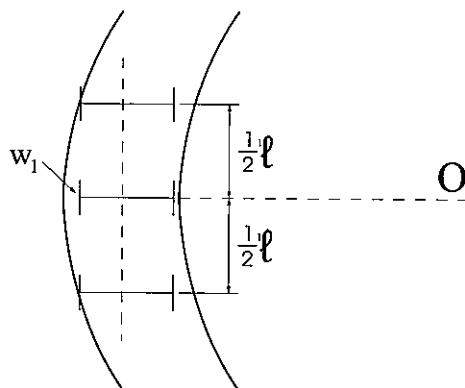


8.2 สำหรับล้อรถชนิด 3 เพลา

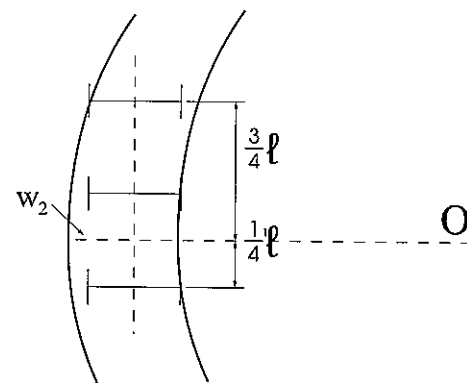
ลักษณะของโบกี้ชนิด 3 เพลา



จากลักษณะรูปแบบล้อรถแบบ 3 เพลา วิ่งผ่านโค้ง แสดงดังรูป



ลักษณะการวิ่งแบบล้อเบียดตรง



ลักษณะการวิ่งแบบล้อไม่เบียดตรง

จากรูปข้างต้น สามารถคำนวณหาค่าขยายขนาดทาง ด้วยวิธีเรขาคณิต ดังนี้

$$w_1 = \frac{\ell^2}{8R} \quad \dots\dots\dots (22)$$

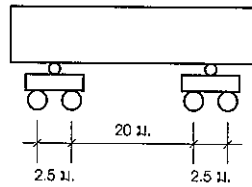
$$w_2 = \frac{9\ell^2}{32R} \quad \dots\dots\dots (23)$$

เมื่อนำค่า play มาร่วมพิจารณา จะได้

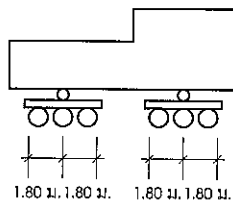
จากสมการ (21) $S_{\min} = \frac{\ell^2}{8R} - 6.5 \quad \dots\dots\dots (24)$

จากสมการ (22) $S_{\max} = \frac{9\ell^2}{32R} - 6.5 \quad \dots\dots\dots (25)$

ตัวอย่างที่ 6 จงคำนวณค่าขยายขนาดทางรัศมี R เท่ากับ 250 ม. กำหนดให้ระยะห่างล้อรถโดยสารเท่ากับ 2.5 เมตร สำหรับรถโดยสารชนิดสองเพลา และระยะห่างล้อเท่ากับ 1.8 เมตร สำหรับหัวรถจักร ชนิด สาม เพลา ดังรูป



รถโดยสาร
โบกี้ แบบ 2 เพลา



รถจักร
โบกี้ แบบ 3 เพลา

วิธีทำ

ก. สำหรับรถโดยสาร $B = 2.5 \text{ ม.}$

จากสมการ (16) ค่าขยายขนาดทาง
$$S_1 = \frac{(1.5 \times 2.5)^2 \times 1000}{8 \times 250} = 7.03 \text{ (มม.)}$$

จากสมการ (19) ค่าขยายขนาดทาง
$$S = \frac{(2.5)^2 \times 1000}{4 \times 250} = 6.25 \text{ (มม.)}$$

ข. สำหรับรถจักร $B = 1.8 \text{ ม.}$ $\ell = 2 \times 1.80 = 3.60 \text{ ม.}$

จากสมการ (22)
$$w_1 = \frac{3.6^2 \times 1000}{8 \times 250} = 6.40 \text{ (มม.)}$$

จากสมการ (23)
$$w_2 = \frac{9 \times 3.6^2 \times 1000}{32 \times 250} = 14.58 \text{ (มม.)}$$

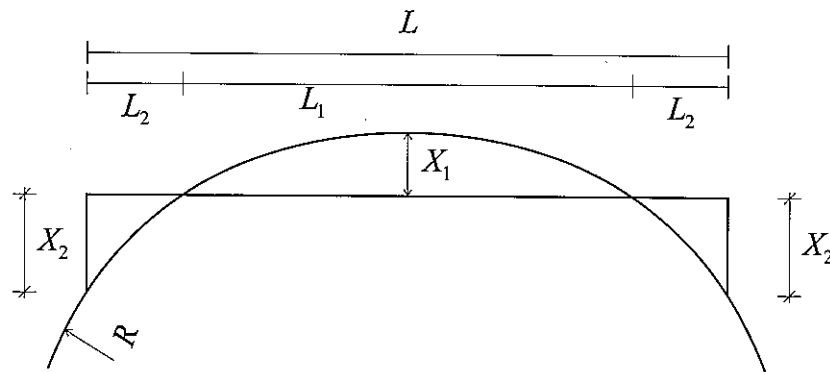
จากผลการคำนวณข้างต้น จะเห็นว่าล้อรถจักร (3 เพลา) จะมีผลต่อการเบียดล้อต่อหัวรางมาก ดังนั้นในการกำหนดค่าขยายขนาดทางที่จะใช้งานจึงต้องพิจารณาความเหมาะสมของรถชนิดต่าง ๆ และจำนวนที่จะวิ่งผ่านโค้งนั้น ๆ มากหรือน้อยอย่างไร รวมถึงสภาพของโครงสร้างทางด้วย เช่นโครงสร้างทางมีสภาพเก่าใช้งานมานาน เป็นหมอนไม้ใช้ตะปูรางแล้วควรพิจารณาผลของการเบียดรางต่อราง ที่ทำให้เครื่องยึดเหนี่ยวหลวมตัวได้ง่าย เพื่อความปลอดภัยและความมั่นคงของทางควรกำหนดค่าขยายเป็น 14.00 มม. หรือหากโครงสร้างทางเป็นหมอนคอนกรีต เครื่องยึดเหนี่ยวเป็นแบบสปริงแล้วก็พิจารณาลดค่าขยายลงได้ เพื่อให้รองรับกับรถโดยสารอื่น ๆ คือ ค่าขยายขนาดทาง กำหนดได้เป็น 14.00 — 6.5 (สมการ 25) เท่ากับ 7.50 มม. หรือ 7.00 มม. เป็นต้น





9. ระยะค้ำของตัวรถเมื่ออยู่ในทางโค้ง (Throw due to curve)

ขณะที่รถวิ่งผ่านโค้งหรือจอดอยู่ในทางโค้ง จะทำให้ขอบเขตของตัวรถยื่นล้ำออกมาจากแนวทาง ระยะการยื่นล้ำของตัวรถจะมีผลกระทบต่อขอบขนานขาลา ขอบเขตทางโครงสร้างอาคาร เสาสัญญาณและอื่น ๆ ที่ก่อสร้างใกล้ชิดกับทางรถไฟ รวมถึงการยกโค้ง (Cant) ก็จะมีผลให้ตัวรถด้านมุมบนของรถเอียงล้ำออกจากแนวตั้ง ทำให้เกิดผลกระทบขึ้นได้เช่นกัน ระยะการล้ำตัวรถสามารถหาได้จากเรขาคณิต เพื่อใช้ในการออกแบบหรือตรวจสอบโครงสร้างต่าง ๆ ที่อยู่ใกล้ชิดแนวโค้งทางรถไฟ ดังรูป



9.1 ระยะยื่นล้ำของตัวรถในแนวราบ

จากรูป กำหนดให้

L = ความยาวของตัวรถ

L_1 = ระยะห่างระหว่างล้อรถ หรือศูนย์กลางโบกี้รถไฟ

X_1 = ระยะยื่นล้ำส่วนกลางตัวรถ (Middle Throw)

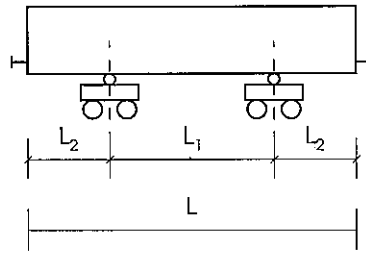
X_2 = ระยะยื่นล้ำส่วนปลายของตัวรถ (End Throw)

จากรูปข้างต้น สามารถคำนวณค่า X_1 และ X_2 ได้ดังนี้

$$\text{Middle Throw } X_1 = \frac{L_1^2(1000)}{8R} \quad \text{หน่วยเป็น มม.} \quad (26)$$

$$\text{End Trow } X_2 = \frac{(L^2 - L_1^2)1000}{8R} \quad \text{หน่วยเป็น มม.} \quad (27)$$

ตัวอย่างที่ 7 จงคำนวณหาระยะยื่นล้ำของตัวรถในทางราบในโค้งรัศมี 250 ม.



