กรมการขนส่งทางราง
Department of Rail Transport

มขร. – C – 007 -2566
มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง
(Ballasted Track Design)

กองมาตรฐานความปลอดภัยและบำรุงทาง

514/1 Lan Luang Road, Dusit, Bangkok, Thailand 10300
http://www.drt.go.th/
Facebook/DRT.OfficialFanpage

รายนามคณะกรรมการจัดทำมาตรฐานการขนส่งทางราง

คณะกรรมการ

1.	นายพิเชฐ คุณาธรรมรักษ์ กรมการขนส่งทางราง	ประธานกรรมการ
2.	นางสลักษณ์ พิสุทธิพัทธยา สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	กรรมการ
3.	นายเริงศักดิ์ ทองสม สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร	กรรมการ
4.	นายกำพล บุญชม การรถไฟแห่งประเทศไทย	กรรมการ
5.	นายสุพพัต พิพัฒนกุล การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย	กรรมการ
6.	นายอานุภาพ เกียรติกำจร บริษัท รถไฟฟ้า ร.ฟ.ท. จำกัด	กรรมการ
7.	นายภณสินธุ์ ไพทีกุล สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย	กรรมการ
8.	นายเอกรัตน์ ไวยนิตย์ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ	กรรมการ
9.	นายอนุสรณ์ ทนหมื่นไวย สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ	กรรมการ
10.	นายสราวุธ กาญจนพิมาย สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์	กรรมการ
11.	นายประจักษ์ ทรัพย์มณี สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย	กรรมการ
12.	นายปิยชัย ชูเอม บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน)	กรรมการ
13.	นายหลักฐาน ทองนพคุณ บริษัท ทางด่วนและรถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน)	กรรมการ
14.	นายวรนิติ ช่อวิเชียร สมาคมวิศวกรที่ปรึกษาแห่งประเทศไทย	กรรมการ

15.	นายทยากร จันทรางศุ กรมการขนส่งทางราง	กรรมการ และเลขานุการ
16.	นายศุภฤกษ์ สุดยอดประเสริฐ กรมการขนส่งทางราง	กรรมการ และผู้ช่วยเลขานุการ
17.	นางสาวภัณฑิรา ธนะโสภณ กรมการขนส่งทางราง	กรรมการ และผู้ช่วยเลขานุการ
18.	นายปกรณ์ ศรีรักษา กรมการขนส่งทางราง	กรรมการ และผู้ช่วยเลขานุการ
19.	นายเกริกเกียรติ อังคณาวิศัลย์ กรมการขนส่งทางราง	กรรมการ และผู้ช่วยเลขานุการ
20.	นายกองพล ชุนเกาะ กรมการขนส่งทางราง	กรรมการ และผู้ช่วยเลขานุการ

****

รายนามคณะอนุกรรมการจัดทำมาตรฐานโครงสร้างพื้นฐานด้านงานโยธา และความปลอดภัยของระบบราง

คณะอนุกรรมการ

1.	นายอธิภู จิตรานุเคราะห์ กรมการขนส่งทางราง	ประธานอนุกรรมการ
2.	นายทยากร จันทรางศุ กรมการขนส่งทางราง	รองประธานอนุกรรมการ
3.	นายพิษณุ พงษ์ไทย การรถไฟแห่งประเทศไทย	อนุกรรมการ
4.	นายขวัญ สุขคง การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย	อนุกรรมการ
5.	นายสุพพัต พิพัฒนกุล การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย	อนุกรรมการ
6.	นางสาวพาขวัญ พูนจิตรบริสุทธิ์ สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีระบบราง (องค์การมหาชน)	อนุกรรมการ
7.	นายอานุภาพ เกียรติกำจร บริษัท รถไฟฟ้า ร.ฟ.ท. จำกัด	อนุกรรมการ
8.	นายหลักฐาน ทองนพคุณ บริษัท ทางด่วนและรถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน)	อนุกรรมการ
9.	นายวัสพล ลัญฉน์วัฒน์ บริษัท ระบบขนส่งมวลขนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน)	อนุกรรมการ
10.	นายไพสุข ห่านชัย บริษัท เอเชีย เอรา วัน จำกัด	อนุกรรมการ
11.	นายดิสพล ผดุงกุล วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์	อนุกรรมการ
12.	นายภณสินธุ์ ไพทีกุล สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย	อนุกรรมการ
13.	นายอเนก มีมูซอ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ	อนุกรรมการ

14.	นายศุภฤกษ์ สุดยอดประเสริฐ กรมการขนส่งทางราง	อนุกรรมการ และเลขานุการ
15.	นางสาวภัณฑิรา ธนะโสภณ กรมการขนส่งทางราง	อนุกรรมการ และผู้ช่วยเลขานุการ
16.	นายปกรณ์ ศรีรักษา กรมการขนส่งทางราง	อนุกรรมการ และผู้ช่วยเลขานุการ
17.	นายเกริกเกียรติ อังคณาวิศัลย์ กรมการขนส่งทางราง	อนุกรรมการ และผู้ช่วยเลขานุการ
18.	นายกองพล ชุนเกาะ กรมการขนส่งทางราง	อนุกรรมการ และผู้ช่วยเลขานุการ

****

มขร. – C – 007 -2566
มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง
(Ballasted Track Design)

1. บททั่วไป

1.1 หลักการพื้นฐาน

มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟแบบทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง อธิบายหลักการและวิธีการออกแบบโครงสร้างส่วนล่างของทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง อันประกอบไปด้วย ชั้นหินโรยทาง ชั้นรองหินโรยทาง และชั้นดินพื้นทาง ส่วนสำคัญสำหรับการออกแบบ ได้แก่ การระบุความหนาของชั้นโครงสร้างทางส่วนต่าง ๆ รูปตัดของทาง และการกำหนดสมบัติทางวิศวกรรมของหินโรยทางรถไฟซึ่งผลิตจากหินธรรมชาติและวัสดุชั้นรองหินโรยทาง มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟแบบทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง ยังได้ให้ข้อแนะนำเกี่ยวกับเทคนิค และข้อปฏิบัติสำหรับการก่อสร้างโครงสร้างส่วนล่างของทางรถไฟแบบมีหินโรยทางอีกด้วย ทั้งนี้ จากการสำรวจข้อมูลพบว่า ในปัจจุบันมีเพียงหมอนรองรางเท่านั้นที่สามารถผลิตเองได้ในประเทศไทย ขณะที่องค์ประกอบอื่นๆ ของทางรถไฟ เช่น ราง ประแจ อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง ยังต้องมีการผลิตและนำเข้าจากต่างประเทศอยู่ ดังนั้น มาตรฐานฉบับนี้มีเนื้อหาการออกแบบและก่อสร้างทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานสหรัฐอเมริกา และกลุ่มประเทศยุโรป รวมไปถึงมาตรฐานที่ใช้อยู่ในประเทศไทย โดยมีการกำหนดถึงรายละเอียดของการวิเคราะห์พฤติกรรมของชั้นทาง คุณสมบัติของหินโรยทาง ชั้นรองหินโรยทาง และดินพื้นทาง เป็นต้น โดยจะเน้นเกี่ยวกับการทดสอบและรับรองถึงคุณสมบัติและประสิทธิภาพขั้นต่ำของชิ้นส่วนต่างๆ แทนที่จะกำหนดถึงขั้นตอนและวิธีการในการออกแบบ

1.2 วัตถุประสงค์

มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดมีหินโรยทางฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นข้อกำหนดมาตรฐานและเทคนิคในการออกแบบทางถาวรชนิดมีหินโรยทาง บนทางรถไฟขนาดกว้าง 1.000 เมตร (meter gauge) และขนาดกว้าง 1.435 เมตร (standard gauge) ทั้งนี้ สามารถพิจารณาใช้มาตรฐานอื่นๆ ที่เทียบเท่าหรือตามข้อตกลงในสัญญา

1.3 ขอบเขต

1.3.1 มาตรฐานฉบับนี้ใช้สำหรับระบบขนส่งทางรางในประเทศไทย

1.3.2 มาตรฐานฉบับนี้ใช้สำหรับออกแบบทางถาวรชนิดมีหินโรยทาง บนทางรถไฟขนาดกว้าง 1.000 เมตร (meter gauge) และขนาดกว้าง 1.435 เมตร (standard gauge)

1.4 มาตรฐานอ้างอิง

1.4.1 มาตรฐานการขนส่งทางราง มขร C-001-2564 มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ (Track Classification Standard)

1.4.2 มาตรฐานการขนส่งทางราง มขร C-005-2566 มาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ (Track Components Standard)

1.4.3 มาตรฐานการขนส่งทางราง มขร C-008-2566 มาตรฐานระบบระบายน้ำบนทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางระหว่างเมือง (track drainage for intercity rail)

2. นิยามและสัญลักษณ์

2.1 นิยาม

โครงสร้างส่วนบนของทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง ประกอบด้วย ราง แผ่นรองราง เครื่องยึดเหนี่ยวราง และหมอนรองราง

โครงสร้างส่วนล่างของทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง คือ ส่วนประกอบของทางรถไฟที่ต่ำกว่าหมอนรองรางลงมา โดยหน้าที่หลักของโครงสร้างส่วนล่าง คือ รองรับและให้การยึดตัวโครงสร้างส่วนบนของทาง รถไฟ กระจายน้ำหนักจากการจราจรจากโครงสร้างส่วนบนลงไปยังชั้นดินพื้นทางระบายน้ำในชั้นโครงสร้างทาง ป้องกันชั้นดินพื้นทางจากสภาพธรรมชาติ ช่วยให้การปรับแก้ทางรถไฟทำได้ง่ายโดยไม่ต้องรื้อและก่อสร้างทางใหม่

หินโรยทางรถไฟ คือ วัสดุหินมวลหยาบผลิตจากหินแข็ง เช่น แกรนิต บะซอลท์ โรโอไลต์ แอนดีไซท์ ควอร์ตไซท์ เดไซต์ ไดออไรต์ แกรบโบ เป็นต้น

ชั้นหินโรยทาง (ballast) อยู่บนสุดของโครงสร้างทางส่วนล่าง ก่อสร้างจากหินอนุภาคบดอัด มีช่องว่างระหว่างอนุภาคหิน ทำให้ระบายน้ำได้ดี

พื้นทาง (roadbed) เป็นส่วนล่างสุดของโครงสร้างทางส่วนล่าง ทำหน้าที่รองรับทางรถไฟ พื้นทางอาจจะเป็นดินหรือหินก็ได้ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ทางถม (embankment) และทางตัด (cutting) ประกอบด้วย ส่วนชั้นรองหินโรยทาง ส่วนชั้นดินถมพื้นทาง ส่วนดินรองรับชั้นรองหินโรยทาง และส่วนดินเดิม

ชั้นรองหินโรยทาง (sub-ballast) อยู่ใต้ชั้นหินโรยทางและบนชั้นดินพื้นทาง ก่อสร้างจากหินและดินอนุภาคบดอัด หมายถึง ส่วนของพื้นทางตั้งแต่ระดับใต้หินโรยทาง (ballast formation level) ลงมา 30 เซนติเมตร ทำหน้าที่แบ่งแยกและป้องกันไม่ให้ชั้นหินโรยทางแทรกตัวหรือจมลงไปในพื้นทาง

ชั้นดินถมพื้นทาง (embankment) หมายถึง ส่วนของพื้นทางที่อยู่ใต้ชั้นรองหินโรยทางต่ำกว่าระดับใต้หินโรยทางถึงระดับ 120 เซนติเมตร ถ้าเป็นทางถมสูงไม่เกิน 120 เซนติเมตร ส่วนของดินถมพื้นทางจะหมายถึง ส่วนที่อยู่ใต้ชั้นรองหินโรยทางถึงระดับดินเดิม

ดินรองรับชั้นรองหินโรยทาง (blanket) หมายถึง ส่วนของพื้นทางที่อยู่ใต้ชั้นรองหินโรยทาง ที่อยู่ต่ำกว่าระดับชั้นรองหินโรยทางลงไป 30 เซนติเมตร

ดินเดิม (subgrade) หมายถึง ส่วนของพื้นทางใต้ชั้นดินถมพื้นทางในกรณีทางถม และต่ำกว่าชั้นดินใต้หินโรยทางในกรณีทางตัดลงไป

2.2 สัญลักษณ์

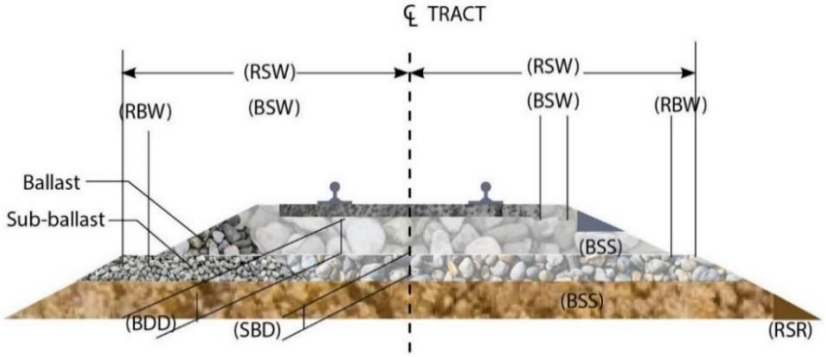
ตารางที่ 1 สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการศึกษาในมาตรฐานฉบับนี้

สัญลักษณ์	ความหมาย	
TSW	Track Superelevation Width	ความสูงทางที่ยกโค้ง
BDD	Depth of Ballast	ความหนาของชั้นหินโรยทาง
BSW	Ballast Shoulder Width	ระยะคลุมหัวหมอนของชั้นหินโรยทาง
BSS	Ballast Side Slope Run	ความลาดเอียงด้านข้างของชั้นหินโรยทาง
SBD	Sub-ballast Depth	ความหนาของชั้นรองหินโรยทาง
SBS	Sub-ballast Side Slope Run	ความลาดเอียงด้านข้างของชั้นรองหินโรยทาง
RSW	Roadbed Shoulder Width	ระยะคลุมหัวหมอนของชั้นพื้นทาง
RSR	Roadbed Side Slope Run	ความลาดเอียงด้านข้างของชั้นพื้นทาง
RBW	Roadbed Berm Width	ความกว้างของคันทางชั้นพื้นทาง

3. การออกแบบโครงสร้างทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง

มาตรฐานนี้อธิบายวิธีการกำหนดขนาด มิติ และความหนาโครงสร้างส่วนล่างของทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง เพื่อให้ทางมีความปลอดภัยและมีสมรรถนะทางวิศวกรรมที่เหมาะสมกับลักษณะการเดินรถไฟ

ลักษณะรูปตัดของทางรถไฟชนิดมีหินโรยทางแสดงใน**รูปที่ 1 ถึง รูปที่ 4**



Ballast

BDD = Depth of Ballast

BSW = Ballast Shoulder Width

BSS = Ballast Side Slope Run

Sub-ballast

SBD = Sub-bakllast Depth

SBS = Sub-ballast Side Slope Run

Roadbed

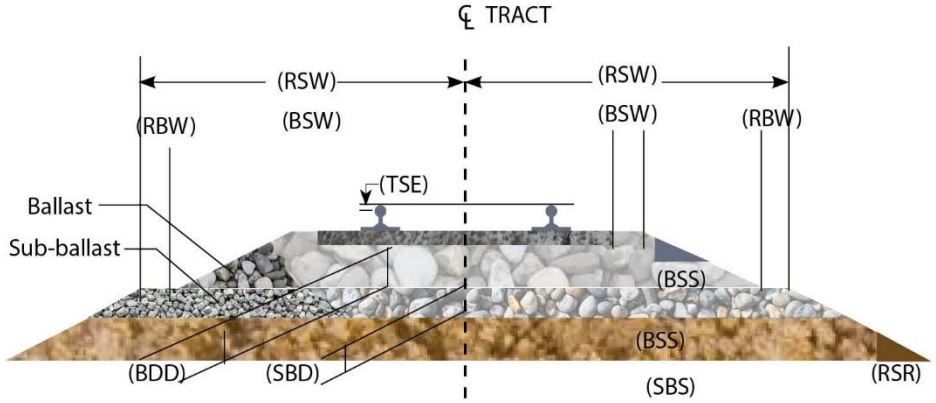
RSW = Roadbed Shoulder Width

RSR = Roadbed Side Slope Run

RBW = Roadbed Berm Width

รูปที่ 1 รูปตัดปกติของทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง

ที่มา : มาตรฐานโครงสร้างทางรถไฟ, สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร



Ballast

BDD = Depth of Ballast

BSW = Ballast Shoulder Width

BSS = Ballast Side Slope Run

Sub-ballast

SBD = Sub-bakllast Depth

SBS = Sub-ballast Side Slope Run

Roadbed

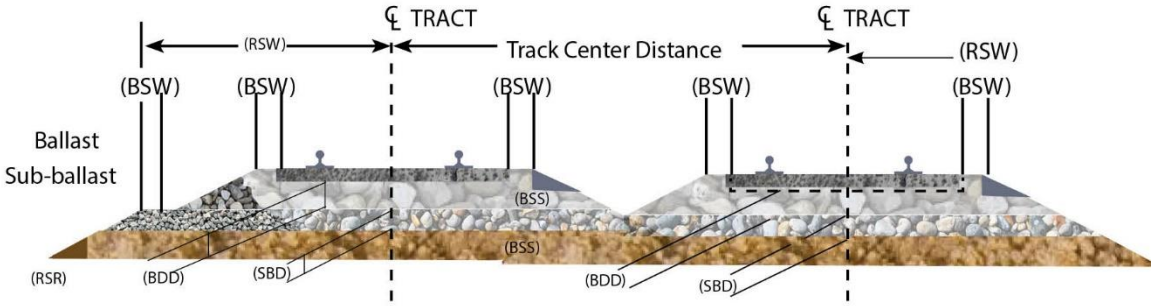
RSW = Roadbed Shoulder Width

RSR = Roadbed Side Slope Run

RBW = Roadbed Berm Width

รูปที่ 2 รูปตัดของทางรถไฟชนิดมีหินโรยทางแบบทางเดี่ยวมีการยกโค้ง

ที่มา : มาตรฐานโครงสร้างทางรถไฟ, สำนักงานนนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร



Ballast

BDD = Depth of Ballast

BSW = Ballast Shoulder Width

BSS = Ballast Side Slope Run

Sub-ballast

SBD = Sub-bakllast Depth

SBS = Sub-ballast Side Slope Run

Roadbed

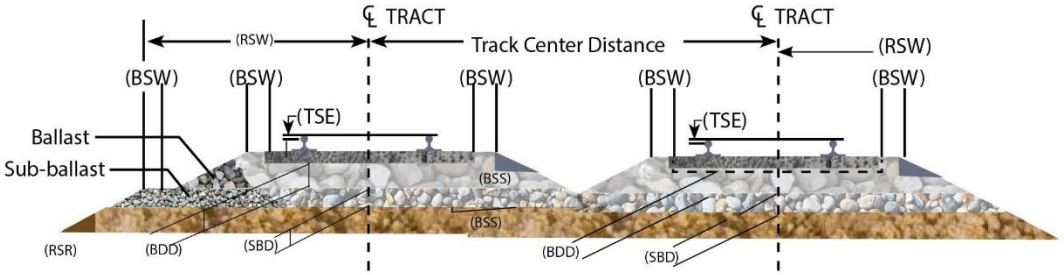
RSW = Roadbed Shoulder Width

RSR = Roadbed Side Slope Run

RBW = Roadbed Berm Width

รูปที่ 3 รูปตัดของทางรถไฟชนิดมีหินโรยทางแบบสองทาง

ที่มา : มาตรฐานโครงสร้างทางรถไฟ, สำนักงานนนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร



Ballast

BDD = Depth of Ballast

BSW = Ballast Shoulder Width

BSS = Ballast Side Slope Run

Sub-ballast

SBD = Sub-bakllast Depth

SBS = Sub-ballast Side Slope Run

Roadbed

RSW = Roadbed Shoulder Width

RSR = Roadbed Side Slope Run

RBW = Roadbed Berm Width

รูปที่ 4 รูปตัดของทางรถไฟชนิดมีหินโรยทางแบบสองทางและมีการยกโค้ง

ที่มา : มาตรฐานโครงสร้างทางรถไฟ, สำนักงานนนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร

3.1 ขนาด และ มิติ ของหน้าตัดโครงสร้างทางส่วนล่าง

3.1.1 ความหนาของชั้นอนุภาค (BDD+SBD)

ความหนาของชั้นอนุภาค คือ ผลรวมของความหนาชั้นหินโรยทางและชั้นรองหินโรยทาง การคำนวณความหนาของชั้นหินอนุภาคให้เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานนี้

3.1.2 ชั้นหินโรยทาง (ballast)

- **ความหนาของชั้นหินโรยทาง (BDD)**

ชั้นหินโรยทางเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างทางส่วนล่างที่วางตัวอยู่ชั้นบนสุด ชั้นหินโรยทางควรก่อสร้างจากวัสดุที่เป็นไปตามข้อกำหนดในข้อที่ 4 ของมาตรฐานนี้

สำหรับทางเดี่ยว ความหนาของชั้นหินโรยทาง (BDD) วัดจากพื้นหมอนรองรางที่แนวกึ่งกลางของทางถึงส่วนบนสุดของชั้นรองหินโรยทางเมื่อทางอยู่ในแนวราบ หรือวัดจากพื้นหมอนรองรางที่อยู่ต่ำกว่าจนถึงส่วนบนสุดของชั้นรองหินโรยทางในกรณีที่ทางมีการยกโค้ง

ในกรณีที่ทางมีหลายทาง (มากกว่า 1 ทาง) ความหนาของชั้นหินโรยทางวัดจากพื้นหมอนรองรางบริเวณใต้รางที่อยู่ประชิด (ด้านขอบทาง) ถึงส่วนบนสุดของชั้นรองหินโรยทางเมื่อทางอยู่ในแนวราบ หรือวัดจากพื้นหมอนรองรางที่อยู่ต่ำกว่าจนถึงส่วนบนสุดของชั้นรองหินโรยทางในกรณีที่ทางมีการยกโค้ง โดยกำหนดให้ความหนาของชั้นหินโรยทางมีค่าอย่างน้อย 30 เซนติเมตร สำหรับทางกว้าง 1.000 เมตร และทางกว้าง 1.435 เมตร

- **ระยะคลุมหัวหมอน (BSW)**

ระยะคลุมหัวหมอน (BSW) ของชั้นหินโรยทาง วัดจากปลายขอบของหมอนรองรางไปจนถึงจุดเริ่มต้นของลาดด้านข้างของชั้นหินโรยทาง กำหนดให้ระดับขอบบนของหมอนรองรางเป็นระดับเดียวกันกับจุดเริ่มต้นของลาดด้านข้างของชั้นหินโรยทาง การวัดระยะคลุมหัวหมอนให้วัดที่ระดับขอบบนของหมอนรองรางที่ติดตั้งแล้ว แนะนำให้ระยะคลุมหัวหมอนมีค่าอย่างน้อย 30 เซนติเมตร สำหรับทางกว้าง 1.000 เมตร และทางกว้าง 1.435 เมตรที่รางต่อกันด้วยวิธีการเชื่อมยาวต่อเนื่อง

- **ความลาดเอียงด้านข้างของชั้นหินโรยทาง (BSS)**

พึงออกแบบเพื่อให้มีแรงดันด้านข้างเพียงพอที่จะพยุงชั้นหินโรยทางได้เอง และทำหน้าที่กระจายน้ำหนักจากการจราจรลงไปสู่ชั้นรองหินโรยทางได้ โดยชั้นหินโรยทางไม่ขยายตัวออกด้านข้างด้วยอัตราที่เร็วเกินไป

- **ระยะทางราบของความลาดเอียงด้านข้างของชั้นหินโรยทาง**

วัดตามระดับขอบบนของหมอนรองรางที่ติดตั้งแล้วไปในแนวราบ ในขณะที่ระยะในแนวดิ่งของความลาดเอียงด้านข้าง วัดตั้งฉากกับระยะในแนวราบดังกล่าว โดยปกติแนะนำให้ใช้ความลาดเอียงด้านข้างของชั้นหินโรยทางเป็น 2 (ในแนวดิ่ง) ต่อ 1 (ในแนวราบ)

3.1.3 ชั้นรองหินโรยทาง (Sub-ballast)

- **ความหนาของชั้นรองหินโรยทาง (SBD)**

ชั้นรองหินโรยทางเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างทางส่วนล่างที่วางตัวอยู่ชั้นต่ำลงมา กล่าวคือ อยู่ใต้ชั้นหินโรยทางแต่อยู่บนชั้นพื้นทาง โดยชั้นรองหินโรยทางควรก่อสร้างจากวัสดุที่เป็นไปตามข้อกำหนดในข้อ 6 ของมาตรฐานนี้ ความหนาของชั้นรองหินโรยทาง (SBD) วัดจากระดับของพื้นทางขึ้นไปจนถึงด้านล่างสุดของชั้นหินโรยทาง ความหนาของชั้นรองหินโรยทางที่ใช้กันโดยทั่วไปอยู่ที่ 30 เซนติเมตร สำหรับทางกว้าง 1.000 เมตร และทางกว้าง 1.435 เมตร อย่างไรก็ตาม ระหว่างการก่อสร้างต้องบดอัดวัสดุรองหินโรยทางแต่ละชั้นในการบดอัดต้องหนาไม่เกิน 15 เซนติเมตร ทั้งนี้ เพื่อให้มีกำลังเพียงพอสำหรับทำหน้าที่เป็นตัวแยกหินโรยทางออกจากดินพื้นทางและป้องกันมิให้ชั้นหินโรยทางและพื้นทางเสื่อมสภาพ

- **ความลาดเอียงของชั้นรองหินโรยทาง (SBS)**

พึงออกแบบเพื่อให้สามารถระบายน้ำที่ไหลลงมาจากชั้นหินโรยทางให้ไหลออกทางด้านข้างของทางไปยังร่องระบายน้ำ แนะนำให้ความลาดเอียงของชั้นรองหินโรยทางมีค่าไม่น้อยกว่า 24 (แนวราบ) ต่อ 1 (แนวดิ่ง) แต่ไม่มากกว่า 40 (แนวราบ) ต่อ 1 (แนวดิ่ง) สำหรับทางกว้างขนาด 1.000 เมตร และทางกว้างขนาด 1.435 เมตร โดยวิศวกรสามารถพิจารณาเลือกใช้ความลาดเอียงที่น้อยกว่าหากดินมีความทึบน้ำที่มากกว่า (สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดินต่ำ)

3.1.4 ชั้นดินถมพื้นทาง

ความกว้างของคันทาง (RSW) ความลาดเอียงด้านข้าง (RSR) ความกว้างไหล่ทางของชั้นพื้นทาง (RSW) ให้พิจารณาออกแบบให้เป็นไปตามข้อกำหนดในข้อ 5 ของมาตรฐานนี้

4. หินโรยทางรถไฟ

4.1.1 ทั่วไป

หินโรยทางรถไฟที่ใช้ก่อสร้าง เนื้อหินต้องไม่ผุ ไม่เป็นรูพรุน ไม่มีกากหิน ดิน เศษไม้ หรือเศษวัสดุอื่นๆ เจือปน และต้องไม่ประกอบด้วยสารเคมีที่เป็นอันตรายและไม่มีแรงเชื่อมประสานเมื่อหินป่นเป็นผงและเปียกน้ำ โดยชั้นหินโรยทางรถไฟที่ได้จากการบดอัดหินโรยทางที่ประกอบด้วยอนุภาคของแข็งโดยมีช่องว่างที่เชื่อมต่อกันระหว่างอนุภาคของแข็งดังกล่าวขึ้นเป็นชั้นมีความหนาตามที่กำหนด

หินโรยทางในชั้นหินโรยทาง ทำหน้าที่กระจายน้ำหนัก static load และ dynamic load จากหมอนรองรางไปยังชั้นรองหินโรยทาง (subballast) และชั้นดินคันทาง (substructure) ไม่ให้เกินกำลังรับน้ำหนักของชั้นดินเดิม (subgrade) ช่วยดูดซับความสั่นสะเทือนจากการวิ่งของขบวนรถไฟ ช่วยต้านการขยับตัวของทางตามขวางตามยาวและในแนวดิ่งจาก dynamic load และ thermal stress รวมทั้งช่วยรักษาแนวราง ระดับตามขวาง การบิดและรูปร่างหน้าตัดของทาง นอกจากนี้ ยังช่วยเอื้ออำนวยต่อการซ่อมบำรุงวางรางและเปลี่ยนหมอน

4.2 ข้อกำหนดด้านสมบัติทางวิศวกรรม

4.2.1 การคละขนาดอนุภาคหินโรยทาง

ขนาดของหินโรยทางกำหนดด้วยขนาดของตะแกรงร่อนคู่หนึ่งซึ่งมีขนาดช่องเปิดมีหน่วยวัดขนาดเป็นมิลลิเมตร หินโรยทางรถไฟที่นำมาทดสอบต้องสามารถร่อนผ่านตะแกรงขนาดใหญ่สุดและค้างอยู่บนตะแกรงขนาดเล็กสุด ให้ขนาดใหญ่สุดของหินโรยทางรถไฟเป็น 63.5 มิลลิเมตร หรือ 50 มิลลิเมตร และขนาดเล็กสุดเป็น 31.5 มิลลิเมตร

การทดสอบการคละขนาดของหินโรยทางรถไฟให้ดำเนินการตามมาตรฐาน EN 13450 : 2003 โดยหินโรยทางสามารถแบ่งออกเป็น 6 กลุ่มหรือขนาดตามการคละขนาดอนุภาคของหินตาม**ตารางที่ 2** หากมิได้กำหนดเป็นอย่างอื่นให้พิจารณาใช้หินโรยทางขนาด A B C D E หรือ F สำหรับทางรถไฟชนิดมีหินโรยทางที่เป็นสายหลัก สายรอง และทางในย่านสถานี

ตารางที่ 2 เกณฑ์การคละขนาดอนุภาคของหินโรยทาง

ขนาดช่องเปิดตะแกรง (มม.)	หินโรยทางขนาด 31.5 ถึง 50 มม.			หินโรยทางขนาด 31.5 ถึง 63 มม.		
	เปอร์เซ็นต์ผ่าน โดยน้ำหนัก					
	กลุ่ม หรือ ขนาด					
	A	B	C	D	E	F
80	100	100	100	100	100	100
63	100	97 ถึง 100	95 ถึง 100	97 ถึง 99	95 ถึง 99	93 ถึง 99
50	70 ถึง 99	70 ถึง 99	70 ถึง 99	65 ถึง 99	55 ถึง 99	45 ถึง 70
40	30 ถึง 65	30 ถึง 70	25 ถึง 75	30 ถึง 65	25 ถึง 75	15 ถึง 40
31.5	1 ถึง 25	1 ถึง 25	1 ถึง 25	1 ถึง 25	1 ถึง 25	0 ถึง 7
22.4	0 ถึง 3	0 ถึง 3	0 ถึง 3	0 ถึง 3	0 ถึง 3	0 ถึง 7
31.5 ถึง 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	-	-	-
31.5 ถึง 63	-	-	-	≥ 50	≥ 50	≥ 85

หมายเหตุ : อาจใช้ตะแกรงขนาด 25มม. แทน 22.4 มม. ได้ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 5 (0 ถึง 7 สำหรับกลุ่ม F)

4.2.2 ปริมาณอนุภาคหินโรยทางขนาดเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร

ให้กำหนดปริมาณอนุภาคหินขนาดเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร ในหินโรยทางเป็นกลุ่มตามปริมาณร้อยละการผ่านโดยเป็นไปตาม**ตารางที่ 3** การทดสอบปริมาณหินขนาดเล็กให้เป็นไปตามมาตรฐาน EN13450-1: 2021 หากมิได้กำหนดเป็นอย่างอื่น ให้พิจารณาเลือกใช้หินโรยทางที่มีปริมาณอนุภาคหินโรยทางขนาดเล็กในกลุ่ม A และ B

ตารางที่ 3 เกณฑ์ปริมาณอนุภาคของหินโรยทางขนาดเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร

ขนาดตะแกรง (มม.)	เปอร์เซ็นต์ผ่านมากที่สุด โดยน้ำหนัก			
	กลุ่ม			
	A	B	C (ระบุค่า)	D
0.5	0 ถึง 0.6	0 ถึง 1.0	0 ถึง X เมื่อ X > 1.0	ไม่ได้กำหนด

