บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

หินบะซอลต์เป็นหินอัคนีผุเนื้อละเอียด ส่วนมากมีสีเทาถึงดำ น้ำตาลแกมแดง ม่วงปนดำ เกิดจากหินหนืด ขึ้นมาเย็นตัวบนพื้นโลกอาศัยรอยแตกของเปลือกโลกหรือปล่องภูเขาไฟ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของบรรดาเกาะในมหาสมุทรและส่วนประกอบทั่วไปในภาคพื้นทวีปเช่นกัน (ดนุพล, 2553) องค์ประกอบทางเคมีออกไซด์ที่สำคัญ ได้แก่ ซิลิกา อะลูมินา เหล็ก แคลไซต์ แมกนีไซต์ และที่สำคัญรองลงมาได้แก่ โซดา โพแทสเซียม ไททาเนียม แมงกานีส และฟอสฟอรัส หรือพิจารณาชนิดแร่ปริมาณชนิดต่างๆ ได้แก่ เฟลด์สปาร์ แพลจิโอเคลส และไพรอกซีน ปกติแร่ออไจต์ (augite) เป็นแร่สำคัญอันดับรอง บางครั้งยังปรากฏว่ามีแนกนีไทต์ โอลิวีน (olivine) และแร่รองชนิดอื่นๆ ปนอยู่ด้วย (ดนุพล, 2552) หินบะซอลต์ในประเทศไทย พบเป็นหินต้นกำเนิดแร่พลอยในจังหวัดกาญจนบุรี แพร่ ลำปาง ศรีษะเกษ จันทบุรี และตราด ส่วนหินบะซอลต์ ไม่ให้พลอยพบในจังหวัดเชียงราย ลำปาง เพชรบูรณ์ ลพบุรี นครราชสีมา ชลบุรี สระบุรี อุทัยธานี บุรีรัมย์ อุบลราชธานี และสุรินทร์ ในลักษณะภูเขาไฟดับสนิทแล้ว หินบะซอลต์แยกออกสองกลุ่มใหญ่คือ กึ่งแอลคาไล และแอลคาไล กลุ่มแรกประกอบด้วยหินบะซอลต์ปนโทลิไอต์และหินบะซอลต์แคลก์-แอลคาไล (tholeiitic and calc-alkaline basalts) ส่วนกลุ่มที่สองคือ หินบะซอลต์แอลคาไลและหินบะซอลต์แอคคาไล โอลิวีน จวบถึงปัจจุบันหินก่อสร้างส่วนมากใช้หินบะซอลต์ ปนโทลิไอต์หรือหินไดอะเบส (diabase) เนื่องจากมีความหนืดสูงกว่า จึงมีลักษณะแนวโน้มลดการตกผลึกตามธรรมชาติ ในอีกด้านหนึ่งหินบะซอลต์แอลคาไนมีความหนืดต่ำเหมาะสมกับการผลิตวัสดุเซรามิกอบผลึกและแก้วเซรามิกส่วนใหญ่นำหินมาใช้งานก่อสร้าง โดยคัดหินบะซอลต์เนื้อโพรงข่าย (vesicular basalt) และตะกรันภูเขาไฟ (scoria) ออก

อุตสาหกรรมการผลิตหินเพื่อการก่อสร้างชนิดนี้มีมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างซึ่งขาดแคลนหินก่อสร้างชนิดอื่น ประเทศไทยมีปริมาณแหล่งหินบะซอลต์สำรองพิสูจน์ (proven reserve) 152.8 ล้านตัน และมีแหล่งหินศักยภาพ (potential reserve) 42252.8 ล้านตัน (ยงยุทธ และคณะ, 2551) การโม่หินบะซอลต์ทำให้ได้มวลรวมขนาดต่าง ๆ สำหรับงานก่อสร้างโดยเฉพาะมวลรวมละเอียด ที่ปนกับหินผุส่วนบนที่เหลือ คงเหลืออยู่มาก เนื่องจากมีปริมาณการใช้น้อย ที่เรียกว่า หินเกล็ดและหินฝุ่น (quarry dust) หินเกล็ดมีขนาดประมาณ 5-10 มิลลิเมตร ในขณะที่หินฝุ่นมีขนาดเล็กตั้งแต่ 5 มิลลิเมตรลงมา ก่อนหน้านี้ได้มีการศึกษานำหินคงเหลือมาใช้ประโยชน์หลายประการ อาทิ เช่น ปุ๋ยแก้ดินฤทธิ์เป็นกรด การผลิตอิฐและกระเบื้องเซรามิก (El-Mahllawy, 2008; El-Alfi et al., 1999; El-Alfi et al., 2004; Youssef et al., 2004) และในการผลิตเซรามิกแก้ว (Yilmaz et al., 1996; Abdel et al., 2007; Karamanov et al., 2007)

พื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ พบหินอัคนีจำพวกหินภูเขาไฟชนิดบะซอลต์ แผ่กระจายบริเวณทางใต้ของตัวเมืองบุรีรัมย์ มีจุดศูนย์กลางที่เขากระโดงและเขาใหญ่ ซึ่งเป็นปากปล่องภูเขาไฟที่ดับและยังคงเหลือสภาพ สัณฐานภูเขาไฟให้เห็น บริเวณที่ปล่องภูเขาไฟจะพบชิ้นส่วนของหินตะกรันภูเขาไฟ และหินบะซอลต์โพรงข่าย (vasicular basalt) สีดำ รูพรุนมาก และหินบอมบ์ภูเขาไฟขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่น้อยกว่า 10 เซนติเมตร จนถึง 50 เซนติเมตร รูปร่างแบบกระสวย (bipolar fusiform, fusiform bomb) ทรงกระบอกยาว (cylindrical ribbon bomb) และเม็ดอัลมอนด์ (almond shaped bomb) บางบริเวณหินบะซอลต์จะแสดงลักษณะการไหลของลาวาแบบลอนคลื่นและเกลียวเชือก “ปาฮอยฮอย (pahoehoe)” ซึ่งแสดงถึงลาวาต้นกำเนิดมีปริมาณซิลิกาค่อนข้างต่ำ ความหนืดน้อย จึงไหลปกคลุมพื้นที่

เป็นบริเวณกว้าง บริเวณที่มีการเปิดหน้าดินลึกลงไปเพื่อทำเหมือง มักจะพบลำดับชั้นการไหลที่ส่วนบนเป็นหินบะซอลต์โพรงข่าย เนื้อหินละเอียด สีเทาดำถึงดำ ความหนาตั้งแต่ 0.5-5 เมตร ส่วนกลางเป็นหินบะซอลต์เนื้อแน่นแสดงการแตกเสาเหลี่ยม (columnar jointing) และส่วนล่างเป็นหินบะซอลต์เนื้อแน่น แสดงการแตกเป็นระนาบแนวนอน (platy joint) ความหนาตั้งแต่ 15-30 เมตร ความหนาของหินบะซอลต์จะมากสุดบริเวณใกล้ปากปล่องและบางลงเมื่อห่างออกไป การวัดหาอายุของหินบะซอลต์บริเวณเขากระโดง โดยวิธี K/Ar ได้อายุ 0.92±0.30 ล้านปี (กรมทรัพยากรธรณี, 2553)

รูปที่ 1.1 หินตะกรันภูเขาไฟ (scoria) สีเทาดำ เขากระโดง ตำบลเสม็ด อำเภอเมืองบุรีรัมย์

รูปที่ 1.2 หินบะซอลต์โพรงข่าย เขากระโดง บ้านเขากระโดง ตำบลเสม็ด อำเภอเมืองบุรีรัมย์

รูปที่ 1.3 หินบะซอลต์แบบปาฮอยฮอย เขากระโดง ตำบลเสม็ด อำเภอเมืองบุรีรัมย์

รูปที่ 1.4 หินบะซอลต์แสดงลำดับชั้นของการไหลของลาวาอย่างน้อย 4 ครั้ง
บริเวณบ่อเหมืองหินนิสิทธสวัสดิ์ ตำบลเสม็ด อำเภอเมืองบุรีรัมย์

รูปที่ 1.5 ลักษณะหินบะซอลต์โผล่บริเวณวัดป่าบำรุงธรรม ตำบลเขาคอก อำเภอประโคนชัย

รูปที่ 1.6 โครงสร้างรูปเสาเหลี่ยมขนาดใหญ่บริเวณเหมืองหินของ บริษัท BLACK SEA 1994 จำกัด
ตำบลเจริญสุข อำเภอเฉลิมพระเกียรติ

การนำหินภูเขาไฟของจังหวัดบุรีรัมย์ไปใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป จะเป็นการนำหินที่มีขนาดมวลรวม หยาบไปใช้ในการก่อสร้างทำถนน ถมที่ดิน การทำเซรามิก ตลอดจนเป็นหินประดับสำหรับการจัดสวน ซึ่งจะเหลือเป็นหิน มวลรวมละเอียด หรือหินฝุ่น ที่ชาวบ้านเชื่อกันว่าไม่แข็งแรง และไม่สามารถที่จะใช้งาน ก่อสร้างประเภทอื่นได้ แม้กระทั่งคอนกรีตบล็อกสำหรับก่อผนังหรืออิฐบล็อกปูพื้น ประชากรในพื้นที่ของ จังหวัดบุรีรัมย์ยังต้องสั่งซื้อคอนกรีตบล็อกและบล็อกปูพื้นจากจังหวัดในเขตภาคกลาง เพื่อนำมาก่อสร้าง บ้านพักอาศัยในพื้นที่ ซึ่งหินฝุ่นที่ใช้ในการผลิตบล็อกต่าง ๆ ที่จำหน่ายตามท้องตลาดในปัจจุบัน

ได้มาจาก เหมืองหินปูนของจังหวัดสระบุรี ซึ่งบางส่วนของจังหวัดสระบุรีก็ยังมีเหมืองหินภูเขาไฟที่เป็นส่วนต่อเนื่อง มาจากจังหวัดบุรีรัมย์เช่นเดียวกัน ซึ่งการนำวัตถุดิบจากภายนอกพื้นที่มาใช้แทนวัตถุดิบที่มีอยู่แล้วในพื้นที่ เพียงเพราะไม่มั่นใจหรือไม่ทราบว่าทรัพยากรในท้องถิ่นนั้นมีศักยภาพเพียงใด ย่อมเป็นการสูญเสียโอกาส ในการเพิ่มมูลค่าให้กับทรัพยากรภายในท้องถิ่นให้กับชุมชนอย่างน่าเสียดาย

ดังนั้นโครงการวิจัยเพื่อศึกษาถึงการใช้เศษหินภูเขาไฟสำหรับพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์บล็อกประสาน จึงเป็นการตอบสนองความต้องการของชุมชนภายในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ที่เป็นเหมืองหินภูเขาไฟ อีกทั้งชุมชนในพื้นที่เหมืองหินของจังหวัดอื่น ๆ เช่น จังหวัดสระบุรี จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดสุรินทร์ จังหวัดอุบลราชธานี ฯลฯ เหล่านี้เป็นต้น ซึ่งเมื่อดำเนินการวิจัยสำเร็จแล้ว จะทำการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับชุมชนท้องถิ่นที่เกี่ยวข้องและสนใจ สามารถพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์ของชุมชน เพื่อสร้างรายได้ให้กับประชากรในพื้นที่อย่างยั่งยืนตามแนวทาง เศรษฐกิจพอเพียงเชิงสร้างสรรค์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการผลิตบล็อกประสานผสมเศษหินภูเขาไฟจากจังหวัดบุรีรัมย์

1.2.2 เพื่อทราบอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการผลิตบล็อกประสานผสมเศษหินภูเขาไฟ จากจังหวัดบุรีรัมย์เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชน

1.2.3 เพื่อทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผลิตภัณฑ์ บล็อกประสานผสมเศษหินภูเขาไฟจากจังหวัดบุรีรัมย์

1.2.4 เพื่อทำการถ่ายทอดเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์บล็อกประสานผสมเศษหินภูเขาไฟสู่ชุมชนท้องถิ่น

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ทำการวิจัยบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟจังหวัดจังหวัดบุรีรัมย์

1.3.2 ทำการอัดตัวอย่างบล็อกประสานขนาด 10 x 10 x 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยเครื่องอัดบล็อกประสานแบบมือโยก

1.3.3 ทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเศษหินภูเขาไฟตามมาตรฐาน ASTM

1.3.4 ทำการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของเศษหินภูเขาไฟโดยส่งตัวอย่างทดสอบด้วยวิธี XRF

1.3.5 ทำการทดสอบคุณสมบัติทางกลของบล็อกประสานตามมาตรฐาน มผช.602-2547 และ ASTM

1.3.6 ทำการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของบล็อกประสานตามมาตรฐาน ASTM โดยส่งตัวอย่างทดสอบ ณ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1.3.7 ทำการผลิตและทดสอบตัวอย่างผลิตภัณฑ์บล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟ ณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

1.3.8 ทดสอบการใช้งานผลิตภัณฑ์บล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟ ณ ศูนย์การเรียนรู้อาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ด้านวิชาการ

1) สามารถเผยแพร่บทความวิจัยในงานประชุมสัมมนาวิชาการภายในประเทศหรือต่างประเทศ จำนวนไม่น้อยกว่า 1 เรื่อง
2) สามารถเผยแพร่บทความวิจัยในวารสารวิชาการภายในประเทศหรือต่างประเทศ จำนวนไม่น้อยกว่า 1 บทความ
3) เข้าร่วมจัดนิทรรศการในงานที่เกี่ยวข้องกับด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
4) จดสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร เรื่อง “ผลิตภัณฑ์บล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟ”

1.4.2 ด้านนโยบาย

1) ช่วยเป็นข้อมูลในการเสนอนโยบายการพัฒนาชุมชนขององค์การปกครองส่วนท้องถิ่นภายในพื้นที่แหล่งเหมืองหินภูเขาไฟได้
2) สามารถนำเสนอเป็นแผนพัฒนาการใช้ทรัพยากรของจังหวัดบุรีรัมย์ และจังหวัดสระบุรีได้
3) ส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์เป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นของกลุ่มชุมชนในพื้นที่ได้ในอนาคต

1.4.3 ด้านเศรษฐกิจ/พาณิชย์

1) เพิ่มรายได้ให้กับชุมชนท้องถิ่นภายในพื้นที่แหล่งเหมืองหินภูเขาไฟ
2) ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างจากแหล่งอื่น
3) ส่งเสริมให้เป็นผลิตภัณฑ์วิสาหกิจชุมชน และเป็นแนวทางในการนำไปขยายผลสู่เชิงพาณิชย์

1.4.4 ด้านสังคมและชุมชน

1) สามารถสร้างความเข้มแข็งให้กับชุมชน ในการมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมและสร้างความสามัคคีร่วมมือร่วมใจกัน ในการผลิตสินค้าของชุมชน
2) ใช้เป็นเครื่องมือและเป็นแนวทางในการสร้างชุมชนให้เป็นชุมชนที่มีสังคมสันติสุข
3) มีความเป็นไปได้ที่จะลดปัญหาความยากจนของประชากรในชุมชน ลดปัญหา การลักขโมย ลดปัญหายาเสพติด และลดคดีอาชญากรรม ทำให้ชุมชนมีความปลอดภัยมากขึ้น

1.4.5 หน่วยงานภาครัฐที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ คือ องค์การปกครองส่วนท้องถิ่นภายในอำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดบุรีรัมย์ และองค์การปกครองส่วนท้องถิ่นภายในอำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี ชุมชนต่าง ๆ ในพื้นที่ ตลอดจนหน่วยงานภาครัฐอื่น ๆ ทั่วไปที่สนใจ

1.4.6 หน่วยงานภาคเอกชนที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ คือ บริษัท อริยะสุทธิ อินเตอร์เทรด จำกัด และ บริษัท เอ.เอ็ม.ที ดีไซน์ แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด ตลอดจนบริษัท ห้างหุ้นส่วนจำกัด ร้านค้าที่ผลิตและจำหน่ายวัสดุก่อสร้างทั่วไป

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

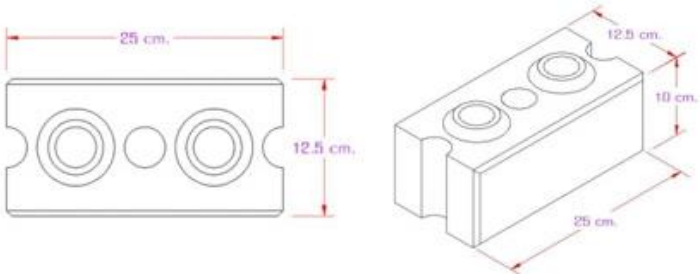
จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีและงานวิจัยที่ผ่านมา สามารถตั้งสมมติฐานและกรอบแนวความคิดสำหรับดำเนินโครงการ “การใช้เศษหินภูเขาไฟสำหรับพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์บล็อกประสาน” ซึ่งมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

2.1 อิฐบล็อกประสาน

อิฐบล็อกประสาน (Interlocking Block) คือ วัสดุก่อรับน้ำหนักที่ได้ทำการพัฒนารูปแบบให้มีรูและเดือยบนตัวบล็อก เพื่อให้สะดวกในการก่อสร้าง โดยเน้นการใช้วัตถุดิบในพื้นที่ ได้แก่ ดินลูกรัง หินฝุ่น ทราย หรือวัสดุเหลือทิ้งต่างๆที่มีความเหมาะสม นำมาผสมกับปูนซีเมนต์ และน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสม อัดเป็นก้อนด้วยเครื่องอัดแล้วนำมาบ่ม ให้บล็อกแข็งตัวประมาณ 10 วัน จะได้คอนกรีตบล็อกที่มีความแข็งแกร่ง มีรูปลักษณะพิเศษ ที่สามารถใช้ในการก่อสร้างอาคารต่าง ๆ หรือก่อเป็นถังเก็บน้ำได้อย่างรวดเร็ว สวยงาม และประหยัดกว่างานก่อสร้างทั่วไป (วุฒินัย และนรา, 2553)

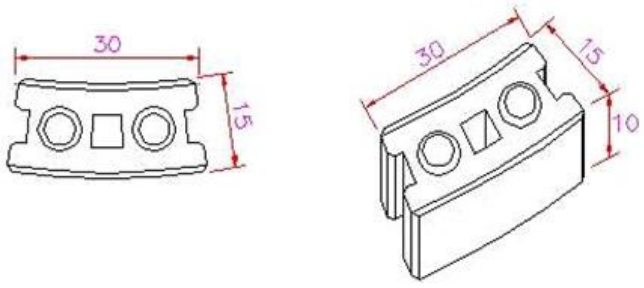
บล็อกประสานแบ่งการใช้งานเป็น 2 ประเภท เพื่อให้เหมาะกับการใช้งาน

