

การศึกษาพฤติกรรมของคอสพานทางรถไฟ : กรณีศึกษาสะพานเหล็ก

Behavior of railway bridge approach: case study of steel bridge

นายชัยวัฒน์ หนูสงค์

นายบดีศร เกษตรสิน

โครงการทางวิศวกรรมนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยบูรพา

ปีการศึกษา 2560

Behavior of railway bridge approach: case study of steel bridge

MR.CHAIYAWAT NUSONG

MR.BODEESORN KASETSIN

An Engineering Project submitted in partial fulfillment of Requirements

For the Degree of Bachelor of Engineering

Department of Civil engineering

Burapha University 2017

หัวข้อโครงการ: การศึกษาพฤติกรรมของคอตีบและการระบาดใน : การเฝ้าระวังและพ่น
พ่น

โดย นาย ชัยวัฒน์ ทรัพย์
นาย ปิยะสกล เกษตรสิน

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. สยาม ยิ้มศิริ

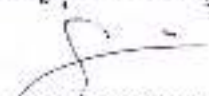
จำนวน ๑7 หน้า

ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ขอมีใบปริญญานิพนธ์นี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

.....หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

(ดร.ชาญยุทธ กาฬสุวรรณ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.สยาม ยิ้มศิริ)

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการปริญญานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สยาม ยิ้มศิริ)

.....กรรมการปริญญานิพนธ์

(ดร.สิทธิศักดิ์ เขียวใจ)

.....กรรมการปริญญานิพนธ์

(ดร.วรรณรัตน์ รัตนาคณ)

บทคัดย่อ

โครงการนี้มุ่งศึกษาพฤติกรรมของคอสะพานทางรถไฟ โดย เป็นกรณีศึกษาที่ สะพานเหล็กเนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างชั้นฐานรากจากพื้นดินเป็น สะพานคอนกรีตโดยในการศึกษานี้จะทำการศึกษาเกี่ยวกับ การหาค่าความปนเปื้อน การหาค่า หน่วยน้ำหนักของหินโรยทาง ดัชนีการแตกของหินโรยทาง และ การสำรวจค่าระดับของราง, การทรุดตัวของทางรถไฟ และ การขยายตัวทางด้านข้างของทางรถไฟ โดยแบ่งการทดสอบนี้ ออกเป็น 2 ครั้ง คือ ครั้งที่ระยะเวลา 0 เดือนหรือทันทีหลังจากติดตั้ง และ ครั้งที่ 2 คือ 3 เดือนหลังจากการติดตั้ง จากนั้นนำผลของการสำรวจทั้ง 2 ครั้งมาวิเคราะห์คุณสมบัติของหินโรย ทาง เช่น ขนาดคละ ดัชนีความปนเปื้อน ดัชนีการแตกของหินโรยทาง ค่าRelative ballast fouling ratio ค่า Percentage void contamination ความหนาแน่น และค่าระดับที่เปลี่ยนแปลง ไป

ผลการศึกษาพบว่าในบริเวณที่มีการเปลี่ยนของโครงสร้างที่รองรับทางรถไฟ จากดินเป็นสะพานคอนกรีตนั้นเป็นจุดที่เกิดความเสียหายกับหินโรยทางมากขึ้นส่งผลให้มีค่า หน่วยน้ำหนักและความหนาแน่นลดลงจากการทดสอบครั้งแรกที่ระยะเวลา 0 เดือนทำให้ ความสามารถในการรองรับแรงของหินโรยทางลดลงทำให้ทางรถไฟมีการทรุดตัวมากขึ้น จึงทำ ให้ได้ข้อสรุปว่าการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างที่รองรับทางรถไฟนั้นทำให้เกิดความเสียหายต่อ ทางรถไฟ

คำสำคัญ:ทางรถไฟ/หินโรยทาง / ดรรชนีความปนเปื้อน / โครงสร้างที่รองรับทางรถไฟ /ดัชนี การแตกของหินโรยทาง

Abstract

The purpose of this research was to explore Behavior of railway bridge approach: case study of steel bridge. Because in bridge approach track substructure will change from subgrade to bridge structure. In this research studied about 1. Ballast fouling 2. Ballast density 3. Ballast breakage index (BBI) 4. Track settlement and lateral expansion. The test has two periods: first period at 0 month or one day after setup measurement at site and second period at 3 months. Data was analyzed using Particle size distribution, Fouling index, Relative ballast fouling ratio, Percentage void contamination, Ballast density and Track elevation.

The result of the test is the changed sub structure from subgrade to bridge is the point that affects ballast. This affects will cause ballast breaking and density decrease from first period. Effect of ballast breaking will decrease transmit rail force ability and increase track settlement. In conclusion track transition will give damage to track structure.

Key words: Track/Ballast/Fouling index/Track substructure/Ballast breakage index

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเล่มนี้สำเร็จลงได้เนื่องจากได้รับความกรุณาช่วยเหลือแนะนำอย่างดีจาก ผศ. ดร.สยาม ยิ้มศิริ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย นายอนิรุทธิ์ นีทัศน์ ที่ให้การปรึกษาแนะนำและข้อคิดเห็นในการวิจัยตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องมาโดยตลอดผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ ขอบพระคุณเจ้าหน้าที่การรถไฟจังหวัดฉะเชิงเทรา ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆตลอดช่วงเวลาของการทำวิจัย

ผู้วิจัยหวังว่า งานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจอยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดี ทั้งหมดนี้ให้แก่เหล่าคณาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาทำให้ผลงานวิจัยเป็น ประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องและขอมอบความกตัญญูทเวทิตาคุณ แด่บิดา มารดา และผู้มี พระคุณทุกท่าน สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้วิจัยขอน้อมรับผิดเพียง ผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ใน การพัฒนางานวิจัยต่อไป

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ-ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช-ฅ
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 องค์ประกอบของทางรถไฟ	3
2.1.1 ราง(Rail)	3
2.1.2 หมอนรองรางรถไฟ(Sleeper,Tie)	5
2.1.3.หินโรยทาง (Ballast)	7
2.1.4 Subballast	9
2.1.5.ชั้นดิน(Subgrade)	11
2.2 การรับแรง	12
2.2.1.ประเภทของ TRACK FORCES	13
2.3 Track Transition	14
2.4 ปัญหาที่เกิดขึ้น	15
2.4.1 สาเหตุของปัญหาในบริเวณ Bridge Approaches	15
2.4.2 แนวทางในการแก้ปัญหา	16
2.5 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	16
2.5.1 การปนเปื้อนของหินโรยทาง (Ballast Fouling)	16
2.5.2 Ballast Breakage Index	19
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 อุปกรณ์ และ วิธีการทดลอง	
3.1 สถานที่ทำการทดสอบ	22
3.2 การทำการทดสอบและการเก็บค่า	23
3.2.1.การเก็บค่าการทรุดตัวและการขยายตัวด้านข้าง	23
3.2.2.การทดสอบ Sand cone method (ASTM1556)	27
3.2.3 การทดสอบการหาขนาดคละ Sieve analysis (ASTM D422,D1140,D6913)	30
3.2.4 การทดสอบ Rod unit weight	34
3.3 วิธีการศึกษา	36
3.4 แผนการดำเนินงาน	40
บทที่ 4 การทดลองและวิเคราะห์ผล	
4.1 ผลการเก็บค่าระดับของทางรถไฟ	41
4.1.1 วิเคราะห์ผลการทรุดตัวของทางรถไฟ	42
4.2 การทรุดตัว (Settlement plate)และการขยายตัวด้านข้าง (Extensometer)	47
4.3 ผลการทดสอบโดยใช้การ Sieve Analysis	49
4.3.1.วิเคราะห์การปนเปื้อนของ Ballast	52
4.4 ผลการทดสอบ Field Density และ Rod unit weight	55
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และ ข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลงานวิจัย	58
5.1.1 Open Track	58
5.1.2 Approach Track	58
5.1.3 Bridge	58
5.2 ข้อเสนอแนะ	59
บรรณานุกรม	60
ภาคผนวกตาราง	61
ภาคผนวกรูปภาพ	81

สารบัญรูปภาพ

รูป	หน้า
รูปที่ 2-1 องค์ประกอบของทางรถไฟ (Selig & Water1994)	3
รูปที่ 2-2 รางรถไฟ(ภาพจากgoogle)	3
รูปที่ 2-3 หมอนไม้ หมอนคอนกรีต หมอนเหล็กกล้า(ภาพจากgoogle)	7
รูปที่ 2-4 หินโรยทาง (Ballast) ชนิดต่างๆ(ภาพจากgoogle)	7
รูปที่ 2-5 โครงสร้างทางรถไฟ(Selig & Water 1994)	9
รูปที่ 2-6 ชั้นดินฐานราก(Subgrade) (Selig & Water 1994)	12
รูปที่ 2-7 การรับแรง (Selig & Water 1994)	13
รูปที่ 2-8 ภาพแสดงการหลุดตัวของรางบริเวณ Bridge Approach	14
รูปที่ 2-9 การวัดความปนเปื้อน (Selig & Water 1994)	18
รูปที่ 2-10 การวัดความปนเปื้อนด้วยค่าPVC (Buddhima Indraratna, Li-jun Su, and Cholachat Rujikiatkamjorn 2011)	19
รูปที่2-11ภาพแสดงการหาค่าBBI(Sanjay NimBalkar , Buddhima Indraratna 2016)	20
รูปที่ 2-12 กราฟแสดงค่า Ballast Contact Pressure ภายใต้ Concrete Sleeper Pads(Harald Stager & Harald Loy 2015	21
รูปที่ 2-13 กราฟแสดงค่า Settlement โดยเทียบระหว่างใส่และไม่ใส่USPในระยะเวลา 377 วัน (Harald Stager & Harald Loy 2015)	21
รูปที่ 3-1 สถานีรถไฟแปดริ้ว ช่วงคอสะพาน อำเภอบางบาล จังหวัด พระนครศรีอยุธยา (ที่มา:google map)	22
รูปที่ 3-2 ช่วงคอสะพานบริเวณที่ทำการทดสอบ	22
รูปที่ 3-3 รูปแบบสะพานเหล็ก	23
รูปที่ 3-4 กล้อง Total Station (ที่มา; http://img.tarad.com)	23
รูปที่ 3-5 กล้องระดับ	24

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 3-6 ขาดั่งกลิ้ง(ภาพจากgoogle)	24
รูปที่ 3-7 ไม้สตัฟ(ภาพจากgoogle)	25
รูปที่ 3-8 เทปวัดระยะ	25
รูปที่ 3-9 Settlement Plate และ Extensometer	26
รูปที่ 3-10 อุปกรณ์ sand cone	27
รูปที่ 3-11 Base Plate	27
รูปที่ 3-12 ทรายนมาตรฐาน	28
รูปที่ 3-13 ถุงดำ	28
รูปที่ 3-14 ถังพลาสติก+แปลงขีด	31
รูปที่ 3-15 ถาดอลูมิเนียม	31
รูปที่ 3-16 ตู้อบ	32
รูปที่ 3-17 ตะแกรง Sieve ละเอียด	32
รูปที่ 3-18 ตะแกรง Sieve หยาบ	32
รูปที่ 3-19 เครื่อง Sieve	33
รูปที่ 3-20 เครื่องชั่งน้ำหนัก	33
รูปที่ 3-21 ถังทรงกระบอก	35
รูปที่ 3-22 ท่อนเหล็กสำหรับกระทุ้ง	35
รูปที่ 3-23 เครื่องชั่งน้ำหนัก	36
รูปที่ 3-24 ภาพแสดงตำแหน่งที่ทำการทดสอบ	39
รูปที่ 3-25 แผนภาพแสดงวิธีการดำเนินงาน	40

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 4-1 รูป Side view แสดงช่วงทางรถไฟที่ทดสอบ	41
รูปที่ 4-2 รูป Top view แสดงช่วงทางรถไฟที่ทดสอบ	41
รูปที่ 4-3 รูป Cross section ทางรถไฟหมอนที่ 10	42
รูปที่ 4-4 รูป ค่าระดับเดิมของทางรถไฟที่ทำการศึกษา	43
รูปที่ 4-5 ค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในช่วง Open track	44
รูปที่ 4-6 ค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในช่วง Approach	44
รูปที่ 4-7 ค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในช่วง Bridge	45
รูปที่ 4-8 รูป ค่าระดับเดิมของทางรถไฟที่ทำการศึกษาด้วยกล้อง total station	45
รูปที่ 4-9 ค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในช่วง open track จากกล้อง total station	46
รูปที่ 4-10 ค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในช่วง Approach จากกล้อง total station	46
รูปที่ 4-11 ค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในช่วง Bridge จากกล้อง total station	47
รูปที่ 4-12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Particle Size และ %Passing (open track)	50
รูปที่ 4-13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Particle Size และ %Passing (Approach Track)	50
รูปที่ 4-14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Particle Size และ %Passing (Approach Track)	51
รูปที่ 4-15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Particle Size และ %Passing (Bridge)	51
รูปที่ 4-16 กราฟแสดงค่า Density ของการทดสอบ Field Density	56
รูปที่ 4-17 ความแตกต่างของค่า Density ระหว่างครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2	56
รูปที่ 4-18 แผนภูมิแสดงค่า Unit weight ของการทดสอบ Rod Unit Weight	57
รูปที่ 4-19 แผนภูมิเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าที่ได้ระหว่างครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ของ Rod Unit Weight	57

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 3-1 ขนาดตะแกรงที่ใช้ในการ Sieve	30
ตารางที่ 3-2 ตารางช่วงเวลาการดำเนินงาน	37
ตารางที่ 4-1 ตารางแสดงผลต่างเฉลี่ยของค่าระดับจากกล้องระดับ	43
ตารางที่ 4-2 ตารางแสดงผลต่างเฉลี่ยของค่าระดับจากกล้อง Total station	46
ตารางที่ 4-3 ตารางแสดงผลต่างของค่าระดับ Settlement plate	48
ตารางที่ 4-4 ตารางแสดงการขยายตัวออกด้านข้าง Extensometer	48
ตารางที่ 4-5 ตารางแสดงผลต่างของค่าระดับ Settlement plate	48
ตารางที่ 4-6 ตารางแสดงการขยายตัวออกด้านข้าง Extensometer	48
ตารางที่ 4-7 ตารางแสดงค่า FI	52
ตารางที่ 4-8 ตารางแสดงค่า $Rb-f$	53
ตารางที่ 4-9 ตารางแสดงค่า PVC	54
ตารางที่ 4-10 ตารางแสดงค่า BBI	55

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการขนส่งทางรถไฟเป็นที่นิยมอย่างมากเนื่องจากสะดวกรวดเร็ว ขนส่งได้ปริมาณที่มาก ทั้งสินค้าและผู้โดยสาร เนื่องจากการใช้งานอย่างหนักจึงทำให้ทางรถไฟเสื่อมประสิทธิภาพลง โดยเฉพาะบริเวณคอสะพานรถไฟและทางรถไฟ ที่ต้องการบำรุงรักษามากกว่าจุดอื่นอันเนื่องมาจากแรงกระแทกของรถไฟที่มีผลกระทบต่อทางรถไฟทำให้หินโรยทางรถไฟแตกหัก ทางรถไฟเกิดการทรุดตัว จึงจำเป็นต้องศึกษาพฤติกรรมของทางรถไฟที่มีผลต่อการแตกหักของหินโรยทางลดลง โดยเปรียบเทียบพฤติกรรมกับทางรถไฟในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน เนื่องจากปัญหาที่เกิดขึ้นที่จะทำให้หินโรยทางแตกหักทำให้ต้องบำรุงรักษาถี่ขึ้น ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาในแต่ละครั้งสูง

ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการทรุดตัวของรถไฟขณะขึ้นคอสะพานที่เป็นผลทำให้หินโรยทางแตกหัก เพื่อนำไปเป็นข้อมูลทางเลือกในการบำรุงรักษาทางรถไฟและนำข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยชิ้นนี้ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการทรุดตัวของทางรถไฟการแตกหักของหินโรยทาง ตลอดจนมีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์และการใช้งานได้ในเชิงวิศวกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- ศึกษาการปนเปื้อนและการแตกหักของหินโรยทางโดยเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลา 0 เดือนและ 3 เดือน
- ศึกษาความเปลี่ยนแปลงของ Unit Weight ของหินโรยทาง
- ศึกษาการทรุดตัวของรางรถไฟ และ วัดค่าการทรุดตัว การขยายตัวด้านข้าง ด้วย Settlement plate และ Extensometer

1.3 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษานี้ดำเนินการในพื้นที่ อ.เมือง จ.ฉะเชิงเทรา กิโลเมตรที่ 61 โดยศึกษาพฤติกรรมของทางรถไฟที่คอสะพานรถไฟเหล็ก การศึกษานี้ประกอบด้วย การวัดค่า Profile cross section, Fouling Index, Ballast breakage index (BBI), Settlement และ Density

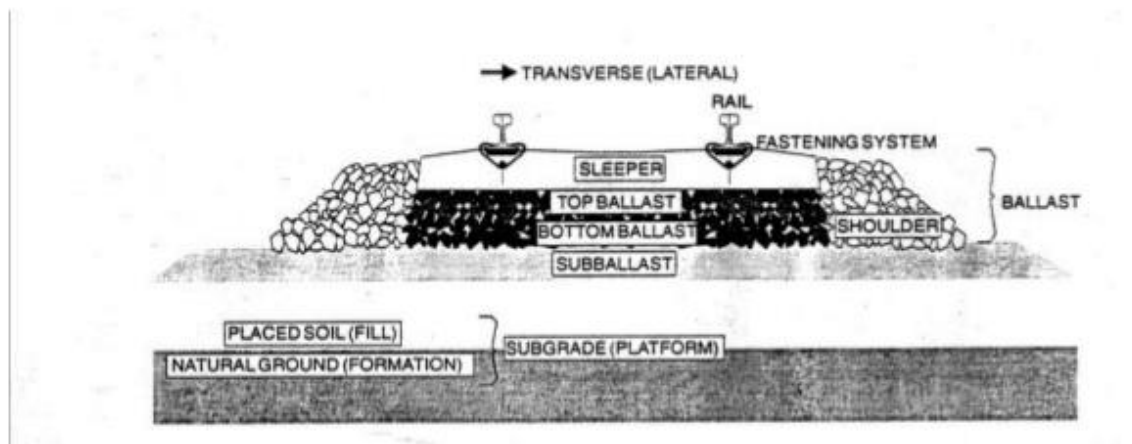
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยมาเพื่อพิจารณาหาสาเหตุและแนวทางการแก้ไขปัญหาการทรุดตัวของทางรถไฟที่ และการแตกหักของหินโรทาง(Ballast) ของทางรถไฟที่ถูกต้องได้

บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.องค์ประกอบของทางรถไฟ

ทางรถไฟประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ super structure และ sub structure โดยจะมีองค์ประกอบดังรูปที่ 2-1



-รูปที่ 2-1 องค์ประกอบของทางรถไฟ (Selig & Water 1994)

2.1.1 ราง(Rail) คือ เป็นเหล็กตามยาวหน้าตัดรูปตัว I (ไอ) ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ หัว ราง เอรราง และตีนราง เป็นอุปกรณ์ "ส่วนหนึ่ง" ของทางรถไฟที่มีหน้าที่บังคับทิศทางให้กับล้อรถไฟ



รูปที่ 2-2 รางรถไฟ(ภาพจากgoogle)

มาตรฐานรางรถไฟ

1) ขนาดรางรถไฟ

รางรถไฟที่ใช้ในประเทศไทยมีอายุการใช้งานของรางประมาณ 80-100 ปีแต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาน้ำหนักที่ผ่านทางด้วย ถ้าน้ำหนักผ่านทางมาก อายุการใช้งานจะลดลง

เหลือ 40-50 ปีเท่านั้น โดยรางรถไฟที่ได้นำมาใช้ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีด้วยกัน 8 ขนาดดังนี้

- ขนาด 35 ปอนด์:เป็นรางรถไฟที่ทำจากเหล็กหนัก 35 ปอนด์(15.87 kg)ต่อหลาใช้ในสมัยโบราณของบริษัทรถไฟแม็กลองในเส้นทางสายแม็กลอง รับน้ำหนักจากเพลลาได้น้อยกว่า 10.5 ตัน เป็นรางขนาดเล็กที่สุดและเลิกใช้งานไปนานแล้ว
- ขนาด 40 ปอนด์:เป็นรางรถไฟที่ทำจากเหล็กหนัก 40 ปอนด์(18.14 kg)ต่อหลา ใช้กับทางรถไฟสายใต้ในยุคกรรมรถไฟหลวงรับน้ำหนักจากเพลลาได้น้อยกว่า 10.5 ตัน ปัจจุบันเลิกใช้งานแล้ว
- ขนาด 50 ปอนด์:เป็นรางรถไฟที่ทำจากเหล็กหนัก 50 ปอนด์(22.67 kg)ต่อหลา ใช้แต่โบราณปัจจุบันยังมีเหลือบ้างช่วง สามารถรับน้ำหนักเพลลาได้ประมาณ 10.5 ตัน
- ขนาด 60 ปอนด์:เป็นรางรถไฟที่ทำจากเหล็กหนัก 60 ปอนด์(27.21 kg)ต่อหลา ซึ่งใช้ในเส้นทางหลักก่อนเปลี่ยนมาใช้ราง 70 ปอนด์ สามารถรับน้ำหนักจากเพลลาได้ประมาณ 10.5-15 ตัน
- ขนาด 70 ปอนด์:เป็นรางรถไฟที่ทำจากเหล็กหนัก 70 ปอนด์(31.75 kg)ต่อหลาใช้กับสายหลักทั่วประเทศ รางขนาดนี้รับน้ำหนักจากเพลลาได้ประมาณ 15 ตัน
- ขนาด 74-75 ปอนด์:เป็นรางรถไฟที่ทำจากเหล็กหนัก 74-75 ปอนด์(33.56-34.02 kg)ต่อหลาจะใช้ในช่วงเส้นทางสายใต้ โดย ขนาด 74 ปอนด์ต่อหลา จะยาว 10 เมตร และขนาด 75 ปอนด์ต่อหลา ยาว 11.89-12.00 เมตรซึ่งรางขนาดนี้รับน้ำหนักจากเพลลาได้ประมาณ 15 ตัน
- ขนาด 80 ปอนด์:เป็นรางรถไฟที่ทำจากเหล็กหนัก 80 ปอนด์(36.28 kg)ต่อหลา ซึ่งนำมาใช้ในเส้นทางสายใต้และสายอีสานบางสาย ซึ่งรางขนาดนี้ได้มีการผลิตขึ้นเองในประเทศไทยในครั้งแรกปี พ.ศ.2522 โดยบริษัท จีสติล โรงงานมักกะสันซึ่งรางขนาดนี้รับน้ำหนักจากเพลลาได้ 17 ตัน
- ขนาด 100 ปอนด์:เป็นรางรถไฟที่ทำจากเหล็กหนัก 100 ปอนด์(45.36 kg)ต่อหลาซึ่งรางขนาดนี้ยังไม่สามารถผลิตเองได้ในประเทศไทย ปัจจุบันใช้ทั่วไปในสายประธาน โดยสามารถรับน้ำหนักจากเพลลาได้ 20 ตัน

