กรณีศึกษาปรับปรุงโครงสร้างทางรถไฟส่วนล่างด้วยวัสดุเสริมกำลังทางปฐพี

CASE STUDY OF RAILWAY SUBSTRUCTURE IMPROVEMENT BY GEO-REINFORCEMENT MATERIALS

ชื่อผู้แต่ง ธวัช จิ้วบุญชู[1], พิษณุ พลกายนุวัตร[2*,]
[1] วิศวกรงานวิเคราะห์เทคนิคทางถาวร, ฝ่ายการช่างโยธา, การรถไฟแห่งประเทศไทย, จังหวัดกรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย
[2] วิศวกรกำกับการกองวิเคราะห์วิจัย, ฝ่ายการช่างโยธา, การรถไฟแห่งประเทศไทย, จังหวัดกรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย
[*]Corresponding author address: phitsanu.research@gmail.com

บทคัดย่อ

โครงสร้างทางรถไฟแบบหินโรยทางเป็นโครงสร้างที่ประกอบไปด้วยกัน 2 ส่วนคือโครงสร้างส่วนบน (Superstructure) และโครงสร้างส่วนล่าง (Substructure) ซึ่งความสมบูรณ์ของโครงสร้างจาก 2 ส่วนดังกล่าวส่งผลถึงความปลอดภัยในการสัญจรและความสะดวกสบายของผู้โดยสาร ที่ผ่านมาการซ่อมบำรุงรักษาทางรถไฟมีข้อจำกัดหลายประการอันเนื่องมาจากระยะเวลาในการซ่อมบำรุงที่มีจำกัด ทำให้รูปแบบการซ่อมบำรุงทางรถไฟนั้นมุ่งเน้นการเปลี่ยนชิ้นส่วนหรือวัสดุของโครงสร้างทางส่วนบน อันได้แก่ ราง เครื่องยึดเหนี่ยวราง หรือหมอนรองราง เพื่อให้ลดเวลาการซ่อมบำรุงทางรถไฟ โดยมิได้ทำการพิจารณาในส่วนของชั้นหินโรยทางอันเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างส่วนล่าง ซึ่งเป็นวัสดุที่สำคัญต่อการรับน้ำหนักของทางรถไฟหรืออาจจะเป็นสาเหตุโดยตรงที่ทำให้โครงสร้างทางรถไฟเกิดการชำรุดและเสียหาย ในปัจจุบันการเสื่อมสภาพของชั้นหินโรยทางนั้นส่งผลถึงความเสียหายหลายรูปแบบเช่น การเกิดโคลนทะลักในทาง การสูญเสียทางเรขาคณิต เป็นต้น สาเหตุมาจากจากการปนเปื้อนของมวลละเอียดในชั้นหินโรยทาง การแตกปนของหิน รวมไปถึงสภาพโครงสร้างที่ไม่สามารถระบายน้ำออกจากทางได้ กองวิเคราะห์วิจัยและกองบำรุงทางเขตทุ่งสง ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทยจึงได้ทำการศึกษาทางรถไฟในเส้นทางสายใต้ตอนกลางระหว่างจังหวัดชุมพรถึงนครศรีธรรมราช โดยมีระยะทางประมาณ 557 กิโลเมตร พบทางที่มีค่าดัชนีความคลาดเคลื่อนของสภาพทางระหว่าง 20-40% อันเป็นเกณฑ์ที่จะต้องปรับปรุงประมาณ 25 กิโลเมตร หากพิจารณาวิธีการซ่อมบำรุงทางในรูปแบบทั่วไปของฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย จะทำการแก้ไขโดยทำการระบายน้ำออก และเติมหินและอัดหินโรยทางเพื่อบรรเทาความเสียหายในจุดดังกล่าวเป็นการชั่วคราว ดังนั้นการใช้งานวัสดุเสริมกำลังจึงเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เป็นวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าว บทความนี้จึงนำเสนอวิธีการปรับปรุงโครงสร้างทางรถไฟส่วนล่างด้วยตาข่ายเสริมแรงและวัสดุสังเคราะห์เพื่อปรับปรุงกำลังของชั้นหินโรยทางอีกทั้งช่วยในการแยกชั้นระหว่างหินโรยทางและดินคันทาง รวมไปถึงเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายน้ำในกับทางรถไฟ ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของทางรถไฟให้สามารถรับน้ำหนักได้ดีขึ้น

คำสำคัญ: *ทางรถไฟ, โคลนทะลัก, หินโรยทาง, ตาข่ายเสริมแรง, วัสดุสังเคราะห์*

Abstract

The railway ballasted track structure is consisting of two parts: superstructure and substructure. The completeness of two parts affects to traffic safety and riding comfort of the passengers. Previously, the track maintenance has limit due to the limited period for maintenance. Thus, the maintenance planning is focused on the replacement of superstructure materials, such as rails, fasteners, and sleepers without taking into account the ballast layer which is a significant material for supporting the loads. The deterioration of ballast layer has resulted into vary damages such as the mud pumping. due to the contamination of the fine particle in ballast layer and ballast crushing including the performance of drainage. From this study of the railway in the southern-central line from Chumphon to Nakhon Si Thammarat, which has a distance of approximately 557 kilometers, found that track quality index (TQI) has range into 20-40% in 25 kilometers which has to be improved. In the general practice of Civil Engineering Department State Railway of Thailand have been making drainage path of water form sleeper and fill more ballast for temporarily maintenance. Therefore, the use of reinforcing materials is one of the methods used to solve this problem. This paper presents a method for improving the substructure with geotextile and geogrid materials to improve the performance and sperate of ballast and subgrade soil.

