

บทที่ 1 บทนำ

1.ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังพัฒนา ดังนั้นการขยายตัวของอุตสาหกรรมจึงเป็นไปอย่างรวดเร็วแบบหลีกเลี่ยงไม่ได้ ส่งผลให้เกิดการใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง รวมไปถึงการใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติกในครัวเรือนก็เพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าผลิตภัณฑ์ เช่น เม็ดพลาสติกที่ทำจากพอลิเอทิลีนและโพลีพรอพิลีน ล้วนเป็นผลิตภัณฑ์สังเคราะห์จากปิโตรเลียมหรือน้ำมัน ซึ่งย่อยสลายยาก ก่อให้เกิดมลภาวะต่างๆมากมาย จากสถานการณ์ขยะในประเทศไทยตามรายงานของกรมควบคุมมลพิษ ระบุว่าช่วง 10 ปีที่ผ่านมาประเทศไทยมีปริมาณขยะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยขยะมูลฝอยเป็นขยะที่มีปริมาณมากที่สุดของประเทศไทย ซึ่งขยะมูลฝอยเหล่านี้รวมไปถึงขยะถุงพลาสติก และพลาสติกที่ใช้งานภายในครัวเรือนด้วย ซึ่งพบว่าการนำขยะมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ยังมีจำนวนน้อยมาก โดยปี 2553 มีขยะมูลฝอยประมาณ 16 ล้านตัน สำหรับขยะกลุ่มนี้ถูกกำจัดอย่างวิธีตามหลักวิชาการเพียง 5.8 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 36 ส่วนที่เหลืออีกกว่า 10 ล้านตัน ถูกกำจัดโดยการเผาทิ้ง กองทิ้งในบ่อดินเก่าหรือพื้นที่รกร้าง บางครั้งก็ทำการฝังกลบ ซึ่งเป็นวิธีที่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก

ตารางที่ 1-1 ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในระหว่างปี พ.ศ.2550 ถึง พ.ศ.2557

ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในระหว่างปีพ.ศ.2550 ถึง พ.ศ.2557						
พื้นที่	ปริมาณขยะมูลฝอย(ตันต่อวัน)					
	2548	2549	2550	2551	2552	2553
กรุงเทพมหานคร	8291	8403	8532	8780	8834	8766
เขตเทศบาลรวมเมืองพัทยา	12635	12912	13600	14915	16368	16620
ภาคกลางและภาคตะวันออก	5499	5619	5780	5258	5830	5918
ภาคเหนือ	2148	2195	2346	2931	3255	3315
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	2906	2970	3167	4267	4700	4768
ภาคใต้	2082	2128	2307	2459	2583	2619
นอกเขตเทศบาล	18295	18697	18200	17369	16208	16146
รวม	39211	40012	40332	41064	41410	41532

จากที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้เล็งเห็นถึงการนำขยะพลาสติกมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยการนำขยะบางส่วนจากชุมชนและภาคอุตสาหกรรมมาคัดแยกออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

1. เม็ดพลาสติกที่ทำจากพอลิเอทิลีน
2. พลาสติกที่ทำจากพอลิโพรพิลีน

3. โฟมบรรจุภัณฑ์อาหาร



เม็ดพลาสติก



เปลตพลาสติก



กล่องโฟม

ภาพที่ 1-1 ขยะพลาสติกจากชุมชน และจากโรงงานอุตสาหกรรม

วัสดุก่อสร้างใหม่ๆ ต้องคำนึงถึงปัจจัยสำคัญ คือ

1. ต้องการให้งานก่อสร้างเสร็จภายในเวลาอันรวดเร็ว
2. เพื่อลดต้นทุนได้แก่ ต้นทุนค่าวัสดุ ค่าแรง เวลา และค่าใช้จ่ายอื่นๆ
3. เพื่อให้สิ่งก่อสร้างมีคุณภาพและมีความทนทานด้านต่างๆ ที่เหมาะสม

ในปัจจุบันการนำเอาพลาสติกมาใช้งานมอร์ต้าร์มีเพิ่มมากขึ้น โดยอาศัยข้อดีทางกายภาพ และทางเคมีของพลาสติกมาใช้ให้ประโยชน์ คือ การพัฒนาสิ่งก่อสร้างให้มีความทนทานในด้านต่างๆ เพิ่มขึ้น โดยเน้นไปในทางนำข้อดีของพลาสติกมาปรับปรุงข้อด้อยของมอร์ต้าร์ คือ การทำให้มอร์ต้าร์สามารถรับแรงดึงได้ดีขึ้นและลดการแตกร้าวบริเวณผิวของมอร์ต้าร์

ดังนั้นความสำคัญของวิจัยนี้ คือการนำขยะพลาสติกที่ก่อให้เกิดมลภาวะกับสิ่งแวดล้อมมาใช้ ในการผลิตมอร์ต้าร์ เพื่อจะได้มอร์ต้าร์ที่มีสมบัติรับกำลังแรงดึงได้สูงขึ้นและสิ่งที่สำคัญอย่างมาก คือ ลดต้นทุนการผลิต ลดการเกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม โดยส่วนใหญ่จะใช้วัสดุที่เป็นขยะในท้องถิ่นอัน ได้แก่ เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีน แผ่นเปลตพอลิสไตรีน และภาชนะบรรจุที่ทำจากโฟมเป็นต้น ซึ่ง การวิจัยนี้จะศึกษาถึงผลของมอร์ต้าร์ที่ผสมขยะพลาสติกแต่ละชนิดต่อสมบัติเชิงกลของมอร์ต้าร์ในการ ทดสอบ

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อเพิ่มมูลค่าของขยะพลาสติก จากโรงงานอุตสาหกรรมและครัวเรือน โดยนำมาเป็นส่วนผสมในการทำมอร์ต้าร์

2.2 เพื่อพัฒนาและลดค่าใช้จ่ายในการผลิตมอร์ต้าร์ โดยใช้ขยะพลาสติกแต่ละชนิดเป็นวัสดุ มวลละเอียดแทนบางส่วนของทราย

2.3 เพื่อศึกษาสมบัติความยืดหยุ่น ความทนทานต่อแรงอัด แรงดึงของมอร์ตาร์ ที่ผสมขยะพลาสติกเป็นวัสดุมวลละเอียดแทนทรายบางส่วน

3. สมมติฐานการวิจัย

3.1 มอร์ตาร์จะสามารถรับแรงดึงได้มากขึ้น โดยขยะพลาสติกจะทำหน้าที่รับแรงดึงในคอนกรีตมอร์ตาร์

3.2 มอร์ตาร์จะมีน้ำหนักน้อยลง เนื่องจากขยะพลาสติกที่ผสมลงไปมีน้ำหนักเบา

3.3 สมบัติบางประการของมอร์ตาร์อาจจะถูกพัฒนาให้ดีขึ้นเมื่อผสมขยะพลาสติกเป็นวัสดุมวลละเอียดแทนทรายบางส่วน เนื่องจากคุณสมบัติของพลาสติก เช่น กำลังแรงอัด

4. กรอบแนวคิดการวิจัย

4.1 มอร์ตาร์ผสมอัตราส่วน ซีเมนต์:ทราย: น้ำ เท่ากับ 1:2.75: 0.485 จากนั้นผสมขยะพลาสติก (เม็ดพลาสติก แผ่นพลาสติก และภาชนะบรรจุที่ทำจากโฟม) ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนักแทนปริมาณทรายบางส่วน

4.2 การทดสอบหาความต้านทานแรงดึงของซีเมนต์มอร์ตาร์ (Test for Tensile strength of Cement Mortar) ตามมาตรฐาน ASTM C 932 จำนวน 45 ตัวอย่างแบ่งเป็น เม็ดพลาสติก พลาสติก และโฟม มาแทนที่ปริมาณทรายบางส่วน ตามอัตราส่วน 2.5, 5, 10 %โดยน้ำหนัก อย่างละ 5 ก้อน

4.3 การทดสอบหากำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ (Test for Compressive strength of Mortars) ตามมาตรฐาน ASTM C 109 จำนวน 45 ตัวอย่าง แบ่งเป็น เม็ดพลาสติก พลาสติก และโฟม มาแทนที่ปริมาณทรายบางส่วน ตามอัตราส่วน 2.5, 5, 10 %โดยน้ำหนัก อย่างละ 5 ก้อน

5. นิยามศัพท์

มอร์ตาร์

พอลิเอทิลีน เป็นสารที่ขึ้นขาโปร่งแสงซึ่งได้จากเอทิลีน ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$) พอลิเอทิลีนมีการผลิตขึ้นทั้งในรูปที่มีความหนาแน่นต่ำ กลาง และสูง

- พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.91 ถึง 0.93 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โมเลกุลของ LDPE มีแบ็กโบนคาร์บอนที่มีไฮโดรเจนของคาร์บอนสี่ถึงหกอะตอมติดกับแบ็กโบนหลักอย่างสุ่มๆ LDPE มีการใช้อย่างกว้างขวางเพราะว่าไม่แพง ยืดหยุ่นได้ ทนทานมากและทนต่อสารเคมี LDPE ถูกขึ้นรูปเป็นขวด หีบห่ออาหาร และของเล่น
- พอลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง (MDPE) มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.93–0.95 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร MDPE สามารถผลิต โดยโครเมียม/นส่วน catalysts, Ziegler-Natta catalysts หรือ metallocene catalysts MDPE มีดี

ซ็อกและปล่อยความต้านทานคุณสมบัติ นอกจากนี้ยังเป็นรอยร่วนน้อย มีความสำคัญกว่า HDPE มีความต้านทานการถอดความเครียดดีกว่า HDPE

- พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.95 ถึง 0.97 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โมเลกุลของ HDPE จะมีแบ็กโบนคาร์บอนที่ยาวมากแต่ไม่มีไซด์กรุป ผลก็คือ โมเลกุลเหล่านี้เชื่อมกันอย่างแน่นหนามากขึ้น HDPE แข็งแรงกว่า แข็งกว่า และโปร่งแสงน้อยกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ HDPE ใช้ทำถุง ถังน้ำมันรถ ทึบห่อและท่อน้ำ

พอลิสไตรีนเป็นพลาสติกที่ผลิตขึ้นมาจากสไตรีนมอนอเมอร์ ซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากปิโตรเลียม ถูกผลิตออกขายครั้งแรกในช่วงปี 1930 - 1939 ช่วงแรกสไตรีนที่ผลิตขึ้นมาถูกนำไปใช้ในสงครามโลก ครั้งที่ 2 เป็นหลัก หลังจากสงครามจบลงจึงเปลี่ยนมาผลิตเป็นพลาสติกพอลิสไตรีนออกขายแทน ในการผลิตพอลิสไตรีนยังมีวัตถุดิบอื่น ๆ ที่ใช้ร่วมด้วยได้แก่ เบนซีน เอทิลีน และบิวทาไดอีนพอลิสไตรีนเป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติก คือหลอมเป็นของเหลวได้ โดยที่อุณหภูมิห้องจะอยู่ในสถานะของแข็ง แต่จะหลอมละลายเมื่อทำให้ร้อนและแข็งตัวเมื่อเย็นลง พอลิสไตรีนแข็งที่บริสุทธิ์จะไม่มีสีใส แต่สามารถทำเป็นสีต่าง ๆ ได้ และยืดหยุ่นได้จำกัดพอลิสไตรีนที่ใช้กันอยู่ทั่วไปส่วนใหญ่เป็นชนิดที่เรียกว่า expanded polystyrene (EPS) เป็นชนิดที่ได้จากการผสมพอลิสไตรีนร้อยละ 90-95 กับสารทำให้ขยายตัว (ที่ใช้กันมากคือเพนเทนหรือคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อก่อนใช้ ซีเอฟซี ซึ่งเป็นสารทำลายชั้นโอโซน) ร้อยละ 5-10 พลาสติกที่เป็นของแข็งถูกทำให้เป็นโฟมโดยการใช้ความร้อน (มักเป็นไอน้ำ) พอลิสไตรีนอีกชนิดหนึ่งคือ Extruded polystyrene (XPS) มีชื่อทางการค้าที่แพร่หลายคือ Styrofoam เป็นชนิดที่มีการเติมอากาศไว้ในช่องว่างตามเนื้อโฟมทำให้มีค่าการนำความร้อนต่ำ ใช้ในงานก่อสร้าง และใช้เป็นฉนวนกันความร้อนในอาคาร และยังมีชนิดที่เป็นแผ่นเรียกว่า Polystyrene Paper Foam (PSP) ใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหาร เช่นกล่องหรือถาดใส่อาหาร

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี

2.1.1 ประวัติปูนซีเมนต์(Cement)

จากหลักฐานยืนยันว่าปูนซีเมนต์ถูกนำมาใช้งานตั้งแต่สมัยอียิปต์,กรีกและโรมัน คำว่า ซีเมนต์ มาจากภาษาลาติน มีความหมายทั่วไปคือ วัตถุที่แข็งเมื่อผสมกับน้ำ ซีเมนต์ถูกใช้อย่างแพร่หลายในฐานะเป็นวัสดุก่อสร้าง เนื่องจากคุณสมบัติที่สำคัญคือ เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดความสามารถเปลี่ยนแปลงทางเคมี ก่อให้เกิดความสามารถยึดส่วนต่างๆ หรืออนุภาคที่เป็นของแข็งให้รวมตัวกัน

เมื่ออาณาจักรโรมันเสื่อมลง การใช้ปูนซีเมนต์ก็สิ้นสุดลงด้วย และความก้าวหน้าที่สำคัญเกิดขึ้นอีกครั้ง ในปี พ .ศ. 2367 โดย JoseptAspdinชาวอังกฤษ ได้คิดค้นซีเมนต์ จนประสบความสำเร็จ โดยซีเมนต์นี้เมื่อแข็งตัวจะมีสีเหลืองปนเทา เหมือนกับหินที่ใช้ก่อสร้าง บริเวณเมืองพอร์ตแลนด์ ในประเทศอังกฤษจึงเรียกวัดถุนี้ว่า ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ รวมทั้งได้จดลิขสิทธิ์เป็นครั้งแรก

ปลายศตวรรษที่ 19 ปริมาณซีเมนต์พอร์ตแลนด์ที่ผลิตได้อย่างมากในประเทศอังกฤษ ได้ถูกส่งออกไปจำหน่ายยังประเทศต่างๆ ทั่วโลก รวมทั้งได้มีการเปิดโรงผลิต ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์นอกประเทศอังกฤษขึ้น เช่น ประเทศฝรั่งเศส ในปี พ.ศ.2383 ประเทศเยอรมัน ในปี พ .ศ. 2398 ประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี พ.ศ. 2414 และประเทศออสเตรเลีย ในปี พ.ศ. 2425 ส่วนในประเทศไทยได้มีการเริ่มผลิต ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ครั้งแรก ในปี พ.ศ. 2456

2.1.2 กรรมวิธีการผลิต

ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประกอบด้วยส่วนผสมที่สำคัญดังนี้

2.1.2.1 Calcareous Materials ได้แก่ หินปูน (Limestone) และดินสอพอง (Chalk)

2.1.2.2 Argillaceous Materials ได้แก่ ซิลิกาอลูมินา ซึ่งอยู่ในรูปของดินดำหรือดินเหนียว (Clay) และดินดาน (Shale)

2.1.2.3 Iron Oxide Materials ได้แก่ แร่เหล็ก (Iron Ore) หรือศิลาแลง (Laterite) กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ จำแนกตามลักษณะของวัตถุดิบที่นำมาใช้ได้เป็น 2 วิธี คือ

- กรรมวิธีแบบเปียก (Wet Process) วัตถุดิบหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต คือ ดินขาว (Marl) และดินเหนียว (Clay) สำหรับดินขาว มีอยู่ในระดับพื้นดิน หรือใต้ดิน ตามธรรมชาติ โดยปกติ จะมีความชื้นสูง การผลิตเริ่มจากนำวัตถุดิบทั้งสองชนิดมาผสมกับน้ำในบ่อตีดิน (Wash Mill) กวนให้ เข้ากันนำไปบดให้ละเอียดในหม้อบดดิน (Slury Mill) จนได้น้ำดิน (Slurry) แล้วกรองเอาเศษหินและ ส่วนที่ไม่ละลายน้ำออก เหลือแต่น้ำดินที่ละลายเข้ากันดี จากนั้นนำไปเก็บพักไว้ในถังเก็บ (Silo) เพื่อ ตรวจสอบคุณภาพและปรับแต่งส่วนผสมให้ได้คุณภาพตามที่กำหนดน้ำดินที่มีส่วนผสมที่ถูกต้องแล้ว จะถูกนำไปรวมกันที่บ่อกวนดิน (Slurry-Basin) เพื่อให้มีปริมาณเพียงพอ และกวนให้ส่วนผสมรวมตัว เป็นเนื้อเดียวกันอีกครั้งหนึ่ง ก่อนที่จะนำไปเผาในหม้อเผาแบบหมุน (Rotary Kiln) ความร้อนในหม้อ เเผาจะทำให้น้ำระเหยออกสู่อากาศ เหลือแต่เม็ดดินซึ่งเมื่อให้ความร้อนต่อไปจนถึงอุณหภูมิหนึ่ง จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกลายเป็นปูนเม็ด (Clinker) ขั้นตอนการบดปูนเม็ดให้กลายเป็นปูนซีเมนต์ ทำ โดยนำปูนเม็ดมาผสมกับยิปซัม (Gypsum) แล้วบดให้ละเอียดเป็นผงในหม้อบดซีเมนต์ (Cement Mill) ความละเอียดในการบดและอัตราส่วนระหว่างปูนเม็ดกับยิปซัมต้องเลือกอย่างเหมาะสม เพื่อให้ ได้ปูนซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ จากนั้นจะลำเลียงปูนซีเมนต์ไปเก็บไว้ในถังเก็บปูนซีเมนต์ผง (Cement Silo) เพื่อรอการจำหน่ายต่อไป

- กรรมวิธีแบบแห้ง (Dry Process) วัตถุดิบหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิตคือ หินปูน (Limestone) ซึ่งได้จากการระเบิดหินจากภูเขาหินปูน แต่หินปูนที่ได้ยังมีขนาดใหญ่ จึงต้องนำมาลด ขนาดโดยเครื่องย่อย (Crusher) เพื่อให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตขั้นต่อไป วัตถุดิบอื่นคือ ดินดาน (Shale) และวัตถุดิบปรับแต่งคุณสมบัติ (Corrective Materials) ซึ่งใช้เฉพาะบางตัว เพื่อให้ได้ ส่วนประกอบทางเคมีตามค่ามาตรฐานที่กำหนด วัตถุดิบอื่นเหล่านี้ก็ต้องผ่านเครื่องย่อยเพื่อลดขนาด ให้เหมาะสมเช่นกัน วัตถุดิบที่ผ่านการย่อยแล้วจะถูกนำมาเก็บไว้ที่กองเก็บวัตถุดิบ (Storage Yard) จากนั้นก็จะลำเลียงไปยังหม้อบดวัตถุดิบ (Raw-Mill) ต่อไปหม้อบดวัตถุดิบ (Raw Mill) มีหน้าที่บด หินปูน ดินดาน และวัตถุดิบ ปรับแต่งคุณสมบัติให้เป็นผงละเอียด ซึ่งเรียกว่า วัตถุดิบสำเร็จ (Raw Meal) การควบคุมอัตราส่วนของวัตถุดิบ ที่ป้อนเข้าสู่หม้อบดวัตถุดิบมีความสำคัญ เนื่องจาก อัตราส่วนของวัตถุดิบที่เหมาะสม จะทำให้วัตถุดิบสำเร็จ มีคุณสมบัติทางเคมีที่เหมาะสมกับการ เเผา หลังจากผ่านกระบวนการบดแล้ว จึงส่งวัตถุดิบสำเร็จไปยังถังผสมวัตถุดิบสำเร็จ (Raw Meal-Homogenizing Silo) เพื่อเก็บและผสมวัตถุดิบสำเร็จให้เป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนส่งไปเผาในหม้อเผา แบบหมุน (Rotary Kiln) กระบวนการเผาช่วงแรก เป็นชุดเพิ่มความร้อน (Preheater) จะค่อยๆ เพิ่ม ความร้อนให้แก่วัตถุดิบสำเร็จ แล้วส่งวัตถุดิบสำเร็จไปเผาในหม้อเผา ซึ่งมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจนถึง ประมาณ 1,200 – 1,400 องศาเซลเซียส จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีตามลำดับ จนในที่สุดกลายเป็นปูน เม็ด (Clinker) จากนั้นทำให้ปูนเม็ดเย็นลง แล้วจึงลำเลียงปูนเม็ดไปเก็บไว้ในถังเก็บ เพื่อรอการบดปูน

