

อัตราส่วนของหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุน ที่ส่งผลถึงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของหินโรยทาง Effect of Versicular Aggregate Ratio on Engineering Properties of Ballast

วชิระ เหมือนทยกสกุล¹ และ บุญชัย แสงเพชรงาม²

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

ในหินอัคนีประเภทหินอัคนีพุ (Extrusive Igneous Rock) มีโอกาสที่หินจะมีลักษณะเป็นรูพรุน (Versicular Form) เนื่องจากการเกิดของหินชนิดนี้ที่เกิดจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็วของลาวา และมีโอกาสที่อากาศจะแทรกตัวในเนื้อหินขณะเย็นตัว โดยหินที่มีลักษณะดังกล่าวเด่นชัดที่สุดคือ หินบะซอลต์ ซึ่งเป็นหนึ่งในหินที่การรถไฟแห่งประเทศไทยนำมาใช้เป็นหินโรยทาง ในอดีตที่ผ่านมาในการจัดซื้อหินโรยทางที่เป็นหินบะซอลต์ของการรถไฟแห่งประเทศไทย จะพบหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนปะปนอยู่ในกองเก็บ โดยมีอัตราส่วนแตกต่างกันไปในแต่ละเหมืองที่ผลิตหิน แต่มาตรฐานปัจจุบันของการรถไฟแห่งประเทศไทย ไม่สามารถระบุถึงคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่เปลี่ยนแปลงไปโดยรวม ของหินโรยทางที่มีหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนปะปนอยู่ได้ งานวิจัยนี้ศึกษาถึงคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่เปลี่ยนแปลงไปโดยรวม ของหินโรยทางที่มีหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนปะปนอยู่ในอัตราส่วนที่ต่างกัน โดยนำโรยทางชนิดหินบะซอลต์ที่มีลักษณะเป็นรูพรุนผสมกับหินโรยทางชนิดหินบะซอลต์ปกติ ในอัตราส่วนที่ต่างกัน แล้วนำไปทดสอบ 3 การทดสอบ คือ การทดสอบ หาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึ่มของมวลรวม (Test of Specific Gravity and Absorption of Aggregate), การทดสอบความคงทนของมวลรวม (Soundness Test of Aggregate) และการทดสอบความคงทนต่อการแช่แข็ง-ละลายของมวลรวม (Freeze-Thaw Test of Aggregate) เปรียบเทียบผลการทดสอบกับหินโรยทางชนิดอื่นตลอดจนเปรียบเทียบกับมาตรฐานหินโรยทางรถไฟของต่างประเทศ และนำเสนอการทดสอบที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการควบคุมปริมาณหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนที่ปะปนอยู่ในกองเก็บต่อไป

จากผลการทดสอบพบว่า หินโรยที่มีหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนผสมอยู่ในอัตราส่วนที่สูงกว่าจะมีค่าการดูดซึ่มที่มากกว่า และมีค่าร้อยละของน้ำหนักสูญเสียมากกว่าหลังจากการทดสอบความคงทนของมวลรวม และความคงทนต่อการแช่แข็ง-ละลายของมวลรวม แต่ค่าการดูดซึ่มจะมีความอ่อนไหวต่ออัตราส่วนของหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนมากที่สุด ผู้วิจัยจึงเสนอให้ใช้การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึ่มของมวลรวม

เพื่อควบคุมปริมาณหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนที่ปะปนอยู่ในกองเก็บ เนื่องจากการทดสอบทำได้ง่าย รวดเร็ว และให้ผลที่ชัดเจน

คำสำคัญ: หินโรยทาง, หินที่มีลักษณะเป็นรูพรุน, มาตรฐานหินโรยทาง, การทดสอบหินโรยทาง

Abstract

In the extrusive igneous rocks, there is a chance for the rock to exhibit vesicles due to the rapid cooling process from lava and the possibility of air entrapment during solidification. The most distinct example of such rocks is basalt. Which has been widely used as railway ballast in Thailand. In the past, during the procurement of ballast for the State Railway of Thailand (SRT), vesicular rocks were found in the ballast piles, with varying proportions in each quarry. However, the current standards of SRT do not specify the overall engineering properties that may be affected by the presence of vesicular rocks in ballast. This research aims to investigate the overall engineering properties affected by the presence of vesicular rocks in different proportions in railway ballast. The study involves blending vesicular basaltic aggregate with normal basaltic aggregate in varying proportions and subjecting them to three tests: Specific Gravity and Absorption Test of Aggregate, Soundness Test of Aggregate and Freeze-Thaw Test of Aggregate. The test results are compared with other types of ballast rocks as well as international standards for railway ballast. Furthermore, suitable testing methods are proposed for controlling the quantity of vesicular rocks in future ballast procurement.

From the test results, it is found that the presence of vesicular rocks in higher proportions within the railway ballast leads to higher absorption values and a higher percentage of weight loss after the Soundness Test and Freeze-Thaw Test. However, the absorption value is the most sensitive to the proportion of vesicular rocks. Therefore, the researchers suggest utilizing the Specific Gravity and Absorption Test of Aggregate to control the amount of vesicular rocks present, as this method is easy, fast, and provides clear results.

Keywords: Railway Ballast, Vesicular Rock, Standard for Railway Ballast, Test of Railway Ballast

1. บทนำ

ในปัจจุบันการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) เป็นเจ้าของโครงข่ายทางรถไฟทั่วประเทศไทยมากกว่า 4,350 กิโลเมตร ซึ่งร้อยละ 99 เป็นทางรถไฟชนิดใช้หินโรยทาง (Ballasted Track) ในแต่ละปีการรถไฟแห่งประเทศไทยต้องจัดซื้อหินโรยทางมากกว่า 10,000 ตันต่อปีเพื่อใช้สำหรับงานซ่อมบำรุง ซึ่งคิดเป็นเป็นค่าใช้จ่ายมหาศาล

การจัดซื้อหินโรยทางนั้นมีข้อกำหนดชนิดของหินโรยทางไว้ 8 ชนิด ได้แก่ แกรนิต (Granite), บะซอลต์ (Basalt), แอนดีไซต์ (Andesite), ไรโอไลต์ (Rhyolite), ควอร์ตไซต์ (Quartzite), เดไซต์ (Dacite), ไดออไรต์ (Diorite) และแกบโบร (Gabbro) และจะต้องผ่านการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมศาสตร์ 4 การทดสอบ ได้แก่ การทดสอบหาขนาดคละ (Sieve Analysis Test), การทดสอบหาค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index Test), การทดสอบหาค่าดัชนีความยาว (Elongation Index Test) และการทดสอบความต้านทานการสึกกร่อนด้วยเครื่องลอสแอนเจลิส (Los-Angeles Abrasion Test)