ที่มา : มาตรฐาน EN13450-1: 2021

4.2.3 ปริมาณอนุภาคมวลละเอียด

วิศวกรสามารถประเมินความสะอาดของหินโรยทางรถไฟด้วยการพิจารณาปริมาณอนุภาคมวลละเอียด (ขนาดอนุภาคเล็กกว่า 0.063 มิลลิเมตร) ที่มีอยู่ การระบุปริมาณอนุภาคมวลละเอียดของหินโรยทางรถไฟให้เป็นไปตามมาตรฐาน EN13450 : 2003 ให้กำหนดปริมาณอนุภาคมวลละเอียดเป็นกลุ่มตามปริมาณร้อยละการผ่านและระบุให้ชัดเจนโดยเป็นไปตาม**ตารางที่ 4** หากมิได้กำหนดเป็นอย่างอื่นให้พิจารณาเลือกใช้หินโรยทางที่มีปริมาณอนุภาคมวลละเอียดในกลุ่ม A B และ C

ตารางที่ 4 เกณฑ์ปริมาณอนุภาคมวลละเอียดในหินโรยทาง

ขนาดช่องเปิดตะแกรง (มม.)	เปอร์เซ็นต์ผ่านมากที่สุด โดยน้ำหนัก				
	กลุ่ม				
	A	B	C	D (ระบุปริมาณ)	E
0.063	0 ถึง 0.5	0 ถึง 1.0	0 ถึง1.5	0 ถึง X เมื่อ X > 1.5	ไม่ได้กำหนด

ที่มา : มาตรฐาน EN13450 : 2003

4.2.4 ความหนาแน่นรวมของหินโรยทาง

การทดสอบความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักของหินโรยทางให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 29 หากมิได้กำหนดเป็นอย่างอื่นให้พิจารณาเลือกใช้หินโรยทางรถไฟที่บดอัดตามมาตรฐาน ASTM C 29 แล้วได้ความหนาแน่นรวม (Bulk density) ไม่น้อยกว่า 1,200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

4.2.5 รูปร่างของอนุภาค

หินโรยทางรถไฟที่จะนำมาใช้งานควรผลิตจากการกระบวนการทางกล (ระเบิด โม่ ย่อยและคละผสม) ทั้งนี้ เพื่อให้มีเหลี่ยมมุมที่ดี ดังนั้น ไม่อนุญาตให้ใช้หินโรยทางรถไฟที่ประกอบด้วยหินที่ผลิตจากกระบวนการทางกลน้อยกว่า 75% (โดยน้ำหนัก) ตัวอย่างหินที่ไม่ผ่านกระบวนการทางกล เช่น หินหรือกรวดท้องน้ำ

การทดสอบรูปร่างของอนุภาคหินโรยทางให้เป็นไปตามมาตรฐาน EN 933-3 หากมิได้กำหนดเป็นอย่างอื่น ให้พิจารณาเลือกใช้หินโรยทางที่มีผลการทดสอบรูปร่าง กล่าวคือ อนุภาคแบนและยาวที่กำหนดไม่เกิน 4-12% (โดยน้ำหนัก) ของปริมาณตัวอย่าง วิศวกรผู้รับผิดชอบสามารถกำหนดให้ทดสอบรูปร่างของอนุภาคหินโรยทางเพิ่มเติมได้ เมื่อเห็นสมควรทดสอบรูปร่างของอนุภาคหินโรยทางเพิ่มเติม

4.2.6 ดัชนีความเพรียวของอนุภาค (Flakiness Index : FI)

การทดสอบและระบุดัชนีความเพรียวหรือดัชนีความแบนของอนุภาคหินโรยทางให้เป็นไปตามมาตรฐาน EN 933-3 : 2003 มาตรฐานนี้กำหนดและแบ่งดัชนีความเพรียวของอนุภาคหินโรยทางรถไฟเป็น 5 กลุ่มตาม**ตารางที่ 5** หากมิได้กำหนดเป็นอย่างอื่น ให้พิจารณาเลือกใช้หินโรยทางที่มีดัชนีความเพรียวในกลุ่ม A B หรือ C

ตารางที่ 5 เกณฑ์ดัชนีความเพรียวหินโรยทาง (Flakiness Index : FI)

ดัชนีความเพรียว (%)	กลุ่ม
$\leq$ 15	A (FI_{15})
$\leq$ 20	B (FI_{20})
$\leq$ 35	C (FI_{35})
$>$ 35	D (ระบุปริมาณ) ($FI_{Declared}$)
ไม่ได้กำหนด (no requirement)	E (FI_{NR})

ที่มา : มาตรฐาน EN 933-3: 2003

4.2.7 ดัชนีรูปร่าง (Shape Index : SI)

การทดสอบและระบุดัชนีรูปร่างให้เป็นไปตามมาตรฐาน EN 13450 : 2003 โดยมีสัดส่วนของ particle size fraction di/Di (where aggregate passing the larger (Di) $\leq$ 63 mm. and retained on the smaller (di) $\geq$ 14 mm.) มาตรฐานนี้กำหนดหรือแบ่งดัชนีรูปร่างของอนุภาคหินโรยทางรถไฟโดยเป็น 6 กลุ่มตาม**ตารางที่ 6** หากมิได้กำหนดเป็นอย่างอื่น ให้พิจารณาเลือกใช้หินโรยทางที่มีปริมาณอนุภาคมวลละเอียดในกลุ่ม A B C หรือ D

ตารางที่ 6 เกณฑ์ดัชนีรูปร่างของหินโรยทาง

ค่าสูงสุดของดัชนีรูปร่าง (%)	กลุ่ม
$\leq$ 10	A (SI_{10})
$\leq$ 20	B (SI_{20})
$\leq$ 30	C (SI_{30})
5 ถึง 30	D ($SI_{5/30}$)
$>$ 30	E (ระบุปริมาณ) ($SI_{Declared}$)
ไม่ได้กำหนด (No requirement)	F (SI_{NR})

ที่มา : มาตรฐาน EN13450 : 2003

4.2.8 ปริมาณของอนุภาคหินที่ยาวเกิน 100 มิลลิเมตร

การวัดความยาวอนุภาคหินโรยทางรถไฟให้ดำเนินการวัดด้วยเครื่องมือที่เหมาะสม ได้แก่ เกจหรือคาลิปเปอร์ที่มีความแม่นยำมากกว่า 0.1 มิลลิเมตร โดยแบ่งหินโรยทางออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรก ได้แก่ หินที่มีความยาวไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร และกลุ่มที่ 2 คือ อนุภาคหินยาวน้อยกว่า 100 มิลลิเมตร โดยระบุปริมาณของอนุภาคหินที่มีความยาวไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร เป็นร้อยละโดยน้ำหนักจากตัวอย่างที่มีน้ำหนักมากกว่า 40 กิโลกรัม มาตรฐานนี้กำหนดหรือแบ่งปริมาณของอนุภาคหินที่ยาวเกินไปเป็น (100 มิลลิเมตร) เป็น 6 กลุ่มตามมาตรฐาน EN 13450-1 : 2021 ในตารางที่ **7** หากมิได้กำหนดเป็นอย่างอื่น ให้พิจารณาเลือกใช้หินโรยทางที่มีปริมาณของอนุภาคหินที่ยาวไม่น้อยกว่า100 มิลลิเมตร ในกลุ่ม A B C หรือ D

ตารางที่ 7 เกณฑ์ความยาวของอนุภาคหินโรยทาง

เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก) ของอนุภาคที่มีความยาวไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร ในตัวอย่างที่มีน้ำหนักมากกว่า 40 กิโลกรัม				
กลุ่ม				
A	B	C	D	**ระบุค่า**
0 ถึง 4	0 ถึง 6	0 ถึง8	0 - 12	0 ถึง X เมื่อ X> 12

ที่มา : มาตรฐาน EN13450-1 : 2021

4.2.9 ความแข็งแกร่งและความทนทานต่อการแตกหักและขัดสีของอนุภาคหินโรยทาง

1) ค่าการแตกหักและขัดสีลอสแองเจลิส

การทดสอบและระบุค่าการแตกหักและขัดสีลอสแองเจลิส (Los Angeles coefficient : LA_{RB}) ของหินโรยทางให้เป็นไปขนาดอนุภาค ดังนี้

1.1) ขนาดอนุภาคใหญ่สุดเล็กกว่า 37.5 มิลลิเมตร (ขนาดอนุภาคทั้งหมดเล็กกว่า 1 ½ นิ้ว) ให้ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 131 /131M

1.2) ขนาดอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ให้ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 535 (มีอนุภาค 19.0 – 37.5 มิลลเมตร) โดยใช้เครื่องลอสแองเจลิส

1.3) ขนาดอนุภาคใหญ่สุดระหว่าง 19 มิลลิเมตร และ 37.5 มิลลิเมตร อาจใช้การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 535 หรือ ASTM C 131 /131M

มาตรฐานนี้กำหนดหรือแบ่งค่าการแตกหักและขัดสีลอสแองเจลิส ของหินโรยทางออกเป็น 7 กลุ่มตาม**ตารางที่ 8** ซึ่งสอดคล้องตามมาตรฐาน EN13450 : 2003 หากมิได้กำหนดเป็นอย่างอื่น ให้พิจารณาเลือกใช้หินโรยทางที่มีค่าการแตกหักและขัดสีลอสแองเจจิสตามกลุ่ม A B C D หรือ E

ตารางที่ 8 เกณฑ์สำหรับกำหนดกลุ่มค่าลอสแองเจลิส

ค่าลอสแองเจลิส	กลุ่ม
≤ 12	A (LA_{RB} 12)
≤ 14	B (LA_{RB} 14)
≤ 16	C (LA_{RB} 16)
≤ 20	D (LA_{RB} 20)
≤ 24	E (LA_{RB} 24)
> 24	F (LA_{RB} Declared)
ไม่ได้กำหนด (No requirement)	G (LA_{RB} NR)

ที่มา : มาตรฐาน EN13450 : 2003

วิศวกรผู้รับผิดชอบสามารถให้ดำเนินการทดสอบความแข็งแกร่งและความทนทานต่อการแตกหักและขัดสีของอนุภาคหินโรยทางเพิ่มเติมได้เมื่อเห็นสมควร

2) ค่าการแตกหักและขัดสีไมโครเดวาล

การทดสอบและระบุค่าการแตกหักและขัดสีไมโครเดวาล (micro-Deval coefficient : M_{DE} RB) ของหินโรยทางให้เป็นไปตามมาตรฐาน EN13450 : 2003 มาตรฐานนี้กำหนดหรือแบ่งค่าการแตกหักและขัดสีไมโครเดวาลของหินโรยทางออกเป็น 6 กลุ่มตาม**ตารางที่ 9** หากมิได้กำหนดเป็นอย่างอื่น ให้พิจารณาเลือกใช้หินโรยทางที่มีค่าการแตกหักและขัดสีไมโครเดวาลตามกลุ่ม A B C หรือ D

ตารางที่ 9 เกณฑ์สำหรับกำหนดกลุ่มค่าไมโครเดวาลของหินโรยทาง

ค่าไมโครเดวาล	กลุ่ม
≤ 5	A (M_{DE} RB 5)
≤ 7	B (M_{DE} RB 7)
≤ 11	C (M_{DE} RB 11)
≤ 15	D (M_{DE} RB 15)
> 15	E (M_{DE} Declared)
ไม่ได้กำหนด (No requirement)	F (M_{DE} RB NR)

ที่มา : มาตรฐาน EN13450 : 2003

4.2.10 ความทนทานต่อการเสื่อมสภาพของอนุภาคหินโรยทาง

1) ความทนทานต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

การทดสอบความทนทานต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของหินโรยทางรถไฟให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 88 โดยให้ทดสอบ 5 รอบ ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต หรือ แมกนีเซียมซัลเฟต ทั้งนี้ ให้พิจารณาเลือกใช้หินโรยทางที่มีค่าร้อยละการสูญเสียไม่เกิน 5%

วิศวกรผู้รับผิดชอบสามารถให้ดำเนินการทดสอบความทนทานต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของอนุภาคหินโรยทางเพิ่มเติมได้เมื่อเห็นสมควร ทั้งนี้ การทดสอบความทนทานต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของอนุภาคหินโรยทางเพิ่มเติมให้เป็นไปตามมาตรฐาน EN 1367-1 ในกรณีนี้ ให้พิจารณาเลือกใช้หินโรยทางที่มีค่าร้อยละการสูญเสียไม่เกิน 5%

2) ความถ่วงจำเพาะของอนุภาคหินโรยทาง

การทดสอบและระบุความถ่วงจำเพาะ (bulk specific gravity) ของอนุภาคหินโรยทางรถไฟให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 127 ให้พิจารณาเลือกใช้หินโรยทางที่มีความถ่วงจำเพาะของอนุภาคไม่น้อยกว่า 2.6

3) ความสามารถดูดซึมน้ำ

การทดสอบและระบุความสามารถดูดซึมน้ำของอนุภาคหินโรยทางรถไฟให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 127 ให้พิจารณาเลือกใช้หินโรยทางที่มีความสามารถดูดซึมน้ำของอนุภาคไม่เกิน 2%

4) ค่าต้านทานแรงกระแทกของหินโรยทาง (impact value of railway ballast)

การทดสอบค่าต้านทานแรงกระแทกของหินโรยทาง (SZ_{RB}) ของอนุภาคหินโรยทางรถไฟให้เป็นไปตามมาตรฐาน EN 13450 : 2003 ซึ่งใช้วิธีการตาม EN1097-2 : 1998 โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 10

ตารางที่ 10 เกณฑ์สำหรับกำหนดกลุ่มค่าต้านทานแรงกระแทกสูงสุด

ค่าต้านทานแรงกระแทก (%)	กลุ่ม
≤ 14	A (SZ_{RB} 14)
≤ 18	B (SZ_{RB} 18)
≤ 22	C (SZ_{RB} 22)
> 22	E (SZ_{RB} Declared)
ไม่ได้กำหนด (No requirement)	F (SZ_{RB} NR)

ที่มา : มาตรฐาน EN 13450 : 2003

4.3 การผลิตหินโรยทางรถไฟ

4.3.1 ข้อกำหนดทั่วไป

1) การผลิตหินโรยทางรถไฟต้องดำเนินการด้วยเครื่องจักรเครื่องมือที่เหมาะสมจากโรงงานหรือสถานที่ผลิตที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับจากผู้ซื้อหรือหน่วยงานเจ้าของทางรถไฟ กระบวนการผลิต (ระเบิด

โม่ ย่อย และเคลื่อนย้าย) ต้องมาจากแหล่งหินที่ได้ประทานบัตรถูกต้องตามกฎหมายและแหล่งผลิตนั้นต้องได้รับอนุญาตให้ประกอบกิจการโม่หินตามมาตรฐานอุตสาหกรรมที่รัฐบาลกำหนด และต้องไม่ทำให้เกิดการกระทบกระเทือนกับหินโรยทางโดยไม่จำเป็น โรงงานต้องมีกำลังการผลิตเพียงพอ มีสถานที่พักหินหรือลานกอง ทั้งนี้ เพื่อให้สามารถนำส่งหินโรยทางตามปริมาณและอัตราการนำส่งที่กำหนดโดยผู้ซื้อ

2) ผู้ขายหรือผู้ผลิตต้องดำเนินการอย่างระมัดระวังในกระบวนการผลิตต่าง ๆ เช่น การคละผสมหินโรยทาง การโปรยหรือเทหินในลานกองพัก ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดการแยกตัวของหินน้อยที่สุด (การแยกตัวหมายถึง อนุภาคหินโรยทางขนาดใหญ่และขนาดเล็กแยกออกไม่คละผสมกันอย่างสม่ำเสมอ) ผู้ผลิตต้องหลีกเลี่ยงไม่ให้หินโรยทางที่จะนำส่งตกจากระดับที่สูงเกินไประหว่างการเทหรือโปรยกองในลานเก็บอันจะก่อให้เกิดการแตกหักของอนุภาคได้ รวมทั้งควรพิจารณาห้ามมิให้ยานพาหนะเคลื่อนที่บนกองหินโรยทางมากเกินความจำเป็น เพื่อป้องกันการแตกหักและเสื่อมสภาพของหินโรยทาง

3) เนื่องจากการขนส่งหินโรยทาง อาจมีปัญหาเรื่องสิ่งแวดล้อม ดังนั้น เพื่อลดมลภาวะ เช่น ฝุ่นละอองที่อาจจะรบกวนประชาชนทั่วไป ผู้ผลิตต้องจัดให้มีการล้างด้วยน้ำสะอาด เพื่อเอาฝุ่นและวัสดุมวลละเอียดอื่น ๆ ที่ปนเปื้อนออก ก่อนนำเก็บที่ลานกองหรือก่อนการขนย้ายหินโรบทางมาส่งมอบยังสถานที่ที่กำหนด เพื่อนำส่งให้ผู้ซื้อหรือหน่วยงานเจ้าของทางรถไฟ