1) บล็อกตรงหรือทรงสี่เหลี่ยมใช้สำหรับก่อสร้างอาคาร



รูปที่ 2.1 อิฐบล็อกประสานแบบตรง ขนาด 10x12.5x 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2) บล็อกโค้งใช้สำหรับก่อสร้างถังเก็บน้ำ



รูปที่ 2.2 อิฐบล็อกประสานแบบโค้งขนาด 10x15x30 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.2 การผลิตอิฐบล็อกประสานให้ได้คุณภาพ

ความแข็งแรงของอิฐบล็อกประสานนั้น หลักการคล้ายๆกับการรับกำลังอัดของดินซีเมนต์ (Soil Cement) โดยความสามรถในการรับกำลังอัด จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของมวลรวม ขนาดคละ และปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ถึงแม้ว่าบล็อกประสานจะถูกอัดด้วยเครื่องจักรที่มีกำลังสูง แต่ก็ยังคงมีช่องว่าง

ระหว่างอนุภาคอยู่ และการเชื่อมประสานของปูนซีเมนต์ไม่ได้เติมเต็มช่องว่างระหว่างมวลดิน เช่น คอนกรีต แต่จะเกิดการเชื่อมประสานที่จุดสัมผัส และจะส่งถ่ายกำลังไปสู่อนุภาคของมวลดิน ดังนั้น ถ้าเรามีดินที่มีขนาดคละที่ดี และมีอนุภาคที่แข็งแกร่ง รวมถึงการผสมปูนซีเมนต์ให้เข้ากันอย่างทั่วถึงในปริมาณที่พอดี ทำให้ความสามารถในการรับกำลังอัดของบล็อกประสานสูงขึ้น (วุฒินัย และนรา, 2553)

2.3 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อิฐบล็อกประสาน

อิฐบล็อกประสาน เป็นผลิตภัณฑ์ที่ควบคุมโดยใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช.602-2547 เรื่องอิฐบล็อกประสาน (สมอ., 2547) ซึ่งมีรายละเอียดที่สามารถสรุปได้ ดังนี้

1) ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ มีดังต่อไปนี้

1.1) อิฐบล็อกประสาน หมายถึง อิฐบล็อกที่ได้จากการนำดินลูกรัง ผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสม อาจผสมวัสดุอื่นๆ เช่น หินฝุ่น ทราย กวนให้เข้ากัน เทลงในแบบพิมพ์ที่มีการออกแบบให้มีรูร่อง และเดือย อัดเป็นก้อน แล้วบ่มให้แข็งตัว

1.2) อิฐบล็อกประสาน ชนิดรับน้ำหนัก หมายถึง อิฐบล็อกประสานที่ใช้ก่อเพื่อรับน้ำหนักโครงสร้างอาคารได้ เช่น ก่อเสา ก่อผนัง

1.3) อิฐบล็อกประสาน ชนิดไม่รับน้ำหนัก หมายถึง อิฐบล็อกประสานที่ใช้ก่อผนังกั้นห้องหรือก่อส่วนอื่นภายในอาคารที่ไม่ใช่ส่วนที่ต้องรับน้ำหนักโครงสร้างอาคาร

2) อิฐบล็อกประสาน แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.1) ชนิดรับน้ำหนัก

2.2) ชนิดไม่รับน้ำหนัก

3) คุณลักษณะที่ต้องการ

3.1) ลักษณะทั่วไป ต้องไม่มีรอยแตกหรือร้าว อาจบิ่นได้เล็กน้อย

3.2) มิติ ต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก โดยแต่ละมิติมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตร

4) ความต้านแรงอัด

4.1) ชนิดรับน้ำหนัก ค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 7.0 เมกะพาสคัล

4.2) ชนิดไม่รับน้ำหนัก ค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล

5) การดูดกลืนน้ำ (เฉพาะชนิดรับน้ำหนัก) ต้องเป็นไปตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การดูดกลืนน้ำที่ยอมให้ของอิฐบล็อกประสานชนิดรับน้ำหนัก (สมอ., 2547)

น้ำหนักอิฐบล็อกประสานเมื่ออบแห้ง กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	**การดูดกลืนน้ำสูงสุด เฉลี่ยจากอิฐบล็อกประสาน 5 ก้อน กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร**
1,680 และน้อยกว่า	288
1,681 ถึง 1,760	272
1,761 ถึง 1,840	256
1,841 ถึง 1,920	240
1,921 ถึง 2,000	224
มากกว่า 2,000	208

6) การบรรจุ

หากมีการบรรจุ ให้บรรจุอิฐบล็อกประสานในภาชนะบรรจุที่สามารถป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอิฐบล็อกประสานได้

7) เครื่องหมายและฉลาก

ที่ฉลากหรือภาชนะบรรจุอิฐบล็อกประสาน อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) ชื่อผลิตภัณฑ์

(2) มิติ

(3) เดือน ปีที่ทำ

(4) ข้อแนะนำในการใช้และการดูแลรักษา

(5) ชื่อผู้ทำ หรือสถานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

8) การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

8.1) รุ่น ในที่นี้ หมายถึง อิฐบล็อกประสานที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

8.2) การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้

(1) การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป มิติ การบรรจุ และเครื่องหมายและฉลากให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 5 ตัวอย่าง เมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามที่กำหนด จึงจะถือว่าอิฐบล็อกประสานรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

(2) การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบความต้านแรงอัด ให้ใช้ตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบตามข้อ (1) แล้ว จำนวน 5 ตัวอย่าง เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามกำหนด จึงจะถือว่า อิฐบล็อกประสานรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

(3) การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบการดูดกลืนน้ำ ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 5 ตัวอย่าง เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามกำหนด จึงจะถือว่า อิฐบล็อกประสานรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

9) เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างอิฐบล็อกประสานต้องเป็นไปตามกำหนดทุกข้อ จึงจะถือว่า อิฐบล็อกประสานรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้

10) การทดสอบ

10.1) การทดสอบลักษณะทั่วไป การบรรจุ และเครื่องหมายและฉลากให้ตรวจพินิจ

10.2) การทดสอบมิติ ให้ใช้เครื่องวัดที่เหมาะสม

10.3) การทดสอบความต้านทานแรงอัดและการดูดกลืนน้ำ

ให้ใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก มาตรฐานเลขที่ มอก. 57 และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มาตรฐานเลขที่ มอก. 58

2.4 การคำนวณสมบัติที่สำคัญของอิฐบล็อกประสาน

1) ความต้านทานแรงอัด

$$\text{กำลังอัด (กก./ตร.ซม.)} = \frac{\text{แรงอัด (กิโลกรัม)}}{\text{พื้นที่หน้าตัดรวม (ตร.ซม.)}} \qquad (1)$$

2) ความต้านทานแรงดัด

การทดสอบความต้านทานแรงดัด หรือกำลังการรับแรงดัด เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 62-69 (2001a) โดยวางก้อนตัวอย่างบนที่รองรับ 2 จุด ซึ่งห่างกันเท่ากับ L และใช้น้ำหนักกระทำแบบจุดกระทำที่จุดกึ่งกลางระหว่างที่รองรับทั้งสอง ในการคำนวณกำลังรับแรงดัด จะคิดค่าโมเมนต์ความเฉื่อยจากบล็อกประสานทั้งก้อนโดยไม่หักช่องว่าง

$$M = \frac{PL}{4} \quad (2)$$

$$\text{กำลังรับแรงดัด} = \frac{MC}{I} \quad (3)$$

เมื่อ M คือ โมเมนต์ดัด (กก. - ซม.)
C คือ ระยะแกนสะเทินถึงผิวนอกสุดของบล็อกประสาน เท่ากับ 5 ซม.
I คือ โมเมนต์ความเฉื่อย เท่ากับ 1,666.67 ซม.^{3}
P คือ แรงที่กระทำต่ออิฐบล็อกประสาน (กก.)
L คือ ระยะระหว่างที่รองรับ เท่ากับ 6.67 ซม.

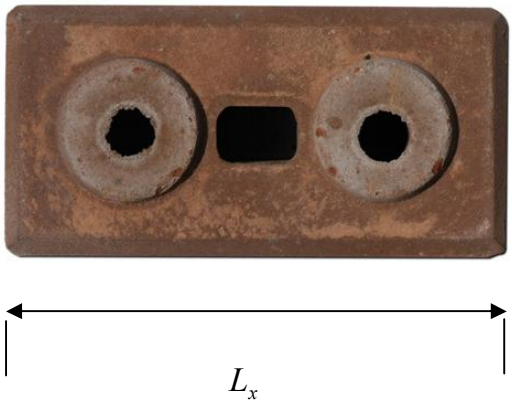
3) การหดตัวแห้งทางยาวของคอนกรีตบล็อก

$$\Delta L = L_1' - L_3' \quad (4)$$

$$L_{23} = L_X - (T_X - 23.0) \times G\Phi \quad (5)$$

$$s = \frac{\Delta L}{G} \times 100 \quad (6)$$

เมื่อ S คือ การหดตัวแห้งทางยาว (ร้อยละ)
ΔL คือ การเปลี่ยนแปลงมิติทางยาวของตัวอย่างเนื่องจากการทำให้แห้งจากสภาพอิ่มน้ำจนถึงสภาพสมดุล (ซม.)
G คือ ความยาวมาตรฐานก้อนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ ขนาด 20 ซม.
L_1 คือ ความยาวก้อนตัวอย่างในลักษณะอิ่มตัวผิวแห้ง (ซม.)
L_2 คือ ความยาวก้อนตัวอย่างเมื่อเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 50 $^\circ C$ 3 วัน (ซม.)
L_3 คือ ความยาวก้อนตัวอย่างครั้งสุดท้ายเมื่อเข้าเตาอบครบ 5 วัน (ซม.)
Φ คือ $12 \times 10^{-6} at 20^0 C$
L_{23} คือ ความยาวก้อนตัวอย่างที่อุณหภูมิ 23 $^\circ C$ (ซม.)
L_x คือ ความยาวก้อนตัวอย่าง ณ อุณหภูมิ T_x (ซม.)
T_x คือ อุณหภูมิขณะทดสอบ ($^\circ C$)
L_1', L_2', L_3' คือ ค่าความยาวหลังการปรับแก้อุณหภูมิ ตามสมการ (5)



รูปที่ 2.3 ความยาว L_x ของอิฐบล็อกประสาน

4) การดูดกลืนน้ำ และปริมาณความชื้น

$$\text{การดูดกลืนน้ำ} = \frac{A-B}{A-C}\times 100 \quad (7)$$

$$\frac{D-B}{B}\times 100 \le 0.2\% \quad (8)$$

$$\text{ปริมาณความชื้น} = \frac{W-B}{A-B}\times 100 \quad (9)$$

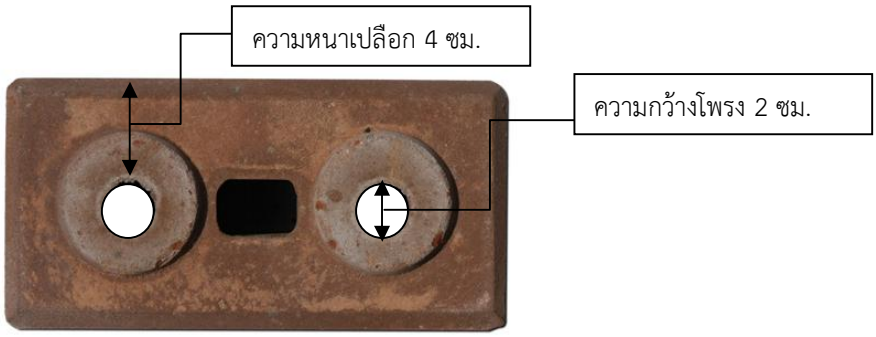
เมื่อ A คือ น้ำหนักของก้อนตัวอย่างเมื่อเปียก (กก.)
B คือ น้ำหนักของก้อนตัวอย่างเมื่ออบแห้ง 24 ชั่วโมง (กก.)
C คือ น้ำหนักของก้อนตัวอย่างเมื่อแขวนจมในน้ำ (กก.)
W คือ น้ำหนักของก้อนตัวอย่างปกติก่อนการทดสอบ (กก.)
D คือ น้ำหนักของก้อนตัวอย่างเมื่ออบแห้งมากกว่ากรณี B 2 ชั่วโมง (กก.)

5) การต้านทานความร้อน เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C177 (ASTM, 2012) ประกอบด้วยค่าการต้านทานความร้อน (R)

$$R = \frac{x}{k} \quad (10)$$

เมื่อ R คือ ค่าการต้านทานความร้อน (ตารางเมตร.เคลวิน/วัตต์)
x คือ ความหนาของวัสดุ (เมตร)
k คือ ค่าการนำความร้อน (วัตต์/เมตร.เคลวิน)
$k_{อากาศ}$ คือ ค่า เท่ากับ 0.026 (วัตต์/เมตร.เคลวิน)

ค่าการต้านทานความร้อนรวม ($R_{รวม}$)



รูปที่ 2.4 ความกว้างของโพรง และความหนาของเปลือกของอิฐบล็อกประสาน

$$R_{รวม} = R_a + \frac{x_1}{k_1} \qquad (11)$$

เมื่อ R_a คือ ความต้านทานความร้อนของโพรงอากาศ (ตารางเมตร.เคลวิน/วัตต์)
x_1 คือ ความหนาของเปลือกบล็อก (เมตร)
k_1 คือ ค่าการนำความร้อนของบล็อก (วัตต์/เมตร.เคลวิน)

โดยความหนาของบล็อกประสานแต่ละด้านหนา เท่ากับ 4.0 เซนติเมตร และความกว้างของโพรงอากาศหรือเดือยของบล็อกประสานหนา เท่ากับ 2.0 เซนติเมตร

2.5 ปูนซีเมนต์

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตามมาตรฐาน ASTM C 150 The American Society for Testing Material ได้กำหนดให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมกับงานก่อสร้างได้ 5 ชนิด (ชัชวาล, 2552) ดังนี้

1.1) ชนิด 1 Normal Portland Cement บางที่เรียก Standard Portland cement เป็นชนิดมาตรฐานเหมาะที่จะให้กับงานก่อสร้างทั่งไปโดยเฉพาะงานคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete) ในงานอาคาร สะพาน ผิวถนน ลานบิน และอื่นๆ ได้ ประเทศไทย ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช้างตราพญานาคเศียรเดียวสีเขียว ตราเพชร และตราดอกชิกปูนซีเมนต์

1.2) ชนิด 2 Modified Portland cement เป็นชนิดที่ผลิตขึ้นเพื่อต้านทานเกลือซัลเฟต เมื่อปูนซีเมนต์มีปฏิกิริยากับน้ำ (Hydration) จะเกิดความร้อนต่ำ และเพิ่มขึ้นช้ากว่าปูนซีเมนต์ชนิด 1 เหมาะที่จะนำมาใช้กับงานคอนกรีตหลา (Mass Concrete) อุณหภูมิจะค่อยเพิ่มไม่ทำให้ เกิดความเสียหายเนื่องจากความร้อนในคอนกรีต ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราพญานาค 7 เศียร

1.3) ชนิด 3 High-early strength Portland cement เป็นชนิดของปูนซีเมนต์ ที่ให้กำลังรวดเร็วในช่วงอายุ 24 ชั่วโมง จะมีความแข็งแรงของคอนกรีตที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ชนิดที่ I ที่อายุ 3 วัน และอายุ 7 วัน เท่ากับปูนซีเมนต์ชนิด I อายุ 28 วัน เป็นต้น จึงเหมาะที่จะนำมาใช้กับงานที่ต้องการเร่งด่วน เช่น ถนนที่มีการสัญจรคับคั่ง สนามบินจะต้องเปิดใช้ และยังเหมาะสมที่จะนำมาใช้ กับช่วงที่มีอากาศหนาว (Cold weather) เพื่อให้คอนกรีตแข็งตัว ได้อย่างรวดเร็วก่อนที่น้ำที่ผสมจะแข็งตัวเสียก่อน ได้แก่ ปูนซีเมนต์ของไทยตราเอราวัณตราสามเพชร และตราพญานาคเศียรเดียวสีแดง

1.4) ชนิด 4 Low – Heat Portland Cement เป็นปูนซีเมนต์ชนิดพิเศษ มีอัตราความร้อนต่ำและกำลังก็เพิ่มขึ้นช้า ๆ เหมาะที่จะเลือกใช้กับงานสร้างเขื่อนขนาดใหญ่

1.5) ชนิด 5 Sulfate – resistant Portland cement เป็นการจงใจที่ให้ต้านทานซัลเฟต เช่น การสร้างในบริเวณใกล้ทะเล หรือมิฉะนั้นก็อยู่ในดินเค็ม เทียบปูนซีเมนต์ในประเทศไทย ได้กับตามปลาฉลามของบริษัทปูนซีเมนต์เอเชีย

ตารางที่ 2.2 สารประกอบและคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ถึง 5

ข้อกำหนดทางเคมีเพิ่มเติม	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท				
	1	2	3	4	5
C_3S	49	46	56	25	43
C_2S	25	29	15	50	36
C_3A	12	6	12	5	5
C_4AF	8	12	8	12	13
ความละเอียด (เบลน,ตร.ซม/กรัม)	3000	3000	4500	3000	3000
กำลังอัด (3 วัน,กก/ซม)	180	150	310	80	120
ความร้อนปฏิกิริยา (28 วัน, จูล/กรัม)	400	330	430	270	310

หมายเหตุ กำลังอัดวัดจากลูกบาศก์มอร์ต้าร์ ขนาด 50 มิลลิเมตร

ส่วนปูนซีเมนต์ตราเสือ ตราจูเห่า และตรานกอินทรีย์ เป็นพวกซิลิก้าซีเมนต์ โดยนำทราย หรือหินบดให้ละเอียด ผสมเข้าไปในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิด ประมาณร้อยละ 25 – 30 เพื่อให้มีคุณสมบัติง่ายต่อการใช้งาน ลดการหดตัวเมื่อเกิดการก่อตัวของปูนซีเมนต์ ทำให้ไม่เกิดการแตกร้าว ราคาถูก เหมาะสำหรับอาคารเล็กและงานก่ออิฐฉาบปูน เพราะไม่รับกำลังมากนัก (วินิต, 2527)

2) องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประกอบด้วยออกไซด์หลัก (Major Oxides) และออกไซด์รอง(Minor Oxides) ออกไซด์หลักได้แก่แคลเซียมออกไซด์ (CaO), ซิลิก้า (SiO_2), อลูมินา (Al_2O_3) และเฟอริกออกไซด์ (Fe_2O_3) รวมกันได้กว่าร้อยละ 90 ส่วนที่เหลือเป็นออกไซด์รอง (Minor Oxide) ได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ออกไซด์ของอัลคาไล (Na_2O) และ (K_2O) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) และยังมีส่วนประกอบของออกไซด์อื่นผสมอยู่บ้าง เช่น ไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2) และฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ (P_2O_5) นอกจากนี้ยังมีสิ่งที่แปลกปลอมและส่วนประกอบอื่นซึ่งจะจัดรวมอยู่ในการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss on Ignition) และกากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง (Insoluble residue) ออกไซด์เหล่านี้จะทำปฏิกิริยากันและรวมตัวกันอยู่ในรูปของสารประกอบที่มีรูปร่างต่างๆ ขึ้นอยู่ในรูปของสารประกอบที่มีรูปร่างต่างๆ ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบการเผาและการเย็นลงของปูนเม็ด ขนาดและรูปร่างของสารประกอบสามารถใช้กล้องจุลทรรศน์ธรรมดาส่องดู ได้สารประกอบที่สำคัญมีอยู่ 4 ชนิด คือ

2.1) ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium Silicate) $3CaO.SiO_2$ (C_3S)

2.2) ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium silicate) $2CaO.SiO_2$ ($C2_S$)

2.3) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium Alumnate) $3CaO.Al_2O_3$ (C_3A)

2.4) เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ (Tetracalcium Aluminoferrite) $4CaO.A1_2O.Fe_2O_3(C_4AF)$

3) คุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตามข้อกำหนดเพื่อการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM

ความต้องการที่เป็นข้อกำหนด เพื่อใช้สำหรับทดสอบตามมาตรฐานให้มีคุณสมบัติเทียบปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ ดังนี้

3.1) ความละเอียด (Fineness) ASTM C 115 หรือ C 204 เป็นคุณสมบัติทางกายภาพ ซึ่งมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ (Hydration) ปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากจะทำให้เกิดกำลังได้เร็ว เพียง 7 วันก็สามารถรับกำลังได้เต็มที่

3.2) ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ASTM C 188, C 204 การทดลองซีเมนต์ปอร์ตแลนด์พบว่าอยู่ในค่าเฉลี่ยประมาณ 3.12 ถึง 3.16 แต่ปูนซีเมนต์ตราเสือ 2.90 ตราเอราวัณ และตราช้าง 3.05 ค่าเหล่านี้จะนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Mixed Design)

3.3) ความอยู่ตัว (Soundness) ASTM C 151 เป็นการทดสอบทางกายภาพ โดยการหาความสามารถในการแข็งตัวของซีเมนต์เพสท์ (Hardened Cement Paste) ที่คงอยู่ในสภาปริมาตรภายหลังการก่อตัวแล้ว

3.4) เวลาของการก่อตัว (Time of Setting) ASTM C 226 หรือ C 191 การก่อตัวเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของปูนซีเมนต์ที่เกี่ยวข้องกับเวลา เป็นความจำเป็น ที่จะต้องให้คอนกรีตอยู่ในสภาพเหลวนานพอที่จะทำการเท แต่งผิว ในช่วงเวลาดังกล่าว จึงต้องกระทำงานให้เสร็จก่อน การทดลองการก่อตัวได้แบ่งออกเป็น 2 ชั้น คือ การก่อตัวครั้งแรก (Intial set) การทดสอบไวแคท (Vicat) ใช้เวลาไม่น้อยกว่า 45 นาที แต่การทดสอบแบบกิลล์มอร์(Gilmore) ใช้เวลาไม่น้อยกว่า 60 นาที ส่วนการก่อตัวครั้งสุดท้าย (Final Set) เกิดขึ้นไม่น้อยกว่า 10 ซม. แต่ปูนซีเมนต์ตราช้างหรือตราเสือ มีเวลาก่อตัวครั้งแรก 90 นาที นับว่าให้ประโยชน์ที่จะลำเลียงคอนกรีตหรือปูนก่อ แม้กระทั่งการตกแต่งได้นานขึ้น

3.5) กำลัง (Strength) ASTM C 109 หมายถึง ความสามารถในการรับกำลังอัด (Compressive strength) ปูนซีเมนต์ในลักษณะที่เป็นคอนกรีตประการหนึ่ง กับการทดสอบกำลังอัดด้วยก้อนลูกบาศก์ของมอร์ต้าร์ (Mortar) ตามมาตรฐาน ASTM 109 โดยนำก้อนตัวอย่างทดลองไปกดตามอายุ 7 และ 28 วัน ผลลัพธ์จะเป็นการรับกำลังต่อหน่วยพื้นที่ เช่น กก./ตร.ซม. เป็นต้น ส่วนการทดสอบการรับแรงดึง (Tensile Strength) หล่อมอร์ต้าร์ รูปบริเคท (Briquettes) เป็นรูปโค้งหัวมน 2 ข้าง เพื่อการจับยึดตอนกลางมีพื้นที่ 1 ตร.นิ้ว มีการทดสอบ ตามมาตรฐาน ASTM C 190 และ BS 12 กำลังต่อหน่วยพื้นที่เช่นเดียวกัน

3.6) ความร้อนที่เกิดเนื่องจากปฏิกิริยากับน้ำ (Heat of Hydration) เป็นความร้อน ที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ ในปูนซีเมนต์ธรรมดา (Normal) ชนิด 1 มีค่าระหว่าง 85 -100 แคลอรี่ต่อกรัม ส่วนปูนซีเมนต์ (Low – Heat) ชนิดIV เกิดความร้อนขึ้นประมาณ 60 – 70 แคลอรี่ต่อกรัม เมื่อเกิดความร้อนสะสมมากขึ้นเป็นอันตรายต่อคอนกรีต จึงได้มีการควบคุมความร้อน โดยใช้น้ำแข็งทำให้มวลรวมเย็นลง แต่ในการหล่อคอนกรีต เขื่อนใหญ่ ๆ ใช้ท่อน้ำเย็น (Cooling Pipe) วิ่งผ่าน นอกจากนี้อาจต้องปรับจำนวนไตรแคลเซียมซิลิเกตและไตรแคลเซียมอลูมิเนตด้วย เป็นต้น

3.7) การทดสอบความข้นเหลว (Consistency test) โดยการทดลองใส่น้ำลงร้อยละ 25 โดยน้ำหนักในปูนซีเมนต์จำนวน 500 กรัม แล้วนำเครื่องทดลองไวแคทด้านที่เรียก Plunger มาปล่อยในซีเมนต์เพสท์ให้จมในเวลา 30 วินาที อ่านค่าทรุดตัว (Penetration) เป็น มม. จากนั้นเพิ่มน้ำขึ้น 1-2 ลบ.ซม. จนกระทั่งน้ำรวมทั้งสิ้นที่ทดลองผสมประมาณร้อยละ 30 นำค่า มาเขียนกราฟเส้นนอน เป็นระยะการทรุดตัวของ Plunger ด้านตั้งเป็นจำนวนน้ำ ลบ.ซม. (CC) ให้ลากเส้น จากส่วนการทรุดตัวที่ 10 มม. ไปสัมผัสกับเส้นโค้งในกราฟ แล้วขีดเส้นฉากไปทางเส้นตั้งที่แสดงจำนวนน้ำที่ใส่คิดเป็นร้อยละ จากนั้นก็เอาจำนวนน้ำ ตั้ง แล้วหารด้วยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ (ตราเดียวกัน) คูณด้วย 100 ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นจำนวน ร้อยละของน้ำที่พอดี สำหรับความข้นเหลวที่พอเหมาะ เพื่อความแข็งแรงมากที่สุด

4) ปูนซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทย

ในการก่อสร้างอาคาร ถนน ลานบิน สะพาน เขื่อน และอื่นๆ ที่กำลังสร้างอยู่ในปัจจุบัน เกิดขึ้นจากการใช้ปูนซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทยทั้งสิ้น เว้นแต่บางปีการผลิตปูนซีเมนต์ไม่ทันกับการใช้ จึงต้องสั่งปูนซีเมนต์จากต่างประเทศเข้ามาใช้ เช่น ปัจจุบันก็มีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิด 1 ได้ส่งเข้ามาสมทบกับปูนซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศใช้ตราดอกจิกซึ่งสั่งจากไต้หวันโดยสามบริษัทผู้ผลิตปูนซีเมนต์ร่วมกัน แต่ละบริษัทได้กำหนดปูนซีเมนต์ไว้ ดังนี้

4.1) บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด เป็นบริษัทแรกที่ผลิตเมื่อ 14 มิถุนายน 2456 (68 ปีมาแล้ว) ปัจจุบันมีผลิตอยู่ 4 ตราดังนี้

- ปูนซีเมนต์ตราเสือ บางทีเรียก ซิลิก้าซีเมนต์ เป็นการนำทรายบดเข้าผสม กับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ตราช้าง) ด้วยอัตราร้อยละ 30 เพื่อช่วยลดการหดตัว ทำให้ผิวไม่แตกร้าวและลดราคาก่อสร้างลง ทั้งให้กำลังต่ำเหมาะสมกับงานที่ไม่ต้องการ ความแข็งแรงมานัก เช่น หล่อกระเบื้องปูพื้น การผสมทำปูนก่อ – ฉาบ การหล่อคอนกรีตทางเดินภายในอาคารเป็นต้น

- ปูนซีเมนต์ตราช้าง เป็นปูนซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติเทียบได้กับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตามมาตรฐาน ASTM C 150 -58 ของอเมริกา หรือ BS 12 ของอังกฤษ เป็นปูนซีเมนต์เนื้อแท้ ที่ใช้ทำงานก่อสร้างทั่วไป มีความแข็งแรงเต็มที่ เวลาการแข็งตัวก็เป็นไปอย่างปกติ เหมาะที่ใช้กับการรับกำลังในโครงสร้าง เช่น หล่อคอนกรีตของฐานราก คาน เสา และโครงหลังคา เป็นต้น

- ปูนซีเมนต์ตราเอราวัณ เป็นปูนซีเมนต์แข็งตัวได้เร็ว มีอายุของคอนกรีตเพียง 7 วัน ก็มีความแข็งแรงเท่ากับการใช้ปูนซีเมนต์ตราช้างที่มีอายุ 28 วัน เหมาะที่ใช้กับงานเร่งด่วน อาจเป็นการเทพื้นถนนที่มียวดยานคับคั่ง หรือลานบิน หรืออาคารที่ต้องการความแข็งแรงอย่างรวดเร็ว

- ปูนซีเมนต์ตราช้างเผือก ใช้เพื่อตกแต่งและการทำหินขัด หินล้าง หินปู กระเบื้องเคลือบ กระเบื้องโมเสด และงานทางสถาปัตยกรรมอื่น ๆ

4.2) บริษัทชลประทานซีเมนต์ จำกัด เบื้องต้นก็ผลิต เพื่อการก่อสร้างเขื่อน และงานของกรชลประทานเท่านั้น ต่อมาก็ขยายงานออกใช้ทั่วไปดังนี้

- ตรางูเห่า เป็นปูนซีเมนต์ที่นำหินบดเข้าผสมมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับตราเสือ
- ตราพญานาคเศียรเดียวสีเขียว มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับตราช้าง
- ตราพญานาคเศียรเดียวสีแดง เป็นปูนซีเมนต์แข็งตัวเร็วเช่นเดียวกับตราเอราวัณ
- ตราพญานาค 7 เศียร เทียบได้กับปูนซีเมนต์ชนิด 2 ของ ASTM
- ตราปลาฉลาม เป็นปูนซีเมนต์ต้านทานเกลือซัลเฟต เหมาะที่ใช้กับงานสร้างใกล้ทะเลหรือบริเวณเขื่อนที่ต้องสัมผัสกับน้ำเค็ม เทียบได้กับปูนซีเมนต์ชนิด 5 ของ ASTM

4.3) บริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด มี 3 ตราดังนี้

- ตรานกอินทรีย์ เทียบได้กับตราเสือ
- ตราเพชร เทียบได้กับตราช้าง
- ตราสามเพชร เทียบได้กับตราเอราวัณ

2.6 คอนกรีต

คอนกรีต คือ วัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันเพราะเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมทั้งด้านราคาและคุณสมบัติต่างๆ คอนกรีตประกอบด้วยส่วนผสม 2 ส่วน คือ วัสดุประสาน ได้แก่ ปูนซีเมนต์กับน้ำ ผสมกับวัสดุผสม ได้แก่ ทราย หิน หรือกรวดเมื่อนำมาผสมกันจะคงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่งพอที่จะไปเทลงในแบบหล่อที่มีรูปร่างตามต้องการ หลังจากนั้นจะแปรสภาพเป็นของแข็งมีความแข็งแรง และสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้นตามอายุของคอนกรีตที่มากขึ้น

องค์ประกอบของคอนกรีต ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ หิน ทราย และน้ำ โดยเมื่อนำส่วนผสมต่างๆ เหล่านี้มาผสมกันจะมีชื่อเรียกเฉพาะ (ชัชวาล, 2540) ดังนี้

1) ปูนซีเมนต์ ผสมกับ น้ำ เรียกว่า ซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste)

2) ซีเมนต์เพสต์ ผสมกับ ทราย เรียกว่า มอร์ต้าร์ (Mortar)

3) มอร์ต้าร์ ผสมกับ หินหรือกรวด เรียกว่า คอนกรีต (Concrete)

หน้าที่และคุณสมบัติของส่วนผสมที่ใช้ในคอนกรีตสามารถสรุปได้ ดังนี้

1) ซีเมนต์เพสต์ ทำหน้าที่เสริมช่องว่างระหว่างมวลรวม หล่อลื่นคอนกรีตสดขณะเท ให้กำลังแก่คอนกรีตเมื่อคอนกรีตแข็งตัว รวมทั้งป้องกันการซึมผ่านของน้ำ

2) มวลรวม ทำหน้าที่เป็นตัวแทรกประสานราคาถูกที่กระจายอยู่ทั่วซีเมนต์เพสต์ ช่วยให้คอนกรีตมีความคงทน ปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก

3) น้ำ ใช้ล้างวัสดุมวลรวมต่างๆ ใช้ผสมทำคอนกรีต ใช้บ่มทำคอนกรีต ก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น กับปูนซีเมนต์ ทำหน้าที่หล่อลื่นเพื่อให้คอนกรีตอยู่ในสภาพเหลวสามารถเทได้ เคลือบ หิน ทรายให้เปียกเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์จะสามารถเข้าเกาะได้โดยตรง

4) การก่อตัวและการแข็งตัว ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำ ก่อให้เกิดซีเมนต์เพสต์ที่อยู่ในสภาพเหลวช่วงเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นเพสต์จะเริ่มแข็งตัวถึงแม้มันจะยังนิ่มอยู่แต่ไม่สามารถลื่นไหลเข้าแบบได้แล้วจุดนี้เราเรียกว่า จุดแข็งตัวเริ่มต้น (Initial Set) เวลาตั้งแต่ซีเมนต์ผสมกับน้ำจนถึงจุดอิ่มตัวเริ่มต้น เรียกว่า เวลาการก่อตัวเริ่มต้น (Initial Setting Time) การก่อตัวของเพสต์จะยังคงดำเนินต่อไปจนถึงสภาพที่เป็นของแข็งหรือจุดแข็งตัวสุดท้าย (Final Setting Time) เพสต์ยังคงแข็งตัวต่อไป และสามารถรับน้ำหนักได้ ขบวนการทั้งหมดนี้เรียกว่า การแข็งตัว (Hardening)

2.7 หินภูเขาไฟ

หินภูเขาไฟ (Volcanic rock) หรือหินอัคนีพุ (Extrusive rock) (วิกิพิเดียสารานุกรมเสรี, 2555) เกิดขึ้นเมื่อหินร้อนเหลวหรือแมกมาถูกดันและปะทุออกมานอกเปลือกโลก ซึ่งอาจจะออกมาตามรอยแตกหรือระเบิดออกมาเป็นภูเขาไฟกลายเป็นลาวา ลาวาจะเย็นตัวอย่างรวดเร็ว และแข็งตัวเป็นหินซึ่งมีผลึกขนาดเล็กถึงเล็กมาก ส่วนใหญ่จะมองไม่เห็นรูปของผลึกด้วยตาเปล่า ลาวาที่ถูกขับมาจากส่วนลึกของเปลือกโลกจะประกอบด้วยแร่ที่มีธาตุเหล็กและแมกนีเซียมสูง เมื่อแข็งตัวก็จะได้หินภูเขาไฟสีดำ ลาวาที่ถูกขับออกมาจากเปลือกโลกในระดับความลึกไม่มากนัก จะกลายเป็นหินภูเขาไฟสีอ่อน การปะทุขึ้นมาของแมกม่าเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบ ได้แก่

1) การปะทุแบบไม่รุนแรง

การปะทุแบบไม่รุนแรง เป็นการปะทุตามปล่องหรือรอยแตก รอยแยกของแผ่นเปลือกโลกลาวาไหลหลากเอ่อล้นไป ตามลักษณะภูมิประเทศ ลาวาจะถ่ายโอนความร้อนให้กับบรรยากาศภายนอกอย่างรวดเร็ว ทำให้อะตอมของธาตุ ต่าง ๆ มีเวลาน้อยในการจับตัวเป็นผลึก หินลาวาหลากจึงประกอบด้วยแร่ที่มีผลึกขนาดเล็กหรือเล็กมาก ไม่สามารถมองเห็นและจำแนกผลึกได้ด้วยตาเปล่า เช่น หินไรโอไลต์ (Ryolite), หินแอนดีไซต์ (Andesite), และหินบะซอลต์ (Basalt) เป็นต้น