ในหินอัคนีประเภทหินอัคนีพุ (Extrusive Igneous Rock) มีโอกาสที่หินจะมีลักษณะเป็นรูพรุน (Vesicular Form) เนื่องจากการเกิดของหินชนิดนี้ที่เกิดจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็วจากลาวา และมีโอกาสที่อากาศจะแทรกตัวในเนื้อหินขณะเย็นตัว โดยหินที่มีลักษณะดังกล่าวเด่นชัดที่สุดคือ หินบะซอลต์ ในอดีตที่ผ่านมาในการจัดซื้อหินโรยทางที่เป็นหินบะซอลต์ จะพบหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนปะปนอยู่ในกองเก็บ โดยมีอัตราส่วนแตกต่างกันไปในแต่ละเหมืองที่ผลิตหิน

จะเห็นได้ว่าด้วยมาตรฐานปัจจุบันของการรถไฟแห่งประเทศไทย ไม่สามารถระบุถึงคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่เปลี่ยนแปลงไปโดยรวม ของหินโรยทางที่มีหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนปะปนอยู่ โดย 3 จาก 4 การทดสอบในปัจจุบันเป็นการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติเชิงมิติเท่านั้น และ 1 การทดสอบเพื่อหาความต้านทานต่อการสึกกร่อน งานวิจัยนี้จะศึกษาถึงคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่เปลี่ยนแปลงไปโดยรวม ของหินโรยทางที่มีหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนปะปนอยู่ในอัตราส่วนที่ต่างกัน และนำเสนอการทดสอบที่เหมาะสม

เพื่อใช้ในการควบคุมปริมาณหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนที่ปะปนอยู่ในกองเก็บต่อไป

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หินที่มีลักษณะเป็นรูพรุน

หินที่มีลักษณะเป็นรูพรุน เป็นหินที่มีรูพรุนกระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อหิน รูพรุนนี้อาจมีขนาดใหญ่มากกว่า 1 ซม. หรืออาจเล็กกว่า 1 มม. ก็ได้ ซึ่งหินลักษณะนี้เป็นหินอัคนีพุที่เกิดจากการปะทุของภูเขาไฟ เมื่อภูเขาไฟเกิดการปะทุและพ่นลาวาออกมา แรงดันที่แตกต่างกันระหว่างใต้แผ่นเปลือกโลกและบนผิวโลกทำให้อากาศและแก๊สต่างๆที่อยู่ในลาวาเกิดเป็นฟองอากาศขึ้น หากฟองอากาศนี้มีขนาดใหญ่พอ ฟองอากาศดังกล่าวก็จะลอยขึ้นไปบนพื้นผิวของลาวาและแตกออก แต่ถ้าฟองอากาศมีขนาดเล็ก และไม่สามารถลอยขึ้นไปแตกบนพื้นผิวของลาวาได้ ฟองอากาศก็จะอยู่ในเนื้อลาวาจนกระทั่งลาวาเย็นตัวลง และกลายเป็นรูพรุนที่อยู่ในเนื้อหิน ลักษณะดังกล่าวพบมากที่สุดที่หินบะซอลต์



รูปที่ 1 หินที่มีลักษณะเป็นรูพรุน (หินบะซอลต์)

2.2 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของหินโรยทางประเภทหินบะซอลต์ที่มีลักษณะเป็นรูพรุน

Cassio E. L. de Paiva et al. (2018) ได้ทำการทดสอบหินโรยทางชนิดหินแกรนิตและหินบะซอลต์ ที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไปตามแต่ละแหล่งกำเนิดตามตารางที่ 1 ด้วยการทดสอบความต้านทานการสึกกร่อนด้วยเครื่องลอสแอนเจลิส, การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ, การทดสอบความคงทน, การทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ และการทดสอบหาค่าความพรุน ได้ผลตามตารางที่ 2 พบว่า หินบะซอลต์ที่มีลักษณะเป็นรูพรุน จะมีค่าร้อยละของน้ำหนักสูญเสียน้ำจากการทดสอบความต้านทานการสึกกร่อนด้วยเครื่องลอสแอนเจลิส และการทดสอบความคงทนที่มากกว่า อีกทั้งยังมีค่าการดูดซึมน้ำและค่าความพรุนที่มากกว่า อีกทั้งยังมีค่าความถ่วงจำเพาะที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับหินบะซอลต์ปกติ

ตัวอย่าง ที่	ชนิดหิน	แหล่งกำเนิด	ลักษณะ
G1	แกรนิต	Cariacica (ES)	หินแกรนิตปกติ
G2	แกรนิต	Barueri (SP)	หินแกรนิตที่ได้จากการ ทำเหมืองในระยะที่ 2 ผิวหยาบ รูปร่างยาว เรียวยาว
B1	บะซอลต์	Quirinópolis (GO)	หินบะซอลต์ที่ได้จาก เหมืองชั้นต้น มีลักษณะเป็นรูปพรุน
B2	บะซอลต์	Quirinópolis (GO)	หินบะซอลต์ที่ได้จาก เหมืองชั้นลึก เนื้อหินแน่น

ตารางที่ 1 ลักษณะและที่มาของหินโรยทางชนิดต่างๆ ที่ถูกทดสอบ
(Cassio E. L. de Paiva et al., 2018)

ตัวอย่าง ที่	ชนิด หิน	Los Angeles Abrasion (%)	Specific Gravity (kg/m ³)	Sulphate Soundness (%)	Water Absorption (%)	Porosity (%)
G1	แกรนิต	26.5	2796	0.10	0.35	0.9
G2	แกรนิต	16.2	2753	-	0.20	0.6
B1	บะ ซอลต์	23.6	2865	1.09	1.94	5.73
B2	บะ ซอลต์	14.3	2937	0.87	0.81	2.32

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของหินโรยทางชนิดหินแกรนิตและบะซอลต์ที่มี
ลักษณะต่างกัน ที่ถูกทดสอบด้วยการทดสอบและมาตรฐานการทดสอบที่
แตกต่างกัน (Cassio E. L. de Paiva et al., 2018)