4.3.2 การเคลื่อนย้ายสำหรับนำส่งหินโรยทาง

หากมิได้ระบุเป็นอย่างอื่น ให้ผู้ผลิตจัดหายานพาหนะสำหรับนำส่งหินโรยทางแก่ผู้ซื้อหรือหน่วยงานเจ้าของทางรถไฟ โดยยานพาหนะต้องอยู่ในสภาพดี สะอาดปราศจากฝุ่น วัสดุมวลละเอียด วัสดุแปลกปลอมอื่นที่เป็นอันตราย ไม่มีรอยรั่วอันจะทำให้หินโรยทางหล่นหาย ทั้งนี้ การส่งมอบหินโรยทาง ผู้ผลิตหรือจัดหาหินโรยทางจะต้องปรับแต่งกองหินโรยทางให้ใกล้เคียงรูปสี่เหลี่ยมคางหมู เพื่อง่ายต่อการตรวจสอบปริมาตรและการตรวจรับ

4.3.3 การตรวจสอบระหว่างการผลิต

ผู้ซื้อหรือเจ้าของโครงการหรือตัวแทนผู้รับมอบอำนาจให้ดำเนินการแทนสามารถเข้าตรวจสอบโรงงานหรือสถานที่ผลิตหินโรยทางในเวลาทำการ โดยมิต้องนัดล่วงหน้า เพื่อ

- เก็บตัวอย่างหินโรยทาง เพื่อการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานนี้ โดยการทดสอบต่อไปนี้ เป็นอย่างน้อย

(ก) การตรวจสอบชนิดของหิน

(ข) การทดสอบดัชนีความแบน (Flakiness Index)

(ค) การทดสอบดันชีความยาวเรียว (ความเพรียว) (Elongation Index)

(ง) การวิเคราะห์ขนาดคละ (Sieve Analysis)

(จ) การทดสอบเปอร์เซ็นต์การสึกหรอ (Los Angeles Abrasion)

- ตรวจสอบว่าสถานที่ผลิต วิธีการ กระบวนการ การควบคุมคุณภาพ เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานนี้

ทั้งนี้ ผู้ซื้อหรือเจ้าของโครงการหรือตัวแทนผู้รับมอบอำนาจให้ดำเนินการแทนสามารถเข้าตรวจสอบ ณ สถานที่เก็บกอง เพื่อเก็บตัวอย่างหินโรยทาง นำมาทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมให้เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานนี้

4.4 การสุ่มตัวอย่างทดสอบ

1) ผู้ซื้อหรือหน่วยงานเจ้าของทางต้องตรวจสอบคุณภาพหินโรยทางว่าเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานนี้ ก่อนรับรองแหล่งหินที่จะใช้ในการผลิต ผู้ผลิตและ/หรือหน่วยงานเจ้าของทางรถไฟจัดให้มีการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมขั้นต้นของวัสดุตามการทดสอบที่ระบุในมาตรฐานนี้ การเก็บตัวอย่างและทดสอบหินโรยทางต้องดำเนินการโดยหน่วยงานที่ได้มาตรฐานและเป็นที่ยอมรับจากผู้ซื้อหรือเจ้าของทางรถไฟ โดยให้มีการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมขั้นต้นของหินโรยทางทุกครั้งเมื่อ

- หินโรยทางผลิตจากวัตถุดิบในแหล่งใหม่ ซึ่งยังไม่ได้รับการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมขั้นต้นตามมาตรฐานนี้มาก่อน

- วัสดุจากแหล่งเดิมเคยซึ่งได้รับรองสมบัติทางวิศวกรรมตามที่ระบุในมาตรฐานนี้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมอย่างมีนัยยะสำคัญ

- ระหว่างการผลิต ให้ดำเนินการทดสอบสมบัติของวัสดุเป็นระยะ เพื่อตรวจสอบว่าหินโรยทางเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐาน การทดสอบให้ดำเนินการโดยหน่วยงานที่ได้มาตรฐานและเป็นที่ยอมรับจากผู้ซื้อหรือเจ้าของทางรถไฟ

ทั้งนี้ การสุ่มตัวอย่าง ณ แหล่งผลิต และ ณ สถานีกองเก็บ จะสุ่มตัวอย่างหินจากกองหินโรยทางที่สถานที่เก็บกอง ณ แหล่งผลิตก่อนที่จะถูกลำเลียงขนส่งมาให้ผู้ซื้อ ครั้งละ 60 ลิตร (3 ปีบ) ต่อสัญญาฯ และจากกองหินโรยทางที่ผู้ผลิตหรือผู้จัดหาหินโรยทางนำมาเก็บกองที่บริเวณย่านสถานีเพื่อส่งมอบ ครั้งละ 60 ลิตร (3 ปีบ) ในแต่ละงวดที่มีการเบิกจ่ายเงิน

2) การเก็บตัวอย่างหินโรยทางให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 75 การสุ่มย่อยตัวอย่างหินเพื่อทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการให้เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ASTM D 702 ผู้ผลิตต้องนำส่งเอกสารแสดงและรับรองผลการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของหินโรยทางที่จะนำส่งให้แก่วิศวกรที่ได้รับมอบหมายจากเจ้าของทางรถไฟ เอกสารรับรองต้องระบุให้ชัดเจนว่า การสุ่มเก็บตัวอย่างหินโรยทางและการทดสอบเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานนี้ ผู้ผลิตต้องนำส่งเอกสารรับรองผลการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของหินจากกรมทรัพยากรธรณี หรือผลการทดสอบของกองวิเคราะห์วิจัย ศูนย์ทางถาวร ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย หรือผลการทดสอบของสถาบันกลางที่เป็นหน่วยงานราชการ หรือสถาบันการศึกษาที่การรถไฟแห่งประเทศไทยยอมรับ ไม่ว่าผลการทดสอบจะเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานนี้หรือไม่ ให้เก็บตัวอย่างหินโรยทางขณะนำออกจากแหล่งผลิตหรือก่อนส่งมอบและให้เก็บตัวอย่างและทดสอบทุกครั้ง เมื่อ

- นำส่งเป็นปริมาณ 300 ตันแรกจากแหล่งหินใหม่ และ

- นำส่งทุก ๆ 1,000 ตัน จากแหล่งที่ได้นำส่ง 300 ตันแรก และ
- ทดสอบอย่างน้อย 2 ครั้งต่อปี

3) ผู้ซื้อหรือเจ้าของทางรถไฟสามารถให้มีการเก็บตัวอย่างหินโรยทางและทดสอบเพิ่มเติม เมื่อมีข้อสงสัยว่าหินโรยทางที่นำส่งไม่เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานนี้ หากหินโรยทางที่นำส่งมีคุณสมบัติไม่เป็นไปตามมาตรฐาน ให้ผู้ผลิตเร่งปรับปรุงกระบวนการผลิตและหรือการจัดส่ง หรือจัดหาแหล่งหินใหม่ ทั้งนี้ เพื่อให้ได้หินโรยทางที่เป็นไปตามมาตรฐาน โดยผู้ผลิตต้องแจ้งรายละเอียดของกระบวนการต่าง ๆ ที่ปรับปรุงให้ผู้ซื้อหรือหน่วยงานเจ้าของทางรถไฟทราบ ในกรณีที่นำส่งหินโรยทางสองครั้งแล้ว ตัวอย่างหินโรยทางไม่เป็นไปตามมาตรฐานทั้งสองครั้งติดต่อกัน ผู้ซื้อหรือหน่วยงานเจ้าของทางรถไฟสามารถปฏิเสธไม่รับหินโรยทางที่จะนำส่งต่อไปได้

4.5 การวัดปริมาณหินโรยทาง

ให้วัดปริมาณหินโรยทางเป็นน้ำหนักในหน่วยตัน หรือเป็นปริมาตรในหน่วยลูกบาศก์เมตร แบ่งเป็น

1) การตรวจสอบปริมาตร ณ สถานที่เก็บกอง จะตรวจโดยวิธีการวัดความกว้าง ความยาว ความสูงของกองหินโรยทางที่ได้ปรับแต่งใกล้เคียงรูปสี่เหลี่ยมคางหมูแล้ว นำมาคำนวณหาปริมาตรเบื้องต้นตามวิธีทางเรขาคณิต

2) การตรวจสอบปริมาตรสำหรับการบรรทุกหินขึ้นตู้รถไฟ ผู้ควบคุมจะตรวจตามมาตรการบรรทุกซึ่งกำหนดไว้ข้างตู้รถไฟ แต่ทั้งนี้ จะต้องได้รับการยืนยันการขนลงจากผู้ที่เกี่ยวข้อง

การคำนวณค่าสินค้าและจ่ายเงินให้คิดตามน้ำหนัก (ตัน) หรือปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร) ของหินโรยทางที่ตรวจรับ กรณีวัดโดยน้ำหนัก ความชื้นในหินไม่ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งน้ำหนักนำส่ง (ให้หักน้ำหนักความชื้นออกก่อนคิดน้ำหนักนำส่ง) บันทึกน้ำหนักนำส่งในรูปเอกสารและจัดเก็บ เพื่อตรวจสอบเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 6 เดือน โดยให้คำนวณน้ำหนักหินโรยทางที่นำส่งจากวิธีใดวิธีหนึ่ง ดังต่อไปนี้

1) จากน้ำหนักที่วัดจากเครื่องชั่งที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน ชนิดของเครื่องชั่งที่อนุญาตให้ใช้ได้แก่ เครื่องชั่งบนทางสำหรับรถไฟหรือรถบรรทุก (แบบวัดขณะรถจอดนิ่งหรือเคลื่อนที่) เครื่องชั่งสายพาน (วัดขณะขนถ่ายหินโดยตรงลงในรถ)

2) จากจำนวนรถที่นำส่งหินคูณกับน้ำหนักเฉลี่ยต่อคันรถ ซึ่งเป็นค่าที่ตกลงร่วมกันระหว่างผู้ผลิตกับผู้ซื้อหรือหน่วยงานเจ้าของทางรถไฟ น้ำหนักเฉลี่ยนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและรุ่นของรถและต้องได้รับการตรวจวัดเพื่อสอบทานทุก ๆ 3 เดือน และให้คำนวณน้ำหนักเฉลี่ยต่อคันรถจากน้ำหนักของรถมากกว่า 10 คัน ขึ้นไป

4.6 การระบุรายละเอียดของหินโรยทาง

ต้องมีการระบุรายละเอียดของหินโรยทางที่นำส่ง ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลต่อไปนี้

1) ชื่อแหล่งหินที่ใช้ในการผลิต

2) ชื่อหินและคำอธิบายอย่างย่อ

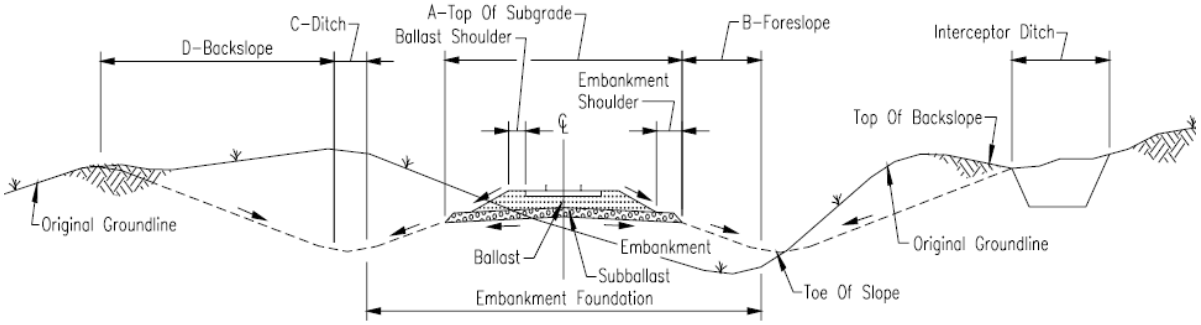
3) ขนาดของหินโรยทาง (แบ่งตามกลุ่ม)

4) ข้อมูลอื่น ๆ ที่เป็นประโยชน์สำหรับระบุรายละเอียดของหินโรยทาง

ทั้งนี้ ให้มีจัดทำรายละเอียดของหินโรยทางในรูปเอกสารหรือตั๋วนำส่งระบุวันที่ เลขเอกสาร หรือตั๋ว และชื่อและเลขรหัสของมาตรฐานนี้

5. ดินพื้นทางสำหรับโครงสร้างทางรถไฟ

องค์ประกอบของลาดคันทางรถไฟจากการขุดและการถม แสดงดัง**รูปที่ 5**



รูปที่ 5 องค์ประกอบของลาดคันทางรถไฟจากการขุดและการถม

หน้าที่ของส่วนประกอบต่าง ๆ ของลาดคันทางรถไฟจากการขุดและการถม และความกว้างสำหรับการออกแบบชั้นพื้นทาง อธิบายในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 หน้าที่ของส่วนประกอบต่างๆ ของลาดคันทางรถไฟจากการขุดและการถมและความกว้างสำหรับการออกแบบชั้นพื้นทาง

ส่วนประกอบ	วัตถุประสงค์	ความกว้าง
พื้นทาง (top of subgrade)	เป็นฐานสำหรับรองรับชั้นรองหินโรยทาง หินโรยทาง หมอนรองราง ราง รวมทั้งถนนข้างทาง เพื่อการซ่อมบำรุง	ความกว้างมาตรฐานจากการออกแบบ
ลาดชิดทาง (fore slope)	เพื่อรองรับและให้เกิดความเสถียรภาพกับทางและพื้นทาง โดยยกระดับพื้นทางให้พ้นระดับน้ำสำหรับออกแบบ	ความกว้างมาตรฐานจากการออกแบบ
ร่องน้ำ (ditch)	ระบายน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดินที่ไหลซึมเข้ามาในหลุมตัดหรือถม ช่วยป้องกันไม่ให้พื้นทางอ่อนตัวจากน้ำในดินที่มากเกินไป	ออกแบบให้เพียงพอกับปริมาณและการไหลของน้ำ
ลาดไกลทาง (back slope)	เกิดจากการขุดพื้นดินเดิม โดยตำแหน่งอยู่ระหว่างร่องน้ำกับพื้นดินเดิม	เปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับ ความสูงหรือความลึกของการขุด เสถียรภาพของดิน สภาพการกัดเซาะ
ร่องดักน้ำ (interceptor ditch)	ดักและระบายน้ำผิวดิน ไม่ให้ไหลเข้ามาในหลุมตัดหรือถม	ออกแบบให้เพียงพอกับปริมาณและการไหลของน้ำ

5.1 การออกแบบคันดินทางรถไฟ

5.1.1 ลาดดินจากการขุด

- **การออกแบบลาดไกลทาง (back slope)**

การออกแบบความลาดเอียงของลาดไกลทางให้เป็นไปตามผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของดิน เพื่อให้ลาดมีความปลอดภัย วิศวกรควรพิจารณาว่าต้องขยายขนาดขอบเขตทางเพื่อป้องกันการพังวิบัติของลาดดินที่อาจเกิดขึ้นหากลาดมีความเอียงมากเกินไปหรือไม่ หากลาดดินประกอบไปด้วยวัสดุดินหรือหินต่างชนิด อาจต้องออกแบบความเอียงของแต่ละชั้นต่างกัน ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับกำลังของวัสดุ

- **การออกแบบร่องระบายน้ำในหลุมขุดหรือถม**

ต้องออกแบบให้ร่องมีขนาดใหญ่และลาดเอียงเพียงพอที่รองรับปริมาณน้ำผิวดินสำหรับการออกแบบในบริเวณโครงการก่อสร้างได้ ร่องระบายน้ำต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะทำความสะอาดได้อย่างสะดวก ข้อกำหนดและแนะนำสำหรับออกแบบร่องระบายน้ำอย่างละเอียดอยู่ใน มขร C-008-2566 มาตรฐานระบบระบายน้ำบนทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางระหว่างเมือง