หินไรโอไลต์ (Ryolite) เป็นหินอัคนีพุซึ่งเกิดจากการเย็นตัวของลาวาที่มีความหนืดมาก มีปริมาณซิลิกามากกว่า 66 เปอร์เซ็นต์ มีเนื้อละเอียดซึ่งประกอบด้วยผลึกแร่ขนาดเล็ก มีแร่องค์ประกอบเหมือนกับหินแกรนิต แต่ทว่าผลึกเล็กมากจนไม่สามารถมองเห็นได้ ส่วนมากมีสีชมพู และสีเหลือง

หินแอนดีไซต์ (Andesite) เป็นหินอัคนีพุซึ่งเกิดจากการเย็นตัวของลาวาที่มีความหนืดปานกลาง มีปริมาณซิลิกาอยู่ในช่วง 52-66 เปอร์เซ็นต์ เกิดในลักษณะเดียวกับหินไรโอไรต์ แต่มีองค์ประกอบของแมกนีเซียมและเหล็กมากกว่า จึงมีสีเขียวเข้ม

หินบะซอลต์ (Basalt) เป็นหินอัคนีพุ เนื้อละเอียด เกิดจากการเย็นตัวของลาวาที่มีความหนืดน้อย มีปริมาณซิลิกาอยู่ในช่วง 45-52 เปอร์เซ็นต์ มีสีเข้มเนื่องจากประกอบด้วยแร่ไพร็อกซีนเป็นส่วนใหญ่ อาจมีแร่โอลิวีนปนมาด้วย เนื่องจากเกิดขึ้นจากแมกมาใต้เปลือกโลก หินบะซอลต์หลายแห่งในประเทศไทยเป็นแหล่งกำเนิดของอัญมณี (พลอยชนิดต่างๆ) เนื่องจากแมกมาดันผลึกแร่ซึ่งอยู่ลึกใต้เปลือกโลก ให้โผล่ขึ้นมาเหนือพื้นผิว

หินออบซีเดียน (Obsedian) เป็นหินอัคนีพุชนิดหนึ่งที่เกิดจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็วจนผลึกมีขนาดเล็กมากจนถึงไม่มีเลย หินออบซีเดียนเป็นหินอัคนีพุที่มีเนื้อแก้วสีดำ

2) การปะทุแบบรุนแรง

การปะทุแบบรุนแรง เป็นการปะทุแบบระเบิด เกิดตามปล่องภูเขาไฟ ขณะที่แมกมาเกิดปะทุพ่นขึ้นมาด้วยแรง ระเบิดพร้อมกับฝุ่น ก๊าซ เถ้า ไอน้ำ และชิ้นวัตถุที่มีรูปร่างขนาดต่างๆ กันกระเด็นขึ้นไปบนอากาศ ชิ้นวัตถุเหล่านี้อาจเป็นเศษหินและแร่ เย็นตัวบนผิวโลกตกลงมาสะสมตัวทำให้เกิดแหล่งสะสมชิ้นภูเขาไฟ เมื่อแข็งตัวจะเป็นหินชิ้นภูเขาไฟหรือหินตะกอนภูเขาไฟ (pyroclastic rock)ได้แก่ หินทัฟฟ์ (tuff), หินแอกโกเมอเรต (agglomerate), หินพัมมิซ (Pumice), หินสคอเรีย (Scoria), หินออบซีเดียน (Obsedian) เป็นต้น

หินทัฟฟ์ (Tuff) เป็นหินเถ้าภูเขาไฟ พบมากในบริเวณที่ราบภาคกลาง โดยพบเป็นบริเวณแคบทางด้านตะวันตกตั้งแต่ด้านตะวันตกของจังหวัดอุทัยธานี จนถึงด้านตะวันออกของจังหวัดนครสวรรค์, บริเวณเทือกเขาเพชรบูรณ์ และบริเวณฝั่งทะเลภาคตะวันออก

หินพัมมิซ (Pumice) เป็นหินแก้วภูเขาไฟชนิดหนึ่งซึ่งมีฟองก๊าซเล็กๆ อยู่ในเนื้อมากมายจนโพรกคล้ายฟองน้ำ มีส่วนประกอบเหมือนหินไรโอไลต์ มีน้ำหนักเบา ชาวบ้านเรียกว่า หินส้ม ใช้ขัดถูภาชนะทำให้มีผิววาว

หินสคอเรีย (Scoria) เป็นหินแข็ง สาก เปราะ เบา และมีรูพรุน ไม่ทนต่อการสึกกร่อน ใช้ทำหินสำหรับขัด

จากการสำรวจของนักธรณีวิทยา จากกรมทรัพยากรธรณีของประเทศไทย พบหินภูเขาไฟอยู่ในบริเวณต่างๆ ของภาคเหนือ ที่ราบภาคกลาง แนวเขาเพชรบูรณ์ ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก และที่ราบสูงโคราช ซึ่งหินภูเขาไฟเหล่านี้จะมีส่วนประกอบของแร่ธาตุต่าง ๆ ตั้งแต่ แร่ธาตุที่มีสีเข้มดำ จนถึงแร่ธาตุที่มีสีจาง หินภูเขาไฟที่พบมีช่วงอายุการเกิดต่างกันที่มีอายุแก่ที่สุดที่พบจะมีอายุอยู่ในยุคไซลูเรียน ถึงช่วงล่างของยุคเพอร์เมียน (ประมาณ 435 ล้านปี จนถึง 280 ล้านปี) ซึ่งหินภูเขาไฟที่เกิดขึ้นในยุคนี้ ส่วนใหญ่มักจะถูกแปรสภาพกลายเป็นหินแปรไปมากแล้ว ต่อมาในช่วงเวลา ตั้งแต่ตอนบนของยุคเพอร์เมียนถึงตอนล่างของยุคไทรแอสซิก (ประมาณ 250 ล้านปี ถึง 200 ล้านปี) มีหินภูเขาไฟเกิดขึ้นมากในบริเวณต่าง ๆ ของไทย โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคเหนือภาคกลางตอนบน และขอบที่ราบสูงตอนล่าง และในช่วงปลายมหายุคซีโนโซอิก (ประมาณ 0.9-0.6 ล้านปี) นับเป็นช่วงสุดท้ายของการเกิดการระเบิดของภูเขาไฟในประเทศไทย ซึ่งทำให้เกิดหินบะซอลต์เป็นส่วนใหญ่ โดยแหล่งหินภูเขาไฟที่พบมากในเมืองไทย คือ

1) วัดเมืองเก่าแสนตุ่ม บ้านเขาตาโม๊ะ อำเภอเขาสมิง จังหวัดตราด

2) อ่าวตาลคู่ อำเภอเมือง จังหวัดตราด

3) เขากระโดง ตำบลเสม็ด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์

4) เขาพนมรุ้ง ตำบลตาเป็ก อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดบุรีรัมย์

5) ภูพระอังคาร อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดบุรีรัมย์

6) เขาหินกลิ้ง อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี

7) เขาพระพุทธฉาย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

8) เขาแก้ว อำเภอพยุหะคีรี จังหวัดนครสวรรค์

หินไรโอไลต์ (Rhyolite)

หินบะซอลต์ (Basalt)

หินออบซีเดียน (Obsidian)

หินทัฟฟ์ (Tuff)

หินแอกโกเมอเรต (Agglomerate)

หินพัมมิซ (Pumice)

หินสคอเรีย (Scoria)

รูปที่ 2.5 ลักษณะตัวอย่างหินภูเขาไฟแต่ละชนิด (วิกิพิเดียสารานุกรมเสรี, 2555)

2.8 หินบะซอลต์

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนใต้มีแหล่งหินปูนอยู่เฉพาะทางด้านตะวันตกของจังหวัดนครราชสีมา ทำให้ขาดแคลนหินปูนที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้าง จึงจำเป็นต้องใช้หินบะซอลต์ที่มีอยู่ในพื้นที่ทดแทน โดยทั่วไปหินบะซอลต์จะมีคุณสมบัติทางกลศาสตร์ดีกว่าหินปูน ทั้งด้านความคงทน และความแข็งแรง แต่ใน ทางกลับกันคุณสมบัติดังกล่าว กลับส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น เนื่องจากอายุการใช้งานของเครื่องจักรที่ใช้ที่สั้นลง พื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์พบว่ามีแหล่งหินภูเขาไฟที่เป็นหินบะซอลต์อยู่ 3 แหล่ง ได้แก่ แหล่งหินบะซอลต์ เขากระโดง แหล่งหินบะซอลต์เขาพระอังคาร และแหล่งหินบะซอลต์เขาพนมรุ้ง ปัจจุบันมีการเปิดทำเหมืองหินบะซอลต์เพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างเพียง 2 แหล่ง ดังนี้

1) แหล่งหินบะซอลต์เขากระโดง ครอบคลุมเนื้อที่รวม 68.7 ตารางกิโลเมตร ลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาขนาดเล็กและที่ราบเชิงเขา ความสูงของพื้นที่เฉลี่ย 180 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง อยู่ในแผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร มาตราส่วน 1:50,000 ลำดับชุด L7017 ระวางจังหวัดบุรีรัมย์ (5638 IV) ลักษณะธรณีวิทยาแหล่งแร่ของแหล่งบะซอลต์ แบ่งได้ 5 ชั้น เรียงลำดับจากบนลงล่าง ประกอบ ด้วย ชั้นบนเป็นตะกอนดิน ทราย ยุคควอเทอร์นารี หนาประมาณ 5 เมตร ชั้นที่สองเป็นหินบะซอลต์เนื้อโพรงข่าย เนื้อหินผุสีน้ำตาลแดงถึงเทาแดง หนาประมาณ 5 เมตร ชั้นที่สามเป็นหินบะซอลต์สีเทาดำ รูพรุนน้อย รอยแตกน้อย หนาประมาณ 10 เมตร ชั้นที่สี่เป็นหินบะซอลต์สีเทาดำเนื้อแน่น รอยแตกน้อย หนาประมาณ 10 เมตร และชั้นล่างสุดเป็นดินสีแดงปนเถ้าภูเขาไฟ ความหนารวมโดยประมาณของหินบะซอลต์แหล่งนี้อยู่ระหว่าง 25-35 เมตร หินบะซอลต์บางบริเวณแสดงแนวแตกแบบแยกเป็นกาบมัน (exfoliation joints) และ/หรือ แสดงลักษณะการไหลของลาวาคล้ายคลื่นหรือเกลียวเชือก การหาอายุของหินบะซอลต์บริเวณเขากระโดงโดยวิธีโพแทชเซียม-อาร์กอน (K/Ar) ได้อายุ 0.92 ± 0.30 ล้านปี (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) ปริมาณสำรองของหินบะซอลต์จากแหล่งนี้ คำนวณโดยใช้ความหนาเฉลี่ยของหินบะซอลต์ 25 เมตร ค่าความหนาแน่นของหินบะซอลต์ 2.5 เมตริกตันต่อลูกบาศก์เมตร ค่าสัมประสิทธิ์แปรผัน (K) ของหินบะซอลต์ร้อยละ 90 (0.9) หรือหักปริมาตรเนื้อหินที่ไม่ได้คุณภาพ รอยแตก เนื้อดินใน

เนื้อหินออกร้อยละ 10 จะได้ปริมาณทรัพยากรหินสำรองมีศักยภาพเป็นไปได้ของหินบะซอลต์เพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างเท่ากับ 3,864 ล้านเมตริกตัน ปัจจุบันมีปริมาณหินที่ใช้ไปแล้ว 30.26 ล้านเมตริกตัน คงเหลือปริมาณสำรองของหินบะซอลต์ 3,834 ล้านเมตริกตัน

รูปที่ 2.6 แหล่งหินบะซอลต์เขากระโดง (ก) ภาพมุมกว้างหน้าเหมืองในพื้นที่อำเภอเมือง (ข) ลักษณะปากปล่องภูเขาไฟกระโดง (ค) ลักษณะการไหลของลาวาคล้ายริ้วเชือกบิด เรียกว่า ลาวาปาฮอยฮอย (pahoehoe flow) (กรมทรัพยากรธรณี, 2553)

2) แหล่งหินบะซอลต์เขาพระอังคาร อยู่บริเวณด้านทิศตะวันออกของอำเภอนางรอง และด้านตะวันตกของอำเภอเฉลิมพระเกียรติ ลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขารูปฝาชีคว่ำ ฐานกว้างและที่ลาดเชิงเขาความสูงของพื้นที่ประมาณ 200-220 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ครอบคลุมพื้นที่ 103.3 ตารางกิโลเมตร อยู่ในแผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร มาตราส่วน 1:50,000 ลำดับชุด L7018 ระวางนางรอง (5538II) ลักษณะธรณีวิทยาแหล่งแร่ของแหล่งหินบะซอลต์เขาพระอังคาร แบ่งได้ 6 ชั้นจากบนลงล่างประกอบด้วย ชั้นบนสุดเป็นตะกอนดิน ทราย อายุควอเทอร์นารี ชั้นที่สองเป็นหินบะซอลต์เนื้อโพรงข่าย เนื้อหินผุ สีน้ำตาลแดงถึงเทาแดง หนาประมาณ 6 เมตร ชั้นที่สามเป็นหินบะซอลต์สีเทาดำ รูพรุนน้อย รอยแตกน้อย หนาประมาณ 3 เมตร ชั้นที่สี่เป็นหินบะซอลต์สีเทาดำถึงดำ เนื้อดอก (porphyritic texture) แน่น รอยแตกน้อย หนาประมาณ 9 เมตร ชั้นที่ห้าพบดินปนทราย หนาประมาณ 6 เมตร และชั้นล่างสุดเป็นดินดานสีเทา ความหนารวมโดยประมาณของหินบะซอลต์แหล่งนี้ระหว่าง 18-21 เมตร หินมักแสดงการแตกคล้ายเสาเหลี่ยม (columnar joints) อย่างชัดเจน

รูปที่ 2.7 แหล่งหินบะซอลต์ อำเภอเฉลิมพระเกียรติ (ก) ภาพมุมกว้างหน้าเหมือง ในพื้นที่อำเภอเฉลิมพระเกียรติ (ข) และ (ค) ลักษณะแนวแตกเสาเหลี่ยม ของหินบะซอลต์ (columnar joint) (กรมทรัพยากรธรณี, 2553)

ปริมาณสำรองของหินบะซอลต์เขาพระอังคาร คำนวณโดยใชความหนาเฉลี่ยของหินบะซอลต์ 20 เมตร ค่าความหนาแน่นของหินบะซอลต์ 2.5 เมตริกตันต่อลูกบาศก์เมตร ค่าสัมประสิทธิ์แปรผัน (K) ของหินบะซอลต์ร้อยละ 90 (0.9) จะได้ปริมาณทรัพยากรหินบะซอลต์สำรองมีศักยภาพเป็นไปได้ จำนวน 4,558 ล้านเมตริกตัน ปัจจุบันถูกนำไปใช้ประโยชน์แล้ว 12.03 ล้านเมตริกตัน คงเหลือปริมาณสำรองของหินบะซอลต์ 4,546 ล้านเมตริกตัน สำหรับแหล่งหินบะซอลต์เขาพนมรุ้ง เนื่องจากไม่มีการเปิดทำเหมือง จึงทำให้ไม่มีข้อมูลธรณีวิทยาแหล่งหิน และความหนาเฉลี่ยของหินบะซอลต์ แต่หากทำการคำนวณเบื้องต้นโดยใช้ปัจจัยเช่นเดียวกับเขาพระอังคาร จะได้ปริมาณทรัพยากรหินสำรองมีศักยภาพเป็นไปได้ของหินบะซอลต์ เท่ากับ 4,573 ล้านเมตริกตัน กล่าวโดยสรุป พื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์มีปริมาณทรัพยากรแร่สำรองมีศักยภาพเป็นไปได้ของหินบะซอลต์จากทั้งสามแหล่งข้างต้นรวมกันประมาณ 12,996 ล้านเมตริกตัน และจากข้อมูลสถิติการผลิตหินบะซอลต์เพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างในเขตจังหวัดบุรีรัมย์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547-2552 ซึ่งผลิตในอัตราเฉลี่ยปีละ 3,314,422 เมตริกตัน จึงสามารถสรุปได้ว่าจังหวัดบุรีรัมย์จะมีหินบะซอลต์เพียงพอต่อความต้องการใช้ทั้งในเขตจังหวัดบุรีรัมย์และจังหวัดใกล้เคียงได้อีกหลายสิบปี ปัจจุบันในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์มีประทานบัตรเหมืองแร่ชนิดหินอุตสาหกรรมชนิดหินบะซอลต์เพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างรวม 16 แปลง

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลการผลิตหินบะซอลต์เพื่อก่อสร้างในจังหวัดบุรีรัมย์ (กรมทรัพยากรธรณี, 2553)

ลำดับ	ปี (พ.ศ.)	ปริมาณหิน (เมตริกตัน)	ค่าภาคหลวงแร่ (บาท)
1	2547	3,223,591.8	12,894,367.20
2	2548	3,766,461.4	15,065,845.57
3	2549	3,399,258.4	13,597,033.60
4	2550	3,006,669.6	12,026,678.24
5	2551	2,981,055.8	13,302,800.84
6	2552	3,509,501.0	18,951,305.30

ที่มา: อุตสาหกรรมจังหวัดบุรีรัมย์ เดือนกุมภาพันธ์ 2553

ตารางที่ 2.4 ประทานบัตรเหมืองหินบะซอลต์ในเขตจังหวัดบุรีรัมย์ (กรมทรัพยากรธรณี, 2553)