2) ขนาดความกว้างของรางรถไฟ(Railway Gauge)

การกำหนดมิติความกว้างของรางรถไฟ (Track Gauge) จะวัดจากหัวรางด้านในข้างซ้ายถึงหัวรางด้านในทางขวาขนาดความกว้างของรางรถไฟที่มีการใช้อยู่ทั่วโลก

ประกอบด้วยรางรถไฟแคบที่สุดคือรางเดี่ยว(Mono Rail)ไปจนถึงรางขนาดความกว้าง 2.140 เมตร ในบรรดาขนาดความกว้างต่างๆจะมีขนาดที่มีการใช้อยู่มากที่สุดทั่วโลก และมีจำนวนประเทศที่ใช้รางขนาดใกล้เคียงกันได้แก่

- ขนาดความกว้าง 1.435 เมตร (4 ฟุต 8-1/2 นิ้ว) : มีจำนวนประเทศที่ใช้มากที่สุด เรียกมาตรฐานกว้างขนาดนี้เรียกว่า European Standard Gauge บางครั้งเรียกอย่างย่อว่า Standard Gauge เป็นรางรถไฟที่กำหนดเป็นมาตรฐานของกลุ่มในประเทศในทวีปยุโรป เพื่อช่วยให้เดินรถถึงกันทำได้โดยสะดวก
- ขนาดความกว้าง 1.067 เมตร (3 ฟุต 6 นิ้ว) : มีจำนวนประเทศที่ใช้มากเป็นอันดับที่สอง เรียก มาตรฐานรางขนาดนี้ว่า Caps Gauge มีใช้อยู่กระจายทั่วโลก โดยเฉพาะประเทศที่เป็นเกาะในแถบทวีปเอเชียเข้าใจว่ารางขนาดนี้ได้ชื่อมาจากการนำไปใช้ในการสร้างทางรถไฟในสหภาพแอฟริกาใต้
- ขนาดความกว้าง 1.00 เมตร (3 ฟุต 3-3/8 นิ้ว) มีจำนวนประเทศใช้มากเป็นอันดับที่สาม เรียกมาตรฐานขนาดนี้ว่า Meter Gauge ใช้อยู่ในกลุ่มประเทศเอเชียอาคเนย์ ทั้หมดบางประเทศในแอฟริกา อเมริกาและทางรถไฟสายแยกในยุโรปบางประเทศ ทางรถไฟที่ใช้รางกว้างบางขนาดก็ยกเลิกการใช้ไปแล้ว

(สยาม ยัมศิริ 2555)

2.1.2 หมอนรองรางรถไฟ(Sleeper,Tie) มีหน้าที่ที่สำคัญดังนี้

- ถ่ายแรงจาก ราง ลงสู่หินหรือวัสดุรองทาง
- ยึดระบบยึดรั้งเพื่อให้ขอบรางมีระยะเว้นที่เท่ากัน
- ลดการเคลื่อนที่ ตามแนวขวาง แนวยาว และแนวตั้ง โดยยึด ส่วน super structure ใน ballast

1) วัสดุที่ใช้ทำหมอนรองราง

หมอนรองรางที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติยืดหยุ่นสามารถต้านทานแรงกระแทกได้ดีหมอนจะต้องมีความทนทาน อายุการใช้งานต้องไม่สั้นเกินสมควร พื้นที่แผ่นน้ำหนักรต้องมีความพอและแรงต้านทั้งตามยาวและตามขวางต้องสูง ซึ่งสามารถแบ่งตามวัสดุที่ใช้กันได้ดังนี้

- หมอนไม้ แบ่งได้ 2 ประเภทคือ ไม้เนื้อแข็งปานกลางและไม้เนื้อแข็งมาก และ ประเภทหมอนไม้เนื้ออ่อน โดยขนาดของไม้หมอนที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป มี 2 ลักษณะ คือ

ประเภทที่หนา 12.5-16 ซม. กว้าง 25 ซม. และ ประเภทที่หนา 14-15 ซม. กว้าง 20 ซม. สำหรับความยาวนั้นในทางกว้างมาตรฐานใช้ยาว 2.60 ซม. ส่วนในขนาดทางกว้าง 1 ม. ใช้ยาว 1.80-1.90 ม. ขนาดที่ รฟท.ใช้เป็นมาตรฐานอยู่ในปัจจุบันเป็นไม้เนื้อแข็ง หนา 15 ซม. กว้าง 20 ซม. และ ยาว 1.90 ซม. สำหรับไม้เนื้ออ่อนใช้ขนาดหนา 12.5 ซม. กว้าง 24 ซม. ยาว 1.90 ม.

- หมอนคอนกรีต ใช้ prestressed reinforce concrete โดยทั่วไป หมอนคอนกรีตนั้น ความปลอดภัยของระบบยึดรั้งสูงกว่าหมอนไม้ ทั้งยังมี น้ำหนักมากกว่าหมอนไม้ ข้อดีของหมอนคอนกรีตนั้นก็คือ มีความมั่นคงแข็งแรงและมีอายุการใช้งานได้นานกว่าหมอนไม้ไม่น้อยกว่า 2 เท่าด้วย

i) แบบท่อนยาวตามขวาง (Monolithic Transverse Type เป็นท่อนยาวท่อนเดียวและส่วนใหญ่เป็นแบบคอนกรีตอัดแรง การผลิตมี 2 วิธีได้แก่

- แบบดึงเหล็กก่อนหล่อคอนกรีต (Pre tensioning) โดยแบบนี้ทำได้ 2 วิธีคือ เอาลวด 20-22 เส้นมาดึงตามแนวยาว และ เอาลวด 20-22เส้น มาดึงตามแบบหล่อเป็นท่อนๆ

ii) แบบ 2 บล็อก (Isolated Block Type) เป็นบล็อกคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมชาติรับแรงข้างละบล็อกต่อกันด้วยท่อนเหล็กตรงกลาง หมอนแบบนี้ ออกแบบให้เป็นบล็อกเฉพาะส่วนที่อัดหินข้างละ 30-40 ซม.เท่านั้น ส่วนกลางใช้เหล็กยึดแทนโดยใช้เป็นเหล็ก T-bar หรือ ใช้แป๊บเหล็ก หรือ ใช้เหล็กซิกแซกสลับฟันปลา

- หมอนเหล็กกล้า:โดยทั่วไปมีคุณสมบัติคล้ายๆหมอนไม้ ต่างจากหมอนไม้ตรงที่มีความยืดหยุ่น และ ความเหนียว สามารถต้านทานแรงกระแทกโดยตรงได้ดีเช่นกันซึ่งได้มีการนำมาใช้นานแล้วก่อนหมอนคอนกรีต หมอนเหล็กกล้านั้นมีใช้อยู่ทั่วไปหลายประเทศแต่สำหรับการรถไฟแห่งประเทศไทยยังไม่มีความคิดจะใช้หมอนชนิดนี้
- หมอนเหล็กหล่อ:การใช้หมอนเหล็กหล่อก็เพราะเกี่ยวกับการขาดแคลนหมอนไม้ ลักษณะโดยทั่วไปทั่วไปของหมอนเหล็กหล่อทำเป็น 2 แท่นรองรับใต้รางข้างละแท่น แล้วยึดด้วยเหล็กกล้าคล้ายแบบหมอนคอนกรีตแต่ต่างแท่งเหล็กยึดถอดออกได้

(สยาม ยัมศิริ 2555)



รูปที่ 2-3 หมอนไม้ หมอนคอนกรีต หมอนเหล็กกล้า(ภาพจากgoogle)

2.1.3.หินโรยทาง (Ballast)

คือ วัสดุที่บดให้เป็นเม็ดวางบนผิว Sub structure โดยมีหมอนรองรางฝังอยู่ข้างในหินโรยทางส่วนมากให้หิน ที่มีเหลี่ยมมุม มีความแข็งและมีขนาดละเอียดเท่ากัน ไม่มีสิ่งสกปรกเจือปนอยู่ มีหน้าต้านทานแรงตามแนวขวาง ยาวและตั้งโดยนิยมใช้หินชนิด Granite, Basalt, Andesite และ Quartzite



รูปที่ 2-4 หินโรยทาง (Ballast) ชนิดต่างๆ(ภาพจากgoogle)

หน้าที่ของBallast

- 1.ต้านทานแรง ตามแนวขวาง ยาวและตั้ง
- 2.ให้ความยืดหยุ่นและดูดซับพลังงานจากราง
- 3.ให้ช่องว่างเก็บสิ่งปนเปื้อน
- 4.ช่วยให้การปรับระดับทำได้ง่าย
- 5.ทำให้ระบายน้ำได้เร็ว
- 6.ช่วยลดความเค้นที่กระทำกับหมอนรองรางให้อยู่ในระดับที่รองรับได้
- 7.กั้นการเจริญเติบโตของพืชในราง
- 8.ดูดซับเสียงในอากาศ

การทดสอบคุณสมบัติของBallast

โดยจะมีการทดสอบดังนี้

1). Particle Characteristics (คุณสมบัติของอนุภาค)

- Durability Tests
- Shape Tests
- Gradation
- Unit Weight
- Environmental Test
- Cementing Characteristics
- Identification and Composition

2). Effects of Particle Characteristics on Behavior

- Specific Gravity and Absorption
- Shape Angularity and Surface Texture
- Gradation and Size
- Supplemental Triaxial Tests
- Conclusions about Several Particle Characteristics
- Petrographic Analysis

3).Repeated Load

- Resilient Behavior
- Plastic Behavior

(Selig & Water 1994)

ขนาดของBallast จะต้องมีความเหมาะสมโดยมีเปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักผ่านตะแกรงรูปลี่เหลี่ยมดังนี้

ผ่านตะแกรงรูปลี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 60 มม.	100 เปอร์เซนต์
ผ่านตะแกรงรูปลี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 50 มม.	80-100 เปอร์เซนต์
ผ่านตะแกรงรูปลี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 40 มม.	25-70 เปอร์เซนต์
ผ่านตะแกรงรูปลี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 25 มม.	0-20 เปอร์เซนต์
ผ่านตะแกรงรูปลี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 20 มม.	0-5 เปอร์เซนต์

การบำรุงรักษาลาสต์ Ballast maintenance cycle characteristics

ภายใต้แรงที่กระทำจากการใช้งาน ทางรถไฟจะมีการเคลื่อนตัวไปในทิศทาง ตามยาว แนวตั้ง ตามแนวขวาง ที่เล็กน้อย

การใช้รถอัดหินนั้นเป็นวิธีที่ให้ผลดี และ มีความถูกต้องตามหลัก ธรณีวิทยา อย่างไรก็ตาม การใช้ รถอัดหินย่อมมาพร้อมความเสียหายที่เกิดกับตัว ballast และ ทำให้ตัว ballast นั้น สูญเสีย ความสามารถในการต้านทานการเคลื่อนที่ตามแนวขวางของทางรถไฟ

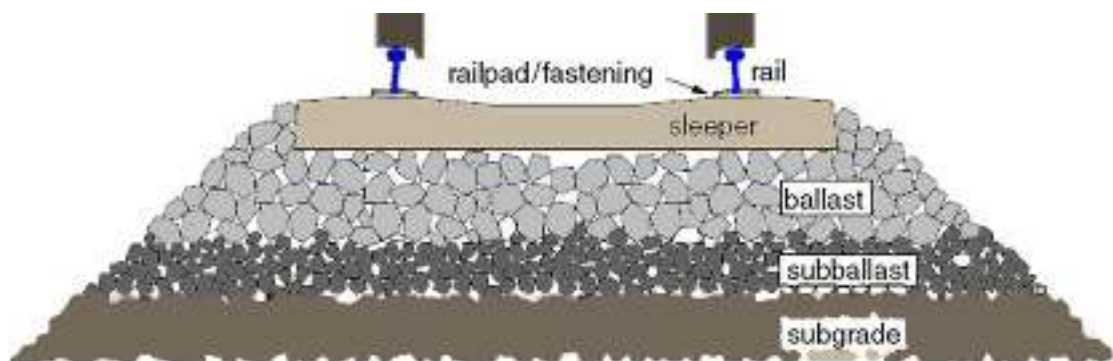
วิธีบำรุงรักษาลาสต์

- ทำให้ตัว ballast นั้นมีการเรียงตัวกันใหม่ โดยใช้รถอัดหิน โกยหินที่อยู่ระหว่าง sleeper 2 อันเข้าหากัน โดยในขณะที่จะมีการสั่นด้วย โดยการสั่นนี้จะทำให้อนุภาคบางส่วนมีการแตก

2.1.4. Subballast

คือชั้นของวัสดุมวลละเอียดที่อยู่ระหว่างหินโรยทางและชั้นดิน ดังรูปที่ 2-5 มีหน้าที่สำคัญ 2 อย่างคือ

- 1.ลดความเค้นที่เกิดจากการจราจรที่กระทำต่อดิน
- 2.ช่วยป้องกันการผิวดินจากน้ำแข็ง



รูปที่ 2-5 โครงสร้างทางรถไฟ(Selig & Water 1994)

Sub ballast Requirements

1).ลดความเค้นของชั้นดิน

การลดความเค้นของชั้นดินของ sub ballast เป็นเพียงตัวช่วย ballast ในการรับเท่านั้น จะเป็นการใช้ปริมาณมากกว่าที่ควรถ้าหากให้ ballast อย่างเดียวทำหน้าที่ลดความเค้น เพราะต้องการความลึกที่มีกระหว่างหมอนรองรางและพื้นผิวของชั้นดิน ธรรมชาติของวัสดุ sub ballast นั้นเหมาะสมที่จะช่วยลดความเค้นของชั้นดิน ความหนาของชั้น sub ballast นั้นจะพิจารณาจาก ระยะจากด้านล่างของหมอนรองราง จนถึงผิวหน้าของชั้นดินเพื่อให้วัสดุของ sub ballast นั้นมี ค่า โมดูลัสยืดหยุ่นและค่าเสถียรภาพความเครียดพลาสติกที่สะสมจากแรงที่ทำ โดยล้อที่สูงเพียงพอ เพื่อให้ได้วัสดุที่มีค่าการซึมผ่านที่เพียงพอจะหลีกเลี่ยง positive pore pressure ที่เกิดจากแรงที่กระทำซ้ำๆต้องใช้วัสดุที่มีความคงทนและเปลี่ยนแปลงความชื้นได้ ยาก โดยใช้ส่วนผสมของทรายและกรวดที่ถูกบดและขัดสี มาตรฐาน ASTM D1241 standard specification สำหรับมวลรวมหยาบชั้นถนน จะถูกใช้ใน รากฐานของ sub ballast ใน north America หินที่ใช้ต้องผ่านการทดสอบ LAA ตามมาตรฐาน ASTM c131 (Selig & Water 1994)

2).การป้องกันการรวมตัวของชั้นดินและballast

- Sub ballast นั้นป้องกันการรวมตัวกันของ ballast และ subgrade และป้องกันการย้ายตัวขึ้นของชั้นดินไปที่ ballast ด้วย
- Subgrade seepage carrying soil particles
(อนุภาคของดินซึมซาบเข้าสู่ผิว Subgrade)

3).การป้องกันการขัดสีของชั้นดิน

เมื่อหินถูกวางลงไปเจอกับดินละเอียด หรือ soft rock subgrade หากมีน้ำอยู่ ballast จะทำให้ชั้นดินสึก

4).การระบายน้ำ

Sub ballast ทำหน้าที่สำคัญ2อย่างในการระบายน้ำ

- 1.ชั้นน้ำที่เข้ามาจาก Ballast โดยจะระบายน้ำที่ซึมลงมาจาก Ballast ออก ด้านข้าง

2.คือดูดซับน้ำที่ซึมขึ้นมาจากชั้นดิน ทำให้ sub ballast ควรเป็นวัสดุที่มีการระบายน้ำดีกว่า subgrade โดยจะระบายน้ำที่ซึมขึ้นจาก Subgrade ออกด้านข้าง (Selig & Water 1994)

5).ฐานรากของ sub ballast

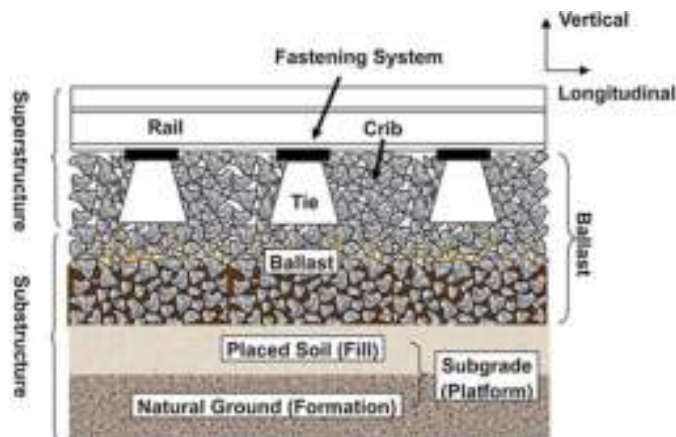
ก่อนจะติดตั้ง sub ballast นั้น พื้นผิวของดิน จะต้องถูก บดอัด และ เตรียมการสำหรับการระบายน้ำก่อนจากนั้นจึงวาง sub ballast และบดด้วยความชื้นที่เหมาะสมแต่ละชั้นต้องไม่บางกว่า 100-150 มิลลิเมตร(Selig & Water 1994)

2.1.5.ชั้นดิน(Subgrade)

เป็นฐานของโครงสร้างทางรถไฟ มีหน้าที่ให้เสถียรภาพกับฐานรากของหินโรทาง มีอิทธิพลในการลดความเค้นที่มาจากการใช้งานจะอยู่ลึกลงไปจากหมอนรองทางรถไฟดัง รูปที่2-6 เป็นโครงสร้างที่มีความสำคัญมากกับทางรถไฟ มีความสำคัญกับประสิทธิภาพของรางและการซ่อมบำรุงเช่น Subgrade จะคอยรับน้ำหนักจาก super structure อีกทีและช่วยให้เกิด elastic Deflectionกับราง (Selig & Water 1994)

แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

- 1.ดินธรรมชาติ (ใช้โดยไม่ไปยุ่งกับดินเดิมแต่ใช้เทคนิคเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของดินได้)
- 2.ดินที่นำมาถมเพิ่ม ใช้เพื่อต้องการระดับที่มันสูงขึ้นและเท่ากันตลอดของรางเพื่อให้ subgrade มีประสิทธิภาพที่ดี



รูปที่ 2-6 ชั้นดินฐานราก(Subgrade) (Selig & Water 1994)

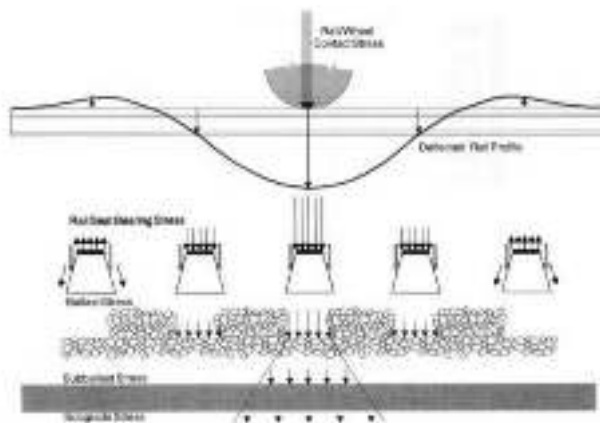
การพังของดินที่ควรหลีกเลี่ยง

- การทรุดตัวที่มากเกินไปเนื่องจากแรงที่มากจากการใช้งาน
- การทรุดตัวจากการอัดตัวคายน้ำและMassive Shear force ภายใต้ น้ำหนักของโครงสร้างรางรถไฟ รถไฟ และดิน
- การรับแรงเฉือนจากล้อที่กระทำซ้ำ
- การเปลี่ยนแปลงปริมาณที่มากพอจากการสูญเสียความชื้น
- การก่อดำของน้ำแข็งและการละลายของน้ำแข็ง
- การขดตัวของ Subgrade

(Selig & Water 1994)

2.2.การรับแรง (Track force)

โครงสร้างของทางรถไฟจะต้องยับยั้งแรงตามแนว แนวขวาง แนวตั้ง ที่กระทำอย่างต่อเนื่องจากการใช้งานและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ โดยแรงทั้งหมดจะถูกกระทำโดยรถไฟ และส่งผ่าน superstructure ลงสู่ substructure ดังรูปที่2-7



รูปที่ 2-7 การรับแรง (Selig & Water 1994)

ประเภทของ Track force

- 1). Vertical Force คือ แรงที่ตั้งฉากกับระนาบของรางประกอบไปด้วย
 - Vertical wheel force (แรงจากล้อของรถไฟ)
 - Uplift force (แรงยก)
 - 2). Lateral force คือ แรงที่กระทำขนานกับแกนยาวของหมอนรองรางรถไฟ มีที่มาจาก
 - Lateral wheel force
 - Bucking reaction force
 - 3). Longitudinal force คือ แรงที่กระทำขนานกับรางมีต้นกำเนิดจากหลายๆสาเหตุ เช่น
 - แรงฉุดของหัวรถจักรใช้เพื่อเร่งรถไฟ
 - แรงเบรคจากหัวรถจักร
 - การหดและขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ
 - Rail wave action
- (Selig & Water 1994)

2.3. Track Transition

คือบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของ Super Structure เช่น ทางรถไฟที่ตัดผ่านถนน หรือ Sub Structure เช่น Bridge Approach, จาก Ballast Track เป็น Slab Track หรือ เปลี่ยนแปลงทั้ง Super Structure และ Sub Structure

ณ นี้จะกล่าวถึงเพียงบริเวณ Bridge Approach เท่านั้น

Bridge Approach คือ ช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของรางในเวลาสั้นๆจาก Approach Embankment ไปสู่

โครงสร้างบนสะพาน ในบริเวณดังกล่าวนี้จะเกิดการsettlementที่แตกต่างกัน ส่งผลให้เกิดการบำรุงรักษาบ่อยกว่าปกติที่เนื่องจากในบริเวณคอสะพานนั้นเป็นพื้นที่ที่ทำการซ่อมบำรุงได้ยากกว่าปกติ ยังมีผลกระทบอย่างอื่นที่ตามมา เช่น ทำให้การสัญจรของรถไฟต้องหยุดชะงักลง การจำกัดความเร็ว ความล่าช้าของรถไฟและผลทางด้านลบต่าง ๆ ทั้งกับรถไฟและทางรถไฟ