- **การขุดดิน**

ลาดดินจากการขุดต้องมีเสถียรภาพ โดยปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของลาดดิน ได้แก่ กำลังของวัสดุ ความชื้นในดิน มุมของลาดดิน และลักษณะการระบายน้ำ ลาดดินต้องมีเสถียรภาพทั้งระหว่างการก่อสร้างและระหว่างเปิดใช้ทางแล้ว ทั้งนี้ ควรให้มีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเป็นกรณีเฉพาะโดยวิศวกร เมื่อลาดดินมีความสูงมากกว่า 3-5 เมตร โดยลาดดินที่ออกแบบต้องมีความกว้างเพียงพอสำหรับร่อง หรือท่อระบายน้ำด้านข้างทาง หากจำเป็นให้ออกแบบให้มีระบบลดแรงดันน้ำในลาดดิน เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของลาด ในกรณีเป็นลาดจากการขุดในหินควรออกแบบให้เพิ่มความกว้างของการขุด เพื่อรองรับหินหรือเศษวัสดุอื่น ๆ ที่อาจตกลงมากับลาดและป้องกันมิให้วัสดุเหล่านั้นกระเด็นไปในบริเวณของทางที่มีการจราจรได้ การออกแบบอาจใช้เทคนิคลาดเป็นขั้น ทั้งนี้ เพื่อลดแรงดันที่ฐานและเพิ่มเสถียรภาพของลาด

1) การขุดในดินทรายและกรวด

ในกรณีปกติที่ลาดดินสูงไม่เกิน 5 เมตร ความลาดเอียงปลอดภัยของลาดโดยปกติจะไม่เกิน 2 (แนวราบ) ต่อ 1(แนวดิ่ง) ส่วนในกรณีที่มีปัจจัยอื่นที่อาจมีผลกระทบต่อเสถียรภาพลาดดินหรือลาดดินสูงกว่า 5 เมตร ให้มีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเป็นกรณีเฉพาะโดยวิศวกร

2) การขุดในดินดินเหนียวและตะกอนทราย

ในกรณีปกติที่ลาดดินสูงไม่เกิน 3 เมตร ความลาดเอียงปลอดภัยของลาดโดยปกติจะไม่เกิน 2 (แนวราบ) ต่อ 1 (แนวดิ่ง) ส่วนในกรณีที่มีปัจจัยอื่นที่อาจมีผลกระทบต่อเสถียรภาพลาดดินหรือลาดดินสูงกว่า 3 เมตร ให้มีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเป็นกรณีเฉพาะโดยวิศวกร หากออกแบบลาดดินในบริเวณที่มีการพังวิบัติของลาดดินอยู่บ่อยครั้ง อาจออกแบบทางให้มีความกว้างเพียงพอ กล่าวคือ แม้เกิดการพังวิบัติขึ้น และมีมวลดินเคลื่อนตัวเข้ามาในทาง จะไม่ไปถึงระดับพื้นทางและการจราจรของรถไฟยังสามารถดำเนินได้เป็นปกติ

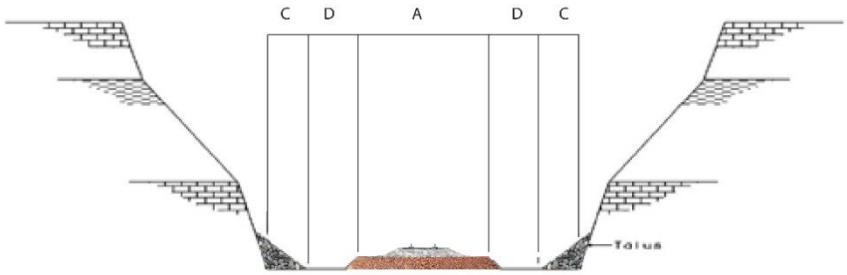
3) การขุดในชั้นดินประกอบด้วยดินหลายชนิด

กรณีนี้ควรออกแบบโดยให้มีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเป็นเฉพาะโดยวิศวกร

- **การขุดในหิน**

1) ความกว้างของการขุด

ความกว้างของการขุดในหินประกอบด้วย 3 ส่วน ดังแสดงใน**รูปที่ 6** และหน้าที่ของส่วนประกอบและความกว้างอธิบายใน**ตารางที่ 12**



รูปที่ 6 องค์ประกอบสำหรับกำหนดความกว้างของการขุดในหิน

ตารางที่ 12 หน้าที่ของส่วนประกอบลาดที่ได้จากการขุดในหินและความกว้างสำหรับออกแบบ

ส่วนประกอบ	วัตถุประสงค์	ความกว้าง
พื้นทาง (A) (top of subgrade)	เป็นฐานสำหรับรองรับชั้นรองหินโรยทาง หินโรยทาง หมอน ราง และถนนข้างทางเพื่อการซ่อมบำรุง	ความกว้างมาตรฐานจากการออกแบบ
ร่องน้ำ (D) (ditch)	ระบายน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดินที่ไหลซึมเข้ามาในหลุดตัดหรือถม ช่วยป้องกันไม่ให้พื้นทางอ่อนตัวจากน้ำในดินที่มากเกินไป	ออกแบบให้เพียงพอกับปริมาณและการไหลของน้ำ
ร่องดัก (C) (catchment ditch)	ดักและเก็บวัสดุหินที่อาจร่วงลงมาตามลาด ใช้เข้าถึงทางรถไฟเพื่อวัตถุประสงค์ในการซ่อมบำรุง	ควรออกแบบให้มีร่องดักในบริเวณที่ขุดในหินที่ไม่แข็งแรง กะเทาะได้ง่าย และ เสื่อมสภาพไว ความกว้างจะแปรเปลี่ยนไปตามความสูง ขนาดและอัตราการร่วงของหิน หลักการสำคัญคือ ร่องดักต้องกว้างพอให้หินที่ร่วงตกลงมาไม่กระเด็นเข้าไปในบริเวณราง

2) การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดหิน

การออกแบบความเอียงของลาดหินให้เป็นไปตามการวิเคราะห์เสถียรภาพ ซึ่งเสถียรภาพของลาดหินขึ้นอยู่กับแนววางตัวของชั้นหิน รอยแตกแยก ลักษณะการเชื่อมต่อของรอยแตก พฤติกรรมของหินนั้น โดยควรพิจารณาเป็นบริเวณและกำหนดด้วยลักษณะรอยของแตก ไม่ควรพิจารณาเสถียรภาพเป็นมวลรวมขนาดใหญ่ นอกเสียจากลาดเป็นส่วนหนึ่งของหินอัคนีมวลไพศาล

ในกรณีทั่วไป ให้กำหนดความเอียงของความลาดใน**ตารางที่ 13** วิศวกรพึงพิจารณาข้อแนะนำในมาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างทางรถไฟชนิดมีหินโรยทางระหว่างการออกแบบลาดหิน

ตารางที่ 13 ข้อแนะนำสำหรับการออกแบบลาดหินในกรณีทั่วไป

สภาพหิน	การออกแบบลาด
หินแข็ง	เนื้อหินไม่แยกตัวเป็นชั้นอย่างชัดเจน รอยแยกไม่ต่อเนื่องกัน แรงดันน้ำในหินต่ำ ก่อสร้างด้วยวิธีแยกระเบิดก่อน หากมิได้กำหนดเป็นอย่างอื่น ให้ความเอียงของลาดหินที่ออกแบบไม่เกิน 70 องศา หากไม่เป็นไปตามเงื่อนไขข้างต้นการออกแบบให้มีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเป็นกรณีเฉพาะโดยวิศวกร
หินชั้น	หากมุมเอียงเข้าหาลาดดิน กำหนดให้ความเอียงของลาดหินที่ออกแบบไม่เกิน 70 องศา หากไม่เป็นไปตามเงื่อนไขข้างต้นการออกแบบให้มีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเป็นกรณีเฉพาะโดยวิศวกร
หินที่มีรอยแตกกระจายอยู่ทั่วไปและหินที่เริ่มผุพังแล้ว	การออกแบบให้มีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเป็นกรณีเฉพาะโดยวิศวกร
หินชั้นที่เกิดจากดินเหนียว	หากไม่เป็นไปตามเงื่อนไขข้างต้นการออกแบบให้มีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเป็นกรณีเฉพาะโดยวิศวกร

3) การระเบิดหิน

การระเบิดหินโดยมิได้ควบคุมให้เหมาะสมนั้น เหนี่ยวนำให้รอยแตกในหินเปิดกว้างขึ้นและเป็นการเร่งการเสื่อมสภาพ การแทรกตัวของน้ำเข้าไปในรอยแตก หน้าหินกะเทาะร่วงและลาดมีเสถียรภาพที่ต่ำ การเลือกชนิดและวางแผนการระเบิดควรเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของการออกแบบลาดหิน จากประสบการณ์ที่ผ่านมา พบว่า วิธีแยกระเบิดก่อน (pre-splitting) ด้วยการฝังระเบิดเป็นแนวและห่างกันน้อยกว่า 1.20 เมตร ให้ผลเป็นที่น่าพอใจสำหรับกรณีทั่วไป การเลือกชนิดและวางแผนการระเบิดควรเป็นไปตามคำแนะนำของวิศวกรผู้มีประสบการณ์

4) การออกแบบร่องดักหิน

ในบริเวณก่อสร้างลาดในหินที่ไม่แข็งแรงและมีแนวโน้มที่หินจะร่วง และไม่สามารถออกแบบลาดให้มีชั้นหรือหิ้งที่เพียงพอได้ วิศวกรอาจออกแบบให้มีร่องดักหินให้เป็นส่วนหนึ่งของทาง (ส่วน C ในรูป 6) ลาดหินที่อยู่ชิดกับร่องควรมีความชันมากที่สุดเท่าจะที่ปลอดภัย ทั้งนี้ เพราะหินที่ตกลงกระทบลาดที่มีความเอียงไม่มากจะกระเด็นเข้าไปในบริเวณทางและราง และเป็นปัญหากับการจราจรได้

5.1.2 คันทางดินถม

ดินถมมีไว้ เพื่อปรับเพิ่มระดับพื้นทางให้อยู่ในระดับที่ต้องการ มีการถมดิน เพื่อให้ได้ความลาดเอียงของทางที่เหมาะสม หรือยกระดับทางให้เหนือระดับน้ำหลากสูงสุดที่ใช้ในการออกแบบ หรือการยกทางเพื่อให้ข้ามสิ่งกีดขวางต่าง ๆ ในการออกแบบคันดินถมนั้น ต้องพิจารณาสมรรถนะทางวิศวกรรมขององค์ประกอบ 2 ส่วนได้แก่ 1) คันทาง และ 2) ดินฐานรากที่รองรับคันทาง วิศวกรพึงออกแบบคันดินถม โดย

1) ให้คันดินที่รับน้ำหนักจากการจราจรของรถไฟมีเสถียรภาพ

2) ให้คันดินซึ่งรับน้ำหนักจากการจราจรของรถไฟพร้อมทั้งดินฐานรากมีเสถียรภาพ

3) ให้มีระดับสูงเพียงพอสำหรับเผื่อการทรุดตัวที่จะอาจเกิดขึ้นที่พื้นทาง กล่าวคือ แม้เกิดการทรุดตัวของโครงสร้างทางขึ้นระดับรางยังอยู่ในแนวที่ยอมรับได้ของการจราจรอยู่

ทั้งนี้ การถมดินเพื่อก่อสร้างคันทางบนพื้นดินอ่อนหรือดินหลวมอาจจะก่อให้เกิดปัญหากับเสถียรภาพของคันทาง ได้แก่ คันทางมีเสถียภาพไม่เพียงพอและไม่ปลอดภัย มีการเคลื่อนตัวของโครงสร้างมากเกินไป หรือคันดินพังทลายตรงบริเวณที่เชื่อมต่อกับสะพานซึ่งมีการถมสูง

- **ฐานรากของลาดดินถม**

ฐานรากของลาดดินถมต้องแข็งแรงมั่นคง โดยมีสมรรถนะทางวิศวกรรมเช่นเดียวกันกับดินฐานรากของฐานรากแบบตื้นในงานโครงสร้างอาคาร ฐานรากของลาดดินต้องสามารถรับน้ำหนักจากดินถมและน้ำหนักจากการจราจรได้อย่างปลอดภัย หากดินฐานรากเป็นดินอ่อนยุบตัวได้มาก ให้ปรับปรุงดินนั้นก่อนทำการก่อสร้างลาดดิน

คันทางจะถูกวิเคราะห์โดยใช้หลักการของ limit equilibrium Analysis ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมกับลักษณะการพังทลายของ slope คันดินแบบรอยเลื่อนไถล โดยสามารถคำนวณสัดส่วนความปลอดภัยได้จากสมการที่ (1)

F.S = acting moment / resisting moment

วิศวกรพึงออกแบบให้ลาดดินถมมีอัตราส่วนปลอดภัย (F.S) ประมาณ 1.5 ทั้งนี้ วิศวกรสามารถออกแบบให้อัตราส่วนปลอดภัยของลาดดินมากกว่า 1.5 ได้ในกรณีที่ความรู้เกี่ยวกับสมบัติทางวิศวกรรมของดินฐานรากนั้นมีอยู่อย่างจำกัด

- **วัสดุดินถม**

ออกแบบลาดหรือคันดินถมโดยให้เป็นไปตามผลการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน หากมิได้มีผลการวิเคราะห์เสถียรภาพโดยอ้างอิงจากผลการทดสอบดินทั้งในสนามและห้องปฏิบัติการ แนะนำให้ความเอียงของลาดดินที่ปลอดภัยคือ 2 (ทางราบ) ต่อ 1 (ทางดิ่ง) หรือน้อยกว่า สำหรับทั้งดินทรายและดินเหนียว ทั้งนี้ ดินที่นำมาก่อสร้างคันดินอาจเป็นดินมวลหยาบ เช่น กรวด หรือ ทราย หรือดินมวลละเอียด เช่น ตะกอนทราย หรือ ดินเหนียว

วิศวกรพึงพิจารณาข้อแนะนำในมาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟชนิดมีหินโรยทางในการเลือกใช้วัสดุดินถม พิจารณาค่าใช้จ่ายในส่วนการขุด การขนย้ายและการก่อสร้าง สำหรับเลือกแหล่งดินถมที่เหมาะสมที่สุด ดินถมอาจได้มาจากการขุดดินบริเวณใกล้เคียงโครงการ จากแหล่งยืม หรือสั่งซื้อจากผู้ผลิต

- **ดินถมใหม่ข้างลาดดินเดิม**

หากออกแบบและก่อสร้างดินถมใหม่ข้างลาดดินเดิม ให้วิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินทั้งลาดดินใหม่และลาดดินเดิม การวิเคราะห์เสถียรภาพให้ทำแยกวิเคราะห์ของแต่ละลาดและวิเคราะห์เสถียรภาพรวมด้วย วิศวกรพึงพิจารณาข้อแนะนำในมาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง

5.2 การก่อสร้าง

5.2.1 การเตรียมพื้นที่

ผู้รับผิดชอบการก่อสร้างทางต้องจัดให้มีการเตรียมสถานที่บริเวณโครงการก่อสร้างให้เรียบร้อย พิจารณาป้องกันไม่ให้ระบบสาธารณูปโภคที่มีอยู่เดิมเสียหาย หากจำเป็นให้ทำการย้ายระบบสาธารณูปโภคเหล่านั้นไปอยู่ในที่ที่เหมาะสม ผู้รับผิดชอบการก่อสร้างต้องนำสิ่งกีดขวางออกจากพื้นที่บริเวณที่เกี่ยวข้องกับงานดินทั้งหมด รวมถึงบริเวณที่จะก่อสร้างร่องระบายน้ำหรือคันกั้นน้ำ ให้เตรียมและถางพื้นที่ไม่น้อยกว่า 2 เมตรขึ้นไปจากระดับการตัดทาง หรือไม่น้อยกว่า 2 เมตรจากฐานของลาดทางตัด หรือ คันดินถมออกไป การเตรียมพื้นที่ ประกอบด้วย การนำต้นไม้ ตอไม้ พุ่มไม้ หรือสิ่งอื่นใดที่ไม่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างทางออกจากพื้นที่ที่กำหนด ปิดช่องว่างและโพรงที่เกิดขึ้น ควรเตรียมพื้นที่ให้เรียบร้อยด้วยวัสดุที่แข็งแรงและต้องทำการบดอัดให้มีความแข็งแรงไม่ยุบ วัสดุที่ได้จากการเตรียมพื้นที่ให้ขนย้ายและจัดการนอกบริเวณโครงการก่อสร้าง