Keywords: *Railway Substructure, Mud Pumping, Ballast, Geogrid, Geotextile*

1. บทนำ

การรถไฟแห่งประเทศไทยเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบเกี่ยวกับระบบขนส่งทางรางที่ใหญ่ที่สุดของประเทศ โดยมีโครงข่ายทางรถไฟที่เปิดใช้งานเป็นระยะทางรวมประมาณ 4,500 กิโลเมตร โดยใช้โครงสร้างทางรถไฟชนิดใช้หินโรยทาง (Railway ballasted track) ประกอบไปด้วยทางเดี่ยว (Single track) และทางคู่ (Double track) โดยที่ทางคู่นั้นเป็นโครงสร้างที่ได้รับการออกแบบและก่อสร้างใหม่ในช่วงระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา ซึ่งทางเดี่ยวที่ใช้งานในปัจจุบันมีอายุการใช้งานมาอย่างยาวนานจึงมีประสิทธิภาพและความปลอดภัยลดลง จากข้อกำหนดของการรถไฟแห่งประเทศไทย การปรับปรุงทางรถไฟจึงมีความสำคัญสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับทางรถไฟที่ใช้ในการสัญจรและรองรับน้ำหนักผ่านทางที่สูงขึ้น

จากการสำรวจสภาพทางรถไฟแบบทางเดี่ยวทั่วประเทศมีความสมบูรณ์ในการใช้งานเพียง 50-90% [1] ซึ่งไม่สามารถรองรับการใช้งานที่ความเร็วสูงสุดที่ 160 กิโลเมตรต่อชั่วโมงได้ [2] ดังนั้นการรถไฟแห่งประเทศไทยจึงมีความต้องการที่จะปรับบำรุงทางรถไฟให้มีความสมบูรณ์เทียบเคียงกับทางคู่และทางสายใหม่ที่กำลังมีการก่อสร้าง เพื่อให้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน สามารถรองรับความเร็วสูงสุดตามข้อกำหนดที่ได้กำหนดไว้

ปัญหาของสภาพทางรถไฟทางเดี่ยวในปัจจุบันโดยทั่วไปคือปัญหาของสภาพของโครงสร้างพื้นทาง (Roadbed track structures) ที่เป็นโครงสร้างเก่าและไม่ได้มาตรฐาน ส่งผลโดยตรงต่อเสถียรภาพของทาง เนื่องจากข้อจำกัดของการเปิดใช้งานทางรถไฟอยู่ตลอดเวลาทำให้การซ่อมบำรุงนั้นไม่สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยปัญหาที่มักจะเกิดขึ้นกับทางรถไฟในส่วนของพื้นทางเช่น โคลนทะลักในทางรถไฟ (Mud pumping) หินจม (Ballast pocket) และหินฟอกขาวหรือหินสกปรก (Ballast fouling) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีแนวทางการซ่อมบำรุงทางรถไฟที่เหมาะสมและสอดคล้องกับเงื่อนไขการทำงานเพื่อให้กระทบต่อการเดินรถน้อยที่สุด

บทความฉบับนี้นำเสนอกรณีศึกษาการปรับปรุงโครงสร้างทางรถไฟส่วนล่างด้วยวัสดุสังเคราะห์และตาข่ายเสริมแรงเพื่อปรับปรุงกำลังของชั้นหินโรยทางรวมทั้งการแยกชั้นระหว่างหินโรยทางและดินคันทางและเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายน้ำในกับทางรถไฟอันเป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในต่างประเทศสำหรับการปรับปรุงพื้นทางให้มีเสถียรภาพเพียงพอต่อการใช้งานต่อไปในอนาคต

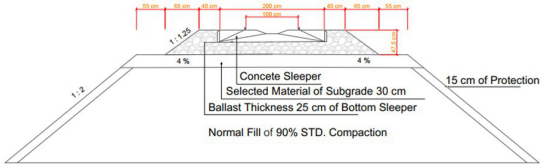
2. โครงสร้างทางรถไฟแบบทางเดี่ยว

ทางรถไฟทางเดี่ยวของการรถไฟแห่งประเทศไทยปัจจุบันก่อสร้างจากแบบมาตรฐานทางรถไฟ พ.ศ. 2525 ดังแสดงในรูปที่ 1 อันประกอบไปด้วย

1) โครงสร้างส่วนบน (Superstructure) หรือแผงราง (Track panel) ได้แก่ ราง เครื่องยึดเหนี่ยว เครื่องประกอบราง หมอนรองราง เป็นต้น

2) โครงสร้างส่วนล่าง (Substructure) ได้แก่ ชั้นหินโรยทาง (Ballast layer) ชั้นรองพื้นทาง (Subgrade layer)

ดังนั้นหินโรยทางเป็นวัสดุมวลหยาบที่มีบทบาทสำคัญในการรักษามิติของทาง กระจายน้ำหนักจากรางรถไฟสู่ชั้นดินคันทางด้านล่างและระบายแรงดันน้ำส่วนเกินในคันทางรถไฟ สำหรับชั้นรองพื้นทางนั้นทำหน้าที่เป็นฐานรากให้กับโครงสร้างส่วนบน และเป็นชั้นทางที่สำคัญส่งผลประสิทธิภาพการใช้งานและวิธีการซ่อมบำรุงทางรถไฟ [3]