เม็ดต่อไป สำหรับการบดปูนเม็ดให้กลายเป็นปูนซีเมนต์นั้น มีขั้นตอนดังที่กล่าวมาแล้วในการผลิตแบบเปียก การผลิตปูนซีเมนต์แบบแห้ง ไม่ต้องใช้น้ำในการผสมวัตถุดิบ ดังนั้น จึงประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิต โดยเฉพาะค่าเชื้อเพลิง และเป็นที่ยอมรับใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

2.1.3 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์

พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ (Portland Cement) หรือปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ได้จากการเผาส่วนผสมซึ่งประกอบด้วยหินปูน (Calcareous) ดินเหนียวประเภท Argillaceous ออกไซด์ของซิลิกา อลูมินา และเหล็กแล้วนำมาบดเป็นผงละเอียด

2.1.3.1 ประเภทของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ซีเมนต์มีหลายประเภทแต่ละประเภทมีสารประกอบสำคัญได้แก่ C_3S , C_2S , C_3A และ C_4AF ซึ่งจะมีอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกัน จึงทำให้ปูนซีเมนต์แต่ละประเภทมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณของปูนซีเมนต์ชนิดต่างๆแสดงให้เห็นดังตารางที่ 2.1 ซึ่งปูนซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทยส่วนใหญ่จะผลิตตามมาตรฐานของอเมริกา (ASTM C. 150) และของประเทศอังกฤษ (British Standard; B.S.) ซึ่งตามมาตรฐาน มอก. 15 ของไทยได้แบ่งปูนซีเมนต์ออกเป็น 5 ประเภทดังนี้

- ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1

ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) ใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการคุณภาพที่พิเศษกว่าธรรมดา และใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไปปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้กำลังสูงในระยะเวลาไม่รวดเร็วมากนัก และให้ความร้อนปานกลาง

- ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 2

ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 2 หรือปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนไม่สูงมากนัก ความร้อนที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แต่สูงกว่าปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 4 และให้กำลังใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์ที่เกิดความร้อนและทนทานต่อการกัดกร่อนของสารละลายซัลเฟตปานกลาง

- ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3

ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 หรือปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว (Rapid-Hardening Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้กำลังสูงในระยะแรกให้ความร้อนในการทำปฏิกิริยาไฮ-ดรชั่นสูงเพราะมี C_3S และความละเอียดสูงกว่าปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มาใช้ในการทำคอนกรีตที่ต้องการใช้งานหรือถอดแบบเร็ว

- ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 4

ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 4 หรือปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ความร้อนต่ำ (Low -Heat Portland Cement) ให้ความร้อนในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันต่ำมากเพราะมีปริมาณ C_3S ต่ำ แต่มีปริมาณ C_2S ที่ค่อนข้างสูง ใช้ในงานคอนกรีตหนา เนื่องจากมีคุณสมบัติให้อุ่นหุ้มต่ำ

- ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 5

ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 5 หรือปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต (Sulfate-Resisting Portland Cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้มีปริมาณ C_3A ต่ำมาก ดังนั้นจึงมีการทำปฏิกิริยากับซัลเฟตได้น้อยลง ใช้ในงานคอนกรีตที่สร้างอยู่ในที่มีเกลือหรือสารละลายซัลเฟต และบริเวณที่มีดินเค็ม

ตารางที่ 2-1 ส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ชนิดต่างๆ

ชนิดของปูนซีเมนต์ตามมาตรฐาน ASTM	ส่วนประกอบทางเคมี (ร้อยละ)						
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	$CaSO_4$	CaO	MgO
Type I (Normal)	49	25	12	8	2.9	0.8	2.4
Type II (Modified)	45	29	6	12	2.8	0.6	3.0
Type III (High Early Strength)	56	15	12	8	3.9	1.4	2.6
Type IV (Low Heat)	30	46	5	13	2.9	0.3	2.7
Type V (Sulfate Resistant)	43	36	4	12	2.7	0.4	1.6

(ที่มา : ชัชวาล เศรษฐบุต,2543)

2.1.4 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์

องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประกอบด้วยออกไซด์หลักและออกไซด์รอง ปริมาณประเภทออกไซด์โดยประมาณของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์แสดงให้เห็นดังตารางที่ 2.2

2.1.4.1 สารประกอบที่อยู่ในปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์มีรายละเอียดดังนี้

- ออกไซด์หลัก (Major oxides) ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ออกไซด์กลุ่มนี้มีปริมาณรวมกันได้กว่าร้อยละ 90 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

- ออกไซด์รอง (Minor oxides) ได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ออกไซด์ของอัลคาไล (Na_2O) ไททานเนียมออกไซด์ (TiO_2) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) นอกจากนี้ยังมีสิ่งแปลกปลอม

และส่วนประกอบอื่นซึ่งจัดอยู่ในรูปของการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss on ignition) และกากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง (Insoluble residue)

ตารางที่ 2-2 ปริมาณสารประกอบประเภทออกไซด์โดยประมาณของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

สารประกอบประเภทออกไซด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ชื่อย่อ
แคลเซียมออกไซด์ (Calcium Oxide)	60.0 - 67.0	CaO
ซิลิกอนออกไซด์ (Silicon Oxide)	17.0 - 25.0	SiO ₂
อลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminium Oxide)	3.0 - 8.0	Al ₂ O ₃
ไอออนออกไซด์ (Ferric Oxide)	0.5 - 6.0	Fe ₂ O ₃
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (Sulfer Trioxide)	1.0 - 3.0	SO ₃
แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide)	0.1 - 0.4	MgO
อัลคาไลต์(Alkalies)	0.2 - 1.3	Na ₂ O
ไททานเนียมออกไซด์ (Titanium Oxide)	0.2 - 1.3	TiO ₂

(ที่มา : ชีวาล เศรษฐบุตร,2543)

2.1.5 สารประกอบสำคัญของปูนซีเมนต์

ออกไซด์ของปูนซีเมนต์จะทำปฏิกิริยาทางเคมี และรวมตัวกันอยู่ในรูปของสารประกอบที่มีรูปร่างต่างๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การเผา และการเย็นลงของเม็ดปูน ปริมาณสารประกอบสำคัญในปูนซีเมนต์มีปริมาณมากถึงกว่าร้อยละ 90 จึงเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ สารประกอบที่สำคัญมีอยู่ด้วยกัน 4 ชนิดดังนี้

2.1.5.1 ไตรแคลเซียมซิลิเกต (3CaO.SiO₂ หรือ C₃S)

ไตรแคลเซียมซิลิเกต เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเป็นผลึกสี่เหลี่ยมผืนผ้า คุณสมบัติของไตรแคลเซียมซิลิเกตนี้เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะเกิดการก่อตัว และแข็งตัวให้กำลังค่อนข้างดีโดยเฉพาะ 7 วันแรก โดยปริมาณไตรแคลเซียมซิลิเกตในปูนซีเมนต์จะมีประมาณร้อยละ 45 ถึง 55

2.1.5.2 ไดแคลเซียมซิลิเกต (2CaO.SiO₂ หรือ C₂S)

ไดแคลเซียมซิลิเกตมีหลายรูปแบบ โดยที่อุณหภูมิปกติ C₂S จะอยู่ในรูปเบต้าไดแคลเซียมซิลิเกต (β C₂S) ไดแคลเซียมซิลิเกตมีลักษณะเป็นเม็ดกลม มีคุณสมบัติเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะเกิดการก่อตัวและพัฒนากำลังอัดอย่างค่อนข้างช้าและช้ากว่า C₃S มาก แต่ในระยะยาวจะให้กำลังอัดที่ใกล้เคียงกับ C₃S โดยปริมาณไดแคลเซียมซิลิเกตในปูนซีเมนต์จะมีประมาณร้อยละ 15 ถึง 35

2.1.5.3 ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (3CaO.Al₂O₃ หรือ C₃A)

ไตรแคลเซียมอลูมิเนต มีลักษณะรูปร่างเป็นเหลี่ยมสีเทาอ่อน ทำปฏิกิริยากับน้ำมีความรุนแรงมากและทำให้ก่อตัวทันที (Flash Set) การพัฒนากำลังเร็วภายใน 1 ถึง 2 วัน แต่กำลังค่อนข้างต่ำ ปริมาณเมื่อเทียบกับ C_3S และ C_2S โดยปริมาณไตรแคลเซียมอลูมิเนตในปูนซีเมนต์จะมีประมาณร้อยละ 7 ถึง 15

2.1.5.4 เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ หรือ C_4AF)

เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์อยู่ในสภาพสารละลายแข็ง (Solid Solution) เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะทำให้เฟสก่อตัวอย่างรวดเร็วภายในไม่กี่นาที แต่กำลังค่อนข้างต่ำและต่ำกว่า C_3A โดยปริมาณของเตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ในปูนซีเมนต์จะมีประมาณร้อยละ 5 ถึง 10

การคำนวณปริมาณสารประกอบทั้ง 4 ชนิด ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สามารถหาได้จากสูตรการคำนวณ Bogue's Equation โดยแบ่งเป็น 2 กรณีดังนี้

กรณีที่ 1: $Al_2O_3/Fe_2O_3 \geq 0.64$

$$C_3S = 4.071CaO - 7.600SiO_2 - 6.718Al_2O_3 - 1.430Fe_2O_3 - 2.852SO_3$$

$$C_2S = 2.867SiO_2 - 0.7544C_3S$$

$$C_3A = 2.650Al_2O_3 - 1.692Fe_2O_3$$

$$C_4AF = 3.043Fe_2O_3$$

กรณีที่ 2 : $Al_2O_3/Fe_2O_3 \geq 0.64$

$$C_3S = 4.071CaO - 7.600SiO_2 - 4.479Al_2O_3 - 2.859Fe_2O_3 - 2.852SO_3$$

$$C_2S = 2.867SiO_2 - 0.7544C_3S$$

$$C_3A = 0$$

$$C_4AF = 2.100Al_2O_3 + 1.702Fe_2O_3$$

2.1.6 ปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำเรียกว่าปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration Reaction) ทำให้เกิดความร้อน การก่อตัว และการแข็งตัวของซีเมนต์เฟสที่ปฏิกิริยาไฮเดรชันขึ้นอยู่กับสารประกอบในปูนซีเมนต์ซึ่งจะทำปฏิกิริยาและมีอิทธิพลต่อกัน โดยปฏิกิริยาดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของซีเมนต์เฟสทั้งในสภาพพลาสติกและแข็งตัวแล้ว

2.1.6.1 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมซิลิเกต

ไตรแคลเซียมซิลิเกตเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะก่อให้เกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium-Silicate Hydrate, $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$ หรือ CSH) และเกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide-: $Ca(OH)_2$ หรือ CH) ดังสมการ



2.1.6.2 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไดแคลเซียมซิลิเกต

ไดแคลเซียมซิลิเกตจะทำปฏิกิริยากับน้ำช้ากว่าไตรแคลเซียมซิลิเกต แต่จะได้ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเหมือนกันคือ CSH และ CH ดังสมการ



2.1.6.3 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอลูมิเนต

ปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับไตรแคลเซียมอลูมิเนตจะเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด และทำให้ซีเมนต์เพสต์ก่อตัวอย่างรวดเร็ว ดังสมการ



เพื่อเป็นการหวังให้เกิดปฏิกิริยาข้างต้นให้ช้าลง ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์จึงใส่ยิปซัมเข้าไปในระหว่างการบดเม็ดปูน (Clinker) โดยยิปซัม (Gypsum : $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) จะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมอลูมิเนตก่อให้เกิดชั้นบางๆ ของเอตริงไจท์ (Ettringite: $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Ca} \cdot \text{SO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$) บนผิวของอนุภาคไตรแคลเซียมอลูมิเนต ดังสมการ



2.1.6.4 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตราแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรท์

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตราแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรท์มีลักษณะคล้ายกับปฏิกิริยาของ C_3A แต่เกิดช้ากว่าและมีความร้อนจากการทำปฏิกิริยาน้อยกว่าโดยการทำปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นในช่วงต้นโดยจะทำปฏิกิริยากับยิปซัม ดังสมการ



เนื่องจากปูนซีเมนต์มี C_3S เป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้นปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำจึงมีลักษณะคล้ายกับปฏิกิริยาระหว่าง C_3S กับน้ำ ซึ่งบางครั้งสามารถเห็นปฏิกิริยาของ C_3A ด้วยปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และจะลดลงเนื่องจากการเกิดขึ้นเคลือบของเอตริงไจท์ และจากการที่สารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้นเนื่องจากการเพิ่มของไอออนแคลเซียม และไฮดรอกไซด์ทำให้ปฏิกิริยาลดลง และเพสต์มีสภาพพลาสติกช่วงหนึ่ง เมื่อความเข้มข้นของสารละลายสูงพอ CH จะตกผลึก และปฏิกิริยาของ C_3S และ C_2S จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วอีกครั้งทำให้เกิด CSH เพิ่มมากขึ้น ตามด้วยปฏิกิริยาของ C_3A และ C_4AF ทำให้เอตริงไจท์เปลี่ยนเป็นแคลเซียมโมโนซัลโฟลูมิเนตและเกิดสารประกอบแคลเซียมซัลโฟลูมิเนตและซัลโฟเฟอร์ไรท์แคลเซียมซัลเฟตยังคงทำปฏิกิริยาต่อไปทำให้เกิด CSH มากขึ้น และขยายเข้าไปในโพรงและเมื่อมีปริมาณมากขึ้นจะเชื่อมโยงถึงกันและเกิดการยึดเกาะกันขึ้น

2.2 มอร์ตาร์

มอร์ตาร์ หมายถึง ส่วนผสมของ ปูนซีเมนต์ ทราย และน้ำเป็นหลักแต่อาจจะมีสารผสมเพิ่มอื่นๆ ตามมาตรฐาน มอก.15 คำว่า มอร์ตาร์ หมายถึง ส่วนผสมระหว่าง ปูนซีเมนต์ ทราย และน้ำ เท่านั้น

2.2.1 ทรายมาตรฐาน

คุณสมบัติของมอร์ตาร์จะขึ้นอยู่กับทรายที่ใช้ผสม ดังนั้นจึงให้ใช้ทรายมาตรฐานคละขนาด (Graded Standard Sand) ตามที่ระบุไว้ในมาตรฐาน มอก. ทรายมาตรฐานเป็นทรายซิลิกาตามธรรมชาติ มาจากออตตาวา (Ottawa) มลรัฐอิลลินอยส์ (Illinois)

2.2.2 ปริมาณอากาศในมอร์ตาร์

ปริมาณอากาศมากเกินไปจะทำให้กำลังของมอร์ตาร์ หรือคอนกรีตลดลง รายละเอียดการทดสอบหาปริมาณอากาศในมอร์ตาร์มีอยู่ในมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 13 มาตรฐานกำหนดให้ปริมาณอากาศในมอร์ตาร์ไม่เกินร้อยละ 12 โดยปริมาตร

2.2.3 การทดสอบกำลังของมอร์ตาร์

การทดสอบกำลังของปูนซีเมนต์ จะใช้การทดสอบกำลังของมอร์ตาร์เป็นหลัก และบางครั้งอาจใช้คอนกรีต การทดสอบอาจทดสอบกำลังอัด กำลังดึง และกำลังดัด ก็ได้ แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดคือ กำลังอัด รองลงมาคือ กำลังดัด

2.2.3.1 การทดสอบกำลังอัด

การทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์จะทำที่อายุมอร์ตาร์ 1, 3, 7 หรือ 28 วัน โดยใช้มอร์ตาร์รูปลูกบาศก์ขนาด 50 มม. ซึ่งทำจากปูนซีเมนต์ 1 ส่วนและทรายมาตรฐาน 2.75 ส่วน โดยน้ำหนักหล่อมอร์ตาร์แล้วทิ้งไว้ในอากาศชื้น 24 ชม. ทดสอบให้ใช้อัตราที่จะได้แรงกดสูงสุดในเวลา 20 ถึง 80 วินาทีทดสอบกำลังอัดอาจใช้มอร์ตาร์จากชั้นส่วนที่เหลือจากการทดสอบกำลังดัดที่หักแล้ว

2.2.3.2 การทดสอบกำลังดัด

ปัจจุบันการทดสอบกำลังดัดเป็นที่นิยมกันมากขึ้นโดยเฉพาะในประเทศแถบยุโรป เพราะนอกจากทดสอบกำลังดัดแล้วยังสามารถใช้ชิ้นส่วนที่หักแล้วนำมาทดสอบหาลำลังอัดได้อีก

2.2.3.3 การทดสอบกำลังดึง

วิธีการตรวจสอบสภาพของวัสดุภายใต้แรงขยายแนวแกน ข้อมูลจากการทดสอบจะถูกใช้เพื่อระบุพิกัดความยืดหยุ่น พิกัดสัดส่วน พื้นที่ที่ลดลง แรงดึง จุดคราก กำลังครากและคุณสมบัติด้านแรงดึงอื่นๆ การทดสอบแรงดึงที่อุณหภูมิสูงสามารถใช้เพื่อระบุข้อมูลการคืบ ขั้นตอนการทดสอบแรงดึงสำหรับโลหะมีระบุใน ASTM E-8 วิธีการทดสอบแรงดึงสำหรับพลาสติกมีระบุใน ASTM D-638, ASTM D-2289 (อัตราความเครียดสูง) และ ASTM D-882 (แผ่นบาง) ASTM D-2343 ระบุวิธีการทดสอบแรงดึงสำหรับใยแก้ว ASTM D-897 สำหรับสารยึดเกาะ ASTM D-412 สำหรับยางวัลแคนไนซ์ เรียกอีกอย่างว่า การทดสอบกำลังดึง

2.3 เพลตพลาสติก

พอลิสไตรีน (Polystyrene;PS) เป็นพลาสติกที่ผลิตขึ้นมาจากสไตรีนมอนอเมอร์ ซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากปิโตรเลียม ถูกผลิตออกขายครั้งแรกในช่วงปี 1930 - 1939 ช่วงแรกสไตรีนที่ผลิตขึ้นมาถูกนำไปใช้ในสงครามโลก ครั้งที่ 2 เป็นหลัก หลังจากสงครามจบลงจึงเปลี่ยนมาผลิตเป็นพลาสติกพอลิสไตรีน ในการผลิตพอลิสไตรีนยังมีวัตถุดิบอื่นๆที่เข้าร่วมด้วยได้แก่ เบนซีน เอทิลีน และ บิวทาไดอีน

พอลิสไตรีนเป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติก คือหลอมเป็นของเหลวได้ โดยที่อุณหภูมิห้องจะอยู่ในสถานะของแข็ง แต่จะหลอมละลายเมื่อทำให้ร้อนและแข็งตัวเมื่อเย็นลง พอลิสไตรีนแข็งที่บริสุทธิ์จะไม่มีสี ใสแต่สามารถทำเป็นสีต่างๆได้และยืดหยุ่นได้จำกัด

พอลิสไตรีนที่ใช้กันอยู่ทั่วไปส่วนใหญ่เป็นชนิดที่เรียกว่า Expanded Polystyrene (EPS) เป็นชนิดที่ได้จากการผสมพอลิสไตรีนร้อยละ 90-95 กับสารทำให้ขยายตัว (ที่ใช้กันมากคือเพนเทนหรือคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อก่อนใช้ ซีเอฟซี ซึ่งเป็นสารทำลายชั้นโอโซน) ร้อยละ 5-10 พลาสติกที่เป็นของแข็งถูกทำให้เป็นโฟมโดยการใช้ความร้อน (มักเป็นไอน้ำ) พอลิสไตรีนอีกชนิดหนึ่งคือ Extruded Polystyrene (XPS) มีชื่อทางการค้าที่แพร่หลายคือ Styrofoam เป็นชนิดที่มีการเติมอากาศไว้ในช่องว่างตามเนื้อโฟมทำให้มีค่าการนำความร้อนต่ำ ใช้ในงานก่อสร้าง และใช้เป็นฉนวนกันความร้อนในอาคาร และยังมีชนิดที่เป็นแผ่นเรียกว่า Polystyrene Paper Foam (PSP) ใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหาร เช่นกล่องหรือถาดใส่อาหาร กระบวนการผลิต พอลิสไตรีน ปลดปล่อยสารพิษอะไรบ้างสารพิษที่ปลดปล่อยออกมาในระหว่างการผลิตพอลิสไตรีน ได้แก่

1. เบนซีน (เป็นสารก่อมะเร็ง)
2. สไตรีนมอนอเมอร์ (เป็นสารที่สงสัยว่าก่อให้เกิดมะเร็ง)
3. 1, 3-บิวทาไดอิน (เป็นสารที่สงสัยว่าก่อให้เกิดมะเร็ง)
4. คาร์บอนเตตระคลอไรด์ ทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลองและสงสัยว่าก่อให้เกิดมะเร็งในคน)
5. โครเมียม (6) ออกไซด์ ก่อให้เกิดมะเร็งและการกลายพันธุ์ในสัตว์ทดลอง