5.2.2 การลอกหน้าดินและนำวัสดุที่ไม่แข็งแรงออก

ผู้รับผิดชอบก่อสร้างต้องพิจารณาลอกหน้าดินที่ไม่แข็งแรงหรือมีสมรรถนะทางวิศวกรรมที่ต่ำออก วัสดุที่จัดว่าไม่แข็งแรงและต้องถูกนำออกได้แก่ หน้าดินอ่อน ดินที่มีอินทรียวัตถุปนอยู่เป็นจำนวนมาก เศษไม้ ตอไม้ วัสดุที่ย่อยสลายได้ วัสดุที่ถูกนำมาทิ้งจากแหล่งอื่น ก้อนหิน วัสดุติดไฟ ดินที่เกิดการกัดเซาะได้ง่าย เช่น ทรายละเอียด หากพบวัสดุหน้าดินที่ไม่แข็งแรงลงไปในระดับที่ลึกมาก อาจต้องมีการปรับปรุงดิน การจัดการให้เป็นไปตามคำแนะนำของวิศวกรปฐพีที่ได้รับมอบหมาย

5.2.3 งานขุดหรือตัดทาง

รูปตัดการขุดดินต้องเป็นไปตามแบบอย่างเคร่งครัด และอยู่ภายใต้การดูแลของวิศวกรผู้รับผิดชอบ โดยผู้รับผิดชอบการก่อสร้างต้องจัดให้มีระบบระบายน้ำที่เพียงพอตลอดเวลาที่ขุดตัดทาง การระบายดินออกควรจัดเส้นทางเฉพาะให้ยานพาหนะ เพื่อเลี่ยงไม่ให้ยานพาหนะก่อให้เกิดการเคลื่อนตัวแอ่ง หลุมบนผิวดินที่ตัดหรือขุดแล้ว ผู้รับผิดชอบการก่อสร้างควรจัดหาระบบที่เหมาะสมสำหรับป้องกันฝุ่นจากการดำเนินงานทั้งหมด

สำหรับการขุดในหิน ผู้รับผิดชอบการก่อสร้างต้องควบคุมงานอย่างพิถีพิถัน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้นกับผิวหินลึกเกินไปกว่าที่ระบุในแบบก่อสร้าง หากหลังจากการระเบิดแล้วมีส่วนของหินที่อาจจะเสียเสถียรภาพได้ในอนาคต ให้ดำเนินการเอาส่วนหินเหล่านั้นออก หากเอาออกไม่ได้ให้เสริมกำลังส่วนดังกล่าวให้มีเสถียรภาพ ทั้งนี้ หากไม่ได้ระบุเป็นการเฉพาะและความลึกของการขุดไม่เกิน 7 เมตร อาจพิจารณาควบคุมให้ความเอียงสำหรับการขุด หรือ ตัดทางให้เป็นไปตามค่าที่แนะนำ**ตารางที่ 14**

ตารางที่ 14 ความเอียงแนะนำสำหรับการขุดหรือตัดทางในดินหรือหิน
ในกรณีที่การขุดหรือ ตัดทางลึกไม่เกิน 7 เมตร

วัสดุ		ความเอียง	
		ระยะตามแนวนอน	ระยะตามแนวตั้ง
1	ทราย	2	1
2	ดินเหนียวเปียก กรวดร่วน	2	1
3	ดินเหนียวปนทราย หินก้อนใหญ่ ดินเหนียวดินบดอัดปนกรวด	1.75	1
4	หินความแข็งแรงต่ำ	1.5	1
5	หินดินดานที่ระนาบโครงสร้างเอียงเข้าหาทางรถไฟ กรวดที่มีการเชื่อมประสาน	1	1
6	หินทั่วไป	1	1
7	หินแข็ง	0.25	1
ใช้กับงานขุดหรือตัดลึกไม่เกิน 7 เมตร			

5.2.4 งานถมและก่อสร้างคันทาง

หน้าตัดจากการถมดินต้องเป็นไปตามแบบอย่างเคร่งครัด และอยู่ภายใต้การดูแลของวิศวกรผู้รับผิดชอบ วิศวกรควรพิจารณาเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมจากการขุดในบริเวณโครงการก่อสร้างก่อนพิจารณาเลือกใช้วัสดุจากแหล่งภายนอก ผู้รับผิดชอบการก่อสร้างต้องจัดให้มีระบบระบายน้ำที่เพียงพอตลอดเวลา รางระบายน้ำต้องมีความยาวและความเอียงเหมาะสม การถมดินควรกระทำด้วยความระมัดระวัง เพื่อป้องกันผลกระทบเชิงลบต่อส่วนประกอบอื่นของทางที่ได้ก่อสร้างไปแล้ว เช่น ร่องระบายน้ำ หรือทางระบายน้ำตามธรรมชาติ การนำวัสดุถมเข้าออกควรจัดเส้นทางเฉพาะให้ยานพาหนะเพื่อเลี่ยงไม่ให้มีการเคลื่อนตัว แอ่ง หลุมบนผิวดินถม ทั้งนี้ เพื่อป้องกันมิให้น้ำขังตัว ดินอ่อนกำลังลง อันจะนำมาซึ่งปัญหาในภายหลัง ผู้รับผิดชอบการก่อสร้างควรจัดหาระบบที่เหมาะสมสำหรับป้องกันฝุ่นจากการดำเนินงานทั้งหมด

เมื่อก่อสร้างคันดินบนดินฐานรากอ่อน เช่น ดินเหนียว หรือเป็นที่ลุ่มมีน้ำท่วมได้ การออกแบบและก่อสร้าง รวมถึงการลอกดินหรือการนำดินอ่อนมาใช้ประโยชน์อย่างอื่น การใช้วัสดุเสริมกำลัง และเทคนิคการก่อสร้างให้เป็นไปตามคำแนะนำของวิศวกรปฐพีที่ได้รับมอบหมาย

1) วัสดุถมสำหรับก่อสร้างคันทาง

คันทางรถไฟควรประกอบไปด้วยดินบดอัดสองส่วนคือ ส่วนดินถมโครงสร้าง และส่วนดินถมทั่วไป สมบัติดินสำหรับก่อสร้างดินถมส่วนโครงสร้างควรเป็นไปตามข้อแนะนำใน**ตารางที่ 15**

ตารางที่ 15 สมบัติของดินถมสำหรับก่อสร้างชั้นดินถมโครงสร้าง

มาตรฐานการทดสอบ	ข้อกำหนด	เกณฑ์	ความถี่ในการทดสอบ
ASTM C 117 ASTM D 422	การคละขนาดอนุภาค ร้อยละผ่านตะแกรง 53 มิลลิเมตร ร้อยละผ่านตะแกรง 2.36 มิลลิเมตร ร้อยละผ่านตะแกรง 0.43 มิลลิเมตร ร้อยละผ่านตะแกรง 0.075 มิลลิเมตร	 80-100 15-100 0-70 0-30	หนึ่งการทดสอบ ทุก ๆ 50 ลูกบาศก์เมตร
ASTM D 4318	พิกัดเหลว	มากสุด 40	
ASTM D 4318	ดัชนีพลาสติก	มากสุด 20	
ASTM D 698	ความหนาแน่นแห้งสูงสุด	ต่ำสุด 1.8 ตันต่อลูกบาศก์เมตร	
ASTM D 1883	ค่าซีบีอาร์แบบแช่น้ำ (บดอัดมาตรฐาน)	อย่างน้อย 8 %	

2) การถมดิน

ระหว่างการก่อสร้างคันทางควรถมดินเป็นชั้นให้เต็มตลอดความกว้างทั้งชั้นและทำการบดอัด หากออกแบบให้มีคันดินถ่วงน้ำหนัก (stabilization berm) ควรก่อสร้างคันดินถ่วงน้ำหนักขึ้นเป็นชั้นเท่ากันและพร้อมกันกับคันดินหลัก โดยปกติแล้วความหนาสำหรับบดอัดแต่ละชั้นควรไม่เกิน 20 เซนติเมตร หากใช้ความหนามากกว่า 20 เซนติเมตร ต้องพิสูจน์ทราบได้ว่า ความหนาที่ใช้ยังให้ค่าการบดอัดตามเกณฑ์ที่กำหนด ควรหลีกเลี่ยงการใช้วัสดุที่แตกต่างกันมากในการบดอัด (ทั้งในชั้นเดียวกันหรือระหว่างชั้น) ขนาดอนุภาคของวัสดุที่นำมาบดอัดต้องไม่มากกว่า 2 ใน 3 ของความหนาสำหรับบดอัดชั้นดิน ระหว่างก่อสร้างต้องจัดให้มีระบบระบายน้ำที่ดี น้ำไม่ท่วมขัง ป้องกันไม่ให้เกิดการกัดเซาะ ปรับแต่งผิวบนของคันดินให้เรียบตามระดับที่ต้องการและพร้อมสำหรับการก่อสร้างชั้นรองหินโรยทางต่อไป

3) การบดอัดดินคันทาง

ต้องบดอัดดินที่ปริมาณน้ำในดินตามที่กำหนด ทั้งนี้ เพื่อให้ได้ค่าการบดอัด (ความหนาแน่นแห้งสูงสุด) เป็นไปตามเกณฑ์ ซึ่งโดยปกติอยู่ในไม่เกินช่วง 2% ของปริมาณน้ำที่ความหนาแน่นสูงสุด เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำในดินตามที่กำหนดอาจต้องพรมน้ำอย่างสม่ำเสมอบนชั้นดินที่จะบดอัดหรือตากหรือผึ่งชั้นดินเพื่อลดความชื้นให้อยู่ในระดับที่ต้องการ วิศวกรอาจพิจารณาผสมดินแห้งเข้าไปในดินเปียก เพื่อลดความชื้นในดินก่อนการบดอัด ทั้งนี้ ในระหว่างการบดอัดสามารถเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างชั้นด้วยการพรมน้ำให้เปียกหรือการเซาะร่องในชั้นที่บดอัดแล้วก่อนการบดอัดชั้นต่อไป

หากระหว่างการบดอัดความหนาแน่นของดินคันทางไม่เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานนี้ ให้หยุดการดำเนินการและให้รื้อชั้นดินดังกล่าวขึ้น จากนั้นเพิ่มหรือลดปริมาณความชื้นในดินแล้วทำการบดอัดใหม่ ทำเช่นนี้จนกว่าจะได้ความหนาแน่นของดินคันทางเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐาน การผสมปูนขาว เถ้าลอย หรือพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ในดินสามารถเพิ่มประสิทธิผลของการบดอัด เพื่อให้ได้ความหนาแน่นเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ทั้งนี้ ให้อยู่ในดุลยพินิจของวิศวกร ในการบดอัดพื้นทางแต่ละชั้นจะต้องไม่เกินกว่า 30 เซนติเมตร โดยกำหนดให้บดอัดเป็นหน้าตามยาวของคันทาง เมื่อบดอัดเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการตรวจสอบคุณสมบัติของทางแต่ละชนิดที่ได้กำหนดไว้ ข้อกำหนดสำหรับการบดอัดดินคันทางให้เป็นไปตาม**ตารางที่ 16**

ตารางที่ 16 ข้อกำหนดสำหรับการบดอัดดินคันทาง

การบดอัด A	ดินมวลละเอียด ค่าการบดอัดสัมพัทธ์ไม่ต่ำกว่า 100 % โดยอิงจากผลทดสอบบดอัดมาตรฐาน ASTM D 698 หิน หรือ ดินมวลหยาบ บดอัดด้วยรถแบบสั่น หนัก 10 ตัน 8-10 เที่ยวและไม่มีแอ่งที่สังเกตได้บนผิวดิน
การบดอัด B	ค่าการบดอัดสัมพัทธ์ไม่ต่ำกว่า 95 % โดยอิงจากผลทดสอบบดอัดมาตรฐาน ASTM D 698

การบดอัดคันดินในส่วนต่าง ๆ ของคันทางให้ดำเนินการตามข้อกำหนดใน**ตารางที่ 17**

ตารางที่ 17 ข้อกำหนดสำหรับการบดอัดดินในส่วนต่าง ๆ ของคันทาง

ดินถมทั่วไป	ต่ำกว่าส่วนดินถมโครงสร้างให้บดอัดตามมาตรฐานการบดอัด B
ดินถมโครงสร้าง	จากชั้นดินถมทั่วไปจนถึงระดับ 50-100 ซม ต่ำจากระดับพื้นทางให้บดอัดตามมาตรฐานการบอดัด A

4) การถมและบดอัดดินใกล้เคียงกับสิ่งก่อสร้างที่มีอยู่เดิม

ผู้ดำเนินงานก่อสร้างต้องเพิ่มความระมัดระวังขณะบดอัดดินในระยะ 5 เมตร จากโครงสร้างอื่นที่มีอยู่เดิม เช่น กำแพงผนังค้ำยัน ทั้งนี้ เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับโครงสร้างเหล่านั้น ควรงดใช้อุปกรณ์สำหรับบดอัดดินที่เป็นแบบสั่นในบริเวณดังกล่าว วิศวกรพึงพิจารณาข้อแนะนำในมาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง

5) การก่อสร้างคันทางด้วยหิน

หากพิจารณาใช้หินที่มีการคละขนาดที่ดีสำหรับถม เพื่อก่อสร้างคันทาง ควรเลี่ยงการเทออกจากรถบรรทุกโดยตรง เพื่อป้องกันการแยกตัวของอนุภาคที่มีขนาดต่างกัน วิศวกรพึงพิจารณาข้อแนะนำในมาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง

6) การขยายคันดินถมเดิมให้กว้างขึ้น

ส่วนขยายออกของคันทางถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างทางเดิม โดยหลักการขยายคันทางเดิมควรใช้เทคนิคการการตัดดินเดิมให้เป็นขั้นหรือหิ้ง และถมดินใหม่เสริมด้านข้าง วิศวกรพึงพิจารณาข้อแนะนำในมาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง

7) การถมบนลาด

ถ้าทางถมผ่านบริเวณพื้นที่ที่ลาดเอียงเกิน 1 (แนวดิ่ง) ต่อ 4 (แรวราบ) เช่น ลาดไหล่เขา หรือเนินดิน ให้ทำการไถพรวนดินในบริเวณนั้นลึกกว่าธรรมดาแล้วบดอัดหรือแต่งพื้นที่บริเวณนั้นให้เป็นชั้น ถ้าหากพบว่า ดินในบริเวณนั้นไม่มั่นคงแข็งแรงดีพอ ให้ขุดออกทิ้ง เพื่อให้ทางถมนั้นตั้งอยู่บนพื้นฐานที่มั่นคง

6 ชั้นรองหินโรยทางรถไฟ (subballast)

ส่วนนี้ของมาตรฐานนี้ อธิบายข้อกำหนดสำหรับการออกแบบ คุณสมบัติวัสดุและการก่อสร้างชั้นรองหินโรยทาง โดยชั้นรองหินโรยทางพึงก่อสร้างจากดินอนุภาคที่คละขนาดเป็นไปตามข้อกำหนดและบดอัดให้แน่น วัสดุชั้นรองหินโรยทางควรมีดินมวลละเอียดปนอยู่อย่างเพียงพอ เพื่อบดอัดให้มีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ การออกแบบโครงสร้างทางต้องเป็นไปในลักษณะที่พื้นทาง ชั้นรองหินโรยทาง และหินโรยทาง รองรับโครงสร้างส่วนบนของทางและกระจายแรงในโครงสร้างทางอย่างสม่ำเสมอ กำลังของพื้นทาง จะเป็นปัจจัยหลักที่ใช้กำหนดความหนาของชั้นอนุภาค

6.1 วัสดุสำหรับก่อสร้างชั้นรองหินโรยทาง

วัสดุสำหรับก่อสร้างชั้นรองหินโรยทาง (subballast) ต้องใช้วัสดุมวลรวมหินคลุก (crushed rock aggregrate) ที่มีลักษณะเนื้อแข็ง ไม่ผุ สะอาด ปราศจากสิ่งเจือปนและวัชพืช ห้ามนำวัสดุพวก shale มาใช้ โดยควรมีการคละขนาดอนุภาคที่เหมาะสม เพื่อป้องกันการแทรกตัวของดินพื้นทางและป้องกันการแทรกตัวของหินโรยทางเข้ามาในชั้นรองหินโรยทาง การกำหนดการคละขนาดอนุภาคให้เป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง ซึ่งจะต้องมีคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

