

Template Innovation Technology Database

1. ชื่อเทคโนโลยี (Technology Title) :								
การนำเส้นใยจากหินบะซอลต์มาใช้เป็นวัตถุดิบในภาคอุตสาหกรรม								
2. ประเภทกลุ่มอุตสาหกรรม (Industrial Sector) :								
<input type="checkbox"/>	อุตสาหกรรมแร่		<input type="checkbox"/>	อุตสาหกรรมโลหการ		<input type="checkbox"/>	อุตสาหกรรมรีไซเคิล	
3. ระดับความพร้อมของเทคโนโลยี (Technology Readiness Levels) :								
ระดับต่ำ						ระดับสูง		
TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9
Basic principle observed and reported	Technology concept and/or application formulated	Concepts demonstrated analytically or experimentally	Key elements demonstrated in laboratory environment	Key elements demonstrated in simulated environment	Representative of the deliverable demonstrated in relevant environments	Final development version of the deliverable demonstrated in operational environment	Actual deliverable qualified through test and demonstration	Operational use of deliverable
└──────────────────┘			└──────────┘		└──────────┘			
องค์ความรู้และการวิจัยพื้นฐาน			ต้นแบบห้องปฏิบัติการ		ต้นแบบภาคสนาม			
4. รายละเอียดโดยสังเขป (Details Description) :								
แนวคิด :	<p>ใยบะซอลต์เป็นเส้นใยแก้วจากการหลอมหินบะซอลต์และขึ้นรูปเป็นเส้นใย มีการนำมาใช้เป็นวัสดุทางเลือกแทนการใช้แร่ใยหินในผลิตภัณฑ์หลายชนิดในต่างประเทศ ทั้งนี้ในประเทศไทยไม่ได้มีการศึกษาถึงเทคโนโลยีการผลิตบะซอลต์ที่เหมาะสมกับแหล่งบะซอลต์ของประเทศไทย ดังนั้น กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (กพร.) จึงได้มีการดำเนินการจัดทำองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีของหินบะซอลต์เพื่อเป็นแนวทางในการส่งเสริมให้เกิดการผลิตบะซอลต์เชิงพาณิชย์ในอนาคต นอกจากนี้ยังเป็นทางเลือกให้แก่ผู้ประกอบการในการเลือกใช้ลักษณะเส้นใยบะซอลต์ที่เหมาะสมกับภาคอุตสาหกรรม ซึ่งปัจจุบันอยู่ในขั้นตอนการผลักดันให้ภาคอุตสาหกรรมต่าง เช่น กระเบื้องมุงหลังคา ท่อซีเมนต์ แก้วและกระจก วัสดุเสริมแรงต่าง ๆ เป็นต้น</p> <p>เพื่อให้งานวิจัยเห็นผลเป็นที่ประจักษ์และสร้างแรงจูงใจแก่ผู้ประกอบการในการลงทุน จึงได้เลือกผลิตภัณฑ์ที่มีการบริโภคภายในประเทศค่อนข้างสูงคือผลิตภัณฑ์ในกลุ่มกระเบื้องซีเมนต์ที่ประกอบด้วยกระเบื้องลอนและกระเบื้องแผ่นเรียบ โดยได้ทดลองประยุกต์ใช้งานเส้นใยบะซอลต์เป็นวัสดุเสริมแรงในผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ ด้วยเห็นว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ยังมีการใช้แร่ใยหินแอสเบสทอสเป็นวัสดุเสริมแรงและยังมีความนิยมใช้กันอยู่ ซึ่งผลิตภัณฑ์กระเบื้องไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ใช้แร่ใยหินแอสเบสทอสยังมีข้อได้เปรียบทางด้านต้นทุนวัตถุดิบและความแข็งแรงที่ดีกว่ากระเบื้องไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ไม่ใช้แร่ใยหิน หากสามารถใช้ใยบะซอลต์ที่มืองค์ประกอบและความแข็งแรงเฉพาะตัวที่มีความโดดเด่นกว่าใยชนิดอื่นที่ใช้ทดแทนแร่ใยหินในปัจจุบัน อย่างเช่น เส้นใยเซลลูโลสหรือใยธรรมชาติซึ่งจำเป็นต้องผ่านกระบวนการอบด้วยแรงดันไอน้ำ และใยพลาสติกที่มีราคาแพงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ</p>							

<p>ลักษณะและองค์ประกอบของวัสดุตั้งต้น :</p>	<p>เส้นใยบะซอลต์จะมีลักษณะเป็นเส้นใยสีเหลืองอ่อน อาจมีเม็ดสีดำปน ออกมาบ้างซึ่งเป็นหัวของเส้นใยขณะถูกปั่นและเป่าออกมา ในการผลิตระดับอุตสาหกรรมจะมีการคัดแยกขนาดและคัดเอาหัวของเส้นใยออกไป มีผ่านศูนย์กลางในช่วง 1 ถึง 20 ไมโครเมตร</p> <table border="1" data-bbox="512 353 1433 674"> <thead> <tr> <th>Fiber type</th> <th>Diameter (0.001 in)</th> <th>Density (g/cm³)</th> <th>Tensile strength (MPa)</th> <th>Elastic modulus (GPa)</th> <th>Resistance to alkaline</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Basalt</td> <td>0.78 – 1.6</td> <td>2.65</td> <td>3,450 – 4,900</td> <td>88 – 110</td> <td>Very good</td> </tr> <tr> <td>Asbestos (Chrysotile)</td> <td>0.0008 – 1.2</td> <td>2.55</td> <td>1,100 – 4,400</td> <td>60 – 110</td> <td>Very good</td> </tr> <tr> <td>PVA (LT, HT)</td> <td>1 – 160</td> <td>1.30</td> <td>680 – 1,170</td> <td>3.8 – 19.8</td> <td>Very good</td> </tr> <tr> <td>Cellulose fiber (Pinus)</td> <td>0.8 – 4.7</td> <td>1.50</td> <td>90 – 110</td> <td>5.0 – 7.0</td> <td>Very good</td> </tr> <tr> <td>E – CR glass</td> <td>0.4 – 0.5</td> <td>2.60</td> <td>3,300 – 3,800</td> <td>80 – 81</td> <td>Fair</td> </tr> <tr> <td>AR glass</td> <td>0.4 – 0.5</td> <td>2.60</td> <td>1,000 – 1,700</td> <td>68 – 72</td> <td>Good</td> </tr> <tr> <td>Carbon</td> <td>0.3 – 0.35</td> <td>1.70 – 1.80</td> <td>3,600 – 6,200</td> <td>220 – 300</td> <td>Very good</td> </tr> </tbody> </table> <p>หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต ความยาว และเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย</p> <p style="text-align: center;">ตารางแสดงลักษณะจำเพาะของเส้นใยบะซอลต์เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยชนิดอื่น</p> <table border="1" data-bbox="507 801 1437 1256"> <thead> <tr> <th>องค์ประกอบ</th> <th>ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>SiO₂</td><td>52.8</td></tr> <tr><td>Al₂O₃</td><td>17.5</td></tr> <tr><td>Fe₂O₃</td><td>10.3</td></tr> <tr><td>MgO</td><td>4.63</td></tr> <tr><td>CaO</td><td>8.59</td></tr> <tr><td>Na₂O</td><td>3.34</td></tr> <tr><td>K₂O</td><td>1.46</td></tr> <tr><td>TiO₂</td><td>1.38</td></tr> <tr><td>P₂O₅</td><td>0.28</td></tr> <tr><td>MnO</td><td>0.16</td></tr> <tr><td>Cr₂O₃</td><td>0.06</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">องค์ประกอบทางเคมีของหินบะซอลต์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเส้นใยบะซอลต์</p>	Fiber type	Diameter (0.001 in)	Density (g/cm ³)	Tensile strength (MPa)	Elastic modulus (GPa)	Resistance to alkaline	Basalt	0.78 – 1.6	2.65	3,450 – 4,900	88 – 110	Very good	Asbestos (Chrysotile)	0.0008 – 1.2	2.55	1,100 – 4,400	60 – 110	Very good	PVA (LT, HT)	1 – 160	1.30	680 – 1,170	3.8 – 19.8	Very good	Cellulose fiber (Pinus)	0.8 – 4.7	1.50	90 – 110	5.0 – 7.0	Very good	E – CR glass	0.4 – 0.5	2.60	3,300 – 3,800	80 – 81	Fair	AR glass	0.4 – 0.5	2.60	1,000 – 1,700	68 – 72	Good	Carbon	0.3 – 0.35	1.70 – 1.80	3,600 – 6,200	220 – 300	Very good	องค์ประกอบ	ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)	SiO ₂	52.8	Al ₂ O ₃	17.5	Fe ₂ O ₃	10.3	MgO	4.63	CaO	8.59	Na ₂ O	3.34	K ₂ O	1.46	TiO ₂	1.38	P ₂ O ₅	0.28	MnO	0.16	Cr ₂ O ₃	0.06
Fiber type	Diameter (0.001 in)	Density (g/cm ³)	Tensile strength (MPa)	Elastic modulus (GPa)	Resistance to alkaline																																																																				
Basalt	0.78 – 1.6	2.65	3,450 – 4,900	88 – 110	Very good																																																																				
Asbestos (Chrysotile)	0.0008 – 1.2	2.55	1,100 – 4,400	60 – 110	Very good																																																																				
PVA (LT, HT)	1 – 160	1.30	680 – 1,170	3.8 – 19.8	Very good																																																																				
Cellulose fiber (Pinus)	0.8 – 4.7	1.50	90 – 110	5.0 – 7.0	Very good																																																																				
E – CR glass	0.4 – 0.5	2.60	3,300 – 3,800	80 – 81	Fair																																																																				
AR glass	0.4 – 0.5	2.60	1,000 – 1,700	68 – 72	Good																																																																				
Carbon	0.3 – 0.35	1.70 – 1.80	3,600 – 6,200	220 – 300	Very good																																																																				
องค์ประกอบ	ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)																																																																								
SiO ₂	52.8																																																																								
Al ₂ O ₃	17.5																																																																								
Fe ₂ O ₃	10.3																																																																								
MgO	4.63																																																																								
CaO	8.59																																																																								
Na ₂ O	3.34																																																																								
K ₂ O	1.46																																																																								
TiO ₂	1.38																																																																								
P ₂ O ₅	0.28																																																																								
MnO	0.16																																																																								
Cr ₂ O ₃	0.06																																																																								
<p>ลักษณะและองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้ :</p>	<p>ส่วนผสมของเส้นใยที่เหมาะสมที่จะพัฒนาเป็นวัสดุประเภทกระเบื้องมุงหลังคา</p>																																																																								
<p>ชนิดของเทคโนโลยี :</p>	<p>การหลอมหินบะซอลต์ การผลิตเส้นใยบะซอลต์ การผสมวัสดุเพื่อขึ้นรูปผลิตภัณฑ์</p>																																																																								
<p>5. การรวบรวมองค์ความรู้และการวิจัยพื้นฐาน (Literature Review)</p>																																																																									
<p>5.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับหินบะซอลต์</p> <p>หินบะซอลต์ (Basalt) เป็นหินอัคนีพุหรือหินภูเขาไฟชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญ เพราะเป็นตัวนำพาแร่หรือน้ำแร่ชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของพลอยคอร์ันดัมพวกไพลีน ทับทิน พลอยสปิเนล และนิล นอกจากนี้หินบะซอลต์ยังมีลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่เด่นชัด ดังข้อมูลพื้นฐานดังต่อไปนี้</p> <p>คำจำกัดความและการจำแนกชนิดของหินบะซอลต์</p> <p>หินบะซอลต์ (Basalt) เป็นหินอัคนีพุหรือหินภูเขาไฟเทียบเท่ากับหินอัคนีแทรกซอน ชนิดหินแกบโบร ซึ่งเกิดจากลาวาหรือหินหนืดที่พุ่งเปลือกโลกขึ้นมา แล้วแข็งตัวบนผิวโลกอย่างรวดเร็ว ทำให้ได้ผลึกแร่มีเม็ดละเอียดหรือมีเนื้อดอก หินบะซอลต์มีสีเทาหรือเทาดำ มักมีรูพรุนซึ่งอาจมีแร่ทุติยภูมิเกิดในรูพรุนหรือไม่ก็ได้ หินบะซอลต์จัดเป็นหินชนิดเบส (Basic rock) ซึ่งประกอบด้วยแร่หลัก 3 ชนิด ได้แก่ แร่แพลจิโอเคลส</p>																																																																									

(Plagioclase) แร่ไพรอกซีน (Pyroxene) และแร่โอลิวีน (Olivine)

หินบะซอลต์สามารถจำแนกได้ 4 ชนิดหลัก ตามส่วนประกอบของด่าง (Alkaline) ซึ่งเป็นองค์ประกอบทางเคมีของหิน ดังนี้

5.1.1 หินบะซอลต์ชนิดด่าง (Alkaline basalt)

เนื้อหินมักเป็นเนื้อดอก Intergranular และ Ophitic ประกอบด้วยแร่โอลิวีนเป็นส่วนใหญ่ แร่แพลจิโอเคลสที่มีแคลเซียมสูงชนิดแลบราโดไลต์ - แอนดิซีน และแร่ไพรอกซีนพวกออกไซด์ที่มีไทเทเนียมและอะลูมิเนียม และมักจะพบเนเฟลิไนต์ในปริมาณมาตรฐาน เช่น หินบะซาไนต์ (Basanite) หินบะซานิทอยด์ (Basanitoid) หินเนเฟลิไนต์ (Nephelinite) หินฮาวายไต์ (Hawaiite) และหินมูเกียไรต์ (Mugearite) เป็นต้น

- หินบะซาไนต์ เป็นหินอัคนีพุหรือหินภูเขาไฟในกลุ่มหินแอลคาไลน์บะซอลต์เนื้อละเอียดคล้าย Alkaline olivine basalt เป็นพวกที่มีซิลิกาไม่อิ่มตัว (Undersaturated silica) ประกอบด้วยแร่หลักเป็นแพลจิโอเคลส เฟลด์สปาร์ชนิดแลบราโดไรต์และไบโทวไนต์

- หินบะซานิทอยด์ เป็นหินอัคนีพุหรือหินภูเขาไฟเหมือนหินบะซาไนต์ แต่ประกอบด้วย แร่เฟลด์สปาร์ทอยด์มากกว่าร้อยละ 10 โดยปริมาตร แร่โอลิวีนและแร่ไพรอกซีนพบในปริมาณพอสมควร แต่หินมีส่วนประกอบเป็นแก้วภูเขาไฟที่มีโซเดียมสูง แทนแร่เฟลด์สปาทอยด์

- หินเนเฟลิไนต์ เป็นหินอัคนีพุในกลุ่มหินบะซอลต์เป็นหินที่มีแร่สีเข้ม (Mafic rock) จัดเป็นพวกมีซิลิกาน้อย มีแร่เนเฟลิไนต์มากกว่าหินบะซาไนต์ ประกอบด้วยแร่หลักเป็นแร่เฟลด์สปาร์ทอยด์ มักเป็นแร่เนเฟลิไนต์ ไพรอกซีน (มี Na - Ti - Al rich clinopyroxene) โอลิวีน อาจพบแร่เฟลด์สปาร์ชนิดแพลจิโอเคลสประมาณร้อยละ 10 และแก้วภูเขาไฟ (Volcanic glass) แร่ส่วนน้อย (Accessory mineral) เป็นเหล็ก - ไทเทเนียมออกไซด์และแร่ลูไซต์

- หินฮาวายไต์ เป็นหินอัคนีพุในกลุ่มหินบะซอลต์ ประกอบด้วยแร่หลักเป็นโอลิวีน ไพรอกซีน (แร่ออกไซด์) เฟลด์สปาร์เป็นแพลจิโอเคลสชนิดแอนดิซีน ส่วนประกอบจะมีปริมาณซิลิกาค่อนข้างสูงกว่าหินบะซอลต์ชนิดอื่นๆ บางทีเรียก Andesitic basalt)

