

Research Article

สมบัติของหินโรยทางรถไฟจากแหล่งหินอัคนีในพื้นที่อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา

Properties of railway ballast rock from igneous rock deposits in Chana district, Songkhla province

วิมเนศวร์ คำคง^{1*} และพงศ์ศิริ จุลพงษ์¹

Wikhanet Damkhong^{1*} and Pongsiri Julapong¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ตำบลคลองหอยโข่ง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

¹Department of Mining and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

Korhong subdistrict, Hatyai district, Songkhla 90112

*E-mail: wikhanet.d@psu.ac.th

Received: 13/06/2018; Accepted: 30/10/2018

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของหินสำหรับใช้เป็นวัสดุโรยทางรถไฟ (ballast rock) โดยใช้หินจากแหล่งหินในพื้นที่อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา จำนวน 3 แหล่ง ได้แก่ แหล่งหินนาหว้า จำนวน 1 แหล่ง และแหล่งหินท่าหมอไทร จำนวน 2 แหล่ง แบ่งการทดสอบได้เป็น 6 สมบัติ ได้แก่ แร่วิทยาประกอบหิน ความคงทนต่อการขัดสีแบบลอสมองเจลิส ค่าการกระแทก การกระจายของขนาด ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำ และดัชนีรูปทรง จากนั้นทำการเทียบผลการศึกษาที่ได้กับมาตรฐานหินโรยทางของการรถไฟแห่งประเทศไทย จากการศึกษาแร่วิทยาประกอบหินพบว่าหินที่นำมาวิจัยเป็นหินอัคนีชนิดหินแกรนิต และสมบัติของหินจากทั้ง 3 แหล่ง เป็นไปตามมาตรฐานของการรถไฟแห่งประเทศไทย กล่าวคือ ค่าการสึกหรอน้อยกว่าร้อยละ 24 ความถ่วงจำเพาะรวมและการดูดซึมน้ำ มากกว่า 2.6 และไม่เกินร้อยละ 3 ตามลำดับ สำหรับค่าการกระจายของขนาดแหล่งหินท่าหมอไทร 1 และ 2 ทุกตัวอย่างเป็นไปตามมาตรฐาน มีเพียงแหล่งหินนาหว้า จำนวน 1 ตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน ในขณะที่ค่าดัชนีความยาวของแหล่งหินนาหว้า แหล่งหินท่าหมอไทร 1 และ 2 จัดอยู่ในกลุ่ม C, E และ

E ตามลำดับ ส่วนดัชนีความแบนเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน คือ แหล่งหินนาหว้า แหล่งหินท่าหม่อไทร 2 และ แหล่งหินท่าหม่อไทร 1 จัดอยู่ในกลุ่ม A, A และ C ตามลำดับ

คำสำคัญ: หินโรยทางรถไฟ, การทดสอบสมบัติทางกายภาพของหิน, แหล่งหินในจังหวัดสงขลา

Abstract

The aim of this research was to investigate the physical properties of railway ballast rock for the rock deposits in Chana district, Songkhla province such as Nahwah deposit and Tarmorsai deposit. The experiments was divided into 6 parts such as mineralogy, abrasion by los angeles, aggregate impact value, size distribution, specific gravity and water absorption and shape index were compared with the standard properties of State Railways of Thailand (SRT). The result showed that thin section from mineralogy was granite and samples from three deposits were complied with SRT's standard. The abrasion value was less than 24%, bulk specific gravity and water absorption was higher than 2.6 and less than 3 percent, respectively. For size distribution, Tarmorsai 1 deposit and Tarmorsai 2 deposit were complied with SRT's standard except 1 sample from Nahwah deposit. The elongation index of samples from Nahwah deposit, Tarmorsai 1 deposit and Tarmorsai 2 deposit were grouped into C, E and E type, respectively. The flakiness index of samples from Nahwah deposit, Tarmorsai 2 and Tarmorsai 1 were grouped into A, A and C type, respectively.

Keywords: ballast rock, physical properties testing of rock, rock deposit in Songkhla

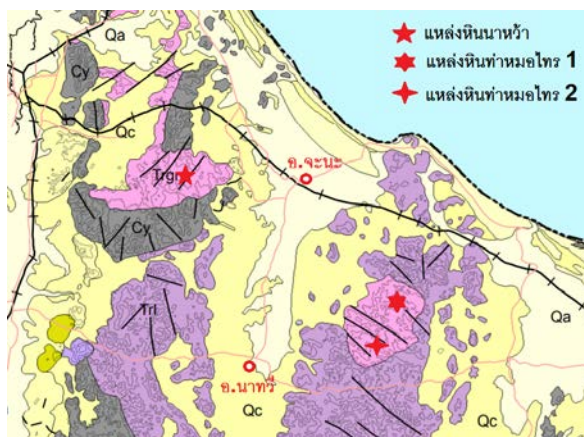
บทนำ

โครงการรถไฟทางคู่ในประเทศไทย ได้รับการผลักดันจากรัฐบาล และการรถไฟแห่งประเทศไทย เพื่อส่งเสริมการลงทุนเครือข่ายที่สำคัญของประเทศ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งสาธารณะ ลดระยะเวลาในการเดินทาง ช่วยประหยัดพลังงานเชื้อเพลิง รวมทั้งเพื่อศักยภาพในการบริการขนส่งสินค้าและการท่องเที่ยว โดยเฉพาะเส้นทางสุราษฎร์ธานี-หาดใหญ่-สงขลา ระยะทางรวม 323 กิโลเมตร โดยเป็นเส้นทางในจังหวัดสงขลา จำนวน 89 กิโลเมตร ใช้หินโรยทางรถไฟรวมมากกว่า 230,000 ลูกบาศก์เมตร จากโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่ในจังหวัดสงขลาและจังหวัดใกล้เคียง ทำให้ต้องมีการใช้หินโรยทางรถไฟ (ballast) ซึ่งเดิมในสมัยโบราณเมื่อแรกเริ่มสร้างทางรถไฟ หินโรยทาง คือหินกรวดที่เป็นอับเฉา (ballast) ถ่วงท้องเรือบรรทุกสินค้ามายังประเทศอังกฤษ หินกรวดนี้เมื่อเรือรับสินค้าไปแล้วก็ต้องขนขึ้นที่ หอดประโชชน์ จึงนำมาใช้รองทางรถไฟ ด้วยเหตุนี้จึงเรียกว่า “ballast” และในภาษาอังกฤษก็ยังคงใช้คำนี้เรียกหินโรยทาง แม้ว่าในระยะต่อมามีจะใช้หินที่ผลิตขึ้นแล้วก็ตาม (Chantasorn, 2016)