รูปที่ 1 ลักษณะโครงสร้างทางรถไฟ

3. รูปแบบความเสียหายโครงสร้างส่วนล่างของทางรถไฟ

ความเสียหายของทางรถไฟแบบหินโรยทางมักเกิดจากโครงสร้างส่วนล่างซึ่งมีความซับซ้อนในการวิเคราะห์ถึงสาเหตุและที่มาของปัญหาอันเนื่องมาจากโครงสร้างดังกล่าวมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันหลายส่วน โดยทั่วไปความเสียหายเกิดจากแรงกระทำแบบพลวัต (Dynamics) จากรอบน้ำหนักผ่านทาง (Cyclic rail loadings) ส่งผลให้เกิดความเสียหายโดยตรงกับชั้นหินโรยทาง [4] ซึ่งเป็นโครงสร้างที่สำคัญในการรักษาเสถียรภาพของทางรถไฟ ดังนั้นความเสียหายที่มักจะพบนั้นมักจะมีสาเหตุจากความเสื่อมโทรมของโครงสร้างดังกล่าวซึ่งสามารถสรุปได้หลัก ๆ ดังนี้

3.1. ดินโคลนทะลักในคันทาง (MUD PUMPING)

ลักษณะของโคลนทะลักนั้นสาเหตุเกิดจากน้ำในชั้นทางผสมกับดินทำให้เกิดการดันตัวขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของแรงดัน (Pore pressure) จากน้ำหนักกดทับภายนอก สำหรับโครงสร้างทางรถไฟแบบหินโรยทาง ปัญหาดังกล่าวมักเกิดขึ้นจากน้ำในชั้นรองพื้นทางผสมกับดินส่วนละเอียด ทำให้เกิดแรงดันน้ำภายในชั้นรองพื้นทางซึ่งจะพยายามปรับสู่สมดุลโดยแทรกผ่านขึ้นสู่ชั้นหินโรยทาง จากการปรับสมดุลของแรงดันดังกล่าวทำให้พัดพาดินในชั้นรองพื้นทางขึ้นสู่ชั้นหินโรยทาง ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวนี้ส่งผลทำให้เกิดความเสียหายให้กับชั้นหินโรยทาง (Ballast degradation) [5-7] ดังแสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 2 ตัวอย่างลักษณะโคลนทะลัก (กม.748/6-12 สายใต้)

3.2. หินโรยทางสกปรก (BALLAST FOULING)

หินโรยทางสกปรกคือการที่หินโรยทางถูกปนเปื้อนด้วยส่วนละเอียดดังรูปที่ 3 ส่งผลทำให้การขัดกันของเหลี่ยมมุมของหินและแรงเสียดทานที่ผิวมีค่าลดลง ทำให้สเถียรภาพของทางลดลงตามไปด้วย การปนเปื้อนในชั้นหินโรงทางนั้นมีปัจจัยหลักจาก 3 สาเหตุคือ

1) การเสื่อมสภาพของหินโรยทางจากน้ำหนักผ่านทาง ทำให้หินแตก

2) การปนเปื้อนจากโคลนที่ทะลักขึ้นมาจากคันทาง

3) สิ่งสกปรกอื่น ๆ จากภายนอก

ดังนั้นการปนเปื้อนที่เกิดขึ้นจะเคลือบติดกับหินโรยทางเป็นโคลนแห้งจนกลายเป็นหินฟอกขาว ด้วยเหตุนี้ค่าของมุมเสียดทานของหิน (Frictional angle) นั้นจะลดต่ำลงตามไปด้วย ทำให้เกิดทรุดตัวที่ไม่เท่ากัน (Differential settlement) [4] จนเกิดความคาดเคลื่อนทางเรขาคณิตของทาง ซึ่งในบางครั้งอาจจะมีค่าที่มากจนเกินพิกัดใช้งานหรือค่าที่ยอมรับได้ ส่งผลทำให้ซ่อมบำรุงได้ยากตามมา

รูปที่ 3 ตัวอย่างลักษณะของหินสกปรก (กม.748/6-12 สายใต้)

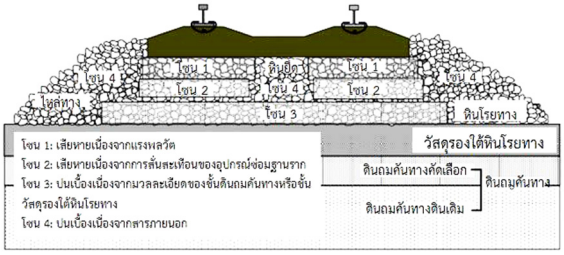
โดยตำแหน่งของการเสียหายของคันทางแสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งสาเหตุความเสียหายของคันทางอันเนื่องมาจากชั้นรองพื้นทางสามารถสรุปได้ดังนี้ [8]

1) การอุดตันของมวลละเอียดที่เกิดขึ้นทำให้ความสามารถในการระบายน้ำในชั้นหินโรยทางและชั้นรองพื้นทางลดลง