- หินมูเกียไรต์ เป็นหินอัคนีพุในกลุ่มหินบะซอลต์ ประกอบด้วยแร่หลักเป็นโอลิวีน ไพรอกซีน (แร่ออกไซด์) เฟลด์สปาร์เป็นแพลจิโอเคลสชนิดโอลิโกเคลส ส่วนประกอบจะมีปริมาณซิลิกาค่อนข้างสูงกว่าหินบะซอลต์ชนิดอื่นๆ บางทีเรียก Andesitic basalt

5.1.2. หินบะซอลต์โทเลียอิต (Tholeiitic basalt) หรือ Subalkaline basalt

ประกอบด้วยแร่โคลโนไพรอกซีนที่มีแคลเซียมต่ำ ซึ่งมักเป็นแร่ออกไซด์และพิจิอไนต์ แร่ออกไซด์เกิดเป็นแร่ดอก ส่วนแร่พิจิอไนต์เกิดเป็นเนื้อพื้น อาจพบแร่ออโทไพรอกซีนพวกไฮเปอร์สทีนซึ่งมักเกิดเป็นเนื้อดอก แร่แพลจิโอเคลสที่มีแคลเซียมสูงชนิดไบโทวไนต์ - แลบราโดไลต์พบทั้งผลึกดอกและเนื้อพื้น เนื้อพื้นมักเป็นแท่งของแร่แลบราโดไลต์ ไม่พบแร่โอลิวีนหรือถ้ามีก็จะมีปริมาณน้อย แร่เหล็กมักเป็นแมกนีไทต์หรืออิลเมนไนต์ เนื้อพื้นมักพบแก้วภูเขาไฟสีน้ำตาลในค่าปริมาณมาตรฐานไม่พบพวกเฟลด์สปาทอยด์ มีเหล็กและซิลิกาสูงเมื่อเทียบกับพวกหินบะซอลต์ชนิดต่าง มักเกิดระเบิดหรือพุขึ้นเป็นบริเวณพื้นที่กว้างใหญ่

5.1.3 หินแคลก์แอลคาไลบะซอลต์ (Calc - alkaline basalt)

เกิดร่วมกับหินแอนดีไซต์ที่สัมพันธ์กับบริเวณที่เกิดภูเขาและหมู่เกาะรูปโค้ง พวกหินแอนดีไซต์ เดไซต์และไรโอเดไซต์ จะคล้ายหินโทเลียอิตบะซอลต์ทางด้านวิทยาแร่ แต่จะมีแร่ไพรอกซีนน้อยกว่าและแร่แพลจิโอเคลสมากกว่า พบแร่ออโรโทไพรอกซีนค่อนข้างมากกว่าโอลิวีน ซึ่งพบเป็นส่วนประกอบส่วนน้อยไม่พบเป็นแร่หลัก ในเนื้อพื้นมักเป็นแร่ออโรโทไพรอกซีนมากกว่าแร่พิจิอไนต์ หินแคลก์แอลคาไลบะซอลต์มักเกิดระเบิดหรือพุขึ้นเป็นบริเวณเล็กๆ

5.1.4 หินบะซอลติกโคมาทีไต์ (Basaltic komatiite)

เป็นกลุ่มลาวาของพวก Mafic และ Ultramafic เกิดเป็นผนังแทรกชั้น (Sill) หินบะซอลติกโคมาทีไต์มักพบว่ามีสารละลายตัวและถูกแปรสภาพไป แต่ยังมีลักษณะเนื้อหินหรือโครงสร้างเดิม เช่น ลาวารูปหมอน (Pillow lava) องค์ประกอบแร่เป็นแร่ไพรอกซีน พวกแร่ไดออปไซด์ที่มีอะลูมิเนียมสูงและมี

โครเมียมด้วย แร่แพลจิโอเคลส โอลิวีน เหล็กออกไซด์ และแก้วภูเขาไฟ

(กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2548))

องค์ประกอบทางเคมีของหินบะซอลต์

การจำแนกหินของหินอัคนีจะแบ่งตามองค์ประกอบทางเคมี โดยอาศัยปริมาณของซิลิกาเป็นเกณฑ์ ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 4 ชนิด [9] ดังนี้

- หินชนิดกรด (Acid igneous rock) ประกอบด้วยซิลิกามากกว่าร้อยละ 65 โดยน้ำหนัก เช่น หินแกรนิต ไรโอไลต์ ออบซิเดียน เป็นต้น
- หินชนิดเป็นกลาง (Intermediate igneous rock) ประกอบด้วยซิลิการะหว่างร้อยละ 52 ถึงร้อยละ 65 โดยน้ำหนัก เช่น หินไดออไรต์ หินแอนดีไซต์ เป็นต้น
- หินชนิดเบส (Basic igneous rock) ประกอบด้วยซิลิการะหว่างร้อยละ 45 ถึงร้อยละ 52 โดยน้ำหนัก เช่น หินแกบโบร หินบะซอลต์ เป็นต้น
- หินชนิดอัลตราเบสิก (Ultrabasic igneous rock) ประกอบด้วยซิลิกาน้อยกว่าร้อยละ 45 โดยน้ำหนัก เช่น หินไพรอกซีนิต หินเพอริโดไทต์ เป็นต้น

หินบะซอลต์เป็นหินอัคนีชนิดเบส (Basic igneous rock) มีองค์ประกอบทางแร่เป็นพวกซิลิเกต เช่น แร่แพลจิโอเคลสชนิดแลยราโตไลต์ - โปโทวินต์ ((Na, Ca)Al(Si, Al)Si₂O₈) ไพรอกซีนชนิดอโจไรต์ ((Ca, Na)(Mg, Fe, Al)(Si, Al)₂O₆) เหล็กออกไซด์ (Fe₂O₃ Fe₃O₄ และ Fe₂TiO₃) โอลิวีน ((Mg, Fe)SiO₃) และแก้วภูเขาไฟ (SiO₂ Al₂O₃ Fe₂O₃ FeO MgO CaO Na₂O K₂O และ H₂O) โดยผลวิเคราะห์ทางเคมีของหินสามารถนำไปคำนวณหาแร่ประกอบหินในทางทฤษฎีที่แสดงโมเลกุลมาตรฐานของแร่ที่เป็นส่วนประกอบทางแร่ของหินนั้นได้ เพื่อใช้จำแนกและเปรียบเทียบกับชนิดหิน ซึ่งเรียกว่า ค่าปริมาณมาตรฐาน ซึ่งแร่บางชนิดที่คำนวณได้อาจจะไม่ปรากฏให้เห็นก็ได้ โดยค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบทางเคมีของหินบะซอลต์ชนิดต่างและองค์ประกอบของหินบะซอลต์ชนิดต่างในประเทศไทยแสดงดังตาราง

องค์ประกอบ	ตัวอย่างหิน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	58.83	49.99	51.36	46.19	43.76	51.31	46.94	49.52
Al ₂ O ₃	14.07	15.65	18.86	15.02	8.89	18.60	13.38	19.03
Fe ₂ O ₃	2.88	1.74	2.29	2.70	2.88	2.91	2.64	2.66
FeO	9.06	8.06	7.28	9.01	9.57	5.81	7.65	8.65
CaO	10.42	11.36	10.67	10.82	7.91	10.30	8.54	9.38
MgO	6.34	7.98	4.89	9.05	22.43	5.95	7.24	4.78
Na ₂ O	2.23	2.70	2.12	2.78	1.45	2.93	3.06	2.53
K ₂ O	0.82	0.19	0.39	0.89	0.50	0.74	1.94	0.34
TiO ₂	2.03	1.40	0.82	2.54	1.82	0.88	2.46	0.99
MnO	0.18	0.19	0.18	0.17	0.13	0.150	0.15	0.17
P ₂ O ₅	0.23	0.13	0.10	0.38	0.21	0.12	0.9	0.13
H ₂ O	0.91	0.60	0.41	0.45	0.35	0.30	-	-
Norm								
ควอตซ์	3.5	-	5.8	-	-	0.8	-	-
ออร์โทเคลส	5.0	1.1	2.2	5.6	2.8	4.5	-	-
แอลไบต์	18.9	23.1	17.8	19.4	12.1	24.6	-	-
อะนอร์ไทต์	25.3	29.8	40.9	25.6	16.7	35.3	-	-
เนฟลีน	-	-	-	2.3	-	-	-	-
ไดออปไซด์	20.2	21.0	9.1	20.7	16.8	12.1	-	-
ไฮเปอร์สทีน	17.1	13.4	17.8	-	-	16.2	-	-
โอลิวีน	-	5.5	-	16.6	43.1	-	-	-
แมกเนไทต์	4.2	2.6	4.2	3.9	4.2	4.2	-	-
อิลเมไนต์	3.8	2.7	1.5	4.9	3.5	1.7	-	-
อะพาไทต์	0.5	0.3	0.3	0.9	0.5	0.3	-	-

หมายเหตุ:

ตัวอย่างที่ 1: หินบะซอลต์โทไลอิต (ค่าเฉลี่ยของ 137 ตัวอย่าง)

ตัวอย่างที่ 2: Ocean floor Tholeiitic basalt (ค่าเฉลี่ยของ 27 ตัวอย่าง)

ตัวอย่างที่ 3: หินบะซอลต์โทไลอิต (ค่าเฉลี่ยของ 47 ตัวอย่าง)

ตัวอย่างที่ 4: หินบะซอลต์ชนิดต่าง (ค่าเฉลี่ยของ 45 ตัวอย่าง)

ตัวอย่างที่ 5: หินบะซอลต์ชนิดต่าง (ค่าเฉลี่ยของ 13 ตัวอย่าง)

ตัวอย่างที่ 6: หินแคลก์แอลคาไลบะซอลต์ (ค่าเฉลี่ยของ 48 ตัวอย่าง)

ตัวอย่างที่ 7: หินบะซอลต์จากจังหวัดจันทบุรี (ค่าเฉลี่ยของ 17 ตัวอย่าง)

ตัวอย่างที่ 8: หินบะซอลต์จากจังหวัดเพชรบูรณ์ (ค่าเฉลี่ยของ 12 ตัวอย่าง)

ตาราง แสดงค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบทางเคมีและปริมาณแร่มาตรฐานของหินบะซอลต์ชนิดต่าง ๆ

องค์ประกอบ	ตัวอย่าง					
	แพร่และ ลำปาง	กาญจนบุรี	เพชรบูรณ์	จันทบุรี	ตราด	บุรีรัมย์
SiO ₂	47.85	48.44	49.52	46.94	43.97	52.23
Al ₂ O ₃	16.96	15.81	19.03	13.38	15.12	14.92
Fe ₂ O ₃	4.06	3.64	2.66	2.64	3.44	3.68
FeO	5.53	6.05	8.65	7.65	9.65	6.62
CaO	8.16	8.58	9.38	8.54	9.76	6.45
MgO	5.46	7.60	4.78	7.24	7.18	5.00
Na ₂ O	2.16	4.29	2.53	3.06	4.06	4.10
K ₂ O	2.31	2.44	0.34	1.94	1.66	1.65
TiO ₂	1.95	2.08	0.99	2.46	2.37	2.65
MnO	0.15	0.18	0.17	0.15	0.21	0.10
P ₂ O ₅	0.59	0.86	0.13	0.90	1.38	0.75

ตาราง แสดงค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ทางเคมีของหินบะซอลต์แหล่งต่าง ๆ ในประเทศไทย

5.2 แหล่งบะซอลต์ที่ดำเนินการศึกษาเพื่อพัฒนาเป็นเส้นใยสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม

โครงการนี้ได้ดำเนินการต่อเนื่องจากการสำรวจของบริษัทไมน์เค็ม จำกัด โดยกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ได้ทำบันทึกความเข้าใจกับทางบริษัท ไมน์เค็ม จำกัด ในวันที่ 4 สิงหาคม 2557 ในหัวข้อเรื่อง “ความร่วมมือในการพัฒนาแหล่งหินบะซอลต์ เพื่อเป็นวัตถุดิบทดแทนแร่ใยหิน” โดยกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ และบริษัทไมน์เค็ม จำกัด ซึ่งได้ยื่นคำขอประทานบัตรที่ 5/2555 หมายเลขหลักหมายเขตเหมืองแร่ที่ 29243 เพื่อประกอบกิจการเหมืองแร่หินอุตสาหกรรมชนิดหินบะซอลต์ ตั้งอยู่หมู่ที่ 2 ตำบลเขาแหลม อำเภอยะบะดี จังหวัดลพบุรี ดัง Error! Reference source not found. ได้ร่วมทำการสำรวจแหล่งบะซอลต์ในพื้นที่โครงการ พบว่าหินบะซอลต์ในพื้นที่โครงการมีความเหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเส้นใย กล่าวคือ เป็นหินบะซอลต์ชนิด แคลก์-อัลคาไลน์ บะซอลต์ (calc-alkali basalt) ที่มีปริมาณของซิลิกาออกไซด์ต่ำ (45-52%) และมีปริมาณของเหล็กออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ และโซเดียมออกไซด์ ในปริมาณที่เหมาะสมกับการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเส้นใยบะซอลต์ โดยสมบัติที่สำคัญคือ ปริมาณของซิลิกาออกไซด์ต้องไม่เกินร้อยละ 52 เนื่องจากจะส่งผลต่อความเหนียวของหินบะซอลต์หลอมเหลวและส่งผลถึงความยากต่อการขึ้นรูปเป็นเส้นใย

5.2.1 ลักษณะธรณีวิทยาแหล่งหินบะซอลต์ที่นำมาศึกษา

ลักษณะธรณีวิทยาแหล่งแร่หินบะซอลต์ในพื้นที่โครงการของบริษัทไมน์เค็ม จำกัด จากการเดินตรวจสอบลักษณะทางธรณีวิทยาพื้นผิวในพื้นที่โครงการและตรวจสอบลักษณะปรากฏของหินบะซอลต์ที่พบจากสระกักเก็บน้ำในบริเวณใกล้เคียงเพื่อให้ทราบถึงลักษณะการวางตัวของแหล่งแร่ และลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างในภาพรวม และได้ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทางเคมี

หินบะซอลต์ที่พบในพื้นที่โครงการพบในลักษณะของหินลอยปนกับดินเป็นส่วนใหญ่ของพื้นที่ หินลอยบะซอลต์ที่พบมีสีดำ สีเทาเข้ม มีสีฝุ่นสีเทา สีน้ำตาลแดง เนื้อละเอียดแน่น หินลอยบะซอลต์ ดังรูป (ก) พบในหลากหลายลักษณะ โดยส่วนมากพบเป็นหินบะซอลต์ที่มีลักษณะเป็นแผ่นซึ่งแสดงถึงการแตกแบบแผ่น

(platy joint) ดังรูป (ข) ร่องลงมาเป็นหินบะซอลต์ที่มีลักษณะเป็นแท่งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งบะซอลต์ประมาณ 20-30 ซม. คาดว่าเกิดจากการแตกหักของแท่งเสาหินบะซอลต์ (columnar basalt) ส่วนน้อยพบในลักษณะของหินบะซอลต์ที่มีรูพรุน (vesicular basalt) มีความกลมมนสูง และมีสีน้ำตาลแดง ลักษณะต่างๆ ของหินบะซอลต์ที่พบนั้นถือเป็นส่วนประกอบที่พบได้ทั่วไปในชั้นการไหลของหินบะซอลต์ (basalt flow) โดยเริ่มจากการพบหินบะซอลต์ที่มีรูพรุนวางตัวอยู่ด้านบนของชั้นการไหล ถัดมาเป็นชั้นของหินบะซอลต์เนื้อแน่นที่แสดงลักษณะการแตกแบบแผ่นซึ่งโดยทั่วไปชั้นนี้จะมีความหนาอยู่ระหว่าง 3-5 ม. ขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นการไหลของหินบะซอลต์ ถัดจากนั้นหากชั้นการไหลมีความหนามากเพียงพอหินบะซอลต์ในชั้นถัดไปจะแสดงลักษณะของเสาหินบะซอลต์ ซึ่งโดยมากแล้วมักจะมีความหนามากกว่าชั้นของหินบะซอลต์ที่แสดงลักษณะการแตกแบบแผ่น จากนั้นลักษณะต่าง ๆ ของหินบะซอลต์ที่พบจะเริ่มเรียงลำดับย้อนกลับ จากเสาหินบะซอลต์ หินบะซอลต์ที่มีการแตกแบบแผ่น และหินบะซอลต์ที่มีรูพรุน ไปจนถึงรอยสัมผัสด้านล่างของชั้นการไหล