ลำดับ	ประทานบัตรเลขที่	ชื่อผู้ถือประทานบัตร	ที่ตั้งประทานบัตร
1	27271/15204	หจก. กริชมีชัย (บุรีรัมย์รัชดา รับช่วง)	ต.สวายจีก อ.เมืองบุรีรัมย์
2	27272/15205	หจก. กริชมีชัย (บุรีรัมย์รัชดา รับช่วง)	ต.สวายจีก อ.เมืองบุรีรัมย์
3	27275/15472	หจก. จิบฮงล้งการช่างบุรีรัมย์ (หินเพชร รับช่วง)	ต.สวายจีก อ.เมืองบุรีรัมย์
4	27259/15324	หจก. นางรองศิลาทิพย์ (นางรองศิลาทอง รับช่วง)	ต.ถาวร อ.เฉลิมพระเกียรติ
5	27262/15369	บริษัท นิสิทธิ์สวัสดิ์ จำกัด	ต.เสม็ด และ ต.อิสาณ อ.เมืองบุรีรัมย์
6	27264/15242	บริษัท บุรีรัมย์ นวรัตน์ จำกัด	ต.อิสาณ และ ต.สวายจีก อ.เมืองบุรีรัมย์
7	27253/15240	บริษัท แบล็กซี จำกัด	ต.เจริญสุข อ.เฉลิมพระเกียรติ
8	27273/15241	บริษัท แบล็กซี จำกัด	ต.เจริญสุข อ.เฉลิมพระเกียรติ
9	แปลงใหม่	บริษัท แบล็กซี จำกัด	ต.เจริญสุข อ.เฉลิมพระเกียรติ
10	27270/15611	บริษัท ศิลาเพชร จำกัด (หินเพชร รับช่วง)	ต.อิสาณ อ.เมืองบุรีรัมย์
11	27268/15239	บริษัท สหชัย ศิลาทอง จำกัด	ต.สวายจีก อ.เมืองบุรีรัมย์
12	27261/15163	บริษัท ศิลาชัย บุรีรัมย์ (1991) จำกัด	ต.สวายจีก อ.เมืองบุรีรัมย์
13	27265/15279	หจก. หินบุรีรัมย์	ต.สวายจีก อ.เมืองบุรีรัมย์
14	27256/15375	บริษัท หินเพชร จำกัด	ต.สวายจีก อ.เมืองบุรีรัมย์
15	27267/15243	บริษัท หินราช จำกัด	ต.สวายจีก อ.เมืองบุรีรัมย์
16	แปลงใหม่	บริษัท หินราช จำกัด	ต.สวายจีก อ.เมืองบุรีรัมย์

2.9 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันในประเทศไทยยังประสบปัญหาในการขนส่งวัสดุก่อสร้างต่าง ๆ อาทิเช่น คอนกรีตบล็อก บล็อกปูพื้น บล็อกประสาน จากแหล่งพื้นที่อื่น ๆ มาใช้ในพื้นชุมชนของตนเอง ทั้ง ๆ ที่หลายพื้นที่ก็เป็นแหล่งของเหมือนหิน เพียงแต่พื้นที่นั้น ไม่ใช่เป็นเหมืองหินปูน ซึ่งความเชื่อที่สั่งสมมาช้านาน เกี่ยวกับหินปูน มีสารที่ช่วยทำให้ยึดติดวัสดุมวลรวมอื่นได้ ทั้ง ๆ ที่การจะทำหินปูนให้มีคุณสมบัติในการเป็นตัวประสาน ได้นั้น ต้องผ่านการเผาและบดละเอียดก่อน ดังนั้น เศษหินที่เหลือทิ้งจากกระบวนการบดย่อยหินจาก เหมืองหินทุกประเภท อาทิเช่น เหมืองดินขาว เหมืองโดโลไมต์ หรือเหมืองหินภูเขาไฟ ฯลฯ เหล่านี้เป็นต้น ก็มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาผสมในผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างประเภทต่าง ๆ เทียบเคียงกับหินปูน เพียงแต่ ต้องมีการวิจัยพัฒนาถึงส่วนผสมที่พอเหมาะกับการขึ้นรูป และมีการทดสอบสมบัติในด้านต่าง ๆ ตาม มาตรฐานของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หากผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดตามมาตรฐานดังกล่าว ก็จะสามารถนำมา ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

เมื่อพิจารณาในอดีตพบว่ามีการบันทึกถึงการใช้เถ้าจากภูเขาไฟเป็นวัสดุสำคัญในการทำคอนกรีต โดยชาวกรีกและชาวโรมันโบราณ ใช้เถ้าภูเขาไฟที่บดละเอียดผสมกับปูนขาวและทรายทำเป็นมอต้าร์ที่มี

ความแข็งแรงขึ้น และสามารถทนทานต่อการละลายของน้ำได้ดี ชาวกรีกใช้เถ้าภูเขาไฟจากเกาะซานทอริน (Santorin Island) ส่วนชาวโรมันใช้เถ้าภูเขาไฟจากบริเวณอ่าวเนเปิลส์ (Bay of Naples) ในเถ้าภูเขาไฟมีธาตุซิลิกาและอลูมินาที่พร้อมจะทำปฏิกิริยากับปูนขาว ปฏิกิริยานี้มีชื่อว่า “ปฏิกิริยาปอซโซลาน (pozzolanic reaction)” เนื่องจากเถ้าภูเขาไฟที่ดีที่สุดมาจากหมู่บ้านปอซซูโอลิ (Pozzuoli) ใกล้กับภูเขาไฟวิซูเวียส (Vesuvius) ซึ่งเคยระเบิดพ่นลาวา (lava) และเถ้าถ่านออกมาอย่างมากมายในอดีต ดังนั้นคำว่า “ปอซโซลาน” จึงใช้ต่อกันมา และหมายถึงวัสดุที่ละเอียดคล้ายเถ้าภูเขาไฟเมื่อใช้ผสมกับปูนขาว และน้ำทำให้ได้สารซีเมนต์ ซึ่งมีคุณสมบัติในการยึดประสาน (ปริญญา และชัย, 2555)

ซึ่งจากหลักฐานดังกล่าวย่อมเป็นการบ่งชี้ถึงความเป็นไปได้ว่า หินภูเขาไฟจากแหล่งเหมืองแร่ภูเขาไฟ ก็ย่อมที่จะมีศักยภาพในการเป็นวัสดุที่ใช้สำหรับผสมกับปูนซีเมนต์ในงานวัสดุก่อสร้างเช่นดียวกัน โดยในปัจจุบันงานวิจัยที่เกี่ยวกับการนำหินภูเขาไฟมาใช้ในงานวัสดุก่อสร้างยังมีอยู่น้อยมาก คณะผู้วิจัยจึงได้ พยายามรวบรวมผลงานที่ใกล้เคียงกันกับงานวิจัยนี้ เพื่อที่จะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการดำเนินโครงการ และ วิเคราะห์ผลการดำเนินงานให้เป็นไปในแนวทางที่เกิดประสิทธิผลมากที่สุด ดังต่อไปนี้

- วุฒินัย กกกำแหง และ นรา รัตนวงศ์ (2553) ได้ศึกษาความสามารถในการรับกำลังอัดของอิฐบล็อกประสานที่ผลิตจากหน้าดินจากเหมืองดินขาว หน้าดินขาวเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตดินขาวเพื่ออุตสาหกรรม ซึ่งมีจำนวนมาก และเป็นปัญหาในการกำจัดของเหมืองแร่ ขอบเขตของงานวิจัย จะใช้หน้าดินขาวจากเหมืองแร่ Mineral Resources Development จังหวัดระนอง เป็นวัตถุดิบในการผลิตอิฐบล็อกประสาน ผสมวัตถุดิบที่อัตราส่วน หน้าดินต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 1:5, 1:7 และ 1:9 โดยน้ำหนัก ทดสอบกำลังอัดที่อายุการบ่มด้วยความชื้น 3, 7, 14 และ 28 วัน เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับกำลังอัดที่ระยะเวลาต่าง ๆ ผลการวิจัยพบว่าบล็อกประสานที่ผลิตได้จากหน้าดินขาวมีค่าความสามารถในการรับกำลังอัดสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ จากการวิจัยสรุปได้ว่าหน้าดินขาวสามารถนำมาใช้ผลิตอิฐบล็อกประสานได้เป็นอย่างดี จึงนับได้ว่าเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งมาสร้างมูลค่าเพิ่ม และเป็นการลดวัสดุ เหลือทิ้งทำให้ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

- จรูญ เจริญเนตรกุล (2555) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกะลาปาล์มมาแทนที่ทรายบางส่วน เพื่อผลิตเป็นอิฐบล็อกประสานผสมกะลาปาล์ม และเปรียบเทียบคุณสมบัติกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547 การแทนที่ทรายด้วยกะลาปาล์ม ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 โดยน้ำหนัก มวลรวมที่ใช้ในการผลิตคือ ดินลูกรัง ปูนซีเมนต์ ทราย และกะลาปาล์ม บ่มในอากาศ 28 วัน นำมาทดสอบค่าการดูดกลืนน้ำ และทดสอบค่าการรับกำลังอัด จากผลการศึกษา พบว่าค่าการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกประสานผสมกะลาปาล์มนั้น จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณกะลาปาล์มที่เป็นส่วนผสมในตัวอิฐ ทั้งนี้เนื่องจากกะลาปาล์มที่ผสมลงไปจะเป็นสิ่งที่ทำให้อิฐบล็อกประสานดูดกลืนน้ำมากขึ้น ในด้านของค่ากำลังอัดของอิฐบล็อกประสานผสมกะลาปาล์ม พบว่า ได้ค่ากำลังอัดในแต่ละอัตราส่วนผสม ดังนี้ 50.23, 46.65, 45.01, 43.71, 43.06, 29.82, 24.99 และ 22.98 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ จากค่าที่ได้แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการผสมกะลาปาล์มลงในอิฐบล็อกประสานในอัตราส่วนผสมร้อยละที่เพิ่มมากขึ้นตามลำดับก็จะทำให้ความสามารถในการรับกำลังอัดของอิฐบล็อกประสานผสมกะลาปาล์มนั้น ก็จะลดน้อยลงไปตามอัตราส่วนผสมที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602/2547 ชนิดไม่รับน้ำหนักพบว่า มีเพียงอัตราส่วนผสมร้อยละ 70 และร้อยละ 80 เท่านั้นที่มีค่าการรับกำลังอัดไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

- ยุวดี หิรัญ, วัจน์วงค์ กรีพละ และก้องรัฐ นกแก้ว (2554) ได้ศึกษาเบื้องต้นที่นำเอาดินลูกรังบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร มาผลิตบล็อกประสาน พบว่า มีค่ากำลังรับแรงอัดและค่าการดูดกลืนน้ำเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 57-2530 แต่ลักษณะของผิวบล็อกดินซีเมนต์ไม่เรียบ เนื่องจากดินลูกรังสกลนครมีความเป็นพลาสติกสูง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์

เพื่อปรับปรุงคุณภาพของบล็อกประสานที่ทำจากดินลูกรังสกลนครด้วยทรายขี้เป็ด (ทรายถมที่) โดยการแทนที่ดินลูกรังสกลนครด้วยทรายขี้เป็ดในอัตราส่วนดินลูกรังสกลนครต่อทรายขี้เป็ดดังนี้ คือ 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 จากการศึกษาพบว่าความเรียบของผิวบล็อกประสานจะเพิ่มตามปริมาณทรายที่มากขึ้น โดยดินลูกรังสกลนครต่อทรายขี้เป็ดเท่ากับ 70:30 เป็นอัตราส่วนที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดและค่าการดูดกลืนน้ำเป็นไปตามมาตรฐาน

- ชูชัย สุจิวรกุล และพินัยศักดิ์ พรหมศร (2553) ได้พัฒนาบล็อกซีเมนต์ประสานที่ใช้ซีเมนต์ และเถ้าจาก แกลบดำ แกลบขาว หรือชานอ้อย เป็นวัสดุผสมหลัก อัตราส่วนของปูนซีเมนต์ที่ใช้คงที่ ทุกอัตราส่วนเท่ากับ 1 อัตราส่วนของทรายที่ใช้เท่ากับ 0, 1 และ 2 อัตราส่วนของเถ้าแกลบดำ เถ้าแกลบขาว หรือเถ้าชานอ้อย เท่ากับ 1, 2, 3, 4 และ 5 โดยน้ำหนัก ตัวอย่างทั้งหมดได้ทำการบ่มที่อายุ 7 วัน ในถุงพลาสติก ผลการวิจัยพบว่า การเพิ่มปริมาณของเถ้าจะส่งผลกระทบต่อการใช้ปริมาณน้ำในการ ขึ้นรูปมากขึ้นและยังส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของบล็อกซีเมนต์ประสาน คือ ความหนาแน่นลดลง การดูด กลืนน้ำเพิ่มขึ้น และกำลังรับแรงอัดลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มปริมาณทรายมีผลทำให้ความหนาแน่นของบล็อกซีเมนต์ประสานเพิ่มขึ้น การดูดกลืนน้ำลดลง และกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น สรุปได้ว่า เถ้าแกลบดำและเถ้าชานอ้อย สามารถที่จะนำมาใช้ในการผลิตบล็อกซีเมนต์ประสานชนิดรับน้ำหนักได้ ส่วนเถ้าแกลบขาวไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ผลิตบล็อกซีเมนต์ประสาน แต่สามารถนำไปพัฒนาเพื่อผลิตบล็อกมวลเบาชนิดไม่รับน้ำหนักได้ดีกว่า

- ฐิติพงษ์ ชลธารกัมปนาท และคณะ (2554) ได้ศึกษาอิทธิพลของซีเมนต์ที่มีผลต่อคุณสมบัติของอิฐบล็อกประสาน โดยมส่วนผสมที่แตกต่างกันออกไป โดยเพิ่มอัตราส่วนผสมของซีเมนต์ต่อมวลรวม จาก 1:3 ถึง 1:11 โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ คงที่เท่ากับ 0.103 ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาเป็นอิฐบล็อกประสาน 2 ร่อง ชนิด 3 รูเสียบ ขนาด 25 x 12.5 x 10 เซนติเมตร บ่มด้วยความชื้นที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน แล้วจึงทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดและ การดูดซึมน้ำ จากผลการศึกษาพบว่า อิฐบล็อกประสานที่มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงที่สุดคือ อัตราส่วนที่ 1:3 มีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 204 กก./ตร.ซม. และมีค่าการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 10.77 % แต่จะใช้ซีเมนต์ในการผลิตมาก และมีค่าใช้จ่ายสูง และอัตราส่วน 1:7 เป็นอัตราส่วนที่ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 57-2553 และมีราคาประหยัดที่สุดในการผลิต ค่ากำลังรับแรงอัด มีค่าเท่ากับ 91 กก./ตร.ซม. และมีค่าการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 14.94

2.10 สมมุติฐาน

2.10.1 เศษหินภูเขาไฟจากจังหวัดบุรีรัมย์สามารถนำมาใช้เป็นมวลรวมในผลิตภัณฑ์อิฐบล็อกประสานทดแทนหินปูนหรือดินลูกรังได้ เมื่อทำการออกแบบส่วนผสมให้เหมาะสมกับการอัดขึ้นรูป

2.10.2 ผลิตภัณฑ์บล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟของจังหวัดบุรีรัมย์ สามารถมีสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล ผ่านตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.602-2547)

2.10.3 ผลิตภัณฑ์บล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟของจังหวัดบุรีรัมย์ สามารถนำไปใช้งาน ได้จริงและพัฒนาส่งเสริมให้เป็นผลิตภัณฑ์ชุมชนท้องถิ่นได้

2.11 กรอบแนวความคิด

จากข้อมูลที่ได้ทำการสำรวจและรวบรวมมาจะเห็นได้ว่า จังหวัดบุรีรัมย์เป็นแหล่งเหมืองหินภูเขาไฟ ที่มีอยู่มากมายภายในพื้นที่ แต่ประชากรภายในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ ยังต้องซื้อผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างชนิด ต่าง ๆ เพื่อทำการก่อสร้างอาคารบ้านเรือนจากจังหวัดอื่น ซึ่งทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งเป็นอย่างมาก และเมื่อพิจารณาจากฝุ่นหินภูเขาไฟที่เหลือทิ้งเป็นปริมาณมากจากข้อมูลเหมืองหินในจังหวัดบุรีรัมย์แล้ว หากนำมาพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์บล็อกประสานเพื่อใช้ภายในพื้นที่ชุมชนได้นั้น นอกจากจะเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่มีมากมายในพื้นที่ให้เกิดประโยชน์แล้ว ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งวัสดุและช่วยสร้างรายได้ให้แก่ชุมชน สามารถส่งเสริมให้เกิดวิสาหกิจชุมชนภายในพื้นที่และชุมชนในจังหวัดใกล้เคียงที่มี ลักษณะภูมิประเทศคล้ายคลึงกันได้อีกด้วย

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

โครงการ “การใช้เศษหินภูเขาไฟสำหรับพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์บล็อกประสาน” เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการทดลอง โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (ดำเนินการออกแบบส่วนผสม ทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล) และทดสอบการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งานในสภาพจริง ณ ศูนย์การเรียนรู้อาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

2) เศษหินภูเขาไฟหรือหินบะซอลต์เนื้อโพรงข่าย จากตำบลเจริญสุข อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดบุรีรัมย์ ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4

ตารางที่ 3.1 โมดูลัสความละเอียดและความถ่วงจำเพาะของเศษหินภูเขาไฟหรือหินบะซอลต์เนื้อโพรงข่าย

ชนิดมวลรวม	โมดูลัสความละเอียด (F.M.)	ความถ่วงจำเพาะ (G.S.)
เศษหินภูเขาไฟ	4.77	2.50

รูปที่ 3.1 หินบะซอลต์เนื้อโพรงข่ายจาก ตำบลเจริญสุข อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดบุรีรัมย์

3) น้ำประปา

4) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลความละเอียด 0.05 กรัม

5) เครื่องผสมคอนกรีต

รูปที่ 3.2 เครื่องผสมคอนกรีต

6) เครื่องอัดบล็อกประสานแบบมือโยก

รูปที่ 3.3 เครื่องอัดบล็อกประสานแบบมือโยก

7) แบบหล่อบล็อกประสาน ขนาด 10 x 10 x 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร
8) แบบหล่อบล็อกประสาน ขนาด 30 x 30 x 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

รูปที่ 3.4 แบบหล่อบล็อกประสาน ขนาด 30x30x5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

9) ชุดอุปกรณ์วิเคราะห์ขนาดมวลรวม (Sieve Analysis of Aggregate)
10) ชุดอุปกรณ์ทดสอบการดูดกลืนน้ำ
11) ชุดทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน
12) เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine)

รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ UTM

13) ห้องทดสอบอุณหภูมิภาคสนาม

รูปที่ 3.6 ห้องทดสอบอุณหภูมิภาคสนาม

3.2 ออกแบบอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการทำวิจัย

ออกแบบอัตราส่วนผสมจากอัตราส่วนของบล็อกประสานที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด แล้วทำการปรับเปลี่ยนส่วนผสมจากดินลูกรังให้เป็นเศษหินภูเขาไฟหรือหินบะซอลต์ในปริมาณที่น้อยและเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมบล็อกประสานผสมเศษหินภูเขาไฟหรือหินบะซอลต์โดยน้ำหนัก