2) การเกิดหลุมโคลนในโครงสร้างชั้นรองพื้นทางเนื่องจากแรงดันน้ำสาเหตุจากระบบระบายน้ำที่ไม่มีประสิทธิภาพ หรือขาดการบำรุงรักษาระบบระบายน้ำส่งผลให้โครงสร้างชั้นรองพื้นทางมีสภาวะใกล้เคียงค่าพิกัดเหลว (Liquid limit) ทำให้สูญเสียกำลังการรับน้ำหนัก

3) การเคลื่อนตัวของหินโรยทางทำให้เกิดการสูญเสียความยืดหยุ่นและแรงดันด้านข้าง (Confinement) ของคันทาง เนื่องจากความเสียหายและการเคลื่อนตัวของหินโรยทาง

4) รูปแบบการบำรุงทางด้วยการอัดหิน (Tamping) ทำให้ความทนทานและการแตกหักของหินเพิ่มมากขึ้น ทำให้ชั้นหินโรยทางเกิดความเสียหาย



รูปที่ 4 ตำแหน่งความเสียหายของคันทาง

ดังนั้น จากความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างชั้นทาง เพื่อให้เกิดความปลอดภัยของขบวนรถ ทำความเร็วได้และเกิดความสะดวกสบายของผู้โดยสาร (Passenger comfort) จึงจำเป็นต้องมีแนวทางการบำรุงทางที่เหมาะสมสอดคล้องกับการสัญจรของทางรถไฟ

4. การตรวจสอบความเสียหายของทางรถไฟ

การตรวจสอบความเสียหายของทางรถไฟอันเนื่องมาจากการเสื่อมสภาพของหินโรยทางสามารถตรวจสอบจากดัชนีต่าง ๆ ได้ดังนี้

4.1. ค่าดัชนีสภาพทาง (TRACK QUALITY INDEX, TQI)

ค่าดัชนีสภาพทางเป็นค่าดัชนีที่การรถไฟแห่งประเทศไทยใช้ในการควบคุมสภาพทาง สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ กรณีที่ไม่มีน้ำหนักกดทับ (Static values) และกรณีมีน้ำหนักกดทับ (Dynamic values) ซึ่งค่าดัชนีดังกล่าวนี้นั้นเกิดจากการคำนวณของค่าทางสถิติโดยอาศัยค่าความคาดเคลื่อนต่าง ๆ ของทาง (คคค.) เมื่อเทียบกับระยะมาตรฐานของทาง อันประกอบไปด้วย ระดับตามยาว (Profile, x) ระดับตามขวาง (Cross level, h) แนวราง (Alignment, y) และทวิสท์ (Twist, k) โดยทำการตรวจวัดจากรถตรวจสภาพทาง (Track inspection car, TIC) โดยบันทึกค่าทุก ๆ 10 เมตรตามแนวยาวของทางรถไฟ โดยพิกัดค่าความคาดเคลื่อนที่ยอมให้ในแต่ละองค์ประกอบสามารถสรุปไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พิกัดค่าความคลาดเคลื่อนของทางเมื่อมีน้ำหนักกดทาง (Tolerances for Track Irregularity) [9]

รายการ	หลังซ่อม Static (Dynamic)	ใช้งาน Static (Dynamic)	ฉุกเฉิน Static (Dynamic)
ขนาดทาง (a)	+7, -2 (+3, -3)	+10, -3 (+6, -4)	+12, -4 (+9, -5)
ระดับตามขวาง (h)	±6 (±4)	±12 (±9)	±16 (±12)
แนวราง (y)	±8 (±4)	±14 (±7)	±18 (±10)
ระดับตามยาว (x)	±8 (±5)	±14 (±10)	±18 (±16)
ทวิสท์ (k)	±7 (±5)	±15 (±10)	±20 (±15)

*ค่าพิกัดต่าง ๆ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

จากค่าความคาดเคลื่อนดังกล่าวข้างต้นค่าที่ได้จะมีค่าเป็นจำนวนมากหากเทียบกับการตรวจวัดทุก ๆ 1 กิโลเมตรแล้วนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องนำมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อให้ได้ตัวแทนหรือดัชนีชี้วัดต่อ 1 กิโลเมตร ดังนั้นในลักษณะดังกล่าวค่าของ TQI สามารถเรียกได้ว่าเป็นดัชนีความไม่สม่ำเสมอของทาง (Track irregularity index, P) ซึ่ง TQI หรือ P จะเป็นผลรวมของค่าความคาดเคลื่อนต่าง ๆ โดยที่จะมีพิกัดความคาดเคลื่อนในประเภทต่าง ๆ (ตารางที่ 1) นำมาระบุในรูปแบบเส้นโค้งการกระจายตัวแบบปกติ (Normal distribution curve) และเมื่อนำค่า TQI หรือ P ของแต่ละองค์ประกอบมาพิจารณาร่วมกันสามารถพิจารณาได้ตามสมการที่ (1) โดยจะนำมาประเมินสภาพของทางเพื่อทำการพิจารณาในการวางแผนซ่อมบำรุงดังแสดงในตารางที่ 2

$$TQI = \frac{1}{5}[\boldsymbol{TQI_x + TQI_k + TQI_h + 2TQI_y}] \quad (1)$$

ตารางที่ 2 ประเภทของสภาพทางจากการตรวจวัด TQI [9]

ค่าระดับ TQI (%)	สภาพทาง
0-10	ดีมาก
11-20	ดี
21-30	พอใช้
31-40	ต้องปรับปรุง
มากกว่า 40	ต้องปรับปรุงเร่งด่วน