2.3 มาตรฐานการทดสอบหินโรยทางขององค์กรหรือบริษัทผู้ให้บริการ รถไฟในประเทศ

2.3.1 การรถไฟแห่งประเทศไทย ประเทศไทย

กำหนดชนิดของหินที่สามารถใช้เป็นหินโรยทางไว้ 8 ชนิด ได้แก่
แกรนิต (Granite), บะซอลต์ (Basalt), แอนดีไซต์ (Andesite), ไรโอไลต์
(Rhyolite), ควอร์ตไซต์ (Quartzite), เดไซต์ (Dacite), ไดออไรต์ (Diorite)
และแกบโบร (Gabbro) หินจะต้องถูกทดสอบโดยการทดสอบ 4
การทดสอบ และผ่านเกณฑ์ ดังนี้

1.) การทดสอบหาขนาดคละ ต้องมีค่าตามตาราง

ขนาดรูตะแกรง (มม.)	ร้อยละของมวลที่ผ่าน รูตะแกรง
63	100
50	80-100
37.5	25-70
25	0-20
19	0-5
จานรอง	0

2.) การทดสอบหาค่าดัชนีความแบน

มีค่าไม่เกินร้อยละ 30

3.) การทดสอบหาค่าดัชนีความยาว

มีค่าไม่เกินร้อยละ 30

4.) การทดสอบความต้านทานการสึกกร่อนด้วยเครื่องทดสอบเจลีส์

มีค่าไม่เกินร้อยละ 25 ที่การหมุน 1000 รอบ

2.3.2 AREMA ประเทศสหรัฐอเมริกา

หินจะต้องถูกทดสอบโดยการทดสอบ 7 การทดสอบ และมีค่าไม่เกิน
เกณฑ์ที่กำหนด แต่เกณฑ์จะจำแนกออกตามชนิดของหินโรยทาง ตาม
ตาราง

การทดสอบ	ชนิดหิน				
	แกรนิต	หินสี เข้ม	ควอร์ต ไซต์	หินปูน	ตะกรัน เหล็ก
Material Passing No.200 Sieve	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%
Bulk specific gravity	2.6	2.6	2.6	2.6	2.9
Absorption	1.0%	1.0%	1.0%	2.0%	2.0%
Clay lump and friable particles	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%
Degradation	35%	25%	30%	30%	30%
Soundness (Sodium sulphate 5 cycles)	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%
Flat and elongated particle	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%

2.3.3 Indian Railways ประเทศอินเดีย

หินจะต้องถูกทดสอบโดยการทดสอบ 5 การทดสอบ และผ่านเกณฑ์
ดังนี้

1.) การทดสอบหาขนาดคละ ต้องมีค่าตามตาราง

ขนาดรูตะแกรง (มม.)	ร้อยละของมวลที่ผ่าน รูตะแกรง
65	95
40	40-60
20	2-5

2.) การทดสอบความต้านทานการสึกกร่อนด้วยเครื่องทดสอบเจลีส์

มีค่าไม่เกินร้อยละ 30

3.) การทดสอบหาค่าการแตกหัก

มีค่าไม่เกินร้อยละ 20

4.) การทดสอบหาค่าอนุภาคที่ไม่เป็นลูกบาศก์

มีค่าไม่เกินร้อยละ 15

5.) การทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ

มีค่าไม่เกินร้อยละ 1

2.3.4 ABNT ประเทศบราซิล

หินจะต้องถูกทดสอบโดยการทดสอบ 4 การทดสอบ และผ่านเกณฑ์ ดังนี้

1.) การทดสอบความต้านทานการสึกกร่อนด้วยเครื่องลอสองเจสิส

มีค่าไม่เกินร้อยละ 30

2.) การทดสอบความคงทน

มีค่าไม่เกินร้อยละ 10

3.) การทดสอบหาค่าความหนาแน่น

มีค่าไม่น้อยกว่า 2500 กก./ม.²

4.) การทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ

มีค่าไม่เกินร้อยละ 0.8

2.4 การทดสอบหินโรยทาง

2.4.1 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวม (Test of Specific Gravity and Absorption of Aggregate)

เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะและค่าการดูดซึมน้ำของมวลรวม

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม หมายถึงอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของมวลรวม ต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน โดยที่ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

1.) ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) เป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักมวลรวม ต่อน้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน เท่ากัน โดยที่ปริมาตรของมวลรวมนั้นรวมรูพรุนทั้งหมดและช่องว่างภายในของมวลรวม

2.) ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity) เป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของมวลรวม ต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน โดยที่ปริมาตรของมวลรวมนั้นรวมรูพรุนที่น้ำเข้าไม่ได้ (Impermeable porous) และช่องว่างภายในของมวลรวม

3.) ความถ่วงจำเพาะสัมบูรณ์ (Absolute or True Specific Gravity) เป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของมวลรวม ต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน โดยที่ปริมาตรของมวลรวมไม่รวมรูพรุนและช่องว่าง ความถ่วงจำเพาะสัมบูรณ์อาจหาได้โดยทำเป็นผงละเอียดที่ไม่มีช่องว่างอยู่เลย

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมขึ้นอยู่กับสมบัติของแร่ธาตุที่เป็นส่วนผสมและความพรุนของก้อนมวลรวม ความชื้นก็อาจทำให้ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมเปลี่ยนแปลงไปได้

การดูดซึมน้ำของมวลรวม หมายถึง การที่น้ำแทรกเข้าไปอยู่ในช่องว่างภายในมวลรวม โดยโครงสร้างภายในของมวลรวมประกอบไปด้วยเนื้อแข็งและช่องว่าง ซึ่งขนาดและปริมาณของช่องว่างก็ขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะ

ของมวลรวม ยิ่งขนาดและปริมาณของช่องว่างมีมากขึ้นก็ยิ่งทำให้สามารถเข้าไปแทรกในเนื้อมวลรวมได้มากขึ้น การแทรกตัวของน้ำในมวลรวมแบ่งได้เป็น 4 ลักษณะ คือ

1.) แห้งด้วยเตาอบ (Oven Dry) ไม่มีน้ำอยู่เลยในมวลรวม ทั้งที่พื้นผิวและช่องว่างภายใน