เมื่อกำหนด

$$L = 25 \text{ ม.}$$

$$L_1 = 20 \text{ ม.}$$

$$L_2 = 2.5 \text{ ม.}$$

วิธีทำ

จากสมการ (26) ระยะ Middle Throw $X_1 = \frac{20^2(1000)}{8(250)} = 200 \text{ มม.}$

จากสมการ (27) ระยะ End Throw $X_2 = \frac{(25^2 - 20^2)1000}{8(250)} = 112.50 \text{ มม.}$

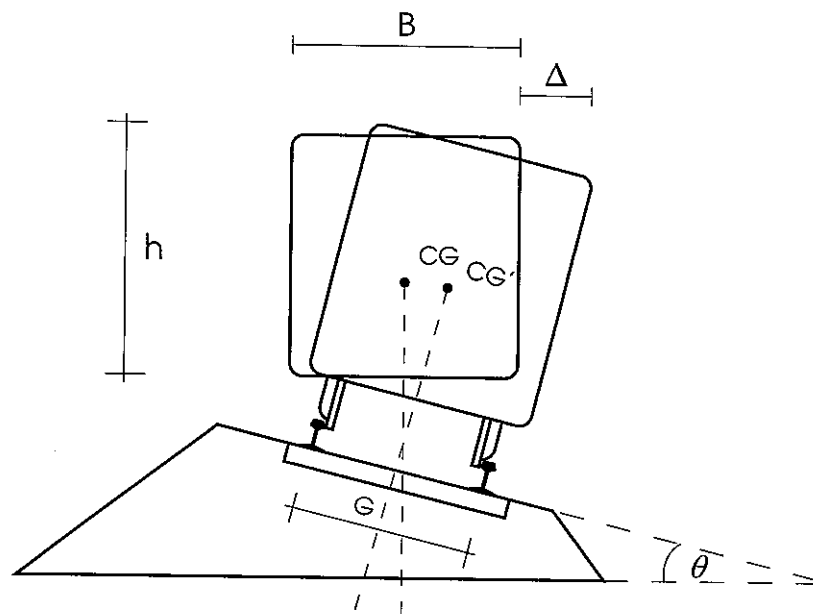
จากการคำนวณจะเห็นว่าระยะยื่นล้ำของตัวรถจะเกิดที่กึ่งกลางของตัวรถไฟเป็นระยะ 200 มม. ดังนั้นจำเป็นต้องเผื่อระยะทางไว้เมื่อทราบเขตบรรทุกของตู้รถ (Loading Gauge) ดังนั้นขอบเขตของสิ่งปลูกสร้างต่างๆ ที่ใกล้ชิดกับตัวรถไฟต้องห่างออกไปอีกไม่น้อยกว่า 200 มม. เป็นต้น





9.2 ระยะยื่นล้ำของตัวรถไฟในแนวดิ่ง (Lean due to curve)

ขณะที่รถไฟจอดหรือวิ่งอยู่ในทางโค้ง หากมีการยกโค้ง (Cant) ด้วยแล้ว จะทำให้ตัวรถไฟเกิดการเอียงตามค่าการยกโค้ง ซึ่งจะมีผลให้ส่วนบนของตัวรถไฟยื่นล้ำออกมามีรูป



กำหนดให้

h, B = ความสูง, ความกว้างของตัวรถไฟ

$C.G$ = จุดศูนย์กลางถ่วง

$C.G'$ = จุดศูนย์กลางถ่วงที่ย้ายตำแหน่ง
เนื่องจากการยกโค้ง

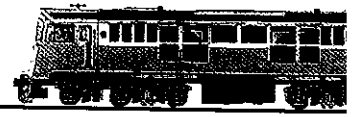
เมื่อกำหนดให้ Δ = ระยะล้ำของข้างรถไฟในแนวดิ่ง

เมื่อทราบค่าระยะยกโค้ง หรือ มุมเอียง (θ) ของการยกโค้งและคำนวณทางเรขาคณิต รวมถึงคำนวณหา ระยะล้ำอื่น ๆ ที่ระยะความสูงต่าง ๆ ได้ตามต้องการ

ບົກທີ 5

ບຸດປະເຈ

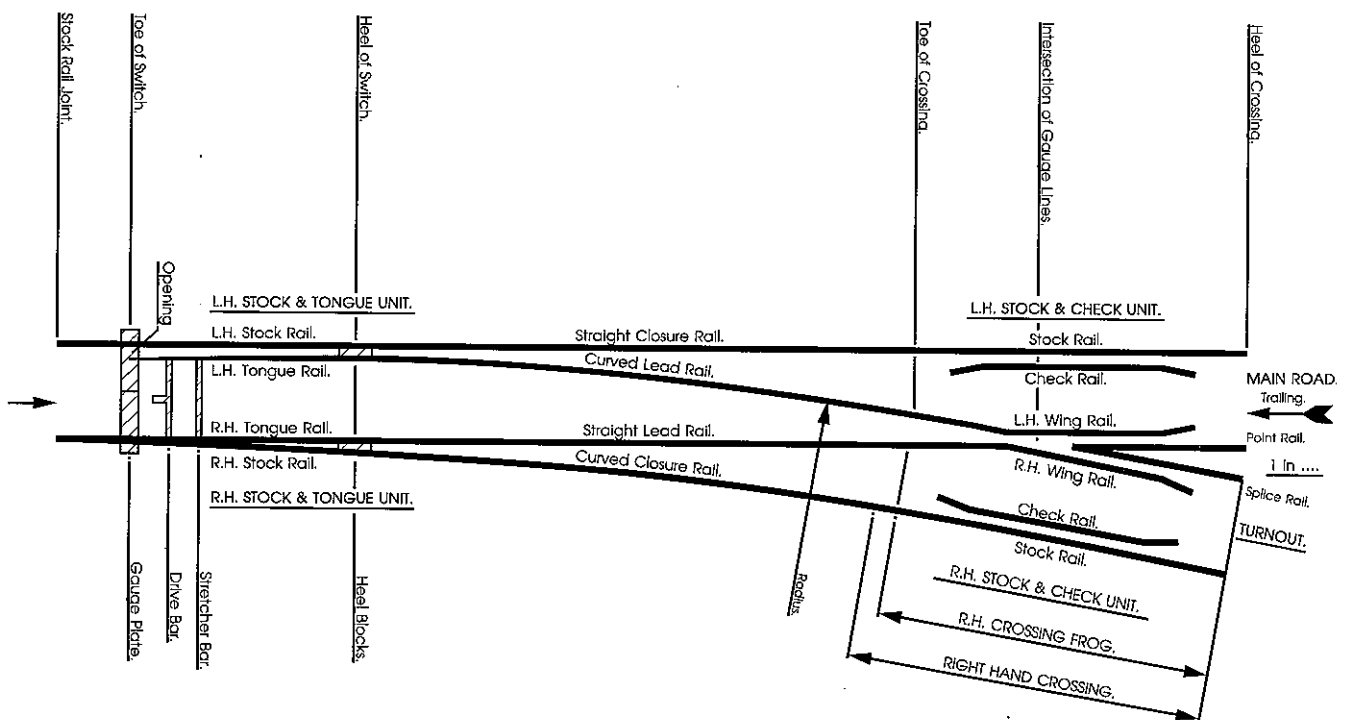




ชุดประแจ

1. ชุดประแจ (Points and Crossings)