(Dingqing Li& David Davis 2005)



รูปที่ 2-8 ภาพแสดงการทรุดตัวของรางบริเวณ Bridge Approach(ที่มา: Dingqing Li, James Hyslip, Ted Sussmann, Steven Chrismer 2015)

2.4 ปัญหาที่เกิดขึ้นบริเวณ Bridge Approach

- มีการซ่อมบำรุงบ่อยครั้งซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่สูง
- ประสิทธิภาพในการระบายน้ำของ Ballast ลดลงทำให้เกิดโคลนทะลักขึ้นมาบนรางเนื่องจากBallast มีการสึกกร่อน
- การเกิดหินฟอกขาว เป็นลักษณะของหินที่นำมาใช้เกิดการขัดสีเมื่อถูกแรงกระทำจากรถไฟ ทำให้เกิดเป็นฝุ่นสีขาว และ เหลี่ยมคมของหินจะหายไปทำให้รับน้ำหนักได้ไม่ดีและเกิดการหลุดตัวของทางรถไฟเร็วขึ้น
- รางรถไฟมีsettlementไม่เท่ากัน ปัญหานี้อาจเกิดสืบเนื่องมาจากปัญหาต่างๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงอย่างมากของค่าTrack Stiffness การพังของballast การเกิดหินฟอกขาว

2.4.1 สาเหตุของปัญหาในบริเวณ Bridge Approaches

- การเปลี่ยนแปลงอย่างมากของค่า Track Stiffness ของทั้ง 2 บริเวณที่แตกต่างกัน อันเนื่องมาจากโครงสร้างที่แตกต่างกันทำให้เกิดsettlementที่ไม่เท่ากันในบริเวณที่เท่ากัน ซึ่งปัญหาของค่า stiffness นี้จะเป็นสาเหตุของปัญหาอื่นๆที่ตามมา เช่น การแตกของballast
- สาเหตุจากทางธรณีวิทยา อาจจะอันเนื่องมาจาก การบดอัดที่ไม่ดี การอัดตัวคายน้ำของดินถม การระบายน้ำที่ไม่ดี (Briud et al 1997;Smekal 1997;Hope 2001)
- ballast ที่บริเวณ Bridge Approaches นั้นจะมีsettlementมากกว่า ที่บริเวณสะพาน เนื่องจากด้านล่างเป็นชั้นดิน จึง ทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของระดับส่งผลให้เกิด dynamic load กับ ทางรถไฟ

(Dingqing Li& David Davis 2005)

2.4.2 แนวทางในการแก้ปัญหา

โดยการศึกษาเน้นแก้ปัญหาในสาเหตุที่ว่าด้วย ความแตกต่างระหว่างค่า Stiffness เท่านั้น

- การเพิ่มค่าstiffnessของทางรถไฟก่อนถึงคอสะพานโดยจะเป็นการเพิ่มขึ้นพิเศษในชั้นSubgrade เช่น การใช้ geocell, การใช้ Hot Mix Asphalt(HMA), การใช้ซีเมนต์ แต่การแก้ปัญหาโดยการเพิ่มค่า Stiffness ของ Approach Track นั้นไม่สามารถเทียบเท่ากับบริเวณสะพานได้จึงทำให้ได้ผลไม่เป็นที่น่าพอใจนัก (Dingqing Li & David Davis 2005)
- การลดค่าstiffnessของทางรถไฟบนสะพาน เช่น การใช้ Under Sleeper Pads(USP), Under Ballast Mat(UBM) ซึ่งสามารถแก้ปัญหาการเสื่อมสภาพลดลงได้เป็นที่น่าสนใจ การหลุดตัวของรางลดลง ส่งผลให้สามารถขยายเวลาการบำรุงรักษาไป 2 เท่าจากเดิม ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาลง (Prof. Hannes Brabbe & B F Mtshotana)

ซึ่งในที่นี้จะเปรียบเทียบผลการทดสอบต่างกับทางรถไฟบริเวณ Bridge Approaches ที่ถูกปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการลดค่า Stiffness ของทางรถไฟบนสะพาน โดย เลือกใช้ Under Ballast Mat(UBM) ซึ่งการลดค่า Stiffness บริเวณบนสะพานนั้นจะช่วยลดความต่างของค่า Stiffnessซึ่งเป็นสาเหตุหลักของปัญหาที่ตามมาได้

2.5 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 การปนเปื้อนของหินโรยทาง (Ballast Fouling)

เมื่อทางรถไฟถูกใช้งานไป Ballast จะถูกปนเปื้อนด้วยวัสดุหลากหลายชนิด หรือ ที่เรียกว่า Ballast Fouling ซึ่งจะสะสมในช่องว่างของ ballast อนุภาคที่ปนเปื้อนขนาด coarse sand และ fine gravel นั้นจะลดค่า shear strength และ stiffness ของ ballast ลดขนาดของช่องว่าง(void)ให้น้อยลงส่งผลให้การจัดแนวราง และการระบายน้ำทำได้ยากขึ้น เมื่อช่องว่างถูกเติมเต็มทั้งหมดจะทำให้เกิดการหลวมคลอนทำให้เกิดการหลุดตัวได้มากขึ้น

โดยทั่วไปจากปนเปื้อนจาก coarse sand และ fine gravel นั้นจะไม่ทำมห้ค่าบำรุงรักษาสูงขึ้นมากนักและสามารถล้างหินได้ แต่ถ้าเป็นการปนเปื้อนจาก silt และ clay (อนุภาคละเอียด) โดยวัสดุ fouling พวกนี้จะขัดขวางการระบายน้ำและเพิ่มการขัดสีของ ballast อันเนื่องมาจาก

- Hydraulics Erosion

- Subgrade Attrition
- การสูญเสียเสถียรภาพอันเนื่องมาจาก particle lubrication

และในที่สุดเมื่อมีการ fouling ของอนุภาคละเอียดเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการ tamping ลดลง เพราะ เมื่อวัสดุ fouling แห้ง จะทำให้ ballast จัดเรียงตัวได้ยาก และ เมื่อวัสดุ fouling เปียก

ผิวสัมผัสของตัวอนุภาคจะถูกเคลือบด้วยอนุภาคละเอียด ballast จะมีโครงสร้างที่อ่อนแอหลังจาก tamping โครงสร้างของทางจะต้องถูกบำรุงรักษาเพิ่มขึ้นจนทำให้ต้องใช้ ballast ใหม่เข้ามาแทนที่ โดยทั่วไปสาเหตุของการ fouling มีดังต่อไปนี้

- การสึกกร่อนของ ballast
- การปนเปื้อนโดยอนุภาคละเอียดที่มาจากผิวทาง
- การสึกกร่อนของ sleeper
- การปนเปื้อนจาก sub-ballast
- การปนเปื้อนจาก subgrade

การวิเคราะห์ **Ballast Fouling**

1).Fouling Index (FI)

โดย Selig&Walters ได้เสนอดัชนี 2 ตัวในการอธิบาย ballast fouling คือ (i)%fouling ซึ่งมีนิยามคือน้ำหนักแห้งของ ballast ส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 9.5 มม.(3/8 นิ้ว) ต่อ น้ำหนักแห้งทั้งหมด และ (ii)fouling index(FI)นิยามดังสมการต่อไปนี้

$$FI = P_4 + P_{200}$$

โดย P₄ และ P₂₀₀ คือ%ของ ballast ที่ผ่านตะแกรง เบอร์4(4.75 มม.) และ เบอร์200(0.075 มม.)โดยระดับการปนเปื้อนจะถูกกำหนดโดยค่า FI ซึ่งนิยามโดย Selig & Water ดังตาราง

Table 1. Categories of fouling based on the fouling index, percentage of fouling, and relative ballast fouling ratio.

Category	Fouling index (Selig and Waters 1994) (%)	Percentage of fouling (%)	Relative ballast fouling ratio (%)
Clean	<1	<2	<2
Moderately clean	1 to <10	2 to <9.5	2 to <10
Moderately fouled	10 to <20	9.5 to <17.5	10 to <20
Fouled	20 to <40	17.5 to <34	20 to <50
Highly fouled	≥40	≥34	≥50

รูปที่ 2-9 การวัดความปนเปื้อน (Selig & Water 1994)

2) Percentage Void Contamination (PVC)

Feldman & Nissen (2002) ได้เสนอพารามิเตอร์ PVC เพื่อบอกถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากการลดลงของช่องว่างใน Ballast โดยมีสมการดังนี้

$$PVC = \frac{V_2}{V_1} \times 100$$

เมื่อ V_1 คือ ปริมาตรช่องว่างของ Re-Compacted Ballast และ V_2 ปริมาตรทั้งหมดของ Re-compacted Fouling Material (อนุภาคที่ผ่านตะแกรงขนาด 9.5mm)

3) Relative Ballast Fouling Ratio (R_{b-f})

โดยเปรียบเทียบ % fouling และ PVC โดย R_{b-f} เป็นอัตราส่วนของปริมาตรของ Fouling Material (ผ่านตะแกรงขนาด 9.5 mm) และ อนุภาคของ Ballast (ค้างบนตะแกรงขนาด 9.5 mm) โดย R_{b-f} สามารถบอกได้โดยสมการดังนี้

$$R_{b-f} = \frac{M_f \times \left(\frac{G_s - b}{G_s - f} \right)}{M_b} \times 100\%$$

เมื่อ M และ G_s คือ มวลแห้ง และ Specific Gravities ตามลำดับ และ subscript f และ b หมายถึง Fouling และ Ballast ตามลำดับ ในสมการข้างบน Mass of Ballast และ Mass กับ Specific Gravity ของ Fouling Material จำเป็นจะต้องถูกวัดค่าออกมา ดังนั้นในการเปรียบเทียบ ค่า R_{b-f} นั้นสามารถทำได้ดีกว่าในการบ่งบอกถึงระดับของความปนเปื้อน

การเปรียบเทียบระหว่าง R_{b-f} และ PVC

จากวิธี PVC เราสามารถเขียน V_1 และ V_2 ได้ในรูปของ

$$V_2 = \frac{M_f}{G_{s-f} \rho_w} (1 + e_f)$$

$$V_1 = \frac{M_b}{G_{s-b} \rho_w} (e_b)$$

(Buddhima Indraratna, Li-jun Su, and Chalachat Rujikiatkamjorn 2011)

Table 2. Categories of fouling based on PVC.

Category	PVC (%)
Clean	0–20
Moderately fouled	20–29
Fouled	>30

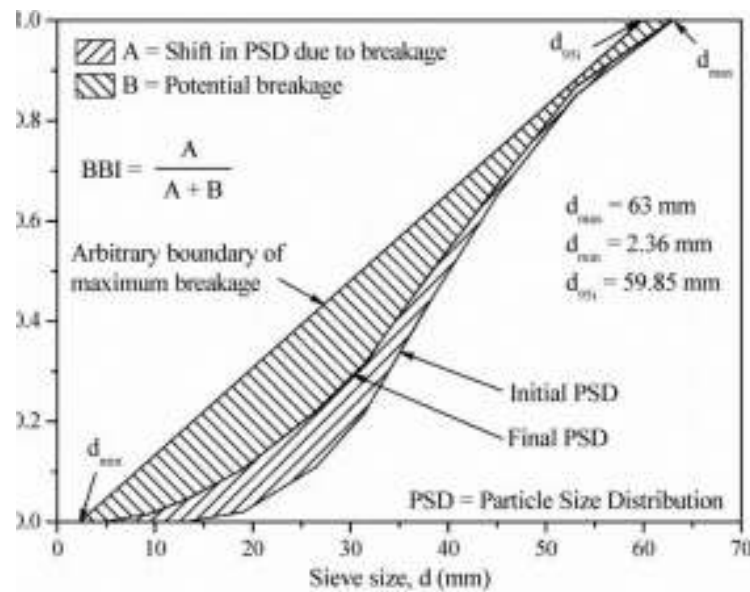
รูปที่ 2-10 การวัดความปนเปื้อนด้วยค่าPVC (Buddhima Indraratna, Li-jun Su, and Chalachat Rujikiatkamjorn 2011)

2.5.2 Ballast Breakage Index

จากภาพที่ 2-10 เป็นกราฟ particle size distribution ของการทดสอบ 2 ครั้งคือ ครั้งเริ่มต้น(initial)กับครั้งสุดท้าย(final)อยู่ภายใต้เส้น d_{95} ซึ่ง d_{95} นั้นมีค่าเป็น 95% ของขนาดตะแกรงที่มีช่องเปิดใหญ่ที่สุดกับค่าของตะแกรงที่มีขนาดช่องเปิดที่เล็กที่สุดเรียกเส้นนี้ว่า arbitrary boundary of maximum breakage ดังนั้นจะสามารถหาค่า BBI ได้จากสมการ

$$BBI = \frac{A}{A + B}$$

เมื่อ A คือพื้นที่ว่างระหว่างกราฟ PSD ครั้งเริ่มต้นและครั้งสุดท้าย และ B คือพื้นที่ระหว่างกราฟ PSD ครั้งสุดท้ายกับ arbitrary boundary of maximum breakage โดยค่า BBI จะมีค่าต่ำที่สุดคือ 0 หมายถึงไม่มีการแตกเกิดขึ้นและมีค่าสูงสุดที่ 1



รูปที่ 2-11 ภาพแสดงการหาค่า BBI (Sanjay NimBalkar, Buddhima Indraratna 2016)

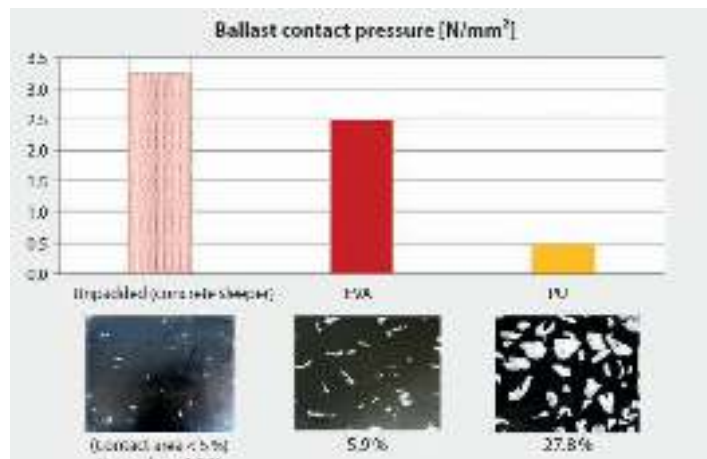
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Use of Sylomer Under Sleeper Pads to Reduce Ballast wear on Scadinavian Heavy Haul Line

ทางรถไฟขนของหนักระหว่าง Lulea ถึง Narvik นั้นได้มีการรับ load ที่เพิ่มขึ้นจึงได้มีการตัดสินใจใช้ Under Sleeper Pads เพื่อเพิ่มคุณภาพของทางรถไฟสายนี้ โดยการใส่ USP นั้นจะช่วยในการป้องกันสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นดังนี้

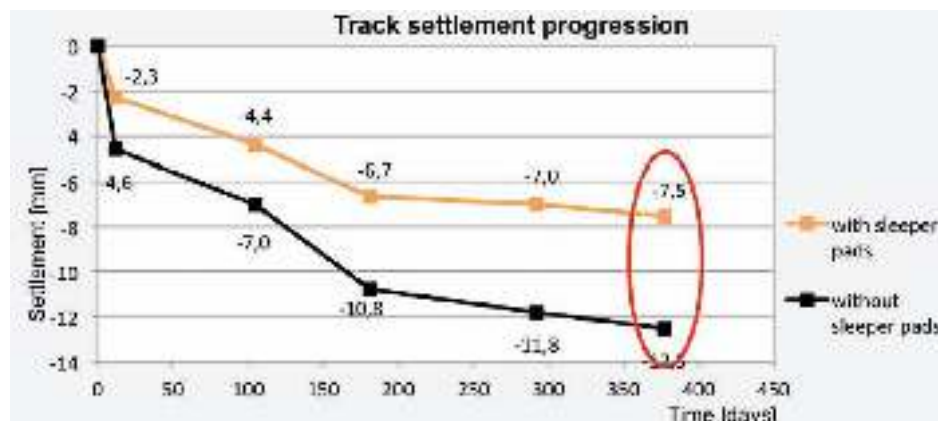
- ลด settlement ของชั้น Ballast และ Super Structure
- ลดการบิดงอของราง
- ปรับค่า Track Stiffness เพื่อ ลดการสึกของ Ballast
- ลดการสั่นสะเทือน
- ลดการโพรงหรือช่องว่างใน Ballast

การใช้ Under Sleeper Pad (USP) จะช่วยเพิ่มพื้นที่สัมผัสให้กับตัว Sleeper และ Ballast ทำให้ค่า Ballast Contact Pressure มีค่าที่ลดลง ทำให้ความสามารถในการต้านทานการเคลื่อนที่ด้านข้างของ Ballast นั้นสูงขึ้น (Herald Loy)



รูปที่ 2-12 กราฟแสดงค่า Ballast Contact Pressure ภายใต้ Concrete Sleeper Pads (Harald Stager & Harald Loy 2015)

การเพิ่มคุณภาพของทางรถไฟ ในทางรถไฟที่ไม่ได้ใส่ USP มีการ Settlement ในระยะยาว ต่างจากทางรถไฟที่ใส่แผ่น USP โดยเปรียบเทียบในระยะเวลา 377 วัน โดยแสดงในรูปกราฟดังนี้



รูปที่ 2-13 กราฟแสดงค่า Settlement โดยเทียบระหว่างใส่และไม่ใส่ USP ในระยะเวลา 377 วัน (Harald Stager & Harald Loy 2015)

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ในบทนี้กล่าวถึงวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย วิธีการเตรียมตัวอย่างรวมทั้งการทดสอบ Percent passing ของหินโรยทาง(Ballast) การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาทรุดตัว และการโก่งของรางรถไฟ Deflection

3.1 สถานที่ทำการทดสอบ

เส้นทางรถไฟรางคู่จังหวัดฉะเชิงเทราสถานีรถไฟแปดริ้ว ช่วงคอสะพาน อำเภอ เมือง จังหวัด ฉะเชิงเทรา กิโลเมตรที่ 61



รูปที่ 3-1 สถานีรถไฟแปดริ้ว ช่วงคอสะพาน อำเภอ เมือง จังหวัด ฉะเชิงเทรา (ที่มา: google map)



รูปที่ 3-2 ช่วงคอสะพานบริเวณที่ทำการทดสอบ



รูปที่ 3-3 รูปแบบสะพานเหล็ก

3.2 การทำทดสอบและการเก็บค่า

3.2.1.การเก็บค่าการทรุดตัวและการขยายตัวด้านข้าง

- อุปกรณ์ในการเก็บค่า

1.ชุดกล้อง Total Station



รูปที่ 3-4 กล้อง Total Station (ที่มา; <http://img.tarad.com>)

2.กล้องระดับ



รูปที่ 3-5 กล้องระดับ

3.ขาตั้งกล้อง



รูปที่ 3-6 ขาตั้งกล้อง(ภาพจากgoogle)

4.ไม้สตัฟ



รูปที่ 3-7 ไม้สตัฟ(ภาพจากgoogle)

5.เทพวັตระยะ



รูปที่ 3-8 เทพวັตระยะ

6.Settlement Plate และ Extensometer



รูปที่ 3-9 Settlement Plate และ Extensometer

- วิธีการเก็บค่าการยุบตัวและขยายตัวด้านข้าง

1. กำหนดจุดหนึ่งจุด เป็นจุด BM โดยที่จุดนั้นจะต้องมีสิ่งที่ยึดเกาะได้ชัดเจนและไม่สามารถขยับไปไหนได้
2. ตั้งกล้องที่จุดTPแล้วส่องไปจุดBMเพื่อหาค่าระดับอ้างอิงโดยจุดTPนั้นจะต้องเป็นจุดที่มีค่าระดับคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
3. นำไม้สตาฟหรือปริซึมไปวางที่ตำแหน่งที่ต้องการจะหาค่าระดับ โดยการเลือกใช้นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของกล้อง กล้องระดับจะใช้ไม้สตาฟ และ กล้องtotal station จะใช้ ปริซึม
4. อ่านค่าระดับที่ส่องได้
5. เปลี่ยนจุดไป sleeper เลขคู่ลำดับถัดไปและทำจนครบหาค่าระดับที่ได้ไปพลอตเป็นโปรไฟล์

3.2.2.การทดสอบ Sand cone method (ASTM1556)

- อุปกรณ์ในการทดสอบ Sand cone

1 อุปกรณ์ sand cone



รูปที่ 3-10 อุปกรณ์ sand cone

2.Base Plate



รูปที่ 3-11 Base Plate

3.ทรายมาตรฐาน



รูปที่ 3-12 ทรายมาตรฐาน

4.ถุงดำ



รูปที่ 3-13 ถุงดำ

การทดสอบนี้จะชั่งหลุมทดสอบด้วยมือและเก็บตัวอย่างที่ชั่งออกมาทั้งหมดไว้ จากนั้นหลุมจะถูกเติมเต็มด้วยทรายที่ไหลตกลงอย่างอิสระ ซึ่งเราทราบค่าหน่วยน้ำหนักของทรายและสามารถคำนวณหาปริมาตรของหลุมได้ ค่า in-place wet density ของตัวอย่างหาได้จากน้ำหนักตัวอย่างที่ชั่งที่ชั่งออกมาจากหลุมด้วยปริมาตรของหลุม หลังจากทราบความชื้นของดินจะคำนวณหาค่า dry unit weight ได้(สยาม ยิ้มศิริ 2013)

- **วิธีการทดสอบ**

1. ตรวจสอบความเสียหายของอุปกรณ์ทั้ง sand cone และ base plate และ เติมทรายหน่วยน้ำหนักมาตรฐานที่เรารู้ค่าหน่วยน้ำหนัก
2. ปรับพื้นผิวให้ได้ระดับอาจใช้ base plate เข้าช่วยในการปรับระดับ
3. ชั่งหลุมผ่านช่องกลางของ base plate โดยระวังอย่าให้รบกวนตัวอย่างรอบๆหลุม
4. เนื่องจากตัวอย่างเป็นหิน จึงต้องนำถุงดำมาครอบ base plate ไว้เพื่อกันไม่ให้ทรายไหลไปตามช่องว่างของหิน
5. ขนาดของหลุมขึ้นอยู่กับขนาดใหญ่สุดของอนุภาคของตัวอย่างในหลุมทดสอบ
6. ค่อยๆ sand cone และเปิดวาล์วให้ทรายลงไปในหลุมและอย่าให้ base plate และ cone ถูกกระแทก
7. ชั่งน้ำหนักของอุปกรณ์หลังจากการทดสอบเพื่อหาน้ำหนักของทรายที่ใช้ไปเพื่อนำไปคำนวณหาปริมาตรหลุม