มวลรวม

2.) แห้งในอากาศ (Air Dry) ไม่มีน้ำอยู่ที่พื้นผิวเลย ภายนอกอาจดูเหมือนมวลนั้นแห้ง

แต่ช่องว่างภายในมวลรวมที่อยู่ลึกอาจมีน้ำแทรกอยู่

3.) อิ่มตัวและผิวแห้ง (Saturated Surface-Dry) ไม่มีน้ำอยู่ที่พื้นผิวเลย แต่ช่องว่างภายในมวลรวมทั้งหมดมีน้ำแทรกอยู่

4.) ชื้นหรือเปียก (Damp or Wet) มีน้ำอยู่ในมวลรวม ทั้งที่พื้นผิวและช่องว่างภายในมวลรวม ผิวของมวลรวมมีชั้นของน้ำอย่างชัดเจน

2.4.2 การทดสอบความคงทนของมวลรวม (Soundness Test of Aggregate)

เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าร้อยละของน้ำหนักรวมสูญเสียน้ำหนักจากการสึกกร่อนของมวลรวมในสารละลายโซเดียมซัลเฟต (NaSO₄) หรือแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO₄) ซึ่งความเสียหายนี้เกิดจากผลึกเกลือของสารละลายที่ตกผลึกภายในช่องว่างของมวลรวม

คุณสมบัติของมวลรวมที่เหมาะสม ที่จะนำมาทำเป็นหินโรยทางนั้น นอกจากจะต้องมีความแข็งแรง และสามารถต้านทานการขัดสีได้แล้ว ความคงทน (Soundness) ยังเป็นอีกหนึ่งคุณสมบัติที่สำคัญมาก ทั้งนี้เพราะหินโรยทางอาจต้องอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เช่น สภาพเปียกและแห้งสลับกัน (Wetting and Drying) หรือสภาพแวดล้อมที่ต้องเผชิญกับสารเคมี เช่น ฝนกรด หรือทางรถไฟในพื้นที่ที่ติดทะเลที่สภาพแวดล้อมดังกล่าวอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อหินโรยทาง และอาจเป็นอันตรายต่อการเดินทางได้

2.4.3 การทดสอบความคงทนต่อการแช่แข็ง-ละลายของมวลรวม (Freeze-Thaw Test of Aggregate)

เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าร้อยละของน้ำหนักรวมสูญเสียน้ำหนักจากการสึกกร่อนของมวลรวมในสารละลายเกลือแกง (NaCl) ภายใต้สภาวะแช่แข็ง-ละลาย ซึ่งความเสียหายนี้เกิดจากแรงดันภายในที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของมวลรวม

ความเสียหายของหินโรยทางนั้น นอกจากจะเกิดจากการขัดสี หรือการอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ต้องเผชิญกับสารเคมีแล้ว การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่จุดเยือกแข็ง (Freezing and Thawing) ก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ทำให้หินโรยทางเกิดความเสียหายเช่นกัน โดยในสถานการณ์ที่มวลรวมมีน้ำเข้าไปแทรกอยู่ภายในช่องว่างของมวลรวม แล้วเกิดการลดของอุณหภูมิจนต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง น้ำที่อยู่ในมวลรวมจะกลายเป็นน้ำแข็ง ซึ่งเป็นที่ทราบกันว่าน้ำหากเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง จะทำให้น้ำมีปริมาตรมากขึ้น การเพิ่มขึ้นของปริมาณนี้เองจะทำให้เกิดแรงดันภายในมวลรวม และสร้างความเสียหายต่อมวลรวมได้

3. วิธีการวิจัย

จากการศึกษาจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จะเห็นได้ว่ารูพรุนในหินนั้นส่งผลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมคือค่าความถ่วงจำเพาะ, ค่าการดูดซึม และความคงทน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้เลือกออกแบบการวิจัยเป็นการทดสอบหินโรยทางด้วยการทดสอบ 3 การทดสอบ คือ การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวม (Test of Specific Gravity and Absorption of Aggregate) อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C127, การทดสอบความคงทนของมวลรวม (Soundness Test of Aggregate) อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C88 และการทดสอบความคงทนต่อการแช่แข็ง-ละลายของมวลรวม (Freeze-Thaw Test of Aggregate) อ้างอิงตามมาตรฐาน BS EN 1367-6 โดยใช้หินโรยทางที่ใช้จริงในการรถไฟแห่งประเทศไทย จำนวน 3 ชนิด และหินเปรียบเทียบ 1 ชนิด ได้แก่

- 1.) หินบะซอลต์
- 2.) หินแกรนิต
- 3.) หินโรโอไลต์ผสมแอนดีไซต์
- 4.) หินปูน เป็นหินเปรียบเทียบ

หิน 3 ชนิด ได้แก่ หินบะซอลต์, หินโรโอไลต์ผสมแอนดีไซต์ และหินแกรนิต ได้ถูกเก็บตัวอย่างจากหน้าเหมืองผู้ผลิต ซึ่งเป็นคู่สัญญาในการจัดหาหินโรยทางเพื่อการซ่อมบำรุงทางให้การรถไฟแห่งประเทศไทยอยู่แล้ว และหินเปรียบเทียบ 1 ชนิด ได้แก่ หินปูน ได้เก็บตัวอย่างโดยใช้มาตรฐานขนาดคละของการรถไฟ

แห่งประเทศไทยในการเก็บ

ในส่วนของหินบะซอลต์ได้เก็บตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง จาก 3 สถานที่ และหินชนิดอื่นๆ ได้เก็บตัวอย่างชนิดละ 1 ตัวอย่าง โดยสถานที่เก็บตัวอย่างได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ในส่วนของหินบะซอลต์ 2 จาก 3 สถานที่เก็บตัวอย่าง ได้ทำการเก็บและคัดแยกลักษณะหินออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ หินบะซอลต์ปกติ และหินบะซอลต์ที่มีลักษณะเป็นรูพรุน โดยใช้การคัดแยกด้วยสายตาตามหลักเกณฑ์ดังนี้