(ก)



(ข)

รูป (ก) หินลอยบะซอลต์ และ (ข) ลักษณะการแตกแบบแผ่นของหินบะซอลต์ (Platy basalt)

5.2.2 คุณภาพแร่

แหล่งหินบะซอลต์ในพื้นที่โครงการ เป็นแหล่งหินบะซอลต์ที่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเส้นใยได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีปริมาณของซิลิกาต่ำ และมีปริมาณของสารประกอบอื่นๆ อยู่ในช่วงที่เหมาะสม จากการสำรวจเก็บตัวอย่างหินบะซอลต์ในพื้นที่โครงการ เพื่อตรวจสอบหาคุณสมบัติทางเคมี มีผลการวิเคราะห์ดังตาราง

ตัวอย่างที่	ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO
MC - 1	50.20	17.30	9.45	9.15	5.20	4.10	2.15	1.65	0.60	0.15
MC - 2	61.90	16.50	5.50	6.50	1.45	4.40	2.40	0.90	0.30	0.10

ที่มา: บริษัท ไมน์เค็ม จำกัด, 2556

ตารางแสดงองค์ประกอบเคมีของตัวอย่างหินบะซอลต์ที่เก็บได้จากพื้นที่สำรวจ

5.3 การผลิตเส้นใยบะซอลต์

หินบะซอลต์ที่พบในแต่ละแหล่งมีองค์ประกอบเคมีที่หลากหลาย แต่มีเพียงบางองค์ประกอบเท่านั้นที่เหมาะสมนำมาขึ้นรูปเป็นเส้นใยแบบต่อเนื่องและมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 - 24 ไมครอน หินบะซอลต์ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเส้นใยบะซอลต์ควรมีซิลิกอนไดออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 45 ถึงร้อยละ 52 โดยน้ำหนัก และมีปริมาณของเหล็กออกไซด์ อะลูมินาออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ และโซเดียมออกไซด์ในปริมาณที่เหมาะสม

องค์ประกอบ	ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)
SiO ₂	52.8
Al ₂ O ₃	17.5
Fe ₂ O ₃	10.3

MgO	4.63
CaO	8.59
Na ₂ O	3.34
K ₂ O	1.46
TiO ₂	1.38
P ₂ O ₅	0.28
MnO	0.16
Cr ₂ O ₃	0.06

ตารางแสดงองค์ประกอบทางเคมีของหินบะซอลต์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเส้นใยบะซอลต์

5.3.1 กระบวนการเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตเส้นใยบะซอลต์

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการเตรียมหินบะซอลต์ให้มีลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีที่เหมาะสมสำหรับการหลอมและการผลิตเส้นใย ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอนย่อย ดังต่อไปนี้

การลดขนาดวัตถุดิบ เพื่อให้วัตถุดิบมีขนาดเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ต่อไปในขั้นตอนต่อไป โดยใช้เครื่องลดขนาดแบบแผ่นกระทบ (Jaw crusher) และเครื่องบดขนาดแบบกระแทก (Impact crusher)

การปรับอัตราส่วนวัตถุดิบ โดยการเพิ่มสารปรุงแต่ง (Additive) หรือโลหะชนิดต่างๆ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของวัตถุดิบให้มีอัตราส่วนขององค์ประกอบทางเคมีเหมาะสมสำหรับการหลอมและการผลิตเส้นใยในลำดับต่อไป

ทั้งนี้การปรับอัตราส่วนวัตถุดิบสำหรับการผลิตเส้นใยบะซอลต์จะไม่ยุ่งยาก เนื่องจากไม่จำเป็นต้องเจือโบรอนออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์ หรือธาตุองค์ประกอบอื่น ๆ เพื่อให้มีอัตราส่วนวัตถุดิบเหมาะสมเหมือนกับการผลิตแก้วหรือไฟเบอร์กลาส (Fiber glass) ถึงแม้บะซอลต์และแก้วมีองค์ประกอบทางเคมีอยู่ในกลุ่มซิลิเกต (Silicate) เหมือนกันก็ตาม

5.3.2 การหลอมวัตถุดิบ

หินบะซอลต์ที่ผ่านการลดขนาดและปรับอัตราส่วนในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบแล้วจะถูกลำเลียงเข้าสู่เตาหลอม โดยอุณหภูมิการหลอมหินบะซอลต์จะอยู่ในช่วง 1,550 – 1,600 องศาเซลเซียส (มีอุณหภูมิการหลอมใกล้เคียงกับแก้ว เนื่องจากทั้งบะซอลต์และแก้วมีองค์ประกอบทางเคมีอยู่ในกลุ่มซิลิเกต (Silicate)) น้ำบะซอลต์หลอมเหลวจะถูกลำเลียงเข้าสู่อ่างเก็บน้ำบะซอลต์ซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิมีให้น้ำบะซอลต์เย็นตัวลงและมีอุณหภูมิเหมาะสม อันส่งผลกระทบต่อค่าความหนืดของน้ำบะซอลต์หลอมเหลวซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับขั้นตอนการผลิตเส้นใยในลำดับต่อไป

5.3.3 การผลิตเส้นใย

ในขั้นตอนนี้บะซอลต์ขณะหลอมเหลวที่มีอุณหภูมิเหมาะสมจะถูกผลิตเป็นเส้นใยโดยอาศัยแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) จากเครื่องปั่น (Spinner) ที่ประกอบด้วยหัวปั่นแบบเซนทริฟูกัล (Centrifugal head) จำนวน 1 หัว สำหรับเร่งความเร็วน้ำบะซอลต์หลอมเหลว และกระบอกสำหรับรีดเส้นใย (Fibrillizing cylinder) จำนวน 2 หัว และหัวเป่าลม (Blower) สำหรับเป่าเส้นใยออกจากเครื่องปั่นเข้าสู่อุปกรณ์เก็บรวบรวมเส้นใย ทั้งนี้ความเร็วรอบของหัวหมุนทั้ง 3 หัว ต้องสัมพันธ์กับอัตราเร็วในการป้อนน้ำบะซอลต์หลอมเหลวและความเร็วลมที่พร้อมออกมาจากหัวเป่าลม เพื่อให้ได้ขนาดเส้นใยบะซอลต์ตามที่ต้องการ

เส้นใยบะซอลต์ที่ผลิตได้จะถูกดักเก็บด้วยเครื่องเก็บเส้นใย (Fiber collector) ที่มีลักษณะเป็นตะแกรง หลังจากนั้นจึงนำเส้นใยบะซอลต์ที่ดักเก็บได้มาบดละเอียด เพื่อให้ได้ความยาวของเส้นใยบะซอลต์ตามที่ต้องการ

5.4 ลักษณะสมบัติของเส้นใยบะซอลต์

เส้นใยบะซอลต์จะมีลักษณะเป็นเส้นใยสีเหลืองอ่อน อาจมีเม็ดสีดำปนออกมาบ้างซึ่งเป็นหัวของเส้นใยขณะถูกปั่นและเป่าออกมา ในการผลิตระดับอุตสาหกรรมจะมีการคัดแยกขนาดและคัดเอาหัวของเส้นใยออกไป มีผ่านศูนย์กลางในช่วง 1 ถึง 20 ไมโครเมตร มีสมบัติเชิงกลที่ดีเมื่อเทียบกับเส้นใยประเภทอื่นดังแสดงในตาราง

Fiber type	Diameter (0.001 in)	Density (g/cm ³)	Tensile strength (MPa)	Elastic modulus (GPa)	Resistance to alkaline
Basalt	0.78 – 1.6	2.65	3,450 – 4,900	88 – 110	Very good
Asbestos (Chrysotile)	0.0008 – 1.2	2.55	1,100 – 4,400	60 – 110	Very good
PVA (LT, HT)	1 – 160	1.30	680 – 1,170	3.8 – 19.8	Very good
Cellulose fiber (Pinus)	0.8 – 4.7	1.50	90 – 110	5.0 – 7.0	Very good
E – CR glass	0.4 – 0.5	2.60	3,300 – 3,800	80 – 81	Fair
AR glass	0.4 – 0.5	2.60	1,000 – 1,700	68 – 72	Good
Carbon	0.3 – 0.35	1.70 – 1.80	3,600 – 6,200	220 – 300	Very good

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต ความยาว และเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย

ตาราง แสดงลักษณะจำเพาะของเส้นใยบะซอลต์เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยชนิดอื่น

5.5 การใช้ประโยชน์หินบะซอลต์

ในอดีตหินบะซอลต์จะถูกนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้างอาคาร ก่อสร้างถนน เทพื้นรองหมอนและรางรถไฟ และใช้สำหรับการผลิตแอสฟัลต์ (Asphalt) แต่ในปัจจุบันมีการพัฒนาและนำหินบะซอลต์ไปแปรรูปเป็นเส้นใยบะซอลต์ (Basalt wool) เพื่อใช้เป็นวัสดุทดแทนแร่ใยหิน (Asbestos) ในผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ต่าง ๆ เช่น กระเบื้องซีเมนต์ ท่อซีเมนต์ ฉนวนกันความร้อน (Insulator) ฉนวนกันเสียง (Acoustic) ผ้าเบรก และคลัทช์สำหรับรถยนต์และจักรยานยนต์ เป็นต้น เนื่องจากบะซอลต์เป็นวัสดุที่ทำปฏิกิริยาได้ยากทั้งในสภาวะกรดและด่าง ไม่ย่อยสลายทางชีวภาพ ไม่นำความร้อน และมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี (สามารถรับกำลังอัด (Compressive strength) และรับกำลังดัด (Tensile strength) ได้สูง) และที่สำคัญคือ เส้นใยบะซอลต์ยังไม่ถูกจัดว่าเป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ ตามการจัดหมวดหมู่ของ International Agency for Research on Cancer (IARC) ได้ในขณะนี้ โดยจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับเส้นใยสังเคราะห์อื่น (Synthetic fiber) เช่น Polyvinyl alcohol (PVA) และ Polypropylene และเส้นใยแก้ว (Glass fiber) ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำเส้นใยบะซอลต์ไปใช้เป็นวัสดุทดแทนแร่ใยหิน (Asbestos) ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ อย่างแพร่หลายในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น สหรัฐอเมริกา สาธารณรัฐประชาชนจีน รัสเซีย ยูเครน ประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรป เป็นต้น เพื่อลดการใช้แร่ใยหินซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์

5.5.1 งานสำหรับโรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์

บะซอลต์เป็นวัสดุที่ไม่ดูดซับกัมมันตภาพรังสี จึงถูกมองว่าเป็นวัสดุที่มีศักยภาพในการผลิตวัสดุที่ต้องสัมผัสกับกัมมันตภาพรังสีในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ใช้เป็นวัสดุป้องกันประเภท geo-composite ในส่วนเก็บกากกัมมันตภาพรังสี และสามารถผสมกับวัสดุอื่นเพื่อใช้ในอุปกรณ์ป้องกันร่างกายมนุษย์และสิ่งแวดล้อมจากกัมมันตภาพรังสี

5.5.2 งานเสริมแรงคอนกรีตและวัสดุก่อสร้าง

เส้นใยบะซอลต์มีสมบัติทางกลที่ดีและเป็นที่ยอมรับได้ในการใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง สามารถช่วยเสริมความแข็งแรงและยังมีความทนไฟที่ดี การศึกษาการนำใยบะซอลต์มาใช้เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับคอนกรีตนั้น พบว่าใยบะซอลต์ช่วยเพิ่มสมบัติความทนทาน สมบัติต่าง ๆ ทางกล และสมบัติกำลังต้านทานแรงดัด ใยบะซอลต์ที่เรียงตัวในทิศทางเดียวสามารถเสริมแรงในคอนกรีตที่ต้องเผชิญกับสภาวะแวดล้อมเลวร้ายได้ดี ใยบะซอลต์ที่ทอเป็นผืนนั้นจะมีสารเติมแต่งอินทรีย์พวกเรซินเพื่อยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใย แผ่นบะซอลต์ที่ทอเป็นผืนนี้สามารถใช้ในหลายผลิตภัณฑ์ด้วยสมบัติความพรุนตัวสูง ทนต่อสารเคมี ป้องกันการกัดกร่อน และป้องกันไฟ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชิ้นส่วนรถยนต์ งานก่อสร้าง ได้ ในบางงานที่ใช้คอนกรีตเสริมแรงด้วยเหล็กภายใน หากเจอกับความเค็มของน้ำทะเลที่สามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อคอนกรีตและทำลายเหล็ก

ภายในจะทำให้เกิดการกัดกร่อนและอ่อนแอลงของโครงสร้าง ดังนั้นการใช้วัสดุเสริมแรงใยบะซอลต์สามารถช่วยแก้ไขปัญหานี้ได้ ด้วยสมบัติการไม่ถูกกัดกร่อน ไม่มีเกิดการเหนียวน้ำแม่เหล็กและไฟฟ้า และความอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าการใช้เหล็กเป็นวัสดุเสริมแรง

5.5.3 วัสดุเชิงประกอบในงานพลาสติก

ด้วยสมบัติที่มีค่า Young's modulus สูง ค่าทนต่อแรงดึงสูง และค่าการเปื่อยผิวยาวของใยบะซอลต์ สามารถใช้เพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุเชิงประกอบ (composite) ใยบะซอลต์ในลักษณะของเยื่อเป็นวัสดุแบบไม่ถักทอ ประกอบด้วยการกระจายของใยแบบสม่ำเสมอ ล้อมด้วยสารตัวเติมอินทรีย์ประเภทเรซิน ความพรุนของวัสดุนี้จะช่วยในการอุ้มน้ำได้ดีและทำให้ทนต่อสภาพอากาศได้ดีขึ้น ทนต่อรังสี UV ทนต่อกรดและด่างได้ดี การใช้วัสดุเชื่อมประสานที่แตกต่างกันอย่างเช่น foro-phenolic melamine latex urea formadehyde หรือ PVA สามารถทำได้เยื่อบะซอลต์ได้ เยื่อบะซอลต์นี้สามารถใช้เป็นกระเบื้องมุงหลังคาและวัสดุกันน้ำแบบอ่อน ใช้เป็น geotextile วัสดุต้านทานการกัดกร่อน โฟมพลาสติกร่วมกับโฟม PU ใช้ในแผ่นเทพกาวเชื่อมสองหน้าระหว่างวัสดุสองแผ่น เป็นต้น พลาสติกเสริมแรงใยบะซอลต์มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นสีทาวัสดุต่าง ๆ เนื่องจากให้พื้นผิวที่เรียบสวยงาม สามารถใช้กับงาน electroplated โดยไม่ต้องใช้สารปรับสมบัติใด ๆ เลย

5.5.4 การประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม

ใยบะซอลต์สามารถใช้ในการตัดเย็บและกระสอบที่ต้องใช้งาน ณ อุณหภูมิสูงได้ เช่น ถุงใส่ตัวกลางที่มีความร้อน ถุงกรองที่ต้องทนสภาพแวดล้อมที่มีการกัดกร่อนจากสารเคมีสูง เป็นต้น การใช้ใยบะซอลต์เป็นวัสดุป้องกันความร้อนอย่างท่อระบายไอเสียจากการเผาไหม้จะช่วยเพิ่มความทนไฟแก่ตัวท่อ เมื่อผสมกับพลาสติกกลุ่มเทอร์โมเซต เรซิน อย่างเช่น อีพอกซี และ ฟีนอลิก เรซิน สามารถใช้งานเป็นวัสดุสำหรับเรือ และอุปกรณ์ของใช้ในบ้านได้ ไฟเบอร์ที่หล่อลื่นแล้วและถูกตัดเป็นท่อนสามารถใช้ในการผลิตเป็นผ้าเบรกรถยนต์ได้ และสามารถรีไซเคิลใยบะซอลต์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ใยบะซอลต์ในงานเกษตรกรรม เช่น เป็นวัสดุในท่อระบายน้ำ ท่อสำหรับส่งน้ำ และในเครื่องจักรอุตสาหกรรมเกษตร

5.6 ผลิตภัณฑ์ที่เลือกพัฒนาโดยใช้ใยบะซอลต์เป็นวัสดุทางเลือกเพื่อคุณสมบัติเทียบเท่าแร่ใยหิน