หินโรยทางเป็นชั้นของหินแข็งที่ผ่านการบด หินกรวด หินศิลาแลง หรือวัสดุเม็ดชนิดต่างๆ ถูกอัดแน่น รองรับชุดของรางรถไฟ หินโรยทางเป็นชั้นของหินแข็งที่ผ่านการบด หินกรวด หินศิลาแลง หรือวัสดุเม็ดชนิดต่างๆ ถูกอัดแน่น รองรับชุดของรางรถไฟ หินโรยทางรถไฟมีหน้าที่เป็นพื้นรองรับการวางหมอนรองรางรถไฟและยึด หมอนรองรางรถไฟขณะที่มีรถเคลื่อนที่ผ่าน ส่งผ่านและกระจายแรงจากหมอนรองรางรถไฟลงสู่พื้นที่มีเสถียรภาพ ให้สมบัติยึดหยุ่นแก่รางส่งผลต่อความนุ่ม-กระด้างของการโดยสาร ให้คุณสมบัติในการยึดราง เพื่อสร้างเสถียรภาพ ในทิศทางตามยาวและตามขวาง และช่วยการระบายน้ำที่ดีแก่ชุดรางรถไฟ (Chandra & Agarwal, 2007)

หินโรยทางรถไฟที่มีคุณภาพดีมักถูกผลิตจากหินแข็งชนิดต่างๆ โดยเฉพาะหินอัคนีจำพวกหินแกรนิต หรือ แม้แต่หินแปรจำพวกหินควอร์ตไซต์ เนื่องจากมีความคงทนและสามารถระบายน้ำได้ดี รวมทั้งมีความคุ้มค่าในระยะ ยาวมากกว่า แต่อย่างไรก็ดีมีการใช้ทราย จากการการถลุงแร่ หรือแม้แต่กรวด มาใช้เป็นหินโรยทาง เช่นกัน อย่างไรก็ตาม หินโรยทางรถไฟที่ดีควรมีลักษณะความแข็งแรงและทนทานต่อการสึกหรอ มีลักษณะรูปทรงเป็นลูกบาศก์ เหลี่ยม ควรเป็นวัสดุที่ไม่มีรูพรุนและไม่ดูดซึมน้ำ ทนทานต่อการขัดสีและสึกกร่อน มีความคงทน ไม่ถูกบดขยี้ หรือ สลายตัวภายใต้สภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง มีสมบัติให้น้ำไหลผ่านได้ดี และควรมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ขนาดของหินที่นำมาใช้เป็นหินโรยทาง เดิมนั้นถูกกำหนดให้ขึ้นอยู่กับชนิดของหมอนรองรางรถไฟ กล่าวคือ หากหมอนรองรางทำจากไม้หรือคอนกรีต จะใช้ขนาดหินที่ประมาณ 40 มิลลิเมตร (1.5 นิ้ว) แต่หากหมอน รองราง ทำจากเหล็ก ก็จะใช้ขนาด 50 มิลลิเมตร (1.5 นิ้ว) แทน แต่ในปัจจุบันยอมรับกันว่าใช้หินขนาด 50 มิลลิเมตร กับหมอนรองรางทุกชนิด ซึ่งปัจจุบันหินโรยทางรถไฟในพื้นที่ภาคใต้มักเป็นหินอัคนี โดยเฉพาะหินแกรนิต (granite) ที่มีค่อนข้างมากในจังหวัดสงขลา งานวิจัยนี้เก็บตัวอย่างจากพื้นที่แหล่งหินดังกล่าวแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเป็นพื้นที่ ของหินอัคนี เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพหินแกรนิตตามมาตรฐานที่การรถไฟแห่งประเทศไทย หรือมาตรฐานสากล กำหนด จากแหล่งหินในจังหวัดสงขลา สำหรับวางแผนการใช้ทรัพยากรในอนาคต



รูปที่ 1. แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดสงขลา บริเวณอำเภอจะนะ แสดงพื้นที่เก็บตัวอย่างหินในการวิจัย

(Department of Mineral Resources, 2007)

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การดำเนินการวิจัยของโครงการใช้หินจากแหล่งหินในอำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา ได้แก่ แหล่งหินในตำบลนาหว้า จำนวน 1 แหล่ง และแหล่งหินตำบลท่าหมอไพร จำนวน 2 แหล่ง โดยเก็บตัวอย่างหินโรยทางรถไฟที่ผ่านกระบวนการโม่ ด้วยวิธี grab sampling ให้เป็นตัวแทนของตัวอย่างหินโรยทาง จำนวนแหล่งละ 5 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 15 ตัวอย่าง เพื่อนำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM (American Society for Testing and Materials, 1998) จากนั้นเปรียบเทียบกับมาตรฐานของหินโรยทางของการรถไฟแห่งประเทศไทย ได้แก่

1) การศึกษาแร่วิทยาประกอบหิน (mineralogy)

การศึกษาแร่วิทยาในหินอาศัยกระบวนการตัดและทำแผ่นหินบาง (thin section) จากนั้นส่องดูแผ่นหินบางด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อหาแร่ประกอบหิน เนื่องจากประสิทธิภาพของหินโรยทางรถไฟจะขึ้นอยู่กับลักษณะของแร่วิทยา องค์ประกอบทางเคมี ลักษณะเนื้อหิน และ โครงสร้างของหินนั้นๆ ซึ่งสามารถทราบลักษณะดังกล่าวนี้จากการวิเคราะห์สีดวาร์รนา (petrographic analysis) ซึ่งลักษณะแร่วิทยาจะเป็นตัวแปรหลักในการบ่งบอกถึงความแข็งโดยรวม ความทนทานทางกายภาพ แนวโน้มในการผุพังทางเคมี องค์ประกอบและปริมาณอนุภาคละเอียด และระดับความไวในการเปียกและแห้ง (Watters et al., 1987)

2) การทดสอบความทนทานแบบ Los Angeles (abrasion test: Los Angeles)