หินบะซอลต์ปกติ ต้องไม่มีรูพรุนปรากฏให้เห็นบนเนื้อหินเลย

หินบะซอลต์ที่มีลักษณะเป็นรูพรุน ต้องมีรูพรุนปรากฏให้เห็นอยู่ทั่วไปบนเนื้อหิน

เมื่อได้หินตัวอย่างมาแล้ว จะแบ่งหินตัวอย่างเป็นส่วนสำหรับแต่ละการทดสอบ ซึ่งปริมาณที่ใช้จะอ้างอิงตามมาตรฐานการทดสอบนั้นๆ แต่ในส่วน of หินบะซอลต์จากสถานที่เก็บตัวอย่างที่มีการคัดแยกลักษณะหิน จะทำการผสมหินหินบะซอลต์ปกติ และหินบะซอลต์ที่มีลักษณะเป็นรูพรุนเข้าด้วยกัน โดยใช้อัตราส่วนโดยมวล 0:100, 20:80, 40:60, 60:40, 80:20 และ 100:0 ตามลำดับ เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่เปลี่ยนแปลงไปโดยรวม ของหินโรยทางที่มีหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนปะปนอยู่ในอัตราส่วนที่ต่างกัน

โดยสรุป จะได้ตัวอย่างหินที่ใช้ทดสอบทั้งสิ้น 16 ตัวอย่างต่อการทดสอบ โดยรายละเอียดได้แสดงไว้ในตารางที่ 3

ตัวอย่างที่	ชนิดหิน	สถานที่เก็บตัวอย่าง	ร้อยละโดยน้ำหนักของหินปกติ	ร้อยละโดยน้ำหนักของหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุน
1	บะซอลต์	เหมืองศิลาชัย อ.เมือง จ.บุรีรัมย์	0	100
2	บะซอลต์	เหมืองศิลาชัย อ.เมือง จ.บุรีรัมย์	20	20
3	บะซอลต์	เหมืองศิลาชัย อ.เมือง จ.บุรีรัมย์	40	40
4	บะซอลต์	เหมืองศิลาชัย อ.เมือง จ.บุรีรัมย์	60	60
5	บะซอลต์	เหมืองศิลาชัย อ.เมือง จ.บุรีรัมย์	80	80
6	บะซอลต์	เหมืองศิลาชัย อ.เมือง จ.บุรีรัมย์	100	0
7	บะซอลต์	เหมืองสุรินทร์เทพศิลา อ.ปราสาท จ.สุรินทร์	0	100
8	บะซอลต์	เหมืองสุรินทร์เทพศิลา อ.ปราสาท จ.สุรินทร์	20	20
9	บะซอลต์	เหมืองสุรินทร์เทพศิลา อ.ปราสาท จ.สุรินทร์	40	40
10	บะซอลต์	เหมืองสุรินทร์เทพศิลา อ.ปราสาท จ.สุรินทร์	60	60
11	บะซอลต์	เหมืองสุรินทร์เทพศิลา อ.ปราสาท จ.สุรินทร์	80	80
12	บะซอลต์	เหมืองสุรินทร์เทพศิลา อ.ปราสาท จ.สุรินทร์	100	0
13	บะซอลต์	เหมืองหินบุรีรัมย์ อ.เมือง จ.บุรีรัมย์	-	-
14	โรโอไลต์ผสมแอนดีไซต์	เหมืองอิตาเลียนไทย อ.วิหารแดง จ.สระบุรี	-	-
15	แกรนิต	อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช	-	-
16	หินปูน	อ.ทุ่งสง จ.นครศรีธรรมราช	-	-

ตารางที่ 3 รายละเอียดตัวอย่างหินสำหรับการทดสอบ

4. ผลการวิจัย

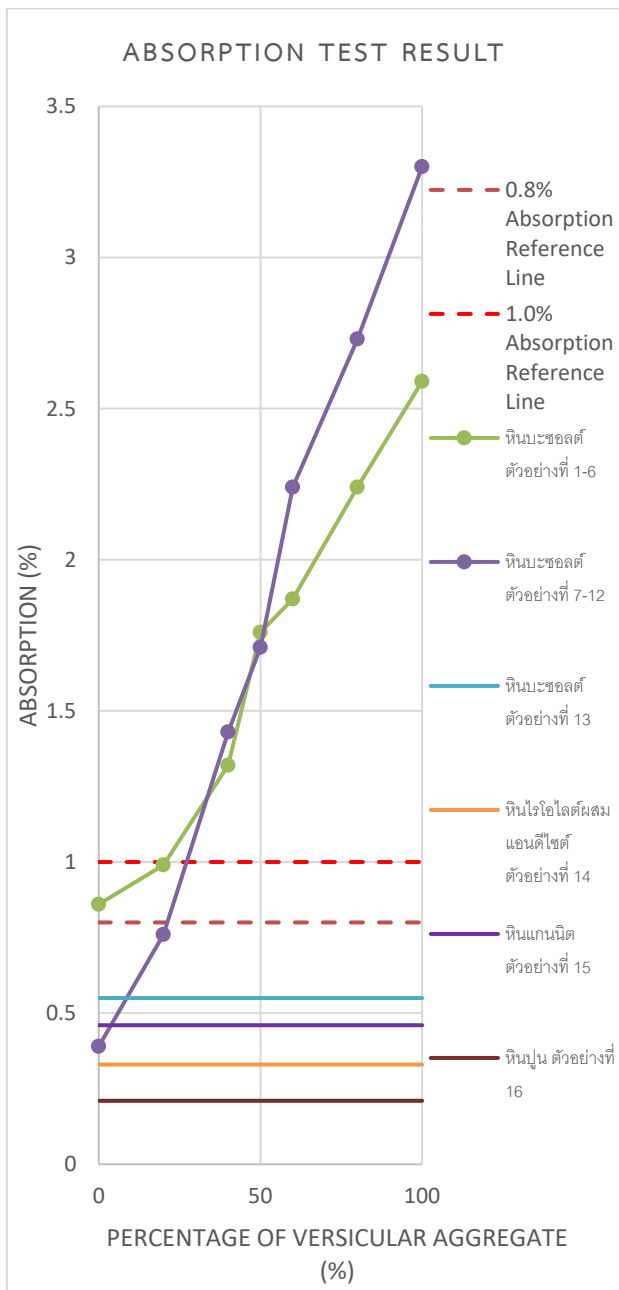
4.1 ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวม

จากผลการทดสอบแสดงในรูป พบว่า หินบะซอลต์ที่มีการผสมหินหินปกติ และหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนเข้าด้วยกันจากทั้ง 2 สถานที่เก็บตัวอย่าง (หินบะซอลต์ตัวอย่างที่ 1-6 และหินบะซอลต์ตัวอย่างที่ 7-12) มีค่าการดูดซึมที่เปลี่ยนแปลงไปตามอัตราส่วนที่ผสม โดยตัวอย่างที่มีหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนผสมอยู่ร้อยละ 0 จะมีค่าการดูดซึมต่ำที่สุด และจะมีค่าสูงขึ้นตาม

อัตราส่วนของหินบะซอลต์ที่มีลักษณะเป็นรูพรุน และมีค่า การดูดซึมน้ำสูงที่สุดในตัวอย่างที่มีหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนผสมอยู่ร้อยละ 100

และพบอีกว่าหินบะซอลต์ที่เก็บตัวอย่างจากเหมืองสุรินทร์เทพศิลา อ. ปราสาท จ.สุรินทร์ (หินบะซอลต์ตัวอย่างที่ 7-12) ค่าการดูดซึมน้ำมีความอ่อนไหวต่ออัตราส่วนที่ผสมมากกว่าหินบะซอลต์ที่เก็บตัวอย่างจากเหมืองศิลาชัย อ.เมือง จ.บุรีรัมย์ (หินบะซอลต์ตัวอย่างที่ 1-6) สังเกตได้จากค่าความชันของกราฟที่มากกว่า

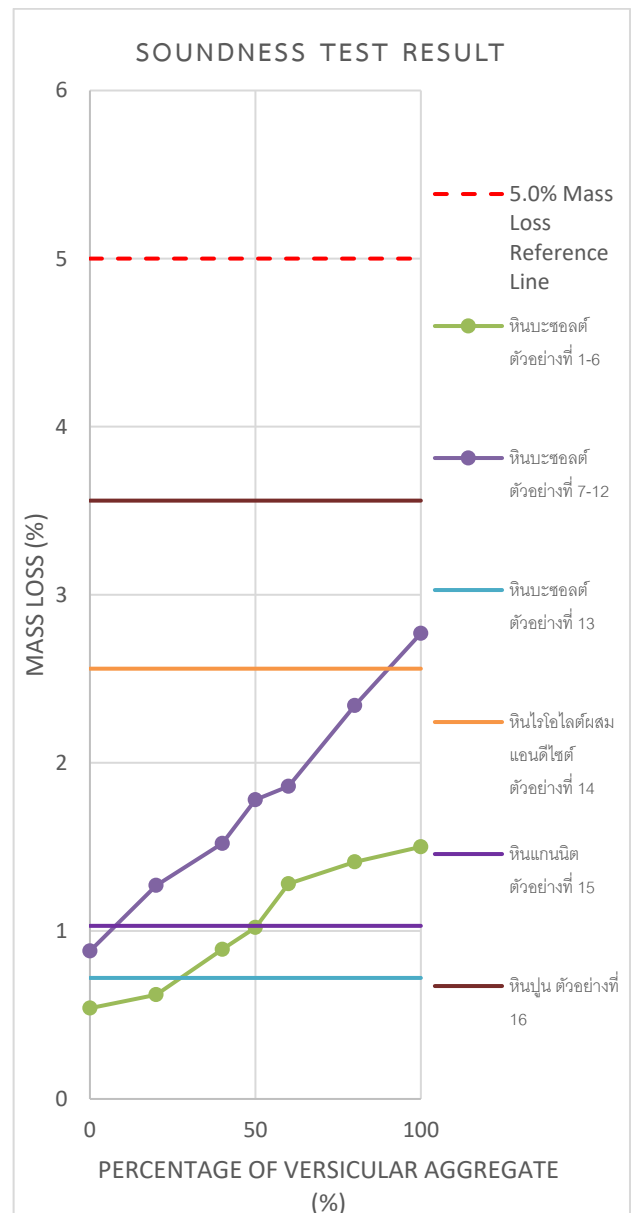
หินที่ไม่ได้มีการกำหนดอัตราส่วนของหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุน (หินบะซอลต์ตัวอย่างที่ 13, หินไรโอไรต์ผสมแอนดีไซต์ตัวอย่างที่ 14, หินแกรนิตตัวอย่างที่ 15 และหินปูนตัวอย่างที่ 16) มีค่าการดูดซึมน้ำน้อยกว่า 0.8% ทั้งหมด



4.2 ผลการทดสอบความคงทนของมวลรวม

จากผลการทดสอบแสดงในรูป พบว่า หินบะซอลต์ที่มีการผสมหินหินปกติ และหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนเข้าด้วยกันจากทั้ง 2 สถานที่เก็บตัวอย่าง (หินบะซอลต์ตัวอย่างที่ 1-6 และหินบะซอลต์ตัวอย่างที่ 7-12) มีค่าร้อยละของน้ำหนักสูญเสีหลังการทดสอบที่เปลี่ยนไปตามอัตราส่วนที่ผสม โดยตัวอย่างที่มีหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนผสมอยู่ร้อยละ 0 จะมีค่าร้อยละของน้ำหนักสูญเสีหลังการทดสอบต่ำที่สุด และจะมีค่าสูงขึ้นตามอัตราส่วนของหินบะซอลต์ที่มีลักษณะเป็นรูพรุน และมีค่าร้อยละของน้ำหนักสูญเสีหลังการทดสอบสูงที่สุดในตัวอย่างที่มีหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนผสมอยู่ร้อยละ 100 แต่ในทุกตัวอย่างของหินบะซอลต์ที่มีการผสมหินหินปกติ และหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนเข้าด้วยกัน มีค่าร้อยละของน้ำหนักสูญเสีหลังการทดสอบน้อยกว่า 5.0% ทั้งหมด