แม้แร่ใยหินจะมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการและเหมาะกับการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความแข็งแรง ทนกรด ด่าง และทนความร้อนสูง เช่น การผลิตกระเบื้องใยหิน ท่อซีเมนต์ใยหิน ผ้าเพดาน ฉนวนหุ้มกันไฟและความร้อน ผ้าเบรก – คลัทช์ กระเบื้องยางปูพื้น เสื้อผ้าป้องกันไฟและความร้อน แต่ก็เป็นสารที่สามารถก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ ดังนั้นในหลายประเทศได้มีการประกาศห้ามใช้แร่ใยหินในกระบวนการผลิต โดยในปัจจุบันหลายประเทศได้มีการนำวัสดุหลากหลายชนิดมาพัฒนาเพื่อใช้ทดแทนแร่ใยหิน เช่น เส้นใยจากพืช (Cellulose fiber) เส้นใยสังเคราะห์ (Synthetic fiber) เช่น Polyvinyl alcohol (PVA) Polypropylene เส้นใยแก้ว (Glass fiber) เช่น AR glass fiber ECR glass fiber และเส้นใยแร่ (Rock wool Stone wool หรือ Mineral wool)

เส้นใยบะซอลต์ (Basalt wool) จัดเป็นเส้นใยที่อยู่ในประเภทเส้นใยแร่ (Rock wool Stone wool หรือ Mineral wool) และเป็นเส้นใยที่มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับแร่ใยหิน (Asbestos) ซึ่งสามารถนำมาทดแทนแร่ใยหินได้ดังแสดงในตาราง โดยความแตกต่างระหว่างเส้นใยแร่ (Rock wool Stone wool หรือ Mineral wool) กับแร่ใยหิน (Asbestos) คือเส้นใยแร่เป็นเส้นใยที่เกิดจากการสังเคราะห์ของมนุษย์ โดยการนำหินหรือแร่ที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่เหมาะสม เช่น หินบะซอลต์ มาหลอมเหลวและผ่านกระบวนการผลิตเพื่อให้เกิดเป็นเส้นใยขึ้น ซึ่งแตกต่างกับแร่ใยหินซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและมีลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นใย

Fiber type	Diameter (0.001 in)	Density (g/cm ³)	Tensile strength (MPa)	Elastic modulus (GPa)	Resistance to alkaline
Basalt	0.78 – 1.6	2.65	3,450 – 4,900	88 – 110	Very good
Asbestos (Chrysotile)	0.0008 – 1.2	2.55	1,100 – 4,400	60 – 110	Very good
PVA (LT, HT)	1 – 160	1.30	680 – 1,170	3.8 – 19.8	Very good
Cellulose fiber (Pinus)	0.8 – 4.7	1.50	90 – 110	5.0 – 7.0	Very good
E – CR glass	0.4 – 0.5	2.60	3,300 – 3,800	80 – 81	Fair
AR glass	0.4 – 0.5	2.60	1,000 – 1,700	68 – 72	Good
Carbon	0.3 – 0.35	1.70 – 1.80	3,600 – 6,200	220 – 300	Very good

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต ความยาว และเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย

ตารางแสดงสมบัติทางกายภาพของใยปะชอลต์เทียบกับเส้นใยชนิดต่าง ๆ

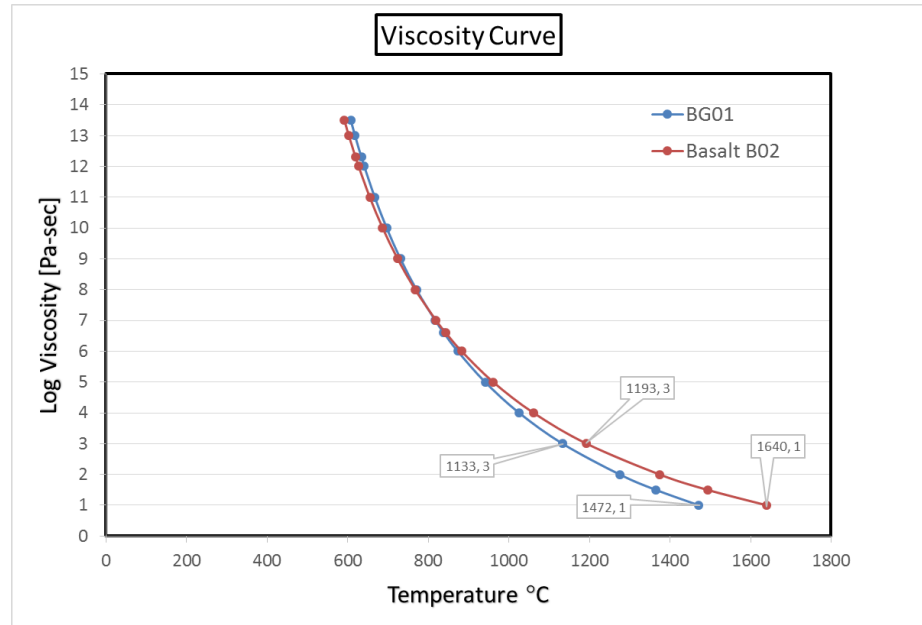
จากคุณสมบัติของเส้นใยปะชอลต์ดังที่กล่าวข้างต้น พบว่าเส้นใยปะชอลต์มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี ไม่นำความร้อน ไม่ย่อยสลายทางชีวภาพ ทนต่อสภาวะกรดและด่าง ทนต่อความร้อน ซึ่งไม่แตกต่างจากแร่ใยหิน นอกจากนี้ราคาของเส้นใยปะชอลต์ก็มีราคาไม่แพงเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยประเภทอื่น ๆ ที่คุณสมบัติยังไม่เทียบเท่าเส้นใยปะชอลต์ และมีราคาใกล้เคียงกับแร่ใยหิน ด้วยเหตุผลเหล่านี้ทำให้ในต่างประเทศ เส้นใยปะชอลต์ถูกนำมาใช้ทดแทนแร่ใยหินในหลากหลายผลิตภัณฑ์ไม่ว่าจะเป็น ท่อซีเมนต์ กระเบื้องซีเมนต์ ผ้าเบรค – คลัทช์ ฉนวนกันความร้อน ฉนวนกันเสียง เสื้อกันไฟ ใช้เสริมกำลังแทนเหล็กเส้นในคอนกรีต เป็นต้น

สำหรับการศึกษาในโครงการนี้ ถือเป็นระยะแรกที่จะได้ศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาการนำเส้นใยปะชอลต์จากแหล่งสัมปทานในประเทศมาทดลองขึ้นรูปเป็นเส้นใยให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมชนิดต่าง ๆ โดยที่ปรึกษาได้พิจารณาแล้วเห็นว่า ควรศึกษาการนำใยปะชอลต์ไปใช้เป็นวัสดุทดแทนแร่ใยหิน สำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทไฟเบอร์ซีเมนต์ เช่น กระเบื้องลอนคู่ และ กระเบื้องแผ่นเรียบ ที่ต้องการความแข็งแรงสูง ซึ่งยังเป็นที่ต้องการของตลาดภายในประเทศเนื่องจากมีราคาถูกและผู้ประกอบการบางรายยังคงผลิตด้วยวัตถุดิบส่วนผสมที่มีแร่ใยหินเป็นองค์ประกอบ โดยอาศัยการยกเว้นใบอนุญาตนำเข้าแร่ใยหินประเภทโครโซไทล์ในกฎหมาย และอ้างความแข็งแรงของไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีแร่ใยหินที่มากกว่าวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ประเภทที่ใช้เส้นใยธรรมชาติหรือพลาสติก โดยตั้งสมมติฐานว่าผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ใช้ใยปะชอลต์นี้จะสามารถให้ความแข็งแรงดีกว่าการใช้เส้นใยธรรมชาติ และเทียบเท่ากับความแข็งแรงในวัสดุเดียวกันที่ใช้แร่ใยหินหรืออยู่ในมาตรฐานที่ยอมรับได้ เพื่อพัฒนาต่อยอดสู่การผลิตสู่อุตสาหกรรม

6. การทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab Scale) :	
การทดลองปรับปรุงเส้นใยเพื่อให้เกิดการกระจายตัวดีเมื่อผสมกับซีเมนต์	
วัสดุ/อุปกรณ์ /สารเคมี : เครื่องมือและอุปกรณ์	<ul style="list-style-type: none"> - เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลยี่ห้อ Sartorius รุ่น BP 2215 มีความละเอียดถึง 0.0001 และเครื่องชั่งน้ำหนักยี่ห้อ Sartorius รุ่น ED 3202S มีความละเอียดถึง 0.01 - เครื่องร่อนสาร ยี่ห้อ Retsch รุ่น AS200 basic - ตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช - ตะแกรงร่อนขนาด 18 เมช - เครื่องปั่นผสมที่สามารถปรับความเร็วในการผสมได้ ยี่ห้อ Bosch รุ่น MFQ3555GB - เครื่องปั่นผสมที่สามารถปรับความเร็วในการผสมได้ ยี่ห้อ OTTO รุ่น BE-120 - เครื่องกวนสาร ยี่ห้อ IKA รุ่น RW20 digital - เครื่องปั๊มสุญญากาศ ยี่ห้อ Sparmax รุ่น L1.04024 - ชุดกรองระบบสุญญากาศ Büchner funnel - กระจกตวง - ปีกเกอร์พลาสติก - กล้องจุลทรรศน์แสง ยี่ห้อ Olympus - เครื่องอัดขึ้นรูประบบไฮดรอลิก ยี่ห้อ SE PRESS รุ่น ES-373-00 SEFS20 - แม่พิมพ์ขึ้นรูปทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม - ตู้อบ - เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) - กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด - เครื่องเอกซเรย์ฟูออเรสเซนส์ - เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโทมิเตอร์
วัตถุดิบ	<ul style="list-style-type: none"> - เส้นใยบะซอลต์ - ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภท 1 ทรายข้าง - ทรายบด - หินปูน - ไยยูคาลิปตัสสำหรับผลิตกระเบื้องไฟเบอร์ซีเมนต์
ขั้นตอนการทดลอง :	
6.1 การทดลองหลอมใยบะซอลต์	<p>ในระยะเริ่มต้นของการทดลองหลอมหินบะซอลต์ที่เก็บจากแหล่งในอำเภอยะบะดาล ของบริษัทบริษัท ไมน์เค็ม จำกัด พบว่าไม่สามารถหลอมได้เส้นใยที่มีขนาดเล็กได้ เนื่องจากมีความหนืดมากเกินไป ดังนั้นผู้วิจัยได้ทดลองปรับปรุงสูตรเพียงเล็กน้อยโดยยังคงใช้หินบะซอลต์จากแหล่งมากกว่า 90 % ผสมกับหินปูน โดโลไมต์ และอะลูมิเนียมออกไซด์ สัมพันธ์กับสูตรที่ออกแบบจากการคำนวณ</p> <p>การออกแบบสูตรสำหรับเส้นใยบะซอลต์สามารถคำนวณโดยใช้สมการแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบแก้วกับค่าความหนืด ณ อุณหภูมิต่าง ๆ ที่พัฒนาโดย Fluegel ซึ่งเป็นแบบจำลองอิงจากฐานข้อมูลสถิติค่าความหนืด</p>

กับส่วนผสมในสูตรแก้ว เพื่อให้ได้สูตรใยชะลัดที่สามารถหลอมได้ง่ายและได้เส้นที่มีความละเอียดมากขึ้น

ผลการคำนวณเปรียบเทียบค่าความหนืดของหินชะลัดที่เก็บจากแหล่งสัมปทาน B02 และสูตรหินชะลัดที่ผ่านการปรับปรุงสูตรโดยผสมหินปูนและโดโลไมต์ให้มีส่วนผสมใหม่ เพื่อลดค่าความหนืดแสดงในรูป และองค์ประกอบของหินชะลัด B02 กับสูตรใยชะลัดที่หลอมได้ BG01 แสดงในตาราง



กราฟเปรียบเทียบค่าความหนืดระหว่างหินชะลัด B02 กับสูตรชะลัดใยชะลัด BG01 จากการคำนวณโดยแบบจำลองของ Fluegel

ออกไซด์	B02 (wt.%)	BG01 (wt.%)
SiO ₂	53.31	48.16
CaO	8.10	12.00
Al ₂ O ₃	18.10	18.00
MgO	2.30	4.00
TiO ₂	1.38	1.38
Na ₂ O	4.55	4.00
SO ₃	0.00	0.00
K ₂ O	2.18	2.18
MnO	0.18	0.18
Fe ₂ O ₃	9.80	10.00
V ₂ O ₅	0.04	0.04
Cr ₂ O ₃	0.02	0.02
CuO	0.04	0.04
รวม	100.00	100.00

ตารางองค์ประกอบออกไซด์ในหินชะลัดและสูตรใยชะลัดที่ออกแบบ

**6.2 การทดลอง
เตรียมส่วนผสมและ
ขึ้นรูปแผ่นกระเบื้อง
ตัวอย่าง**

การทดลองเตรียมส่วนผสมและขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องตัวอย่างนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมโดยอ้างอิงจากสูตรในงานวิจัยที่ผ่านมา เป็นการทดลองเบื้องต้นและรวดเร็วที่สุดที่จะทำการประเมินลักษณะทางกายภาพของเส้นใยเมื่อผสมกับส่วนผสมอื่น ๆ หาความแข็งแรงเมื่อขึ้นรูป และความแข็งแรงเมื่อผ่านการบ่มตามมาตรฐาน ASTM C1185-08 [16] และเปรียบเทียบค่าสมบัติที่วัดได้กับผลิตภัณฑ์ในกลุ่มที่จัดแยกชนิดตามมาตรฐาน ASTM C1186-08 [17] ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับทดสอบสมบัติกระเบื้องซีเมนต์แผ่นเรียบชนิดเส้นใยที่ไม่ใช่ใยหิน แม้ว่าจุดประสงค์ของโครงการจะมุ่งพัฒนาให้ได้สูตรส่วนผสมสำหรับผลิตภัณฑ์ทั้งกระเบื้องแผ่นเรียบและกระเบื้องชนิดลอนคู่ แต่เพื่อให้ผลของโครงการสามารถอ้างอิงไปพัฒนาได้ทั้งกระเบื้องแผ่นเรียบและกระเบื้องหลังคาแบบลอนคู่ ผู้วิจัยจึงเลือกวิธีดำเนินการทดสอบตามมาตรฐานนี้เพื่อตรวจสอบสมบัติที่ต้องการ ซึ่งตัวอย่างจะถูกเตรียมเป็นแผ่นเรียบความหนาไม่เกิน 12 มิลลิเมตร ขนาดความกว้างและความยาว 50 มิลลิเมตร และ 100 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ในช่วงเริ่มต้นของการทดลองผู้วิจัยได้ใช้วิธีการเตรียมส่วนผสมเช่นเดียวกับการทดลองขึ้นรูปกระเบื้องซีเมนต์เส้นใยแผ่นเรียบที่ใช้เส้นใยธรรมชาติจากประสบการณ์ที่ผ่านมาประกอบกับสูตรส่วนผสมที่ประยุกต์จากเอกสารวิชาการหลาย ๆ แหล่ง เพื่อให้ได้ส่วนผสมที่เหมาะสม ดังนั้นการผสมซีเมนต์กับเส้นใยก่อนขึ้นรูปมีขั้นตอนการผสมแตกต่างกันในแต่ละเงื่อนไขโดยมีพัฒนาการเป็นลำดับ โดยมีการปรับปรุงส่วนผสมในแต่ละเงื่อนไขและมุ่งหมายให้มีรูปแบบการผสมที่ง่ายไม่ซับซ้อนเพื่อประหยัดต้นทุนและค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตจริง ซึ่งแต่ละเงื่อนไขสามารถจำแนกลักษณะรูปแบบการผสมได้เป็น 5 แบบ ดังนี้