เป็นการทดสอบความทนทานเนื่องจากการขัดสีของมวลรวม ตามมาตรฐาน ASTM C131 และ 535 โดยเมื่อมวลรวมถูกแรงกระทำอย่างสม่ำเสมอ ทำให้เกิดการสึกกร่อน ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสมบัติทางธรรมชาติของหิน อาทิเช่น องค์ประกอบแร่ เนื้อหิน ขนาดก้อน ซึ่งค่าความทนทานต่อการสึกหรอสามารถวัดได้จากค่าความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของหินที่สึกกร่อนหลังเสียดสีจำนวน 200 รอบ (W_{200}) และ 1,000 รอบ (W_{1000}) กับน้ำหนักเดิม (W_1) สามารถคิดเป็นร้อยละ เรียกว่า ร้อยละความสึกหรอ (percentage of wear) และค่าตัวประกอบความเป็นเอกรูป (uniformity factor-UF) โดยการขนาดของหินตามการวิจัยนี้ใช้ปริมาณหิน 10 กิโลกรัม และลูกเหล็กจำนวนตามมาตรฐาน โดยสามารถคำนวณร้อยละความสึกหรอ และค่าตัวประกอบความเป็นเอกรูป ได้จากสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

$$\text{ร้อยละความสึกหรอ} = \frac{W_1 - W_{1000}}{W_1} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{ค่าตัวประกอบความเป็นเอกรูป} = \frac{W_1 - W_{200}}{W_1 - W_{1000}} \times 100\% \quad (2)$$

หลังจากการคำนวณค่าร้อยละการสึกหรอ สามารถเปรียบเทียบตามมาตรฐานของการรถไฟแห่งประเทศไทยได้ ซึ่งกำหนดเกรดให้ใช้ตั้งแต่ A-E คือ มีค่าการสึกหรอไม่เกินร้อยละ 24 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1. มาตรฐานการร้อยละการสึกหรอของหินโรยทางของการรถไฟแห่งประเทศไทย (Office of Transport and Traffic Policy and Planning, 2018)

กลุ่ม	ร้อยละการสึกหรอ	กลุ่ม	ร้อยละการสึกหรอ
A	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 12	E	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 24
B	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 14	F	มากกว่า 24
C	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 16	G	ไม่ได้กำหนด
D	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20		

3) การทดสอบค่าการกระแทก (aggregate impact value)

ใช้วัดความสัมพันธ์ของความเหนียวแน่นหรือความต้านทานต่อภาวะแรงกระแทกอย่างฉับพลัน ค่านี้เป็นค่าที่สำคัญในการใช้งานของมวลรวมสำหรับพื้นที่ที่ต้องรับน้ำหนักมาก เช่น ทางหลวง ทางรถไฟ สนามบิน เป็นต้น ค่ากระแทกเป็นอัตราส่วนของน้ำหนักของมวลรวมที่ผ่านการปล่อยกระแทกผ่านเครื่องทดสอบค่ากระแทก และคัดขนาดผ่านตะแกรงขนาด 2.36 มิลลิเมตร (W_1) ต่อน้ำหนักตัวอย่างก่อนการทดสอบ (W) สามารถคำนวณ ค่ากระแทกได้จากสมการที่ 3 และสามารถแบ่งประเภทหินเป็นชนิดแข็งแรงมาก, แข็ง, เหมาะสมสำหรับงานผิวคันทาง และไม่เหมาะสมสำหรับงานผิวคันทาง โดยอาศัยค่ากระแทกในการแบ่งที่น้อยกว่าร้อยละ 10, 10-20, 20-30 และมากกว่า 30 ตามลำดับ (Gokhale & Rao, 1981)

$$\text{ค่ากระแทก} = \frac{W_1}{W} \times 100\% \quad (3)$$

4) การทดสอบการกระจายของขนาด (size distribution by sieve analysis)

การทดสอบการกระจายของขนาดสามารถบอกได้ว่าในมวลรวมหินที่ต้องการทดสอบ มีปริมาณช่วงขนาดที่ต้องการมากหรือน้อยเพียงใด เพื่อป้องกันการมีหินบางขนาดที่มากหรือน้อยจนเกินไป เช่นกรณีของหินโรยทางรถไฟ หากมีหินขนาดโตมากจนเกินไปจะทำให้การยึดเกาะกันระหว่างหินมีน้อยเกินไป หรือมีหินก้อนเล็กมากเกินไปจะทำให้การรับแรงมีค่าลดลง เป็นต้น การทดสอบใช้เครื่องคัดขนาดแบบสั่น ที่มีตะแกรงมาตรฐาน รูเปิดขนาด 63.5 50 37.5 25 19 และ 12.5 มิลลิเมตร เพื่อคัดขนาด จากนั้นนำหินที่ค้างเทียบสัดส่วนข้างตะแกรงสะสม

มาตรฐานการกระจายขนาดของการรถไฟแห่งประเทศไทย กำหนดให้ค่าร้อยละผ่านตะแกรงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 60 มิลลิเมตร, 50 มิลลิเมตร, 40 มิลลิเมตร, 25 มิลลิเมตร และ 20 มิลลิเมตร เท่ากับ 100, 80-100, 25-70, 0-20 และ 0-5 ตามลำดับ

5) การทดสอบดัชนีความแบนและดัชนีความยาว (flakiness and elongation index)

การทดสอบวิเคราะห์รูปร่าง (shape analysis) ของมวลรวม ตามมาตรฐาน BS 812 : 1967 สามารถแยกได้เป็นดัชนีความแบน และดัชนีความยาว โดยดัชนีความแบนของมวลรวม คือ จำนวนร้อยละของ น้ำหนักอนุภาคในมิติที่เล็กที่สุด (ความหนา) ที่น้อยกว่า 3/5 หรือ 0.6 ของขนาดเฉลี่ยเหล่านั้น ส่วนดัชนีความยาว คือ ร้อยละโดยน้ำหนักของอนุภาคที่มีความยาวมากกว่า 1.8 เท่าของมิติเฉลี่ยเหล่านั้น การทดสอบจะนำหินที่ผ่านการคัด ขนาดแล้ว ลอดช่องมาตรวัดทั้งแบบดัชนีความแบนและความยาว ด้วยขนาดรูที่เหมาะสม ตามขนาด จากนั้นชั่ง น้ำหนักมวลรวมที่ลอดผ่านมาตรวัดดัชนีความแบน (W_1) และค้ำมาตรวัดดัชนีความยาว (W_2)