- **การวิเคราะห์ผล**

นำค่า Dry Unit weight ที่ได้จากการทดสอบทั้ง 2 ชนิดคือ sand cone method และ rod unit weight มาเปรียบเทียบกัน ทั้งครั้งแรกและครั้งที่ 2

3.2.3 การทดสอบการหาขนาดคละ Sieve analysis (ASTM D422,D1140,D6913)

การทดสอบหาขนาดคละของหินโรยทาง(Ballast) โดยใช้การร่อนและล้างผ่านตะแกรง การใช้เครื่องร่อนมีขั้นตอน ตามการทดสอบต่างๆ เช่น ASTM C117,C136 และ D422 โดย แกนตั้งแสดงเปอร์เซ็นต์น้ำหนักวัสดุผ่านตะแกรง ส่วนแกนนอนแสดง Log ของขนาดอนุภาค วัสดุตามตารางที่ 3.1

เก็บตัวอย่างหินโรย (Ballast) ทางจากเส้นทางรถไฟรางคู่จังหวัดฉะเชิงเทราสถานีรถไฟแปดริ้ว ช่วงคอสะพาน อำเภอบึง เมือง จังหวัด ฉะเชิงเทรา นำมาทดสอบ 5 Kg. โดยเก็บ Ballast ที่บริเวณตรงกลางและด้านข้างทั้ง 2 ข้างของทางรถไฟ ทุกๆ 12 เมตรจากหมอนที่ 1

ตารางที่ 3-1 ขนาดตะแกรงที่ใช้ในการ Sieve

เบอร์ ตะแกรง	ขนาดช่องเปิด (mm)
2"	50
1 1/2"	37.5
1"	25
3/4"	19
1/2"	12.5
3/8"	9.5
No.4	4.75
No.16	1.18
No.40	0.425
No.60	0.25
No.100	0.15
No.200	0.075
Pan	0

- อุปกรณ์ในการทดสอบ Sieve analysis

1. ถังพลาสติก+แปลงขัด



รูปที่ 3-14 ถังพลาสติก+แปลงขัด

2. ถาดอลูมิเนียม



รูปที่ 3-15 ถาดอลูมิเนียม

3. ตู้อบ



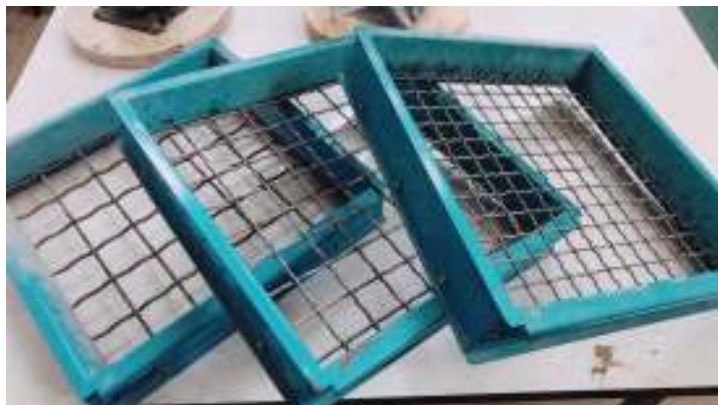
รูปที่ 3-16 ตู้อบ

4. ตะแกรง Sieve ละเอียด



รูปที่ 3-17 ตะแกรง Sieve ละเอียด

5. ตะแกรง Sieve หยาบ



รูปที่ 3-18 ตะแกรง Sieve หยาบ

6.เครื่อง sieve



รูปที่ 3-19 เครื่อง Sieve

7.เครื่องชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 3-20 เครื่องชั่งน้ำหนัก

- **วิธีการทดสอบ**

1. นำตัวอย่างหิน Ballast ที่เก็บมาจากสนาม 5 Kg. มาใส่ถังพลาสติก และแช่น้ำทิ้งไว้ 1 วัน
2. ชัดหิน Ballast ที่แช่น้ำทิ้งไว้ให้สะอาด นำตัวอย่างผ่านร่อนผ่าน ตะแกรงเบอร์ 4 และเบอร์ 200
3. Ballast ที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 ที่สะอาดแล้วใส่ถาดอลูมิเนียม และนำไปอบที่ตู้อบไว้ 1 วัน
4. Ballast ที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 200 นำมาใส่ถาดและนำไปอบที่ตู้อบไว้ 1 วัน
5. นำ Ballast ที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 ที่อบแล้วมา Sieve ผ่าน ตะแกรง No. 2" No. 1 1/2" No. 1" No. 3/4" No. 1/2" No. 3/8" และ No.4 โดยเครื่อง Sieve หิน 10 นาที
6. นำ Ballast ที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 200 ที่อบแล้วมา Sieve ผ่าน ตะแกรง No.4 No.16 No.40 No.60 No.100 และ No.200 โดย เครื่อง Sieve ดิน 10 นาที
7. ชั่งน้ำหนักตะแกรงและนำหนักตัวอย่างที่ค้างอยู่บนตะแกรง และ บันทึกค่า

- **การวิเคราะห์ผล**

นำน้ำหนักของ Ballast ที่ค้างอยู่บนตะแกรงที่ได้จากการ Sieve มาทำการคำนวณหา %passing และเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง %passing กับ ขนาดของมวลที่ได้ผลจากการ Sieve คำนวณหาค่า Cc Cu วิเคราะห์ค่า Founding index และเปรียบเทียบกับตัวอย่างชุดที่ 2

3.2.4 การทดสอบ Rod unit weight

เพื่อหาค่าหน่วยน้ำหนักและช่องว่างในมวลรวมค่าหน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) ใช้สำหรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักเป็นค่าปริมาตรหรือค่าปริมาตรเป็นค่าน้ำหนัก

- อุปกรณ์ในการทดสอบ Rod unit weight

1. ถังทรงกระบอก



รูปที่ 3-21 ถังทรงกระบอก

2. ท่อนเหล็กสำหรับกระทุ้ง



รูปที่ 3-22 ท่อนเหล็กสำหรับกระทุ้ง

3. เครื่องชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 3-23 เครื่องชั่งน้ำหนัก

● วิธีการทดสอบ

1. นำ Ballast ที่เก็บมาจากทางรถไฟที่ศึกษามาใส่ในถังทรงกระบอก 1/3 ของถัง
2. กระทุ้งด้วยท่อนเหล็ก 25 ครั้งให้ทั่วโดยไม่ให้ทะลุไปถึงก้นถัง
3. ใส่ Ballast เพิ่มเป็น 2/3 ของถัง
4. กระทุ้งด้วยท่อนเหล็กโดยไม่ให้ทะลุไปถึงชั้น ballast ก่อนหน้า 25 ครั้ง
5. ใส่ Ballast จนเต็มถังทรงกระบอก
6. กระทุ้งด้วยท่อนเหล็กโดยไม่ให้ทะลุถึงชั้นที่ 2 25 ครั้ง
7. นำ Ballast ที่อยู่ในถังทรงกระบอกไปชั่งและบันทึกค่าน้ำหนัก

3.3 วิธีการศึกษา

ระยะเวลา 3 เดือน

ตารางที่ 3-2 ตารางช่วงเวลาการดำเนินงาน

ระยะเวลา	วันที่ทำการเก็บตัวอย่าง
ทันทีหลังการติดตั้ง(ครั้งที่ 1)	วันที่ 22 ธันวาคม 2560
เก็บตัวอย่างครั้งที่ 2	วันที่ 24 มีนาคม 2561

การเตรียมติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเตรียมการเก็บข้อมูล

- พันสีตัวเลขบนหมอนรองรางรถไฟตั้งแต่หมอนที่ 1 จนถึงหมอนที่ 90 ที่ติดกับตัวสะพาน
- ติดตั้ง Settlement Plate และ Extensometer บริเวณช่วงหมอนที่ 23-24 และหมอนที่ 70-71
- กำหนดจุดติดตั้งกล้อง และจุด B.M.

การดำเนินงาน

- เก็บตัวอย่างหินโรยทางเพื่อนำมาทดสอบ Sieve analysis 5 Kg. โดยเก็บ Ballast ที่บริเวณตรงกลางและด้านข้างทั้ง 2 ข้างของทางรถไฟ โดยครั้งที่ 1 หมอนที่ 4 40 66 และ 80 และครั้งที่ 2 หมอนที่ 10 43 63 และ 77 เพื่อนำมาทดสอบการหาขนาดคละ Sieve analysis (ASTM D422,D1140,D6913)
- วัดค่าระดับที่ Settlement Plate โดยใช้กล้องระดับและไม้สตาฟ ที่หมอนที่ 23-24 และหมอนที่ 70-71 ได้ค่าการทรุดตัวมาเขียนเป็นกราฟโปรไฟล์ของทางรถไฟ
- วัดระยะระหว่าง Extensometer เพื่อเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงระหว่างครั้งแรกกับเมื่อเวลาผ่านไป3เดือน
- ทำการทดสอบ Sand cone บริเวณสถานที่ที่เก็บตัวอย่างเพื่อหา Unit weight
- ตัวอย่างที่เก็บมานำมาทำการทดสอบ Rod unit weight เพื่อหาค่า Unit weight

ผลการทดสอบ

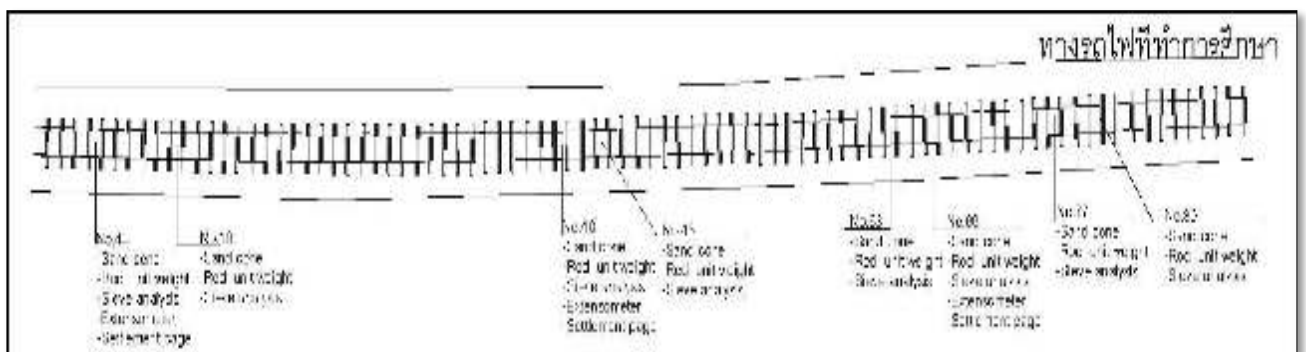
- จากการทดสอบ Sieve analysis ของหินโรยทาง(ballast) จะถูกเก็บอยู่ในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง %passing กับ ขนาดช่องเปิด เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลการแตกหัก
- ผลของการระดับจาก Settlement plate จะถูกทำรูปแบบโปรไฟล์ตลอดความยาวของทางรถไฟ
- ผลจากการวัด Extensometer จะนำมาเปรียบเทียบกับระหว่างการวัดในครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 เพื่อวิเคราะห์ว่า Extensometer ขยายขึ้นเท่าไร
- ผลจากการทดสอบ Sand cone จะได้ค่าหน่วยน้ำหนัก (Unit weight) เพื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับผลของการทดสอบ Rod unit weight และวิเคราะห์ผลต่อไป

วิเคราะห์ผล

- วิเคราะห์ผล sieve ของ ballast เพื่อคำนวณหาค่า Fouling Index(FI) โดยค่า FI จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงการแตกของ Ballast
- นำผลของการสำรวจการระดับมาวิเคราะห์ในรูปของกราฟเพื่อหาค่าระดับที่เปลี่ยนแปลงไป ของทั้งตัวราง และ settlement plate
- เปรียบเทียบค่า unit weight เพื่อศึกษาการแตกของ Ballast

จุดที่ทำการทดสอบ

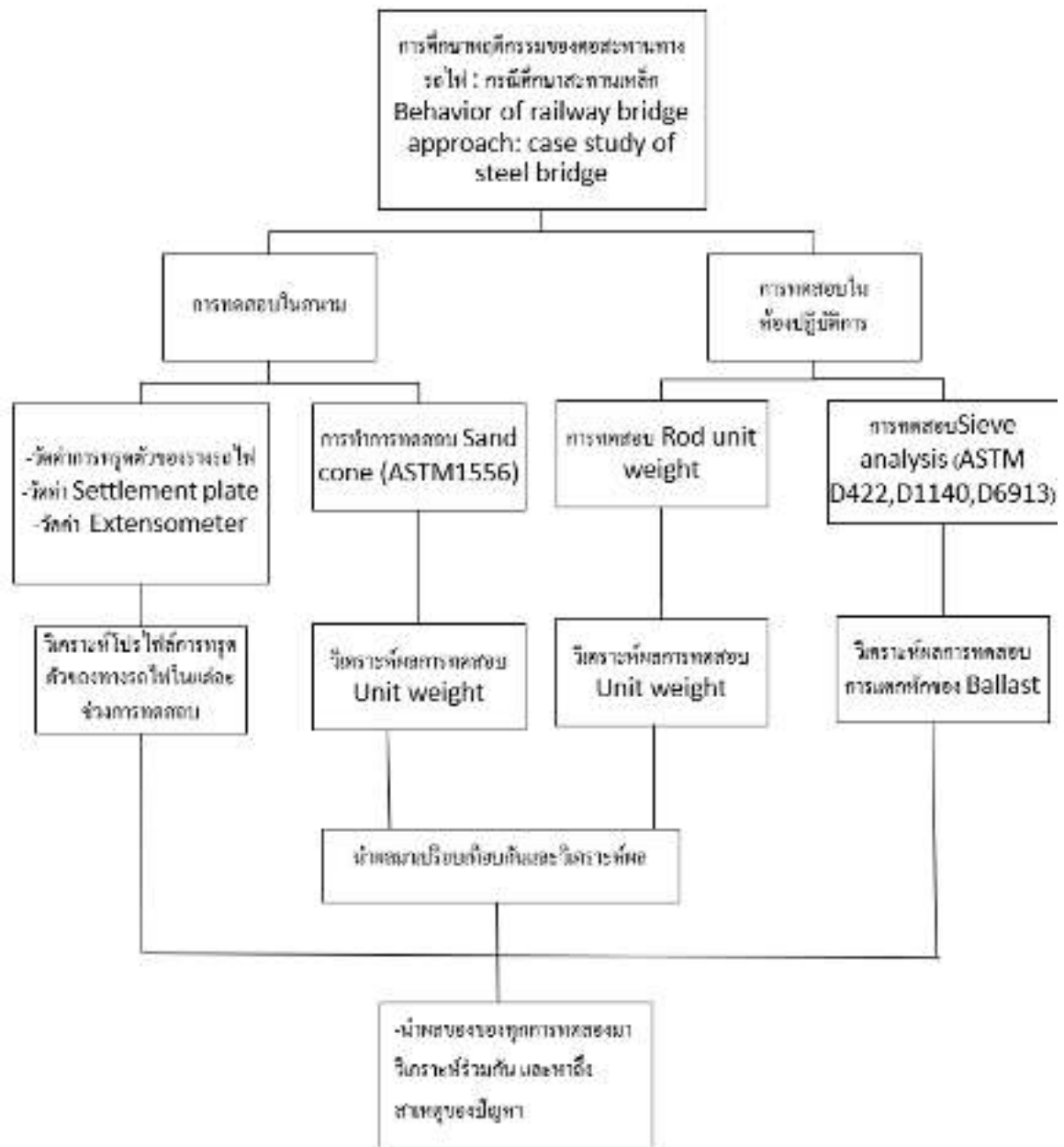
ทำการทดสอบ 2 ครั้งโดย ครั้งที่ 1 จะทำการเก็บค่าและทดสอบ ที่หมอนที่ 4, หมอนที่ 40, หมอนที่ 63 และหมอนที่ 77 ครั้งที่ 2 จะเก็บค่าและทดสอบ ที่หมอนที่ 10, หมอนที่ 43, หมอนที่ 66, และหมอนที่ 80 โดยการเก็บค่าและการทดสอบจะประกอบไปด้วย การวัดค่า Settlement page การวัดค่า Extensometer การทดสอบ Sand cone การทดสอบ Rod unit weight และการทดสอบ Sieve analysis โดยตำแหน่งที่ทำการทดสอบดังรูปที่ 3-24



รูปที่ 3-24 ภาพแสดงตำแหน่งที่ทำการทดสอบ

3.4 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงานในครั้งที่ 1 วันที่ 22 ธันวาคม พ.ศ.2560 และ ครั้งที่ 2 ในวันที่ 24 มีนาคม พ.ศ.2561 จะดำเนินงานตามรูปภาพที่ 3-25



รูปที่3-25 แผนภาพแสดงวิธีการดำเนินงาน

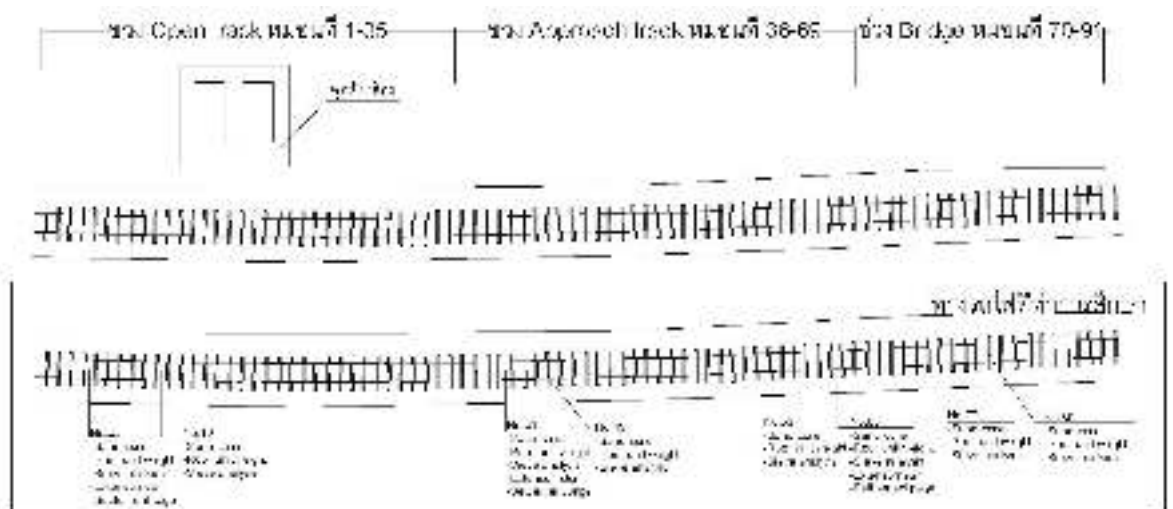
บทที่ 4 การทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการเก็บค่าระดับของทางรถไฟ

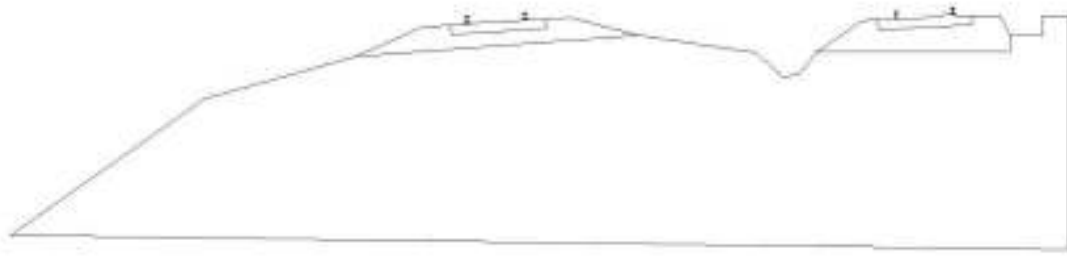
รูปที่ 4-1 แสดงถึง Side view ของทางรถไฟที่ทำการทดสอบและเก็บค่า โดยจะประกอบไปด้วย 3 ช่วง ได้แก่ Open track หมายเลข 1-35 ช่วง Approach track หมายเลข 36-69 และช่วง Bridge หมายเลข 70-91 รูปที่ 4-2 แสดงถึง Top view ของทางรถไฟที่ทำการทดสอบและเก็บค่า และรูปที่ 4-3 Cross section ทางรถไฟหมายเลข 10 โดยใช้กล้อง Total station ในการเก็บระดับ



รูปที่ 4-1 รูป Side view แสดงช่วงทางรถไฟที่ทดสอบ



รูปที่ 4-2 รูป Top view แสดงช่วงทางรถไฟที่ทดสอบ



รูปที่ 4-3 รูป Cross section ทางรถไฟหมอนที่ 10

4.1.1.วิเคราะห์ผลการทรุดตัวของทางรถไฟ

โดยค่าระดับเดิมจากการวัดครั้งที่ 1 วันที่ 22 ธันวาคม 2560 จะสมมติค่าจุดอ้างอิงมีค่าระดับ เท่ากับ 10 เมตรจะได้ผลการวัดค่าระดับได้ดังรูปที่ 4-4 และจากการวัดด้วยกล้อง Total station ได้ผลดังรูปที่ 4-8

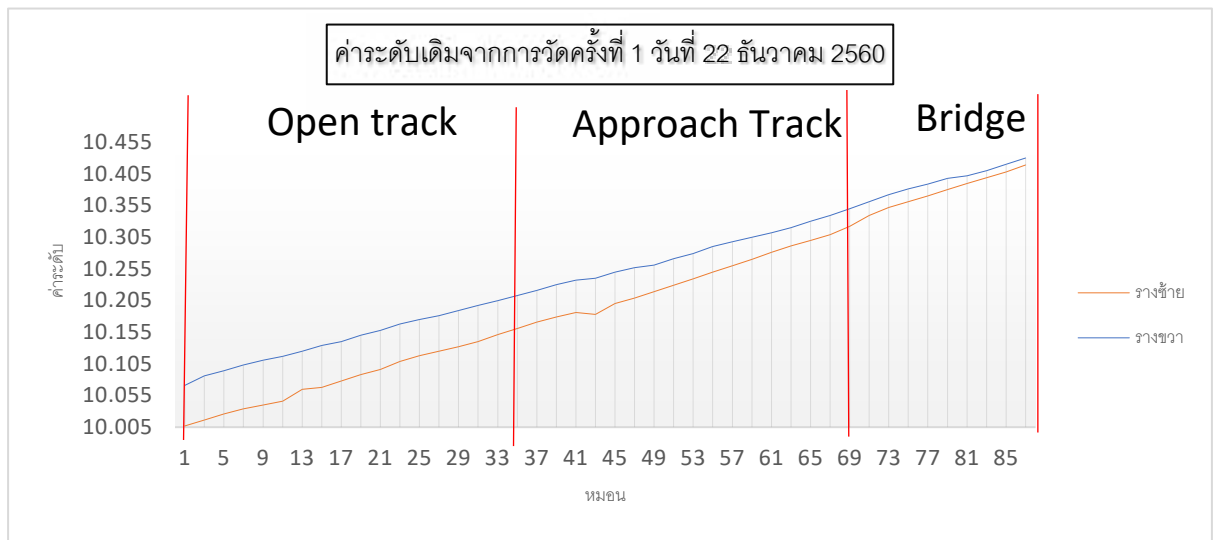
การวัดโดยกล้องระดับในช่วงของ Open track ของทางรถไฟรางรถไฟฝั่งด้านซ้ายมีระดับที่ทรุดลง 1.22 mm.รางฝั่งขวาทรุดลง 0.61 mm เนื่องมาจากฝั่งขวาของทางรถไฟเป็นฝั่งที่มีการยกโค้งของทางรถไฟทำให้ฝั่งซ้ายมีการรับน้ำหนักของรถไฟมากกว่าฝั่งขวาทำให้ฝั่งซ้ายทรุดลงมากกว่า ในช่วง Approach Track รางฝั่งซ้ายจะการทรุดตัวลงมา 1.52 mm และฝั่งขวาทรุดลง 1.35 mm.ซึ่งมากกว่า Open track และในช่วง Bridge การทรุดตัวของรางฝั่งซ้าย 1.78 mm.และฝั่งขวา 1.22 mm.