6.2.1 การเตรียมตัวอย่างแบบที่ 1

- (1) เตรียมเส้นใยบะซอลต์ โดยใช้เส้นใยขึ้นรูปจากโรงงานโดยไม่มีการปรับปรุงสภาพผิวใด ๆ
- (2) เตรียมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ทราายละเอียด แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) และ น้ำ
- (3) ผสมเส้นใยบะซอลต์กับน้ำในเครื่องปั่นผสมด้วยความเร็วเบอร์ 2 เป็นเวลา 1 นาที
- (4) นำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ทราายละเอียด และหินปูน (CaCO_3) ผสมแบบแห้งในถุงพลาสติกด้วยการเขย่าให้เข้ากัน แล้วทยอยผสมกับเส้นใยบะซอลต์ด้วยเครื่องปั่นผสม ซึ่งมีน้ำอยู่แล้วด้วยความเร็วเบอร์ 2 เป็นเวลา 1 นาที โดยส่วนผสมทั้งหมดแสดงในตาราง
- (5) เทส่วนผสมลงแม่พิมพ์แล้วเกลี่ยผิวหน้าให้เรียบดูน้ำออกด้วยระบบสูญญากาศ
- (6) นำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยแรง 8 ตัน



(ก)



(ข)



(ค)

รูปแสดงการเตรียมตัวอย่างแบบที่ 1

(ก) เครื่องปั่นผสมสำหรับปั่นส่วนผสมทั้งหมด

(ข) ส่วนผสมทั้งหมดถูกเทลงแม่พิมพ์เหล็กกล้าโรสนิมวางอยู่บนตะแกรง และ Büchner funnel แล้วปาดผิวหน้าให้เรียบ ดูดด้วยระบบสุญญากาศ และ

(ค) การอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก

ส่วนผสม	น้ำหนัก (กรัม)
ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	25.00
ทรายละเอียด	17.50
หินปูน	5.00
เส้นใยบะซอลต์	2.50
น้ำ	150.00
รวม	200.00

ตาราง แสดงสัดส่วนในการเตรียมตัวอย่างแบบที่ 1

6.2.2 การเตรียมตัวอย่างแบบที่ 2

การเตรียมตัวอย่างแบบที่ 2 นี้ มีการปรับปรุงจากแบบที่ 1 โดยเปลี่ยนจากเครื่องปั่นผสมเป็นเครื่องกวน เนื่องจากพบว่าใยแก้วถูกปั่นและทำให้เส้นใยขนาดสั้นลงไม่สามารถขึ้นรูปได้ และมีการทดลองใช้เส้นใยบะซอลต์ที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารเคมี ซึ่งบริษัทสยามฟริตจำกัด ได้ส่งมาให้ทดลองโดยใช้ชื่อเส้นใยว่า Coated dow 1 Coated dow 2 และ Coated dow 3 โดยเส้นใยแบบเดิมที่ไม่มีการเคลือบผิวให้ชื่อว่า non-coated โดยแยกสูตรตามชื่อเส้นใยที่ใช้ วิธีการเตรียมดังนี้

(1) เตรียมเส้นใยบะซอลต์ ชนิดต่าง ๆ สำหรับเส้นใยที่ใช้ทุกสูตรจะถูกยี้หรือตีให้กระจายตัวด้วยเครื่องผสมอาหาร Bosch hand mixer โดยใช้ใบกวนแบบตะกร้อ turbo whisks

(2) เตรียมปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภท 1 ทรายละเอียด หินปูน และน้ำ โดยการชั่งน้ำหนักตามสัดส่วนในตาราง

(3) นำเส้นใยบะซอลต์ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทรายละเอียด หินปูน ผสมแบบแห้งในถุงพลาสติกด้วยการเขย่าให้เข้ากัน แล้วทยอยเทส่วนผสมลงในน้ำผสมด้วยเครื่องกวนสารที่ความเร็ว 800 rpm เป็นเวลา 5 นาที สูตรที่ใช้เตรียมในตาราง 5.2 จะแยกได้ 4 สูตร แต่ละสูตรจะต่างกันเพียงใช้เส้นใยต่างกันเท่านั้น แต่ยังคงสัดส่วนโดยน้ำหนักเหมือนเดิม

(4) เทส่วนผสมลงแม่พิมพ์ที่ละชั้นจำนวน 2 ชั้น แต่ละชั้นจะมีการเกลี่ยและปาดผิวหน้าให้เรียบ ดูดน้ำออกด้วยระบบสุญญากาศ

(5) นำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยแรง 8 ตัน

(6) ทำการบ่มแผ่นกระเบื้องที่ได้ด้วยการบ่มในถุงซิปลเป็นเวลา 7 วัน วางไว้ ณ อุณหภูมิห้อง ทำการพรมน้ำในถุงเพื่อให้คงสภาพความชื้นประมาณ 50% และ 28 วัน หลังจากนั้นนำไปแช่น้ำ 2 วันเพื่อทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของชิ้นงานเปียก (Flexural strength)

ส่วนผสม	น้ำหนัก (กรัม)
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1	27.50
ทรายละเอียด	10.00
หินปูน	5.00
เส้นใยบะซอลต์ (ชนิดต่าง ๆ) *	7.50
น้ำ	150.00
รวม	200.00

ตาราง แสดงสัดส่วนในการเตรียมตัวอย่างแบบที่ 2

หมายเหตุ * เส้นใยบะซอลต์ที่ใช้ในการทดลองขึ้นรูป ได้แก่

- (1) เส้นใยบะซอลต์ที่ผ่านการตีให้แตกตัวแล้วเคลือบผิว Coated dow 1
- (2) เส้นใยบะซอลต์ที่ผ่านการตีให้แตกตัวแล้วเคลือบผิว Coated dow 2
- (3) เส้นใยบะซอลต์ที่ผ่านการตีให้แตกตัวแล้วเคลือบผิว Coated dow 3
- (4) เส้นใยบะซอลต์ที่ผ่านการตีให้แตกตัวแล้วเคลือบผิว Non-coated



(ก)



(ข)



(ค)

รูปแสดงการเตรียมตัวอย่างแบบที่ 2 รูป

(ก) เครื่องกวนสารสำหรับผสมส่วนผสมทั้งหมด รูป

(ข) ส่วนผสมทั้งหมดถูกเทลงแม่พิมพ์ แล้วปาดผิวหน้าให้เรียบ ดูดด้วยระบบสูญญากาศ และรูป

(ค) การอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก

6.2.3 การเตรียมตัวอย่างแบบที่ 3

การเตรียมตัวอย่างแบบที่ 3 นี้ มีการปรับปรุงจากแบบที่ 2 โดยทำการปรับปรุงส่วนผสมระหว่างปูนกับเส้นใยบะซอลต์ และใช้เถ้าลอยเป็นสารเติมเต็ม มีการใช้อะลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) เพื่อปรับปรุงสภาพผิวของเส้นใยบะซอลต์ ให้เกิดการกระจายตัวดีสำหรับกรณีการใช้เส้นใย non-coated เท่านั้น และสำหรับทุกสูตรที่เตรียมจะผสมเส้นใยธรรมชาติ ในที่นี้ใช้เส้นใยยูคาลิปตัสเกรดเดียวกับที่ใช้ในกระเบื้องซีเมนต์เส้นใยแบบไม่ใช้ใยหิน วิธีการเตรียมดังนี้

(1) เตรียมเส้นใยบะซอลต์ชนิดต่าง ๆ สำหรับเส้นใยที่ใช้ทุกสูตรจะถูกยี้หรือตีให้กระจายตัวด้วยเครื่องผสมอาหาร Bosch hand mixer โดยใช้ใบกวนแบบตะกร้อ turbo whisks

(2) เตรียมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ทรายละเอียด เถ้าลอย

อะลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) และน้ำ โดยการชั่งน้ำหนักตามสัดส่วน

(3) ผสมเส้นใยธรรมชาติกับน้ำในเครื่องปั่นผสม ยี่ห้อ OTTO รุ่น BE-120 ด้วยความเร็วเบอร์ 2 เป็นเวลา 2 นาที นำเส้นใยบะซอลต์ลงไปผสมด้วยเครื่องกวนสาร ยี่ห้อ IKA รุ่น RW20 digital ที่ความเร็ว 800 rpm เป็นเวลา 1 นาที

(4) เติมสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$) ความเข้มข้น 10 % ผสมด้วยเครื่องกวนสารที่ความเร็ว 800 rpm เป็นเวลา 1 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง

(5) ใส่แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ในสารละลายผสมเส้นใยในข้อ (4) แล้วผสมด้วยเครื่องกวนสารที่ความเร็ว 800 rpm เป็นเวลา 1 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ อีก 1 ชั่วโมง

(6) นำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ทรายละเอียด ฝัากลอย ผสมแบบแห้งในถุงพลาสติกด้วยการเขย่าให้เข้ากัน แล้วทยอยใส่ผสมในบีกเกอร์ที่มีน้ำอยู่ แล้วผสมด้วยเครื่องกวนสารที่ความเร็ว 800 rpm เป็นเวลา 5 นาที

(7) แบ่งส่วนผสมผสมลงแม่พิมพ์ที่ละชั้นเท่า ๆ กัน จำนวน 2 ชั้น แต่ครั้งที่เททำการเกลี่ยและปาดผิวหน้าให้สม่ำเสมอ ดูดน้ำออกด้วยระบบสุญญากาศผ่าน Büchner funnel

(8) นำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยแรงกด 8 ตัน

(9) เตรียมตัวอย่างทดสอบด้วยการบ่มในถุงซิปลงเป็นเวลา 7 วัน และ 28 วัน หลังจากนั้นนำไปแช่น้ำ 2 วันเพื่อทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด (Flexural strength)

ส่วนผสม	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2
	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนัก (กรัม)
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	32.50	32.50
ทรายละเอียด	5.50	5.50
เส้นใยบะซอลต์	8.00	8.00
เส้นใยธรรมชาติ	1.50	1.00
ฝัากลอย	2.50	3.00
อะลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$)	1.20	1.20
แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$)	0.075	0.075
น้ำ	100.00	100.00

ตาราง Error! No text of specified style in document..1 แสดงสัดส่วนในการเตรียมตัวอย่างแบบที่ 3

6.2.4 การเตรียมตัวอย่างแบบที่ 4

การเตรียมตัวอย่างแบบที่ 4 นี้ คณะผู้วิจัยได้ทดลองใช้ sodium carboxymethyl cellulose (CMC) เป็นสารช่วยกระจายตัวสำหรับเส้นใยบะซอลต์แบบไม่เคลือบผิว (non-coated) และปรับปรุงความหนืดของน้ำปูนหลังผสม แต่ใช้ CMC ในปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากโซเดียมใน CMC จะขัดขวางการเซตตัวของน้ำปูน วิธีการขึ้นรูปแบบที่ 4 ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

(1) เตรียมเส้นใยบะซอลต์ชนิดไม่เคลือบผิว non-coated และเส้นใยธรรมชาติ

(2) เตรียมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ทรายละเอียด น้ำ ฝัากลอย

- อะลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$)
- (3) ผสมเส้นใยธรรมชาติ CMC และน้ำในเครื่องปั่นผสม ยี่ห้อ OTTO รุ่น BE-120 ด้วยความเร็วเบอร์ 2 เป็นเวลา 3 นาที กรองแยกเส้นใยธรรมชาติออก แล้วนำสารละลาย CMC ที่เหลือจากการเคลือบใยธรรมชาติไปผสมกับเส้นใยบะซอลต์ ผสมด้วยเครื่องกวนสารที่ความเร็ว 800 rpm เป็นเวลา 2 นาที
- (4) เติมสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$) ความเข้มข้น 10% ผสมด้วยเครื่องกวนสารที่ความเร็ว 800 rpm เป็นเวลา 1 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง
- (5) ใส่แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ผสมด้วยเครื่องกวนสารที่ความเร็ว 800 rpm เป็นเวลา 1 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง
- (6) นำเส้นใยธรรมชาติจากขั้นตอนที่ 3 มาปั่นผสมด้วยเครื่องกวนสารที่ความเร็ว 800 rpm เป็นเวลา 2 นาที
- (7) นำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทรายละเอียด และเถ้าลอยมาผสมกันในถุงพลาสติกด้วยการเขย่าให้เข้ากัน แล้วทยอยใส่ผสมด้วยเครื่องกวนสารยี่ห้อ IKA รุ่น RW20 digital ที่ความเร็ว 800 rpm เป็นเวลา 3 นาที
- (8) เทส่วนผสมลงแม่พิมพ์ทีละชั้นจำนวน 2 ชั้น แต่ละชั้นจะมีการปาดผิวหน้าให้เรียบ ดูดน้ำออกด้วยระบบสูญญากาศ
- (9) นำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยแรง 8 ตัน
- (10) เตรียมตัวอย่างทดสอบด้วยการบ่มในถุงซิปลเป็นเวลา 7 วัน และ 28 วัน ก่อนทดสอบนำไปแช่น้ำ 48 ชั่วโมง เพื่อทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดแบบเปือก (Flexural strength) ตามลำดับ

ส่วนผสม	น้ำหนัก (กรัม)
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	32.50
ทรายละเอียด	5.50
เส้นใยบะซอลต์	8.00
เส้นใยธรรมชาติ	1.00
เถ้าลอย	3.00
CMC	0.003
อะลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$)	0.24
แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$)	0.0162
น้ำ	100

ตารางแสดงสัดส่วนในการเตรียมตัวอย่างแบบที่ 4

6.2.5 การเตรียมตัวอย่างแบบที่ 5

การเตรียมตัวอย่างแบบที่ 5 นี้เป็นการปรับปรุงจากสูตรส่วนผสมในที่ 4 อีกเล็กน้อย โดยเป็นสูตรสุดท้ายในการวิจัย และได้ทดลองขึ้นรูปโดยใช้แม่แบบขนาด 3×8 นิ้ว ซึ่งเป็นขนาดตามที่ห้องปฏิบัติการในโรงงานกระเบื้องใช้ทดลองขึ้นรูป และทดสอบสมบัติก่อนนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตจริง ขั้นตอนการเตรียมใช้วิธีการเดียวกับการเตรียมแบบที่ 4 ดังนี้

- (1) เตรียมเส้นใยบะซอลต์ชนิดไม่เคลือบผิว non-coated และเส้นใยธรรมชาติ
- (2) เตรียมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ทรายละเอียด น้ำ เถ้าลอย อะลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$)

(3) ผสมเส้นใยธรรมชาติ CMC และน้ำในเครื่องปั่นผสม ยี่ห้อ OTTO รุ่น BE-120 ด้วยความเร็วเบอร์ 2 เป็นเวลา 3 นาที กรองแยกเส้นใยธรรมชาติออก แล้วนำสารละลาย CMC ที่เหลือจากการเคลือบใยธรรมชาติไปผสมกับเส้นใยบะซอลต์ ผสมด้วยเครื่องกวนสารที่ความเร็ว 800 rpm เป็นเวลา 2 นาที

(4) เติมสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$) ความเข้มข้น 10% ผสมด้วยเครื่องกวนสารที่ความเร็ว 800 rpm เป็นเวลา 1 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง

(5) ใส่แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ผสมด้วยเครื่องกวนสารที่ความเร็ว 800 rpm เป็นเวลา 1 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง

(6) นำเส้นใยธรรมชาติจากขั้นตอนที่ 3 มาปั่นผสมด้วยเครื่องกวนสารที่ความเร็ว 800 rpm เป็นเวลา 2 นาที

(7) นำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทราเยละเอียด และเถ้าลอยมาผสมกันในถุงพลาสติกด้วยการเขย่าให้เข้ากัน แล้วทยอยใส่ผสมด้วยเครื่องกวนสารยี่ห้อ IKA รุ่น RW20 digital ที่ความเร็ว 800 rpm เป็นเวลา 3 นาที

(8) เทส่วนผสมลงแม่พิมพ์ทีละชั้นจำนวน 2 ชั้น แต่ละชั้นจะมีการปาดผิวหน้าให้เรียบ คูดน้ำออกด้วยระบบสุญญากาศ

(9) นำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยแรง 8 ตัน

(10) เตรียมตัวอย่างทดสอบด้วยการบ่มในถุงซิปลเป็นเวลา 7 วัน และ 28 วัน ก่อนทดสอบนำไปแช่น้ำ 48 ชั่วโมง เพื่อทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดแบบเปี้ยก (Flexural strength) ตามลำดับ