ชุดประแจเป็นอุปกรณ์สำหรับทางรถไฟ ออกแบบเพื่อให้รถไฟที่วิ่งอยู่ในทางหนึ่งให้สามารถแยกไปสู่อีกทิศทางอื่นได้ ซึ่งมีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่จะนำไปใช้งาน สำหรับประแจชุดเดียวที่วางในเส้นทางรถไฟใช้สำหรับแยกไปยังเส้นทางอื่นได้โดยตรงนั้น จะมีชื่อเรียกว่าชุดประแจธรรมดา (Simple turnout) โดยทั่วไปประแจมีสองแบบ คือ ชุดประแจซ้ายมือ (Left hand Turnout) และชุดประแจขวามือ (Right hand turnout) เพื่อให้รถสามารถวิ่งเปลี่ยนทิศไปยังทิศทางซ้ายมือหรือทิศทางขวามือได้ การบอกทิศทางซ้ายหรือขวานั้นให้มองทางด้านหน้าประแจไปยังท้ายของชุดประแจแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของชุดประแจธรรมดา (Simple Turnout) , Right hand Turnout)

2. ส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญของชุดประแจประกอบด้วย

- ลิ้นประแจ (Tongue Rail)
- รางประคองลิ้น (Stock Rail)

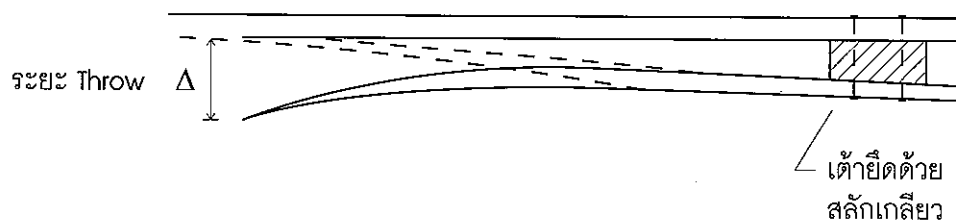
- รางกัน (Check Rail)
- ตัวตะเฒ่ (Frog)
- คันชักประแจ (Drive bar หรือ Pull rod)
- เต้ายึดโคนล้นประแจ (Heel Block)
- ความยาวล้นประแจ คือระยะจากปลายล้นถึงโคนล้นประแจ

2.1 ส่วนของชุดล้นประแจ

2.1.1 ชุดล้นประแจ (Switches) ประกอบด้วยราง 4 เส้น โดยมีรางล้น (Tongue Rail) และรางประคองล้น (Stock Rail) อย่างละ 2 เส้น ชุดล้นประแจในส่วนของคุณ์ล้นประแจสามารถบังคับปิด-เปิดได้ เพื่อให้รถสามารถวิ่งในรางตรงหรือวิ่งแยกออกไปทางซ้ายหรือขวามือได้ตามที่ต้องการ

2.1.2 ชุดเต้ายึดโคนล้น (Heel Block) ในการออกแบบจะมี 2 ลักษณะ คือ

แบบ Fixed Heel หรือ Spring Switches หรือที่นิยมเรียกว่าแบบ Flexible Tongue Rail ชุดล้นประแจแบบนี้จะออกแบบเป็นลักษณะเต้าที่มีขนาดความแข็งแรงสำหรับยึดโคนรางล้นเข้ากับรางประคองล้นการเคลื่อนตัวของรางล้น เป็นรูปโค้งให้ได้ตามรัศมีที่ออกแบบไว้ตั้งแต่ปลายล้นจนถึงโคนล้น (Curve tongue rails) แสดงดังรูปที่ 2

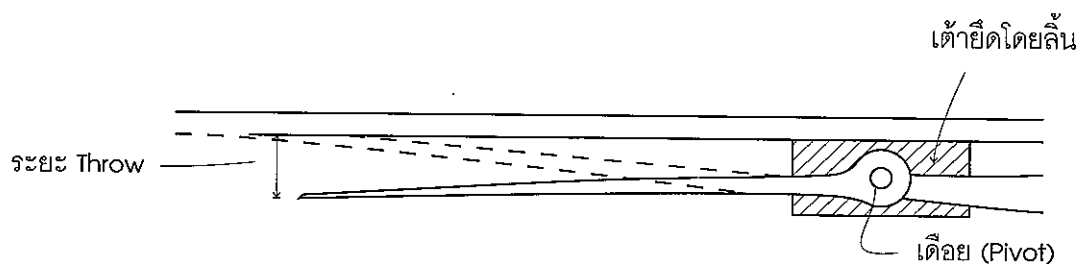


รูปที่ 2 ชุดเต้ายึดโคนล้นแบบ Fixed Heel





แบบ Loose Heel สดุดล้นประแจะแบบนี้จะมีเดือย (Pivot) ที่โคนล้น และยึดด้วยเด้ามีรูปแบบให้ความแข็งแรงยึดแน่นพอ ในขณะที่รางล้นเคลื่อนตัวในการปิดหรือเปิดปลายล้น การเคลื่อนตัวของรางล้นด้วยวิธีนี้จะเคลื่อนเป็นแนวตรงของท่อนรางล้น จึงเรียกรางล้นชนิดนี้อีกชื่อหนึ่งว่า “รางล้นแข็ง” (Straight tongue rails) แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ชุดเด้ายึดโคนล้นแบบ Loose Heel เดือย (Pivot)

ล้นประแจะแบบนี้ปัจจุบันไม่นิยมใช้งานกัน เนื่องจากเด้ายึดโคนรางล้นจะมีความแข็งแรงน้อยกว่าแบบ Fixed Heel และรางล้นเมื่อเปิดหรือปิดจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง ทำให้ล้อรถวิ่งผ่านเกิดการสปีดตัวได้เนื่องจากรางล้นไม่โค้งตัวตามแนวโค้งในชุดประแจะ

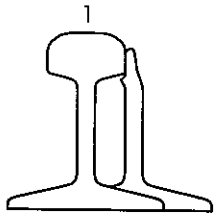
2.2 รางล้นประแจะ (Tongue Rail)

2.2.1 ใช้รางธรรมดา (Normal Rail) คือใช้รางขนาดเดียวกับที่ใช้ในทางมาออกแบบผลิตเป็นรางล้น

2.2.2 ใช้รางแบบเอวหนา (Thick web Rail) คือใช้รางที่ออกแบบพิเศษสำหรับรางล้น คือรางจะมีความสูงต่ำกว่ารางธรรมดา แต่มีการเพิ่มความหนาของเอวรางให้หนาพอที่ให้ความแข็งแรงสูง เช่นเดียวกับรางธรรมดา การใช้รางชนิดนี้เป็นรางล้นก็เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการตัดฐานรางของรางประคองล้น หรือถ้าจะมีก็ให้น้อยที่สุด ทั้งนี้เพื่อไม่ให้รางประคองล้นต้องสูญเสียความแข็งแรงอันเนื่องจากถูกตัดฐานราง ดังแสดงรูปที่ 10

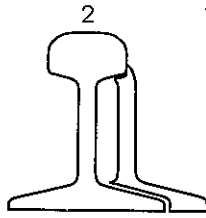
2.2.3 แบบหน้าตัดของปลายลิ้นประแจ การออกแบบหน้าตัดของปลายลิ้นประแจมีหลายแบบที่ใช้งาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้งานและความยุ่งยากในการผลิต