อัตราส่วน	ปูนซีเมนต์	เศษหินภูเขาไฟ	น้ำ
1:6	1	6	0.16
1:7	1	7	0.17
1:8	1	8	0.18
1:9	1	9	0.19
1:10	1	10	0.20
1:11	1	11	0.21

3.3 การขึ้นรูปบล็อกประสาน

การขึ้นรูปเริ่มจากทำการตวงส่วนผสมตามที่กำหนด จากนั้นผสมเศษหินภูเขาไฟกับปูนซีเมนต์ให้เข้ากันก่อน แล้วค่อย ๆ เติมน้ำโดยใช้ฝักบัวหรือหัวฉีดพ่นให้เป็นละอองกว้างในปริมาณที่พอเหมาะ ซึ่งสามารถสังเกตปริมาณน้ำที่พอเหมาะได้จากการใช้มือกำส่วนผสมว่า สามารถจับตัวกันเป็นก้อนได้ดี ทั้งนี้ปริมาณน้ำอาจต่ำกว่าที่กำหนดได้โดยเฉพาะเมื่อส่วนผสมมีความชื้นสูง ในการผสมควรหยุดเครื่องเพื่อเกลี่ยส่วนผสมที่ติดอยู่ข้างเครื่องผสมออกเป็นระยะๆ ภายหลังจากผสมเศษหินภูเขาไฟและปูนซีเมนต์เข้ากันแล้ว ให้นำส่วนผสมดังกล่าวเข้าเครื่องอัดบล็อกประสานทันทีเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ หากบล็อกประสานถอดออกจากแบบได้ยาก ให้ทำการพรมน้ำหรือทาน้ำมันบริเวณแบบจะสามารถถอดแบบออกได้ง่ายขึ้น

รูปที่ 3.7 การผสมส่วนผสมของบล็อกประสานผสมเศษหินภูเขาไฟ

รูปที่ 3.8 การขึ้นรูปบล็อกประสานผสมเศษหินภูเขาไฟด้วยเครื่องอัดบล็อกประสานแบบมือโยก

รูปที่ 3.9 บล็อกประสานผสมเศษหินภูเขาไฟที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดบล็อกประสานแบบมือโยก

รูปที่ 3.10 การนำบล็อกประสานผสมเศษหินภูเขาไฟออกจากเครื่องอัดบล็อกประสานแบบมือโยก

รูปที่ 3.11 บล็อกประสานผสมเศษหินภูเขาไฟ

3.4 การบ่มบล็อกประสาน

นำบล็อกประสานออกจากเครื่องอัด แล้วนำมาจัดเรียงในที่ร่มจนมีอายุครบ 1 วัน เริ่มบ่มโดยการรดน้ำด้วยฝักบัวหรือฉีดพ่นเป็นละอองให้ชุ่ม แล้วคลุมด้วยผ้าพลาสติกไม่ให้ไอน้ำระเหยออก ทิ้งไว้อีก 7 วัน เพื่อความแข็งแรง พร้อมส่งออกจำหน่ายหรือใช้งานได้ ไม่ควรเคลื่อนย้ายก่อนกำหนดเพราะจะทำให้ก้อนบิ่น หรือเกิดการแตกร้าวได้ง่าย การบ่มไม่ควรให้น้ำมากเกินเพราะอาจทำให้มีปัญหาคราบขาวได้ ควรบ่มด้วยปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ คือเพียงแค่ให้มีความชื้นก็เพียงพอ

รูปที่ 3.12 การจัดเรียงบล็อกประสานผสมเศษหินภูเขาไฟสำหรับการบ่ม

3.5 การทดสอบบล็อกประสาน

การทดสอบสมบัติต่างๆ ของบล็อกประสานผสมเศษหินภูเขาไฟ กำหนดให้ใช้ตัวอย่างทดสอบจำนวน 10 ตัวอย่างต่ออัตราส่วนต่อการทดสอบ โดยมีประเภทของการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช.602-2547 เรื่องอิฐบล็อกประสาน (สมอ., 2547) ประกอบด้วย

1) ลักษณะทั่วไป ที่อายุการบ่ม 28 วัน
2) มิติ ที่อายุการบ่ม 28 วัน
3) น้ำหนักเมื่ออบแห้ง ที่อายุการบ่ม 28 วัน
4) การดูดกลืนน้ำเฉลี่ย 5 ก้อน ที่อายุการบ่ม 28 วัน

5) ความต้านทานแรงอัด ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน

นอกจากนี้ มีการทดสอบสมบัติอื่นๆ ที่มีประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานเพิ่มเติม (ASTM, 2012) ได้แก่

1) ความหนาแน่น ที่อายุการบ่ม 28 วัน
2) การหดตัวแห้ง ที่อายุการบ่ม 28 วัน
3) โมดูลัสการแตกหัก ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน
4) สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ที่อายุการบ่ม 28 วัน

รูปที่ 3.13 การทำแบบหล่อผิวหน้าของบล็อกประสานผสมเศษหินภูเขาไฟสำหรับเคลือบด้วยกำมะถัน

รูปที่ 3.14 กำมะถันที่ใช้เคลือบผิวหน้าบล็อกประสานผสมเศษหินภูเขาไฟ

รูปที่ 3.15 บล็อกประสานผสมเศษหินภูเขาไฟที่เคลือบผิวหน้าด้วยกำมะถัน

รูปที่ 3.16 การทดสอบความต้านทานแรงอัดของบล็อกประสานผสมเศษหินภูเขาไฟ

รูปที่ 3.17 การทดสอบโมดูลัสการแตกหักของบล็อกประสานผสมเศษหินภูเขาไฟ

รูปที่ 3.18 บล็อกประสานผสมเศษหินภูเขาไฟสำหรับทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

3.6 การทดสอบใช้งานจริงของบล็อกประสาน

สำหรับการทดสอบการใช้งานจริงของบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟ เป็นการคัดเลือกบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟอัตราส่วนที่เหมาะสมมาก่อเป็นผนังเปรียบเทียบกับบล็อกประสานทั่วไป ภายในห้องทดสอบอุณหภูมิภาคสนาม ณ ศูนย์การเรียนรู้อาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ซึ่งเป็นห้องปฏิบัติการขนาด 1 x 2 x 2.5 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 2 ห้อง ผนังห้องผลิตจากไม้อัดและสังกะสีบุด้วยฉนวนป้องกันความร้อน 5 ด้าน ด้านหน้าเป็นแผ่นอะคลิลิกใส ภายในมีการติดตั้งโคมไฟสปอรต์ไลท์ ขนาด 1,000 วัตต์ จำนวน 1 โคมต่อห้อง สำหรับใช้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน รวมทั้งติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล

รูปที่ 3.19 การทดสอบการใช้งานจริงในห้องทดสอบอุณหภูมิของบล็อกประสาน

3.7 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบทั้งหมดถูกจัดทำให้อยู่ในรูปของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติต่างๆ และอัตราส่วนผสม ทั้งกราฟเส้นและแผนภูมิแท่ง สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

3.8 การขอรับความคุ้มครองด้านทรัพย์สินทางปัญญา

บล็อกประสานผสมเศษหินภูเขาไฟ เป็นงานประดิษฐ์คิดค้นใหม่ ซึ่งสามารถยื่นขอรับสิทธิบัตรการประดิษฐ์/อนุสิทธิบัตรได้ โดยมีชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์ว่า “ผลิตภัณฑ์บล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟ” ทั้งนี้ ดำเนินการร่าง จัดเตรียมเอกสาร และยื่นคำขอรับสิทธิบัตรการประดิษฐ์หรืออนุสิทธิบัตร โดยหน่วยจัดการทรัพย์สินทางปัญญาและถ่ายทอดเทคโนโลยี แห่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล (TLO – RMUT)

3.9 การเผยแพร่ผลงานแก่กลุ่มเป้าหมาย

จัดทำบทความวิจัยเพื่อเผยแพร่ในงานประชุมวิชาการ รวมทั้งจัดการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับชุมชน หน่วยงานภาครัฐ และหน่วยงานภาคเอกชน ซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมาย

บทที่ 4
ผลการวิจัย

จากผลการดำเนินงานของโครงการ “การใช้เศษหินภูเขาไฟสำหรับพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์บล็อกประสาน” สามารถสรุปได้ ดังต่อไปนี้

4.1 ลักษณะทั่วไปและมิติ

จากการขึ้นรูปบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟ ทั้ง 6 อัตราส่วน สามารถสรุปลักษณะและมิติโดยทั่วไปได้ ดังตารางที่ 4.1

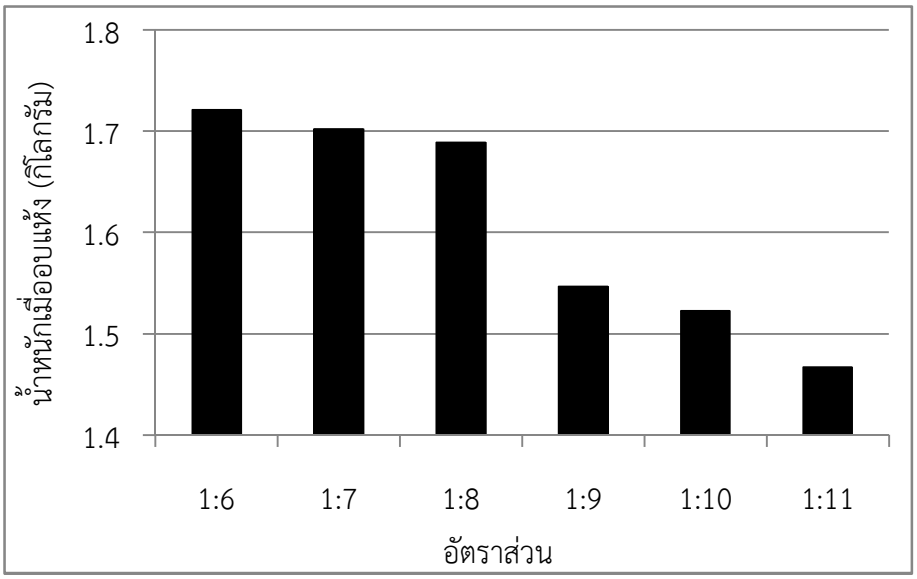
ตารางที่ 4.1 ลักษณะทั่วไปและมิติของบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟ

อัตราส่วน	ลักษณะทั่วไป	มิติ
1:6	ปกติ	ไม่คลาดเคลื่อน
1:7	ปกติ	ไม่คลาดเคลื่อน
1:8	ปกติ	ไม่คลาดเคลื่อน
1:9	ปกติ	ไม่คลาดเคลื่อน
1:10	ขอบบล็อกแตกบิ่นได้ง่าย	ไม่คลาดเคลื่อน
1:11	ขอบบล็อกแตกบิ่นได้ง่าย	ไม่คลาดเคลื่อน

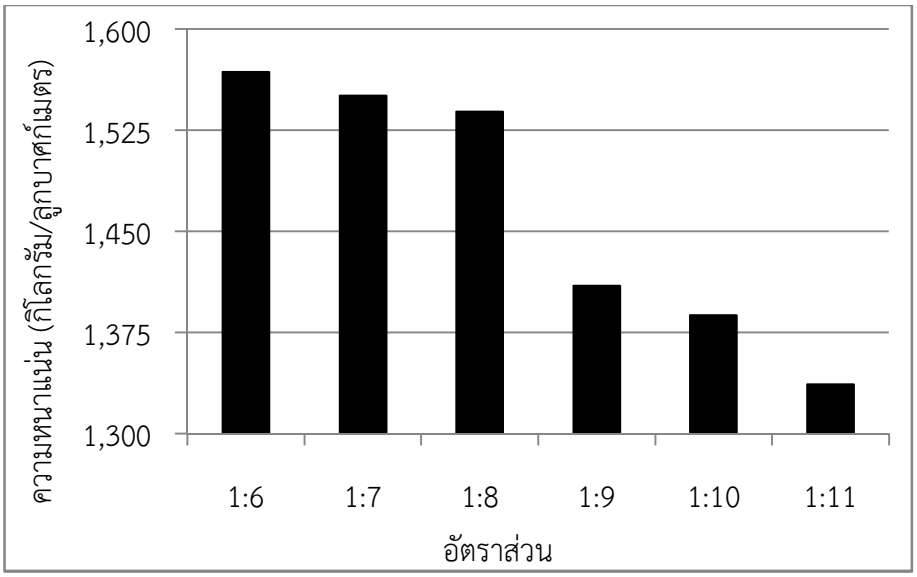
ลักษณะทั่วไปและมิติของบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟในตารางที่ 4.1 พบว่า บล็อกประสานทุกอัตราส่วนมีขนาดหรือมิติเป็นไปตามต้องการโดยไม่มีการขยายหรือหดตัว แต่ในด้านลักษณะทั่วไปของบล็อกประสานที่มีปริมาณเศษหินภูเขาไฟมาก เท่ากับ อัตราส่วน 1:10 และ 1:11 นั้น ขอบของบล็อกประสานมีการแตกบิ่นได้ง่าย เนื่องจากปูนซีเมนต์ทำหน้าที่ยึดเกาะมวลรวมมีปริมาณไม่เพียงพอ ทำให้เศษหินภูเขาไฟเกิดการหลุดและแตกบิ่นโดยเฉพาะบริเวณขอบที่มีพื้นที่การยึดเกาะน้อย และมีการไหลของส่วนผสมเข้าแบบได้ไม่ค่อยดี (ชัชวาลย์, 2552) เมื่อเปรียบเทียบลักษณะทั่วไปและมิติของบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟ ตามมาตรฐาน มผช.602-2547 เรื่องอิฐบล็อกประสาน (สมอ., 2547) สามารถสรุปได้ว่า บล็อกประสานทุกอัตราส่วนมีลักษณะและมิติ ที่เป็นไปตามเกณฑ์ของมาตรฐานทั้งหมด เพียงแต่ในอัตราส่วนที่ 1:10 และ 1:11 ต้องระวังการแตกบิ่นของขอบมากกว่าอัตราส่วนอื่นๆ

4.2 น้ำหนักเมื่ออบแห้งและความหนาแน่น

เมื่อนำบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟมาชั่งน้ำหนักภายหลังจากการอบแห้ง พร้อมทั้งหาค่าความหนาแน่นแล้ว สามารถสรุปผลได้ ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 น้ำหนักเมื่ออบแห้งของบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟ



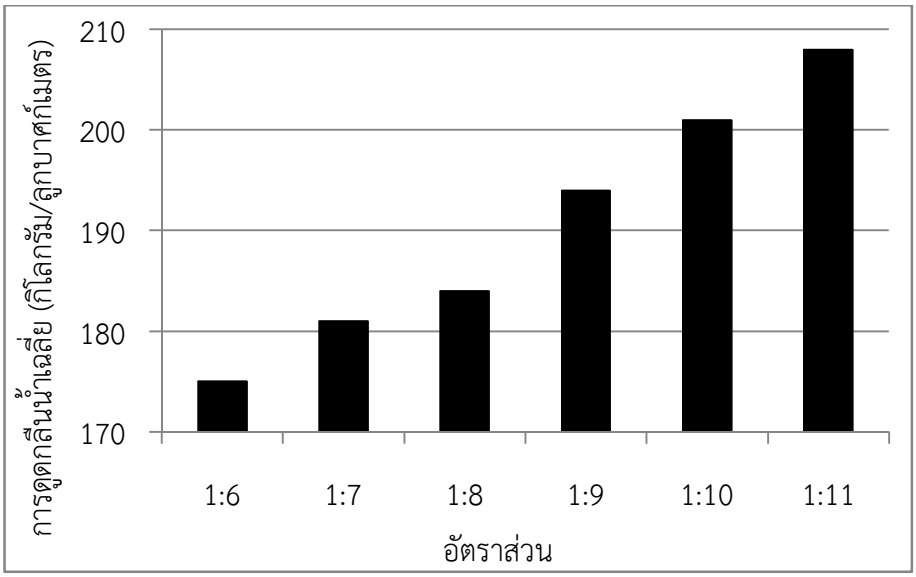
รูปที่ 4.2 ความหนาแน่นของบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟ

น้ำหนักเมื่ออบแห้งและความหนาแน่นของบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 นั้น แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของการเพิ่มปริมาณของหินภูเขาไฟ ที่ส่งผลให้บล็อกประสานมีน้ำหนักต่อก้อนและความหนาแน่นที่ลดลง โดยอัตราส่วน 1:6 เป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณเศษหินภูเขาไฟต่ำที่สุด มีน้ำหนักอบแห้งต่อก้อนและความหนาแน่นมากที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน 1:7, 1:8, 1:9, 1:10 และ 1:11 เป็นอัตราส่วนที่มีน้ำหนักอบแห้งต่อก้อนและความหนาแน่นน้อยที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากขนาดคละ การยึดเกาะและแทรกตัวของปูนซีเมนต์ รวมทั้งการเรียงตัวของส่วนผสม (ปริญญา และชัย, 2555) โดยอัตราส่วนที่มีปริมาณมวลรวมหรือเศษหินภูเขาไฟค่อนข้างมาก จะมีผลทำให้การเรียงตัวของส่วนผสมไม่ค่อยดีนักเมื่อทำการขึ้นรูป เนื่องจากขนาดของมวลรวมหรือเศษหินภูเขาไฟที่นำมาผสม มีขนาดใกล้เคียงกัน และเมื่อมวลรวมมีการเรียงตัวไม่ดี จึงมีช่องว่างภายในบล็อกประสานมาก ทำให้น้ำหนักเมื่ออบแห้งและความหนาแน่นลดลงดังกล่าว ส่วนอัตราส่วนที่มีปริมาณมวลรวมน้อย จะมีปริมาณปูนซีเมนต์