การวัดโดยกล้อง Total station จะมีค่าที่แปรปรวนมากกว่ากล้องระดับแต่จะมีความละเอียดมากกว่าโดยในช่วง Open track รางฝั่งซ้ายทรุดตัวลงมา 2.28 mm. แต่ฝั่งขวามีระดับที่สูงขึ้นจากเดิม 2.61 mm. ในช่วง Approach Track รางฝั่งซ้ายทรุดตัวลงมา 0.47 mm. รางฝั่งขวามีระดับที่สูงขึ้น 7.41 mm. ช่วง Bridge การทรุดตัวของรางฝั่งซ้าย 1.11 mm.และฝั่งขวา 10.44 mm.

พบว่าในเวลา 3 เดือนทางรถไฟมีการทรุดตัวเพิ่มขึ้นจากการสำรวจวัดค่าระดับครั้งที่ 1 ประมาณ 0.5-1.8 mm.อันเนื่องมาจากการแตกหักของ Ballast โดยการทรุดตัวที่รางรถไฟฝั่งซ้ายมากกว่าฝั่งขวา อันเนื่องมากรางฝั่งซ้ายเป็นฝั่งที่รับน้ำหนักของรถไฟมากกว่าฝั่งขวาเป็นผลมาจากการเข้าโค้งของรถไฟ แต่ในทางกลับกันค่าที่วัดโดยกล้อง Total station จะมีความแปรปรวนมากกว่ากล้องระดับและไม้สตาฟเนื่องจากกล้อง Total station มีความละเอียดมากกว่ากล้องระดับ แต่ค่าเฉลี่ยมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน ยกเว้นรางขวาที่มีการยกโค้งที่วัด

โดยกล้อง Total station ระดับของรางจะสูงขึ้นกว่าที่วัดครั้งแรก สาเหตุที่รางฝั่งขวามีระดับสูงขึ้นอันเนื่องมาจากน้ำหนักของรถไฟที่มากลงบริเวณรางซ้ายทำให้ Sleeper เกิดการกระดกบริเวณทางขวาทำให้ระดับสูงขึ้น

- การวัดด้วยกล้องระดับ

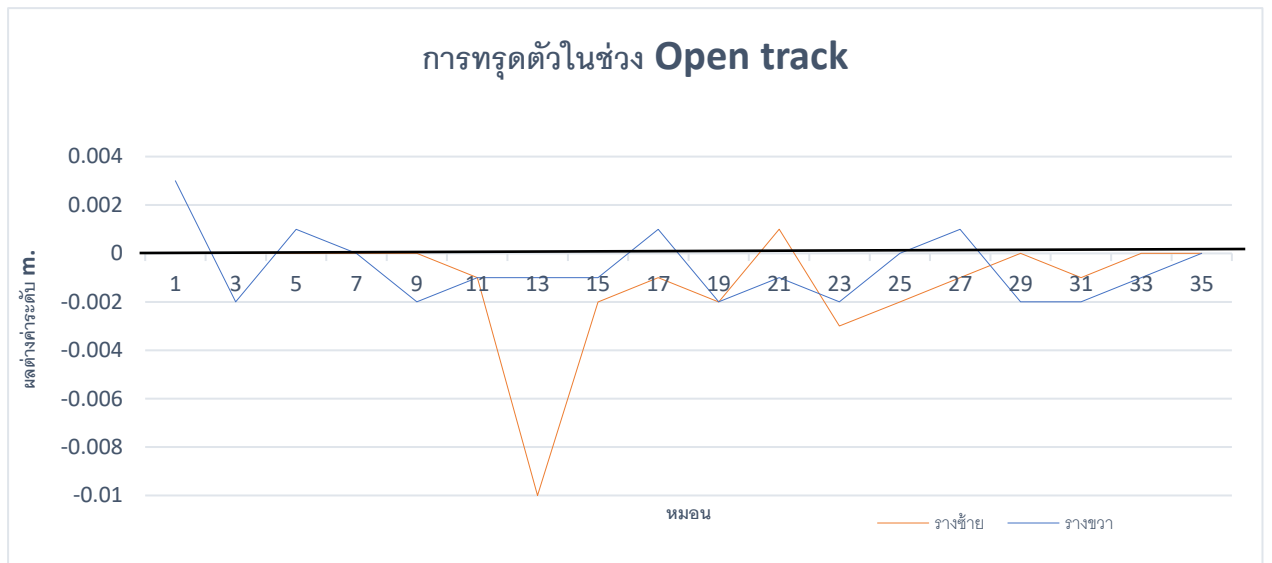


รูปที่ 4-4 ค่าระดับเดิมของทางรถไฟที่ทำการศึกษา

ตารางที่ 4-1 ผลต่างเฉลี่ยของค่าระดับจากกล้องระดับ

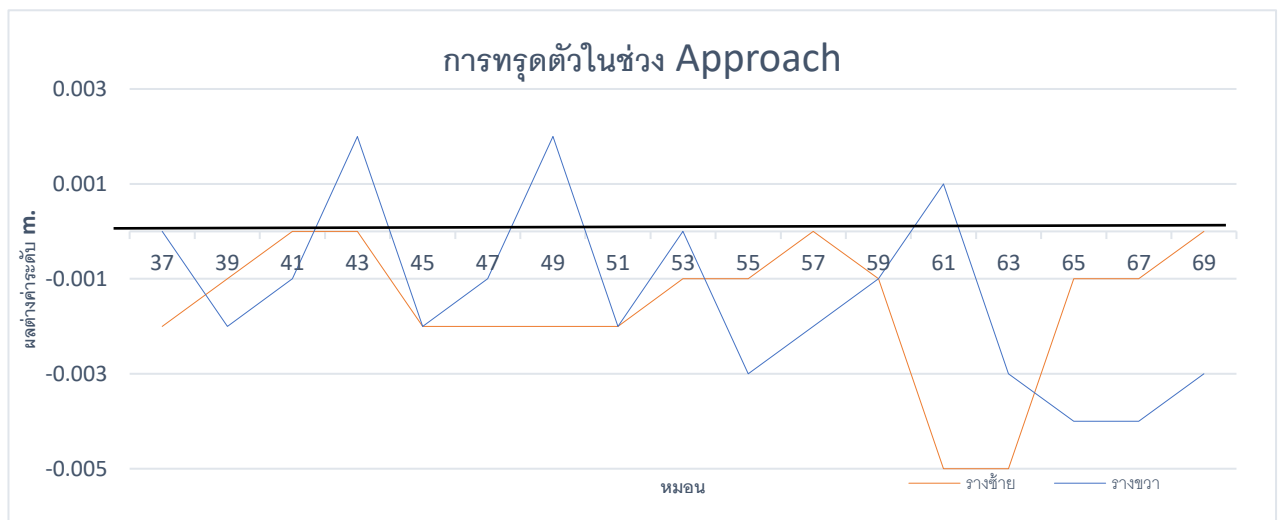
บริเวณ	รางฝั่งซ้าย (mm)	รางฝั่งขวา (mm)
Open Track	-1.22	-0.61
Approach Track	-1.52	-1.35
Bridge	-1.78	-1.22

*ค่าลบหมายถึง ระดับต่ำลง



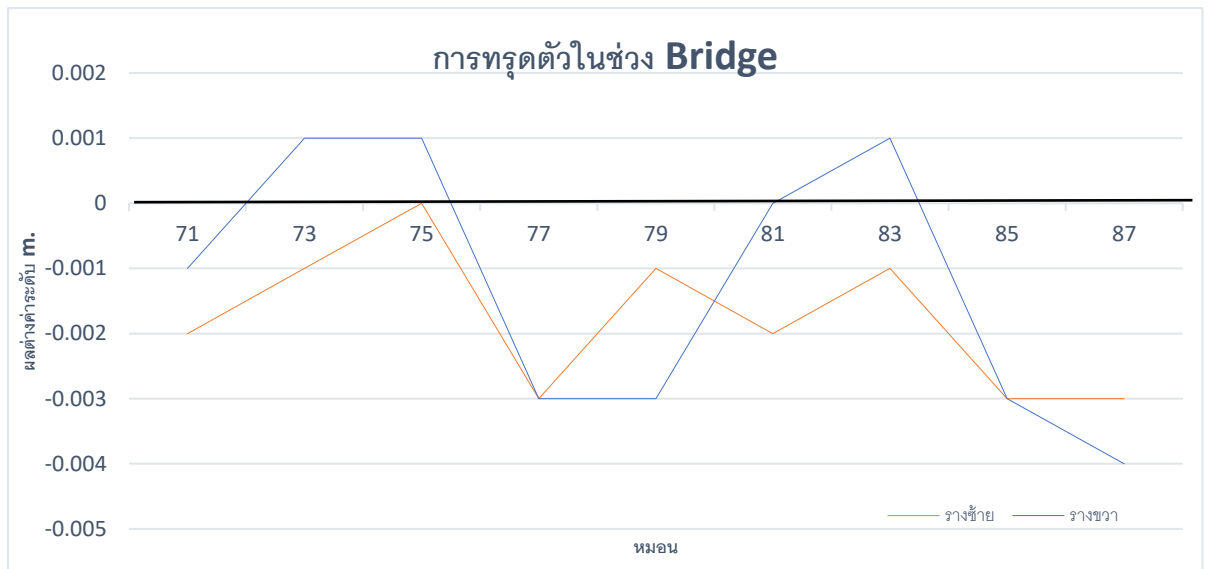
รูปที่ 4-5 ค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในช่วง Open track

*ค่าลบหมายถึง ระดับต่ำลง



รูปที่ 4-6 ค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในช่วง Approach

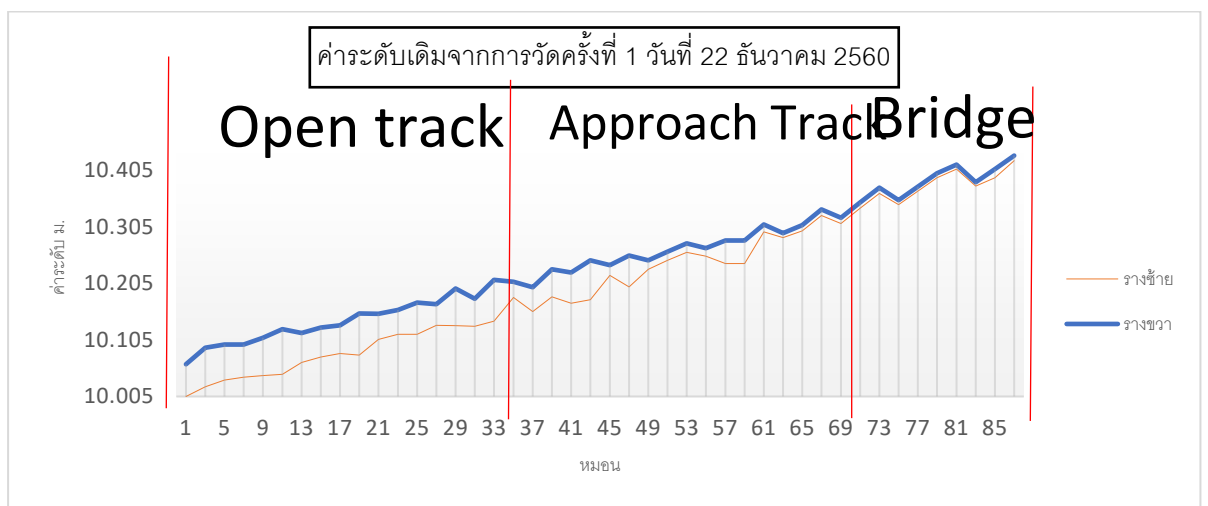
*ค่าลบหมายถึง ระดับต่ำลง



รูปที่ 4-7 ค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในช่วง Bridge

*ค่าลบหมายถึง ระดับต่ำลง

- การวัดด้วยกล้อง Total station



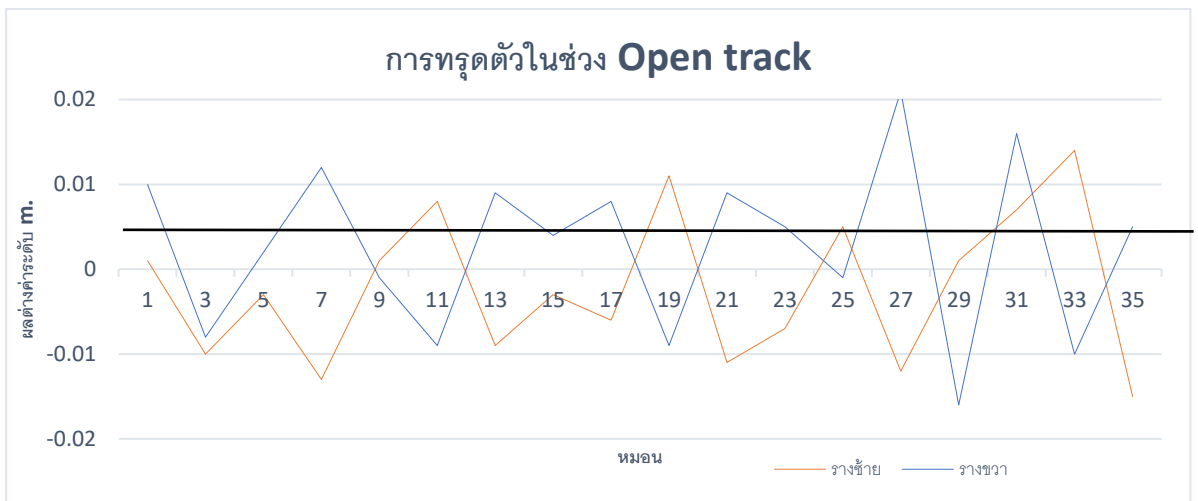
รูปที่ 4-8 รูป ค่าระดับเดิมของทางรถไฟที่ทำการศึกษากับกล้อง total station

*ค่าลบหมายถึง ระดับต่ำลง

ตารางที่ 4-2 ผลต่างเฉลี่ยของค่าระดับจากกล้อง Total station

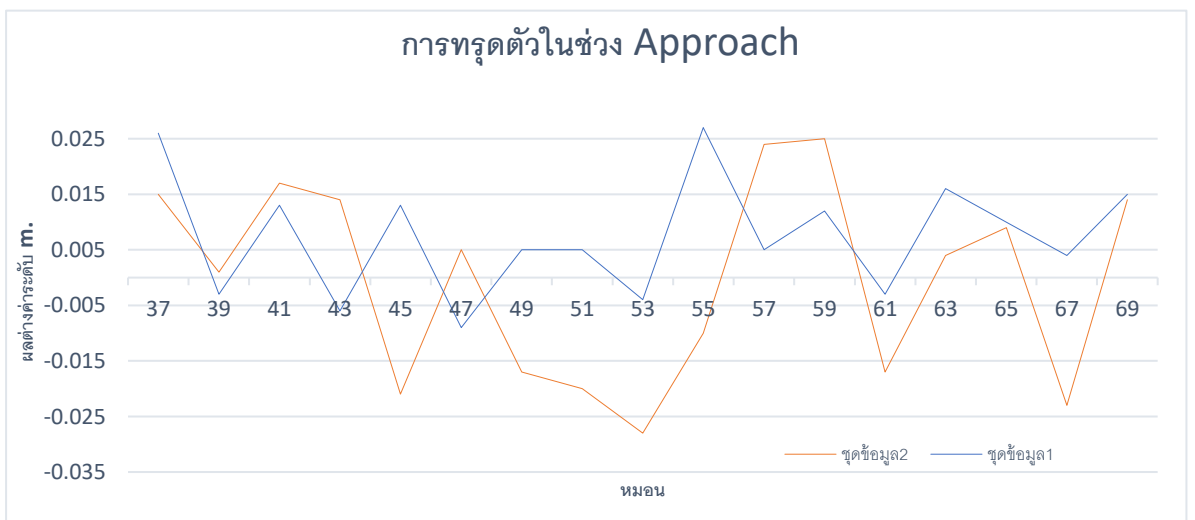
บริเวณ	รางฝั่งซ้าย (mm)	รางฝั่งขวา (mm)
Open Track	-2.28	2.61
Approach Track	-0.47	7.41
Bridge	-1.11	10.44

*ค่าลบหมายถึง ระดับต่ำลง



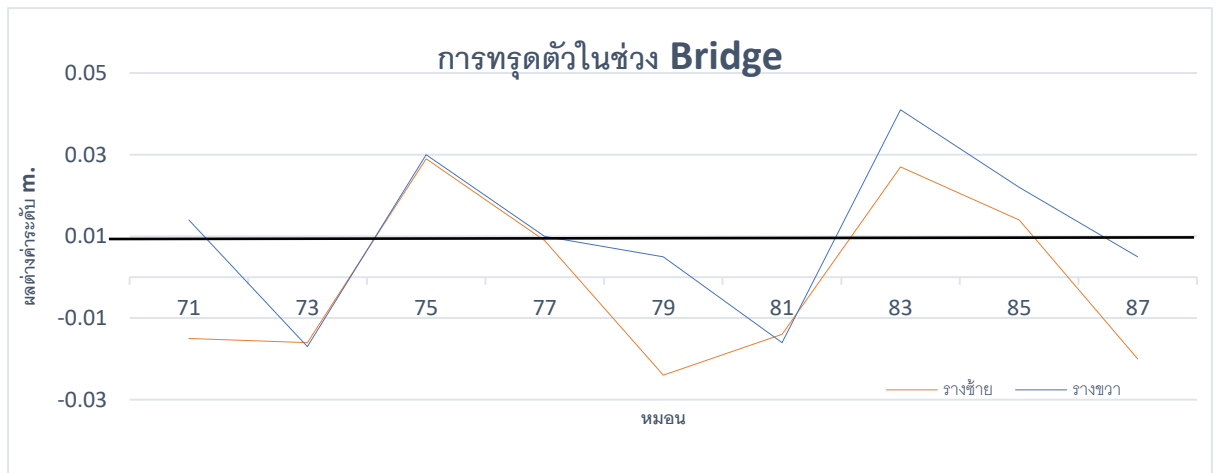
รูปที่ 4-9 ค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในช่วง open track จากกล้อง total station

*ค่าลบหมายถึง ระดับต่ำลง



รูปที่ 4-10 ค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในช่วง Approach จากกล้อง total station

*ค่าลบหมายถึง ระดับต่ำลง



รูปที่ 4-11 ค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในช่วง Bridge จากกล้อง total station

*ค่าลบหมายถึง ระดับต่ำลง

4.2.การทรุดตัว (Settlement plate) และการขยายตัวด้านข้าง (Extensometer) ของ Ballast

ตารางที่ 4-3 การเก็บค่าด้วยกล้องระดับ ที่ Sleeper No.4 การทรุดตัวของ Settlement plate ฝั่งซ้าย 1 mm. ฝั่งขวา ระดับสูงขึ้น 1 mm. Sleeper No.40 การทรุดตัวของ Settlement plate ฝั่งซ้าย 2 mm. และฝั่งขวา 2 mm. Sleeper No.66 การทรุดตัวของ Settlement plate ฝั่งซ้าย 1 mm. และฝั่งขวา 1 mm.

ตารางที่ 4-4 ค่าการขยายตัวด้านข้าง(Extensometer)โดยใช้เทปวัดได้ค่าที่ Sleeper No.4 ขยายออกจากเดิม 1 mm. Sleeper No.40 ขยายออกจากเดิม 2 mm. และ Sleeper No.40 ไม่ขยายจากเดิม

ตารางที่ 4-5 การเก็บค่าด้วยกล้อง Total station ที่ Sleeper No.4 การทรุดตัวของ Settlement plate ฝั่งซ้าย 12 mm. ฝั่งขวา ระดับสูงขึ้น 4 mm. Sleeper No.40 Settlement plate ฝั่งซ้ายเพิ่มขึ้น 10 mm. และฝั่งขวา 7 mm. Sleeper No.66 การทรุดตัวของ Settlement plate ฝั่งซ้าย 4 mm. และฝั่งขวา 4 mm.