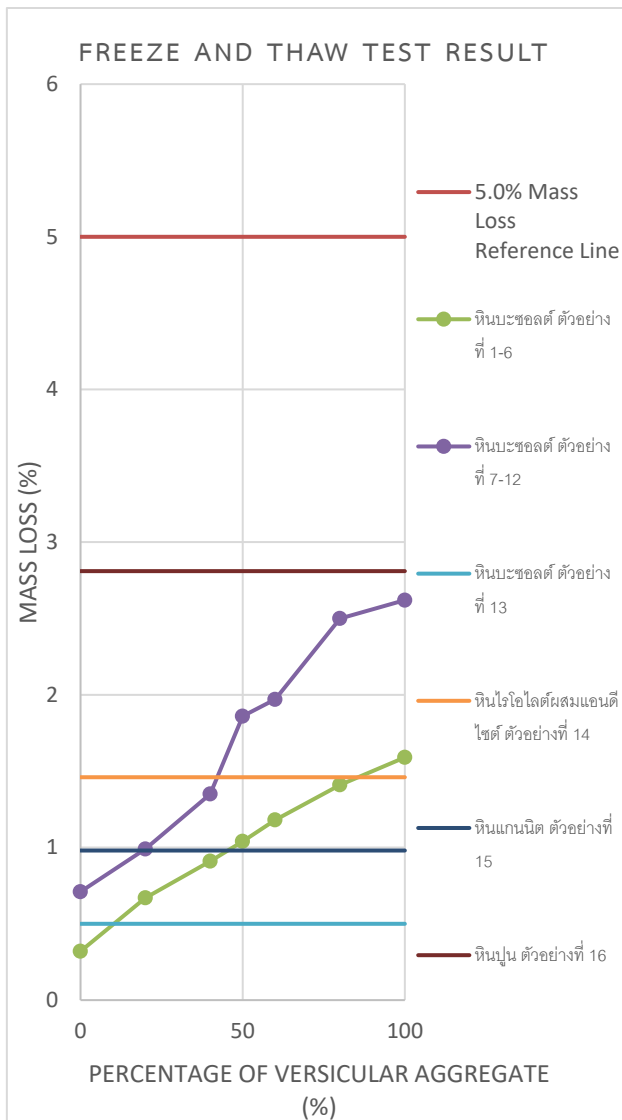
หินที่ไม่ได้มีการกำหนดอัตราส่วนของหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุน (หินบะซอลต์ตัวอย่างที่ 13, หินไรโอไรต์ผสมแอนดีไซต์ตัวอย่างที่ 14, หินแกรนิตตัวอย่างที่ 15 และหินปูนตัวอย่างที่ 16) มีค่าร้อยละของน้ำหนักสูญเสีหลังการทดสอบน้อยกว่า 5.0% ทั้งหมด



4.3 ผลการทดสอบความความคงทนต่อการแช่แข็ง-ละลายของมวลรวม

จากผลการทดสอบแสดงในรูปพบว่า หินบะซอลต์ที่มีการผสมหินหินปกติ และหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนเข้าด้วยกันจากทั้ง 2 สถานที่เก็บตัวอย่าง (หินบะซอลต์ตัวอย่างที่ 1-6 และหินบะซอลต์ตัวอย่างที่ 7-12) มีค่าร้อยละของน้ำหนักสูญเสียหลังการทดสอบที่เปลี่ยนไปตามอัตราส่วนที่ผสม โดยตัวอย่างที่มีหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนผสมอยู่ร้อยละ 0 จะมีค่าร้อยละของน้ำหนักสูญเสียหลังการทดสอบต่ำที่สุด และจะมีค่าสูงขึ้นตามอัตราส่วนของหินบะซอลต์ที่มีลักษณะเป็นรูพรุน และมีค่าร้อยละของน้ำหนักสูญเสียหลังการทดสอบสูงที่สุดในตัวอย่างที่มีหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนผสมอยู่ร้อยละ 100 แต่ในทุกตัวอย่างของหินบะซอลต์ที่มีการผสมหินหินปกติ และหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนเข้าด้วยกัน มีค่าร้อยละของน้ำหนักสูญเสียหลังการทดสอบน้อยกว่า 5.0% ทั้งหมด

หินที่ไม่ได้มีการกำหนดอัตราส่วนของหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุน (หินบะซอลต์ตัวอย่างที่ 13, หินไรโอไรต์ผสมแอนดีไซต์ตัวอย่างที่ 14, หินแกรนิตตัวอย่างที่ 15 และหินปูนตัวอย่างที่ 16) มีค่าร้อยละของน้ำหนักสูญเสียหลังการทดสอบน้อยกว่า 5.0% ทั้งหมด



5. วิเคราะห์ผลการวิจัยและสรุปผล

5.1 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากการทดสอบทั้ง 3 การทดสอบพบว่า หินโรยทางที่มีหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนปะปนอยู่ในอัตราส่วนที่ต่างกัน จะทำให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมที่เปลี่ยนแปลงไปทั้งค่าการดูดซึมน้ำ, ความคงทน และความคงทนต่อการแช่แข็ง-ละลาย ซึ่งค่าการดูดซึมน้ำ จะแปรผันตรงกับอัตราส่วนของหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุน หมายความว่า ยิ่งหินโรยทางที่มีหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนปะปนอยู่มาก จะทำให้ค่าการดูดซึมน้ำมาก ในส่วนของความคงทน และความคงทนต่อการแช่แข็ง-ละลาย จะแปรผันกับอัตราส่วนของหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุน หมายความว่า ยิ่งหินโรยทางที่มีหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนปะปนอยู่มาก จะทำให้หินมีความคงทน และความคงทนต่อการแช่แข็ง-ละลายน้อยลง

จากการทดสอบยังพบว่าค่าการดูดซึมน้ำ มีความอ่อนไหวต่ออัตราส่วนของหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนมากที่สุด เนื่องจากค่าการดูดซึมน้ำนั้น เป็นผลโดยตรงจากความพรุนภายในเนื้อหิน โดยไม่มีตัวแปรอื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้หินจากแหล่งเดียวกันที่มีลักษณะเป็นรูพรุนจะมีการดูดซึมน้ำหินปกติ และค่าที่ได้เปลี่ยนไปตามอัตราส่วนของหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนอย่างชัดเจน แต่ในกรณีของค่าความถ่วงจำเพาะ พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนต่อ อัตราส่วนของหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุน เนื่องจาก หินแต่ละก้อนนั้นมีแร่ธาตุและสารประกอบภายในเนื้อหินที่ต่างกัน ถึงแม้จะมาจากแหล่งเดียวกัน ทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะแตกต่างกันโดยที่ความพรุนภายในเนื้อหินส่งผลต่อค่าดังกล่าวน้อย เช่น หินที่เนื้อหินประกอบไปด้วยแร่ลูมินา (Al_2O_3) ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 3.987 ย่อมมีความถ่วงจำเพาะมากกว่าหินที่เนื้อหินประกอบไปด้วยแร่ซิลิกา (SiO_2) ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.648