มาก ทำให้มีการแทรกตัวของปูนซีเมนต์ได้ดี จึงช่วยลดช่องว่างภายในเนื้อบล็อกประสานได้ (วุฒินัย และนรา, 2553) ดังนั้น บล็อกประสานที่มีมวลรวมหรือเศษหินภูเขาไฟน้อย จึงมีน้ำหนักอบแห้งและความหนาแน่น มากกว่าบล็อกประสานที่มีมวลรวมหรือเศษหินภูเขาไฟมาก ทั้งนี้เศษหินภูเขาไฟหรือหินบะซอลต์ที่ใช้ มีค่าโมดูลัสความละเอียด เท่ากับ 4.77 ถือว่า เป็นมวลรวมที่มีละเอียดมากกว่าหินฝุ่นที่นิยมใช้ในคอนกรีตบล็อก ซึ่งมีค่าโมดูลัสความละเอียด เท่ากับ ประมาณ 5.4 – 5.6 แต่จะหยาบกว่าดินลูกรังที่ใช้ในบล็อกประสานทั่วไป ซึ่งมีค่าโมดูลัสความละเอียด เท่ากับ 2.3 – 3.1 สำหรับน้ำหนักของเศษหินภูเขาไฟนั้น พบว่า เศษหินภูเขาไฟมีความถ่วงจำเพาะต่ำที่สุด คือ 2.50 ทำให้มีน้ำหนักเบาที่สุดเมื่อเทียบกับมวลรวมอย่างหินฝุ่นที่มีความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.60 – 2.80 และดินลูกรังที่มีความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.67 – 2.90 (ดนุพล, 2553; ดนุพล, 2552)

4.3 การดูดกลืนน้ำเฉลี่ย 5 ก้อน

จากการทดสอบการดูดกลืนน้ำเฉลี่ย 5 ก้อน ของบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟ สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.3 การดูดกลืนน้ำเฉลี่ย 5 ก้อนของบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟ

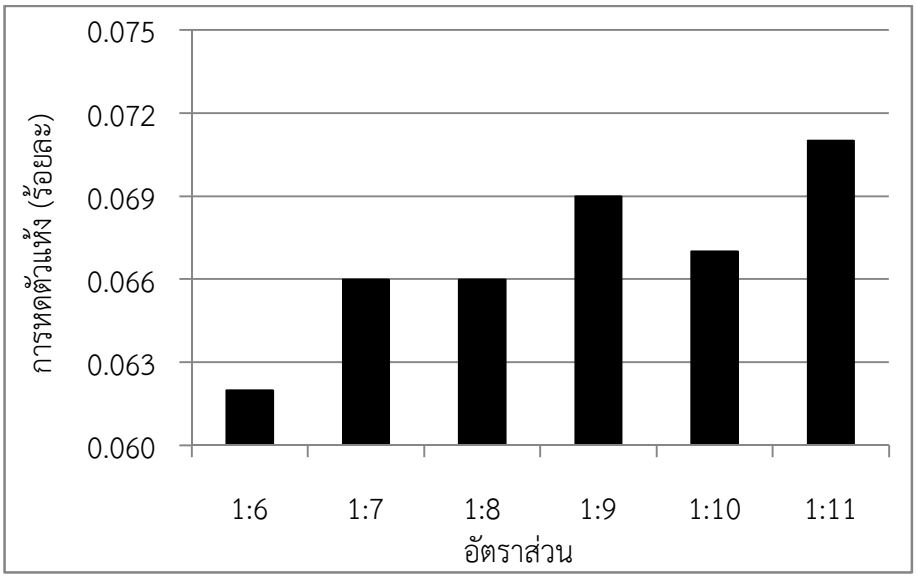
ตารางที่ 4.2 น้ำหนักเมื่ออบแห้งและการดูดกลืนน้ำของบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟ

อัตราส่วน	น้ำหนักเมื่ออบแห้ง (กิโลกรัม)	การดูดกลืนน้ำ เฉลี่ย 5 ก้อน (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
1:6	1.721	175
1:7	1.702	181
1:8	1.689	184
1:9	1.547	194
1:10	1.523	201
1:11	1.467	208

จากผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำในรูปที่ 4.3 พบว่า บล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟในอัตราส่วนที่มีปริมาณมวลรวมหรือเศษหินภูเขาไฟมาก ก็จะมีค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ย 5 ก้อน มากตามไปด้วย โดยอัตราส่วน 1:11 มีค่าการดูดกลืนน้ำมากที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน 1:10, 1:9, 1:8, 1:7 และ 1:6 มีค่าการดูดกลืนน้ำน้อยที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากการที่บล็อกประสานที่มีมวลรวมหรือเศษหินภูเขาไฟมาก จะมีช่องว่างหรือโพรงอากาศภายในเนื้อบล็อกประสานมากเช่นกัน ซึ่งช่องว่างดังกล่าวเป็นสาเหตุหลักของการดูดกลืนน้ำ ดังเห็นได้จากค่าความหนาแน่นที่ต่ำของบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟอัตราส่วน 1:11 ซึ่งแสดงถึงการมีช่องว่างมาก จึงทำให้มีค่าการดูดกลืนน้ำมากตามไปด้วย นอกจากนี้ความพรุนของเศษหินภูเขาไฟหรือหินบะซอลต์ที่นำมาผสม (El-Alfi et al., 2004; Youssef et al., 2004) ซึ่งความพรุนที่มาก จะมีช่องว่างสำหรับอากาศ และการดูดกลืนน้ำมากเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนน้ำตามมาตรฐาน มผช.602-2547 เรื่องอิฐบล็อกประสาน (สมอ., 2547) โดยใช้เกณฑ์การดูดกลืนน้ำสูงสุดตามน้ำหนักบล็อกประสานเมื่ออบแห้ง (ตารางที่ 4.2) พบว่า บล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟทั้งหมด มีค่าการดูดกลืนน้ำผ่านตามที่มาตรฐานกำหนด

4.4 การหดตัวแห้ง

การหดตัวแห้งหรือการหดตัวทางยาวของบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟ ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังนี้

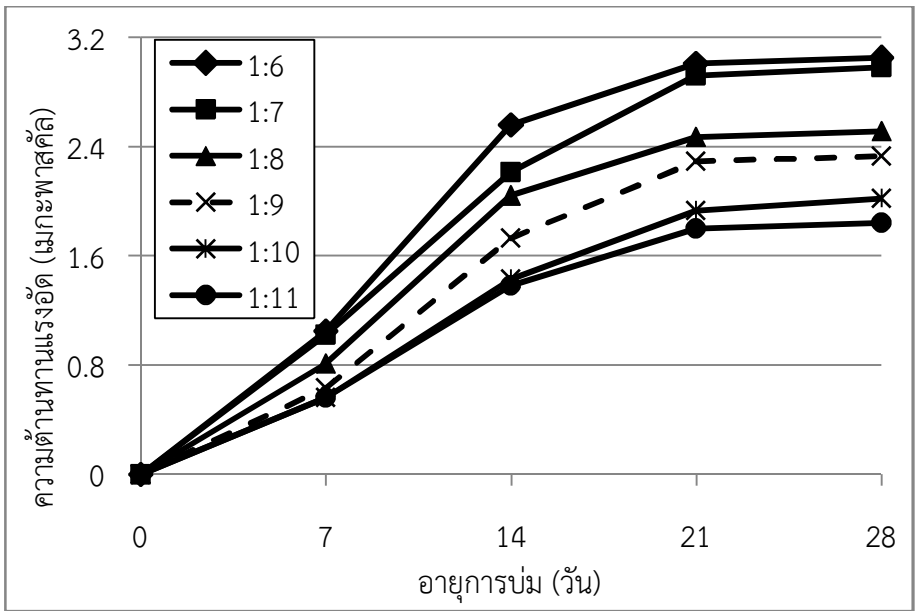


รูปที่ 4.4 การหดตัวแห้งของบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟ

จากรูปที่ 4.4 พบว่า บล็อกประสานที่มีปริมาณเศษหินภูเขาไฟมาก มีแนวโน้มของค่าการหดตัวแห้งที่สูงกว่าบล็อกประสานที่มีปริมาณเศษหินภูเขาไฟน้อย เนื่องจากปริมาณเศษหินภูเขาไฟมีผลต่อช่องว่างหรือรูพรุนของบล็อกประสานที่มาก ซึ่งมีผลต่อการสูญเสียความชื้นได้ง่ายและเกิดการหดตัวแห้งค่อนข้างสูง (วินิต, 2527) อย่างไรก็ตาม การหดตัวดังกล่าวก็ไม่มีผลต่อการใช้งานบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟ

4.5 ความต้านทานแรงอัด

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดหรือกำลังอัดของบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟหรือหินบะซอลต์ ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.5

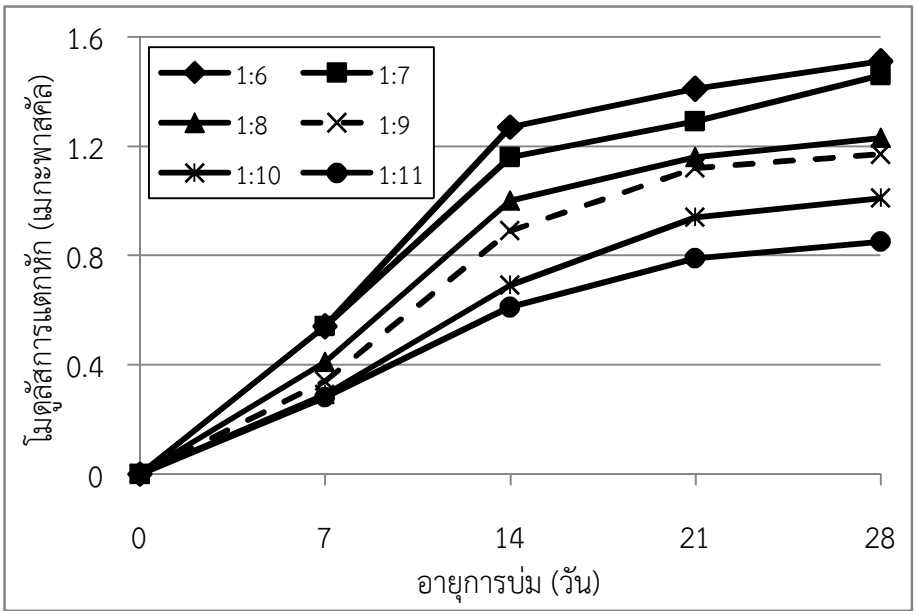


รูปที่ 4.5 ความต้านทานแรงอัดของบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟ

จากรูปที่ 4.5 พบว่า ความต้านทานแรงอัดของบล็อกประสานที่มีปริมาณมวลรวมจากเศษหินภูเขาไฟหรือหินบะซอลต์น้อยที่สุดอย่างอัตราส่วน 1:6 นั้นมีค่าความต้านทานแรงอัดสูงที่สุด รองลงมาคืออัตราส่วน 1:7, 1:8, 1:9, 1:10 และ 1:11 เป็นอัตราส่วนที่มีความต้านทานแรงอัดต่ำที่สุด ทั้งนี้เมื่อเทียบความต้านทานแรงอัดของบล็อกประสานที่ได้กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.602-2547) เรื่องอิฐบล็อกประสาน (สมอ., 2547) ที่กำหนดให้ความต้านทานแรงอัดของบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักมีค่าไม่ต่ำกว่า 2.5 เมกะพาสคัล ที่อายุการบ่ม 28 วัน เห็นได้ว่า อัตราส่วนที่มีปริมาณเศษหินภูเขาไฟไม่เกิน 1:8 ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถผ่านตามที่มาตรฐานกำหนด โดยอัตราส่วน 1:8 มีความต้านทานแรงอัด เท่ากับ 2.51 เมกะพาสคัล อัตราส่วน 1:7 เท่ากับ 2.98 เมกะพาสคัล และอัตราส่วน 1:6 เท่ากับ 3.05 เมกะพาสคัล เป็นผลมาจากปริมาณมวลรวมที่มากของบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟ มีผลต่อปริมาณที่น้อยลงของปูนซีเมนต์ ซึ่งทำหน้าที่ยึดมวลรวมและเพิ่มความแข็งแรงให้กับบล็อกประสาน จึงทำให้บล็อกประสานมีความต้านทานแรงอัดลดลง (วุฒินัย และนรา, 2553) ประกอบกับลักษณะเนื้อหินบะซอลต์ที่นำมาผสมมีความพรุนค่อนข้างสูง ทำให้มีพื้นที่รับแรงค่อนข้างต่ำ ดังนั้นเมื่อผสมหินบะซอลต์ในปริมาณมาก จึงมีพื้นที่รับแรงอัดลดลง และความต้านทานแรงอัดมีค่าลดลง (El-Alfi et al., 2004; Youssef et al., 2004; ประชุม และคณะ, 2554)

4.6 โมดูลัสการแตกหัก

ในการทดสอบโมดูลัสการแตกหัก กำลังดัด หรือความต้านทานแรงดัดของบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟ ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน สามารถสรุปผลได้ ดังรูปที่ 4.6

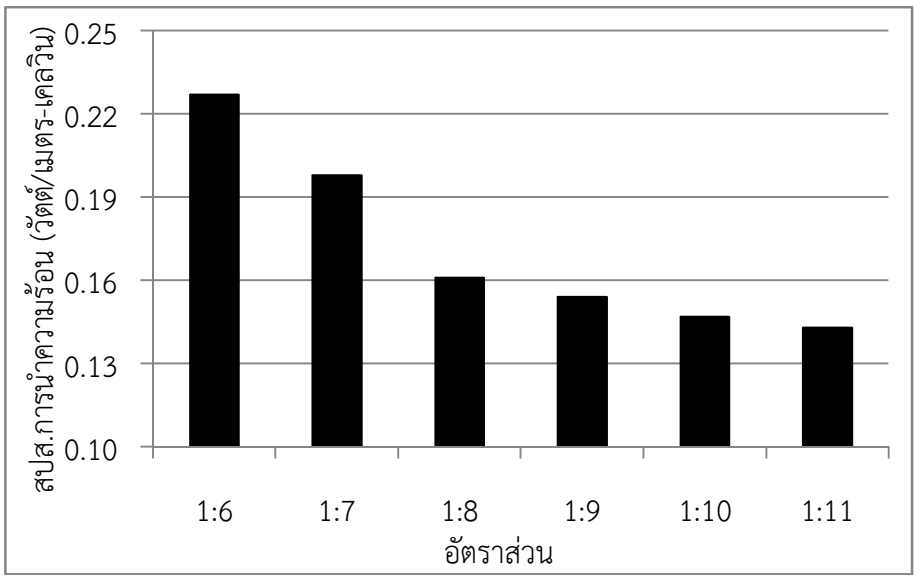


รูปที่ 4.6 โมดูลัสการแตกหักของของบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟ

โมดูลัสการแตกหัก เป็นสมบัติทางกลที่ไม่มีระบุอยู่ในมาตรฐาน มผช.602-2547 เรื่องบล็อกประสาน (สมอ., 2547) แต่ก็เป็นสมบัติทางกลที่สำคัญ เนื่องจากการก่อผนังด้วยอิฐบล็อกประสานบางครั้งส่วนล่างของผนังอาจไม่เรียบ จึงทำให้เกิดแรงดัดขึ้นในตัวของวัสดุได้ จากรูปที่ 4.6 พบว่า ผลการทดสอบโมดูลัสการแตกหักมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อมีการเพิ่มปริมาณเศษหินภูเขาไฟมากขึ้น ซึ่งเป็นไปในทางเดียวกับความต้านทานแรงอัด (ประชุม และกิตติพงษ์, 2557)

4.7 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟ สามารถวัดได้จากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ซึ่งมีผลการทดสอบ ดังรูปที่ 4.7

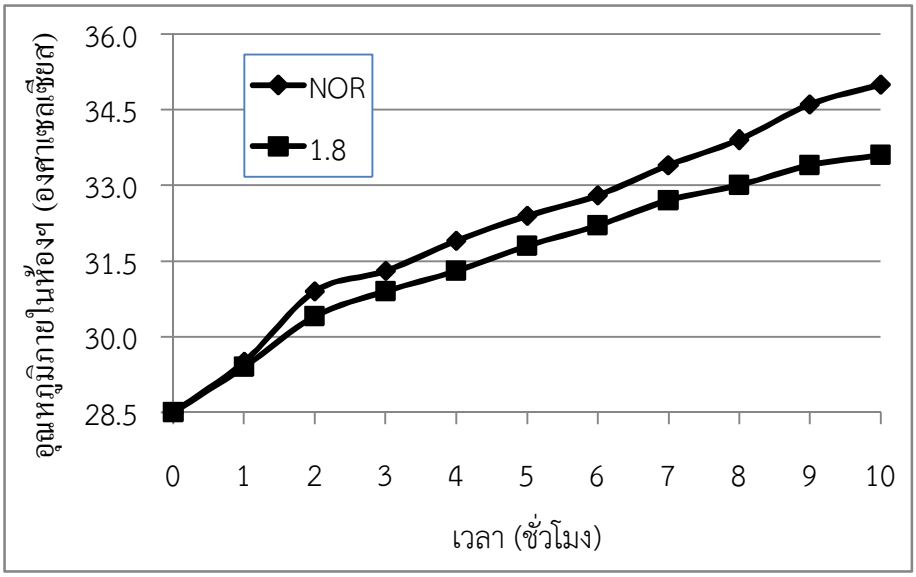


รูปที่ 4.7 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟ

จากรูปที่ 4.7 พบว่า บล็อกประสานผสมเศษหินภูเขาไฟมีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี โดยเฉพาะเมื่อมีการผสมเศษหินภูเขาไฟในปริมาณที่มากขึ้น สังเกตได้จากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ลดต่ำลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากเนื้อของบล็อกประสานที่หนาแน่นน้อยลง และลักษณะของเศษหินภูเขาไฟที่มีรูพรุนจำนวนมาก (El-Alfi et al., 2004; Youssef et al., 2004) ทำให้บล็อกประสานที่มีเศษหินภูเขาไฟปริมาณมาก มีสมบัติด้านการนำความร้อนต่ำ ความร้อนจึงผ่านเนื้อหินภูเขาไฟได้ช้า (สมพิศ และคณะ, 2555) ดังนั้นเศษหินภูเขาไฟหรือหินบะซอลต์จึงเป็นมวลรวมที่ดีของบล็อกประสาน ซึ่งมีคุณสมบัติในด้านความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน โดยเฉพาะเมื่อเทียบกับคอนกรีต, อิฐมอญ และคอนกรีตบล็อกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เท่ากับ 1.28, 1.15 และ 0.519 วัตต์/เมตร-เคลวิน ตามลำดับ (Young, 1992)