สำหรับรางลิ้นใช้งานแบบธรรมดา (Normal Rail) แสดงดังรูปที่ 4 ถึงรูปที่ 9



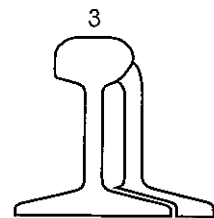
รูปที่ 4

แบบ Straight - Cut Over - Riding Switch



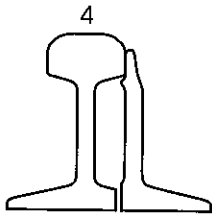
รูปที่ 5

แบบ Undercut Over - Riding Switch



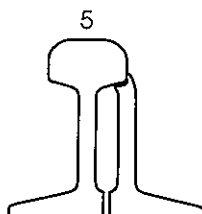
รูปที่ 6

แบบ Chamfered Over - Riding Switch



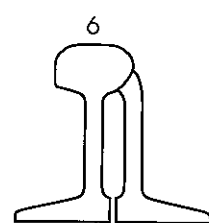
รูปที่ 7

แบบ Straight - Cut Switch



รูปที่ 8

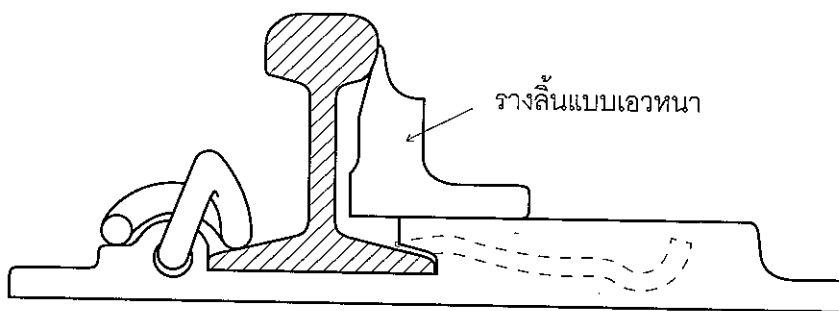
แบบ Under - cut Switch



รูปที่ 9

แบบ Chamfered Switch

สำหรับรางลิ้นใช้แบบเอวหนา (Thick web) แสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10





2.3 หัวตะเฒ่ (Frog)

หัวตะเฒ่เป็นส่วนปลายจุดตัดประแจเพื่อการเปลี่ยนทิศทางของรถที่วิ่งผ่าน มีลักษณะเป็นรูปตัว V โดยทั่วไปมีแบบ 2 ชนิด คือ

2.3.1 หัวตัวเฒ่แบบใช้รางประกอบ (Built up crossing) เป็นการนำเอารางธรรมดาออกมาออกแบบประกอบร่วมกันเป็นรูปตัว “V” โดยมีชิ้นส่วนอื่น ๆ ร่วมประกอบยึดแน่นด้วยเด้าและสลักเกลียว เพื่อให้มีความแข็งแรงเพียงพอต่อการรับน้ำหนักและแรงกระแทก (Impact load) จากล้อรถได้

ข้อดีของหัวตะเฒ่แบบนี้คือมีราคาถูก ผลิตได้ง่าย การซ่อมแซมบำรุงรักษาอาจจะสูง เพราะต้องดูแลและซ่อมแซมบ่อยครั้ง สันของรางจะสึกโดยง่าย เนื่องจากความแข็ง (Hardness) มีค่าเท่ากับรางธรรมดาที่มีค่าความแข็ง (Hardness) ประมาณ 250 - 270 HB แต่ต้องรับน้ำหนักกระแทกสูงกว่าปกติ

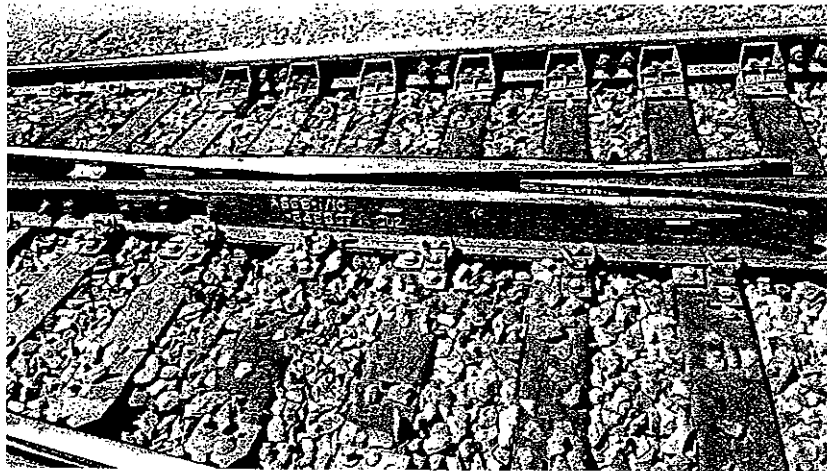
แบบหัวตะเฒ่ใช้รางประกอบ แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 หัวตะเฒ่ (Frog) แบบ Built up Crossing

2.3.2 หัวตะเฒ่แบบหล่อ ด้วยปัญหาของการสึกของหัวตะเฒ่มีมากเนื่องจากต้องรับแรงกระแทกจากล้อ (Impact Load) เพื่อลดค่าบำรุงรักษาและซ่อมแซมสันราง จึงได้คิดค้นวัสดุอื่นที่มีความแข็ง (Hardness) สูงกว่ารางธรรมดาไปใช้งานแทน เช่น เหล็กหล่อ Manganese ซึ่งจะมีค่าความแข็ง (Hardness) ประมาณ 300 - 350 HB หรือ High Carbon หล่อเป็นหัวตะเฒ่เป็นชิ้นเดียวกัน จะมีราคาสูงกว่าหัวตะเฒ่ แบบใช้รางประกอบแต่ช่วยลดการสึกของวัสดุการดูแลรักษาไม่มากนัก และมีอายุการใช้งานนานกว่ามาก

แบบหัวตะเฒ่แบบหล่อ แสดงดังรูปที่ 12

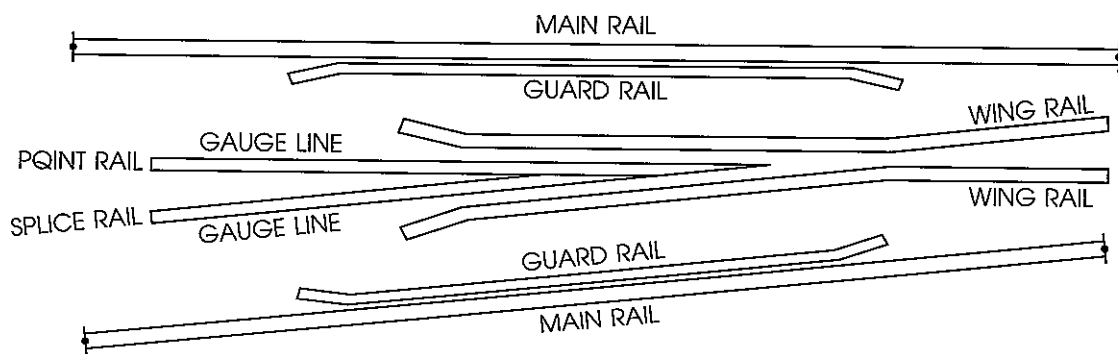


รูปที่ 12 หัวตะเฒ่ (Frog) แบบแมงกานีส (Manganese)

3. ทางตัดประแจ (Crossing)

วัตถุประสงค์ของทางตัดประแจ ก็เพื่อให้ขบวนรถวิ่งไปในทางหนึ่งสามารถตัดผ่านไปอีกทางหนึ่งที่ต้องการได้ แบบทางตัดประแจส่วนใหญ่มีใช้อยู่ 2 แบบ คือ