ในส่วนของความคงทนและความคงทนต่อการแช่แข็ง-ละลาย พบว่า ค่าที่ได้มีความอ่อนไหวต่ออัตราส่วนของหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนน้อยกว่าค่าการดูดซึมน้ำ เนื่องจากการทดสอบนี้เป็นการทดสอบความคงทนต่อการสึกกร่อนของหินในสภาวะแวดล้อมต่างๆ ซึ่งจะมีตัวแปรอื่นเข้ามาส่งผลต่อคุณสมบัติดังกล่าวเพิ่มเติมนอกจากความพรุนภายในเนื้อหิน เช่น ความแข็งของเนื้อหิน รอยร้าวในเนื้อหิน ผลึกในเนื้อหิน การเชื่อมต่อของผลึกในเนื้อหิน เป็นต้น

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้กับมาตรฐานการทดสอบหินโรยทางของประเทศ พบว่า หินที่ไม่ได้มีการกำหนดอัตราส่วนของหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุน (หินบะซอลต์ตัวอย่างที่ 13, หินไรโอไรต์ผสมแอนดีไซต์ตัวอย่างที่ 14, หินแกรนิตตัวอย่างที่ 15 และหินปูนตัวอย่างที่ 16) มีค่าการดูดซึมน้ำน้อยกว่า 0.8% ทั้งหมด ซึ่งถือว่าผ่านตามาตรฐานการทดสอบของ Indian Railways ประเทศอินเดีย ที่ 1%, AREMA ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ 1% และ ABNT ประเทศบราซิล ที่ 0.8% แต่ในตัวอย่างที่มีการผสมหินหินปกติ และหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนเข้าด้วยกัน พบว่า ในหินบะซอลต์ตัวอย่างที่ 1-6 เมื่ออัตราส่วนของหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนมีค่ามากกว่า 14% จะทำให้ค่าการดูดซึมน้ำมีค่ามากกว่า 1% และหินตัวอย่างดังกล่าวจะไม่ผ่านมาตรฐานการทดสอบของประเทศใดเลย และในหินบะซอลต์ตัวอย่างที่ 7-12 อัตราส่วนสูงสุดของหินที่มีลักษณะเป็นรูพรุนที่ไม่ทำให้ค่า Absorption เกิน 1% จะอยู่ที่ 25%

จะเห็นได้ว่า การควบคุมปริมาณหินที่มีลักษณะเป็นรูปพรุนที่ปะปนอยู่ในกองเก็บมีความสำคัญมาก เพราะหากหินที่มีลักษณะเป็นรูปพรุนมีปริมาณมากเกินไป จะทำให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะส่งผลให้หินโรยทางไม่คงทนต่อสภาพแวดล้อมที่ใช้งาน และมีอายุการใช้งานสั้นลง ทำให้สิ้นเปลืองงบประมาณที่ต้องใช้เพื่อซ่อมแซมที่มากขึ้น รวมถึงหากไม่มีการซ่อมแซม หินโรยทางที่เสื่อมสภาพจะทำให้กำลังรับแรงและค่าความแข็ง (Stiffness) ของทางลดลง ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อการเดินรถได้

5.2 สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยพบว่า หินโรยที่มีหินที่มีลักษณะเป็นรูปพรุนผสมอยู่ในอัตราส่วนที่สูงกว่าจะมีการดูดซึมน้ำมากกว่า และมีค่าร้อยละของน้ำหนักสูญเสียมากกว่าหลังจากการทดสอบความคงทนของมวลรวม และความคงทนต่อการแช่แข็ง-ละลายของมวลรวม แต่ค่าการดูดซึมน้ำจะมีความอ่อนไหวต่ออัตราส่วนของหินที่มีลักษณะเป็นรูปพรุนมากที่สุด ผู้วิจัยจึงเสนอให้ใช้การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวม เพื่อควบคุมปริมาณหินที่มีลักษณะเป็นรูปพรุนที่ปะปนอยู่ในกองเก็บ เนื่องจากการทดสอบทำได้ง่าย รวดเร็ว และให้ผลที่ชัดเจน โดยเกณฑ์การทดสอบควรอ้างอิงจากมาตรฐานต่างประเทศ หรืออาจศึกษาเพิ่มเติมถึงค่าการดูดซึมน้ำที่เปลี่ยนไป ที่ทำให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมด้านอื่นของหินโรยทางเปลี่ยนแปลงไปเพิ่มเติมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้จะสำเร็จลุล่วงไม่ได้ หากปราศจากความช่วยเหลือจากบุคคลและหน่วยงานต่างๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในหลายๆ ด้าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณในความกรุณา และต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ หากไม่ได้กล่าวนาม

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.บุญชัย แสงเพชรงาม อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ช่วยชี้แนะแนวทางทางวิจัย การศึกษาค้นคว้า และให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณคุณพิชญ พลกายณวัตร วิศวกรกำกับการกองวิเคราะห์วิจัย, คุณชัยรัช ดวนสูง วิศวกรกำกับการกองบำรุงทางเขตสุรินทร์, นายตรวจทางบุรีรัมย์, นายตรวจทางสุรินทร์ และเจ้าหน้าที่การรถไฟแห่งประเทศไทยทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ทำงานวิจัยและจัดหาตัวอย่างสำหรับใช้ในงานวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำต่างๆ จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Esmaili, S. Farsi, A. Shamohammadi, Effect of rock strength on the degradation of ballast equipped with under sleeper pad, Construction and Building Materials 321, 2022.
- [2] A.K. Rohrman, H.F. Kashani, C.L. Ho, Effects of natural abrasion on railroad ballast strength and deformation properties, Construction and Building Materials 247, 2020.

[3] Y. Ozcelik, Predicting Los Angeles abrasion of rocks from some physical and mechanical properties, Scientific Research and Essays 6 (7), 2011.

[4] C.E. de Paiva, M.L. Pereira, R.P. Ribeiro, R.S. Santos, Evaluation of ballast materials used in Brazilian railways based on their resistance to wear. Proceedings of the International Conference on Road and Rail Infrastructure CETRA, 2018.

[5] Guo, Yunlong; Xie, Jiale, Fan Zheng, Markine, Valeri, Connolly David P., Jing, Guoqing, Railway ballast material selection and evaluation A review, Construction and Building Materials 344, 2022.