สามารถคำนวณดัชนีความแบนและดัชนียาวเร็ว ดังสมการที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

$$\text{ดัชนีความแบน} = \frac{W_1}{W} \times 100\% \quad (4)$$

$$\text{ดัชนีความยาว} = \frac{W_2}{W} \times 100\% \quad (5)$$

มาตรฐานค่าดัชนีความแบนและดัชนีความยาว แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งสำหรับดัชนีความแบน กำหนดให้เล็กลงใช้กลุ่ม A B หรือ C คือ มีค่าไม่เกิน ร้อยละ 35 และดัชนีความยาว กำหนดให้เล็กลงใช้กลุ่ม A B C หรือ D กล่าวคือต้องไม่เกินร้อยละ 30

ตารางที่ 2. มาตรฐานการดัชนีความแบนและดัชนีความยาวของหินโรยทางของการรถไฟแห่งประเทศไทย (Office of Transport and Traffic Policy and Planning, 2018)

กลุ่ม	ดัชนีความแบน	ดัชนีความยาว
A	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 15	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10
B	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20
C	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 35	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 30
D	มากกว่า 35	5 ถึง 30
E	ไม่ได้กำหนด	มากกว่า 30
F	-	ไม่ได้กำหนด

6) การทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำ (specific gravity and water absorption)

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ ตามมาตรฐาน ASTM C127 โดยอาศัยการแทนที่น้ำของวัสดุ ซึ่งความถ่วงจำเพาะแบบรวม (bulk specific gravity) มีการเตรียมตัวอย่างโดยใช้ส่วนข้างตะแกรง 4.75 มิลลิเมตร จำนวน 5,000 กรัมไปอบให้แห้ง จากนั้นแช่น้ำสะอาด เป็นเวลา 15±4 ชั่วโมง จากนั้นเมื่อครบเวลาแช่น้ำ นำวัสดุขึ้นมา ซับด้วยผ้าให้แห้ง จากนั้นชั่งน้ำหนัก ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นน้ำหนักที่เรียกว่า saturated dry surface (W_b) จากนั้นนำตัวอย่างดังกล่าวไปชั่งน้ำหนักในน้ำ ค่าที่ได้บันทึกไว้เป็น W_c ขั้นตอนสุดท้ายนำวัสดุไปอบแห้ง ปล่อยให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนัก บันทึกไว้เป็น W_a สามารถคำนวณค่าได้จากสมการที่ 6 และ 7

$$\text{ความถ่วงจำเพาะแบบรวม (bulk specific gravity)} = \frac{W_a}{W_b - W_c} \quad (6)$$

$$\text{ปริมาณการดูดซึมน้ำ} = \frac{W_b - W_a}{W_b} \times 100 \quad (7)$$

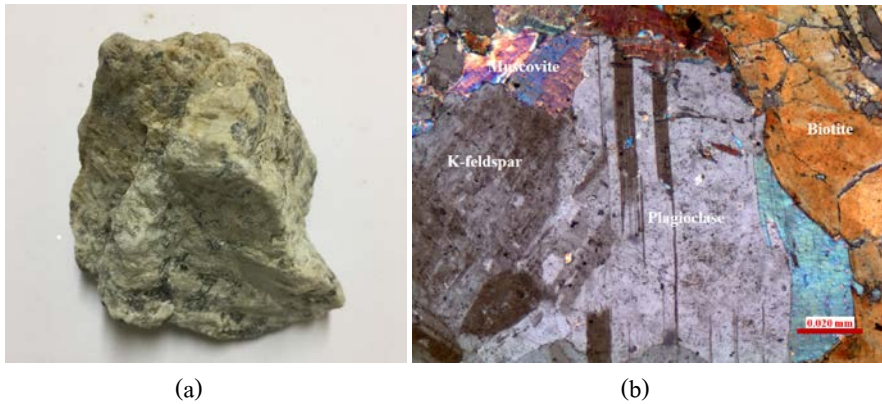
มาตรฐานค่าความถ่วงจำเพาะแบบรวม กำหนดไว้ที่ 2.6 และและปริมาณการดูดซึมน้ำ ไม่เกินร้อยละ 2 (Office of Transport and Traffic Policy and Planning, 2018)

ผลการทดลอง

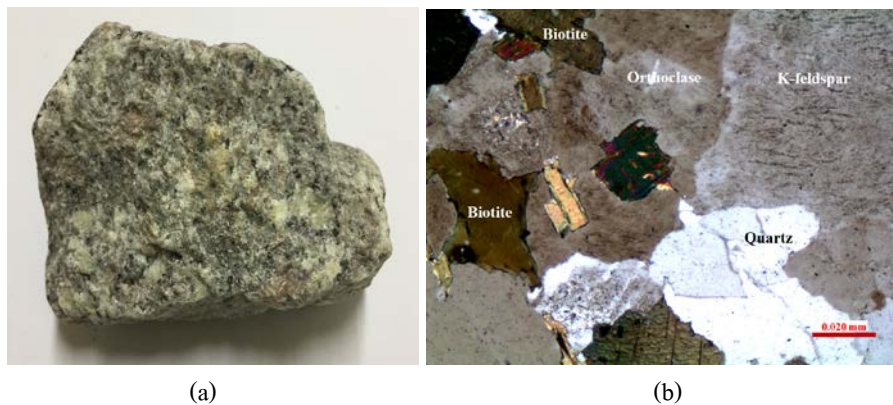
1. การศึกษาแร่วิทยาประกอบหิน

จากลักษณะของแผ่นหินบางในรูปที่ 2 จากแหล่งหินนาหว้า สามารถบ่งบอกได้ว่าหินดังกล่าวเป็นตัวอย่างของหินอัคนี ประเภทหินอัคนีเนื้อหยาบ (phaneritic หรือ plutonic rocks) เนื่องจากสามารถมองเห็นลักษณะของผลึกแร่ได้ค่อนข้างชัดเจนทั้งการมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าและการมองผ่านกล้องจุลทรรศน์ สีส่อน (felsic rocks) เนื่องจากแร่องค์ประกอบส่วนใหญ่จัดเป็นกลุ่มแร่ที่ค่อนข้างใสและสีอ่อน (feldspar, quartz, muscovite) มีแร่สีเข้มให้เห็นชัดเจนบางชนิด (biotite, hornblende, hematite) และอัตราส่วนของปริมาณแร่องค์ประกอบจัดว่าเป็นหินอัคนีประเภทแกรนิต (granite) แต่เป็นหินแกรนิตที่มีแร่ในกลุ่มของเฟลด์สปาร์ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง (alkali และ plagioclase feldspars) จึงอาจทำให้เนื้อหินมีลักษณะที่จะแตกหรือป่นได้ง่าย