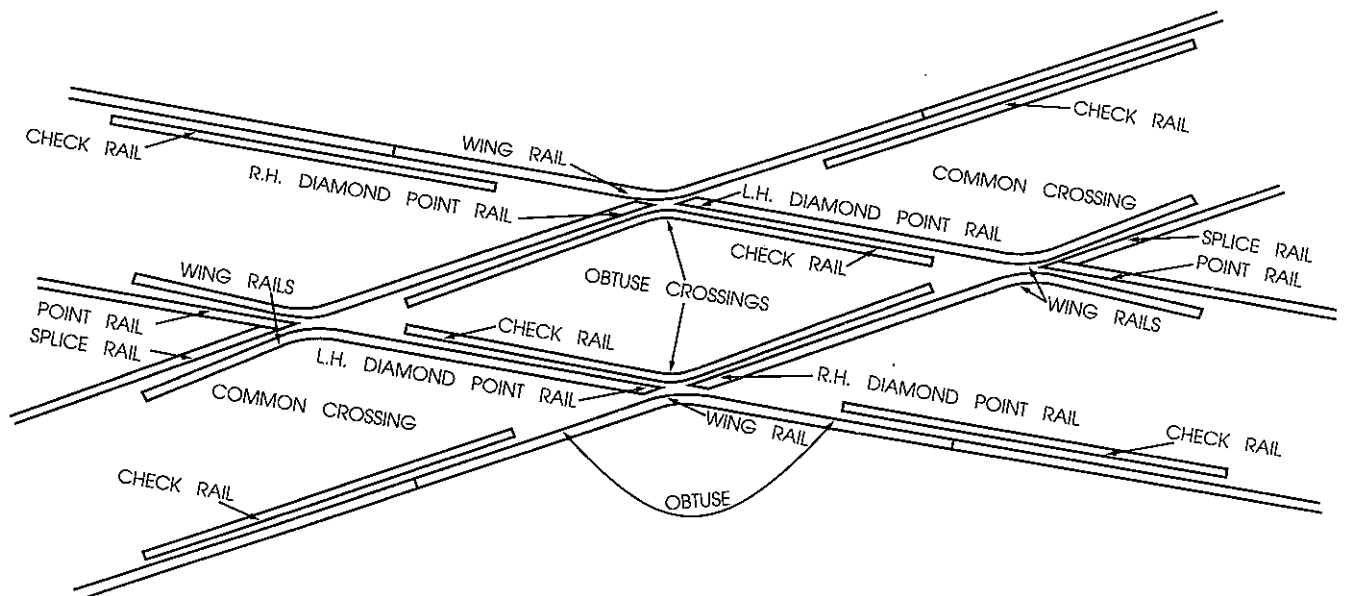
3.1 แบบ Common หรือ Acute Crossing หรือ แบบตัว “V” เป็นทางตัดประแจที่ตัดกันเป็นมุมแหลม คือมุมเล็กกว่า 90° ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ทางตัดประแจแบบ Acute Crossing

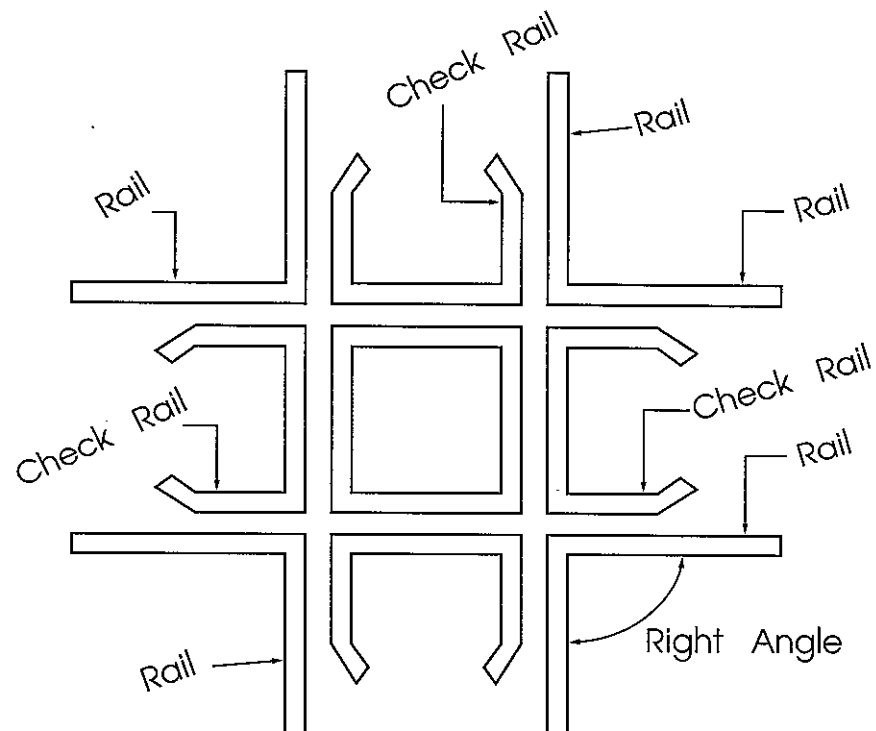
3.2 แบบ Obtuse angle หรือ Diamond Crossing เป็นทางตัดประแจที่มีมุมตัดกันเป็นมุมป้าน คือมุมมากกว่า 90° ดังรูปที่ 14





รูปที่ 14 ทางตัดประแจแบบ Obtuse Angle

นอกจากทางตัดประแจทั้งสองแบบข้างต้น ในกรณีที่ทางตัดสองทางตัดกันเป็นมุมฉาก จะมีชื่อว่า Square หรือ Right Angle Crossing แสดงดังรูปที่ 15



4. ชนิดของประแจ ประแจมีหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดวางในทางเพื่อใช้งานตามความจำเป็นที่แตกต่างกัน ชนิดของประแจพอจะแบ่งออกได้ ดังนี้

4.1 Simple Turnout เป็นประแจที่วางเพื่อใช้เลี้ยวแยกออกจากทางตรง มี 2 ทาง และ มี 2 ชนิด คือ ชนิดเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา แสดงดังรูปที่ 16 และ รูปที่ 17



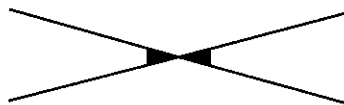
รูปที่ 16 ประแจชนิดเลี้ยวซ้าย



รูปที่ 17 ประแจชนิดเลี้ยวขวา

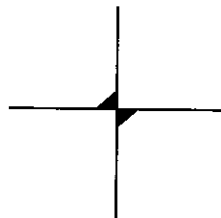
Simple Turnout ประกอบด้วยชุดลิ้นประแจ 1 ชุด ชุดทางตัดประแจแบบ Common Crossing 1 ชุด และชิ้นส่วนของรางเพื่อต่อเชื่อมประแจเข้าด้วยกัน

4.2 Diamond Crossing เป็นทางตัดผ่านที่วางตรงจุดตัดของทาง 2 เส้น ซึ่งตัดทำมุมกันเป็นมุมแหลม มี 2 ทิศทาง ไม่มีรางลิ้นสำหรับสับเปลี่ยนเส้นทาง แสดงดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 Diamond Crossing ประกอบด้วย ทางตัดประแจแบบ Common Crossing 2 ชุด และทางตัดประแจแบบ obtuse Crossing 2 ชุด

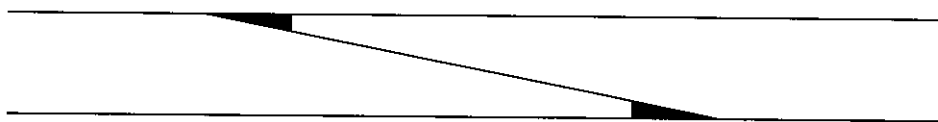
4.3 Square Crossing เป็นทางตัดผ่านวางตรงจุดตัดของทาง 2 เส้น ซึ่งตัดกันเป็นมุมฉาก มี 2 ทิศทาง ไม่มีรางลิ้นสำหรับสับเปลี่ยนเส้นทาง แสดงดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 ประแจชนิด Square Crossing