4.2. ค่าดัชนีหินสกปรก (FOULING INDEX, FI)

ค่าดัชนีหินสกปรกนั้นเป็นค่าที่ใช้ในการพิจารณาความสกปรกของหินโรยทางที่ถูกปนเปื้อนด้วยส่วนละเอียดต่าง ๆ เพื่อนำไปกำหนดกิจกรรมการบำรุงรักษาทางรถไฟ โดยพิจารณาจากการปนเปื้อนของส่วนละเอียดลอดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และ ตะแกรงเบอร์ 200 [3] ดังแสดงในสมการที่ (2) และตารางที่ 3

$$FI = P_4 + P_{200} \quad (2)$$

โดยที่ P_4 คือร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.)
P_{200} คือร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มม.)

ตารางที่ 3 การจำแนกความสกปรกของหินด้วยค่าดัชนีหินสกปรก

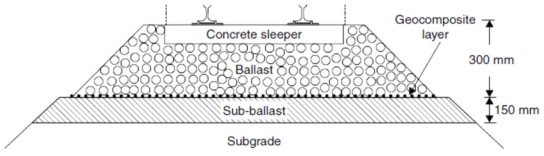
Fouling Index (FI)	ระดับ
<1	สะอาด (Clean)
1 - < 10	ค่อนข้างสะอาด (Moderately clean)
10 - < 20	ค่อนข้างสกปรก (Moderately fouled)
20 – < 40	สกปรก (Fouled)
> 40	สกปรกมาก (Highly fouled)

5. วัสดุตาข่ายเสริมกำลัง*ดินและหินโรยทาง*

การปรับปรุงคุณภาพทางรถไฟ โดยทั่วไปสามารถกระทำได้หลักๆ 3 วิธี [10] คือ การเปลี่ยนวัสดุคันทางใหม่ การปรับปรุงคุณสมบัติของดินคันทาง และการใช้วัสดุเสริมแรงหรือวัสดุสังเคราะห์ โดยมีจุดประสงค์ในการปรับปรุงคุณภาพคันทางแบ่งได้เป็นกลุ่มใหญ่ คือ

1) เพื่อการแบ่งแยกชั้น
2) เพื่อการเสริมกำลัง
3) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความสามารถในการกรองและระบายน้ำ
4) เพื่อป้องกันน้ำและความชื้นในโครงสร้าง

เนื่องด้วยปัญหาของการซ่อมบำรุงทางที่มีความจำเป็นที่จะต้องให้มีรถสัญจรตามที่กล่าวถึงข้างต้น การเลือกใช้ตาข่ายเสริมกำลังดินและการใช้วัสดุสังเคราะห์ (Geocomposite) ดังแสดงในรูปที่ 5 อันประกับไปด้วยตาข่ายเสริมกำลังดินและหินโรยทาง (Geogrid) และแผ่นใยสังเคราะห์ (Geosynthetics)



รูปที่ 5 ตัวอย่าง Geocomposite (geogrid and geosynthetics) [11]

5.1. ตาข่ายเสริมกำลังดินและหินโรยทาง (GEOGRID)

การใช้ตาข่ายเสริมกำลัง (Geogrid) จะช่วยกระจายแรงออกสู่คันทางในบริเวณที่กว้างขึ้น ลดแรงที่กระทำต่อดินคันทาง เพิ่มแรงแบกทานในชั้นดิน ลดการทรุดตัวในทางรถไฟและลดการเสื่อมสภาพของหินโรยทาง (Ballast degradation) ซึ่งจะช่วยให้เกิดการขบกันจากเหลี่ยมและมุมของหินโรยทาง (Grain

interlocking) ทำให้เกิดแรงต้านที่สูงขึ้นอีกทั้งป้องกันการเคลื่อนตัวทางด้านข้างอีกด้วย โดยจะวางตาข่ายเสริมแรงระหว่างชั้นพื้นทาง (Sub-ballast) และชั้นหินโรยทาง (Ballast) เพื่อช่วยรับแรงดึงเนื่องจากแรงกระทำซ้ำ ๆ ของขบวนรถไฟ

ตาข่ายเสริมกำลังดินและหินโรยทางแต่ละชนิดมีข้อได้เปรียบและข้อจำกัดแตกต่างกัน โดยการใช้งานจะต้องเลือกใช้วัสดุที่รับกำลังสูงและมีการยืดตัวของวัสดุไม่มาก โดยทั่วไปมักจะกำหนดให้พิจารณากำลังรับแรงดึงที่การยืดตัวที่ 2% เป็นค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์ออกแบบและกำหนดใช้งาน เนื่องจากหากใช้งานวัสดุที่มีกำลังได้ตามการวิเคราะห์แต่มีการยืดตัวสูงจะทำให้ชั้นหินโรยทางเสียรูปมากกว่าปกติ ดังนั้นหากตาข่ายเสริมกำลังดินและหินโรยทางแต่ละชนิดมีกำลังผ่านเกณฑ์การวิเคราะห์ที่การยืดตัวตามที่กำหนดก็สามารถนำมาใช้งานได้ ตารางที่ 4 และ 5 แสดงถึงข้อกำหนดที่ใช้ในงานปรับปรุงทางของการรถไฟแห่งประเทศไทย [15]