เป็นพลาสติกใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ผิวเรียบ แต่งสีได้ง่าย ขึ้นรูปได้ง่าย มีราคาถูก เป็นฉนวนไฟฟ้าและความร้อน และค่อนข้างทนต่อสารเคมี นอกจากนี้ยังสามารถหลอมและสามารถฉีดให้เป็นพลาสติกโฟม ที่มีน้ำหนักเบา สามารถให้อากาศ และสารที่เป็นไอระเหยผ่านได้ง่าย จึงนิยมนำมาทำเป็น กล่องเทป แผ่น CD ถ้วยกาแฟ มีด ซ้อน-ส้อม ถาดอาหาร ไม้เทียม (Polystyrene Wood) ภาชนะโฟมบรรจุอาหาร และโฟมที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์ ลังน้ำแข็ง อุปกรณ์กีฬาทางน้ำ เช่น แผ่นโฟมสำหรับว่ายน้ำ เสื้อชูชีพ อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ เช่น หลอดทดลอง จานเพาะเชื้อ Cuvette และเป็นส่วนประกอบในหมวกกันน็อค เป็นต้น

2.4 เม็ดพลาสติก

พอลิเอทิลีน (Polyethylene; PE) มีสีขาวขุ่น โปร่งแสง มีความลื่นมันในตัว เมื่อสัมผัสจึงรู้สึกลื่น หยุนตัวได้ ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่ติดแม่พิมพ์ มีความเหนียว ทนความร้อนได้ไม่มากนัก ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี เป็นฉนวนไฟฟ้า ใสสีผสมได้ง่าย มีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำจึงลอยน้ำได้ เมื่อความหนาแน่นสูงจะทำให้มีความแข็งและ ความเหนียวเพิ่มขึ้น อุณหภูมิหลอมตัวสูงขึ้น และอัตราการคายก๊าซเพิ่มขึ้น เมื่อความหนาแน่นลดลงจะทำให้อัตราการเสื่อมสลาย ของผิวเพิ่มขึ้น กล่าวคือผิวจะแตกกร่อนได้ง่ายขึ้นสมบัติทั่วไปคือ ยืดหยุ่นได้ดี เหนียวมากที่อุณหภูมิต่ำมีความทนทานต่อสารเคมีได้ดีมากทนต่อสภาวะอากาศได้ดีพอควร อากาศและก๊าซสามารถซึมผ่านได้ดีหุดตัวในแม่พิมพ์ได้ดีมาก ทำให้ถอดจากแม่พิมพ์ได้ง่ายเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมากผสมสีได้ง่าย ทำให้ผลิตเป็นฟิล์มใส ฟิล์มสี ฟิล์ม

โปร่งแสงหรือทึบแสงได้ - ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสผลิตภัณฑ์ที่ทำด้วยพอลิเอทิลีนผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ ได้แก่ ขวดใสสาร เคมี ขวดใส่น้ำ ลัง หรือกล่องบรรจุสินค้า ภาชนะต่างๆ เครื่องเล่นของเด็ก ถุงเย็น ถาดทำน้ำแข็ง ชิ้นส่วนของแบตเตอรี่ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ฉนวนไฟฟ้า ถุงใส่ของ แผ่นฟิล์มสำหรับห่อของ โตะและเก้าอี้ เป็นต้น

2.4.1 กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก

พลาสติกที่ใช้กันมากในปัจจุบันอยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ถุง กล่อง ห่อ แผ่นฟิล์ม ส่วนมากมีแหล่งกำเนิดจากปิโตรเลียม ซึ่งรวมถึงน้ำมันดิบ และก๊าซธรรมชาติซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติใต้ผิวดิน และมีความสำคัญต่อชีวิตมนุษย์เพราะเป็นทั้งแหล่งพลังงานและแหล่งวัตถุดิบสำหรับผลิตวัสดุสังเคราะห์ต่างๆ ปิโตรเลียมจะอยู่ในสถานะเป็นก๊าซของเหลว หรือของแข็ง ขึ้นกับอุณหภูมิ , ความดัน, และจำนวนหรือการจัดเรียงตัวของคาร์บอนในโมเลกุล โดยทั่วไปสารไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนไม่เกิน 4 อะตอม จะมีสถานะเป็นก๊าซ ถ้ามีคาร์บอนระหว่าง 5-19 อะตอมจะมีสถานะเป็นของเหลว และถ้ามีคาร์บอนตั้งแต่ 20 อะตอม จะมีสถานะเป็นของแข็ง

การกลั่นลำดับส่วนน้ำมันดิบ ทำให้เราสามารถแยกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนออกเป็นส่วนต่างๆ ซึ่งพบว่ามีปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายยาวเกินกว่าความต้องการใช้งานอยู่ปริมาณมาก แต่กลับมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายสั้นที่มีการนำไปใช้ประโยชน์มากกว่าอยู่บ้าง จึงต้องนำสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกินความต้องการมาผ่านกระบวนการแยกสลายเพื่อตัดความยาวให้สั้นลง ได้เป็นสารประกอบขนาดเล็ก เช่น ก๊าซเอทิลีน และโพรพิลีน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการผลิตพลาสติกบางชนิดโดยก๊าซเหล่านี้จะถูกส่งไปยังโรงงานผลิตเม็ดพลาสติก

กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกเริ่มต้นจากการนำสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กซึ่งได้จากกลั่นลำดับส่วนน้ำมันดิบมาทำปฏิกิริยากันจนได้เป็นสายโซ่ยาว เรียกว่าโพลิเมอร์ ซึ่งโพลิเมอร์แต่ละชนิดสังเคราะห์โดยใช้วัตถุดิบเริ่มต้นที่แตกต่างกันไป ทำให้โพลิเมอร์มีสมบัติที่แตกต่างกันออกไป โดยโพลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้นี้ จะถูกนำไปขึ้นรูปเป็นเม็ดพลาสติกและผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ต่อไป ตัวอย่างเช่น การผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) โดยเริ่มต้นจากก๊าซเอทิลีนซึ่งถูกเก็บในถังปฏิกิริยา เมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม จะเกิดปฏิกิริยาขึ้น โมเลกุลขนาดเล็กจำนวนมากจะเข้ามาต่อกันเป็นโมเลกุลที่ยาวมาก ได้โพลิเอทิลีนที่มีสมบัติเหมาะสมสำหรับนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ขวด ถุง และของเล่น เป็นต้น

2.4.2 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์โพลิเมอร์

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์โพลิเมอร์ หรือที่เรียกโดยทั่วไปว่าปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) คือปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้โมโนเมอร์โมเลกุลเล็กเกิดปฏิกิริยาต่อกันเป็นสายโซ่ยาวแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.4.2.1 การสังเคราะห์โพลิเมอร์แบบลูกโซ่ หรือรวมตัวกระบวนการสังเคราะห์แบบรวมตัวเป็นการนำเอาโมโนเมอร์ซึ่งเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและไม่อิมตัวคือมีพันธะคู่ หรือพันธะสามอยู่ในโมเลกุลมาทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกันจนได้เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งการทำปฏิกิริยาเริ่มต้น

จากโมเลกุลที่มีพันธะคู่หรือพันธะสามจะถูกความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ที่เหมาะสม ทำให้พันธะ 1 พันธะแตกออกซึ่งว่องไวในการทำปฏิกิริยายึดติดกับพันธะที่แตกออกของโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียงกัน เกิดการต่อกันที่ละโมเลกุลจนได้โมเลกุลใหม่ที่มีลักษณะเป็นเป็นสายโซ่ที่ยาวขึ้น การสังเคราะห์โพลีเมอร์แบบนี้ไม่มีผลิตภัณฑ์อื่นๆหลุดออกมา ทำให้จำนวนอะตอมของธาตุในหน่วยซ้ำของโพลีเมอร์เท่ากับจำนวนอะตอมในโมเลกุลของโมโนเมอร์ ตัวอย่างพลาสติกที่เกิดจากการสังเคราะห์โพลีเมอร์แบบนี้ ได้แก่ โพลีไวนิลคลอไรด์ โพลีโพรพิลีน และโพลีเอทิลีน เป็นต้น

2.4.2.2 การสังเคราะห์โพลีเมอร์แบบขั้น หรือควบแน่น กระบวนการสังเคราะห์แบบควบแน่นเกิดจากโมโนเมอร์ 2 ชนิด ซึ่งแต่ละชนิดเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและมีหมู่ฟังก์ชันเหมือนกันอย่างน้อย 2 หมู่ที่ปลายสุดของโมเลกุล หรืออาจเกิดจากโมโนเมอร์เพียง 1 ชนิดที่มีหมู่ฟังก์ชันแตกต่างกันอย่างน้อย 2 หมู่ที่ปลายสุดของโมเลกุล ที่สามารถทำปฏิกิริยากันระหว่างหมู่ฟังก์ชันอย่างต่อเนื่องได้ ผลิตภัณฑ์เป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ การสังเคราะห์โพลีเมอร์แบบนี้ส่วนใหญ่จะเกิดสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กเช่น H_2O , HCl และ CH_3OH เป็นผลพลอยได้ (By Product) เป็นสาเหตุให้จำนวนอะตอมของธาตุในหน่วยซ้ำของโพลีเมอร์มีน้อยกว่าจำนวนอะตอมในโมเลกุลของโมโนเมอร์ ตัวอย่างพลาสติกที่เกิดจากการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการควบแน่น ได้แก่ ไนลอน และโพลีเอสเตอร์ เป็นต้น

2.5 โฟม

โฟมบรรจุภัณฑ์อาหารเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกประเภทหนึ่ง โดยการนำเม็ดพลาสติกมาเติมสารเร่งฟูจำพวกไฮโดรคาร์บอน เช่น เพนเทน พร็ออน แล้วให้ความร้อน จนถึงจุดหนึ่ง ซึ่งสารเร่งฟูจะเกิดการสลายตัวเป็นก๊าซ ฟองตัวและแทรกตามจุดต่างๆ ในเนื้อพลาสติก ทำให้เกิดเป็นโพรงที่เรียกว่า เซลล์ จากนั้นนำมารีดอัดเป็นแผ่นโฟมดิบแล้วจึงผ่านขั้นตอนการบ่ม โดยใช้อุณหภูมิ $100^{\circ}C$ ประมาณ 36 วัน เพื่อให้โฟมเกิดการฟองตัว มีความนุ่มและยืดหยุ่นอย่าง ถาวรพลาสติกที่นิยมใช้ในการผลิตโฟมมีหลายชนิด เช่น พอลิเอทิลีน (PE) พอลิสไตรีน (PS) พอลิยูรีเทน (PU) เป็นต้น ชนิดที่นิยมที่สุด คือ PS ซึ่งจะ เรียกว่า พอลิสไตรีนที่ขยายตัวแล้ว (Expanded- Polystyrene) หรือ เรียกย่อๆ ว่า EPS เนื่องจากโฟมมีคุณสมบัติเด่นเหนือวัสดุอื่นตรงที่มีความหนาแน่นต่ำ มีความยืดหยุ่นป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี อีกทั้งขึ้นรูปให้เป็นรูปทรงต่างๆ ได้ง่าย ซึ่งใช้เงินทุนไม่สูงมากนัก ดังนั้นบรรจุภัณฑ์โฟมจึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับ การบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ

2.5.1 รูปแบบบรรจุภัณฑ์โฟมบรรจุอาหาร

บรรจุภัณฑ์โฟมบรรจุอาหารมีรูปแบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายดังนี้

2.5.1.1 ภาชนะ มักใช้บรรจุผักผลไม้สด อาหารแห้ง อาหารกึ่งสำเร็จรูปที่จัดเป็นชุดสำเร็จ เพื่อความสะดวกในการปรุง และอาหารสำเร็จรูปซึ่งห่อรัดด้วยฟิล์มยืดใสที่ทำมาจากโพลีไวนิลคลอไรด์ เพื่อป้องกันฝุ่นละออง และช่วยเก็บรักษาความสดของอาหารไว้ในระยะเวลาสั้น ในขณะที่จำหน่าย

2.5.1.2 ขามกลม นิยมบรรจุหมีสำเร็จรูปปิดฝาด้วยพลาสติกประกบเมื่อจะรับประทานก็สามารถใช้ขามนั้นเป็นภาชนะได้

2.5.1.3 กล่องขนาดเล็กที่มีฝาปิด ใช้บรรจุอาหารสำเร็จที่เรียกว่า “Fast Food” ซึ่งจำหน่ายในภัตตาคารและซูเปอร์มาร์เก็ตต่างๆ ข้อดีคือ สามารถเก็บรักษาความร้อนของอาหารได้ในระยะเวลาหนึ่ง กล่าวคือ อุณหภูมิ 80°C จะลดลงเป็น 50°C ในเวลา 34 ชั่วโมง กล่องชนิดนี้มักได้รับการออกแบบให้ ฝาของมันปิดล็อกได้ และมีช่องเล็กๆ สำหรับระบายอากาศเพื่อให้ไอร้อนของอาหารสามารถระบายออกไปภายนอก

2.5.1.4 กล่องขนาดใหญ่ที่มีฝาปิด เป็นบรรจุภัณฑ์ขนส่งสำหรับอาหารที่ต้องการเก็บรักษาอุณหภูมิตลอดระยะเวลาการขนส่ง เช่น ข้าวโพดอ่อน อาหารทะเล ซึ่งมีการใส่น้ำแข็งลงไปด้วย

2.5.1.5 ถาดหลุม เช่น ถาดไข่สำหรับบรรจุไข่สดเพื่อการขนส่ง ถาดมุ้งสำหรับบรรจุมังคุดเพื่อการส่งออก เป็นต้น ขนาดของหลุมได้รับการออกแบบให้ เหมาะกับรูปร่างของผลิตภัณฑ์ที่จะบรรจุโดยเฉพาะ เพื่อให้สามารถคุ้มครองผลิตภัณฑ์จากการกระทบกระแทกได้

2.5.2 ข้อดีของบรรจุภัณฑ์โฟม

ข้อดีมีน้ำหนักเบา ซึ่งช่วยประหยัดค่าขนส่ง มีความยืดหยุ่น จึงช่วยป้องกันการกระทบกระแทกที่อาจเกิด กับ ผลิตภัณฑ์ในระหว่างการลำเลียงและขนส่ง หาซื้อได้ง่ายในราคาที่ไม่สูงนัก ผิวเรียบ ดูสะอาดและสวยงาม เก็บรักษาความร้อน หรือความเย็นของ ผลิตภัณฑ์อาหารไว้ได้ ไม่ดูดน้ำมันและไม่ดูดน้ำ มีความเป็นกลางและปลอดภัยในการสัมผัสอาหาร อย่างไรก็ตามบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวก็มีข้อเสีย หลายประการ คือ ไม่เหมาะกับการใช้บรรจุอาหารร้อนจัดที่มีอุณหภูมิเกิน 85°C หรืออาหารที่เป็นน้ำมันล้วน เป็นบรรจุภัณฑ์แบบใช้ครั้งเดียวทิ้ง การนำไปใช้บรรจุอาหารใหม่จะไม่ปลอดภัยต่อการบริโภค ผู้แกะติดง่าย จึงต้องระมัดระวังในการเก็บรักษา นอกจากนี้ปริมาณการใช้บรรจุภัณฑ์โฟม ที่เพิ่มสูงขึ้นยังอาจก่อปัญหามลภาวะได้ หากรัฐบาลไม่มีมาตรการการทำลายบรรจุภัณฑ์ที่ใช้แล้วเหล่านี้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 ประชุม คำพุ่ม และคณะ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของ คอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเศษพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท โดยกำหนดสัดส่วน ปูนซีเมนต์ : หิน ฝุ่น : น้ำ เท่ากับ 1 : 5 : 1.25 โดยน้ำหนักละอัตรส่วนเศษพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (พลาสติก อีวีเอ) ต่อซีเมนต์ (E/C) เท่ากับ 0.30, 0.35, 0.40, 0.45, 0.50, 0.55 และ 0.60 ทำการขึ้นรูป คอนกรีตบล็อกสำหรับทดสอบสมบัติที่สำคัญตามมาตรฐาน มอก .58-2533 พบว่า พลาสติกอีวีเอที่มี ขนาดและปริมาณที่เหมาะสม สำหรับยึดเกาะปูนซีเมนต์ได้ดี เช่นเดียวกับการผสมหินฝุ่น มีความหนาแน่นต่ำสุดเพียง 640 กก./ลบ.ม. และมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ ทั้งนี้อัตราส่วนที่เหมาะสมสามารถผ่านมาตรฐาน มอก.58-2533 ได้

2.6.2 เพ็ชรพรเชาวกิจเจริญ และคณะ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการนำของเสียประเภทพลาสติกเกรดต่ำมาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุแทนที่ใช้ในทรายบางส่วนที่ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก โดยใช้ผงหินปูนร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสานในการทคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ตลอดจนศึกษาลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางเคมีเช่น การกระจายขนาดคละของมวลรวม ความสามารถในการชะละลาย กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ โดยเปลี่ยนอัตราส่วนผสมในทรายโดยใช้ของเสียประเภทพลาสติกเกรดต่ำเป็นร้อยละ 0, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 7.5, 10 และ 20 โดยน้ำหนักของทรายและแปรผันอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1 ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้ผงหินปูนแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ใช้สัดส่วนต่อทรายต่อหินเกล็ดในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น คือ 1 : 1.2 : 1.8 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาบ่มที่ 7 วัน และ 28 วัน ผลการศึกษาพบว่า สัดส่วนวัสดุของของเสียประเภทพลาสติกเกรดต่ำที่ร้อยละ 3.0 โดยน้ำหนักของทราย อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.5 ระยะเวลาบ่มที่ 28 วัน ทำให้คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นของกระทรวงอุตสาหกรรม

2.6.3 ภาคภูมิ กล่าวหาญ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเหลือใช้ ประเภทพลาสติกไฟเบอร์กลาสมาใช้แทนมวลหยาบในการผลิตกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นในประเทศไทยพลาสติกเสริมแรง (Reinforced Plastics) หรือไฟเบอร์กลาส (Fiberglass Reinforced Plastics: FRP) เป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ได้รับการปรับปรุงคุณสมบัติโดยใช้วัสดุเส้นใยบางประเภทที่มีความเหนียวผสมลงไปในเนื้องานที่เป็นพลาสติกให้มีคุณสมบัติด้านต่างๆ นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักเบาและไม่เป็นสนิม สามารถรับน้ำหนักแรงกระแทก อีกทั้งยังเป็นฉนวนไฟฟ้า ฉนวนกันความร้อนที่ดีอีกด้วย โดยข้อเสียประเภทพลาสติกเสริมแรงที่เกิดขึ้นคือ ทำลายและย่อยสลายยาก และขั้นตอนการทำลายยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเช่น ทำให้เกิดควันพิษต่างๆ เป็นต้น ดังนั้นความสำคัญในการศึกษาการนำเอาของเสียจากผลิตภัณฑ์พลาสติกเสริมแรงไปใช้ประโยชน์ จึงมีความจำเป็นมากขึ้น ซึ่งจะก่อให้เกิดแนวทางการใช้ทรัพยากรได้อย่างคุ้มค่า ต่อการพัฒนาประเทศในภาพรวมได้ในอนาคต แนวคิดในการวิจัยขยะพลาสติกเหลือใช้ ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ Recycling ซึ่งจะนำมาใช้ทำกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น คอนกรีตปูพื้น แผ่นคอนกรีตแบบตันที่ทำมาจากส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ น้ำ และวัสดุผสมเช่น ทราย กรวด หินย่อย นำมาผสมแล้วอัดเข้าแบบมาตรฐานเป็นรูปบล็อกแบบต่างๆ เพื่อให้สามารถรับน้ำหนัก ดูดซับเสียง ทดแทนวัสดุ ประเภทหินจึงเป็นการลดต้นทุนในการผลิตกระบวนการผลิตแบบใช้เครื่องพ่น (Spray-up) ซึ่งใช้ใยแก้วชนิดเส้นยาวเป็นม้วนแล้วตัดให้เป็นท่อนสั้นๆพ่นออกพร้อมกับแผ่นโพลีเอสเตอร์เรซินลงไปบนผิวหน้าของแม่แบบและใช้ลูกกลิ้งและแปรงรีดทับช่วยอีกครั้งให้ได้ขนาด 19-25 มิลลิเมตร มาทำการทดสอบค่าสีกร่อนของมวลผสมให้ได้ตามมาตรฐานสามารถ แบ่งการทดสอบได้ 2 ประเภทคือ หินซึ่งคำนวณค่าสีกร่อนได้ 26.2 % ไฟเบอร์กลาสค่าสีกร่อนได้ 6% จากการทดสอบคุณสมบัติต่างๆที่ใช้ไฟเบอร์กลาสเข้าไปผสมในแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นพบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างไฟเบอร์กลาสต่อหินที่เหมาะสมที่สุดในการ

ทดแทนวัสดุหินมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคือ อัตราส่วน 20/80 ที่ช่วงอายุเวลาในการบ่มน้ำที่ 28 วัน จึงเหมาะสำหรับใช้งานกดอัดเช่น แผ่นรองพื้นเสาตอม่อ, แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น เป็นต้น ซึ่งไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ในลักษณะการทำ คาน เพดานสำเร็จรูป เป็นต้น

2.6.4 B. Malek, et al.

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพของคอนกรีตผสมที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 กับวัสดุรีไซเคิลชนิดต่างๆมาแทนที่อัตราส่วนผสมของมวลรวมในคอนกรีตผสม โดยพบว่า การดำเนินชีวิตแบบสมัยใหม่มีลักษณะการใช้ชีวิตคู่ขนานไปกับความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของจำนวนและชนิดของขยะประเภทใหม่ๆนำไปสู่วิกฤตการณ์กำจัดขยะ การศึกษานี้เล็งไปที่ปัญหาของขยะที่เกิดจากการก่อสร้างเช่น คอนกรีตที่ถูกทุบทิ้ง , แก้ว และพลาสติก เพื่อนำไปสู่การกำจัดหรือช่วยลดการสะสมของขยะบางชนิด การศึกษานี้ได้แนะนำการนำขยะเหลือทิ้งเหล่านี้กลับมาใช้ใหม่ โดยใช้แทนเปอร์เซ็นต์ของวัสดุตั้งต้นในการผลิตคอนกรีตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1

ขยะรีไซเคิลที่ถูกนำมาศึกษาในครั้งนี้ประกอบด้วย แก้ว , พลาสติก และคอนกรีตที่ถูกทุบทิ้ง การนำขยะมารีไซเคิลไม่เพียงแต่ช่วยอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ แต่ยังช่วยแก้ปัญหาวิกฤตของจำนวนขยะที่มีมากขึ้นไป พลาสติกและแก้วที่ถูกบดจะถูกนำมาใช้แทนที่มวลรวมละเอียดตั้งแต่ 0-20% ในการผสมคอนกรีต และคอนกรีตที่ถูกบดจะนำมาแทนมวลรวมหยาบตั้งแต่ 0-20% การประเมินผลสมบัติของคอนกรีตผสม ประกอบด้วย การทดสอบความสามารถในการใช้งาน , หน่วงน้ำหนัก , ความแข็งแรงด้านกำลังอัด , ความแข็งแรงด้านแรงดัด และความแข็งแรงดึง หลังการทดสอบพบว่า มีขยะเหลือทิ้ง 3 ประเภทที่มีสมบัติเหมาะสมในการนำไปใช้แทนที่ทรายหรือมวลรวมหยาบบางส่วนในการผสมคอนกรีต

2.6.5 A.Bhogayata. et al.

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงผสมถุงพลาสติกที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้ลงในคอนกรีตเพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบและการกำจัดพลาสติกเหลือใช้ที่จะก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะเน้นไปใช้ถุงพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีนที่มีความหนา 20 ไมครอนใส่ลงในคอนกรีต M25 โดยเติมพลาสติกลงไปตั้งแต่ 0% ถึง 1.2% โดยปริมาตร และเปรียบเทียบกับกำลังอัดระหว่างพลาสติกที่ตัดเอง และใช้เครื่องตัด จากการศึกษพบว่าพลาสติกที่ตัดเองไม่เหมาะเนื่องจากมีขนาดใหญ่จึงไม่สามารถผสมกันได้ดีและเมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของเส้นใยทั้ง 2 ประเภทถึงประมาณ 0.6% จะลดความสามารถในการรับแรงอัดกล่าวคือ ความสามารถในการใช้งาน และความหนาแน่นจะลดลง

2.6.6 R.N. Nibudey, et al.

งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของขยะขวดพลาสติกประเภท PET ในรูปเส้นใยเพื่อผสมลงในคอนกรีต (WPFRC) ขยะขวดพลาสติกเหล่านี้จะถูกตัดออกเป็นหลายขนาดและหลายรูปแบบ โดยจะนำไปผสมกับคอนกรีตด้วยเปอร์เซ็นต์ที่ต่างกันนั่นคือ ตั้งแต่ 0% ถึง 3% หลังจากนั้นบ่มเป็นเวลา 28 วัน แล้วนำไปทดสอบความสามารถในการนำไปใช้งาน กำลังอัด ลักษณะรอยแตก กำลังดัด พบว่าเมื่อใส่เส้นใยไป 1% ค่ากำลังอัด ค่าความต้านทานต่อแรงดึง และค่ากำลังดัดที่เพิ่มขึ้นดังนี้สำหรับอัตราส่วน 35 ค่ากำลังอัด ค่าความต้านทานต่อแรงดึง และค่ากำลังดัดจะเพิ่มสูงสุดที่

5.26%, 15.47% และ 17.32% ตามลำดับ ส่วนอัตราส่วน 50 ค่ากำลังอัด ค่าความต้านทานแรงดึง และค่ากำลังดัด จะเพิ่มเป็น 7.35%, 24.91 และ 24.105% ตามลำดับ โดยการทดสอบครั้งนี้จะเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมเส้นใย (0% เส้นใย) นอกจากค่าดังกล่าวจะดีขึ้นแล้วยังพบอีกว่าค่าความเหนียวของ WPFRC จะดีขึ้นเนื่องมาจากเส้นใย และยังสามารถลดต้นทุนการผลิตและป้องกันมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกประการหนึ่งด้วย

สาเหตุหลักที่เลือกใช้ขยะพลาสติก ก็เนื่องจากขยะพลาสติกเป็นวัสดุที่สามารถรับแรงดึงได้ดี และหาได้ทั่วไปในท้องถิ่น สามารถลดมลภาวะให้กับสิ่งแวดล้อม และยังสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับของเหลือทิ้งได้อีกด้วย ทั้งยังต้องการทราบว่าเมื่อผสมขยะพลาสติกลงในคอนกรีตแล้ว จะสามารถทำให้คอนกรีตรับแรงดึงได้ดีขึ้นมากน้อยเพียงใด จึงเป็นที่มาของการวิจัยในครั้งนี้

2.6.7 เวชสวรรค์หลักภาค

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีขยะถุงพลาสติกเป็นส่วนผสมเพิ่ม โดยการนำเอาขยะถุงพลาสติกที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หรือที่คัดแยกไว้สำหรับทำลาย มาตัดย่อยเป็นชิ้นเล็กๆขนาดประมาณ 3-5 มม. แล้วผสมลงไปในแอสฟัลต์คอนกรีตที่ถูกออกแบบส่วนผสม (Job Mix -Formula) ไว้แล้วซึ่งมี Mix Proportion Hot Bin ของหินมีขนาด $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ " และหินฝุ่น มีสัดส่วนเท่ากับ 44 : 28 : 13 : 15 โดยน้ำหนัก ปริมาณยางแอสฟัลต์เท่ากับ 5.2% โดยมวลของวัสดุรวมทั้งหมด ส่วนปริมาณขยะพลาสติกที่เหมาะสมเท่ากับ 10% โดยน้ำหนักของยางแอสฟัลต์ซึ่งเป็นปริมาณที่ทำให้ช่องอากาศว่างของแอสฟัลต์เท่ากับ 4.7% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวงและขยะถุงพลาสติกที่ผสมเพิ่มด้วยปริมาณดังกล่าวทำให้ค่าเสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตเพิ่มมากขึ้นถึง 2320 ปอนด์ กว่าแอสฟัลต์คอนกรีตธรรมดาที่มีค่าเสถียรภาพ 2166 ปอนด์ เท่านั้นหลังจากได้สัดส่วนที่เหมาะสมแล้ว นักวิจัยได้ขยายผลโดยการสร้างถนนจากขยะพลาสติกใน Chiang Mai World Green City ที่วิทยาเขตสะลง - ชี้เหล็ก มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เป็นระยะ 1.5 กิโลเมตร เพื่อทดสอบเสถียรภาพในการใช้งานจริง

2.6.8 จักรพันธุ์ เซาว์มะเร็ง และ วสิษฐา รามสุวรรณ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการนำเม็ดโพลีพลาสติกใช้แล้วมาเป็นส่วนผสมทดแทนมวลรวมหยาบในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 และ 30 โดยปริมาตรตามลำดับโดยใช้อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.55 0.60 และ 0.65 ตามลำดับอีกด้วยพร้อมทั้งเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพอันประกอบไปด้วยการยุบตัวระยะการก่อตัวของคอนกรีตสดหน่วยน้ำหนักกำลังรับแรงอัดที่อายุ 3 7 14 และ 28 วันตามลำดับโมดูลัสยืดหยุ่นที่อายุ 28 วันและกำลังรับแรงดัดที่อายุ 28 วันระหว่างคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเม็ดโพลีพลาสติกใช้แล้วกับคอนกรีตปกติ

ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของเม็ดโพลีพลาสติกใช้แล้วเป็นส่วนผสมทดแทนมวลรวมหยาบในอัตราส่วนร้อยละโดยปริมาตรที่เพิ่มมากขึ้นตามลำดับดังกล่าวนี้คอนกรีตที่มีส่วนผสมของเม็ดโพลีพลาสติกใช้แล้วมีการยุบตัวและระยะการก่อตัวของคอนกรีตสดเพิ่มมากขึ้นจากคอนกรีตปกติที่ใช้อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์เดียวกันซึ่งจะส่งผลดีทำให้มีความสามารถในการเทได้มากขึ้นสามารถหล่อแบบเป็นรูปร่างต่างๆได้ง่ายขึ้นกว่าคอนกรีตปกติมีหน่วยน้ำหนักลดลงจากคอนกรีตปกติมีกำลัง

รับแรงอัดที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วันตามลำดับลดลงจากคอนกรีตปกติแต่ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.55, 0.60 และ 0.65 ตามลำดับคอนกรีตจะมีกำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วันประมาณ 240, 215 และ 190 กก./ตร. ซม. ตามลำดับส่วนด้านโมดูลัสยืดหยุ่นที่อายุ 28 วันและกำลังรับแรงดัดที่อายุ 28 วันคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเม็ดโพลีโพลีเอทิลีนใช้แล้วบางส่วนผสมมีการลดลงไม่เกินร้อยละ 10 จากโมดูลัสยืดหยุ่นที่อายุ 28 วันและกำลังรับแรงดัดที่อายุ 28 วันของคอนกรีตปกติถือว่าไม่มากเกินไปและสามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับคอนกรีตปกติได้

2.6.9 อมรรัตน์สุริยวิจิตรเศรษฐ์ สิทธิชัย แสงอาทิตย์ และอำนาจ อภิชาติวัลลภ

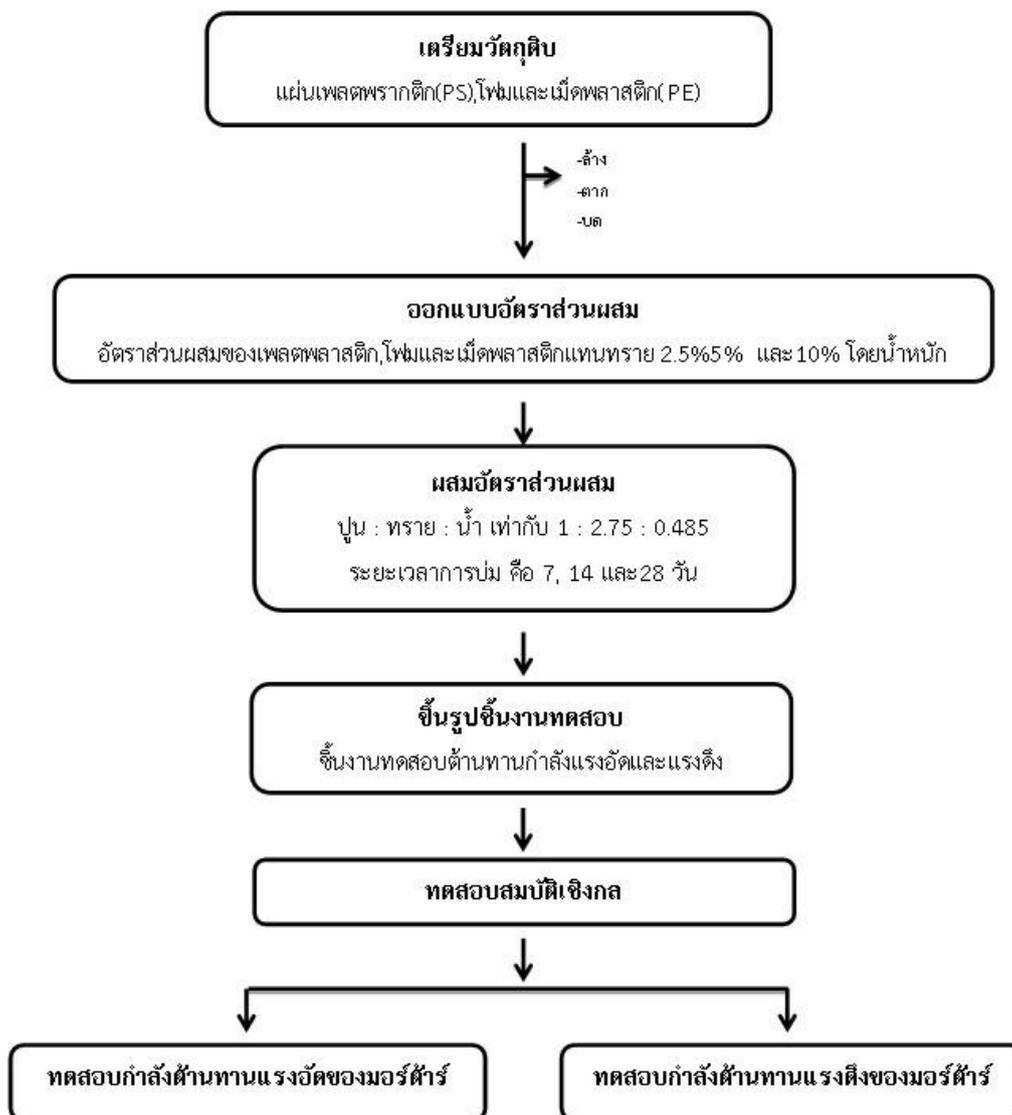
ในช่วงที่ผ่านมาได้มีนักวิจัยจำนวนมากประสบผลสำเร็จในการนำเส้นใยประเภทต่างๆ เช่น โพลีโพรพิลีน (Polypropylene) และไนลอนมาผสมในคอนกรีตเพื่อเพิ่มกำลังรับแรงดัดและการดูดซึมพลังงานและลดการแตกร้าวของคอนกรีตแต่ยังไม่มีการวิจัยคอนกรีตเสริมเส้นใย Polyethylene-Terephthalate (PET) และ High Density Polyethylene (HDPE) แม้ว่าเส้นใยทั้งสองชนิดจะมีคุณสมบัติทางกลที่ก้ำกึ่งรับแรงดัดสูงใกล้เคียงกับโพลีโพรพิลีนและไนลอนและเป็นพลาสติกอีกชนิดหนึ่งซึ่งเป็นส่วนใหญ่ของขยะพลาสติกซึ่งนับวันจะมีปริมาณมากขึ้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีนำพลาสติก PET และ HDPE มาเสริมคอนกรีตเพื่อให้ได้กำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้นและลดการแตกร้าวโดยใช้เส้นพลาสติก PET และ HDPE ที่ใช้แล้วแบบสั้นผสมในคอนกรีตตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์รูปร่างเส้นพลาสติกตรงและซิกแซกและปริมาณเส้นพลาสติกที่เสริมในคอนกรีตพบว่า การเสริมเส้นพลาสติกให้กำลังรับแรงอัดและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นลดลงเมื่อปริมาณเส้นพลาสติกมากขึ้นแต่จะช่วยให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้น

บทที่

3

ขั้นตอนการดำเนินการ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากำลังต้านทานแรงอัดและแรงดัดของมอร์ตาร์ผสมขยะพลาสติก ได้แก่ เพลตพลาสติก, โฟม และเม็ดพลาสติก มาแทนปริมาณทรายบางส่วนในอัตราส่วนผสม 2.5, 5 และ 10 โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน โดยเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์มาตรฐานของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

3.1 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

- 3.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- 3.1.2 ทราย
- 3.1.3 น้ำประปา
- 3.1.4 ก่อ่งโฟมบรรจุอาหาร
- 3.1.5 แผ่นพลาสติก(พอลิสไตรีน) Polystyene : PS
- 3.1.6 เม็ดพลาสติก(พอลิเอทิลีน) Polyethylene : PE
- 3.1.7 เครื่องชั่ง(Balance)

- 3.1.8 เครื่องผสมตามมาตรฐาน (Mixer)ASTM Designation C-305
- 3.1.9 น้ำมันทาแบบ
- 3.1.10 แบบหล่อก้อนทรงลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 ซม.(Cement Cube Mold)
- 3.1.11 แบบหล่อบรีเค็ต(Briquette Molds)
- 3.1.12 ตะแกรง เบอร์ 20และ30(Sieve)ตามมาตรฐาน ASTM Designation E 11
- 3.1.13 ไม้กระทุ้งพลาสติก(Tamper)
- 3.1.14 กระบอกลวง(Measuring Cylinder)
- 3.1.15 เกรียง (Trowel)
- 3.1.16 เวอร์เนีย(Vernier Caliper)
- 3.1.17 อ่างน้ำพลาสติก
- 3.1.18 เครื่องทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด(Test for Compressive strength of Mortars)ตามมาตรฐาน ASTM C 109
- 3.1.19 เครื่องทดสอบกำลังต้านทานแรงดึง(Test for Tensile strength of Cement Mortar) ตามมาตรฐาน ASTM C 932



ภาพที่ 3-2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



ภาพที่ 3-3 ทราย



ภาพที่ 3-4 กล่องโฟมบรรจุอาหาร



ภาพที่ 3-5 เพลตพลาสติก



ภาพที่ 3-6 เม็ดพลาสติก



ภาพที่ 3-7 เครื่องผสม



ภาพที่ 3-8 แบบหล่อก้อนทดสอบทรงลูกบาศก์ ขนาด 5×5×5 ซม.