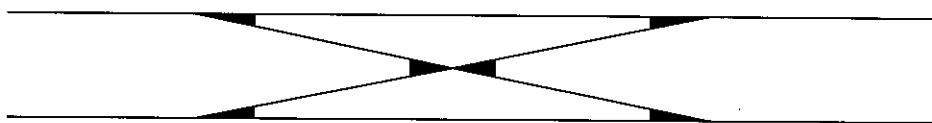
4.4 Single Crossover เป็นประแจที่วางเพื่อให้เลี้ยวแยกจากทางตรง เส้นหนึ่งไปเข้าทางตรงอีกเส้นหนึ่งที่ขนานกัน มี 3 ทิศทาง แสดงดังรูปที่ 20



รูปที่ 20 ประแจชนิด Single Crossover

Single Crossover นี้ประกอบด้วย Simple Turnout 2 ชุด เป็นชนิดเลี้ยวขวา 1 ชุด และชนิดเลี้ยวซ้าย 1 ชุด

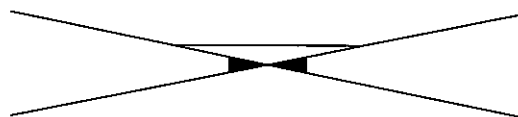
4.5 Double Crossover เป็นประแจที่วางเพื่อให้เลี้ยวแยกจากทางตรงเส้นหนึ่งไปเข้าทางตรงอีกเส้นหนึ่งที่ขนานกัน แต่มีทาง 4 ทิศทาง แสดงดังรูปที่ 21



รูปที่ 21 ประแจชนิด Double Crossover

Double Crossover ประกอบด้วย Simple Turnout 4 ชุด และ Diamond Crossing 1 ชุด

4.6 Single Slip เป็นประแจที่วางตรงจุดตัดของทาง 2 เส้น ที่ตัดกันเป็นมุมแหลม และเลี้ยวจากแยกทางเส้นหนึ่งเข้าทางอีกเส้นหนึ่งได้ มี 3 ทิศทาง ประกอบด้วยชุดประแจ 2 ชุด ชุดทางตัดประแจแบบ Common Crossing 2 ชุด และชุดทางตัดประแจแบบ Obtuse Crossing 2 ชุด แสดงดังรูปที่ 22

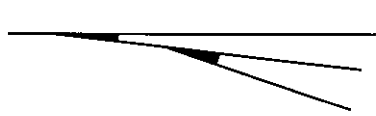


รูปที่ 22 ประแจชนิด Single Slip

4.7 Double Slip เป็นประแจที่วางตรงจุดตัดของทาง 2 เส้น ที่ตัดกันเป็นมุมแหลม และเลี้ยวแยกจากทางเส้นหนึ่งเข้าทางอีกเส้นหนึ่งได้ มีทาง 4 ทิศทาง ประกอบด้วยชุดลื่นประแจ 4 ชุด ชุดทางตัดประแจแบบ Common Crossing 2 ชุด และชุดทางตัดประแจแบบ Obtuse Crossing 2 ชุด แสดงดังรูปที่ 23



4.8 Tandem Turnout คือชุดประแจที่ประกอบด้วยประแจธรรมดา 2 ชุด มารวมเป็นจุดเดียวกันโดยที่ส่วนของลิ้นประแจของชุดหนึ่งวางอยู่ใน Load (คือระยะจากต่อปลายลิ้นถึงชุดตัดหน้าจุกตะเฒ่) ของอีกชุดหนึ่ง มีทาง 3 ทิศทาง ประกอบด้วยชุดลิ้นประแจ 2 ชุด ชุดทางตัดประแจแบบ Common Crossing 3 ชุด แสดงดังรูปที่ 24 และ รูปที่ 25

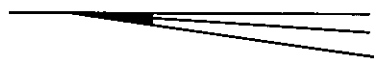


รูปที่ 24 เลี้ยวไปทางเดียวกัน



รูปที่ 25 เลี้ยวไปทางตรงกันข้าม

4.9 Three Throw Turnout เป็นประแจที่แยกเป็น 3 ทาง เหมือน Tandem Turnout แต่ส่วนของลิ้นประแจทั้งสองชุด อยู่ที่จุดเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 26 และ รูปที่ 27



รูปที่ 26 เลี้ยวแยกไปทางเดียวกัน



รูปที่ 27 เลี้ยวแยกไปคนละทาง

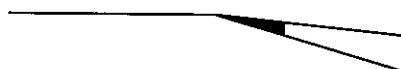
4.10 Double Curve Turnout เป็นประแจที่วางเพื่อใช้เลี้ยวแยกออกจากโค้ง มีทาง 2 ทิศทาง ประกอบด้วยชุดประแจ 1 ชุด และชุดทางตัดประแจแบบ Common Crossing 1 ชุด ประแจชนิดนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

4.10.1 Contrary — Flexure Turnout เป็นประแจที่แยกออกจากโค้ง โดยแยกออกทางหลังโค้ง และมีรัศมีกลับทางกับทางโค้งเดิม แสดงดังรูปที่ 27



รูปที่ 27 ประแจชนิด Contrary — Flexure Turnout

4.10.2 Similar Flexure Turnout เป็นประแจที่แยกออกจากทางโค้ง โดยมีรัศมีโค้งไปทางเดียวกับทางโค้งเดิม แสดงดังรูปที่ 28



รูปที่ 28 ประแจชนิด Similar Flexure Turnout



5. การวัดมุมประแจ

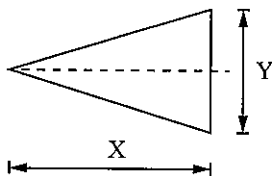
การวัดมุมประแจของทางตัดประแจหรือมุมของหัวตะเอนนั้นมีวิธีวัดได้ 3 วิธี คือ

5.1 วิธีวัดตามเส้นผ่าศูนย์กลางกลาง (The Centre Line Measure)

5.2 วิธีวัดมุมฉาก (The Right Angle Measure)

5.3 วิธีวัดด้านจั่ว (The Isosceles Measure)

5.1 วัดตามเส้นผ่าศูนย์กลางกลาง



$$\text{ขนาดของมุมตัดประแจ} = \frac{X}{Y} = N$$

เรียกมุมตัดประแจ 1 : N

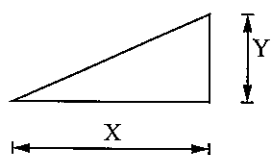
การวัดมุมตัดประแจวิธีนี้

สำหรับประแจ 1 : 8 มีมุม 7° 9' 10"

สำหรับประแจ 1 : 10 มีมุม 5° 43' 29"

สำหรับประแจ 1 : 12 มีมุม 4° 46' 19"

5.2 วิธีวัดมุมฉาก



$$\text{ขนาดของมุมตัดประแจ} = \frac{X}{Y} = N$$

เรียกมุมตัดประแจ 1 : N

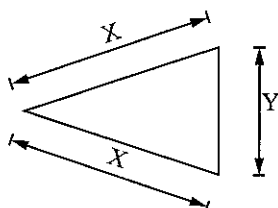
การวัดมุมตัดประแจวิธีนี้

สำหรับประแจ 1 : 8 มีมุม 7° 7' 30"

สำหรับประแจ 1 : 10 มีมุม 5° 42' 38"

สำหรับประแจ 1 : 12 มีมุม 4° 45' 49"