6.1.1 ขนาดคละของหินคลุก จะต้องทำการทดลองจากวิธีการทดสอบการหาขนาดคละของมวลรวมแบบล้าง ตามมาตรฐาน ASTM C117 และ C136 หรือเทียบเท่า ซึ่งต้องได้ขนาดคละตาม Grading อันใดอันหนึ่งตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ขนาดคละของมวลรวมหินคลุกสำหรับชั้นรองหินโรยทาง

ขนาดตะแกรงตามมาตรฐาน	ร้อยละผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก Grading	
	A	B
2 นิ้ว (50.00 มิลลิเมตร)	100	100
1 นิ้ว (25.00 มิลลิเมตร)	-	75 - 95
3/8 นิ้ว (9.50 มิลลิเมตร)	30 - 65	40 - 75
No.4 (4.76 มิลลิเมตร)	25 - 55	30 - 60
No.10 (2.00 มิลลิเมตร)	15 - 40	20 - 45
No.40 (0.42 มิลลิเมตร)	8 - 20	15 - 30
No.200 (0.075 มิลลิเมตร)	2 - 8	5 - 20

6.1.2 วัสดุส่วนละเอียด (fine aggregate) จะต้องเป็นวัสดุและคุณสมบัติเดียวกับวัสดุส่วนหยาบ (coarse aggregate) หากมีการใช้วัสดุส่วนละเอียดเจือปน เพื่อปรับปรุงคุณภาพ จะต้องได้รับความเห็นชอบจากเจ้าของทางก่อน

6.1.3 ส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ต้องไม่มากกว่าสองในสาม (2/3) ของส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.425 มิลลิเมตร (เบอร์ 40)

6.1.4 มีค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit : LL) ไม่เกินร้อยละ 25 หรือตามที่ระบุไว้ในแบบ

6.1.5 มีค่าดัชนีพลาสติก (Plasticity Index, PI) ไม่เกินร้อยละ 6 หรือตามที่ระบุไว้ในแบบ

6.1.6 มีค่าการสึกหรอของวัสดุมวลรวมด้วยวิธี Los angeles abrasion test ไม่เกินร้อยละ 40 หรือตามที่ระบุไว้ในแบบ

6.1.7 มีค่า California bearing ratio แบบแช่น้ำ (soaked CBR) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80

6.1.8 สำหรับในการควบคุมงานก่อสร้าง วัสดุต้องบดอัดแน่นต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 95 ของวิธีการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (modified compaction test) จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

สมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุรองหินโรยทางสามารถทดสอบได้จากการทดสอบมาตรฐานดังแสดงใน**ตารางที่ 19** ข้อแนะนำเกี่ยวกับค่าที่ใช้ในการออกแบบก่อสร้างแสดงในตารางเดียวกัน การทดสอบเหล่านี้พิจารณาให้เป็นการทดสอบขั้นต่ำ วิศวกรสามารถดำเนินการทดสอบคุณสมบัติของดินเพิ่มเติม นอกเหนือจากวิธีเหล่านี้ได้เมื่อเห็นสมควร

ตารางที่ 19 การทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นรองหินโรยทางและค่าแนะนำสำหรับการออกแบบ

สมบัติทางวิศวกรรม	การทดสอบ	ข้อแนะนำ
การคละขนาด	ASTM C 117 และ C 136	ดูส่วนที่ 6.1 ของมาตรฐานนี้
ความหนาแน่นสำหรับบดอัด	ASTM D 1557	บดอัดที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุด บดอัดที่ความชื้นที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุด
ขีดจำกัดเหลวและดัชนีพลาสติก	ASTM D 423 ASTM D 424	พิกัดเหลวน้อยกว่า 25 ดัชนีพลาสติกน้อยกว่า 6
ความทนทานต่อการขัดสี (ลอสแองเจลิส)	ASTM C 131	น้อยกว่าร้อยละ 40
ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	ASTM C 88	ค่าเปลี่ยนแปลงได้[1]
ปริมาณวัสดุผ่านตะแกรงเบอร์ 200	ASTM C 117	น้อยกว่าร้อยละ 5
สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ	ASTM D 2434	ค่าเปลี่ยนแปลงได้[1]
ความถ่วงจำเพาะ	ASTM C 127	ค่าเปลี่ยนแปลงได้[1]
[1] ค่าเปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของหินโรยทาง ดินพื้นทางและวัสดุชั้นรองหินโรยทางเอง หน่วยงานเจ้าของทางสามารถกำหนดค่าที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานเฉพาะกรณีไป		

6.2 การเก็บตัวอย่างดินชั้นรองหินโรยทาง

การเก็บตัวอย่างดินในแนวทาง จะต้องเก็บตัวอย่างที่เป็นตัวแทนที่แท้จริงของวัสดุหรือเป็นตัวแทนของปริมาณของวัสุดที่ต้องการตรวจสอบ จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความสำคัญของงานที่จะนำวัสดุไปใช้งาน เช่น งานแก้ไขจะมีความสำคัญน้อยกว่างานที่สร้างใหม่ ทั้งนี้ ให้คำนึงถึงความถี่และปริมาณในการเก็บโดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

6.2.1 ความถี่ในการเก็บ จะต้องเก็บวัสดุทุกขั้นตอนที่ใช้งานหากคุณภาพของวัสดุมีความไม่สม่ำเสมอ ไม่ว่าจะเป็นแหล่งผลิตที่เหมือนกันจะต้องสุ่มตัวอย่างการเก็บให้มีคุณสมบัติที่ดีตามมาตรฐานที่กำหนดและมีความใกล้เคียงกันจากผลการทดสอบเดิมที่เคยทดสอบ โดยให้เป็นดุลพินิจของวิศวกรในการพิจารณาความสม่ำเสมอของแหล่งวัสดุ

6.2.2 การเก็บตัวอย่างจากแหล่งเก็บกอง (stock pile) ให้ดำเนินการเก็บตัวอย่างโดยดำเนินการตามตารางที่ 20 จำนวนตัวอย่างละ 100 กิโลกรัมแยกจากกัน สำหรับการยอมรับคุณภาพของวัสดุให้ใช้ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบทั้งหมดหรือแยกส่วนเป็นพื้นที่ตามผลการทดสอบตัวอย่างที่เก็บส่วนนั้นของแหล่งเก็บกองตัวอย่าง การพิจารณายอมรับให้ใช้วัสดุได้ เป็นดุลพินิจของวิศวกรที่รับผิดชอบ

ตารางที่ 20 ชนิดการทดสอบและความต้องการต่ำสุดที่ใช้เป็นตัวแทนของตัวอย่างทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ลำดับที่	ชนิดการทดสอบ	ความต้องการทดสอบต่ำสุด	หมายเหตุ
1	gradraion, soil consistency & Atterberg's limits, and compaction test	ทดสอบอย่างน้อย 3 ตัวอย่างต่อวัสดุที่จะนำมาใช้ทุกๆ 500 ลูกบาศก์เมตรจากแหล่งวัสดุเดียวกัน	- เพื่อพิจารณาเลือกใช้วัสดุให้เป็นไปตามรายการจำเพาะ - เพื่อตรวจสอบความสม่ำเสมอของตัวอย่างในแหล่งเดียวกัน
2	California Bearing Ratio (CBR) test	ทดสอบจากดินตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบลำดับที่ 1 โดยทดสอบตามตัวอย่างในแต่ละจุด หากผลการทดสอบในลำดับที่ 1 มีค่าใกล้เคียงกัน อาจจะรวมหลายๆ ตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบ CBR เพียงครั้งเดียว	
3	Los angeles abration test	ทดสอบอย่างน้อย 1 ตัวอย่างต่อวัสดุที่นำมาใช้ทุก 5,000 ลูกบาศก์เมตร จากแหล่งวัสดุ โดยทำการทดสอบแยกจากตัวอย่างลำดับที่ 1 และ 2	เพื่อพิจารณาตัวอย่างที่ผสมกันแล้วในแต่ละแหล่ง เป็นการตรวจสอบคุณภาพก่อนนำไปใช้
4	อื่นๆ	ตามแต่ความจำเป็น ตามแต่ดุลพินิจของวิศวกรที่รับผิดชอบ	

หมายเหตุ : หากเปลี่ยนแหล่งวัสดุใหม่ต้องส่งตัวอย่างวัสดุทำการทดสอบตามชนิดการทดสอบข้างต้นทุกครั้งก่อนนำไปใช้งาน

6.2.3 จะต้องจัดทำป้ายกำกับรายละเอียดของตัวอย่างวัสดุที่ส่งทำการทดสอบ โดยจะต้องมีรายละเอียดระบุให้ครบถ้วน ได้แก่ วันที่เก็บตัวอย่าง ชื่อโครงการ แหล่งที่เก็บ (อำเภอและจังหวัด) วัสดุชนิดนี้ใช้สำหรับก่อสร้างในส่วนใดของโครงสร้างทาง สีของตัวอย่างเมื่อมีสถานะแห้งและชื้นเมื่อโดนน้ำ ความลึกในการเก็บ ลำดับของถุงจากจำนวนถุงทั้งหมดที่ส่งทดสอบทั้งหมด ชื่อผู้รับผิดชอบการเก็บตัวอย่างของผู้ที่ดำเนินการและเจ้าหน้าที่ผู้ควบคุมการเก็บตัวอย่างของหน่วยงานเจ้าของทาง รวมไปถึงผู้นำส่งตัวอย่างทดสอบ โดยทำเป็นป้ายให้มีรายละเอียดชัดเจนที่มีความแข็งแรงทนทานต่อการเสียหาย ไม่สามารถเลือนลางและฉีกขาดจากการกระแทกหรือความชื้นทุกถุงที่ส่งทดสอบ นอกเหนือจากนั้นให้เขียนรายละเอียดโดยคร่าวๆ ของตัวอย่างลงบนถุงตัวอย่างที่ส่งทดสอบด้วย

6.2.4 การเก็บตัวอย่างดินชั้นรองหินโรยทาง (subbalast) ให้ดำเนินการเก็บตัวอย่างเก็บกอง (stock pile) ตามข้อ 6.2.2 และให้เก็บตัวอย่างดินที่ตีแผ่เป็นดินชั้นรองหินโรยทางทุกระยะทาง 500 เมตร มาทำการทดสอบว่า ดินชั้นรองหินโรยทางได้ตามมาตรฐานตามข้อ 6.1.1 ถึง 6.1.5 จำนวนละ 2 ตัวอย่างและมาตรฐานตามข้อ 6.1.6 จำนวน 1 ตัวอย่าง โดยทางผู้เก็บตัวอย่างและวิศวกรที่รับผิดชอบจะต้องวางแผนในการเก็บตัวอย่างให้สอดคล้องและไม่เป็นอุปสรรคกับแผนงานการก่อสร้าง ทั้งนี้ ผลการทดสอบทั้งหมดจะต้องมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบของแหล่งเก็บกองในข้อ 6.2.2 หากผลการทดสอบไม่ใกล้เคียงกันจะต้องให้วิศวกรที่รับผิดชอบหาสาเหตุที่เกิดขึ้นและแก้ไข และหากยังแก้ไขไม่ได้จะต้องต่อเจ้าของทางโดยด่วนเพื่อปรับปรุงขั้นตอนการเก็บตัวอย่างให้เหมาะสม

6.3 การก่อสร้างชั้นรองหินโรยทาง

การก่อสร้างชั้นรองหินโรยทาง ประกอบด้วย การเท ไถปาด ขึ้นรูป และการบดอัดตามที่กำหนดในแบบก่อสร้าง โดยรายละเอียดและขั้นตอนแนะนำให้เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง

6.4 การผลิตและการขนย้าย

ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในส่วน 4.3 ของมาตรฐานนี้

6.5 การตรวจสอบการผลิต

ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในส่วน 4.3 ของมาตรฐานนี้

6.6 การวัดปริมาณวัสดุรองหินโรยทาง

ให้วัดปริมาณวัสดุรองหินโรยทาง มีหน่วยเป็นตัน หรือลูกบาศก์เมตร ปริมาณรวมคำนวณจากปริมาณวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างสำหรับแต่ละขั้นตอนคือ เทวาง ปาดเกลี่ย บดอัด และรักษาพื้นผิวชั้นรองหินโรยทางให้เป็นไปตามแบบจนถึงเวลาก่อสร้างชั้นหินโรยทาง

น้ำที่ใช้ระหว่างการก่อสร้างชั้นรองหินโรยทาง ได้แก่ พรมน้ำชั้นดินพื้นทางให้เปียก น้ำใช้ระหว่างการบดอัดชั้นรองหินโรยทาง และน้ำที่ใช้ระหว่างการรักษาพื้นผิวชั้นรองหินโรยทางให้เป็นไปตามแบบจนถึงเวลาก่อสร้างชั้นหินโรยทาง ให้คำนวณราคาเป็นส่วนหนึ่งของวัสดุชั้นรองหินโรยทาง

7 ชั้นดินถมพื้นทาง (embankment)

ส่วนนี้ของมาตรฐานนี้ อธิบายข้อกำหนดสำหรับการออกแบบ คุณสมบัติวัสดุและการก่อสร้างชั้นดินถมพื้นทาง โดยชั้นดินถมพื้นทางพึงก่อสร้างจากวัสดุที่ปราศจากหน้าดินและวัชพืช มีเม็ดแข็ง ทนทาน ส่วนหยาบและส่วนละเอียดที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสานที่ดี ส่วนที่จับตัวเป็นก้อนแข็งขนาดใหญ่หรือขนาดโตกว่า 50 มิลลิเมตร จะต้องกำจัดออกให้แตกและผสมเข้าด้วยกันลักษณะสม่ำเสมอ

7.1 คุณสมบัติของวัสดุชั้นดินถมพื้นทาง ควรมีคุณสมบัติ ดังนี้

7.1.1 การคละขนาดของดินถมจะต้องทำการทดลองจากวิธีการทดสอบการหาขนาดคละของมวลรวมแบบล้างตามมาตรฐาน ASTM C117 และ C136 หรือเทียบเท่า ซึ่งต้องได้ขนาดคละตาม grading อันใดอันหนึ่งตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 เกณฑ์การคละขนาดอนุภาคของวัสดุชั้นดินถมพื้นทาง (embankment)

ขนาดตะแกรง ตามมาตรฐาน	ร้อยละผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก กลุ่ม หรือ ขนาด (Grading)				
	A	B	C	D	E
2 นิ้ว (50.00 มิลลิเมตร)	100	100	-	-	-
1 นิ้ว (25.00 มิลลิเมตร)	-	75 ถึง 95	100	100	100
3/8 นิ้ว (9.50 มิลลิเมตร)	30 ถึง 65	40 ถึง 75	50 ถึง 85	60 ถึง 100	-
No.4 (4.76 มิลลิเมตร)	25 ถึง 55	30 ถึง 60	35 ถึง 65	50 ถึง 85	55 ถึง 100
No.10 (2.00 มิลลิเมตร)	15 ถึง 40	20 ถึง 45	25 ถึง 50	40 ถึง 70	40 ถึง 100
No.40 (0.42 มิลลิเมตร)	8 ถึง 20	15 ถึง 30	15 ถึง 30	25 ถึง 45	20 ถึง 50
No.200 (0.075 มิลลิเมตร)	2 ถึง 8	5 ถึง 20	5 ถึง 15	5 ถึง 20	6 ถึง 20

7.1.2 มีค่าพิกัดเหลว (Liquid limit : LL) ไม่เกินร้อยละ 35

7.1.3 มีค่าดัชนีพลาสติก (Plasticity index, PI) ไม่เกินร้อยละ 11

7.1.4 มีค่าการสึกหรอของวัสดุมวลรวมด้วยวิธี Los angeles abrasion test ไม่เกินร้อยละ 60

7.1.5 มีค่า California bearing ratio แบบแช่น้ำ (soaked CBR) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 และต้องมีค่าขยายตัว (swelling) ไม่เกินร้อยละ 4

7.1.6 สำหรับในการควบคุมงานก่อสร้าง วัสดุต้องบดอัดแน่นต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 95 ของวิธีการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (modified compaction test) จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

7.2 การเก็บตัวอย่างดินชั้นดินถมพื้นทาง (embankment)

7.2.1 การเก็บตัวอย่างดินชั้นดินถมพื้นทางให้ดำเนินการตามข้อ 6.2.1 ถึง 6.2.3

7.2.2 ให้เก็บตัวอย่างดินที่ตีแผ่เป็นดินถมพื้นทางทุกระยะทาง 500 เมตร มาทำการทดสอบว่าดินถมพื้นทางผ่านตามมาตรฐานข้อ 7.1.1 ถึง 7.1.3 จำนวนละ 2 ตัวอย่าง และมาตรฐานข้อ 7.1.5 จำนวน 1 ตัวอย่าง โดยทางผู้เก็บตัวอย่างและวิศวกรที่รับผิดชอบจะต้องวางแผนในการเก็บตัวอย่างให้สอดคล้องและไม่เป็นอุปสรรค