ภาพที่ 3-9 แบบหล่อบริเคท



ภาพที่ 3-10 ตะแกรงร่อน



ภาพที่ 3-11 เครื่องทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด



ภาพที่ 3-12 เครื่องทดสอบแรงดึง

3.2 แผนการทดสอบ

ขั้นตอนการดำเนินและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องการมีดังนี้

- การเตรียมวัตถุดิบ ได้แก่ ปูนซีเมนต์, ทราย, น้ำ, แผ่นเพลตพลาสติก, กล่องโพนและเม็ดพลาสติก

- การออกแบบส่วนผสมของมอร์ตาร์ผสมขยะพลาสติกแทนทรายบางส่วน ได้แก่ เพลตพลาสติก, กล่องโพนและเม็ดพลาสติกซึ่งมีอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10 โดยน้ำหนัก

- การผสมอัตราส่วนปูน : ทราย : น้ำ เท่ากับ 1 : 2.75 : 0.485 ระยะที่เวลาการบ่ม คือ 7, 14 และ 28 วัน

- การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบแบ่งเป็นชิ้นงานทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดและชิ้นงานทดสอบแรงดึง

- การทดสอบสมบัติทางกล

1 การทดสอบสมบัติเชิงกลต้านกำลังอัดของมอร์ตาร์ ตามมาตรฐาน ASTM C 109

2 การทดสอบสมบัติเชิงกลต้านแรงดึงของมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM C 932

3.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

3.2.1.1 นำแผ่นเพลตพลาสติกมาล้างทำความสะอาดตากให้แห้งและทาบให้ละเอียดพอสมควรจากนั้นจึงนำเข้าเครื่องบดเศษวัสดุแล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 20 และค้ำตะแกรงเบอร์ 30

3.2.1.2 ตัดกล่องโพนออกเป็นชิ้นเล็กๆ ปั่นในเครื่องปั่นไฟฟ้าให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 20 และค้ำตะแกรงเบอร์ 30

3.2.1.3 วิเคราะห์ส่วนคละมวลรวมละเอียดของเม็ดพลาสติก



ภาพที่ 3-13 ขยะพลาสติกก่อนทำการบด



ภาพที่ 3-14 ขยะพลาสติกหลังทำการอบ



ภาพที่ 3-15 การทดสอบส่วนคละมวลรวมของเม็ดพลาสติก



ภาพที่ 3-16 การร่อนขยะพลาสติกผ่านตะแกรงเบอร์ 20 และค้ำตะแกรงเบอร์ 30

3.2.2 การออกแบบอัตราส่วนผสม

งานวิจัยนี้ออกแบบอัตราส่วนผสมตาม ตารางที่ 3-1 และ 3-2 โดยนำขยะพลาสติกที่ผ่านการบดมาผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนปริมาณทรายบางส่วน ในอัตราส่วน ปูน : ทราย : น้ำ เท่ากับ 1 : 2.75 : 0.485 และนำขยะพลาสติกแทนทราย ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10 % โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 3-1 อัตราส่วนผสมสำหรับขึ้นรูป 5 ก้อน ของการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์

ชนิดของ ขยะพลาสติก	อัตราส่วนผสม เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก	ปริมาณวัตถุดิบ			
		ทราย (g)	ขยะพลาสติก (g)	ปูนซีเมนต์ (g)	น้ำ (g)
เม็ดพลาสติก	2.50%	804.375	20.625	300	145.5
	5%	783.75	41.25	300	145.5
	10%	742.5	82.5	300	145.5
โฟม	2.50%	804.375	20.625	300	145.5
	5%	783.75	41.25	300	145.5
	10%	742.5	82.5	300	145.5
เกล็ดพลาสติก	2.50%	804.375	20.625	300	145.5
	5%	783.75	41.25	300	145.5
	10%	742.5	82.5	300	145.5
มาตรฐาน	0%	825	-	300	145.5

ตารางที่ 3-2 อัตราส่วนผสมสำหรับขึ้นรูป 5 ก้อน ของการทดสอบแรงดึงของมอร์ต้าร์

ชนิดของ ขยะพลาสติก	อัตราส่วนผสม เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก	ปริมาณวัตถุดิบ			
		ทราย (g)	ขยะพลาสติก (g)	ปูนซีเมนต์ (g)	น้ำ (g)
เม็ดพลาสติก	2.50%	670.31	17.19	250	121.25
	5%	653.12	34.38	250	121.25
	10%	618.75	68.75	250	121.25
โฟม	2.50%	670.31	17.19	250	121.25
	5%	653.12	34.38	250	121.25
	10%	618.75	68.75	250	121.25
เกล็ดพลาสติก	2.50%	670.31	17.19	250	121.25

	5%	653.12	34.38	250	121.25
	10%	618.75	68.75	250	121.25
มาตรฐาน	0%	687.5	-	250	121.25

3.2.3 การผสมมอร์ตาร์

นำปูนซีเมนต์ผสมขยชะพลาสติกมาผสมน้ำและทิ้งให้ปูนซีเมนต์ดูดซึมน้ำประมาณ 30 วินาที ต่อมาเปิดเครื่องผสมความเร็วต่ำ เป็นเวลา 1 นาทีเสร็จแล้วปิดเครื่องผสม 15 วินาที ในระหว่างนี้ให้ทำการชูดปูนซีเมนต์ผสมขยชะพลาสติกที่เปียกน้ำที่ติดอยู่ตามข้างๆหม้อผสมและในใบพายลงไปรวมกันไว้ที่ตรงกลางและเปิดเครื่องผสมเร็วอีกระดับหนึ่งเป็นเวลา 1 นาที จึงปิดเครื่องผสมนำส่วนผสมออกไปทำการขึ้นรูป

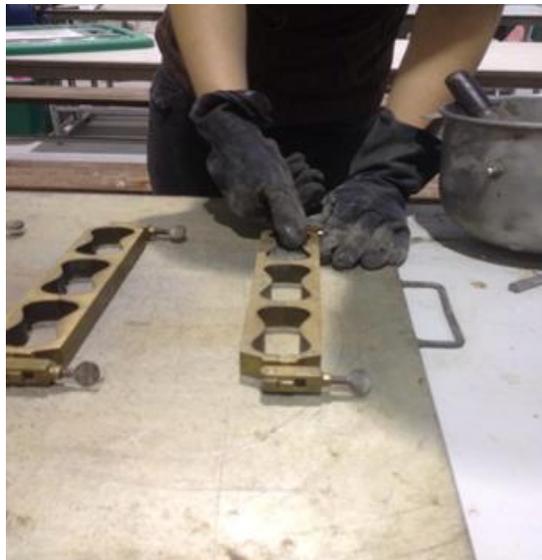


ภาพที่ 3-17 การผสมวัสดุดิบ

3.2.4 การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

3.2.4.1 การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบสำหรับทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด เริ่มจากตัก ส่วนผสมลงบนแบบทดสอบหลังจากผสมมอร์ตาร์เสร็จแล้ว เทมอร์ตาร์ลงในแบบทดสอบ เป็น 2 ชั้น กระทบด้วยแท่งกระทบจำนวน 32 ครั้ง เมื่อกระทบครบแล้วให้ใส่มอร์ตาร์ที่เหลือลงไปแบบทดสอบ แล้วทำเช่นเดียวกับขั้นตอนแรกอีกครั้ง ใช้เกรียงปาดแบบทดสอบให้เรียบ หลังจากหล่อตัวอย่างทดสอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้เก็บตัวอย่างในห้องบ่มขึ้นจนครบ 24 ชม. แล้วจึงถอดแบบทดสอบออก และนำชิ้นงานทดสอบแช่น้ำสะอาดตามเวลาการบ่ม 7,14 และ 28 วัน

3.2.4.2 การขึ้นรูปก้อนตัวอย่างสำหรับทดสอบกำลัง แรงดึง เริ่มจาก ตักส่วนผสมลงบนแบบทดสอบให้พูนขึ้น กดส่วนผสมมอร์ตาร์ด้วยหัวแม่มือทั้งสองข้างจำนวน 12 ครั้ง ต่อส่วนผสมแต่ละก้อน ใช้เกรียงปาดให้เรียบและทำการพลิกด้านล่างกลับมาด้านบนแล้วทำตามขั้นตอนแรกอีกครั้ง หลังจากหล่อตัวอย่างทดสอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้เก็บตัวอย่างในห้องบ่มขึ้นจนครบ 24 ชม. แล้วจึงถอดแบบทดสอบออกและนำชิ้นงานทดสอบแช่น้ำสะอาดตามเวลาการบ่ม 7,14 และ 28 วัน



ภาพที่ 3-18 การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ



ภาพที่ 3-19 การบ่มชิ้นงานทดสอบ

3.2.5 การทดสอบสมบัติเชิงกลของมอร์ตาร์ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.2.5.1 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของมอร์ตาร์

เมื่ออายุปมของมอร์ต้าร์ครบ 7, 14 และ 28 วัน ให้ทำการทดสอบทันทีที่นำชิ้นงานทดสอบออกจากอ่างน้ำ ก่อนการทดสอบทำการขีดผิวชิ้นงานทดสอบให้แห้งและปิดเม็ดทรายหรือสะเก็ดที่ติดผิวหน้าออกให้สะอาด วัดขนาดหน้าตัด ความสูง และชั่งน้ำหนักชิ้นงานทดสอบแต่ละก้อนไว้ ก่อนนำชิ้นงานทดสอบไปกดทดสอบ และบันทึกผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดสูงสุด

3.2.5.2 การทดสอบแรงดึงของมอร์ต้าร์

เมื่ออายุปมของมอร์ต้าร์ครบ 7, 14 และ 28 วัน ให้ทำการทดสอบทันทีที่นำตัวอย่างออกจากอ่างน้ำ ก่อนการทดสอบทำการขีดผิวชิ้นงานทดสอบให้แห้งและปิดเม็ดทรายหรือสิ่งอื่นที่เกาะอยู่ตามผิว วัดขนาดหน้าตัด และชั่งน้ำหนักชิ้นงานทดสอบแต่ละก้อน ก่อนสอดชิ้นงานทดสอบเข้าไปในหัวจับชิ้นงานทดสอบแล้วปรับเครื่องทดสอบเป็นศูนย์และสมดุลทำการเดินเครื่องทดสอบ และบันทึกผลการทดสอบแรงดึงสูงสุด



ภาพที่ 3-20 การทดสอบหาลำกำลังต้านทานแรงอัดของมอร์ต้าร์



ภาพที่ 3-21 การทดสอบแรงดึงของมอร์ตาร์

บทที่ 4

การทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4. ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของมอร์ตาร์ผสมขยะพลาสติก แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

4.1 การทดสอบสมบัติเชิงกลด้านกำลังต้านทานแรงอัด

4.1.1 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมพลาสติกในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน



ก่อนทำการทดสอบกำลังอัด



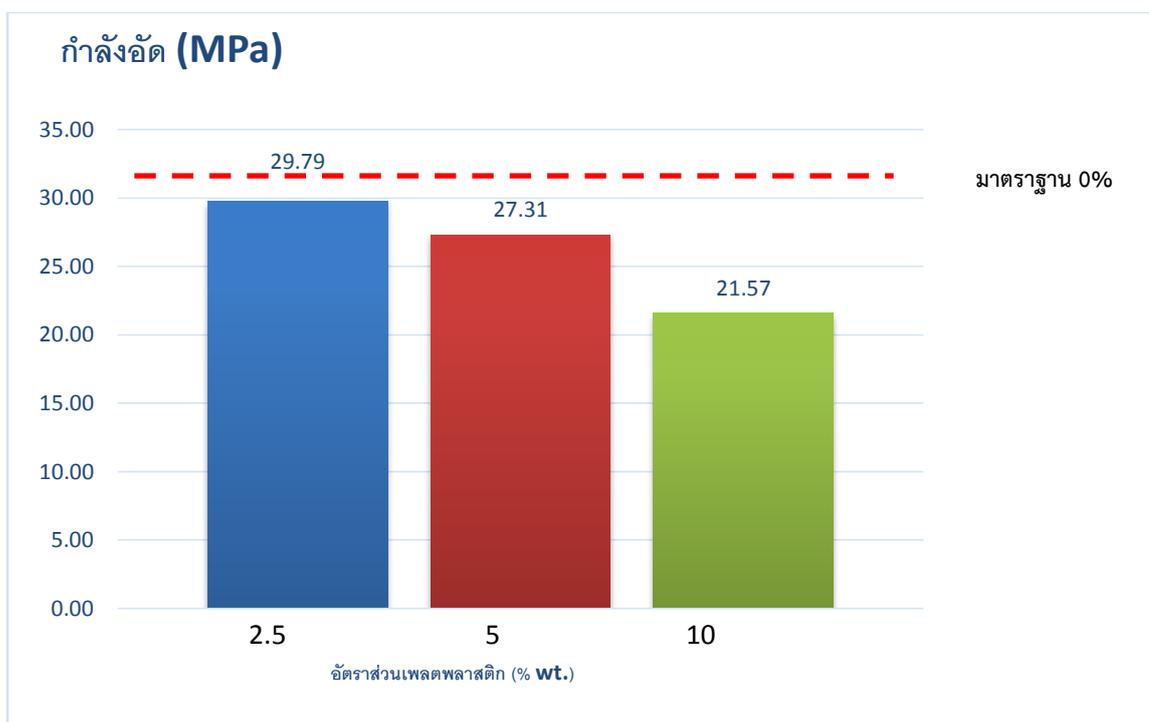
หลังทำการทดสอบกำลังอัด

ภาพที่ 4-1 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมพลาสติก

ตารางที่ 4-1 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของมอร์ตาร์มาตรฐานและมอร์ตาร์ผสมพลาสติก ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

อัตราส่วนผสม	ชั้นงาน	หน้าตัด (mm.)	ระยะเวลา	รับแรงอัด	กำลังอัดเฉลี่ย
--------------	---------	---------------	----------	-----------	----------------

% โดย น้ำหนัก	ทดสอบ	กว้าง	ยาว	การบ่ม (day)	(kN)	(MPa)
มาตรฐาน 0	1	50.50	50.00	7	78.00	30.89
	2	51.00	51.00		81.00	31.14
	3	51.00	51.00		78.00	29.99
	ค่าเฉลี่ย					
เพลต พลาสติก 2.5	1	50.50	50.50	7	75.00	29.41
	2	50.70	50.40		74.00	28.96
	3	50.30	51.30		80.00	31.00
	ค่าเฉลี่ย					
เพลต พลาสติก 5	1	50.50	50.60	7	69.00	27.00
	2	50.30	50.30		64.00	25.30
	3	50.40	50.20		75.00	29.64
	ค่าเฉลี่ย					
เพลต พลาสติก 10	1	50.30	51.40	7	48.00	18.57
	2	50.30	50.30		59.00	23.32
	3	50.50	50.30		58.00	22.83
	ค่าเฉลี่ย					



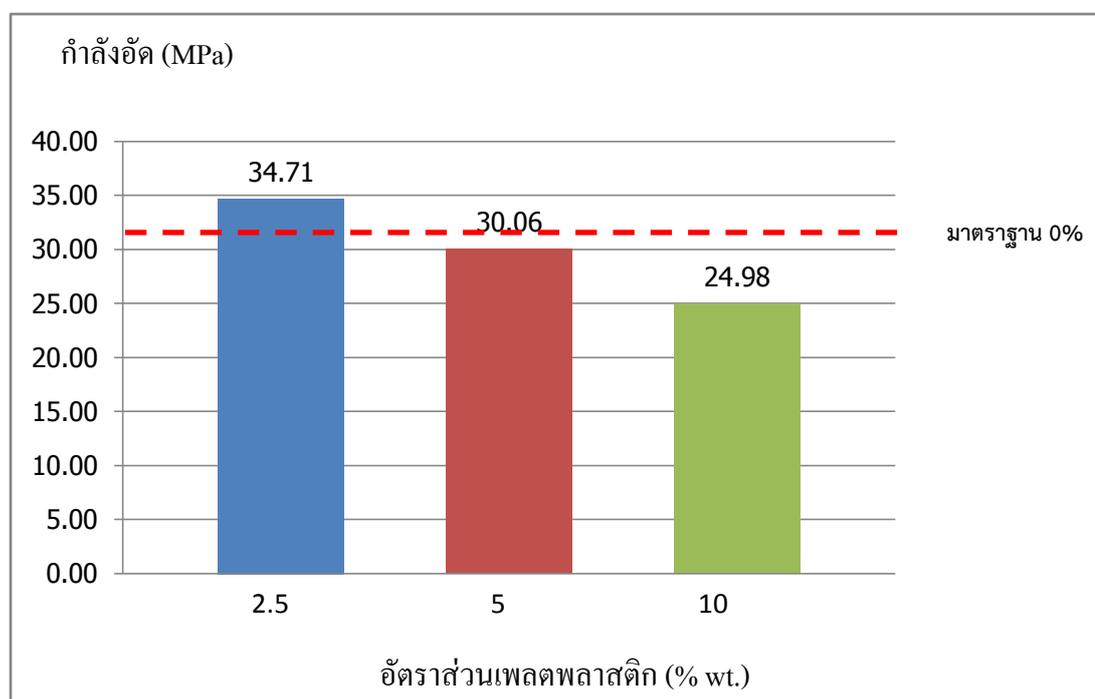
ภาพที่ 4-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมพลาสติกและกำลังต้านทานแรงอัดในระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

จากภาพที่ 4-2 แสดง การเปรียบเทียบกำลังอัดของ มอร์ต้าร์ผสมพลาสติกทด แทนทราย บางส่วน ในอัตราส่วน 2.5 , 5 และ 10% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน พบว่ามอร์ต้าร์ผสม พลาสติก 2.5% โดยน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 29.79 MPa เป็นอัตราส่วนผสมที่มีค่ากำลังอัดของ มอร์ต้าร์สูงสุดแต่ต่ำกว่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์มาตรฐาน

ตารางที่ 4-2 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของมอร์ต้าร์มาตรฐานและมอร์ต้าร์ผสมพลาสติก ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการบ่ม 14 วัน

อัตรา	ชั้นงาน	หน้าตัด (mm.)	ระยะเวลา	รับแรงอัด	กำลังอัดเฉลี่ย
-------	---------	---------------	----------	-----------	----------------

ส่วนผสม % โดย น้ำหนัก	ทดสอบ			การบ่ม (day)	(kN)	(MPa)
		กว้าง	ยาว			
มาตรฐาน 0	1	50.00	50.00	14	78.00	31.20
	2	51.00	51.00		83.00	31.91
	3	50.10	50.40		79.00	31.29
	ค่าเฉลี่ย					
เฟลต พลาสติก 2.5	1	51.20	51.00	14	87.00	33.32
	2	51.00	50.80		94.00	36.28
	3	50.00	50.40		87.00	34.52
	ค่าเฉลี่ย					
เฟลต พลาสติก 5	1	51.80	50.90	14	79.00	29.96
	2	51.00	51.50		80.00	30.46
	3	50.90	51.50		78.00	29.76
	ค่าเฉลี่ย					
เฟลต พลาสติก 10	1	50.00	50.40	14	64.00	25.40
	2	50.20	50.30		59.00	23.37
	3	50.30	50.10		66.00	26.19
	ค่าเฉลี่ย					



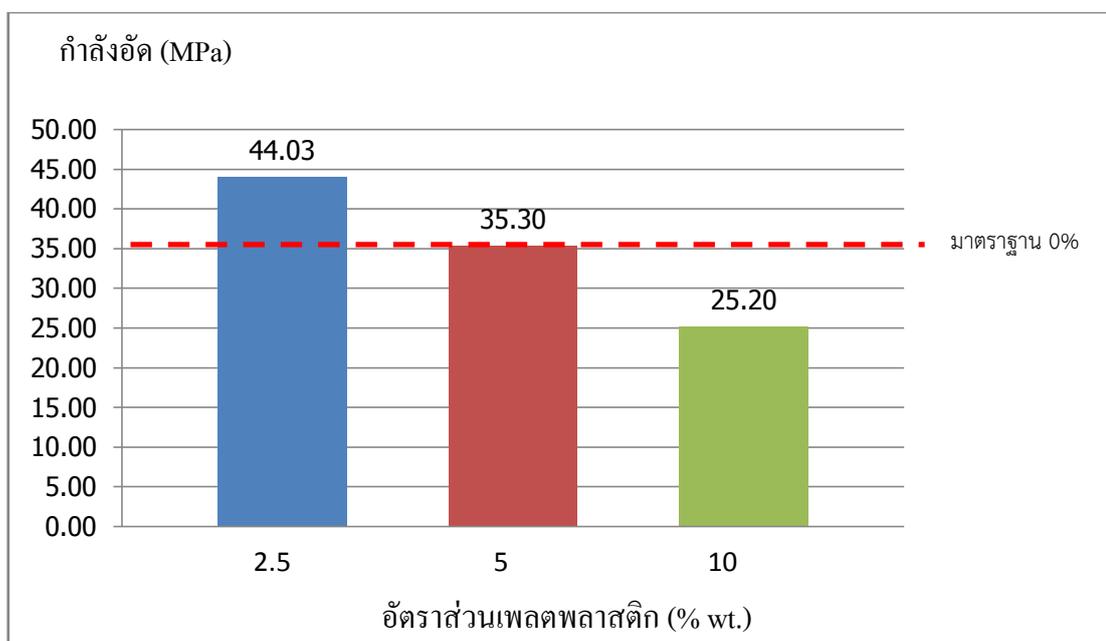
ภาพที่ 4-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมพลาสติกและกำลังต้านทานแรงอัดในระยะเวลาการบ่ม 14 วัน

จากภาพที่ 4-3 แสดงการเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมพลาสติกทดแทนทรายบางส่วน ในอัตราส่วน 2.5 , 5 และ 10% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 14 วัน พบว่ามอร์ต้าร์ผสมพลาสติก 2.5% โดยน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 34.71 MPa เป็นอัตราส่วนผสมที่มีค่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์สูงสุดและใกล้เคียงกับค่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์มาตรฐาน

ตารางที่ 4-3 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของมอร์ต้าร์มาตรฐานและมอร์ต้าร์ผสมพลาสติก ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

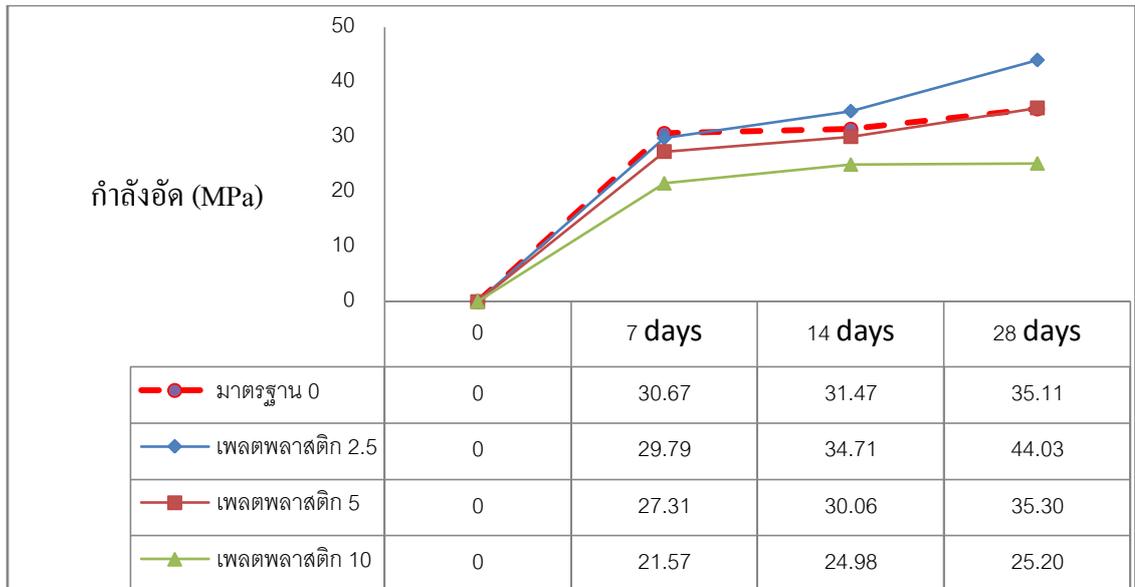
อัตราส่วนผสม	ชั้นงาน	หน้าตัด (mm.)	ระยะเวลา	รับแรงอัด	กำลังอัดประลัย
--------------	---------	---------------	----------	-----------	----------------