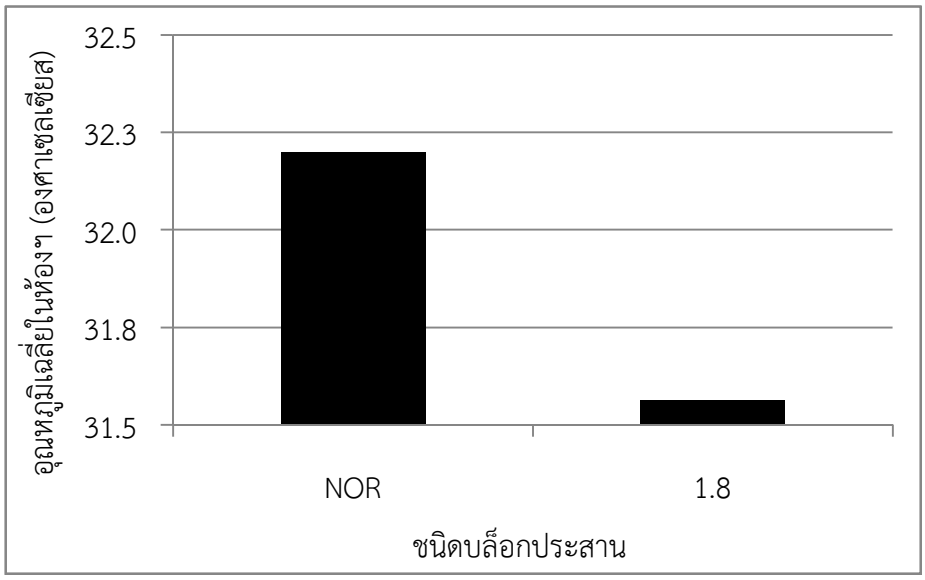
4.8 การทดสอบใช้งานจริง

จากผลการทดสอบการใช้งานจริง โดยการก่อผนังด้วยบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟที่อัตราส่วน 1:8 เปรียบเทียบกับผนังที่ก่อด้วยบล็อกประสานทั่วไปที่ใช้ดินลูกรัง (NOR) ภายในห้องทดสอบอุณหภูมิภาคสนาม ณ ศูนย์การเรียนรู้อาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ใช้โคมไฟสปอรต์ไลท์ ขนาด 1,000 วัตต์ เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน ทำการวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องมือวัดแบบดิจิตอล ความละเอียด 0.1 องศาเซลเซียส ในวันที่ 28 – 29 สิงหาคม 2557 ระหว่างเวลา 19.00 – 05.00 น. วัดอุณหภูมิจำนวน 10 ครั้ง ครั้งละ 5 จุด ตั้งแต่เวลา 20.00 ถึง 05.00 น. ซึ่งมีผลการทดสอบเฉลี่ย ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.8 อุณหภูมิภายในห้องทดสอบของบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟ

ผลของค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่แตกต่างกัน มีผลต่ออุณหภูมิที่ส่งผ่านผนังขณะใช้งานจริงมากพอสมควร (สสอ., 2552) ดังเห็นได้จากรูปที่ 4.8 โดยห้องที่ก่อผนังด้วยบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟอัตราส่วน 1:8 (สัมประสิทธิ์การนำความร้อน เท่ากับ 0.161 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน) มีอุณหภูมิต่ำกว่าห้องที่ก่อผนังด้วยบล็อกประสานทั่วไปที่ใช้ดินลูกรัง ณ ชั่วโมงที่ 10 ได้มากถึง 1.40 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เป็นผลมาจากความหนาแน่นที่ต่ำของบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟ ตลอดจนลักษณะของหินภูเขาไฟหรือหินบะซอลต์ที่มีรูพรุนมาก (El-Alfi et al., 2004; Youssef et al., 2004) ทั้งนี้อุณหภูมิภายในห้องทดสอบเฉลี่ย ช่วงเวลา 10 ชั่วโมง สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องทดสอบของบล็อกประสาน

4.9 การวิเคราะห์ต้นทุนเชิงเศรษฐศาสตร์

ผลการวิเคราะห์ต้นทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ของบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟเปรียบเทียบกับบล็อกประสานทั่วไปที่ใช้ดินลูกรัง สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ต้นทุนของบล็อกประสานในวันที่ 25 สิงหาคม 2557 ณ จังหวัดบุรีรัมย์ (บาท)

ประเภทต้นทุน	บล็อกประสานทั่วไป1:7	บล็อกประสาน 1:6	บล็อกประสาน 1:7	บล็อกประสาน 1:8	บล็อกประสาน 1:9	บล็อกประสาน 1:10	บล็อกประสาน 1:11
ต้นทุนวัสดุต่อก้อน	1.13	0.69	0.61	0.55	0.47	0.43	0.39
ต้นทุนแรงงานต่อก้อน	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ต้นทุนรวม	**3.13**	**2.69**	**2.61**	**2.55**	**2.47**	**2.43**	**2.39**

จากตารางที่ 4.3 พบว่า ต้นทุนหลักของบล็อกประสานอยู่ที่ต้นทุนแรงงานมากกว่าต้นทุนวัสดุ โดยบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟทุกอัตราส่วน มีต้นทุนรวมต่อก้อนระหว่าง 2.39 – 2.69 บาท ซึ่งต่ำกว่าบล็อกประสานทั่วไปที่ใช้ดินลูกรังที่มีต้นทุนอยู่ที่ 3.13 บาท ทั้งนี้ต้นทุนดังกล่าวเป็นต้นทุนที่ได้จากการสำรวจ ในวันที่ 25 สิงหาคม 2557 ณ จังหวัดบุรีรัมย์ โดยสามารถสรุปรายละเอียดของต้นทุนต่างๆได้ ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 รายละเอียดต้นทุนของบล็อกประสานในวันที่ 25 สิงหาคม 2557 ณ จังหวัดบุรีรัมย์ (บาท)

ส่วนผสม	บล็อกประสานทั่วไป1:7	บล็อกประสาน 1:6	บล็อกประสาน 1:7	บล็อกประสาน 1:8	บล็อกประสาน 1:9	บล็อกประสาน 1:10	บล็อกประสาน 1:11
ปูนซีเมนต์ประเภท1 (125 บาท/ 50 กก.)	0.94 (0.38กก.)	0.61 (0.25กก.)	0.53 (0.21กก.)	0.47 (0.19กก.)	0.39 (0.15กก.)	0.35 (0.14กก.)	0.31 (0.12กก.)
ดินลูกรัง (80 บาท/1,000 กก.)	0.18 (2.25กก.)	-	-	-	-	-	-
เศษหินภูเขาไฟ (50 บาท/1,000 กก.)	-	0.07 (1.48กก.)	0.07 (1.49กก.)	0.07 (1.50กก.)	0.07 (1.39กก.)	0.07 (1.38กก.)	0.07 (1.34กก.)
น้ำประปา (21.90 บาท/ลบ.ม.)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
แรงงานคน (1 บาท/ก้อน)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
รวมทั้งสิ้น	**3.13**	**2.69**	**2.61**	**2.55**	**2.47**	**2.43**	**2.39**

หมายเหตุราคาปูนซีเมนต์จาก ร้านจำหน่ายวัสดุก่อสร้าง อ.เมืองบุรีรัมย์ จ.บุรีรัมย์
ราคาดินลูกรังจาก ผู้รับเหมาถมดิน อ.เมืองบุรีรัมย์ จ.บุรีรัมย์
ราคาเศษหินภูเขาไฟคำนวณจากค่าขนส่งจาก บริษัท แบล็คซี จำกัด อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.บุรีรัมย์
ราคาน้ำประปาจาก การประปาส่วนภูมิภาค

4.10 การขอรับความคุ้มครองด้านทรัพย์สินทางปัญญา

บล็อกประสานผสมเศษหินภูเขาไฟ เป็นงานประดิษฐ์คิดค้นใหม่ ซึ่งสามารถยื่นขอรับอนุสิทธิบัตรได้ โดยใช้ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์ว่า “กรรมวิธีการผลิตบล็อกประสานจากเศษหินบะซอลต์”

ทั้งนี้ ได้รับความช่วยเหลือในการร่าง การจัดเตรียมเอกสาร และการยื่นคำขอรับอนุสิทธิบัตร จากหน่วยจัดการทรัพย์สินทางปัญญาและถ่ายทอดเทคโนโลยี แห่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล (TLO – RMUT)

4.11 การเผยแพร่ผลงานแก่กลุ่มเป้าหมาย

บทความวิจัยจากผลการดำเนินโครงการ “การใช้เศษหินภูเขาไฟสำหรับพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์บล็อกประสาน” ถูกเผยแพร่ในงานประชุมวิชาการ รวมทั้งมีการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับชุมชน หน่วยงานภาครัฐ และหน่วยงานภาคเอกชน ดังนี้

1) บทความวิจัยเรื่อง “การใช้เศษหินภูเขาไฟสำหรับพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์บล็อกประสาน” ได้รับการตีพิมพ์และนำเสนอในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิจัยประชาชื่น “วิจัยสู่นวัตกรรม นำไทยพัฒนาอย่างยั่งยืน” ในวันที่ 6 มิถุนายน 2557 ณ ห้องประชุมกิจจาทร 1 ชั้น 4 อาคารปิยมหาราช (อาคาร 20) มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร บางเขน กรุงเทพมหานคร

2) บทความวิจัยเรื่อง “การพัฒนาผลิตภัณฑ์บล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟ” ได้รับการตีพิมพ์และนำเสนอในการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 10 ในวันที่ 20-22 ตุลาคม 2557 ณ โรงแรมดุสิต ไอส์แลนด์ รีสอร์ท จังหวัดเชียงราย

3) บทความวิจัยเรื่อง “การใช้เศษหินภูเขาไฟสำหรับพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์บล็อกประสาน” ได้รับการพิจารณาให้ตีพิมพ์ในวารสาร Kasetsart Journal (Natural Science) (อยู่ระหว่างการดำเนินการ)

นอกจากนี้ มีผู้ประกอบการสนใจรับการถ่ายทอดเทคโนโลยี และได้นำไปประยุกต์ใช้เบื้องต้นแล้ว จำนวน 2 ราย ประกอบด้วย

1) บริษัท อริยะสุทธิ อินเตอร์เทรด จำกัด

2) และ บริษัท เอ.เอ็ม.ที ดีไซน์ แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

โครงการ “การใช้เศษหินภูเขาไฟสำหรับพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์บล็อกประสาน” มีผลการดำเนินงาน ซึ่งสามารถสรุปผลและข้อเสนอแนะได้ ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผล

เศษหินภูเขาไฟหรือหินบะซอลต์เนื้อโพรงข่ายจากจังหวัดบุรีรัมย์ เมื่อนำมาผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำประปา สามารถอัดขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์บล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟได้ โดยใช้กระบวนการเดียวกับบล็อกประสานทั่วไปที่ใช้ดินลูกรัง ทั้งนี้อัตราส่วนผสมของบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟที่เหมาะกับการนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์บล็อกประสานในเชิงพาณิชย์ คือ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเศษหินภูเขาไฟต่อน้ำประปา เท่ากับ 1: 8: 0.18 โดยน้ำหนัก ได้บล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟที่มีสมบัติทางกายภาพและทางกลผ่านตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช.206-2547 เรื่องอิฐบล็อกประสาน กำหนด และมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่าบล็อกประสานทั่วไปที่ใช้ดินลูกรัง เมื่อนำไปถ่ายทอดสู่กลุ่มเป้าหมายผ่านการประชุมวิชาการ การตีพิมพ์ลงวารสาร และการให้คำปรึกษาโดยตรง ทำให้มีผู้ประกอบการภาคเอกชนที่นำองค์ความรู้จากงานวิจัยไปพัฒนาต่อยอดในกระบวนการผลิตแล้ว จำนวน 2 บริษัท

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการพัฒนาบล็อกประสานจากเศษหินภูเขาไฟต่อไปนั้น ควรมีการเพิ่มมวลรวมขนาดเล็กเข้าไปในส่วนผสม เพื่อช่วยให้บล็อกประสานมีเนื้อที่แน่นและมีความแข็งแรงสูงขึ้น ตลอดจนควรมีการนำองค์ความรู้ที่ได้ ไปพัฒนาต่อยอดในงานอื่นเพิ่มเติม เพื่อส่งเสริมให้มีการใช้ประโยชน์จากเศษหินภูเขาไฟซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติได้อย่างคุ้มค่ามากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี, 2553. **การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดบุรีรัมย์.** กรมทรัพยากรธรณี. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 96 หน้า.

จรูญ เจริญเนตรกุล, 2555. **อิฐบล็อกประสานผสมกะลาปาล์ม.** การประชุมวิชาการการพัฒนาชนบทที่ยั่งยืนประจำปี 2555, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 16-19กุมภาพันธ์ 2555. หน้า467-474.

ชูชัย สุจิวรกุล และพินัยศักดิ์ พรหมศร, 2553. **บล็อกซีเมนต์ประสานที่ใช้เถ้าแกลบดำ เถ้าแกลบขาว หรือเถ้าชานอ้อยเป็นส่วนผสม.** การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 6, ณ โรงแรมแกรนด์ แปซิฟิค ซอฟเฟอริน รีสอร์ท แอนด์ สปา, เพชรบุรี. 20-22 ตุลาคม 2553. หน้า 419-426.

ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2540, **คอนกรีตเทคโนโลยี**, กรุงเทพมหานคร, พิมพ์ครั้งที่ 5, หน้า 25-30.

ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2552. **ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน**, กรุงเทพฯ, บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย อุตสาหกรรม จำกัด.

ฐิติพงษ์ ชลธารกัมปนาท, ชูเกียรติ นิรา, พฤศจี จันทเขตร, ราตรี สีสมบัติ, สมชาญนัคร วรายุทธ, สินาด โกศลานันท์ และวรเชษฐ ป้อมเชียงพิณ, 2554. **การศึกษาอิทธิพลของซีเมนต์ที่มีผลต่อคุณสมบัติของอิฐบล็อกประสาน.** ปริญญานิพนธ์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และอัญมณีศาสตร. มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.

ดนุพล ตันนโยภาส, 2552. **วิทยาแร่.** พิมพ์ครั้งที่ 2, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ดนุพล ตันนโยภาส, 2553. **แร่และหิน.** พิมพ์ครั้งที่ 2, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ประชุม คำพุฒ และกิตติพงษ์ สุวีโร, 2557. **การใช้เศษหินภูเขาไฟสำหรับพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก**. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19.

ประชุม คำพุฒ, สมเกียรติ รุ่งทองใบสุรีย์ และกิตติพงษ์ สุวีโร, 2554. บล็อกประสานจากหน้าดินขาว, **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4**, จังหวัดชลบุรี.

ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2555. **ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต.** พิมพ์ครั้งที่ 7, สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย (ส.ค.ท.), หน้า 2.

ยงยุทธ ชัยเขตร, ปิยนัฐ สุขรัฐ, สนธยา จวนเจริญ และวีระ เนตราทิพย์, 2551. **การใช้ประโยชน์จากผงหินบะซอลต์ในการทำเนื้อดินหล่อเซรามิกส์,** ในโครงงานอุตสาหกรรมสำหรับปริญญาตรี 2551. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ยุวดี หิรัญ, วัจน์วงค์ กรีพละ และก้องรัฐ นกแก้ว, 2554. **การปรับปรุงคุณภาพบล็อกประสานที่ทำจากดินลูกรังสกลนครด้วยทรายขี้เป็ด**. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 16, ณ โรงแรมเดอะซายน์, พัทยา, ชลบุรี. 18-20 พฤษภาคม 2554. MAT032. 10 หน้า.

วิกิพิเดียสารานุกรมเสรี, 2555. **หินภูเขาไฟ.** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก www.wikipedia.org/wiki/. 15 สิงหาคม 2555.

วุฒินัย กกกำแหง และนรา รัตนวงศ์, 2553. **บล็อกประสานจากหน้าดินขาว**, งานวิจัยวิศวกรโยธา ฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชนบท, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.).

วินิต ช่อวิเชียร, 2527. **คอนกรีตเทคโนโลยี**, กรุงเทพมหานคร, พิมพ์ครั้งที่ 5.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), 2547. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช.602-2547 เรื่องอิฐบล็อกประสาน**, กรุงเทพฯ, กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (สสอ.), 2552. **ฉนวนความร้อน,** กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, http://www2.dede.go.th/dede/homesafe/book/acc.htm.

สมพิศ ตันตวรนาท, ประชุม คำพุฒ และกิตติพงษ์ สุวีโร, 2555. **การเพิ่มประสิทธิภาพการเป็นฉนวนความร้อนและการรับกำลังของคอนกรีตบล็อกผสมน้ำยางธรรมชาติ : กรณีผสมมวลรวมขนาดต่างกัน.** การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 17 “วิศวกรรมโยธากับการพัฒนาเชิงบูรณาการ”, ณ โรงแรม เซ็นทารา แอนด์คอนเวนชั่นเซ็นเตอร์, อุดรธานี, 9-11 พฤษภาคม 2555, หน้า MAT029-1- MAT029-8.

Abdel-Hameed, S.A.M. and Bakr, I.M., 2007. Effect of alumina on ceramic properties of cordierite glass–ceramic from basalt rock. **Journal of the European Ceramic Society.** 27(2-3), 1893–1897.

American Society for Testing and Materials (ASTM), 2012. **Annual Book of ASTM Standards**, Philadelphia.

El-Mahllawy, M.S., 2008. Characteristics of acid resisting bricks made from quarry residues and waste steel slag. **Construction and Building Materials**. 22(8), 1887-1896.

El-Alfi, E.A., Othman, A.G. and Elwan, M.M., 1999. Physico-mechanical propert ies of basalt-clay bricks. **Industrial Ceramics.** 19(3), 145-150.

El-Alfi, E.A., Radwan, A.M. and Ali, M.H., 2004. Physico-mechanical properties of basalt bricks. **International Ceramic Review**. 53(3), 178–181.

Karamanov, A., Ergul, S., Akyildiz, M. and Pelino, M., 2007. Sinter-crystallization of a glass obtained from basaltic tuffs. **Journal of Non-Crystalline Solids**. 354(2-9), 290-295.

Yilmaz, S., Ozkan, O.T. and Gunay, V., 1996. Crystallization kinetics of basalt glass. **Ceramics International**. 22(6), 477-481.

Youssef, N.F., Osman, T.A. and El-Shimy, E., 2004. Utilization of granite–basalt fine quarry waste in a ceramic floor tile mixture. **Journal Silicate Industries.** 69(1–2), 7–13.

Young, Hugh D., 1992. **Hyper Physics**. University Physics. Addison Wesley.

ภาคผนวก