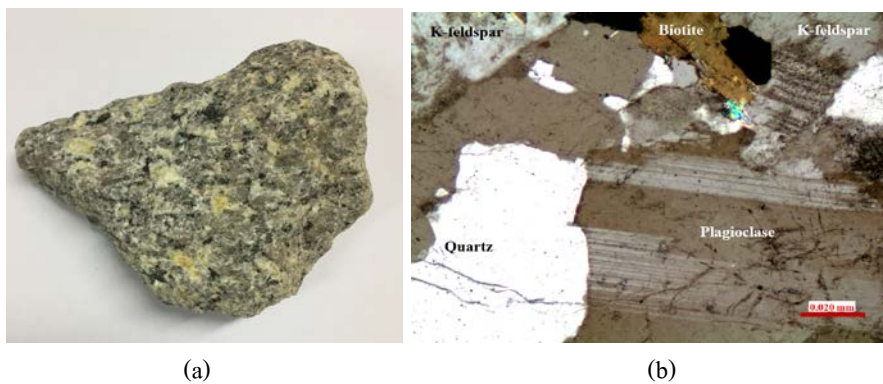
หินจากแหล่งหินท่าหมอไทร 1 และท่าหมอไทร 2 แสดงดังรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ คล้ายคลึงกับหินจากแหล่งหินนาหว้า โดยเป็นหินอัคนีประเภทหินแกรนิต (granite) ที่มีแร่ในกลุ่มของเฟลด์สปาร์ในปริมาณที่ค่อนข้างสูงเช่นกัน แต่จะพบแร่อัลคาไลน์เฟลด์สปาร์จึงทำให้เนื้อหินมีสีค่อนข้างออกเป็นสีชมพู (pink granite) สามารถเกิดการแตกเป็นชิ้นเล็กๆ หรือป่นเป็นผงได้ง่ายเช่นกัน



รูปที่ 2. ลักษณะหินจากแหล่งนาหว้าที่นำมาทำการวิจัย (a) ตัวอย่างหินก้อน (b) แผ่นหินบาง



รูปที่ 3. ลักษณะหินจากแหล่งท่าหมอไทร 1 นำมาทำการวิจัย (a) ตัวอย่างหินก้อน (b) แผ่นหินบาง



รูปที่ 4. ลักษณะหินจากแหล่งท่าหมอไทร 2 นำมาทำการวิจัย (a) ตัวอย่างหินก้อน (b) แผ่นหินบาง

2. การทนทานการขัดสีแบบลอสมองเจลลีส์

จากการวิจัยพบว่าจำนวนร้อยละของความสึกหรอ (percentage of wear) ของหินจากแหล่งนาหว้ามากที่สุด เท่ากับ 23.20 รองลงมาคือแหล่งหินท่าหมอไทร 1 และ 2 เท่ากับ 19.74 และ 15.98 ตามลำดับ กล่าวคือหินที่มีความทนทานต่อการสึกหรอมากที่สุด คือ แหล่งหินท่าหมอไทร 2 แต่อย่างไรก็ตามร้อยละของการสึกหรอของหินจากทั้ง 3 แหล่ง ก็ไม่เกินค่ามาตรฐานที่การรถไฟแห่งประเทศไทยกำหนดคือ ร้อยละ 24 ส่วนค่าประกอบความเป็นเอกรูป ของหินจากแหล่งนาหว้า ท่าหมอไทร 1 และท่าหมอไทร 2 เท่ากับ 0.22, 0.27 และ 0.24 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3. ร้อยละของการสึกหรอที่วิเคราะห์ด้วยวิธีลอสมองเจลลีส์

แหล่งหิน	ตัวอย่าง	ร้อยละของการสึกหรอ			
		ค่าทดสอบ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	สัมประสิทธิ์แห่งความแปรผัน
นาหว้า	1	24.83			
	2	22.41			
	3	23.94	23.20	1.56	6.73
	4	20.89			
	5	23.95			
ท่าหมอไทร 1	1	24.12			
	2	20.01			
	3	19.78	19.74	2.79	14.14
	4	16.70			
	5	18.10			
ท่าหมอไทร 2	1	16.46			
	2	15.18			
	3	15.76	15.98	0.69	4.30
	4	16.90			
	5	15.61			

ตารางที่ 4. ตัวประกอบความเป็นเอกรูปที่วิเคราะห์ด้วยวิธีลอสแองเจลีส

แหล่งหิน	ตัวอย่าง	ตัวประกอบความเป็นเอกรูป			
		ค่าทดสอบ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	สัมประสิทธิ์แห่งความแปรผัน
นาห้ว	1	0.23			
	2	0.22			
	3	0.21	0.22	0.01	3.62
	4	0.21			
	5	0.22			
ท่าหมอไทร 1	1	0.23			
	2	0.20			
	3	0.31	0.27	0.05	17.94
	4	0.29			
	5	0.30			
ท่าหมอไทร 2	1	0.24			
	2	0.22			
	3	0.23	0.24	0.02	8.48
	4	0.25			
	5	0.28			