ตารางที่ 4-6 การเก็บค่าการขยายตัวด้านข้าง(Extensometer) ที่ Sleeper No.4 ค่า Extensometer มีค่าเป็น -18.43 mm. ซึ่งหดสั้นลงจากเดิม เนื่องจากการทรุดตัวที่บริเวณตรงกลางของทางรถไฟ ทำให้ตัวของ Extensometer แอ่นเข้าหากันทำให้ค่าลดน้อยลงจากเดิม ส่วนใน Sleeper No.40 และ Sleeper No.66 มีการขยายตัวมากขึ้นจากเดิม

จากผลการวัดค่าของทั้ง 2 วิธีได้แก่ ใช้เทป และกล้อง Total station จะเห็นได้ว่าข้อมูล
ที่มาจากกล้อง Total station จะมีค่ามากกว่าเนื่องจากกล้องมีความแม่นยำมากกว่าการใช้เทป
วัดค่าที่ได้จากกล้องจึงเป็นค่าที่ถูกต้องมากกว่าใช้กล้องระดับและเทปวัด

ตารางที่ 4-3 ผลต่างของค่าระดับ Settlement plate

NO. Sleeper	การทรุดตัวฝั่งซ้าย (mm)	การทรุดตัวฝั่งขวา (mm)
4	-1.00	1.00
40	-2.00	-2.00
66	-1.00	-1.00

*ค่าลบหมายถึง ระดับต่ำลง

ตารางที่ 4-4 การขยายตัวออกด้านข้าง Extensometer

NO. Sleeper	การขยายตัวด้านข้าง(mm.)
4	1.00
40	2.00
66	0.00

*ค่าลบหมายถึง ระดับต่ำลง

- ใช้กล้อง Total station

ตารางที่ 4-5 ผลต่างของค่าระดับ Settlement plate

NO. Sleeper	การทรุดตัวฝั่งซ้าย (mm)	การทรุดตัวฝั่งขวา (mm)
4	-12.00	4.00
40	10.00	7.00
66	-4.00	-4.00

*ค่าลบหมายถึง ระดับต่ำลง

ตารางที่ 4-6 การขยายตัวออกด้านข้าง Extensometer

NO. Sleeper	การขยายตัวด้านข้าง(mm.)
4	-18.43
40	64.15
66	78.18

*ค่าลบหมายถึง ความกว้างลดลง

4.3.ผลการทดสอบโดยใช้การ Sieve Analysis

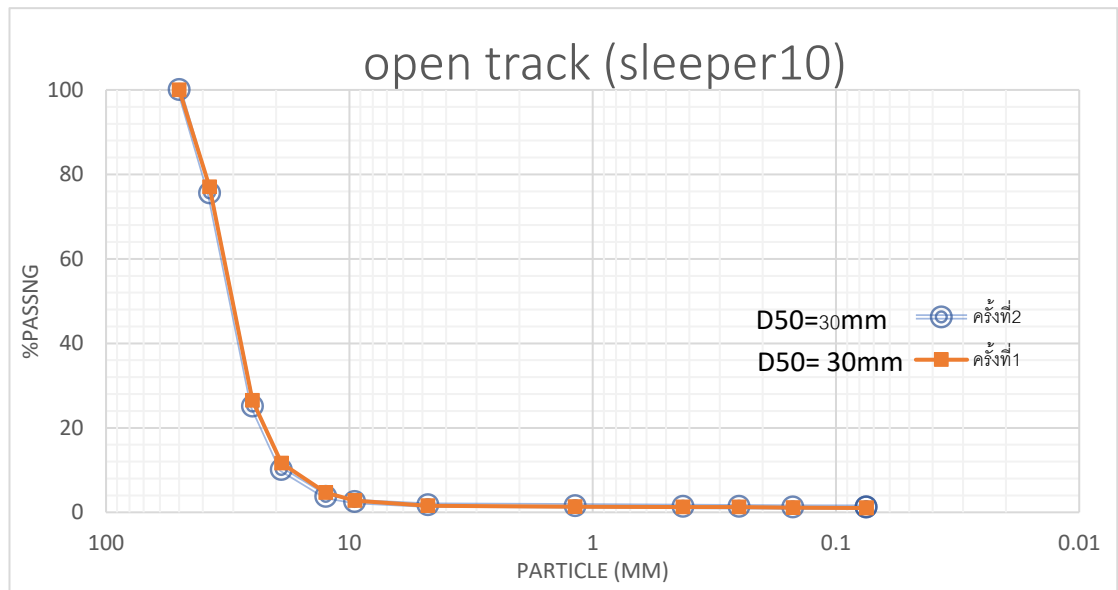
โดยใช้การ Sieve Analysis โดยตั้งสมมุติฐานว่าหาก Ballast มีการ Fouling มากขึ้นจะมีขนาดอนุภาคละเอียด(ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8)ที่มากขึ้นซึ่งผลการทดสอบจะถูกแสดงออกมาในรูปแบบกราฟระหว่าง ขนาดช่องเปิดของตะแกรงและ%passing

รูปที่ 4-12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Particle และ %Passing (open track Sleeper 10) พบว่าตัวอย่างทดสอบที่เก็บมาครั้งที่ 1 มีขนาดอนุภาคของหิน Ballast เท่ากับครั้งที่ 2 โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค (D50) ของตัวอย่างครั้งที่ 1 คือ 30 mm. และครั้งที่ 2 คือ 30 mm. ซึ่งอาจไม่เกิดการแตกหักหรือการแตกหักที่เกิดขึ้นน้อย

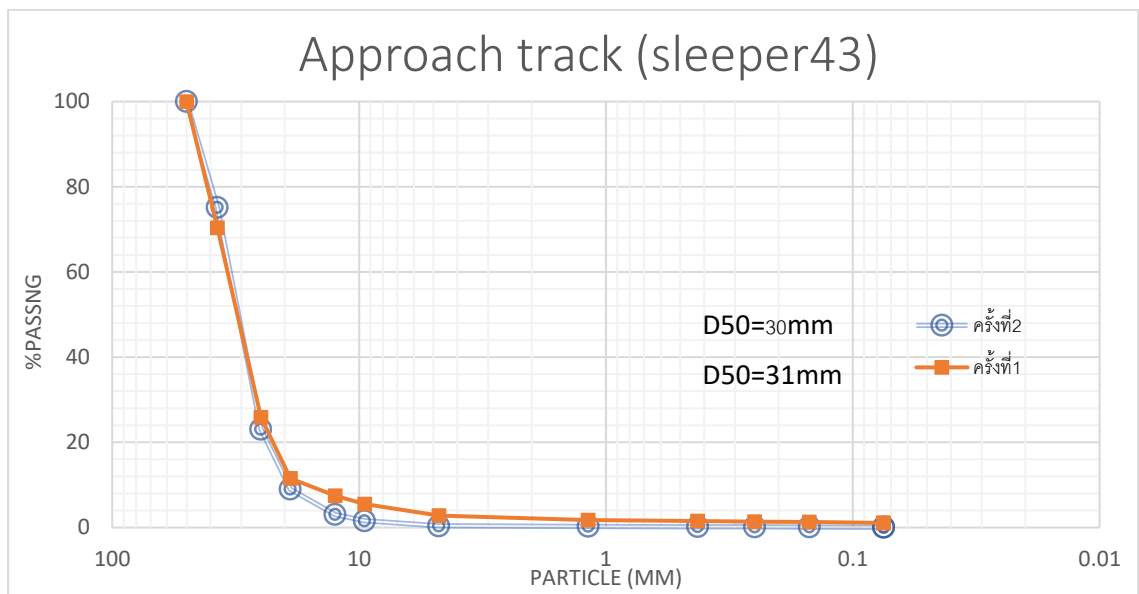
รูปที่ 4-13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Particle และ %Passing (Approach Track Sleeper 43) พบว่าตัวอย่างทดสอบที่เก็บมาครั้งที่ 1 มีขนาดอนุภาคของหิน Ballast ที่ใหญ่กว่าครั้งที่ 2 โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค(D50)ของตัวอย่างครั้งที่ 1 คือ 31 mm. และครั้งที่ 2 คือ 30 mm.สังเกตได้ว่าครั้งที่ 2 จะมีอนุภาคเล็กกว่าครั้งที่ 1 เนื่องจากการแตกหักที่มากขึ้น

รูปที่ 4-14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Particle และ %Passing (Approach Track Sleeper 63) พบว่าตัวอย่างทดสอบที่เก็บมาครั้งที่ 2 มีขนาดอนุภาคของหิน Ballast ที่ใหญ่กว่าครั้งที่ 1 โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค(D50)ของตัวอย่างครั้งที่ 1 คือ 31 mm. และครั้งที่ 2 คือ 32.5 mm.

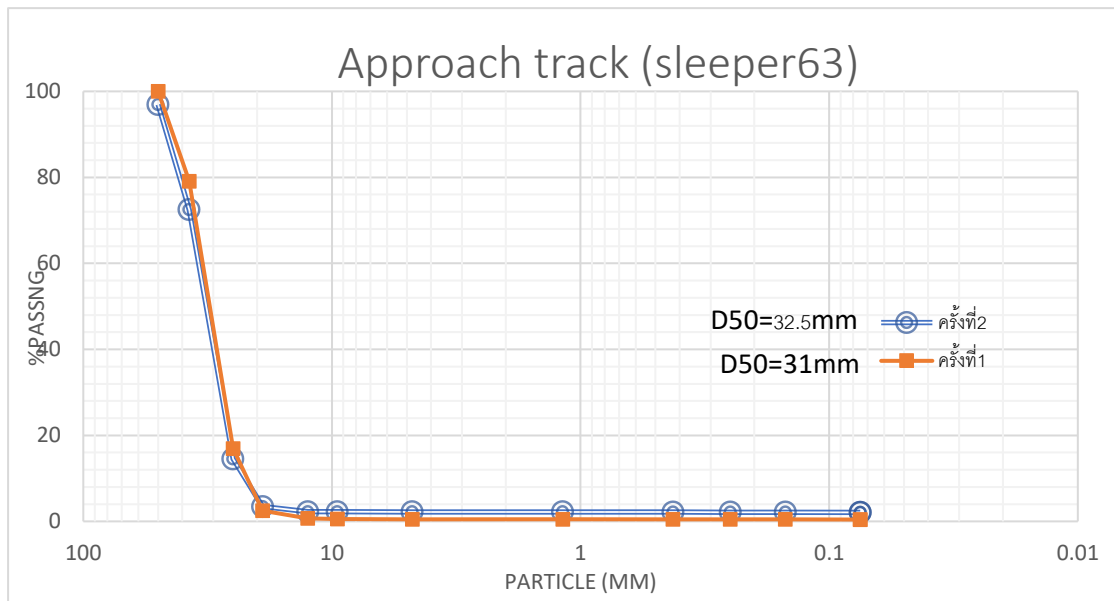
รูปที่ 4-15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Particle และ %Passing (Bridge Sleeper 77) พบว่าตัวอย่างทดสอบที่เก็บมาครั้งที่ 1 มีขนาดอนุภาคของหิน Ballast ที่ใหญ่กว่าครั้งที่ 2 โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค(D50)ของตัวอย่างครั้งที่ 1 คือ 32.5 mm. และครั้งที่ 2 คือ 31 mm.สังเกตได้ว่าครั้งที่ 2 จะมีอนุภาคเล็กกว่าครั้งที่ 1 เนื่องจากการแตกหักที่มากขึ้น



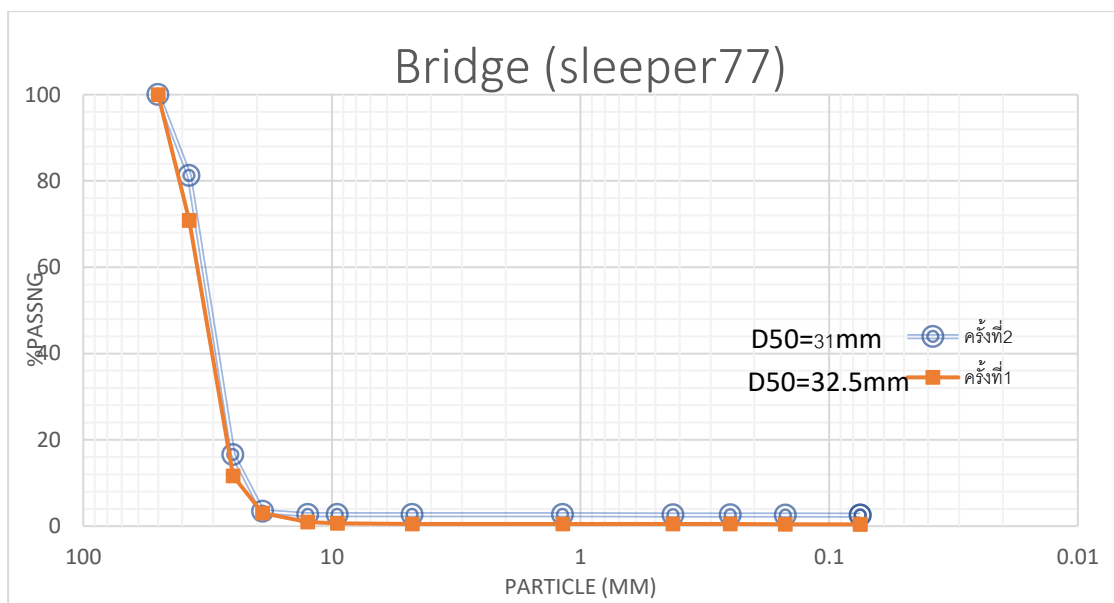
รูปที่ 4-12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Particle Size และ %Passing (open track)



รูปที่ 4-13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Particle Size และ %Passing (Approach Track)



รูปที่ 4-14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Particle Size และ %Passing (Approach Track)



รูปที่ 4-15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Particle Size และ %Passing (Bridge)

4.3.1.วิเคราะห์การปนเปื้อนของ Ballast

การวิเคราะห์ด้วยค่า Fouling index

$$FI = P_4 + P_{200} \quad (\text{Selig \& Water 1994})$$

ค่าตัวแปรในสมการคือ % Passing ของตะแกรงเบอร์ 4 และ 200 จึงจะเห็นได้ว่าในส่วนพื้นที่บริเวณ Approach นั้นมีค่า Fouling Index ดังตารางที่ 4-7 ที่มากขึ้นอันเนื่อง Ballast มีการถูกทำลายมากกว่าจุดอื่นจึงมี %Passing ของตะแกรงเบอร์ 4 และตะแกรงเบอร์ 200 เพิ่มขึ้นสาเหตุมาจากรถไฟที่วิ่งผ่านและความต่างของ Track Stiffness อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนของ sub-structure จากดินเป็นสะพานคอนกรีต และ จากการที่ Ballast เกิดความเสียหายส่งผลต่อประสิทธิภาพการระบายน้ำของทางรถไฟ เกิดโคลนทะลักได้ ความสามารถในการยืดเกาะกับรางลดน้อยลง เป็นสาเหตุที่ต้องมีการซ่อมบำรุง

ตารางที่ 4-7 ค่า Fouling index (FI)

ตำแหน่ง	ครั้งที่1 (FI)	ครั้งที่2 (FI)	ผลการวิเคราะห์	
			ครั้งที่1	ครั้งที่2
ครั้งที่ 1 Steel 4 ครั้งที่ 2 Steel 10	2.60	2.96	Moderately clean	Moderately clean
ครั้งที่ 1 Steel 40 ครั้งที่ 2 Steel 43	3.88	0.43	Moderately clean	Clean
ครั้งที่ 1 Steel 63 ครั้งที่ 2 Steel 66	0.92	4.31	Clean	Moderately clean
ครั้งที่ 1 Steel 77 ครั้งที่ 2 Steel 80	0.90	5.21	Clean	Moderately clean

การวิเคราะห์ด้วยค่า **Relative Ballast Fouling Ratio**

$$R_{b-f} = \frac{M_f \times \left(\frac{G_{s-b}}{G_{s-f}}\right)}{M_b} \times 100\%$$

จากผลการวิเคราะห์ค่า R_{b-f} นั้นได้นั้นก็คือ ballast ในช่วง Approach นั้นมีความสกปรกมากขึ้นแต่ยังอยู่ในช่วง Moderately clean แต่ในส่วนของ open track นั้น ballast มีค่า R_{b-f} ที่ลดลงจากครั้งก่อนหน้าซึ่งอาจมีสาเหตุมาจาก มีการ ใช้ Ballast ใหม่ซึ่งตอนเก็บตัวอย่างอาจไปเก็บเอา Ballast ใหม่มาทำการทดสอบ

ตารางที่ 4-8 ค่า Relative Ballast Fouling Ratio (R_{b-f})

ตำแหน่ง	ครั้งที่1 (R_{b-f})	ครั้งที่2 (R_{b-f})	ผลการวิเคราะห์	
			ครั้งที่1	ครั้งที่2
ครั้งที่ 1 Steel 4 ครั้งที่ 2 Steel 10	2.84	2.58	Moderately clean	Moderately clean
ครั้งที่ 1 Steel 40 ครั้งที่ 2 Steel 43	5.86	1.62	Moderately clean	Clean
ครั้งที่ 1 Steel 63 ครั้งที่ 2 Steel 66	0.53	2.24	Clean	Moderately clean
ครั้งที่ 1 Steel 77 ครั้งที่ 2 Steel 80	0.62	2.69	Clean	Moderately clean

การวิเคราะห์ด้วยค่า **Percentage Void Contamination (PVC)**

$$PVC = \frac{V_2}{V_1} \times 100$$

เมื่อ V_1 คือ ปริมาตรช่องว่างของ Re-Compacted Ballast และ V_2 ปริมาตรทั้งหมดของ Re-compacted Fouling Material (อนุภาคที่ผ่านตะแกรงขนาด 9.5mm)

ตารางที่ 4-9 Percentage Void Contamination (PVC)

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ผลการวิเคราะห์	
ครั้งที่ 1 Steel 4 ครั้งที่ 2 Steel 10	11.85	2.28	Clean	clean
ครั้งที่ 1 Steel 40 ครั้งที่ 2 Steel 43	28.12	2.36	Moderately foul	clean
ครั้งที่ 1 Steel 63 ครั้งที่ 2 Steel 66	7.1	3.44	Clean	clean
ครั้งที่ 1 Steel 77 ครั้งที่ 2 Steel 80	2.12	6.15	Clean	clean

การเปรียบเทียบ ค่า R_{b-f} ค่า **Fouling Index** และ ค่า **PVC**

จากการวิเคราะห์ค่า fouling ด้วยวิธีการวิเคราะห์ทั้ง 3 วิธีคือ FI, R_{b-f} และ PVC จะให้ผลไปในทิศทางเดียวกันคือ Ballast นั้นมีค่า Fouling ที่ต่ำโดยการวิเคราะห์ด้วยค่า R_{b-f} นั้นจะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของค่า fouling มากที่สุดตามด้วยค่า FI ซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์ที่ไม่ซับซ้อนแต่สามารถบ่งบอกถึงความแตกต่างได้เหมือนกับค่า R_{b-f} และการวิเคราะห์ด้วยค่า PVC นั้นกลับไม่สามารถบอกการ Fouling ที่ชัดเจนได้เนื่องจากผลวิเคราะห์ได้ผลออกมาเกือบทั้งหมดมีค่าเป็น clean มีเพียงที่ sleeper 40 เท่านั้นที่เป็น Moderately foul ทั้งหมดจึงไม่สามารถสรุปได้ว่า ballast นั้นเกิดการปนเปื้อนมากขึ้นมากหรือน้อยมากเพียงใด

การวิเคราะห์ด้วยค่า Ballast breakage index (BBI)

จากการคำนวณเพื่อหาค่า Ballast breakage index (BBI) พบว่า Ballast มีการแตกหักมากที่สุดที่ช่วง Sleeper ที่ 77-80 ซึ่งอยู่ในช่วง Bridge และรองลงมาคือช่วง Sleeper ที่ 63-66 ซึ่งอยู่ในช่วง Approach ซึ่งทั้ง 2 ช่วงจะมีการเปลี่ยนพื้นฐานล่างจากดินธรรมชาติเป็นสะพานคอนกรีตก่อนที่จะเข้าสู่ช่วงสะพานเหล็กทำให้ค่าเกิดความต่างของค่าความแข็งของทางรถไฟ Track Stiffness จึงทำให้เกิดการแตกหักที่มากกว่าจุดอื่น

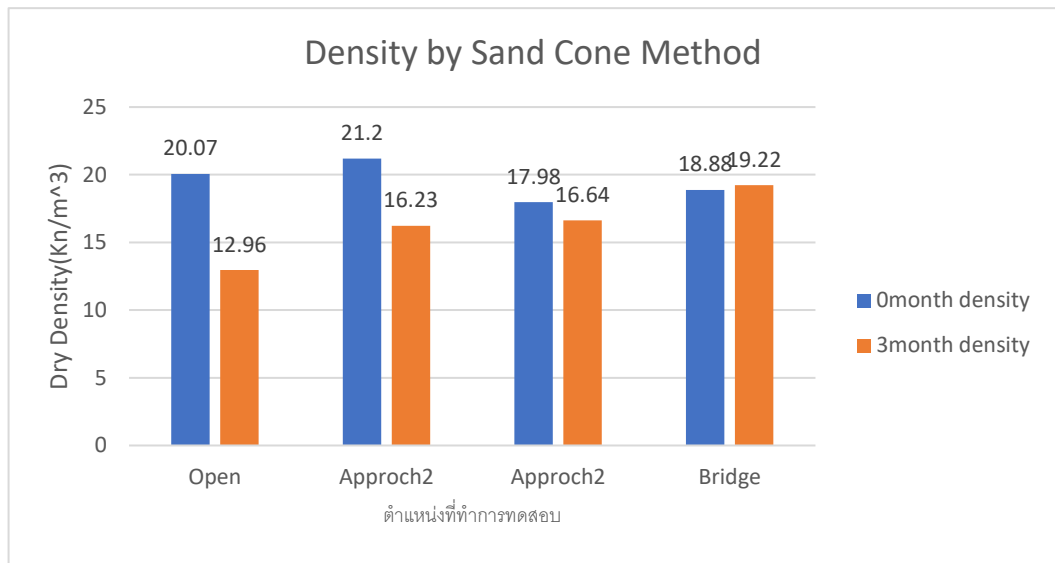
ตารางที่ 4-10 ค่า Ballast breakage index (BBI)

ตำแหน่ง	Ballast breakage index (BBI)
ครั้งที่ 1 Steel 4 ครั้งที่ 2 Steel 10	0.092
ครั้งที่ 1 Steel 40 ครั้งที่ 2 Steel 43	0.105
ครั้งที่ 1 Steel 63 ครั้งที่ 2 Steel 66	0.108
ครั้งที่ 1 Steel 77 ครั้งที่ 2 Steel 80	0.107

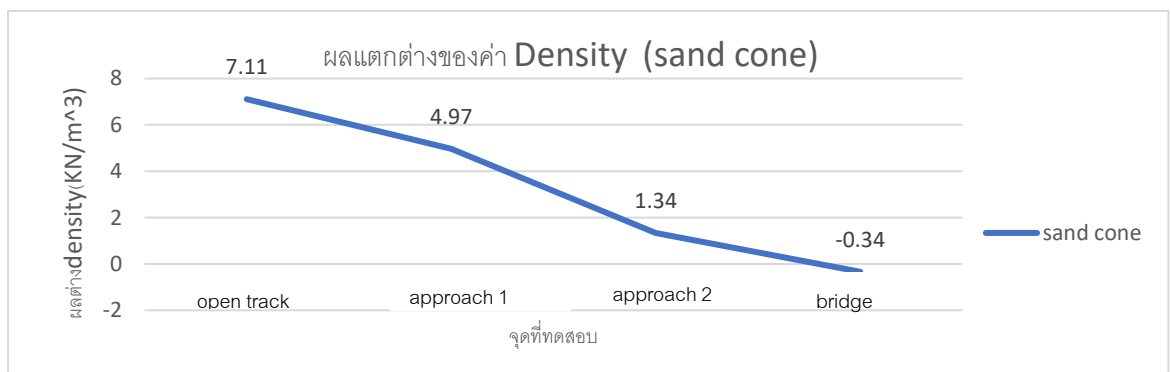
4.4. ผลการทดสอบ Field Density และ Rod unit weight