ตารางที่ 4 ข้อกำหนดตาข่ายเสริมกำลังดินและหินโรยทาง [15]

รายการ	เกณฑ์กำหนด
ชนิด	Biaxial หรือ Triangular
Radial secant stiffness at 2% strain	≥ 400 kN/m
Radial secant stiffness at 0.5% strain	≥ 540 kN/m
Junction efficiency	≥ 90% ของ Radial Secant stiffness ที่น้อยที่สุดระหว่าง 2% และ 0.5%
Carbon black	≥ 2%

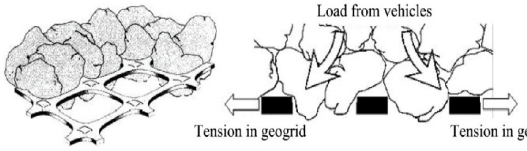
ตารางที่ 5 ข้อกำหนดแผ่นใยสังเคราะห์ [15]

รายการ	เกณฑ์กำหนด
ชนิด	Woven
แรงกดทะลุ	≥ 6 kN
ความต้านทางแรงดึงสูงสุด	≥ 60 kN/m
อัตราการซึมผ่านของน้ำ	≥ 1500 l/m^2/min

ลักษณะการทำงานของตาข่ายเสริมกำลังดินและหินโรยทางจะทำการยึดมวลของหินโรยทางให้มีแรงยึดเหนี่ยวที่เพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 6 เมื่อมีน้ำหนักกระทำด้านบนจากน้ำหนักสัญจร โครงสร้างทางจะรับน้ำหนักและถ่ายแรงลงสู่ชั้นดินด้านล่าง ซึ่งจะเกิดการเสียรูปทั้งในแนวทางด้านข้างและในแนวดิ่ง วัสดุตาข่ายเสริมกำลังดินจะช่วยเสริมแรงทางด้านข้างหรืออีกนัยหนึ่งคือเพิ่มแรงทางด้านข้างในทิศทางตรงข้ามจากน้ำหนักกระทำในแนวนอนเพื่อต้านทานแรงกระทำและลดการเคลื่อนตัวในแนวนอน ดังนั้นเมื่อวัสดุพื้นทางมีการเสียรูปน้อยลงจึงทำให้โครงสร้างส่วนบนเสียรูปน้อยลงไปด้วย ทั้งในช่วงระหว่างการใช้งานและในช่วงระยะยาว

5.2 แผ่นใยสังเคราะห์ (GEOSYNTHETICS)

แผ่นใยสังเคราะห์มีความสามารถในการซึมผ่านของน้ำได้ดี ทำหน้าที่กรองและแยกชั้นดิน ช่วยการระบายน้ำและการป้องกันการชะของหน้าดิน โดยทั่วไปผลิตจากพอลิเมอร์ 100% เช่น พอลิโพรพิลีน (Polypropylene) พอลิเอทิลีน (Polyethylene) พอลิเอสเตอร์ (Polyester) เป็นต้น โดยทั่วไปแผ่นใยสังเคราะห์ มี 2 รูปแบบ ได้แก่ Woven, Non-Woven ดังรูปที่ 7



รูปที่ 6 พฤติกรรมของตาข่ายเสริมกำลังดินและหินโรยทาง [16]

รูปที่ 7 แผ่นใยสังเคราะห์ชนิด Non-Woven และชนิด Woven [17]

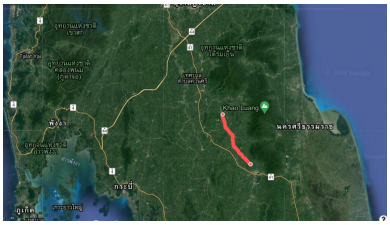
6. ขั้นตอนการปรับปรุงโครงสร้างทางรถไฟด้วยวัสดุเสริมกำลัง

6.1. สถานที่ในการก่อสร้าง

การปรับปรุงทางรถไฟด้วยวัสดุเสริมกำลังนั้น ทำการติดตั้งในทางรถไฟสายใต้ระหว่าง กม. 713+000 ถึง กม.750+690 ระหว่างสถานีกระเบียด ถึงสถานีชุมทางทุ่งสง เป็นระยะทางรวม 7.63 กิโลเมตร ดังแสดงในรูปที่ 8

6.2 สภาพชั้นพื้นทางที่ทำการก่อสร้าง

เพื่อทำการวิเคราะห์ที่มาของปัญหาโคลนทะลักในทางรถไฟที่เกิดขึ้นจึงมีการสำรวจจุดที่มีความเสียหายสูงสุดและมีประวัติการซ่อมบำรุงเนื่องจากปัญหาโคลนทะลักอยู่บ่อยครั้งทั้งหมด 3 จุด พบว่าลักษณะของหินนั้นมีความสกปรกมาก (Highly fouled) และชั้นดินคันทางมีลักษณะเป็นดินเหนียวปนทรายที่มีกำลังต่ำ (CBR น้อยกว่า 5%) จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการเสริมกำลังให้กับโครงสร้างทางโดยสรุปดังตารางที่ 6