% โดย น้ำหนัก	ทดสอบ	กว้าง	ยาว	การบ่ม (day)	(kN)	(MPa)
มาตรฐาน 0	1	51.00	51.00	28	94.00	36.14
	2	50.00	50.00		83.00	33.20
	3	50.00	50.00		90.00	36.00
	ค่าเฉลี่ย					
เฟลต พลาสติก 2.5	1	50.80	50.30	28	86.00	33.66
	2	50.50	50.40		131.00	51.47
	3	50.50	50.60		120.00	46.96
	ค่าเฉลี่ย					
เฟลต พลาสติก 5	1	50.70	50.60	28	76.00	29.62
	2	50.60	50.70		85.00	33.13
	3	50.40	50.60		110.00	43.13
	ค่าเฉลี่ย					
เฟลต พลาสติก 10	1	50.10	50.20	28	65.00	25.84
	2	50.10	50.20		62.00	24.65
	3	50.10	50.10		63.00	25.10
	ค่าเฉลี่ย					



ภาพที่ 4-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมเฟลตพลาสติกและกำลังต้านทานแรงอัดในระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

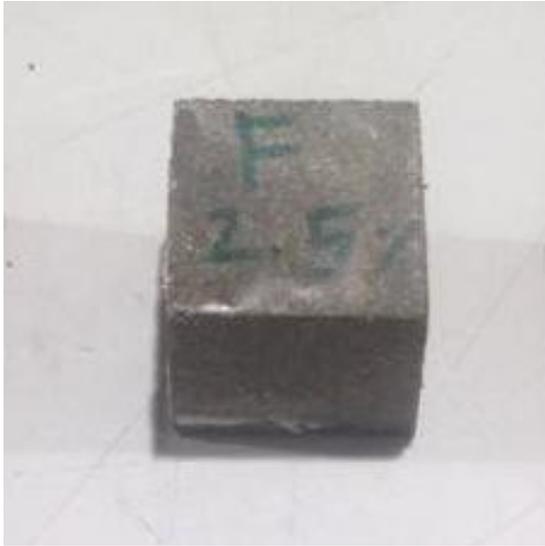
จากภาพที่ 4-4 แสดงการเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเฟลตพลาสติกทดแทนทรายบางส่วน ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน พบว่ามอร์ต้าร์ผสมเฟลตพลาสติก 2.5% โดยน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 44.03 MPa เป็นอัตราส่วนผสมที่มีค่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์สูงสุดและใกล้เคียงกับค่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์มาตรฐาน



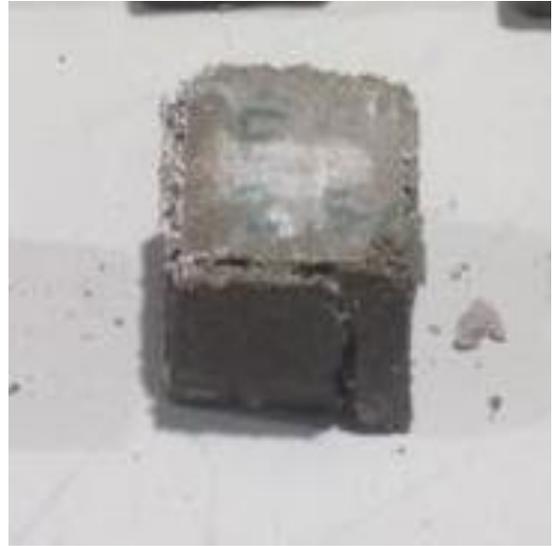
ภาพที่ 4-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกําลังอัดและระยะเวลาการบ่มของมอร์ตาร์ผสมเพลดพลาสติกในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก และมอร์ตาร์มาตรฐานที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

จากภาพที่ 4-5 แสดง การเปรียบเทียบกําลังอัดของ มอร์ตาร์ผสมเพลดพลาสติกทด แทนทราย บางส่วน ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน พบว่ามอร์ตาร์ผสมเพลดพลาสติก 2.5% โดยน้ำหนัก เป็นอัตราส่วนผสมที่มีค่ากําลังอัดของมอร์ตาร์สูงสุดและใกล้เคียงกับค่ากําลังอัดของมอร์ตาร์มาตรฐาน

4.1.2 การทดสอบกําลังต้านทานแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมโพนในอัตราส่วน 2.5 , 5 และ 10% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน



ก่อนทำการทดสอบกำลังอัด



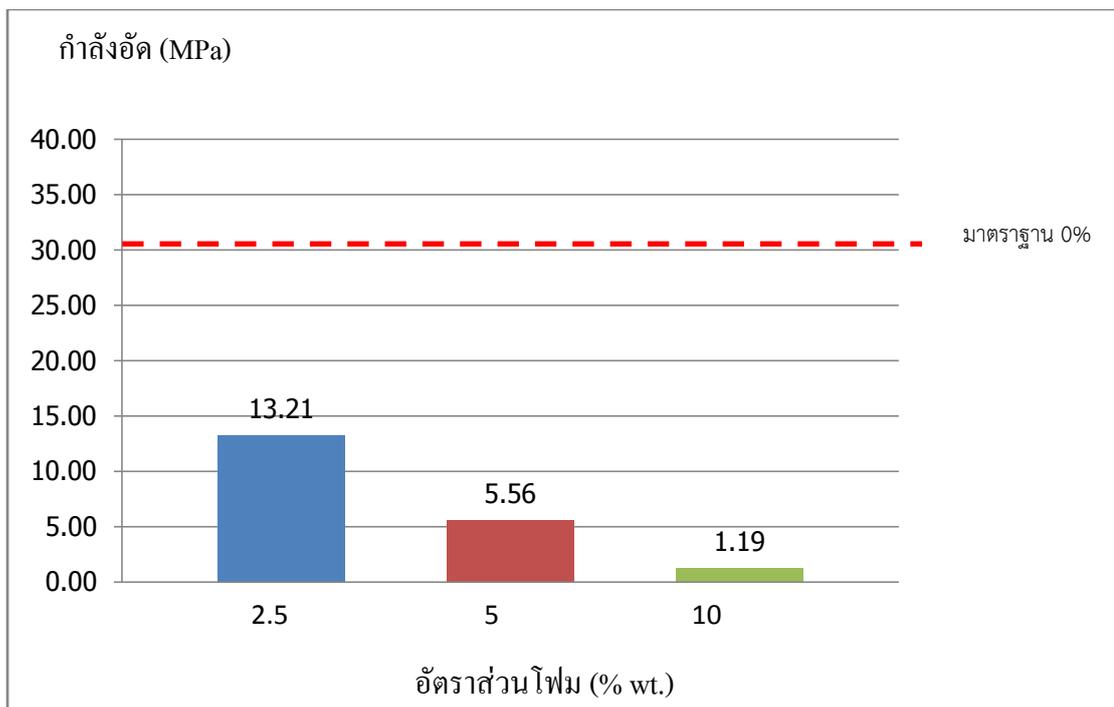
หลังทำการทดสอบกำลังอัด

ภาพที่ 4-6 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมโฟม

ตารางที่ 4-4 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของมอร์ตาร์มาตรฐานและมอร์ตาร์ผสม โฟม ใน อัตราส่วน 2.5,5 และ 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

อัตรา	ชั้นงาน	หน้าตัด (mm.)	ระยะเวลา	รับแรงอัด	กำลังอัดเฉลี่ย
-------	---------	---------------	----------	-----------	----------------

ส่วนผสม % โดย น้ำหนัก	ทดสอบ			การบ่ม (day)	(kN)	(MPa)
		กว้าง	ยาว			
มาตรฐาน 0	1	50.50	50.00	7	78.00	30.89
	2	51.00	51.00		81.00	31.14
	3	51.00	51.00		78.00	29.99
	ค่าเฉลี่ย					
โฟม 2.5	1	50.90	50.90	7	34.00	13.12
	2	51.20	50.90		35.00	13.43
	3	51.00	51.00		34.00	13.07
	ค่าเฉลี่ย					
โฟม 5	1	50.10	50.20	7	14.00	5.57
	2	50.20	50.20		14.00	5.56
	3	50.10	50.30		14.00	5.56
	ค่าเฉลี่ย					
โฟม 10	1	50.00	50.00	7	3.00	1.20
	2	50.70	50.00		3.00	1.18
	3	50.00	50.30		3.00	1.19
	ค่าเฉลี่ย					



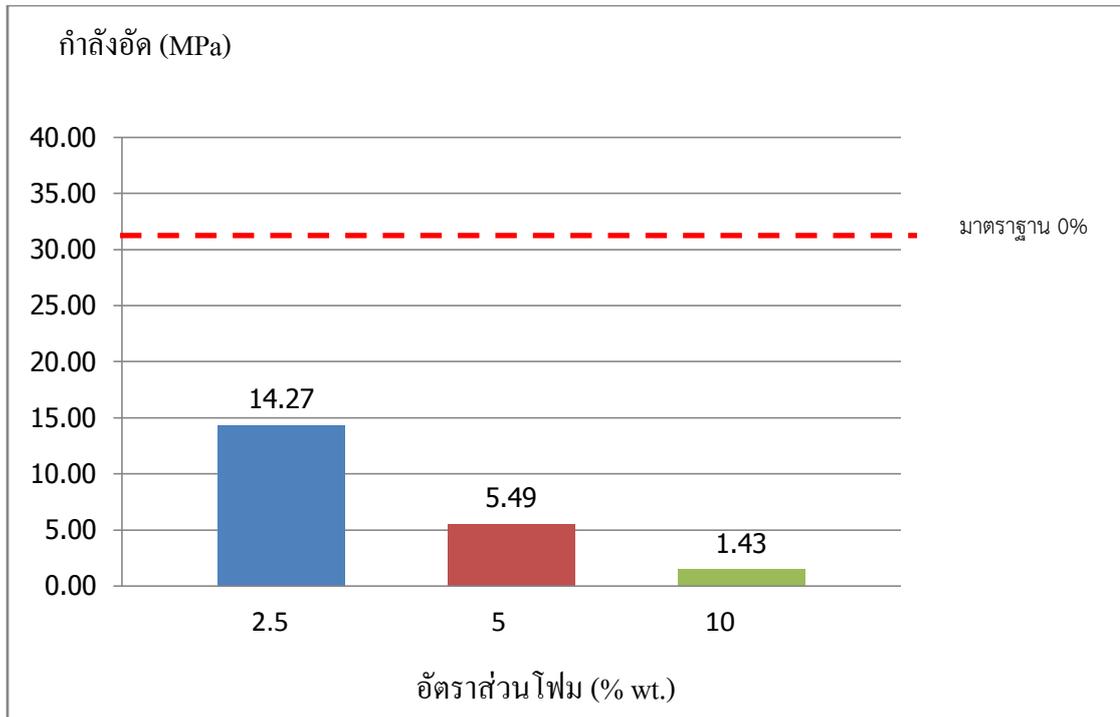
ภาพที่ 4-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมไฟเบอร์และกำลังต้านทานแรงอัดในระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

จากภาพที่ 4-7 แสดงการเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมไฟเบอร์ทดแทนทรายบางส่วน ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน พบว่ามอร์ตาร์ผสมไฟเบอร์ 2.5% โดยน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 13.21MPa เป็นอัตราส่วนผสมที่มีค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์สูงสุดแต่ต่ำกว่าค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์มาตรฐาน

ตารางที่ 4-5 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของมอร์ตาร์มาตรฐานและมอร์ตาร์ผสมไฟเบอร์ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการบ่ม 14 วัน

อัตรา	ชั้นงาน	หน้าตัด (mm.)	ระยะเวลา	รับแรงอัด	กำลังอัดเฉลี่ย
-------	---------	---------------	----------	-----------	----------------

ส่วนผสม % โดย น้ำหนัก	ทดสอบ			การบ่ม (day)	(kN)	(MPa)
		กว้าง	ยาว			
มาตรฐาน 0	1	50.00	50.00	14	78.00	31.20
	2	51.00	51.00		83.00	31.91
	3	50.10	50.40		79.00	31.29
	ค่าเฉลี่ย					
โพน 2.5	1	50.00	50.00	14	35.00	14.00
	2	50.00	50.00		36.00	14.40
	3	50.00	50.00		36.00	14.40
	ค่าเฉลี่ย					
โพน 5	1	50.00	50.00	14	14.00	5.60
	2	50.00	50.00		14.00	5.60
	3	51.00	52.00		14.00	5.28
	ค่าเฉลี่ย					
โพน 10	1	51.00	51.00	14	4.00	1.54
	2	50.00	50.00		4.00	1.60
	3	50.60	50.90		3.00	1.16
	ค่าเฉลี่ย					



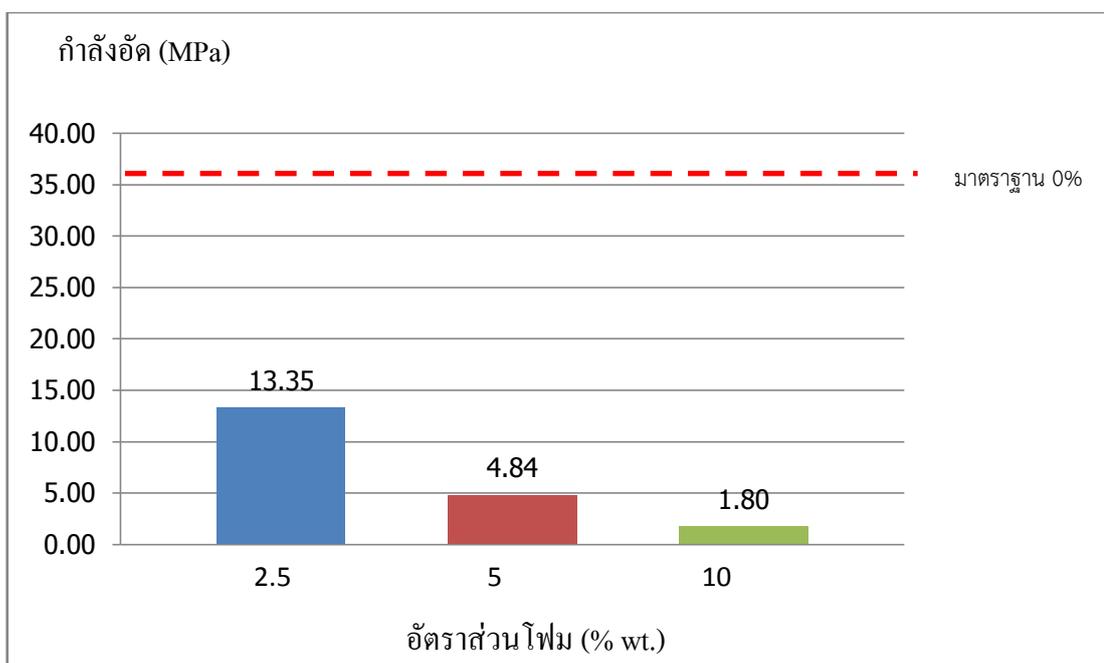
ภาพที่ 4-8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมโไฟมและก้ำลิ่งต้านทานแรงอัดในระยะเวลากการบ่ม 14 วัน

จากภาพที่ 4-8 แสดงการเปรียบเทียบก้ำลิ่งอัดของมอร์ต้าร์ผสมโไฟมทดแทนทรายบางส่วน ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 14 วัน พบว่ามอร์ต้าร์ผสมโไฟม 2.5% โดยน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 14.27 MPa เป็นอัตราส่วนผสมที่มีค่าก้ำลิ่งอัดของมอร์ต้าร์สูงสุดแต่ต่ำกว่าค่าก้ำลิ่งอัดของมอร์ต้าร์มาตรฐาน

ตารางที่ 4-6 การทดสอบก้ำลิ่งต้านทานแรงอัดของมอร์ต้าร์มาตรฐานและมอร์ต้าร์ผสมโไฟม ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

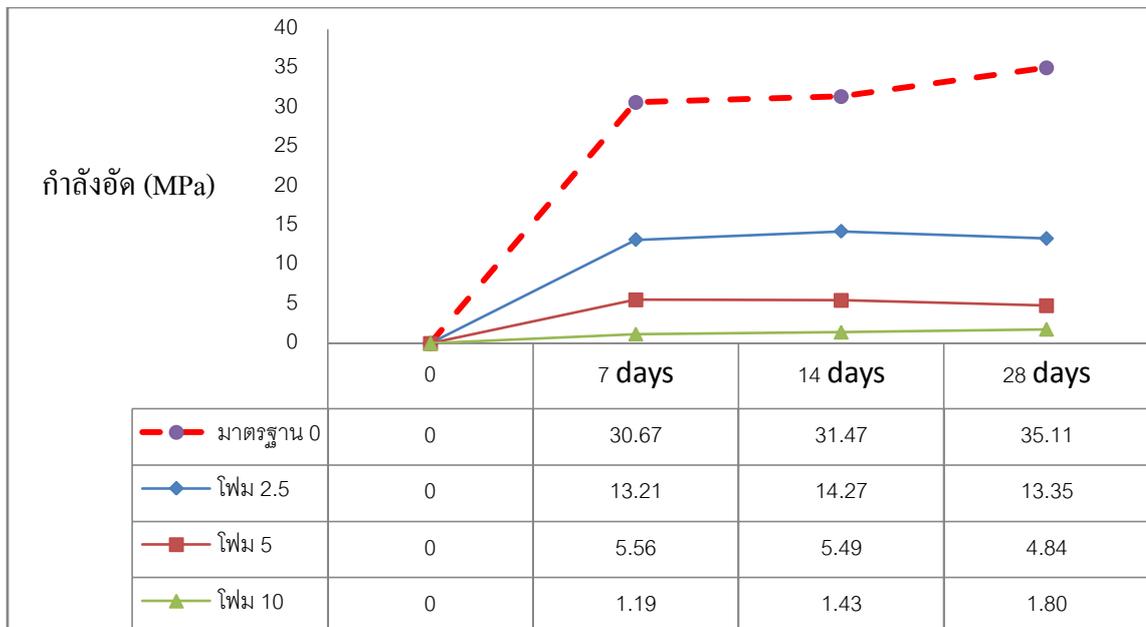
อัตรา	ชั้นงาน	หน้าตัด (mm.)	ระยะเวลา	รับแรงอัด	ก้ำลิ่งอัดประลัย์
-------	---------	---------------	----------	-----------	-------------------

ส่วนผสม % โดย น้ำหนัก	ทดสอบ			การบ่ม (day)	(kN)	(MPa)
		กว้าง	ยาว			
มาตรฐาน 0	1	51.00	51.00	28	94.00	36.14
	2	50.00	50.00		83.00	33.20
	3	50.00	50.00		90.00	36.00
	ค่าเฉลี่ย					
โฟม 2.5	1	50.00	50.00	28	40.00	16.00
	2	51.20	50.30		25.00	9.71
	3	50.10	50.10		36.00	14.34
	ค่าเฉลี่ย					
โฟม 5	1	51.00	51.00	28	9.00	3.46
	2	50.00	50.00		12.00	4.80
	3	50.10	51.00		16.00	6.26
	ค่าเฉลี่ย					
โฟม 10	1	50.00	51.20	28	5.00	1.95
	2	51.00	50.50		4.00	1.55
	3	51.20	51.30		5.00	1.90
	ค่าเฉลี่ย					



ภาพที่ 4-9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมโพลีและกำลังต้านทานแรงอัดในระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

จากตารางที่ 4-9 แสดงการเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมโพลีทดแทนทรายบางส่วน ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน พบว่ามอร์ตาร์ผสมโพลี 2.5% โดยน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 13.35 MPa เป็นอัตราส่วนผสมที่มีค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์สูงสุดแต่ต่ำกว่าค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์มาตรฐาน



ภาพที่ 4-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกําลังอัดและระยะเวลาการบ่ม ของมอร์ตาร์ผสม โม่ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก และมอร์ตาร์มาตรฐานที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