3. การทดสอบค่าการกระแทก

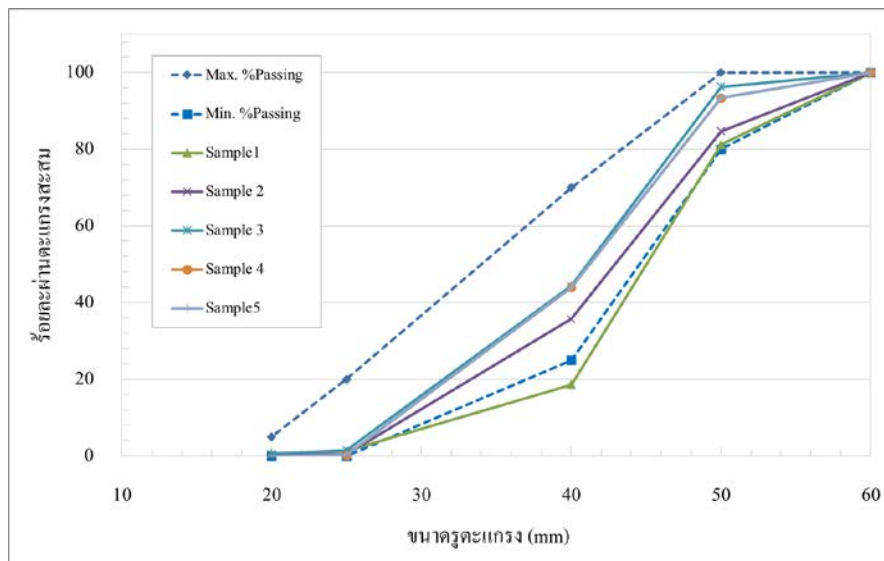
โดยปกติเมื่อกล่าวถึงค่ากระแทกมวลรวมนั้น การรถไฟแห่งประเทศไทยไม่ได้กำหนดมาตรฐานค่านี้ไว้ โดยการวิจัยพบว่าค่ากระแทกของหินจากแหล่งท่าหมอไทร 1 มีค่าน้อยที่สุด คือ 13.33 ในขณะที่แหล่งหินท่าหมอไทร 2 และแหล่งหินนาห้ว มีค่าเท่ากับ 14.22 และ 18.29 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่ออ้างอิงไปถึงการแบ่งชนิดของค่ากระแทก พบว่าหินจากแหล่งทั้ง 3 จัดอยู่ในชนิดแข็ง ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5. ค่ากระแทกของหินจากทั้ง 3 แหล่งหิน

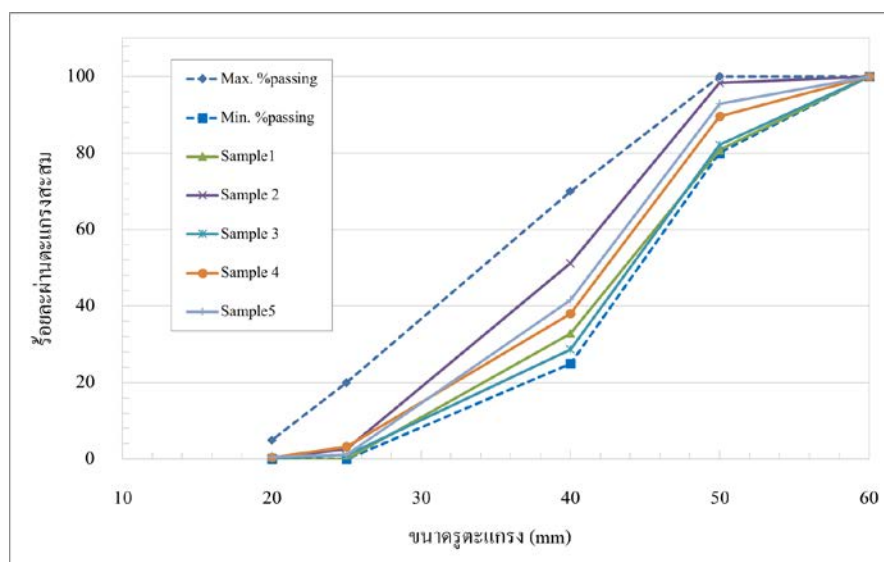
แหล่งหิน	ตัวอย่าง	ค่ากระแทก			
		ค่าทดสอบ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	สัมประสิทธิ์แห่งความแปรผัน
นาหว่า	1	17.96			
	2	18.59			
	3	18.31	18.29	0.39	2.12
	4	17.85			
	5	18.75			
ท่าหมอไทร 1	1	13.81			
	2	12.46			
	3	13.63	13.33	0.53	4.00
	4	13.55			
	5	13.23			
ท่าหมอไทร 2	1	14.72			
	2	14.82			
	3	14.21	14.22	0.65	4.57
	4	13.18			
	5	14.19			

4. การกระจายขนาด

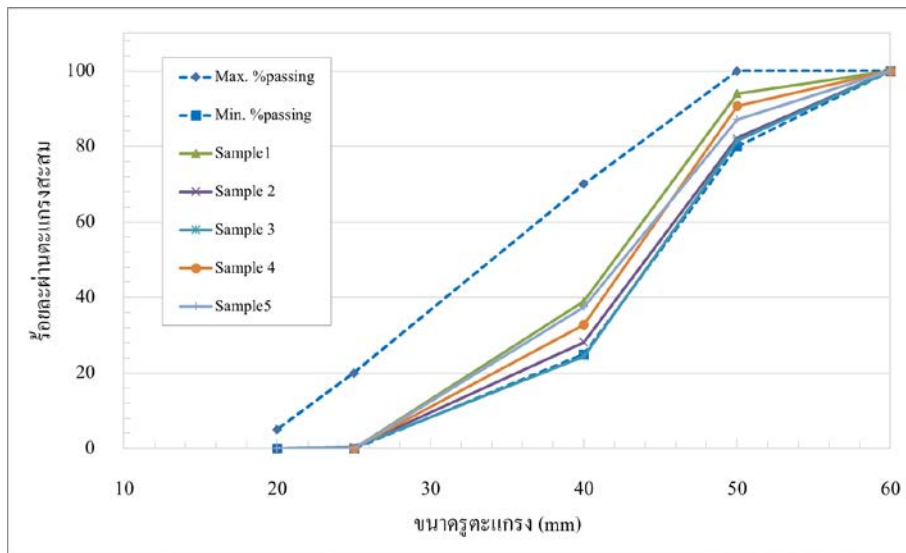
จากการวิเคราะห์การกระจายขนาดในรูปที่ 5 ถึง 7 ซึ่งมีเส้นกำหนดมาตรฐาน maximum %passing และ minimum %passing หากเส้นกราฟตกอยู่ในช่วงเส้นกำหนดมาตรฐานทั้งสอง หมายความว่าหินผ่านการกระจายขนาดตามที่กำหนด โดยการวิจัยพบว่าหินจากแหล่งหินนาหว่า มี 1 จาก 5 ตัวอย่างที่ตกมาตรฐานการรณไฟแห่งประเทศไทย ในขณะที่หินจากแหล่งหินท่าหมอไทร 1 และท่าหมอไทร 2 ผ่านมาตรฐานการกระจายขนาด