กับแผนงานการก่อสร้าง ทั้งนี้ ผลการทดสอบทั้งหมดจะต้องมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบของแหล่งเก็บกองในข้อ 6.2.2 หากผลการทดสอบไม่ใกล้เคียงกัน จะต้องให้วิศวกรที่รับผิดชอบหาสาเหตุที่เกิดขึ้นและแก้ไข และหากยังแก้ไขไม่ได้จะต้องต่อเจ้าของทางโดยด่วน เพื่อปรับปรุงขั้นตอนการเก็บตัวอย่างให้เหมาะสม

7.3 **การออกแบบและก่อสร้างชั้นดินถมพื้นทาง** ควรพิจารณาประเด็น ดังต่อไปนี้

7.3.1 ถ้าทางถมผ่านบริเวณพื้นที่ที่ลาดเอียงเกิน 1 (ทางดิ่ง) ต่อ 4 (ทางราบ) เช่น ลาดไหล่เขา หรือเนินดินให้ทำการไถพรวนบริเวณนั้นลึกกว่าธรรมดา แล้วบดอัดแน่นหรือแต่งพื้นที่บริเวณนั้นให้เป็นชั้น ถ้าหากพบว่าดินในบริเวณนั้นไม่มั่นคงแข็งแรงดีพอ ให้ขุดออกทิ้ง เพื่อให้ทางถมนั้นตั้งอยู่บนพื้นฐานที่มั่นคง

7.3.2 ในการบดอัดแต่ละชั้นจะต้องไม่หนาเกินกว่า 30 เซนติเมตร โดยกำหนดให้บดอัดเป็นหน้าตามยาวของคันทาง เมื่อบดอัดเรียบร้อยแล้วให้ทำการตรวจสอบตามคุณสมบัติของแต่ละชนิดที่ได้กำหนดไว้ สำหรับความต้องการตัวอย่างทดสอบในห้องปฏิบัติการที่ใช้เป็นตัวแทนของวัสดุในการก่อสร้างให้ปฏิบัติตามที่เจ้าของทางกำหนด

7.3.3 หากไม่สามารถหาดินที่ถูกต้องตามรายการมาตรฐานดังกล่าวข้างต้นได้ ให้ทำการออกแบบส่วนผสมดินต่างชนิดกันเพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพดินหรือการออกแบบในลักษณะอื่น เช่น การใช้ prefabricated vertical drains (PVD) การใช้วัสดุแอสฟัลท์ การตอกเสาเข็ม หรืออื่นๆ ทั้งนี้ต้องเสนอแนวคิดรายการออกแบบและคำนวนอย่างละเอียด พร้อมทั้งผลการทดสอบตัวอย่างการปรับปรุงคุณภาพดินและการทดสอบคุณภาพของงานตามการออกแบบนั้น โดยให้วิศวกรของเจ้าของทางเห็นชอบเสียก่อนจึงจะนำมาใช้งานได้

8. ดินรองรับชั้นหินโรยทาง (blanket)

ดินรองรับชั้นหินโรยทาง ต้องใช้วัสดุที่ปราศจากหน้าดินและวัชพืช มีเม็ดแข็ง ทนทาน ส่วนหยาบและส่วนละเอียดมีคุณสมบัติเชื่อมประสานที่ดี ส่วนที่จับตัวเป็นก้อนแข็งขนาดใหญ่หรือโตกว่า 50 มิลลิเมตร จะต้องกำจัดออกให้แตกและผสมเข้าด้วยกันในลักษณะสม่ำเสมอ

8.1 คุณสมบัติของดินรองรับชั้นหินโรยทาง (blanket) ควรใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติตามข้อ 7.1.1 -7.1.5

8.2 การเก็บตัวอย่างดินรองรับชั้นหินโรยทาง (blanket)

8.2.1 การเก็บตัวอย่างดินรองรับชั้นหินโรยทางให้ดำเนินการตามข้อ 6.2.1 ถึง 6.2.3

8.2.2 ให้เก็บตัวอย่างดินที่ตีแผ่เป็นดินถมพื้นทางทุกระยะทาง 500 เมตร มาทำการทดสอบว่าดินรองรับชั้นหินโรยทางผ่านตามมาตรฐานข้อ 7.1.1 ถึง 7.1.3 จำนวนละ 2 ตัวอย่าง และมาตรฐานข้อ 7.1.5 จำนวน 1 ตัวอย่างโดยทางผู้เก็บตัวอย่างและวิศวกรที่รับผิดชอบจะต้องวางแผนในการเก็บตัวอย่างให้สอดคล้องและไม่เป็นอุปสรรคกับแผนงานการก่อสร้าง ทั้งนี้ ผลการทดสอบทั้งหมดจะต้องมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบของแหล่งเก็บกองในข้อ 6.2.2 หากผลการทดสอบไม่ใกล้เคียงกัน จะต้องให้วิศวกรที่รับผิดชอบหาสาเหตุที่เกิดขึ้นและแก้ไข และหากยังแก้ไขไม่ได้จะต้องต่อเจ้าของทางโดยด่วน เพื่อปรับปรุงขั้นตอนการเก็บตัวอย่างให้เหมาะสม

9 ชั้นดินเดิม (subgrade)

ชั้นดินเดิม จะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับน้ำหนักคงที่ (dead load) ของพื้นทาง และน้ำหนักจร (live load) ถ้ามีข้อสงสัยควรจะต้องทำการสำรวจและวิเคราะห์ก่อนที่จะลงมือก่อสร้าง โดยให้ไถพรวนดินเดิม ซึ่งขุดต้นไม้ หญ้า วัชพืชต่าง ๆ หรือดินผิวที่มีสารอินทรีย์สูงบนดินเดิมบริเวณคันทางถมต้องขุดแล้วเก็บออกให้หมดเสียก่อนไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร แล้วจึงจะทำการบดอัดแน่น

9.1 คุณสมบัติของวัสดุชั้นดินเดิม ควรใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติตามข้อ 7.1.1 -7.1.5

9.2 การเก็บตัวอย่างดินเดิม (subgrade)

9.2.1 การเก็บตัวอย่างดินชั้นดินเดิมให้ดำเนินการตามข้อ 6.2.1 ถึง 6.2.3

9.2.2 การเก็บตัวอย่างดินเดิมจะต้องมีคุณภาพสม่ำเสมอกันตลอดทั้งตัวอย่าง โดยให้เก็บอย่างน้อย 1 ตัวอย่างต่อระยะทาง 1 กิโลเมตรตามแนวเส้นทางในกรณีงานก่อสร้างทางถม (fills) และอย่างน้อย 2 ตัวอย่างต่อระยะทาง 1 กิโลเมตรในกรณีทางตัด (cuts) ทั้งนี้ การเก็บให้เก็บที่ตำแหน่งต่ำกว่าระดับดินเดิม 30 เซนติเมตร ยกเว้นกรณีดินเดิมอยู่ในพื้นที่ที่มีน้ำท่วมขังหรืออยู่ในแอ่งน้ำการเก็บตัวอย่างดินเดิมจะต้องขุดหลุมต่ำกว่าระดับดินเดิมลงไปอีก 1 เมตร เพื่อสังเกตระดับน้ำใต้ดิน

9.3 การออกแบบและก่อสร้างชั้นดินเดิม ควรพิจารณาประเด็น ดังต่อไปนี้

9.3.1 ถ้าดินเดิมอยู่ในพื้นที่มีสภาพน้ำท่วมขัง หรืออยู่ในแอ่งน้ำ จะต้องทำการระบายน้ำออกทั้งหมดก่อน พร้อมทั้งสำรวจและพิจารณาระดับน้ำใต้ดิน โดยการเก็บตัวอย่างจะต้องขุดหลุมต่ำกว่าระดับเดิมลงไปอีก 1 เมตร เพื่อสังเกตระดับน้ำใต้ดิน หากพบน้ำใต้ดินในช่วงดังกล่าว วิศวกรจะต้องรายงานให้กับเจ้าของทางทราบเพื่อทำการออกแบบแก้ไขระดับน้ำใต้ดินสูงที่อาจจะส่งผลถึงความเสียหายต่อคันทางรถไฟได้ แล้วจึงดำเนินการเก็บดินและบดอัดแน่น ก่อนทำการก่อสร้างชั้นดินถมพื้นทาง (embankment) ในกรณีที่ไม่สามารถหาวัสดุชั้นดินเดิมตามข้อ 9.1 ได้ ให้ใช้วิธีการปรับปรุงคุณภาพดินเดิมแทนหรือให้ทำการออกแบบเสริมความแข็งแรงของดินเดิม โดยต้องได้รับความเห็นชอบจากวิศวกรก่อน

9.3.2 สำหรับในการควบคุมงานก่อสร้าง วัสดุต้องบดอัดแน่นตามข้อ 8 ต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 90 ของวิธีการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (modified compaction test) จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

9.3.3 ลาดข้างทาง ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของพื้นดินเดิม ทั้งนี้ สุดแต่ผลการทดสอบของดินแต่ละแห่ง ซึ่งจำแนกออกได้เป็น

1) solid rock งานดินเดิมตัดผ่าน solid rock หมายถึง งานดินตัดผ่านพื้นหินแข็งหรือหินที่อัดตัวแน่นและมวลที่เป็นชั้น (stratified masses) และวิศวกรมีดุลพินิจว่า ควรขุดออกด้วยการใช้ระเบิดทำการระเบิดติดต่อกันไป (continuous blasting) สำหรับงานดินตัดผ่านหินก้อนใหญ่ (boulders) หรือหินที่มีปนอยู่ในดิน ถ้ามีขนาดโตเกินกว่า 1 ลูกบาศก์หลา (0.765 ลูกบาศก์เมตร) ให้ถือว่าเป็นงานดินตัดผ่าน solid rock เช่นกัน ลาดข้างทางของทางตัดผ่าน solid rock มีลาดไม่เกิน 4 (ทางดิ่ง) ต่อ 1 (ทางราบ)

2) loose rock งานดินเดิมตัดผ่าน loose rock หมายถึง งานดินตัดผ่านหินที่มีปนอยู่ในดิน หรือหินก้อนใหญ่ที่มีขนาดโตกว่า 1 ลูกบาศก์ฟุต (0.028 ลูกบาศก์เมตร) หรือเล็กกว่า 1 ลูกบาศก์หลา (0.765 ลูกบาศก์เมตร)

และหินเชล (shale) หินชนวน (slate) หินสบู่ (soap stone) กรวดที่มีวัตถุประสาน (cement gravel) และหินชนิดอื่นๆ ที่วิศวกรมีดุลพินิจว่า สามารรถขุดออกได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้ระเบิด ลาดข้างทางของทางตัดผ่าน loose rock มีลาดได้ไม่เกิน 2 (ทางดิ่ง) ต่อ 1 (ทางราบ)

3) common material ได้แก่ งานดินที่ตัดผ่านดินทั่วไป เช่น ดินเหนียว ทราย กรวด และหิน ลาดข้างของทางตัดผ่าน common material มีลาดได้ไม่เกิน 1 (ทางดิ่ง) ต่อ 1.5 (ทางราบ)

9.3.4 ลานข้างทาง (terrace) หมายถึง พื้นที่ด้านข้างวัดจากริมนอกของบ่าทางไปถึงเชิงลาดทางตัด ระยะจากบ่าทางในแต่ละด้านของทางตัดควรกว้างไม่น้อยกว่าด้านละ 7 เมตร

9.3.5 บ่อยืมดิน ถ้าจำเป็นจะต้องขุดดินข้างทางเป็นบ่อยืมดิน ให้ขุดห่างจากตีนลาดข้างทางไม่น้อยกว่า 10 เมตร ไม่ลึกกว่า 1 เมตร ทั้งนี้ บ่อยืมดินด้านชิดเขตที่ติดต่อกับที่ดินเอกชน ควรขุดให้ห่างจากแนวเขตที่ดินไม่น้อยกว่า 2 เมตร

9.3.6 การระบายน้ำ รางระบายน้ำต้องจัดให้เพียงพอและไม่ให้มีสิ่งกีดขวางทางน้ำไหล ที่ปลายสุดของรางระบายน้ำควรทำให้ผายออก เพื่อไม่ให้น้ำไปกัดเซาะพื้นทางถมใกล้เคียง และการทำรางระบายน้ำนี้ให้ทำภายหลังที่ได้ทำการบัดอัดพื้นทางแน่นดีแล้ว ถ้าลาดข้างทางสูงมาก ควรพิจารณาจัดทำรางดักน้ำ (interception ditch) บนลานข้างทางไว้ให้เหมาะสมด้วย โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1) ลาด (gradient) ของรางระบายน้ำต้องมีไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.2

2) ต้องรางดักน้ำทุก ๆ ความสูงของลาดข้างทางไม่เกิน 5 เมตร รางดักน้ำมีขนาดไม่เล็กกว่า 1 เมตร มีลาดไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.2 และมีบ่า (berm) ไม่น้อยกว่า 1 เมตร

3) ที่ยอดของลาดข้างทางของทางตัด ต้องมีรางดักน้ำที่มีขนาดไม่เล็กกว่า 1 เมตร มีลาดไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.2 และมีบ่า (berm) ไม่น้อยกว่า 1 เมตร.

บรรณานุกรม

[1] ASTM C 88-13 Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate

[2] ASTM C 117-13 Standard Test Method for Materials Finer than 75 micron (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing

[3] ASTM C 127-15 Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate

[4] ASTM C 128-15 Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate

[5] ASTM C 131-01 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine

[6] ASTM C 136-01 Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates

[7] ASTM C 295-12 Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete

[8] ASTM C 535-16 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine

[9] ASTM C 702-98 Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size

[10] ASTM D 75-03 Standard Practice for Sampling Aggregates

[11] ASTM D420-98(2003) Standard Guide to Site Characterization for Engineering Design and Construction

[12] ASTM D 421-85(2007) Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants

[13] ASTM D 422-63(2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils

[14] ASTM D698 – 12 Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft3 (600 kN-m/m3))

[15] ASTM D854 – 14 Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer

[16] ASTM D1452 / D1452M – 16 Standard Practice for Soil Exploration and Sampling by Auger Borings

[17] ASTM D1556 Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by Sand-Cone Method

[18] ASTM D1557 Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft3 (2,700 kN-m/m3))

[19] ASTM D1586-11 Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils

[20] ASTM D1587 Standard Practice for Thin-Walled Tube Sampling of Fine-Grained Soils for Geotechnical Purposes

[21] ASTM D1883 – 16 Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils

[22] ASTM D2166 / D2166M – 16 Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil

[23] ASTM D2167 – 15 Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Rubber Balloon Method

[24] ASTM D2216 – 10 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass

[25] ASTM D2217-85(1998) Standard Practice for Wet Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants

[26] ASTM D2434-68(2006) Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head)

[27] ASTM D2487 – 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

[28] ASTM D2488 Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure)

[29] ASTM D2573 Standard Test Method for Field Vane Shear Test in Saturated Fine-Grained Soils

[30] ASTM D2664-04 Standard Test Method for Triaxial Compressive Strength of Undrained Rock Core Specimens Without Pore Pressure Measurements

[31] ASTM D3441 Standard Test Method for Mechanical Cone Penetration Testing of Soils

[32] ASTM D4253 – 16 Standard Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table

[33] ASTM D4254 – 16 Standard Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density

[34] ASTM D4318 – 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils

[35] ASTM D4546 – 14 Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Collapse of Soils

[36] ASTM D4767 – 11 Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils

[37] ASTM D 4791-10 Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate

[38] ASTM D 6928-17 Standard Test Method for Resistance of Coarse Aggregate to Degradation by Abrasion in the Micro-Deval Apparatus

[39] EN 933-3: 2012 Tests for geometrical properties of aggregates. Determination of particle shape. Flakiness index

[40] EN 933-4: 2008 Tests for geometrical properties of aggregates. Determination of particle shape. Shape index

[41] EN 1367-1: 2007 Tests for thermal and weathering properties of aggregates. Determination of resistance to freezing and thawing

[42] การรถไฟแห่งประเทศไทย. (2015) : รายการมาตรฐานสำหรับงานก่อสร้างพื้นทางรถไฟ