จากภาพที่ 4-10 แสดง การเปรียบเทียบกําลังอัดของ มอร์ตาร์ผสมโม่ทดแทนทรายบางส่วน ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน พบว่ามอร์ตาร์ผสมโม่ 2.5% โดยน้ำหนัก เป็นอัตราส่วนผสมที่มีค่ากําลังอัดของมอร์ตาร์สูงสุด แต่ต่ำกว่าค่ากําลังอัดของมอร์ตาร์มาตรฐาน

4.1.3 การทดสอบกําลังต้านทานแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมเม็ดพลาสติก ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน



ก่อน
ทำ
การ
ทดสอบ
กำลัง
อัด



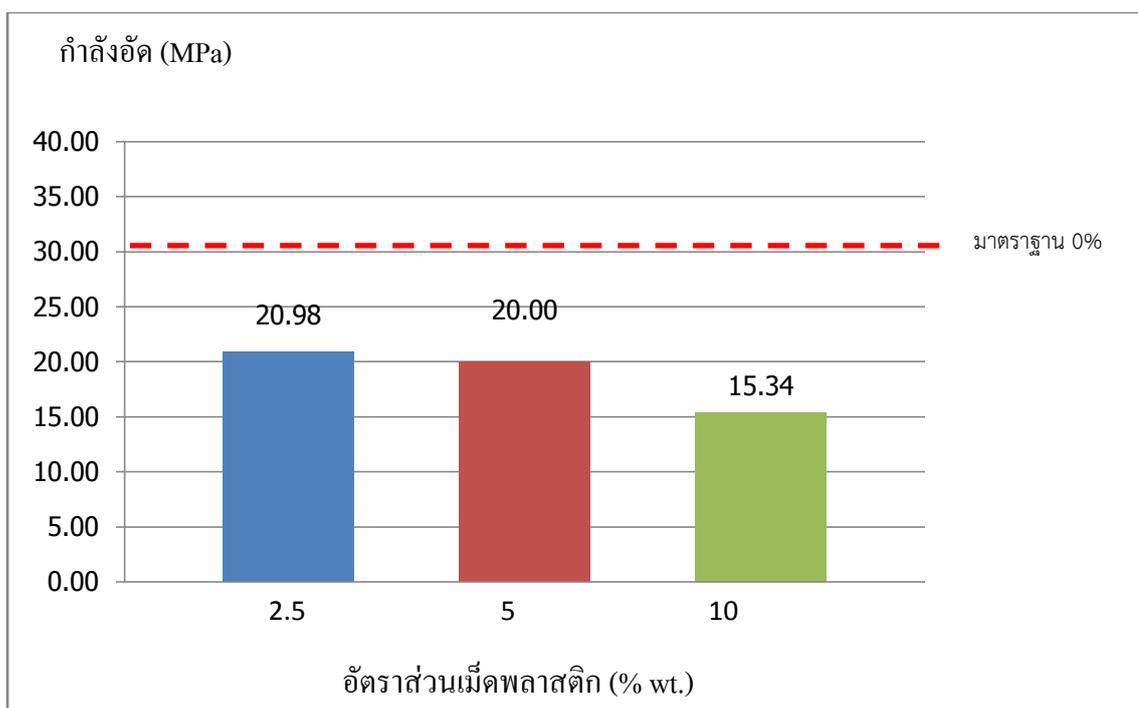
หลังทำการ

ภาพที่ 4-11 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของ
มอร์ต้าร์ผสมเม็ดพลาสติก

ตารางที่ 4-7 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของมอร์ต้าร์มาตรฐานและมอร์ต้าร์ผสมเม็ดพลาสติกในอัตราส่วน 2.5,5 และ 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

อัตราส่วนผสม % โดยน้ำหนัก	ชั้นงาน ทดสอบ	หน้าตัด (mm.)		ระยะเวลา การบ่ม (day)	รับแรงอัด (kN)	กำลังอัดเฉลี่ย (MPa)
		กว้าง	ยาว			
มาตรฐาน 0	1	50.50	50.00	7	78.00	30.89
	2	51.00	51.00		81.00	31.14
	3	51.00	51.00		78.00	29.99

	ค่าเฉลี่ย					30.67
เม็ดพลาสติก 2.5	1	52.00	51.60	7	68.00	25.34
	2	51.50	51.10		64.00	24.32
	3	51.30	51.40		35.00	13.27
	ค่าเฉลี่ย					20.98
เม็ดพลาสติก 5	1	50.60	50.70	7	48.00	18.71
	2	50.70	50.90		51.00	19.76
	3	50.20	50.90		55.00	21.52
	ค่าเฉลี่ย					20.00
เม็ดพลาสติก 10	1	52.00	51.00	7	37.00	13.95
	2	51.90	50.70		30.00	11.40
	3	50.40	50.90		53.00	20.66
	ค่าเฉลี่ย					15.34



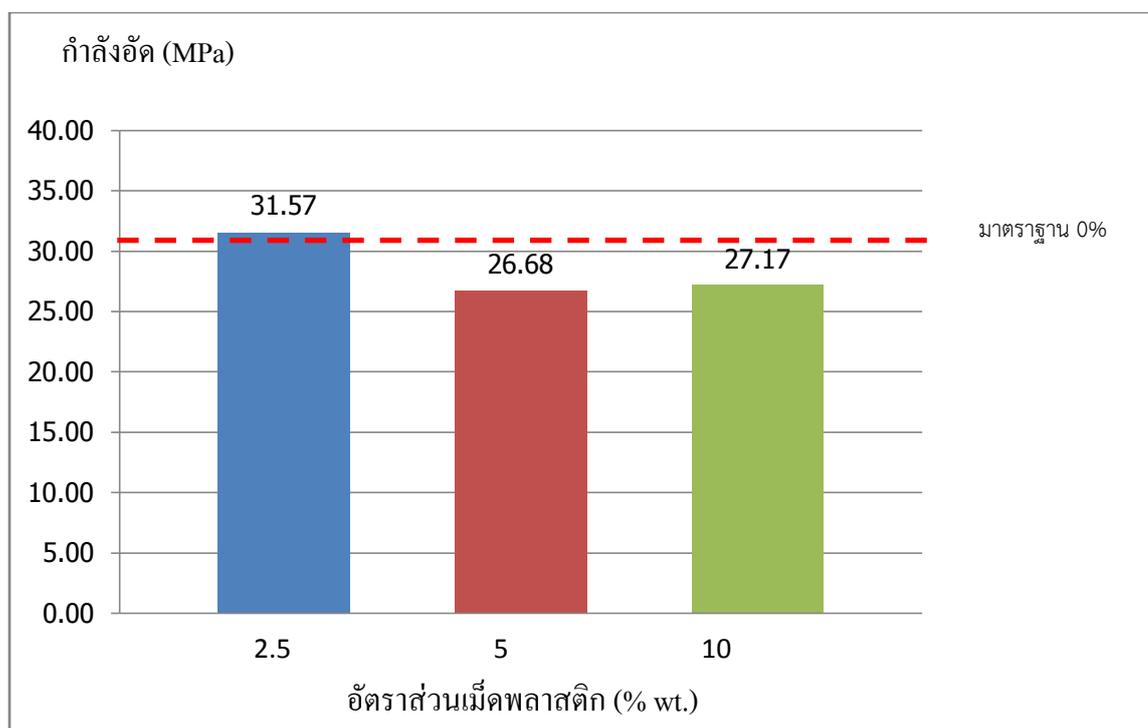
ภาพที่ 4-12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมเม็ดพลาสติกและกำลังต้านทานแรงอัดในระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

จากภาพที่ 4-12 แสดงการเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสม เม็ดพลาสติก ทดแทนทรายบางส่วน ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน พบว่ามอร์ตาร์ผสมเม็ดพลาสติก 2.5% โดยน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 20.98 MPa เป็นอัตราส่วนผสมที่มีค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์สูงสุดแต่ต่ำกว่าค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์มาตรฐาน

ตารางที่ 4-8 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของมอร์ตาร์มาตรฐานและมอร์ตาร์ผสมเม็ดพลาสติกในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการบ่ม 14 วัน

อัตรา	ชั้นงาน	หน้าตัด (mm.)	ระยะเวลา	รับแรงอัด	กำลังอัดเฉลี่ย
-------	---------	---------------	----------	-----------	----------------

ส่วนผสม % โดย น้ำหนัก	ทดสอบ			การบ่ม (day)	(kN)	(MPa)
		กว้าง	ยาว			
มาตรฐาน 0	1	50.00	50.00	14	78.00	31.20
	2	51.00	51.00		83.00	31.91
	3	50.10	50.40		79.00	31.29
	ค่าเฉลี่ย					
เม็ดพลาสติก 2.5	1	50.00	50.00	14	80.00	32.00
	2	50.30	50.00		82.00	32.60
	3	50.30	50.20		76.00	30.10
	ค่าเฉลี่ย					
เม็ดพลาสติก 5	1	51.00	52.00	14	74.00	27.90
	2	50.70	50.60		72.00	28.07
	3	51.40	50.90		63.00	24.08
	ค่าเฉลี่ย					
เม็ดพลาสติก 10	1	50.30	50.60	14	66.00	25.93
	2	50.30	50.80		74.00	28.96
	3	50.80	50.30		68.00	26.61
	ค่าเฉลี่ย					

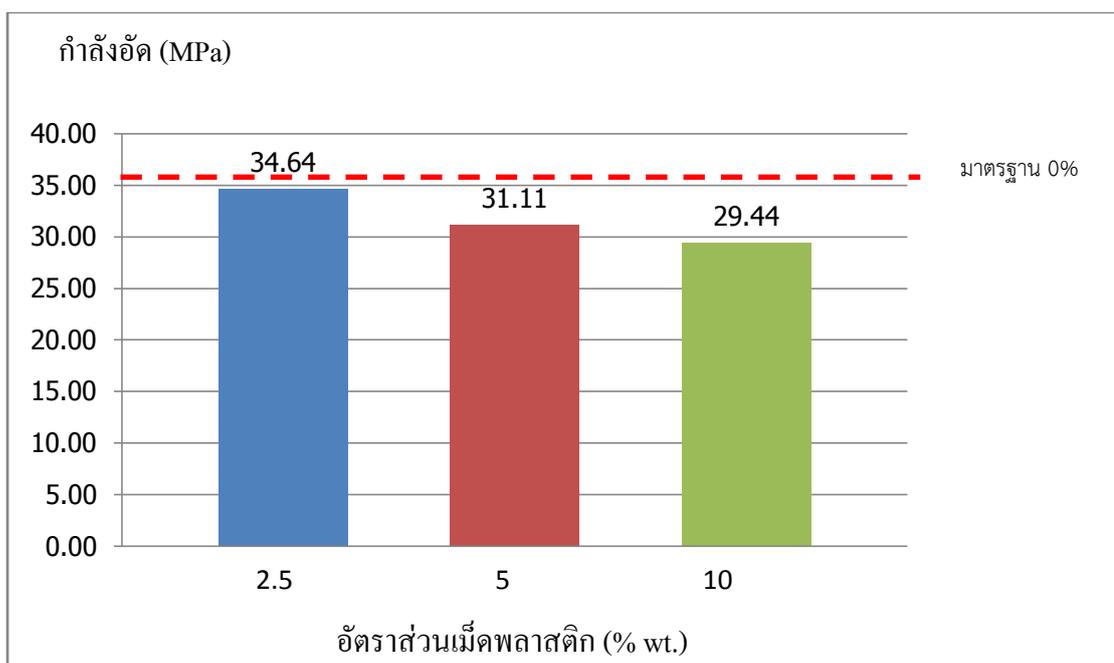


ภาพที่ 4-13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมเม็ดพลาสติกและกำลังต้านทานแรงอัดในระยะเวลาการบ่ม 14 วัน

จากภาพที่ 4-13 แสดงการเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเม็ดพลาสติกทดแทนทรายบางส่วน ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 14 วัน พบว่ามอร์ตาร์ผสมเม็ดพลาสติก 2.5% โดยน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 31.57MPa เป็นอัตราส่วนผสมที่มีค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์สูงสุดและใกล้เคียงกับค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์มาตรฐาน

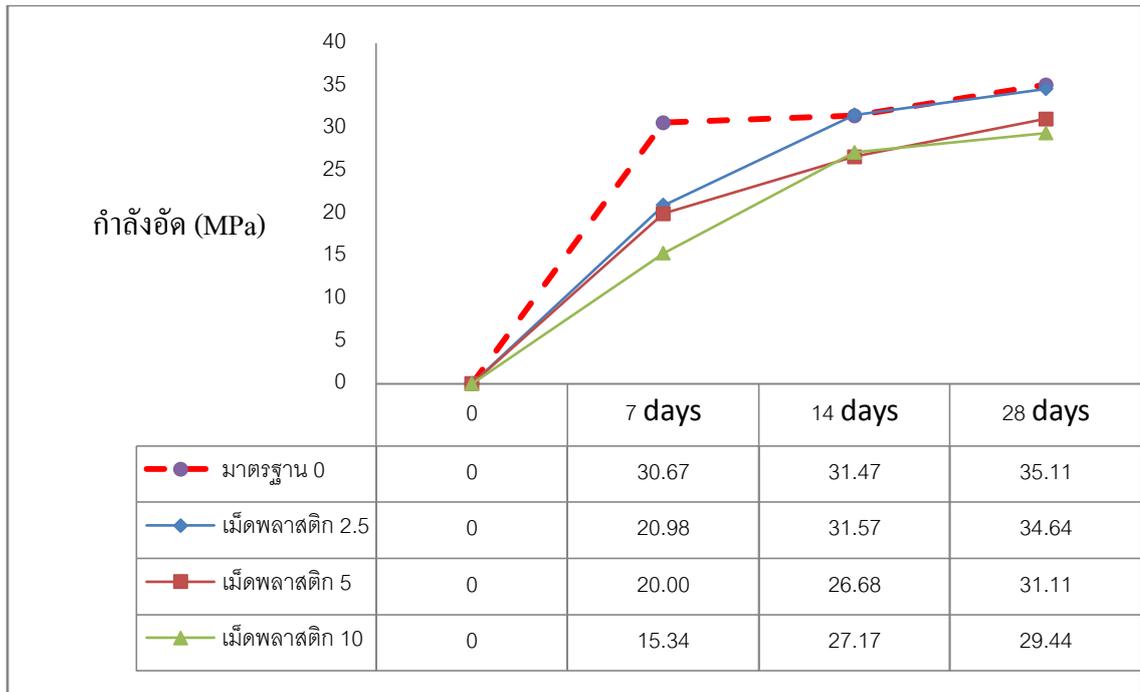
ตารางที่ 4-9 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของมอร์ตาร์มาตรฐานและมอร์ตาร์ผสมเม็ดพลาสติกในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

อัตรา ส่วนผสม % โดย น้ำหนัก	ชั้นงาน ทดสอบ	หน้าตัด (mm.)		ระยะเวลา การบ่ม (day)	รับแรงอัด (kN)	กำลังอัดเฉลี่ย (MPa)
		กว้าง	ยาว			
มาตรฐาน 0	1	51.00	51.00	28	94.00	36.14
	2	50.00	50.00		83.00	33.20
	3	50.00	50.00		90.00	36.00
	ค่าเฉลี่ย					
เม็ตพลาสติก 2.5	1	51.00	50.40	28	98.00	38.13
	2	50.00	50.30		91.00	36.18
	3	50.60	50.70		76.00	29.62
	ค่าเฉลี่ย					
เม็ตพลาสติก 5	1	50.00	50.60	28	83.00	32.81
	2	50.70	50.60		82.00	31.96
	3	50.60	50.50		73.00	28.57
	ค่าเฉลี่ย					
เม็ตพลาสติก 10	1	50.90	50.80	28	79.00	30.55
	2	50.90	50.00		74.00	29.08
	3	50.00	50.90		73.00	28.68
	ค่าเฉลี่ย					



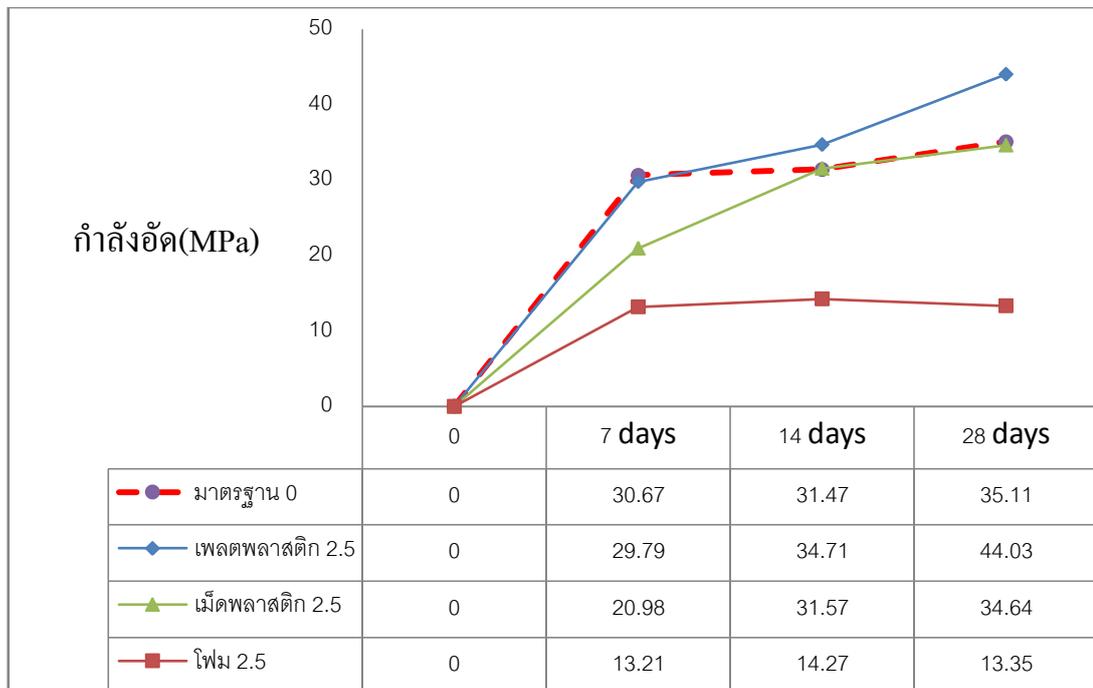
ภาพที่ 4-14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมเม็ดพลาสติกและกําลังต้านทานแรงอัดในระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

จากภาพที่ 4-14 แสดงการเปรียบเทียบกําลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเม็ดพลาสติกทดแทนทรายบางส่วน ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน พบว่ามอร์ตาร์ผสมเม็ดพลาสติก 2.5% โดยน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 34.64 MPa เป็นอัตราส่วนผสมที่มีค่ากําลังอัดของมอร์ตาร์สูงสุดแต่ต่ำกว่าค่ากําลังอัดของมอร์ตาร์มาตรฐาน



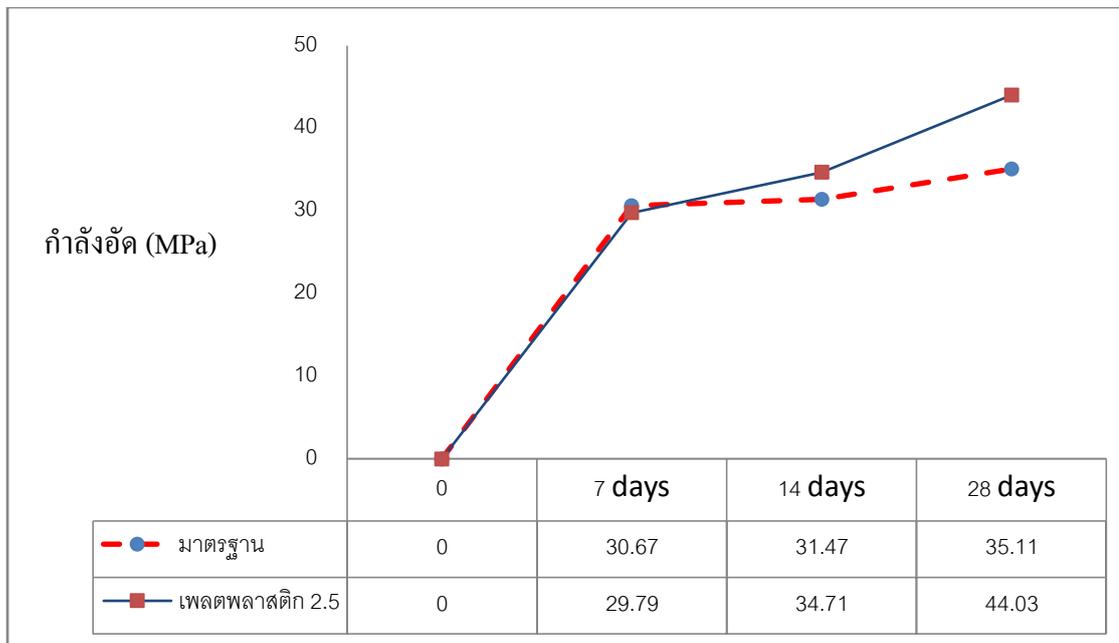
ภาพที่ 4-15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กําลังอัดและระยะเวลาการบ่ม ของมอร์ต้าร์ผสม เม็ดพลาสติกในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก และมอร์ต้าร์มาตรฐาน ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