รูปที่ 5. การกระจายขนาดของหินจากแหล่งหินนาหว้าเทียบกับมาตรฐาน



รูปที่ 6. การกระจายขนาดของหินจากแหล่งหินท่าหมอไพร 1 เทียบกับมาตรฐาน



รูปที่ 7. การกระจายขนาดของหินจากแหล่งหินท่าหมอไทร 2 เทียบกับมาตรฐาน

5. การทดสอบดัชนีความแบนและดัชนีความยาว

ค่าดัชนีความยาวของหินทั้ง 3 แหล่ง พบว่าเมื่อเทียบตามมาตรฐานแล้ว ดัชนีความยาวของหินจากแหล่งหินนาหว้ามีค่าน้อยที่สุดโดยสามารถจัดอยู่ในกลุ่ม C ที่กำหนดค่าดัชนีความยาวน้อยกว่า 30 ได้ ในขณะที่หินจากแหล่งหินท่าหมอไทร 1 และท่าหมอไทร 2 มีค่าเท่ากับ 34.62 และ 36.31 ตามลำดับ ซึ่งสามารถจัดอยู่ในกลุ่ม E ที่กำหนดค่าดัชนีความยาวมากกว่า 30 แต่อย่างไรก็ดี มาตรฐานได้กำหนดให้เลือกใช้หินโรยทางที่มีปริมาณอนุภาคในกลุ่ม A B C หรือ D เท่านั้น ซึ่งมีเพียงหินจากแหล่งนาหว้าเท่านั้นที่เข้ามาตรฐานได้

ในส่วนของค่าดัชนีความแบน หินจากแหล่งหินทั้ง 3 ผ่านค่ามาตรฐาน โดยแหล่งหินนาหว้าและแหล่งหินท่าหมอไทร 2 มีค่า 9.82 และ 9.06 ตามลำดับ สามารถจัดอยู่ในกลุ่ม A ที่กำหนดค่าดัชนีความแบนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 15 ได้ ในขณะที่หินจากแหล่งหินท่าหมอไทร 1 มีค่าดัชนีความแบนเท่ากับ 21.71 ซึ่งสามารถจัดอยู่ในกลุ่ม C ที่กำหนดค่าดัชนีความแบนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 35 แต่อย่างไรก็ดี มาตรฐานได้กำหนดให้เลือกใช้หินโรยทางที่มีปริมาณอนุภาคในกลุ่ม A B หรือ C เท่านั้น ซึ่งหินจากทั้ง 3 แหล่งสามารถเข้ามาตรฐานได้ ดัชนีความแบนและดัชนีความยาวของทั้ง 3 แหล่งดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6. ค่าดัชนีความยาวและดัชนีความแบนของหินทั้ง 3 แหล่ง

แหล่งหิน	ตัวอย่าง	ดัชนีความยาว				ดัชนีความแบน			
		ค่าทดสอบ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	สัมประสิทธิ์แห่งความแปรผัน	ค่าทดสอบ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	สัมประสิทธิ์แห่งความแปรผัน
นาหว่า	1	33.25				11.49			
	2	18.33				10.04			
	3	34.89	28.06	8.30	29.59	4.13	9.82	3.38	34.41
	4	34.16				10.44			
	5	19.67				13.01			
ท่าหมอไทร 1	1	36.19				19.78			
	2	29.94				20.96			
	3	25.17	34.62	7.05	20.38	19.69	21.71	2.24	10.33
	4	42.74				23.45			
	5	39.03				24.66			
ท่าหมอไทร 2	1	18.19				9.61			
	2	18.94				9.65			
	3	45.99	36.31	17.56	48.37	4.98	9.06	4.32	47.71
	4	39.81				5.37			
	5	58.62				15.67			

6. การทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำ

ความถ่วงจำเพาะรวม (bulk specific gravity) ของหินทั้งสามแหล่งมีค่าใกล้เคียงกัน แต่หินจากแหล่งท่าหมอไทร 1 มีค่าความถ่วงจำเพาะรวม มากที่สุด เท่ากับ 2.822 รองลงมาคือ หินจากแหล่งหินนาหว่า และน้อยที่สุดคือ หินจากแหล่งหินท่าหมอไทร 2 แต่อย่างไรก็ดี ค่าความถ่วงจำเพาะรวมของหินที่นำมาทำการวิจัยก็ยังคงมีค่าสูงกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ที่ 2.6 และค่าการดูดซึมน้ำของหินที่นำมาทดลองก็ไม่มีค่าเกินมาตรฐาน คือ ร้อยละ 2 เช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7. ค่าความถ่วงจาเพาะรวมและค่าการดูดซึมน้ำของหินทั้ง 3 แหล่ง

แหล่งหิน	ตัวอย่าง	ความถ่วงจาเพาะรวม				ค่าการดูดซึมน้ำ			
		ค่าทดสอบ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	สัมประสิทธิ์แห่งความแปรผัน	ค่าทดสอบ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	สัมประสิทธิ์แห่งความแปรผัน
นาหว่า	1	2.81				0.36			
	2	2.82				0.27			
	3	2.83	2.784	0.05	1.92	0.33	0.410	0.13	32.53
	4	2.75				0.60			
	5	2.71				0.49			
ท่าหมอไทร 1	1	2.85				0.94			
	2	2.79				0.55			
	3	2.84	2.822	0.02	0.85	0.67	0.631	0.19	30.37
	4	2.83				0.54			
	5	2.80				0.45			
ท่าหมอไทร 2	1	2.76				0.30			
	2	2.78				0.51			
	3	2.82	2.777	0.07	2.37	0.36	0.416	0.09	20.95
	4	2.85				0.44			
	5	2.67				0.47			

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

จากการวิจัยหินจากแหล่งหินทั้ง 3 จากการตัดแผ่นหินบางและการศึกษาแร่วิทยาประกอบหิน เป็นหินอัคนีชนิดหินแกรนิตซึ่งมีแร่ประกอบแตกต่างกันออกไป อีกทั้งในเชิงของสมบัติทางกายภาพสามารถสรุปและวิจารณ์ผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ค่าร้อยละของความสึกหรอ พบว่าแหล่งหินนาหว่ามีค่ามากที่สุด เท่ากับ 23.20 เนื่องจากการศึกษาแผ่นหินบางสังเกตได้ว่ามีปริมาณแร่เฟลด์สปาร์และแร่ประกอบค่อนข้างสูง ส่วนหินจากแหล่งท่าหมอไทร 1 และท่าหมอไทร 2 อยู่ที่ร้อยละ 19.74 และ 15.98 ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Watters et al.