5.3 วิธีวัดด้านจั่ว



$$\text{ขนาดของมุมตัดประแจ} = \frac{X}{Y} = N$$

เรียกมุมตัดประแจ 1 : N

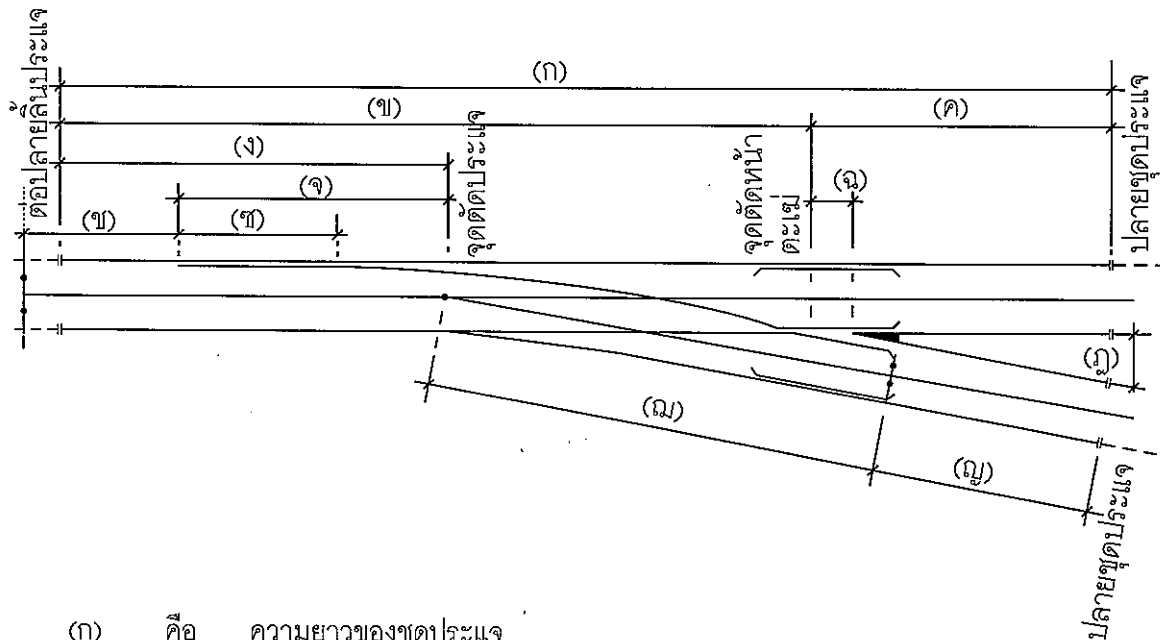
การวัดมุมตัดประแจวิธีนี้

สำหรับประแจ 1 : 8 มีมุม 7° 10' 0"

สำหรับประแจ 1 : 10 มีมุม 5° 43' 55"

6. ระยะต่าง ๆ ตามแผนผังชุดประแจ

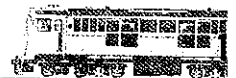
ระยะต่าง ๆ ที่เป็นจุดบังคับในการวางประแจจะบอกไว้ในแบบ Lay out หรือ General Plan ของแบบประแจ ระยะต่าง ๆ เหล่านี้แสดงไว้ในรูปดังนี้



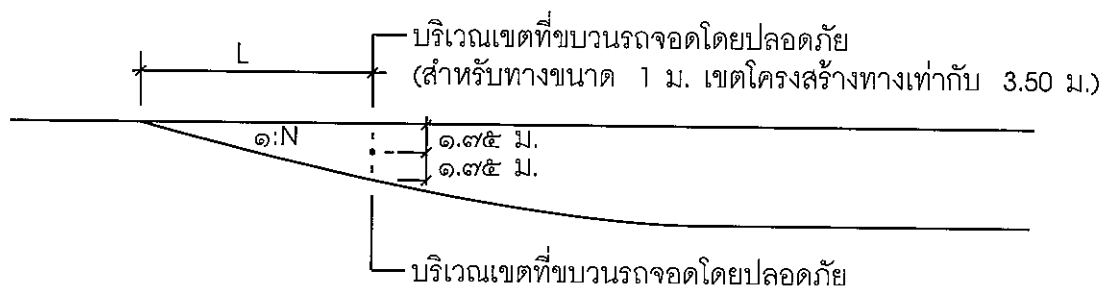
- (ก) คือ ความยาวของชุดประแจ
- (ข) คือ ระยะจากต่อปลายล้นถึงจุดตัดหน้าตะเฒ่า
- (ค) คือ ระยะจากจุดตัดหน้าตะเฒ่าถึงปลายชุดประแจ
- (ง) คือ ระยะจากต่อปลายล้นถึงจุดตัด
- (จ) คือ ระยะจากปลายล้นถึงจุดตัด
- (ฉ) คือ ระยะจากจุดตัดหน้าตะเฒ่าถึงจุดตะเฒ่า
- (ช) คือ ระยะจากจุดสัมผัสถึงปลายล้น
- (ฌ) คือ ระยะปลายล้นถึงโคนล้น
- (ณ) คือ ระยะจากจุดตัดถึงจุดสัมผัส
- (ญ) คือ ระยะจากจุดสัมผัสถึงปลายชุดประแจ
- (ฎ) คือ ระยะทางปลายชุดประแจ

7. หลักปลอดภัย คือหลักที่ปักไว้ ณ จุดที่แนวศูนย์กลางของทางสองทางซึ่งอยู่ข้างเคียงกันมีระยะห่างจากทางทั้งสอง 1.75 เมตร (ตามพิกัดเขตโครงสร้างการรถไฟกำหนดระยะไม่น้อยกว่า 1.75 เมตร จากศูนย์กลางทางสำหรับทางขนาด 1ม.)

หลักปลอดภัยมีไว้เพื่อกำหนดให้ขบวนรถจอดในทางเส้นหนึ่งโดยไม่ให้เกิดขวางทางของขบวนรถในทางอีกเส้นหนึ่งซึ่งอยู่ข้างเคียงกัน เช่น ปักไว้ที่ทางแยกท้ายประแจ ระหว่างทางประธานและรางหลักเป็นต้น ตามปกติจะเป็นหลักคอนกรีตทาสีแดง



โครงสร้างทางรถไฟ



การหาจุดปักหลักปลอดภัย เราหาได้จากสูตร

$$L = N \times 3.5 \text{ เมตร}$$

เมื่อ L = ความยาวจากจุดตัดของประแจถึงหลักปลอดภัย (วัดตามทางตรง) เมตร

N = ขบวนของมุมประแจ

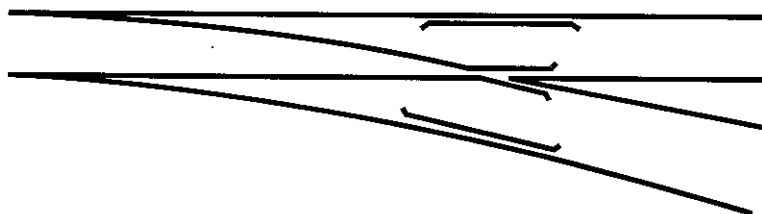
เช่น ประแจ 1 : 8 ความยาวจากจุดตัดของประแจถึงหลักปลอดภัย = $8 \times 3.5 = 28$ เมตร

ประแจ 1 : 10 ความยาวจากจุดตัดของประแจถึงหลักปลอดภัย = $10 \times 3.5 = 35$ เมตร

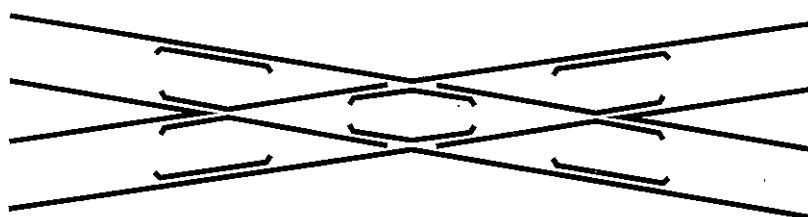
ประแจ 1 : 12 ความยาวจากจุดตัดของประแจถึงหลักปลอดภัย = $12 \times 3.5 = 42$ เมตร