รูปที่ 8 สถานที่ในการก่อสร้างปรับปรุงโครงสร้างทางรถไฟ

ตารางที่ 6 ค่าคุณสมบัติของโครงสร้างส่วนล่างก่อนการปรับปรุง

กิโลเมตรที่	716	748	750
Latitude	8.471623	8.230324	8.217892
Longitude	99.490398	99.630506	99.641232
ชั้นหินโรยทาง			
FI (%)	57.74	59.32	43.91
ชั้นรองพื้นทาง			
LL (%)	61.27	60.36	68.47
PI (%)	35.78	33.42	38.31
Pass#4 (%)	96.80	83.91	96.80
Pass#40 (%)	43.13	47.77	48.13
Pass#200 (%)	41.41	45.90	43.29
$\gamma_{d,\ max}$ (kN/m^3)	17.32	16.48	17.72
OMC (%)	20.25	17.78	18.77
CBR (%)	2.41	4.82	4.11

6.3 ขั้นตอนการปรับปรุงพื้นทาง

สำหรับการปรับปรุงพื้นทางรถไฟเพื่อติดตั้งวัสดุเสริมกำลังนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องรื้อย้ายวัสดุในชั้นหินโรยทางโดยใช้เครื่องจักร Ballast blaster undercutter (รูปที่ 9) โดยกำหนดความหนาในการรื้อหินที่ 30 ซม.จากใต้ท้องหมอนรองราง เพื่อประหยัดเวลาและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นการนำหินโรยทางที่มีความสกปรกออกจากทางหลังจากนั้นทำการติดตั้งวัสดุเสริมกำลังพร้อมทั้งทำการเปลี่ยนหินโรยทางใหม่ (รูปที่ 10 และ 11)

7. การประเมินผลการติดตั้งหลังการปรับปรุงทางรถไฟ

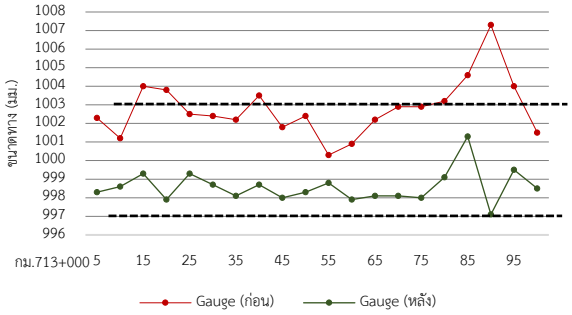
ภายหลังจากดำเนินการปรับปรุงโครงสร้างทางรถไฟส่วนล่างด้วยวัสดุเสริมกำลังทางปฐพี (Geocomposite) เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของการรับน้ำหนักของโครงสร้างทางที่ได้รับการปรับปรุง โดยการตรวจสอบค่าความเคลื่อนของทางเพื่อตรวจสอบองค์ประกอบต่าง ๆ ของทางด้วยเครื่องวัดสอบสภาพทางแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Track geometry measurement) เพื่อประเมินค่าองค์ประกอบทางเรขาคณิตดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 13 และค่า TQI ที่ได้รับการปรับปรุงแล้วโดยมีค่าลดลง 9-12% ดังแสดงในตารางที่ 7

รูปที่ 9 การปาดหินด้วย Ballast blaster undercutter

รูปที่ 10 การติดตั้งแผ่นใยสังเคราะห์ตาข่ายเสริมกำลังดินและหินโรยทาง

รูปที่ 11 การลงหินโรยทางและการอัดหินใหม่

รูปที่ 12 ตรวจสอบมิติทางเรขาคณิตด้วยเครื่องวัดสอบสภาพทาง



รูปที่ 13 กราฟค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดทาง

ตารางที่ 7 ผลการวัดค่าความคลาดเคลื่อนของทาง

กิโลเมตรที่	$TQI_{ก่อนแก้ไข}$	$TQI_{หลังแก้ไข}$
716	19	9
748	27	12
750	19	11

8. สรุป

เนื่องจากการปรับปรุงโครงสร้างทางรถไฟส่วนล่างของการรถไฟแห่งประเทศไทยนั้นในปัจจุบันมีข้อจำกัดในลักษณะของเวลาการทำงานอันเนื่องมาจากทางรถไฟส่วนมากเป็นโครงสร้างทางเดี่ยวซึ่งไม่สามารถทำการซ่อมบำรุงโครงสร้างทางรถไฟส่วนล่างได้อย่างเต็มที่ โดยการรถไฟแห่งประเทศไทยจะทำการปรับปรุงโครงสร้างทางดังกล่าวอย่างเต็มรูปแบบล่าสุดจากโครงการปรับปรุงทางรถไฟ ระยะ 5 และ 6 (Track rehabilitaion phase 5 and 6) เมื่อปี 2554-2557 ซึ่งเป็นการปรับปรุงโครงสร้างทางใหม่โดยการรื้อย้ายวัสดุออกทั้งโครงสร้าง แต่เนื่องจากข้อจำกัดของการสัญจรวิธีปรับปรุงทางด้วยวัสดุเสริมกำลังนั้นจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่นำเข้ามาใช้เพื่อที่จะลดปัญหาการปิดทางซึ่งจะส่งผลกระทบถึงประชาชนโดยทั่วไป นอกเหนือจากในกรณีศึกษาในบทความฉบับนี้แล้ว การรถไฟแห่งประเทศไทยได้ทำการปรับปรุงโครงสร้างทางรถไฟส่วนล่างด้วยวิธีใช้วัสดุเสริมกำลังในสายตะวันออกช่วงของจังหวัดฉะเชิงเทราและช่วงของทางรถไฟสายเหนือบางส่วน ตั้งแต่ปี 2562 โดยในปัจจุบันฝ่ายช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทยทำการติดตามผลและติดตามสภาพทางออกเป็นระยะ ๆ ให้มีความมั่นคงปลอดภัยและเพียงพอต่อการเดินรถ