วิเคราะห์ผลการทดสอบ Field Density Sand cone Method

จากผลการทดสอบทำให้ทราบได้ว่าค่า Density จากการทำการทดสอบ Field density test ในครั้งที่ 1 มีค่าค่อนข้างมากเนื่องจาก Ballast มีขนาดที่ใหญ่ทำให้มีช่องว่างมากเมื่อเทียบกับปริมาตรของขนาดหลุม Field density test ที่เก็บตัวอย่างแล้วทำให้ค่า Density สูงขึ้น แต่ในครั้งที่ 2 ตัวอย่างชุดที่ 2 จะมีค่า Unit weight ที่ต่ำกว่าครั้งแรกอันเนื่องมาจาก Ballast อันเนื่องมาจาก Ballast มีความหนาแน่นน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด อาจมีสาเหตุมาจากการแตกหักตามกาลเวลา การกัดเซาะ และน้ำหนักของรถไฟที่วิ่งไป มาในช่วงเวลา 3 เดือนจากครั้งที่ 1



รูปที่ 4-16 กราฟแสดงค่า Density ของการทดสอบ Field Density



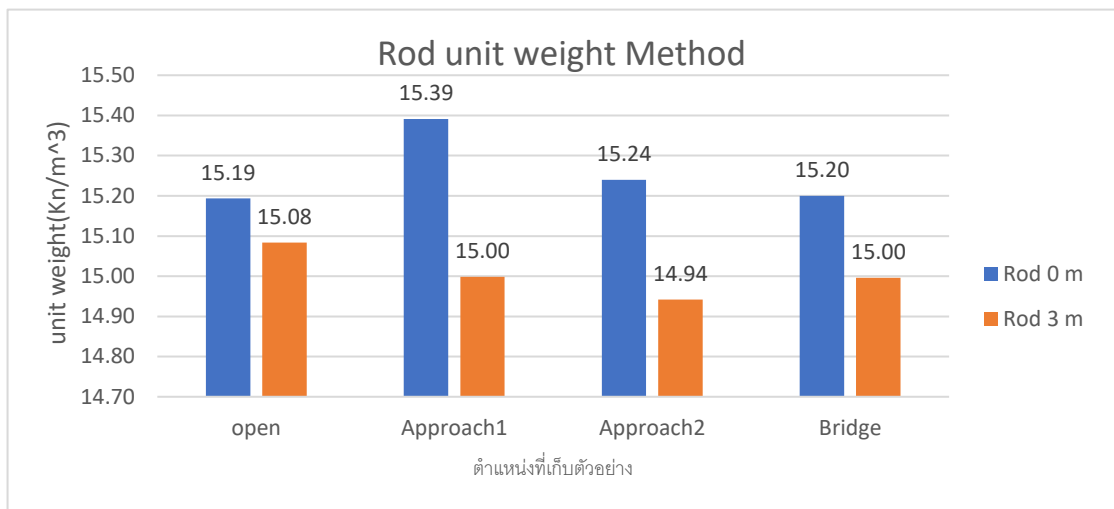
รูปที่ 4-17 ความแตกต่างของค่า Density ระหว่างครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2

วิเคราะห์ผลการทดสอบ Rod Unit Weight

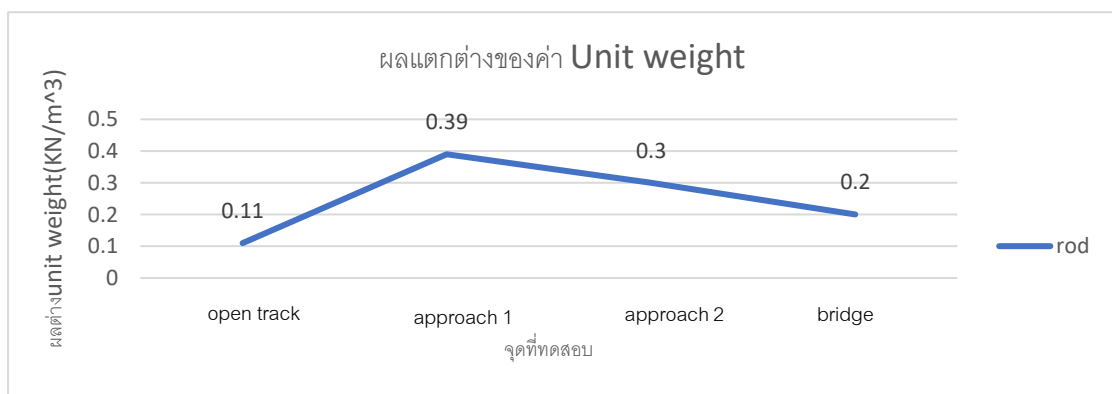
จากผลการทดลอง Rod Unit Weight ในทางรถไฟช่วง Open ครั้งที่ 1 ได้ค่า Unit weight 15.19 กิโลนิวตัน/ลูกบาศก์เมตร ครั้งที่ 2 ได้ 15.08 กิโลนิวตัน/ลูกบาศก์เมตร ในช่วง Approach Track1 ได้ค่า Unit weight 15.39 กิโลนิวตัน/ลูกบาศก์เมตร ครั้งที่ 2 ได้ 15.00 กิโลนิวตัน/ลูกบาศก์เมตร ในช่วง Approach Track 2 ได้ค่า Unit weight 15.24 กิโลนิวตัน/ลูกบาศก์เมตร ครั้งที่ 2 ได้ 14.94 กิโลนิวตัน/ลูกบาศก์เมตร และในช่วง Bridge ได้ค่า Unit

weight 15.20 กิโลนิวตัน/ลูกบาศก์เมตร ครั้งที่ 2 ได้ 15.00 กิโลนิวตัน/ลูกบาศก์เมตร จะเห็นได้ว่าค่า Rod Unit Weight ในครั้งที่ 2 จะน้อยกว่าครั้งที่ 1 ดังรูปที่ 4-18

จากผลการทดลอง Rod Unit Weight ในครั้งที่ 1 และ 2 พบว่า ในครั้งแรกและครั้งที่ 2 ให้ผลลัพธ์ในทิศทางเดียวกันกับการทดสอบ Sand Cone Method คือ มีค่า Density และ ลดลงจากครั้งแรก ดังรูปที่ 4-19



รูปที่ 4-18 แผนภูมิแสดงค่า Unit weight ของการทดสอบ Rod Unit Weight



รูปที่ 4-19 แผนภูมิเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าที่ได้ระหว่างครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ของ Rod Unit Weight

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาและวิเคราะห์ ลักษณะ ของ Ballast อันเนื่องมาจากการรับแรงจากรถไฟ โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 ส่วน ในพื้นที่คือ Open Track, Approach Track, Bridge ซึ่ง จากผลการทดสอบทั้ง 3 อย่างคือ Sieve Analysis Rod Unit Weight & Field Density test และการวัดค่าระดับของรางรถไฟ สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 Open Track

Ballast มีความเสียหายเพิ่มขึ้นจากครั้งที่ 1 โดยพิสูจน์ได้จากผลของการ Sieve Analysis และ Unit Weight ของ ตัวอย่าง Ballast ที่เก็บมา ทำให้เราสรุปได้ว่าใน Open Track นั้น Ballast นั้นลดลงอาจมีสาเหตุมาจากการเก็บตัวอย่างที่ก้อนใหญ่เกินไปมาทำให้มี Fine Particle น้อยกว่าสภาพจริงจึงเป็นผลให้ค่า Fouling Index ค่า R_{b-f} และค่า PVC ต่ำลง แต่ ค่าระดับของรางและ Settlement Plate นั้นต่ำลงทำให้สามารถสรุปได้ว่า ทางรถไฟเกิดการหลุดตัวมากขึ้น

5.1.2 Approach Track

ในส่วนนี้จะมีพื้นที่จุดสอบ 2 จุด คือ Sleeper no.43 และ Sleeper no.63 โดย sleeper no.63 จะอยู่ใกล้สะพานคอนกรีตมากกว่าในส่วนนี้คือส่วนที่การเปลี่ยนแปลงของค่า Track Stiffness อย่างชัดเจน ทั้งค่า Fouling Index R_{b-f} และค่า PVC ในจุดนี้จะสูงขึ้น เป็นผลให้ค่าการหลุดตัวมากขึ้นซึ่งจะทำให้สรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า Track Stiffness นั้นมีผลเสียกับทางรถไฟจริง

5.1.3 Bridge

ส่วนนี้เป็นส่วนที่อยู่บน Concrete Bridge ในส่วนนี้ ค่า Fouling Index และ ค่า R_{b-f} และค่า PVC นั้นมีค่ามากขึ้นจากการทดสอบครั้งแรก ซึ่งสอดคล้องกับค่าการหลุดตัวที่มากที่สุดเนื่องจากแรงกระแทกจากรถไฟที่เปลี่ยนจากที่วิ่งบนรางที่อยู่บนดินที่มีค่า Track Stiffness ที่ต่ำกว่าบนพื้นสะพานคอนกรีตทำให้เกิดการกระแทกเป็นผลให้ ballast แตกหัก

จากผลการทดสอบทั้ง 3 ส่วน ในพื้นที่ทำให้เราสรุปผลได้ว่าความแตกต่างของSub-StructureในบริเวณBridge Approach เป็นสาเหตุหนึ่งของการแตกของ Ballast ทำให้การทรุดตัวที่เกิดขึ้นและยังทำให้เกิดปัญหาอื่นตามมาไม่ว่าจะเป็นความสามารถของการระบายน้ำที่ลดลง ความสามารถในการรับแรงที่น้อยลง จึงทำให้มีการซ่อมบำรุงเกิดขึ้นบ่อยครั้ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากการทดสอบนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของBallast และ ค่า settlement เป็นเวลานานกว่า 3 เดือนดังนั้นจึงเสนอแนะว่าควรมีเวลามากกว่า 3 เดือน
2. ควรใช้เครื่องมือวัดที่แม่นยำในการวัดเพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด
3. ควรมีการนำปัจจัยอื่นมาพิจารณาเพิ่มเติมในการแก้ปัญหาข้างต้นที่มากขึ้น

บรรณานุกรม

Ernest T. Selig & John M. Water. (1994) Track geotechnology and substructure management. London E14 4JD:Thomas Telford publications.

Dingqing Li, James Hyslip, Ted Sussmann, Steven Chrismer. (2015) Railways Geotechnics. 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group

Buddhima Indraratna, Li-jun Su, and Chalachat Rujikiatkamjorn (2011) A new parameter for classification and evaluation of railway ballast fouling. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol 48, No.2, 322-326

Harald Stager & Harald Loy (2015) Use of Sylomer Under Sleeper Pads to Reduce Ballast wear on Scadinavian Heavy Haul Line. *Railway Technology Review*, September 2015, 14-20

สยาม ยิ้มศิริ (2556) ปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ Soil Mechanics Laboratory

สยาม ยิ้มศิริ และ สิทธิภัทร์ เอื้ออภิวัชร 2559. สภาพฐานรากของทางรถไฟสายเหนือ บริเวณ จ.ลำพูน ใน งานประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21 จ.สงขลา.
สยาม ยิ้มศิริ(ผู้เขียนผู้รับผิดชอบบทความ). ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี

สยาม ยิ้มศิริ (2555).การศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของดินสำหรับการก่อสร้างคัน
ทางรถไฟโดยดการใช้สารผสมเพิ่ม:รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ปีที่ 1 ของโครงการ 2 ปี.
โครงการวิจัยงบประมาณประเมินรายได้(เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) ปีงบประมาณ พ.ศ.
2555

ภาคผนวก (ตาราง)

ตารางที่ ก-1 การทดสอบ Sieve analysis (Steel #4) ASTM D422,D1140 และ D6913 (ครั้งที่ 1)

Name _____ Steel#4 _____ Date _____ 18/1/2561

	Unit	Before washing	After washing
Mass of dry sample (g)	g.		5000.9

Sieve#	Sieve size (mm)	Mass of sieve (g)	Mass of sieve +soil (g)	Mass of soil retained (g)	% retained	% cumulative	%passing
2"	50	4792	4792	0	0	0	100
1 1/2"	37.5	4643	5791	1148	22.96165324	22.961653	77.03835
1"	25	4577	7104	2527	50.54363914	73.505292	26.49471
3/4"	19	4773	5516	743	14.86107	88.366362	11.63364
1/2"	12.5	4713	5061	348	6.960501156	95.326864	4.673136
3/8"	9.5	4594	4689	95	1.90013681	97.227	2.773
No.4	4.75	4575	4635	60	1.200086406	98.427087	1.572913
No.16	1.18	402.73	413.24	10.51	0.210215135	98.637302	1.362698
No.40	0.425	331.87	335.91	4.04	0.080805818	98.718108	1.281892
No.60	0.25	326.05	329.27	3.22	0.064404637	98.782512	1.217488
No.100	0.15	316.88	320.92	4.04	0.080805818	98.863318	1.136682
No.200	0.075	473.98	479.61	5.63	0.112608108	98.975926	1.024074
Pan	0	3552	3558	51.2	1.024073733	100	0
				4999.64	100		

น้ำหนักทั้งหมด	5000.9
น้ำหนักถ้ำ #4	4928
น้ำหนักถ้ำ #200	27.7
น้ำหนักผ่าน #200	45.2
% ผ่าน#200	0.903837

ตารางที่ ก-2 การทดสอบ Sieve analysis (Steel #40) ASTM D422,D1140 และ D6913 (ครั้งที่ 1)

Name _____ Steel #40 _____ Date _____ 19/1/2561 _____

	Unit	Before washing	After washing
Mass of dry sample (g)	g.	-	5008.8

Sieve#	Sieve size (mm)	Mass of sieve (g)	Mass of sieve +soil (g)	Mass of soil retained (g)	% retained	% cumulative	%passing
2"	50	4792	4792	0	0	0	100
1 1/2"	37.5	4641	6126	1485	29.66582497	29.665825	70.33418
1"	25	4577	6803	2226	44.46877197	74.134597	25.8654
3/4"	19	4774	5491	717	14.32349933	88.458096	11.5419
1/2"	12.5	4713	4918	205	4.095282235	92.553379	7.446621
3/8"	9.5	4594	4690	96	1.917790705	94.471169	5.528831
No.4	4.75	4572	4709	137	2.736847152	97.208016	2.791984
No.16	1.18	402.73	454.13	51.4	1.026817107	98.234833	1.765167
No.40	0.425	331.87	344.24	12.37	0.247115323	98.481949	1.518051
No.60	0.25	326.05	332.25	6.2	0.123857316	98.605806	1.394194
No.100	0.15	316.88	323.35	6.47	0.129251103	98.735057	1.264943
No.200	0.075	473.98	482.8	8.82	0.176197021	98.911254	1.088746
Pan	0	3552	3561	54.5	1.088745765	100	0
				5005.76	100		

น้ำหนักทั้งหมด	5008.8
น้ำหนักถัง #4	4876
น้ำหนักถัง #200	87.3
น้ำหนักผ่าน #200	45.5

ตารางที่ ก-3 การทดสอบ Sieve analysis (Steel #66) ASTM D422,D1140 และ D6913 (ครั้งที่ 1)

Name _____ Steel#66 Date _____ 18/1/2561

	Unit	Before washing	After washing
Mass of dry sample (g)	g.	-	5000.1

Sieve#	Sieve size (mm)	Mass of sieve (g)	Mass of sieve +soil (g)	Mass of soil retained (g)	% retained	% cumulative	%passing
2"	50	4792	4792	0	0	0	100
1 1/2"	37.5	4641	5688	1047	20.94067	20.94067	79.05933
1"	25	4577	7685	3108	62.16199	83.102659	16.89734
3/4"	19	4774	5493	719	14.38046	97.483119	2.516881
1/2"	12.5	4713	4804	91	1.820058	99.303178	0.696822
3/8"	9.5	4594	4602	8	0.160005	99.463183	0.536817
No.4	4.75	4572	4574	2	0.040001	99.503184	0.496816
No.16	1.18	402.73	402.75	0.02	0.0004	99.503584	0.496416
No.40	0.425	331.87	332.1	0.23	0.0046	99.508184	0.491816
No.60	0.25	326.05	326.75	0.7	0.014	99.522185	0.477815
No.100	0.15	316.88	317.76	0.88	0.017601	99.539785	0.460215
No.200	0.075	473.98	475.89	1.91	0.038201	99.577986	0.422014
Pan	0	3552	3554	21.1	0.422014	100	0
				4999.84	100		

น้ำหนักทั้งหมด	5000.1
น้ำหนักถัง #4	4977
น้ำหนักถัง #200	4
น้ำหนักผ่าน #200	19.1

ตารางที่ ก-4 การทดสอบ Sieve analysis (Steel #80) ASTM D422,D1140 และ D6913 (ครั้งที่ 1)

Name _____ Steel #80 _____ Date _____ 19/1/2561 _____

	Unit	Before washing	After washing
Mass of dry sample (g)			5001.8

Sieve#	Sieve size (mm)	Mass of sieve (g)	Mass of sieve +soil (g)	Mass of soil retained (g)	% retained	% cumulative	%passing
2"	50	4792	4792	0	0	0	100
1 1/2"	37.5	4641	6101	1460	29.19399	29.193986	70.80601
1"	25	4577	7535	2958	59.14782	88.341802	11.6582
3/4"	19	4774	5207	433	8.658216	97.000018	2.999982
1/2"	12.5	4713	4816	103	2.059576	99.059594	0.940406
3/8"	9.5	4594	4610	16	0.319934	99.379528	0.620472
No.4	4.75	4572	4578	6	0.119975	99.499503	0.500497
No.16	1.18	402.73	403.3	0.57	0.011398	99.510901	0.489099
No.40	0.425	331.87	332.34	0.47	0.009398	99.520299	0.479701
No.60	0.25	326.05	326.81	0.76	0.015197	99.535496	0.464504
No.100	0.15	316.88	317.8	0.92	0.018396	99.553892	0.446108
No.200	0.075	473.98	476.19	2.21	0.044191	99.598083	0.401917
Pan	0	3552	3555	20.1	0.401917	100	0
				5001.03	100		

น้ำหนักทั้งหมด	5001.8
น้ำหนักค้าง #4	4979
น้ำหนักค้าง #200	5.7
น้ำหนักผ่าน #200	17.1

ตารางที่ ก-5 การทดสอบ Sieve analysis (Steel #10) ASTM D422,D1140 และ D6913 (ครั้งที่ 2)

Name _____ Steel #10 Date _____ 4/15/2561

	Unit	Before washing	After washing
Mass of dry sample (g)	g.	-	5025.4

Sieve#	Sieve size (mm)	Mass of sieve (g)	Mass of sieve +soil (g)	Mass of soil retained (g)	% retained	% cumulative	%passing
2"	50	4792	4792	0	0	0	100
1 1/2"	37.5	4641	5870	1229	24.45732	24.45732	75.54268
1"	25	4577	7111	2534	50.42706	74.88438	25.11562
3/4"	19	4774	5528	754	15.00474	89.88912	10.11088
1/2"	12.5	4713	5034	321	6.387958	96.27707	3.722926
3/8"	9.5	4594	4654	60	1.194011	97.47109	2.528915
No.4	4.75	4572	4612	40	0.796007	98.26709	1.732908
No.16	1.18	402.3	411.28	8.98	0.178704	98.4458	1.554204
No.40	0.425	331.87	339.46	7.59	0.151042	98.59684	1.403162
No.60	0.25	326.05	329.33	3.28	0.065273	98.66211	1.337889
No.100	0.15	311.82	316.44	4.62	0.091939	98.75405	1.24595
No.200	0.075	473.33	474.2	0.87	0.017313	98.77136	1.228637
Pan	0	3552	3555.08	61.74	1.228637	100	0
				5025.08	100		

น้ำหนักทั้งหมด	5025.4
น้ำหนักค้าง #4	4941
น้ำหนักค้าง #200	25.74
น้ำหนักผ่าน #200	58.66

ตารางที่ ก-6 การทดสอบ Sieve analysis (Steel #43) ASTM D422,D1140 และ D6913 (ครั้งที่ 2)

Client

Name

Steel #43

Date

4/15/2561

	Unit	Before washing	After washing
Mass of dry sample (g)	g.	-	5004.53

Sieve#	Sieve size (mm)	Mass of sieve (g)	Mass of sieve +soil (g)	Mass of soil retained (g)	% retained	% cumulative	%passing
2"	50	4792	4792	0	0	0	100
1 1/2"	37.5	4641	5885	1244	24.85852	24.85852	75.14148
1"	25	4577	7183	2606	52.07501	76.93353	23.06647
3/4"	19	4774	5479	705	14.08783	91.02136	8.978642
1/2"	12.5	4713	5009	296	5.91489	96.93625	3.063753
3/8"	9.5	4594	4668	74	1.478722	98.41497	1.585031
No.4	4.75	4572	4633	61	1.218947	99.63392	0.366084
No.16	1.18	402.3	406.65	4.35	0.086925	99.72084	0.279159
No.40	0.425	331.87	336.42	4.55	0.090921	99.81176	0.188237
No.60	0.25	326.05	327.06	1.01	0.020183	99.83195	0.168055
No.100	0.15	311.82	313.67	1.85	0.036968	99.86891	0.131087
No.200	0.075	473.33	476.81	3.48	0.06954	99.93845	0.061547
Pan	0	3552	3555.08	3.08	0.061547	100	0
				5004.32	100		

น้ำหนักทั้งหมด	5004.53
น้ำหนักถัง #4	4961
น้ำหนักถัง #200	13.525
น้ำหนักผ่าน #200	30.005

ตารางที่ ก-7 การทดสอบ Sieve analysis (Steel #63) ASTM D422,D1140 และ D6913 (ครั้งที่ 2)