8. รูปผังแนวประแจชนิดต่าง ๆ

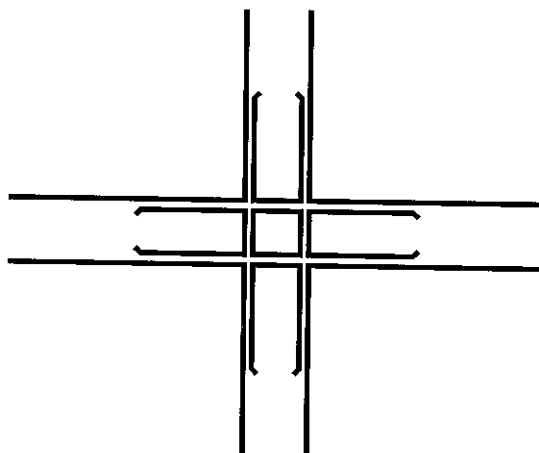
SIMPLE TURNOUT



DIAMOND CROSSING

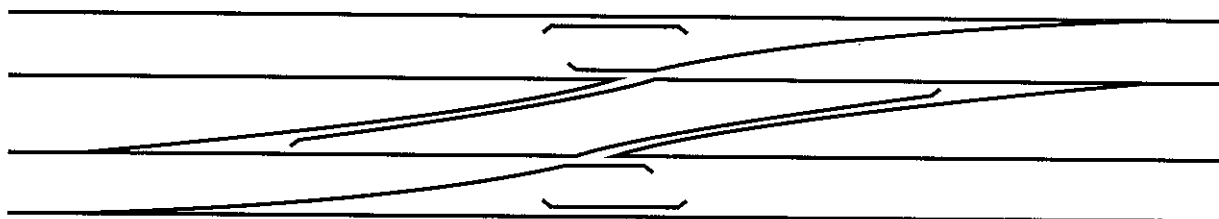


SQUARE CROSSING

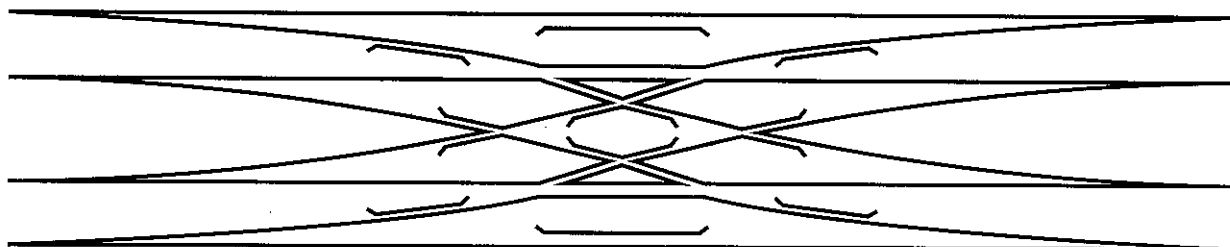




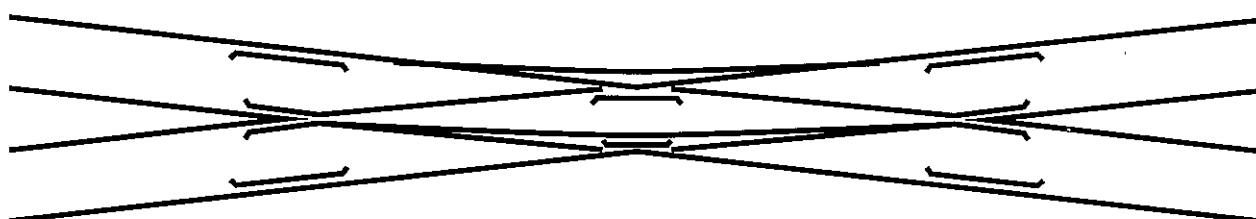
SINGLE CROSSOVER



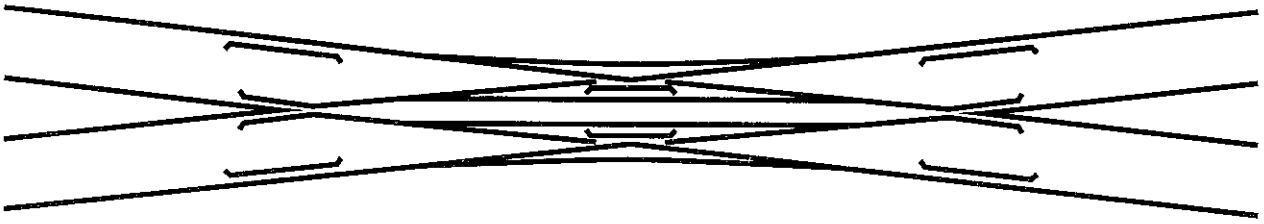
DOUBLE CROSSOVER



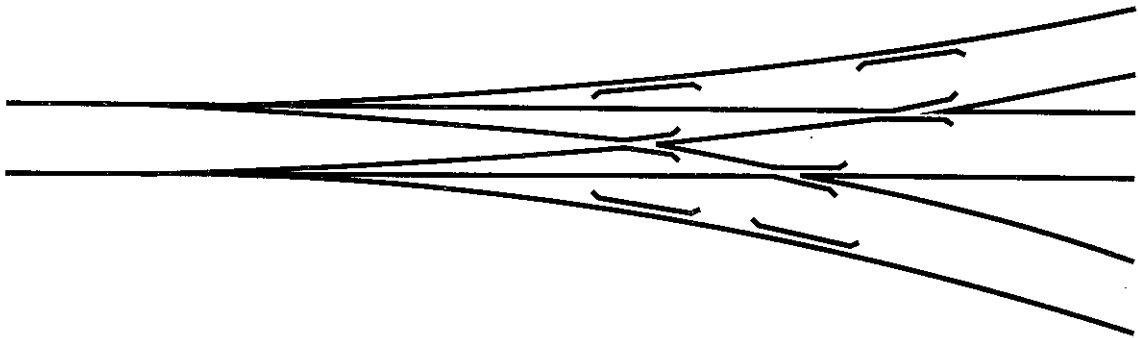
SINGLE SLIP



DOUBLE SLIP



TANDEM TURNOUT

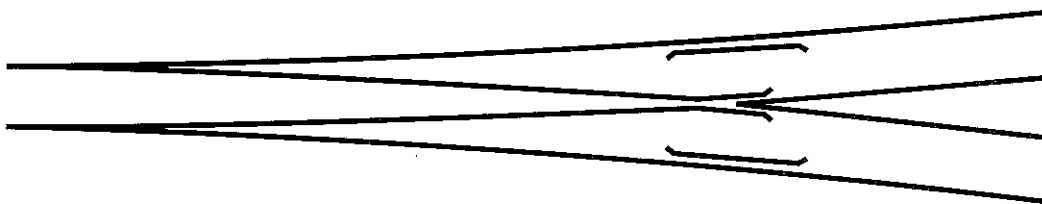


R.H. TANDEM TURNOUT

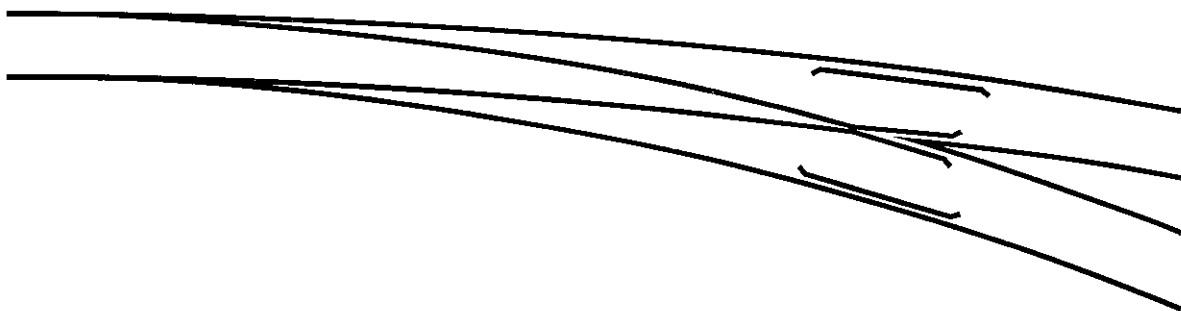




CONTRA-FLEXURE TURNOUT



SIMILAR FLEXURE TURNOUT





ภาพแสดง ประแจชนิดต่างๆ วางในย่านทางรถไฟ



ภาพแสดงแบบประแจ ชนิด Diamond Crossings
และ ชนิด Double Slips