8. ข้อเสนอแนะ

เพื่อการบำรุงรักษาทางรถไฟมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การใช้งานวัสดุสังเคราะห์จึงเป็นอีกวิธีการหนึ่งในการปรับปรุงโครงสร้างทางรถไฟที่ได้ผลในระยะสั้นอย่างเห็นได้ชัด โดยการปรับปรุงวิธีดังกล่าวมีความจำเป็นที่จะต้องติดตามผลในระยะยาวควบคู่กันไปเพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพในระยะยาว อีกทั้งมีความจำเป็นที่จะต้องทำการเจาะสำรวจชั้นดินเดิมเพื่อประเมินสภาพของฐานรากของทางสามารถรับน้ำหนักของรถที่เพิ่มขึ้นได้หรือไม่ เพื่อให้การออกแบบแก้สามารถแก้ไขในระยะยาวได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

9. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอย่างสูงนายชัยรัช ดวนสูง วิศวกรกำกับการกองบำรุงทางเขตทุ่งสง ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย สำหรับการสนับสนุนในการเก็บข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์ดังกล่าว

10. การอ้างอิง

[1] รายงานผลการตรวจสอบสภาพทางโดยรถ ตท.2 (EM120) ปี 2563, ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย

[2] แนวทางการควบคุมและบริหารโครงการก่อสร้างทางรถไฟ (2562), ฝ่ายโครงการพิเศษและก่อสร้าง การรถไฟแห่งประเทศไทย

[3] Selig E. and Waters J. (1994), Track Geotechnology and Substructure Management, Thomas Telford, USA.

[4] Indraratna B., Salim W., Rujikiatkamjorn C., (2011), Advanced Rail Geotechnolgy Ballasted Track, CRC Press, London, UK.

[5] T.V. Duong, A.M. Tang, Y.-J. Cui, V.N. Trinh, J.-C. Dupla, N. Calon, A. Robinet (2013). Effects of fines and water contents on the mechanical behavior of interlayer oil in ancient railway sub-structure. Soils and Foundations 53(6), 868–878. DOI: 10.1016/j.sandf.2013.10.006

[6] T.V. Duong, Y.-J. Cui, A.M. Tang, J.-C. Dupla, N. Calon (2014). Effect of fine particles on the hydraulic behavior of interlayer soil in railway substructure. Canadian Geotechnical Journal. 51(7), 735–746. DOI: 10.1139/cgj-2013-0170

[7] T.V. Duong, Y.-J. Cui, A.M. Tang, J.C. Dupla, J. Canou, N. Calon, A. Robinet, B.Chapot, E. de Laure (2014). Physical Model for Studying the Migration of Fine Particles in the Railway Substructure, Geotechnical Testing Journal. 37(5), 895–906. DOI: 10.1520/GTJ20130145

[8] Ebrahimi, A., Tinjum, J., & Edil, T.B. (2010). LARGE-SCALE , CYCLIC TRIAXIAL TESTING OF RAIL BALLAST. Proceedings of AREMA 2010 Annual Conference and Exposition, May 25, Orlando, FL, USA.

[9] คู่มือบำรุงทาง (2538), ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย

[10] B. Indraratna, S. Nimbalkar, D. Christie, C. Rujikiatkamjorn, J. Vinod (2009) Field Assessment of the Performance of a Ballasted Rail Track with and without Geosynthetics, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 136(7). DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000312

[11] Richard J. Bathurst, Gerald P. Raymond (1987) Geogrid reinforcement of ballastedtrack. Transportation Research Board. 1153, 8–14.

[12] N.T. Ngo, B. Indraratna, C. Rujikiatkamjorn (2016). Modelling geogrid-reinforced railway ballast using the discrete element method, Transportation Geotechnics. 8, 86–102. DOI: 10.1016/j.trgeo.2016.04.005

[13] X. Chen, Y. Jia, J. Zhang (2017). Geogrid-reinforcement and the critical state of graded aggregates used in heavy-haul railway transition subgrade, Transportation Geotechnics. 11, 27–40. DOI: 10.1016/j.trgeo.2017.04.001

[14] B. Indraratna, H. Khabbaz, W. Salim (2004). A Laboratory Study on Improvement of Railway Ballast using Geosynthetics. Geotechnical Engineering for Transportation Projects. DOI: 10.1061/40744(154)48

[15] รายการจำเพาะสำหรับวัสดุแผ่นใยสังเคราะห์และตาข่ายเสริมกำลังดินและหินโรยทางสำหรับทางรถไฟ พ.ศ. 2562, การรถไฟแห่งประเทศไทย

[16] Fischer, S., & Horvát, F. (2011). Superstructure Stabilization of Ballast Bedded Railway Tracks with Geogrids. Hungarian Journal of Industrial Chemistry. 39(1), 101-106. DOI: 10.1515/391

[17] รัฐธรรม อิสโรหาร (2559), การควบคุมคุณภาพแผ่นใยสังเคราะห์และกล่องลวดตาข่าย, งานอบรมความรู้ทางด้านการควบคุมคุณภาพวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้าง กองวิศวกรรม กรมเจ้าท่า