ส่วนผสม	น้ำหนัก (กรัม)
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	75.00
ทราเยละเอียด	5.00
เส้นใยบะซอลต์	9.00
เส้นใยธรรมชาติ	1.00
Anhydrite ($CaSO_4$)	1.00
เถ้าลอย	3.00
อะลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$)	0.24
แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$)	0.0162
น้ำ	800

ตารางแสดงสัดส่วนในการเตรียมตัวอย่างแบบที่ 5

6.3 การทดสอบ
สมบัติ

การทดสอบแผ่นกระเบื้องนั้นได้กำหนดการทดสอบวัสดุให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C1185-08 [15] และเปรียบเทียบค่ากับผลิตภัณฑ์ในกลุ่มที่จัดประเภทตามมาตรฐาน ASTM C1186-08 [16] และพิจารณาว่าคุณสมบัติที่ได้แต่ละตัวอย่างผ่านเกณฑ์หรือไม่ และจัดอยู่ในกลุ่มผลิตภัณฑ์ประเภทไหน ในการทดสอบจะชั่งตัวอย่างกระเบื้องจำนวน 3-5 แผ่นต่อหนึ่งสูตร และรายงานผลการทดสอบเป็นค่าเฉลี่ยที่วัดได้

6.3.1 การวัดขนาดและเกณฑ์การคลาดเคลื่อน

การวัดขนาดแผ่นกระเบื้องและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนจะมีการปรับสภาวะโดยการบ่มในอากาศอุณหภูมิห้อง เก็บในถุงซิปล 7 วัน ความชื้นสัมพัทธ์ $50 \pm 5\%$ ทำการวัดความกว้าง ความยาว ความหนา การวัดความกว้างและความยาวของแผ่นกระเบื้องจะทำการวัดทั้งหมด 3 จุด คือส่วนปลายทั้งสองข้าง และส่วนตรงกลางแผ่นกระเบื้อง ส่วนความหนานั้นจะวัดทั้งหมด 4 จุด คือมุมทั้งสี่ของแผ่นกระเบื้อง แล้วบันทึกค่า เพื่อนำค่าที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ย

6.3.2 ความหนาแน่น

การหาค่าความหนาแน่นของแผ่นกระเบื้องตามมาตรฐาน ASTM C1185-08 ทำการวัดขนาดแผ่นกระเบื้อง มีการปรับสภาวะโดยแช่ชิ้นงานในน้ำ ที่อุณหภูมิห้อง อย่างต่ำ 48 ชั่วโมง อบแห้งที่ 90 องศาเซลเซียส อย่างต่ำ 24 ชั่วโมง จนเข้าสู่สมดุล แล้วชั่งน้ำหนักขณะหมาด (Saturated Weight, w) นำแผ่นกระเบื้องแช่น้ำหนักในน้ำ จะได้น้ำหนักในน้ำ (Suspended Weight, S) นำค่าทั้งสองค่าไปแทนในสมการ นั่นคือ

$$D = (W \times 10^6) / V$$

เมื่อ D คือ ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
W คือ น้ำหนักแผ่นกระเบื้องแห้ง (กรัม)
V คือ ปริมาตรแผ่นกระเบื้อง (ลูกบาศก์เมตร) หาได้จาก w-S

6.3.3 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด (Flexural strength)

การหาค่ากำลังต้านทานแรงดัดในสภาวะแห้งและเปียกตามมาตรฐาน ASTM C 1185-08 โดยวางแผ่นกระเบื้องบนแท่นรองรับบนเครื่องทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด โดยเครื่องจะต้องกดอยู่ที่กึ่งกลางของแผ่นกระเบื้อง และเริ่มกดแผ่นกระเบื้อง ใช้ความเร็วในการกดไม่เกิน 5 กิโลนิวตันต่อนาที จนกว่าแผ่นกระเบื้องจะเกิดการแตกหัก แล้วบันทึกค่าแรงกดสูงสุดที่แผ่นกระเบื้องสามารถรับได้ แล้วนำไปแทนค่าในสมการที่ 3.2 นั่นคือ

$$R = (3PL) / (2bd^2)$$

เมื่อ R คือ ค่ากำลังต้านทานแรงดัด (เมกะปาสคาล)
P คือ แรงกดสูงสุด (นิวตัน)
L คือ ระยะห่างของแท่นรองรับ (มิลลิเมตร)
b คือ ความกว้างที่จุดกึ่งกลางด้านยาวของแผ่นกระเบื้อง (มิลลิเมตร)
d คือ ความหนาที่จุดกึ่งกลางด้านความยาวของแผ่นกระเบื้อง (มิลลิเมตร)



รูปแสดงการทดสอบความต้านทานแรงดัดกระเบื้อง

6.3.4 การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางจุลภาค

เส้นใยบะซอลต์จะถูกตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาว และลักษณะทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JEOL-JSM-6610)

ชิ้นตัวอย่างกระเบื้องที่ถูกนำไปทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดแล้วบางสูตรที่มีสมบัติดีเยี่ยมจะถูกนำมาศึกษาลักษณะทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเพื่อตรวจสอบบริเวณรอยแตกหัก พิจารณาลักษณะการยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับเนื้อซีเมนต์ การกระจายตัวของเส้นใยในซีเมนต์

6.3.5 การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนด้วย DTA

ตัวอย่างที่ผ่านการขึ้นรูปและบ่มเป็นเวลา 3 วัน และ 7 วัน ถูกตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Differential Thermal Analysis หรือ DTA (Linseiss P1600) เพื่อตรวจสอบเปรียบเทียบผลการการเติม Fly ash ต่อการลดปริมาณของ Ca(OH)_2

การดำเนินงานทดลองขึ้นรูป ปรับปรุงสูตร และเทคนิคการทำให้เส้นใยมีการกระจายตัวดีในเนื้อกระเบื้องตัวอย่าง เป็นเพียงส่วนหนึ่งของการประเมินหาส่วนผสมและเทคนิคที่เหมาะสมในการใช้เส้นใยบะซอลต์มาทดแทนหรือเป็นวัตถุดิบทางเลือกสำหรับอุตสาหกรรมกระเบื้องมุงหลังคาและผลิตภัณฑ์ซีเมนต์เส้นใยแผ่นเรียบ ทั้งนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ต้องคำนึงถึง ซึ่งทางคณะผู้วิจัยอยู่ในระหว่างการประสานงานกับโรงงานกระเบื้องซีเมนต์เส้นใย บริษัท ทีพีไอ โพลีน จำกัด (มหาชน) เพื่อขอความอนุเคราะห์ให้เครื่องมือทดลองขึ้นรูปโดยวิธีการและเครื่องมือเดียวกับที่ห้องปฏิบัติการของโรงงานใช้

6.4 การคัดเลือกเส้นใยที่นำมาขึ้นรูป

เนื่องจากในระยะแรกในช่วงเริ่มต้นโครงการการผลิตเส้นใยเองโดยอุปกรณ์ขนาดทดลองของบริษัทสยามพริต จำกัด ยังไม่สามารถทำเส้นใยที่มีขนาดเล็กได้สม่ำเสมอและมีความเหมาะสมแก่การนำมาใช้ได้ จึงได้จัดหาเส้นใยจากโรงงานผลิตที่ใช้หินบะซอลต์เป็นวัตถุดิบและมีความเหมาะสมในด้านขนาดและความสม่ำเสมอมาใช้ทดลองในโครงการนี้ ดังนั้นเส้นใยในการทดลองนี้จึงแบ่งได้เป็น 3 ชนิด โดยชนิดที่ 1 และ 2 ได้มาจากโรงงานผลิตเส้นใยฉนวนกันความร้อน ส่วนเส้นใยชนิดที่ 3 คือเส้นใยบะซอลต์ที่ผลิตได้จากบริษัทสยามพริต จำกัด

องค์ประกอบเคมี	ใยชนิดที่ 1 (wt. %)	ใยชนิดที่ 2 (wt. %)	ใยชนิดที่ 3 (wt. %)
SiO ₂	37.44	32.59	48.16
CaO	36.97	35.60	12.00
Al ₂ O ₃	14.2	15.70	18.00
MgO	7.17	3.80	4.00
TiO ₂	1.07	1.79	1.38
Na ₂ O	0.34	4.20	4.00
SO ₃	0.55	0.10	0.00
K ₂ O	0.41	0.75	2.18
MnO	0.32	0.40	0.18
Fe ₂ O ₃	0.79	4.80	10.00
SrO	0.11	0.12	0.04
ZrO ₂	0.04	0.11	0.02
V ₂ O ₅	-	0.01	0.04
Cr ₂ O ₃	-	0.01	0.04
CuO	0.04	0.03	0.02



(ก) เส้นใยจากหินบะซอลต์ชนิดที่ 1



(ข) เส้นใยจากหินบะซอลต์ชนิดที่ 2



(ค)

รูป (ก) (ข) ชนิดที่ 2 และ (ค) ชนิดที่ 3

จากองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 สามารถจัดอยู่ในกลุ่มใยหินหรือ Rock Wool ประเภทที่เรียกว่า slag wool โดยพิจารณาจากสภาพความเป็นกรด หรือ acidity modulus ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนระหว่างสารประกอบออกไซด์ที่เป็นกรด (SiO₂) กับสารประกอบออกไซด์ที่เป็นด่าง (ได้แก่ CaO MgO Na₂O และ K₂O เป็นต้น) ในส่วนผสมของเส้นใย ถ้า acidity modulus มีค่าน้อยกว่า 1.2 เส้นใยนั้นจะเรียกว่า slag wool ซึ่งมักได้มาจากวัตถุดิบพลอยได้จากกระบวนการผลิตที่ใช้ถ่านหิน ซึ่งมีความเปราะมากและไม่ทนต่อสารเคมี ถ้า acidity modulus มีค่าเท่ากับ 1.2 – 1.5 เส้นใยนี้จะจัดอยู่ในกลุ่มที่เรียกว่า mineral wool เป็นใยที่ได้จากหินภูเขาไฟและถ่านหิน ใยประเภทนี้จะเปราะ แต่มีค่าความเป็นฉนวนความร้อนที่ยอมรับได้ ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้อุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้าง

	<p>และถ้าหากค่า acidity modulus มากกว่า 1.5 เส้นใยนี้จะถูกเรียกว่าใยหิน หรือ rock wool ถ้าหากวัตถุติดเส้นใยคือหินบะซอลต์ก็จะเรียกใยที่ผลิตได้ว่าเป็นใยบะซอลต์ ดังนั้นเส้นใยชนิดที่ 3 จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับใยบะซอลต์</p>
<p>ผลการทดลอง: 1. การทดลองนำเส้นใยจากหินบะซอลต์ชนิดที่ 1 มาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในไฟเบอร์ซีเมนต์</p>	<p>การทดลองใช้เส้นใยจากหินบะซอลต์ชนิดที่ 1 เพียงชนิดเดียวเป็นวัสดุเสริมแรง คณะผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าและสอบถามข้อมูลกับผู้เชี่ยวชาญของโรงงานกระเบื้อง ได้แก่ โรงงานกระเบื้องของ บริษัท SCG Building Materials จำกัด และโรงงานกระเบื้องของ บริษัท ทีพีโอ โพลีน จำกัด (มหาชน) เพื่อนำข้อมูลมาปรับปรุงวิธีการทดลองและแลกเปลี่ยนความเห็นเกี่ยวกับเส้นใยบะซอลต์</p> <p>ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามวิธีการทดลองขึ้นรูปกระเบื้องเส้นใยบะซอลต์เพื่อหาส่วนผสมที่ทำให้ได้เนื้อกระเบื้องที่มีความแข็งแรง และให้ได้วิธีการที่เหมาะสมในการปรับปรุงให้เส้นใยเกิดการกระจายตัวดีในเนื้อกระเบื้อง โดยพิจารณาจากค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดเมื่อผ่านการบ่มในสภาพอากาศความชื้น 50 % อุณหภูมิปกติ ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ผู้วิจัยได้พัฒนาวิธีการเตรียมกระเบื้องตัวอย่างขนาดสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 50x100 มม. ความหนาประมาณ 5-10 มม. ตั้งแต่รูปแบบการเตรียมกระเบื้องแบบที่ 1 ถึง แบบที่ 4</p> <p>ในระยะเริ่มต้นการศึกษา ผู้วิจัยได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยบะซอลต์มาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงเพียงชนิดเดียวในผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ ทดลองเตรียมเส้นใยโดยวิธีการปั่นด้วยเครื่องปั่นตามวิธีเตรียมแบบที่ 1 พบว่าไม่สามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นงานกระเบื้องแผ่นเรียบได้ เนื่องจากเส้นใยบะซอลต์ถูกปั่นจนละเอียดไม่เหลือความสามารถในการเสริมแรงให้แก่เนื้อกระเบื้องภายหลังการอัดได้ จึงได้เปลี่ยนวิธีการปั่นเส้นใยด้วยใบกวนผสมซึ่งจะไม่ทำลายเส้นใยให้สั้นลง แต่พบว่าเส้นใยจากหินบะซอลต์ที่ได้มามีลักษณะเกาะกันเป็นกลุ่ม เมื่อปั่นในน้ำแล้วพบว่าไม่สามารถทำให้แตกตัวได้ตันทันทีทั้งยังรวมตัวเป็นกระจุก จึงได้ปรับปรุงโดยใช้วิธีการตัดด้วยเครื่องตัดกระดาษให้มีความยาวประมาณ 5 มิลลิเมตร แล้วตีด้วยใบกวนแบบตะกร้อในเครื่องปั่นผสมแบบแห้งก่อน เพื่อให้เส้นใยคลี่และแยกออกจากกันมากที่สุดก่อนที่จะนำมาตีผสมในน้ำ ผลที่ได้พบว่าเส้นใยกระจายตัวในน้ำได้ดีขึ้น จึงได้ใช้เป็นแนวทางปฏิบัติในการเตรียมเส้นใยในสูตรต่าง ๆ ต่อไป</p> <p>นอกจากนี้บริษัทสยามฟริต จำกัด ได้นำเส้นใยชนิดที่ 1 ที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารเคมีช่วยการกระจายตัวในน้ำแบบต่าง ๆ จำนวน 3 ชนิด ซึ่งเป็นสารเคมีของบริษัทดาว คอร์นิ่ง จำกัด เป็นผู้ทดลองเตรียมให้และไม่ได้เปิดเผย เพื่อให้ทดลองใช้</p> <p>ผลการทดลองใช้เส้นใยชนิดที่ 1 ที่ผ่านการเคลือบผิวเปรียบเทียบกับเส้นใยแบบไม่เคลือบผิวแต่ผ่านการปรับปรุงโดยการตัดและปั่นในเครื่องปั่นผสมแห้ง แสดงส่วนผสมและผลการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดัด ในการทดลองเตรียมตัวอย่างไฟเบอร์ซีเมนต์แผ่นเรียบนี้ได้ใช้เส้นใยจากหินบะซอลต์ชนิดที่ 1 เพียงอย่างเดียว เมื่อผ่านไป 7 วัน จึงได้แช่น้ำเพื่อทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดัดแบบเปียก ตามมาตรฐาน ASTM 1186 ตัวอย่างทั้ง 4 สูตร ได้แก่ NC CD1 CD2 และ CD3</p> <p>เมื่อพิจารณาสมบัติที่วัดและทดสอบ พบว่ากระเบื้องตัวอย่างทั้ง 4 มีค่ากำลังต้านทานแรงดัดแบบเปียกเกินเกณฑ์ขั้นต่ำตามมาตรฐานกระเบื้องเส้นใยแผ่นเรียบที่ไม่ใช่ใยหิน ASTM C 1186 จัดอยู่ในกลุ่ม Type A ซึ่งเหมาะกับการใช้งานภายนอกอาคารและเผชิญกับแสงอาทิตย์โดยตรง และจัดอยู่ในชั้นคุณภาพที่พิจารณาจากความแข็งแรง ระหว่างเกรด II และ III จากทั้งหมด 4 เกรด เรียงลำดับจากน้อยไป</p>