Client

Name

Steel #63

Date

4/15/2561

	Unit	Before washing	After washing
Mass of dry sample (g)	g.	-	5096.9

Sieve#	Sieve size (mm)	Mass of sieve (g)	Mass of sieve +soil (g)	Mass of soil retained (g)	% retained	% cumulative	%passing
2"	50	4792	4949	157	3.086553	3.080304	96.9197
1 1/2"	37.5	4641	5885	1244	24.45651	27.53681	72.46319
1"	25	4577	7524	2947	57.93677	85.47358	14.52642
3/4"	19	4774	5339	565	11.10766	96.58124	3.418759
1/2"	12.5	4713	4773	60	1.179574	97.76082	2.239184
3/8"	9.5	4594	4594	0	0	97.76082	2.239184
No.4	4.75	4572	4573	1	0.01966	97.78048	2.219524
No.16	1.18	402.3	402.45	0.15	0.002949	97.78342	2.216576
No.40	0.425	331.87	335.31	3.44	0.067629	97.85105	2.148947
No.60	0.25	326.05	326.37	0.32	0.006291	97.85734	2.142656
No.100	0.15	311.82	312.7	0.88	0.0173	97.87464	2.125355
No.200	0.075	473.33	475.15	1.82	0.03578	97.91043	2.089575
Pan	0	3552	3555.08	105.97	2.083325	99.99375	0.00625
				5086.58	100		

น้ำหนักทั้งหมด	5096.9
น้ำหนักถัง #4	4989
น้ำหนักถัง #200	5.01
น้ำหนักผ่าน #200	102.89

ตารางที่ ก-8 การทดสอบ Sieve analysis (Steel #77) ASTM D422,D1140 และ D6913 (ครั้งที่ 2)

Client

Name

Steel #77

Date

4/15/2561

	Unit	Before washing	After washing
Mass of dry sample (g)			5135.3

Sieve#	Sieve size (mm)	Mass of sieve (g)	Mass of sieve +soil (g)	Mass of soil retained (g)	% retained	% cumulative	%passing
2"	50	4792	4792	0	0	0	100
1 1/2"	37.5	4641	5604	963	18.76498	18.76498	81.23502
1"	25	4577	7897	3320	64.69339	83.45837	16.54163
3/4"	19	4774	5448	674	13.13354	96.59191	3.408094
1/2"	12.5	4713	4751	38	0.740466	97.33237	2.667628
3/8"	9.5	4594	4594	0	0	97.33237	2.667628
No.4	4.75	4572	4572	0	0	97.33237	2.667628
No.16	1.18	402.3	402.5	0.2	0.003897	97.33627	2.663731
No.40	0.425	331.87	335.45	3.58	0.06976	97.40603	2.593971
No.60	0.25	326.05	326.44	0.39	0.0076	97.41363	2.586372
No.100	0.15	311.82	312.63	0.81	0.015784	97.42941	2.570588
No.200	0.075	473.33	474.78	1.45	0.028255	97.45767	2.542333
Pan	0	3552	3555.08	130.47	2.542333	100	0
				5131.9	100		

น้ำหนักทั้งหมด	5135.3
น้ำหนักถัง #4	5003
น้ำหนักถัง #200	4.91
น้ำหนักผ่าน #200	127.39

ตารางที่ ก-9 การวัดค่ารังโดยกล้อง Total station (*ค่า – หมายถึงระดับต่ำลง)

	วัดระดับครั้งที่ 1 (ม.)		วัดระดับครั้งที่ 2 (ม.)			
หมอน	ระดับซ้าย	ระดับขวา	ระดับซ้าย	ระดับขวา	ผลต่าง L ม.	ผลต่าง R ม.
1	10.005	10.062	10.006	10.072	0.001	0.01
3	10.022	10.091	10.012	10.083	-0.01	-0.008
5	10.034	10.097	10.031	10.099	-0.003	0.002
7	10.039	10.097	10.026	10.109	-0.013	0.012
9	10.042	10.109	10.043	10.108	0.001	-0.001
11	10.044	10.124	10.052	10.115	0.008	-0.009
13	10.065	10.117	10.056	10.126	-0.009	0.009
15	10.075	10.127	10.072	10.131	-0.003	0.004
17	10.081	10.131	10.075	10.139	-0.006	0.008
19	10.078	10.152	10.089	10.143	0.011	-0.009
21	10.106	10.151	10.095	10.16	-0.011	0.009
23	10.115	10.158	10.108	10.163	-0.007	0.005
25	10.115	10.171	10.12	10.17	0.005	-0.001
27	10.131	10.168	10.119	10.189	-0.012	0.021
29	10.13	10.196	10.131	10.18	0.001	-0.016
31	10.129	10.178	10.136	10.194	0.007	0.016
33	10.138	10.211	10.152	10.201	0.014	-0.01
35	10.18	10.208	10.165	10.213	-0.015	0.005
37	10.155	10.198	10.17	10.224	0.015	0.026
39	10.181	10.23	10.182	10.227	0.001	-0.003
41	10.17	10.224	10.187	10.237	0.017	0.013
43	10.176	10.246	10.19	10.24	0.014	-0.006
45	10.219	10.237	10.198	10.25	-0.021	0.013
47	10.199	10.254	10.204	10.245	0.005	-0.009
49	10.23	10.246	10.213	10.251	-0.017	0.005
51	10.246	10.261	10.226	10.266	-0.02	0.005
53	10.26	10.276	10.232	10.272	-0.028	-0.004
55	10.253	10.267	10.243	10.294	-0.01	0.027

ตารางที่ ก-9 การวัดค่ารังโดยกล้อง Total station (ต่อ)

	วัดระดับครั้งที่ 1 (ม.)		วัดระดับครั้งที่ 2 (ม.)			
	ระดับ ซ้าย	ระดับ ขวา	ระดับ ซ้าย	ระดับ ขวา	ผลต่าง L ม.	ผลต่าง R ม.
หมอน						
57	10.24	10.281	10.264	10.286	0.024	0.005
59	10.24	10.281	10.265	10.293	0.025	0.012
61	10.296	10.309	10.279	10.306	-0.017	-0.003
63	10.286	10.294	10.29	10.31	0.004	0.016
65	10.298	10.308	10.307	10.318	0.009	0.01
67	10.325	10.336	10.302	10.34	-0.023	0.004
69	10.311	10.321	10.325	10.336	0.014	0.015
71	10.338	10.348	10.323	10.362	-0.015	0.014
73	10.364	10.374	10.348	10.357	-0.016	-0.017
75	10.344	10.352	10.373	10.382	0.029	0.03
77	10.368	10.376	10.377	10.386	0.009	0.01
79	10.392	10.4	10.368	10.405	-0.024	0.005
81	10.407	10.415	10.393	10.399	-0.014	-0.016
83	10.377	10.384	10.404	10.425	0.027	0.041
85	10.392	10.407	10.406	10.429	0.014	0.022
87	10.422	10.431	10.402	10.436	-0.02	0.005

ตารางที่ ก-10 การวัดค่ารางโดยกล้องระดับ(*ค่า – หมายถึงระดับต่ำลง)

	วัดระดับครั้งที่ 1		วัดระดับครั้งที่ 2			
หมอน	ระดับซ้าย	ระดับขวา	ระดับซ้าย	ระดับขวา	ผลต่าง L ม.	ผลต่าง R ม.
1	10.007	10.071	10.007	10.074	0	0.003
3	10.016	10.086	10.016	10.084	0	-0.002
5	10.026	10.094	10.026	10.095	0	0.001
7	10.034	10.103	10.034	10.103	0	0
9	10.04	10.111	10.04	10.109	0	-0.002
11	10.046	10.117	10.045	10.116	-0.001	-0.001
13	10.065	10.125	10.055	10.124	-0.01	-0.001
15	10.068	10.134	10.066	10.133	-0.002	-0.001
17	10.078	10.14	10.077	10.141	-0.001	0.001
19	10.088	10.15	10.086	10.148	-0.002	-0.002
21	10.096	10.158	10.097	10.157	0.001	-0.001
23	10.109	10.168	10.106	10.166	-0.003	-0.002
25	10.118	10.175	10.116	10.175	-0.002	0
27	10.125	10.181	10.124	10.182	-0.001	0.001
29	10.132	10.189	10.132	10.187	0	-0.002
31	10.14	10.197	10.139	10.195	-0.001	-0.002
33	10.151	10.205	10.151	10.204	0	-0.001
35	10.161	10.213	10.161	10.213	0	0
37	10.171	10.221	10.169	10.221	-0.002	0
39	10.179	10.23	10.178	10.228	-0.001	-0.002
41	10.186	10.237	10.186	10.236	0	-0.001
43	10.183	10.24	10.183	10.242	0	0.002
45	10.2	10.25	10.198	10.248	-0.002	-0.002
47	10.209	10.257	10.207	10.256	-0.002	-0.001
49	10.219	10.261	10.217	10.263	-0.002	0.002
51	10.229	10.271	10.227	10.269	-0.002	-0.002
53	10.239	10.279	10.238	10.279	-0.001	0
55	10.25	10.29	10.249	10.287	-0.001	-0.003

ตารางที่ ก-10 การวัดค่ารังโดยกล้องระดับ(ต่อ)

หมอน	วัดระดับครั้งที่ 1		วัดระดับครั้งที่ 2		ผลต่าง L ม.	ผลต่าง R ม.
	ระดับ ซ้าย	ระดับ ขวา	ระดับ ซ้าย	ระดับ ขวา		
57	10.26	10.298	10.26	10.296	0	-0.002
59	10.27	10.305	10.269	10.304	-0.001	-0.001
61	10.281	10.312	10.276	10.313	-0.005	0.001
63	10.291	10.32	10.286	10.317	-0.005	-0.003
65	10.3	10.33	10.299	10.326	-0.001	-0.004
67	10.309	10.339	10.308	10.335	-0.001	-0.004
69	10.322	10.35	10.322	10.347	0	-0.003
71	10.339	10.361	10.337	10.36	-0.002	-0.001
73	10.352	10.372	10.351	10.373	-0.001	0.001
75	10.361	10.381	10.361	10.382	0	0.001
77	10.37	10.389	10.367	10.386	-0.003	-0.003
79	10.38	10.398	10.379	10.395	-0.001	-0.003
81	10.39	10.402	10.388	10.402	-0.002	0
83	10.399	10.41	10.398	10.411	-0.001	0.001
85	10.408	10.42	10.405	10.417	-0.003	-0.003
87	10.419	10.43	10.416	10.426	-0.003	-0.004

ตารางที่ ก-11 การวัดค่าระดับ Settlement plate และการขยายตัวด้านข้าง Extensometer
 กล้อง Total

ครั้งที่ 1	กล้อง Total (หน่วยเมตร)						
NO. Sleeper	Settlement plate		Extensometer				
	Left	Right	Left		Right		distance
			N	E	N	E	
4	10.044	10.081	90.504	92.458	88.628	91.512	2.101
40	10.19	10.258	82.07	111.738	80.106	110.891	2.139
66	10.295	10.308	76.287	125.925	74.391	125.17	2.041
ครั้งที่ 2	กล้อง Total (หน่วยเมตร)						
NO. Sleeper	Settlement plate		Extensometer				
	Left	Right	Left		Right		distance
			N	E	N	E	
4	10.032	10.085	109.491	107.526	111.396	108.455	2.119
40	10.2	10.265	117.935	88.265	119.853	89.056	2.075
66	10.291	10.304	123.686	74.048	125.518	74.752	1.963

ตารางที่ ก-12 การวัดค่าระดับ Settlement plate และการขยายตัวด้านข้าง Extensometer โดยกล้องระดับ และเทปวัด

ครั้งที่ 1	กล้องระดับ+เทปวัด (หน่วยเมตร)			BS=1.42	ระดับ 10m =11.42
NO. Sleeper	Settlement plate				Extensometer
	Left		Right		
	ข้อมูล ดิบ	ระดับ	ข้อมูล ดิบ	ระดับ	
4	1.373	10.047	1.338	10.082	2.123
40	1.222	10.198	1.15	10.27	2.14
66	1.124	10.296	1.106	10.314	2.003
ครั้งที่ 2	กล้องระดับ+เทปวัด (หน่วยเมตร)			BS=1.466	ระดับ 10 m = 11.466
NO. Sleeper	Settlement plate				Extensometer
	Left		Right		
	ข้อมูล ดิบ	ระดับ	ข้อมูล ดิบ	ระดับ	
4	1.42	10.046	1.383	10.083	2.122
40	1.27	10.196	1.198	10.268	2.138
66	1.171	10.295	1.153	10.313	2.003

ตารางที่ ก-12 Rod unit weight Calibration of container by SAND (ครั้งที่ 1)

Calibration of container by SAND		
container No.	SY28	SY29
sand density (kN/m ³)	15.38	15.38
weight of container (kg)	0.482	0.518
weight of container + sand (kg)	18.480	18.908
weight of sand (kg)	17.998	18.39
volume of container (L.)	11.480	11.730
S.D.	0.177	

ตารางที่ ก-12 Rod unit weight Calibration of container by WATER (ครั้งที่ 1)

Calibration of container by WATER		
container No.	SY28	SY29
Temperrature of water (°C)	29	29
density of water (t/m ³)	0.99595	0.99595
weight of container (kg)	0.482	0.518
weight of container + water (kg)	15.427	15.799
weight of glass (kg)	3.697	3.697
weight of water (kg)	11.248	11.584
volume of container (L.)	11.294	11.631
S.D.	0.239	

ตารางที่ ก-13 ผลการทดสอบ Rod unit weight (ครั้งที่ 1)

Bridge	Sleeper No.	container No.	container (kg)	container + Ballast (kg)	density by sand (kN/m ³)	density by water (kN/m ³)
STEEL	#4	SY29	0.518	18.532	15.07	15.19
	#40	SY29	0.518	18.767	15.26	15.39
	#66	SY29	0.518	18.587	15.11	15.24
	#80	SY29	0.518	18.539	15.07	15.20
Approch Ballast		SY29	0.518	19.467	15.85	15.98
Old Ballast		SY29	0.518	21.787	17.79	17.94
New Ballast		SY28	0.482	17.779	14.78	15.02

ตารางที่ ก-14 Rod unit weight Calibration of container by SAND (ครั้งที่ 2)

Calibration of container by SAND		
container No.	SY28	SY29
sand density (kN/m ³)	15.38	15.38
weight of container (kg)	0.482	0.518
weight of container + sand (kg)	18.480	18.908
weight of sand (kg)	17.998	18.39
volume of container (L.)	11.480	11.730
S.D.	0.177	

ตารางที่ ก-15 Rod unit weight Calibration of container by WATER (ครั้งที่ 2)

Calibration of container by WATER		
container No.	SY28	SY29
Temperrature of water (°C)	29	29
density of water (t/m ³)	0.99595	0.99595
weight of container (kg)	0.482	0.518
weight of container + water (kg)	15.427	15.799
weight of glass (kg)	3.697	3.697
weight of water (kg)	11.248	11.584
volume of containner (L.)	11.294	11.631
S.D.	0.239	

ตารางที่ ก-16 ผลการทดสอบ Rod unit weight (ครั้งที่ 2)

Bridge	Sleeper No.	container No.	w. of container (kg)	w. of container + Ballast (kg)	density by sand (kN/m ³)	density by water (kN/m ³)	AVG Water
STEEL	#10	SY29	0.518	18.402	14.96	15.08	15.08
	#43	SY28	0.482	17.749	14.76	15.00	15.00
	#63	SY29	0.518	18.234	14.82	14.94	14.94
	#77	SY28	0.482	17.746	14.75	15.00	15.00

ตารางที่ ก-17 ผลการทดสอบ Field density (ครั้งที่ 1)

Department of Civil Engineering, Burapha University						Field Density Test - Sand Cone Method					
						ASTM D 1556-82					
Client Name:						Project:		Project SRT Double Track			
Soil Origin:						Location of Project:		Section 1 km 65 – Chachoengsao			
Description of Soil:		Ballast				Date:		12/22/2560			
FIELD DENSITY TEST						CONE CALIBRATION					
Station		IBS00405	IBS04004	IBS06605	IBS08004	Weight of sand in cone and base plate No. 5					
Initial weight of jar + sand, W_i (g)		8687.00	8633.70	8096.40	8134.40	8388.30	Initial weight of jar + sand, W_i (g)		9101.6	7037.9	4919.5
Final weight of jar + sand, W_f (g)		4053.80	4014.90	2201.80	2955.70	2780.20	Final weight of jar + sand, W_f (g)		7037.9	4919.5	2818.9
Total wt. of sand used, $W_s = W_i - W_f$ (g)		4633.20	4618.80	5894.60	5178.70	5608.10	Weight of sand in cone, $W_c = W_i - W_f$ (g)		2063.7	2118.4	2100.6
Weight of wet soil + container (g)		3854.60	3922.80	6336.70	3927.60	5257.30	Average W_c (g)		2094.2		
Weight of container (g)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
Weight of wet soil, W_s (g)		3854.60	3922.80	6336.70	3927.60	5257.30	SAND DENSITY				
Weight of sand in hole, $W_4 = W_3 - W_c$ (g)		2538.97	2510.60	3800.37	3070.50	3499.90	Weight of mold, W_m (g)		7236.8	7236.6	7236.8
Volume of tested hole (cm ³)		1619.85	1601.75	2424.62	1958.97	2232.92	Weight of sand + mold, W_5 (g)		12334.6	12304.7	12459.4
Wet unit weight (kN/m ³)		21.01	23.30	24.87	14.75	17.32	Weight of sand, $W_{sand} = W_5 - W_m$ (g)		5097.8	5068.1	5222.6
Dry unit weight (kN/m ³)		20.97	23.26	24.81	14.73	17.29	Volume of mold, V_m (cm ³)		3272.6	3272.6	3272.6
Max dry unit wt. (Std. Rodded unit wt.) (kN/m ³)		15.42	15.22	15.10	15.05	15.50	Unit weight of sand, g_{sand} (kN/m ³)		15.28	15.19	15.66
% of max dry unit weight (%)		136.02	152.83	164.30	97.86	111.53	Average g_{sand} (kN/m ³)		15.38		
WATER CONTENT						Technician:					
Container number		IBS00405	IBS04004	IBS06605	IBS08004	IBS11604					
Weight of container (g)		143.89	146.80	148.20	151.80	150.72					
Weight of wet soil + container (g)		3998.49	4069.60	6484.90	4079.40	5408.00					
Weight of dry soil + container (g)		3991.90	4062.30	6469.80	4073.20	5397.10	Geotechnical Engineer				
Water content (%)		0.17	0.19	0.24	0.16	0.21					

ตารางที่ ก-17 ผลการทดสอบ Field density (ครั้งที่ 2)

Department of Civil Engineering, Burapha University					Field Density Test - Sand Cone Method							
					ASTM D 1556-82							
					Project:		Project SRT Double Track					
					Location of Project:		Section 1 km 65 – Chachoengsao					
					Date:		3/30/2561					
Client Name:												
Soil Origin:												
Description of Soil:					Ballast							
FIELD DENSITY TEST					CONE CALIBRATION							
Station					TBS11004	TBS14305	TBS16304	TBS17705	Weight of sand in cone and base plate No. 4			
Initial weight of jar + sand, W_i (g)					8183.10	8510.90	8498.00	8451.30	Initial weight of jar + sand, W_i (g)	8956.7	6847.5	4750.7
Final weight of jar + sand, W_f (g)					3057.80	2602.20	2597.80	2633.20	Final weight of jar + sand, W_f (g)	6847.5	4750.7	2632.2
Total wt. of sand used, $W_s = W_i - W_f$ (g)					5125.30	5908.70	5900.20	5818.10	Weight of sand in cone, $W_c = W_i - W_f$ (g)	2109.2	2096.8	2118.5
Weight of wet soil + container (g)					2560.10	4046.80	4130.10	4680.60	Average W_c (g)	2108.2		
Weight of container (g)					10.00	10.00	10.00	10.00				
Weight of wet soil, W_s (g)					2550.10	4036.80	4120.10	4670.60	Weight of sand in cone and base plate No. 5			
Weight of sand in hole, $W_4 = W_s - W_c$ (g)					3017.13	3814.47	3792.03	3723.87	Initial weight of jar + sand, W_i (g)	9101.6	7037.9	4919.5
Volume of tested hole (m^3)					0.00192	0.00243	0.00242	0.00238	Final weight of jar + sand, W_f (g)	7037.9	4919.5	2818.9
Wet unit weight (kN/m^3)					13.00	16.27	16.71	19.29	Weight of sand in cone, $W_c = W_i - W_f$ (g)	2063.7	2118.4	2100.6
Dry unit weight (kN/m^3)					12.96	16.23	16.64	19.22	Average W_c (g)	2094.2		
Max dry unit wt. (Std. Rodded unit wt.) (kN/m^3)					15.08	15.00	14.94	15.00				
% of max dry unit weight (%)					85.97	108.20	111.39	128.15	SAND DENSITY			
Std. Rodded unit wt. (kN/m^3)					15.19	15.39	15.24	15.20	Weight of mold, W_m (g)	7236.8	7236.6	7236.8
WATER CONTENT					Weight of sand + mold, W_s (g)							
Container number					TBS11004	TBS14305	TBS16304	TBS17705	Weight of sand, $W_{sand} = W_s - W_m$ (g)	5097.8	5068.1	5222.6
Weight of container (g)					159.83	150.30	155.80	152.47	Volume of mold, V_m (cm^3)	3272.6	3272.6	3272.6
Weight of wet soil + container (g)					2709.93	4187.10	4275.90	4823.07	Unit weight of sand, g_{sand} (kN/m^3)	15.28	15.19	15.66
Weight of dry soil + container (g)					2703.70	4176.40	4259.80	4807.90	Average g_{sand} (kN/m^3)	15.38		
Water content (%)					0.24	0.27	0.39	0.33				

ภาคผนวก (รูปภาพ)

- การเก็บตัวอย่างหินโรยทาง (Ballast)



รูปที่ ข-1 การเก็บตัวอย่างหินโรยทาง

- ตำแหน่งการเก็บค่าการทดสอบ Sand cone method (ASTM1556)



รูปที่ ข-2 ตำแหน่งการเก็บค่าการทดสอบ Sand cone method (ASTM1556)

- การขุดหลุมสำหรับการเก็บค่าการทดสอบ Sand cone method (ASTM1556)



รูปที่ ข-3 การขุดหลุมสำหรับการเก็บค่าการทดสอบ Sand cone method

- การติดตั้งอุปกรณ์ Sand cone



รูปที่ ข-4 การติดตั้งอุปกรณ์ Sand cone

- การติดตั้ง Settlement plate



รูปที่ ข-5 การติดตั้ง Settlement plate

- การติดตั้ง Extensometer



รูปที่ ข-6 การติดตั้ง Extensometer

- การเก็บตัวอย่างที่น่ากลับมาทดสอบในห้องแลป



รูปที่ ข-7 การเก็บตัวอย่างที่น่ากลับมาทดสอบในห้องแลป