- (1987) ที่ว่าลักษณะแร่วิทยาจะเป็นตัวแปรหลักในการบ่งบอกถึงความแข็งแรงโดยรวม ความทนทานทางกายภาพ แต่อย่างไรก็ดีค่าการสึกหรอของแหล่งหินทุกแหล่งก็มีค่าไม่เกินร้อยละ 24 ตามมาตรฐาน
2. ค่าความถ่วงจำเพาะรวม ของทุกแหล่งหินมีค่าใกล้เคียงกันและเป็นไปตามมาตรฐานโดยมีค่ามากกว่า 2.6 แต่ถ้าวัดค่าสัมประสิทธิ์แห่งความแปรผันของค่าการดูดซึมน้ำพบว่าจะมีค่าสูง อาจเกิดจากการทดลองในขั้นตอนของการวัดค่าที่ซึมผ่านได้ (capillary pores) มีปริมาณน้ำที่เกาะอยู่ผิวนอกของหิน (free water) อยู่ด้วย ทำให้เกิดความผิดพลาดของการทดลอง แต่อย่างไรก็ดีตัวอย่างในการวิจัยก็มีค่าการดูดซึมน้ำที่ไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ คือ ค่าการดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 2
 3. ค่าการกระจายของขนาดแหล่งหินทำห่อไทร 1 และ 2 ทุกตัวอย่างเป็นไปตามมาตรฐาน มีเพียงแหล่งหินนาหว้า จำนวน 1 ตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน อย่างไรก็ตามค่านี้ขึ้นอยู่กับขั้นตอนในการบดหินและการคัดขนาดหินด้วย
 4. หากพิจารณาถึงสัมประสิทธิ์แห่งความแปรผันของดัชนีความยาวและดัชนีความแบนของหินทั้งสามแหล่งจะพบว่ามีความสูง เนื่องจากข้อมูลค่าทดสอบมีความแตกต่างกัน อาจด้วยเพราะการสุ่มตัวอย่างแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาของการผลิตหินซึ่งมีลักษณะการกำหนดขนาดปากเปิดของเครื่องบดที่แตกต่างกันได้ โดยสามารถจัดค่าดัชนีความยาวของแหล่งหินนาหว้า ให้อยู่ในกลุ่ม C ส่วนแหล่งหินทำห่อไทร 1 และ 2 จัดอยู่ในกลุ่ม E ซึ่งตามเกณฑ์มาตรฐานแล้วมีการแนะนำให้เลือกหินโรยทางที่มีค่าดัชนีความยาว ไม่เกิน 30 คืออยู่ในกลุ่ม A-D เท่านั้น ส่วนดัชนีความแบนแหล่งหินทุกแหล่งมีค่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน คือ แหล่งหินนาหว้า แหล่งหินทำห่อไทร 2 และแหล่งหินทำห่อไทร 1 จัดอยู่ในกลุ่ม A, A และ C ตามลำดับ การอย่างไรก็ดีค่าดัชนีทั้งสองแบบนี้ก็ขึ้นกับการเลือกใช้ชนิดของเครื่องมือด้วย

งานวิจัยนี้ได้มีการทดสอบค่ากระแทก ซึ่งโดยปกติใช้กับการทดสอบหินหรือมวลรวมที่เกี่ยวข้องกับงานถนนหรืองานคอนกรีต โดยเมื่อเปรียบเทียบค่ากระแทกที่ได้ก็สามารถบอกได้ว่าหินที่นำมาทดสอบนั้นมีความแข็งแรงเพียงใด ซึ่งอาจจะนำมาประยุกต์ใช้กับงานหินโรยทางได้ในอนาคต แต่อย่างไรก็ดีงานวิจัยนี้หากเพิ่มการทดสอบความคงทนของหินต่อการเสื่อมสภาพในสารละลายกรด (soundness) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่เพิ่มเติมขึ้นจากเดิมของการรถไฟแห่งประเทศไทย (Office of Transport and Traffic Policy and Planning, 2018) ก็จะสามารถพิจารณาถึงความทนทานของหินได้อย่างละเอียดยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ดีงานวิจัยนี้สามารถช่วยเป็นแนวทางในการพัฒนาแหล่งหินอณิชนิคมหินแกรนิต เพื่อส่งเสริมระบบรถไฟทางคู่และระบบขนส่งทางรางในพื้นที่จังหวัดสงขลา และในระดับชาติได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท ไส่ล่งเรือง จำกัด (แหล่งหินนาหว้า) บริษัท เหมืองแร่ลิว จำกัด (แหล่งหินท่าหมอไทร 1) และบริษัท โรงโม่หินสมนึกสงขลา จำกัด (แหล่งหินท่าหมอไทร 2) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างหินในการวิจัย ขอคุณอาจารย์หทัยชนก วัฒนศักดิ์ ที่ให้คำปรึกษาการแปลผลภาพแผ่นหินบาง ขอคุณภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ ในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ตัวอย่างหินในการวิจัย รวมทั้งขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สนับสนุนทุนพัฒนานักวิจัย เลขที่ ENG-60-2-7-01-0230S

เอกสารอ้างอิง

- American Society for Testing and Materials. (1998). *Annual book of ASTM standards section 04, construction*. USA: West Conshohocken, PA.
- Chandra, S. & Agarwal, M. M. (2007). *Railway Engineering* (1st ed.). New Delhi, India: Oxford University Press.
- Chantasorn, N. (2016). *Rail Mechanic, General knowledge in Railways Engineering*. (3rd ed.). Bangkok, Thailand: National Science and Technology Development Agency. (in Thai)
- Department of Mineral Resources. (2007). *Geological map part Songkhla province 5123 III scale 1:50,000*. Bangkok: Bureau of Geological Survey. Department of Mineral Resources.
- Gokhale, K. V. G. K. & Rao, D. M. (1981). *Experimentals in engineering geology* (1st ed.). New Delhi, India: Tata McGraw Hill Publishing Co. Ltd.
- Office of Transport and Traffic Policy and Planning. (2018). *Track Structural Standard*. Retrieved April 21, 2018, from http://www.op.go.th/uploads/tiny_uploads/ProjectOTP/2560/Project06/ManualStandard.pdf (in Thai)
- Watters, B. R., Klassen, M. J. & Clifton, A. W. (1987). Evaluation of ballast materials using petrographic criteria. *Transportation Research Board*, 1131, pp. 45-63.