มาก อย่างไรก็ตามผู้วิจัยพบว่าเนื้อกระเบื้องยังมีความไม่สม่ำเสมอของเส้นใยอยู่บ้าง ทำให้การพัฒนาความแข็งแรงเมื่อเวลาผ่านไปถึง 28 วัน ยังไม่ดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัดนัก และการเคลือบผิวด้วยสารเคมีอาจทำให้มูลค่าต้นทุนวัตถุดิบเส้นใยสูงขึ้น จึงได้ทดลองปรับปรุงวิธีการเตรียมด้วยการใช้สารช่วยกระจายตัวและปรับสภาพผิวให้สามารถกระจายตัวได้ดีโดยไม่ต้องเคลือบสารเคมีราคาแพง

สูตร / สมบัติ	NC	CD1	CD2	CD3
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 [wt. %]	55	55	55	55
เส้นใยบะซอลต์ (ชนิดต่าง ๆ) [wt. %]	15	15	15	15
หินปูน [wt. %]	10	10	10	10
ทรายละเอียด [wt. %]	20	20	20	20
รวม [wt. %]	100	100	100	100
น้ำ [wt. %]	300	300	300	300
เปอร์เซ็นต์ของแข็ง [wt. %]	25	25	25	25
น้ำ/ซีเมนต์	5.45	5.45	5.45	5.45
ความหนาแน่น (หลังบ่ม 7 วัน) [g/cm ³]	1.65	1.71	1.74	1.73
ความหนาแน่น (หลังบ่ม 28 วัน) [g/cm ³]	1.64	1.69	1.75	1.79
Flexural strength [MPa] (หลังบ่ม 7 วัน)	7.18	9.75	10.31	9.50
Flexural strength [MPa] (หลังบ่ม 28 วัน)	7.28	10.96	8.31	13.13
Breaking Moment [N m/m] (หลังบ่ม 7 วัน)	35.17	54.31	41.11	39.90
Breaking Moment [N m/m] (หลังบ่ม 28 วัน)	38.45	45.60	27.92	43.91

ผลการวัดและทดสอบสมบัติกระเบื้องเส้นใยตัวอย่างที่เตรียมด้วยวิธีการเตรียมแบบที่ 2 หมายเหตุ ด้วยชื่อสูตรสัมพันธ์กับชื่อเส้นใยบะซอลต์ที่ผสมในกระเบื้องตัวอย่าง NC คือ non-coated CD1 คือเส้นใยเคลือบสารเคมี coated-dow1 CD2 คือเส้นใยเคลือบสารเคมี coated-dow2 CD3 คือ เส้นใยเคลือบสารเคมี coated-dow3

Grade	Minimum Wet Strength [MPa]	Minimum Dry Strength [MPa]
I	4	4
II	7	10
III	13	16
IV	18	22

ตารางแสดงค่ากำลังต้านทานแรงดัดขั้นต่ำที่ต้องการของกระเบื้องเส้นใยที่ไม่ใช่ใยหิน ตาม ASTM C 1186

2. การทดลองใช้เส้นใยจากหินบะซอลต์ชนิดที่ 1 และใยธรรมชาติ

เพื่อลดต้นทุนการผลิตและปรับปรุงสมบัติการกระจายตัวของเส้นใยจากหินบะซอลต์ ผู้วิจัยได้ศึกษาการพัฒนาส่วนผสมพื้นฐานของการใช้เส้นใยจากหินบะซอลต์ร่วมกับเส้นใยธรรมชาติ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ใยยูคาลิปตัสที่ผ่านการฟอกเอาลิกนินออกไปบางส่วน ซึ่งเป็นวัสดุประเภทเดียวกับที่มีการใช้งานในกระเบื้องซีเมนต์แบบปราศจากแร่ใยหินจากบริษัทเอสซีจี แพลคเกจจิ้ง จำกัด (มหาชน)



(ก)



(ข)

รูปภาพเส้นใยธรรมชาติจากต้นยูคาลิปตัส (ก) เส้นใยที่ผ่านการฟอกแล้ว (ข) เส้นใยหลังการปั่นเตรียมสำหรับผสมในกระเบื้อง

ในการเตรียมตัวอย่างดำเนินการตามวิธีการเตรียมแบบที่ 3 และ 4 โดยมีการเติมสารช่วยปรับปรุงผิวของเส้นใยจากหินบะซอลต์ให้มีลักษณะขรุขระมากยิ่งขึ้น โดยการแช่ในสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต และ Ca(OH)_2 ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติ[18] เพื่อเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะกับปูนซีเมนต์ และเพิ่มความแข็งแรงให้กับไฟเบอร์ซีเมนต์ ผลการทดลองเปรียบเทียบการใช้สารละลาย $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 10% และ 20% นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงส่วนผสมโดยเติมเถ้าลอยจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าถ่านหิน (Fly ash) ซึ่งเป็นวัสดุที่ให้ซิลิกาแก่น้ำซีเมนต์อีกทั้งมีความละเอียดมากส่งผลให้มีพื้นผิวสัมผัสสามารถเกิดปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ได้ง่ายและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

ผลการทดลองขึ้นรูปพบว่าการใช้สารละลาย $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 20 % ทำให้ของผสมมีความหนืดมากไม่เหมาะแก่การขึ้นรูปแบบ Hatcheck ที่ต้องการการไหลตัวของน้ำและของผสมเมื่อกรองผ่านตะแกรง แม้ว่าค่าความต้านทานต่อแรงดัดจะมีค่ามากกว่าการใช้สารละลายความเข้มข้น 10% ก็ตาม

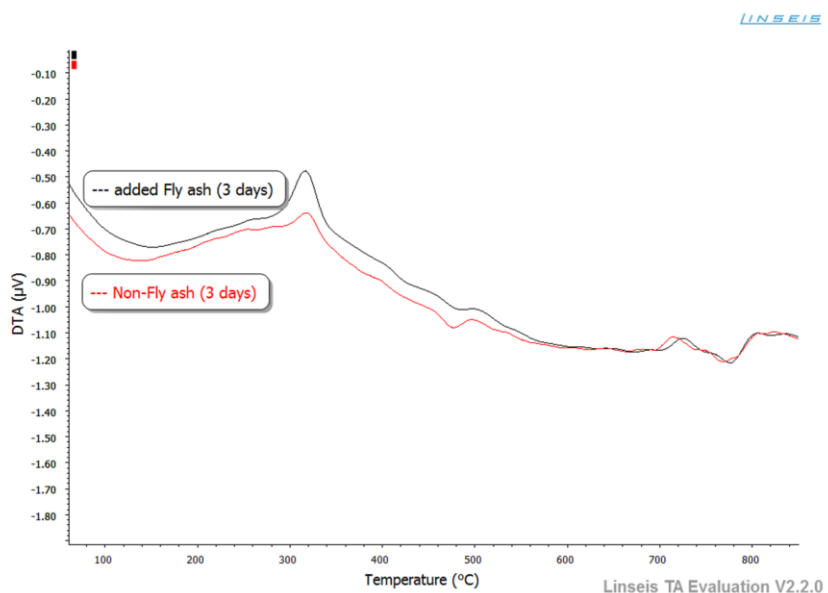
ส่วนผสม / สมบัติ	สูตร 1	สูตร 2
ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภท 1 [wt. %]	65.00	65.00
Fly ash	5.00	5.00
ใยธรรมชาติ (Eucalyptus)	3.00	3.00
เส้นใยบะซอลต์ (ชนิดที่ 1) [wt. %]	16.00	16.00
ทรายละเอียด [wt. %]	11.00	11.00
รวม [wt. %]	100.00	100.00
water	200.00	200.00
เปอร์เซ็นต์ของแข็ง [wt. %]	33.33	33.33
น้ำ/ซีเมนต์	3.08	3.08
สารละลาย $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 20%	2.40	0.00
สารละลาย $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 10%	0.00	2.40
Ca(OH)_2	0.30	0.30
ความหนาแน่น (หลังบ่ม 7 วัน) [g/cm^3]	1.64	1.63
Wet Flexural strength (หลังบ่ม 7 วัน) (MPa)	11.82	10.61

ตารางแสดงผลการปรับปรุงสูตรไฟเบอร์ซีเมนต์โดยใช้ใยธรรมชาติและสารละลายเพื่อปรับปรุงผิวเส้นใย เพื่อเป็นการปรับปรุงสมบัติความแข็งแรงในระยะยาว การลดปริมาณใยธรรมชาติลงเป็นอีกแนวทางหนึ่ง หน้าที่สำคัญของใยธรรมชาติมีเฉพาะช่วงแรกในกระบวนการขึ้นรูปเท่านั้น แต่ในการใช้งานระยะยาวสมบัติของเส้นใยเองไม่ได้ช่วยให้

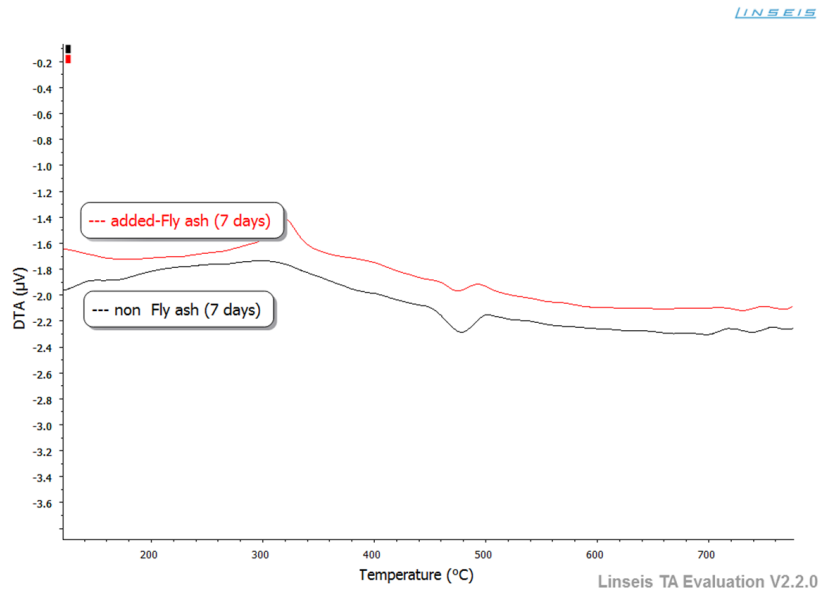
ความแข็งแรงของกระเบื้องเพิ่มขึ้น อีกทั้งหากกระเบื้องได้รับความชื้นหรือเปียกฝนโดยธรรมชาติจะอุ้มน้ำและลดความแข็งแรงของกระเบื้อง ดังนั้นผู้วิจัยได้ปรับปรุงส่วนผสมโดยลดปริมาณใยธรรมชาติลงและเพิ่มความหนาแน่นด้วยการเพิ่มปริมาณเถ้าลอยในสูตรกระเบื้อง

จะเห็นได้ว่าการเพิ่มปริมาณ fly ash 1 wt.% และลดใยธรรมชาติลงในสัดส่วนที่เท่ากันมีผลทำให้ความหนาแน่นของตัวอย่างไฟเบอร์ซีเมนต์เพิ่มขึ้นประมาณ 1-2 % แสดงให้เห็นว่าการลดปริมาณเส้นใยลงไม่ได้มีผลทำให้อัตราการหลุดหายไปของอนุภาคขนาดเล็กระหว่างการกรองผ่านตะแกรงลดลงไป อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าความต้านทานต่อแรงดัดลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสูตร 1 และ 2 ณ เวลาการบ่ม 7 วัน เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับสูตร 3 และสูตร 4 กับสูตร 1 และสูตร 2 ที่มีปริมาณ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ต่างกัน เนื่องจากสูตร 3 และสูตร 4 ได้ลดปริมาณเส้นใยธรรมชาติลง 1 ใน 3 ของน้ำหนักเดิม จึงได้ปรับส่วนผสม $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ให้ลดลงในสัดส่วนเดียวกัน และมีการเติม CMC 0.03 wt.% ในสูตร 4 เพื่อเปรียบเทียบผลพบว่าสูตร 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันในด้านความแข็งแรงและความหนาแน่น

การเพิ่ม Fly ash ในสูตรกระเบื้องยังมีผลในการลดการสะสมของ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ในระยะยาวที่อาจเกิดขึ้นได้หากกระเบื้องอยู่ในสภาพอากาศชื้น อันเป็นผลทำให้กระเบื้องที่มีเส้นใยแก้วลดความแข็งแรงลง โดยสามารถตรวจสอบจากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสมบัติด้วยเครื่อง DTA ดังกราฟด้านล่าง เป็นการเปรียบเทียบกราฟ DTA ของกระเบื้องที่มีการเติม fly ash (added fly ash) และไม่ได้เติม fly ash (non-fly ash) หลังจากการบ่มเป็นเวลา 3 และ 7 วัน ตามลำดับ พบว่าที่อุณหภูมิ 480°C มียอดกราฟหันลงแสดงการเกิดปฏิกิริยาคูดความร้อน (endothermic) สัมพันธ์กับการเกิด $\text{Ca}(\text{OH})_2$ หากฐานยอดกว้างและลึกแสดงให้เห็นถึงการเกิด $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ปริมาณมาก กรณีนี้จะเห็นได้ว่าการเติม fly ash ในกระเบื้องทำให้ลดการเกิด $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ในเนื้อกระเบื้องได้



กราฟ DTA เปรียบเทียบการเติมและไม่เติม fly ash ในสูตรกระเบื้องที่ผ่านการบ่มไปแล้ว 3 วัน



กราฟ DTA เปรียบเทียบการเติมและไม่เติม fly ash ในสูตรกระเบื้องที่ผ่านการบ่มไปแล้ว 3 วัน

ส่วนผสม / สมบัติ	สูตร 3	สูตร 4
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 [wt. %]	65.00	65.00
Fly ash	6.00	6.00
ใยธรรมชาติ (Eucalyptus)	2.00	2.00
เส้นใยบะซอลต์ (ชนิดที่ 1) [wt. %]	16.00	16.00
ทรายละเอียด [wt. %]	11.00	11.00
รวม [wt. %]	100.00	100.00
water	200.00	200.00
เปอร์เซ็นต์ของแข็ง [wt. %]	33.33	33.33
น้ำ/ซีเมนต์	3.08	3.08
CMC	0.00	0.03
สารละลาย Al ₂ (SO ₄) ₃ 20%	0.00	0.00
สารละลาย Al ₂ (SO ₄) ₃ 10%	1.60	1.60
Ca(OH) ₂	0.20	0.20
ความหนาแน่น (หลังบ่ม 7 วัน) [g/cm ³]	1.66	1.66
Wet Flexural strength (MPa) (หลังบ่ม 7 วัน)	10.02	10.02

ตาราง แสดงผลการปรับปรุงสูตรไฟเบอร์ซีเมนต์โดยการลดใยธรรมชาติและเพิ่ม Fly ash

ต่อมาผู้วิจัยที่ทดลองปรับปรุงสูตรโดยการลดเส้นใยธรรมชาติลงอีกและแทนที่ด้วย Fly ash และทำการขึ้นรูปโดยใช้สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มเป็น 3.08 เพื่อให้ใกล้เคียงการขึ้นรูประบบ Hatschek มากขึ้น เนื่องจากระบบนี้มีปริมาณของแข็งค่อนข้างต่ำถึง 18% และผู้วิจัยได้เปลี่ยนแม่แบบเป็นขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับสูตรนี้ คือ 3 นิ้ว x 5 นิ้ว โดยให้ความหนาของชิ้นงานหลังขึ้นรูปมีขนาดประมาณ 5 เซนติเมตร ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดทั้งแบบเปียกและแบบแห้งมีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน คือมีความต้านทานแรงดัดเฉลี่ยเป็น 11.35 MPa และ 12.92 MPa ตามลำดับ ดังแสดงใน

ส่วนผสม / สมบัติ	สูตร 5
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 [wt. %]	75.00
Fly ash	7.00
ไยธรรมชาติ (Eucalyptus)	1.00
เส้นใยปะชอลด์ (ชนิดที่ 1) [wt. %]	9.00
ทรายละเอียด [wt. %]	5.00
รวม [wt. %]	100.00
water	800.00
เปอร์เซ็นต์ของแข็ง [wt. %]	11.11
น้ำ/ซีเมนต์	3.08
สารละลาย Al ₂ (SO ₄) ₃ 10%	1.60
Ca(OH) ₂	0.02
ความหนาแน่น (หลังบ่ม 7 วัน) [g/cm ³]	1.35
Wet Flexural strength (MPa) (หลังบ่ม 7 วัน)	11.35
Dry Flexural strength (MPa) (หลังบ่ม 7 วัน)	12.92

ตาราง ผู้วิจัยจึงเลือกใช้สูตรนี้ในการทดสอบตัวอย่างไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ใช้เส้นใยชนิดที่ 2 และ 3 ต่อไป

ส่วนผสม / สมบัติ	สูตร 5
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 [wt. %]	75.00
Fly ash	7.00
ไยธรรมชาติ (Eucalyptus)	1.00
เส้นใยปะชอลด์ (ชนิดที่ 1) [wt. %]	9.00
ทรายละเอียด [wt. %]	5.00
รวม [wt. %]	100.00
water	800.00
เปอร์เซ็นต์ของแข็ง [wt. %]	11.11
น้ำ/ซีเมนต์	3.08
สารละลาย Al ₂ (SO ₄) ₃ 10%	1.60
Ca(OH) ₂	0.02
ความหนาแน่น (หลังบ่ม 7 วัน) [g/cm ³]	1.35
Wet Flexural strength (MPa) (หลังบ่ม 7 วัน)	11.35
Dry Flexural strength (MPa) (หลังบ่ม 7 วัน)	12.92

ตารางแสดงผลการปรับปรุงสูตรไฟเบอร์ซีเมนต์โดยการลดไยธรรมชาติและเพิ่ม Fly ash สูตร 5

3. การทดลองนำเส้นใยจากหินปะชอลด์ชนิดที่ 2 มาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในไฟเบอร์ซีเมนต์

เมื่อได้สูตร 5 เป็นสูตรที่พบว่าให้ค่าความต้านทานแรงดัดดีที่สุดหลังจากปรับปรุงสูตรไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ใช้เส้นใยชนิดที่ 1 แล้ว จึงได้ทดลองเปลี่ยนเส้นใยเป็นเส้นใยชนิดที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบผล โดยแทนเส้นใยชนิดที่ 1 ด้วยเส้นใยชนิดที่ 2 ในสูตร 5 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดเมื่อบ่มไปแล้ว 7 วัน แสดงดังตาราง พบว่าความต้านทานแรงดัดมีค่าต่ำกว่าการใช้เส้นใยชนิดที่ 1

ส่วนผสม / สมบัติ	สูตร 5
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 [wt. %]	75.00
Fly ash	7.00
ไยธรรมชาติ (Eucalyptus)	1.00
เส้นใยบะซอลต์ (ชนิดที่ 1) [wt. %]	9.00
ทรายละเอียด [wt. %]	5.00
รวม [wt. %]	100.00
water	800.00
เปอร์เซ็นต์ของแข็ง [wt. %]	11.11
น้ำ/ซีเมนต์	3.08
สารละลาย Al ₂ (SO ₄) ₃ 10%	1.60
Ca(OH) ₂	0.02
ความหนาแน่น (หลังบ่ม 7 วัน) [g/cm ³]	1.44
Wet Flexural strength (MPa) (หลังบ่ม 7 วัน)	5.90
Dry Flexural strength (MPa) (หลังบ่ม 7 วัน)	6.92

ตารางแสดงผลการทดลองใช้เส้นใยชนิดที่ 2 ในสูตร 5

4. การทดลองนำเส้นใยจากหินบะซอลต์ชนิดที่ 3 มาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในไฟเบอร์ซีเมนต์

การทดลองใช้เส้นใยชนิดที่ 3 ในสูตร 5 ได้ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดัดของตัวอย่างกระเบื้องหลังบ่มเป็นเวลา 7 ได้ค่าความต้านทานแรงดัดสูงกว่าการใช้เส้นใยทั้ง 2 ชนิดก่อนหน้า แสดงดังตาราง ได้ค่าความต้านทานแรงดัดหลังทดสอบแบบเปียกและแบบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 14.44 MPa และ 15.62 MPa ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ในเกรด 3 จาก 4 เกรด ตามมาตรฐาน ASTM1186 แสดงให้เห็นว่าเส้นใยบะซอลต์ที่ผลิตได้มีศักยภาพเพียงพอที่จะนำไปปรับปรุงให้ได้ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์แบบไม่ใช้แร่ใยหินให้ได้คุณภาพแข็งแรงผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ต่อไป

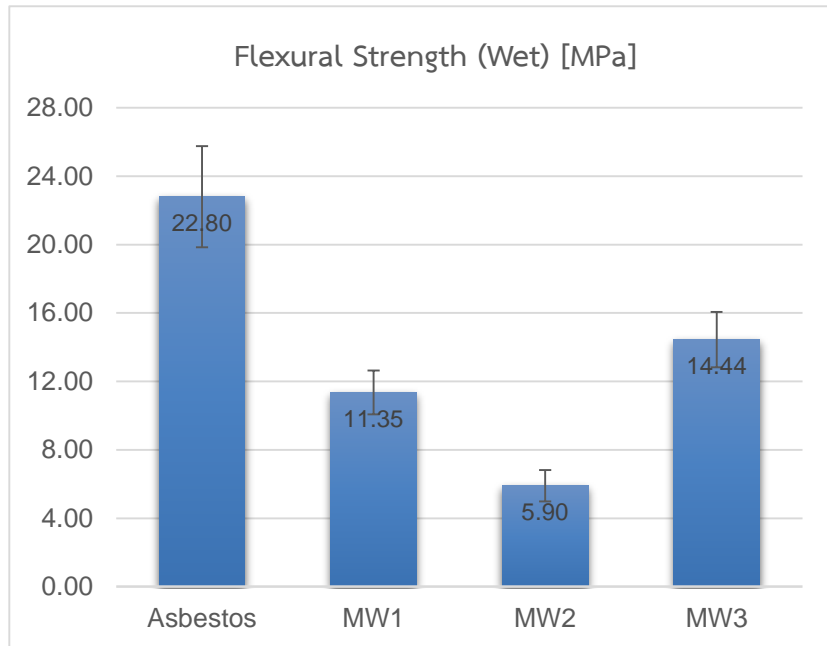
ส่วนผสม / สมบัติ	สูตร 5
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 [wt. %]	75.00
Fly ash	7.00
ไยธรรมชาติ (Eucalyptus)	1.00
เส้นใยบะซอลต์ (ชนิดที่ 1) [wt. %]	9.00
ทรายละเอียด [wt. %]	5.00
รวม [wt. %]	100.00
water	800.00
เปอร์เซ็นต์ของแข็ง [wt. %]	11.11
น้ำ/ซีเมนต์	3.08
สารละลาย Al ₂ (SO ₄) ₃ 10%	1.60
Ca(OH) ₂	0.02
ความหนาแน่น (หลังบ่ม 7 วัน) [g/cm ³]	1.48
Wet Flexural strength (MPa) (หลังบ่ม 7 วัน)	14.44
Dry Flexural strength (MPa) (หลังบ่ม 7 วัน)	15.62

ตารางแสดงผลการทดลองใช้เส้นใยชนิดที่ 3 ในสูตร 5

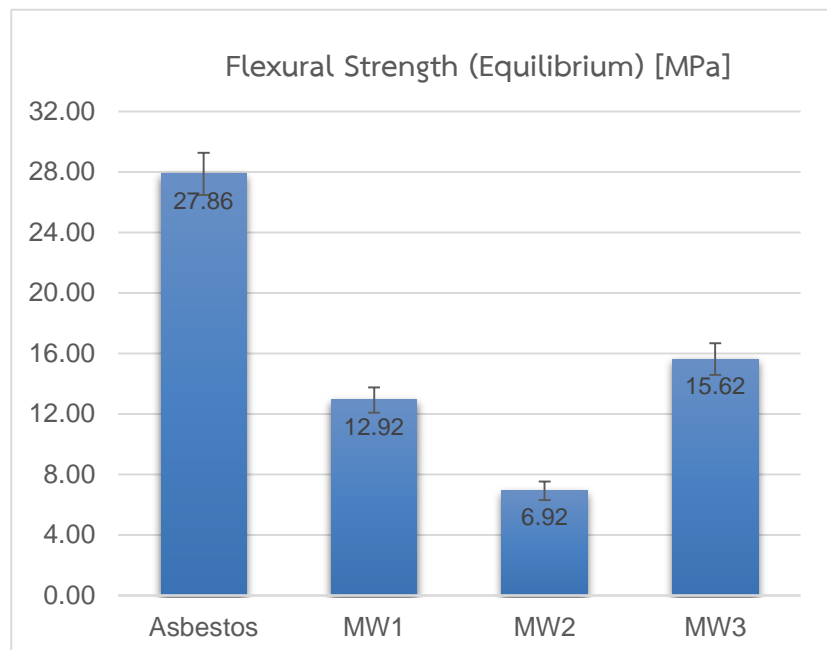
เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดของกระเบื้องตัวอย่างที่เตรียมโดยใช้สูตร 5 และใช้เส้นใยทั้ง 3 ชนิด กับกระเบื้องลอนคู่ที่ใช้แร่ใยหินโดยสุ่มเก็บจากท้องตลาดแล้วนำมาตัดเฉพาะส่วนท้องที่แบนราบให้มีขนาด 3 นิ้ว x 8 นิ้ว

เช่นเดียวกับกระเบื้องทดสอบในห้องปฏิบัติการ ได้ผลแสดงดังกราฟ

Asbestos หมายถึง กระเบื้องที่ใช้แร่ใยหินจากห้องตลาด MW1 หมายถึง กระเบื้องที่ใช้ใยชนิดที่ 1 MW2 หมายถึง กระเบื้องที่ใช้ใยชนิดที่ 2 และ BW หมายถึง กระเบื้องที่ใช้ใยชนิดที่ 3 จะเห็นได้ว่ากระเบื้องที่ใช้เส้นใยทั้ง 3 ชนิด ยังคงมีค่าความต้านทานแรงดัดน้อยกว่ากระเบื้องที่ใช้แร่ใยหินในห้องตลาด แต่ก็พบว่าทั้ง 3 เส้นใย สามารถทำให้ได้กระเบื้องที่มีความแข็งแรงเกินเกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำตาม ASTM 1186 คือ 4 MPa



กราฟเปรียบเทียบความต้านทานแรงดัดของกระเบื้องที่ผ่านการทดสอบแบบเปียก



กราฟเปรียบเทียบความต้านทานแรงดัดของกระเบื้องที่ผ่านการทดสอบแบบแห้ง

สรุปผลการทดลอง

ผู้วิจัยได้ออกแบบสูตรใยบะซอลต์ที่มีการปรับปรุงส่วนผสมวัตถุดิบหินบะซอลต์จากแหล่งหินในอำเภอชัยบาดาล โดยใส่หินปูน โคลโลไมต์และอะลูมินาในอัตราส่วนของสารเติมนี้รวมไม่เกินร้อยละ 10 สามารถผลิตเป็นเส้นใยที่ความละเอียดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 1-8 ไมครอนได้สำเร็จ

ในการทดลองใช้เส้นใยบะซอลต์เป็นวัสดุเสริมแรงในผลิตภัณฑ์กระเบื้องไฟเบอร์ซีเมนต์ คณะผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าและสอบถามข้อมูลกับผู้เชี่ยวชาญของโรงงานกระเบื้อง ได้แก่ โรงงานกระเบื้องของ บริษัท SCG Building Materials จำกัด และโรงงานกระเบื้องของ บริษัท ทีพีไอ โพลีน จำกัด (มหาชน) เพื่อนำข้อมูลมาปรับปรุงวิธีการทดลองและแลกเปลี่ยนความเห็นเกี่ยวกับเส้นใยบะซอลต์

ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบการใช้เส้นใย 3 ชนิดได้แก่ เส้นใยชนิดที่ 1 และ 2 คือเส้นใยจากโรงงานผลิตฉนวนกันความร้อนที่มีการใช้หินบะซอลต์เป็นส่วนผสม และเส้นใยชนิดที่ 3 คือเส้นใยจากหินบะซอลต์แหล่งชัยบาดาลที่ผลิตได้ ผลการทดลองขึ้นรูปกระเบื้องไฟเบอร์ซีเมนต์แผ่นเรียบโดยใช้เส้นใยทั้ง 3 ชนิดเป็นส่วนประกอบพบว่าสามารถขึ้นรูปและผลิตเป็นกระเบื้องแผ่นเรียบขนาดทดสอบระดับห้องปฏิบัติการได้ มีขนาด 3 x 8 นิ้ว และมีความหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร ผู้วิจัยได้ทดลองปรับปรุงสูตรและวิธีการเตรียมส่วนผสมด้วยการในสารอะลูมิเนียมซิลิเฟตและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่าทำให้ชิ้นงานขึ้นรูปได้ดีขึ้น โครงสร้างทางจุลภาคแสดงให้เห็นว่าผิวของเส้นใยสามารถเกาะกับปูนซีเมนต์ได้ดี

การปรับปรุงสมบัติการกระจายตัวของเส้นใยสามารถปรับปรุงได้โดยการผสมกับเส้นใยธรรมชาติยูคาลิปตัสในอัตรา 1-3 wt.% และการเพิ่มความหนาแน่นด้วยอนุภาคละเอียดของเถ้าลอยทำให้กระเบื้องมีสมบัติความต้านทานแรงดัดเพิ่มขึ้น ผลการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดัดตามมาตรฐานการทดสอบกระเบื้องไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ไม่ใช้แร่ใยหินแอสเบสทอส ASTM 1185 และเกณฑ์จำแนกคุณสมบัติกระเบื้องแผ่นเรียบ ASTM 1186 พบว่ามีความแข็งแรงดัดผ่านเกณฑ์คุณภาพขั้นต่ำและจัดอยู่ในเกรด 3 จากทั้งหมด 4 เกรด ซึ่งบ่งชี้ว่าสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ได้คุณภาพต่อไปได้ โดยพบว่าใยบะซอลต์ชนิดที่ 3 ที่ผลิตได้นั้นทำให้กระเบื้องมีสมบัติความต้านทานแรงดัดสูงสุด

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าความแข็งแรงกับกระเบื้องที่ใช้แร่ใยหินแอสเบสทอสในท้องตลาดพบว่ายังมีค่าต่ำกว่า แต่คณะผู้วิจัยเห็นว่าการนำใยหินบะซอลต์มาใช้มีข้อได้เปรียบเชิงธุรกิจมากกว่าการใช้ระบบการผลิตที่ใช้เส้นใยพลาสติกและเส้นใยธรรมชาติที่มีการใช้แทนแร่ใยหินในปัจจุบัน เนื่องจากระบบดังกล่าวจะต้องลงทุนด้านเครื่องมือ เช่น ระบบการอบแรงดันไอน้ำอัตโนมัติสำหรับกระเบื้องที่ใช้ใยธรรมชาติ และผู้ผลิตใยบะซอลต์ได้ให้ความเชื่อมั่นว่าต้นทุนวัตถุดิบจะถูกกว่าการใช้ใยพลาสติกอย่างแน่นอน ด้วยเหตุผลทางด้านต้นทุนวัตถุดิบและการปรับปรุงกระบวนการผลิตที่ไม่ต้องปรับอะไรมากไปกว่าการเปลี่ยนวัตถุดิบจากใยหินเป็นใยบะซอลต์ จึงน่าจะสร้างแรงจูงใจให้เกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องซีเมนต์ที่ใช้ใยบะซอลต์ที่มีความปลอดภัยต่อสุขภาพมากกว่าแร่ใยหิน และรองรับการบังคับใช้กฎหมายควบคุมการใช้แร่ใยหินในอนาคตเพื่อลดความเดือดร้อนของผู้ประกอบการเดิมที่ใช้แร่ใยหินในกระเบื้องไฟเบอร์ซีเมนต์ได้

7. การทดลองในระดับโรงงานต้นแบบ (Pilot Scale) :ไม่มี	
วัสดุ/อุปกรณ์ /สารเคมี :	
ขั้นตอนการทดลอง :	
ผลการทดลอง :	
8. การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Feasibility Study) :	
NPV :	
B/C :	
IRR :	
9. กฎหมายและกฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง :	
10. เอกสารอ้างอิง (References) :	