จากภาพที่ 4-15 แสดงการเปรียบเทียบกําลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเม็ดพลาสติกทดแทนทรายบางส่วน ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน พบว่ามอร์ต้าร์ผสมเม็ดพลาสติก 2.5% โดยน้ำหนัก เป็นอัตราส่วนผสมที่มีค่ากําลังอัดของมอร์ต้าร์สูงสุดแต่ต่ำกว่าค่ากําลังอัดของมอร์ต้าร์มาตรฐาน



ภาพที่ 4-16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและระยะเวลาการบ่มของมอร์ต้าร์ผสม พลาสติก, โฟม, เม็ดพลาสติกในอัตราส่วน 2.5% โดยน้ำหนัก และมอร์ต้าร์ มาตรฐาน ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

จากภาพที่ 4-16 พบว่ามอร์ต้าร์ผสมพลาสติกในอัตราส่วน 2.5 % โดยน้ำหนัก มีค่ากำลังอัดสูงสุดมากกว่าขยะพลาสติกชนิดอื่น เท่ากับ 44.03 MPa ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน



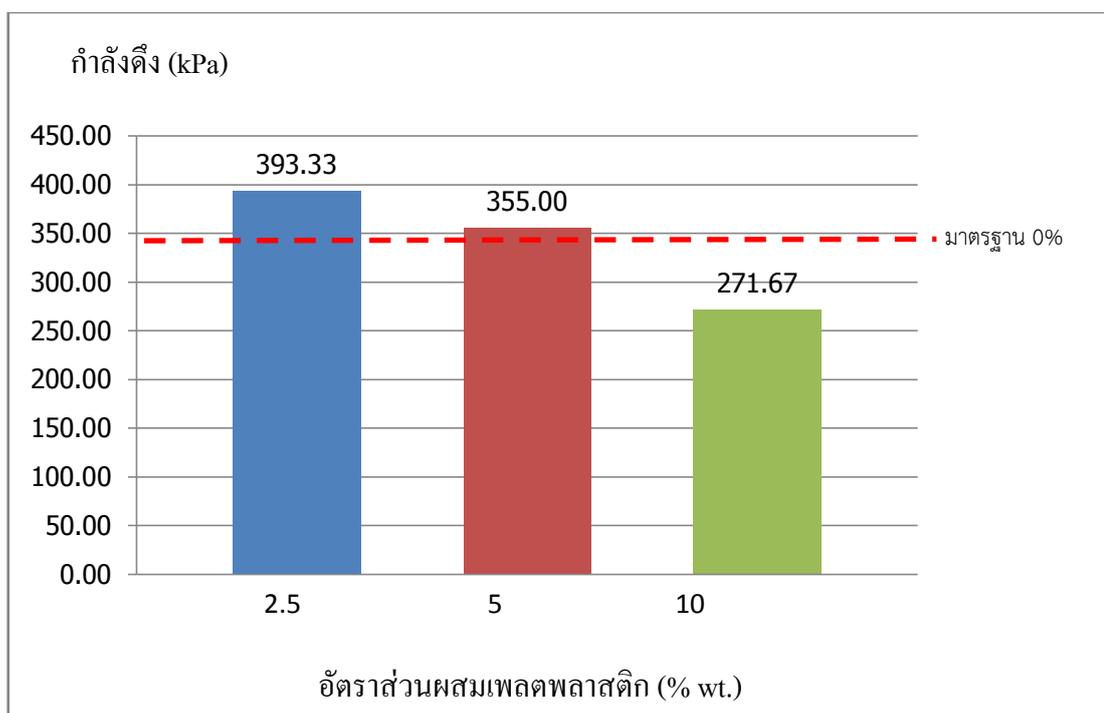
ภาพที่ 4-17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและระยะเวลาการบ่มของมอร์ต้าร์ผสมพลาสติกในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก และมอร์ต้าร์มาตรฐานที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

จากภาพที่ 4-17 พบว่ามอร์ต้าร์ผสมพลาสติกในอัตราส่วน 2.5 % โดยน้ำหนัก มีค่ากำลังอัดสูงใกล้เคียงกับมอร์ต้าร์มาตรฐาน เท่ากับ 44.03 MPa ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

4.2 การทดสอบสมบัติเชิงกลด้านความต้านทานแรงดึง

4.2.1 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของมอร์ต้าร์ผสมพลาสติกในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

มาตรฐาน 0	1	26.20	26.00	138.00	7	30.50	305.00
	2	31.70	26.60	139.00		37.50	375.00
	3	32.00	26.40	140.00		35.00	350.00
	ค่าเฉลี่ย						343.33
เพลด พลาสติก 2.5	1	26.90	26.50	137.50	7	38.00	380.00
	2	27.30	26.70	136.00		38.50	385.00
	3	26.00	26.90	134.00		41.50	415.00
	ค่าเฉลี่ย						393.33
เพลด พลาสติก 5	1	26.90	26.30	133.50	7	36.50	365.00
	2	27.20	26.90	134.50		34.50	345.00
	3	25.40	26.60	129.50		35.50	355.00
	ค่าเฉลี่ย						355.00
เพลด พลาสติก 10	1	25.30	26.40	118.00	7	26.50	265.00
	2	31.20	26.30	119.50		28.50	285.00
	3	25.80	26.10	116.50		26.50	265.00
	ค่าเฉลี่ย						271.67

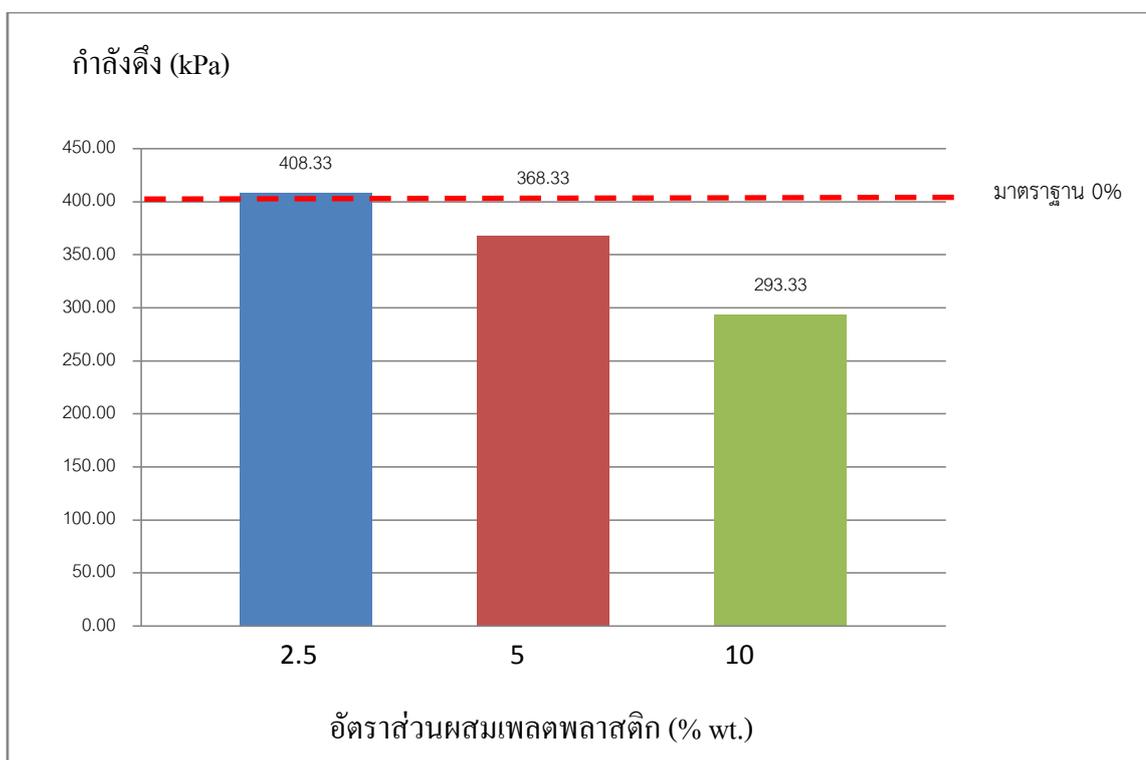


ภาพที่ 4-19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมพลาสติกและความต้านทานแรงดึง ในระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

จากภาพที่ 4-19 แสดงการเปรียบเทียบกำลังดึงของมอร์ตาร์ผสมพลาสติกทดแทนทรายบางส่วน ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน พบว่ามอร์ตาร์ผสมพลาสติก 2.5% โดยน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 393.33 kPa เป็นอัตราส่วนผสมที่มีค่า กำลังดึงของมอร์ตาร์สูงสุดและใกล้เคียงกับค่ากำลังดึงของมอร์ตาร์มาตรฐาน

ตารางที่ 4-11 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของมอร์ตาร์มาตรฐาน และมอร์ตาร์ผสมพลาสติกในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการบ่ม 14 วัน

อัตรา ส่วนผสม % โดย น้ำหนัก	ชั้นงาน ทดสอบ	หน้าตัด (mm.)		น้ำหนัก (g)	ระยะเวลา การบ่ม (day)	รับแรงดึง (N/cm ²)	กำลังดึง ประลัย (kPa)
		กว้าง	ยาว				
มาตรฐาน 0	1	28.50	26.50	138.00	14	41.50	415.00
	2	26.20	26.50	136.00		37.00	370.00
	3	30.60	26.50	135.00		42.00	420.00
	ค่าเฉลี่ย						
เพสต์ พลาสติก 2.5	1	26.50	26.20	131.00	14	42.00	420.00
	2	25.40	26.20	128.00		38.50	385.00
	3	26.50	26.40	131.50		42.00	420.00
	ค่าเฉลี่ย						
เพสต์ พลาสติก 5	1	26.30	26.30	124.00	14	37.50	375.00
	2	26.20	25.90	125.00		37.00	370.00
	3	26.00	26.60	123.50		36.00	360.00
	ค่าเฉลี่ย						
เพสต์ พลาสติก 10	1	30.60	26.50	115.00	14	28.50	285.00
	2	27.60	26.30	115.00		30.00	300.00
	3	26.30	26.00	115.00		29.50	295.00
	ค่าเฉลี่ย						

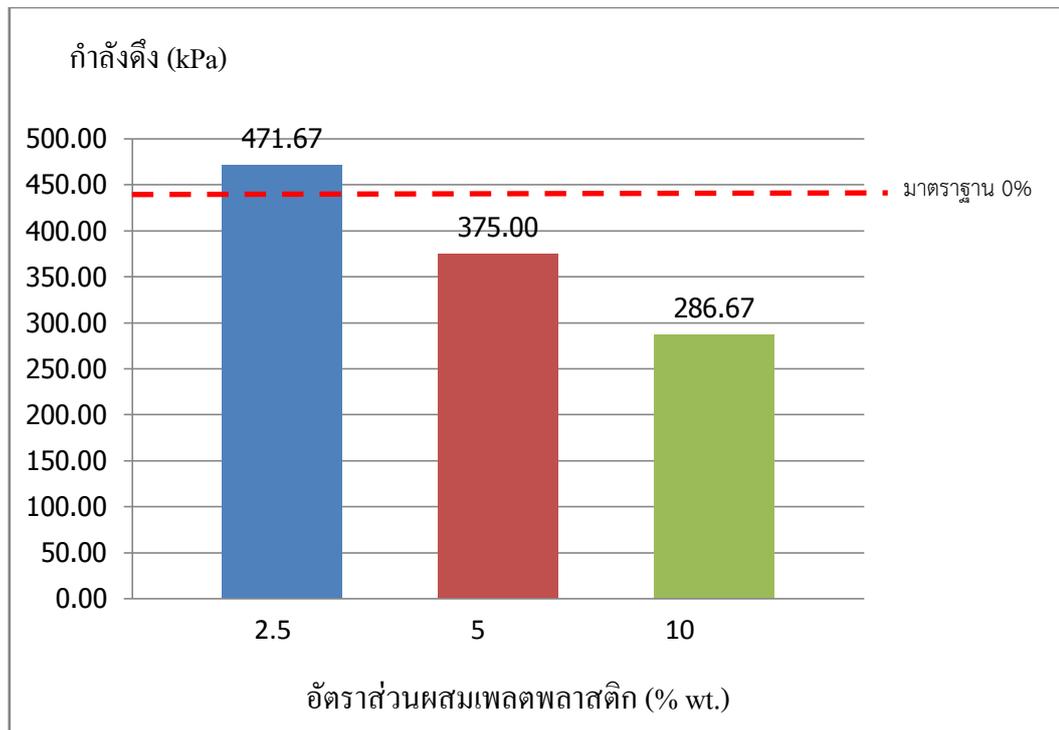


ภาพที่ 4-20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมเม็ดพลาสติกและความต้านทานแรงดึงในระยะเวลาการบ่ม 14 วัน

จากภาพที่ 4-20 แสดงการเปรียบเทียบกำลังดึงของมอร์ตาร์ผสมเม็ดพลาสติกทดแทนทรายบางส่วน ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 14 วัน พบว่ามอร์ตาร์ผสมเม็ดพลาสติก 2.5% โดยน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 408.33 kPa เป็นอัตราส่วนผสมที่มีค่ากำลังดึงของมอร์ตาร์สูงสุดและใกล้เคียงกับค่ากำลังดึงของมอร์ตาร์มาตรฐาน

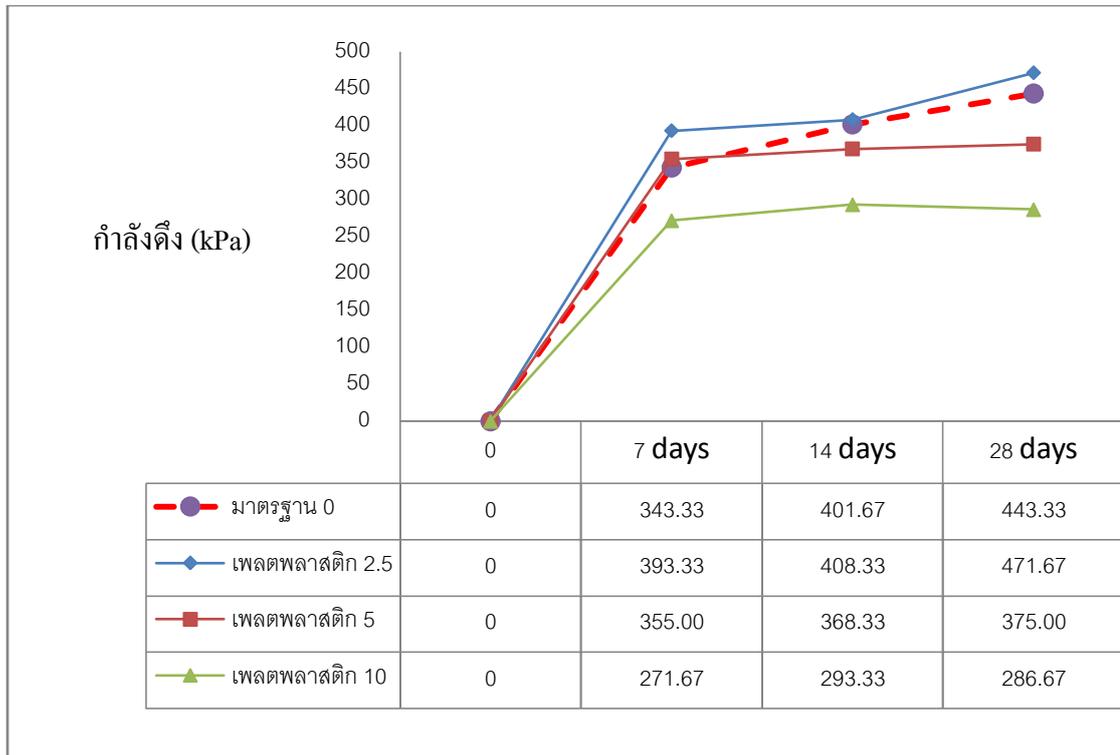
ตารางที่ 4-12 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของมอร์ตาร์มาตรฐานและมอร์ตาร์ผสมพลาสติกในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

อัตรา ส่วนผสม % โดย น้ำหนัก	ชั้นงาน ทดสอบ	หน้าตัด (mm.)		น้ำหนัก (g)	ระยะเวลา การบ่ม (day)	รับแรงดึง (N/cm ²)	กำลังดึง ประลัย (kPa)
		กว้าง	ยาว				
มาตรฐาน 0	1	25.00	25.10	135.50	28	44.00	440.00
	2	25.00	25.10	135.50		44.00	440.00
	3	26.10	26.80	137.50		45.00	450.00
	ค่าเฉลี่ย						443.33
เฟลต พลาสติก 2.5	1	25.70	25.30	129.00	28	46.50	465.00
	2	25.80	25.80	129.00		46.00	460.00
	3	25.80	26.40	130.00		49.00	490.00
	ค่าเฉลี่ย						471.67
เฟลต พลาสติก 5	1	25.90	30.90	124.00	28	37.00	370.00
	2	26.60	27.40	126.00		37.50	375.00
	3	24.90	29.80	124.00		38.00	380.00
	ค่าเฉลี่ย						375.00
เฟลต พลาสติก 10	1	25.20	26.20	115.00	28	29.50	295.00
	2	24.90	26.20	115.00		29.50	295.00
	3	26.00	26.70	116.00		27.00	270.00
	ค่าเฉลี่ย						286.67



ภาพที่ 4-21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมพลาสติกและความต้านทานแรงดิ่ง ในระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

จากตารางที่ 4-21 แสดงการเปรียบเทียบกำลังดิ่งของมอร์ต้าร์ผสมพลาสติกทดแทนทรายบางส่วน ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน พบว่ามอร์ต้าร์ผสมพลาสติก 2.5% โดยน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 471.67 kPa เป็นอัตราส่วนผสมที่มีค่ากำลังดิ่งของมอร์ต้าร์สูงสุดและใกล้เคียงกับค่ากำลังดิ่งของมอร์ต้าร์มาตรฐาน

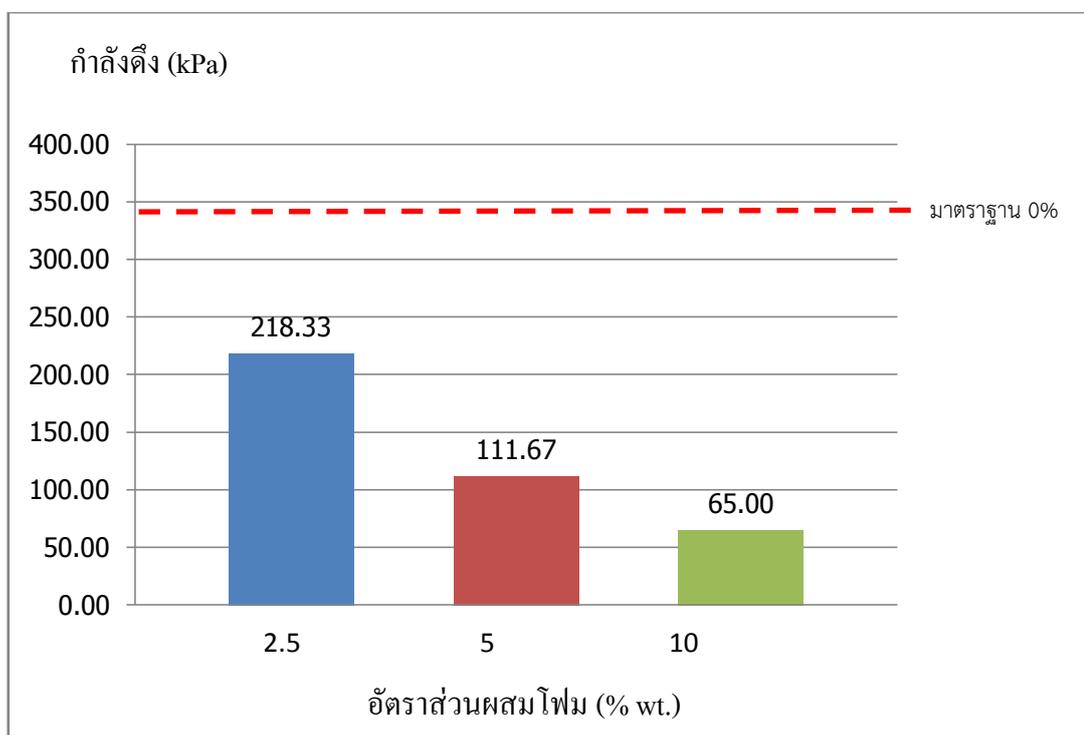


ภาพที่ 4-22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง แรงดึง และระยะเวลาการบ่ม ของมอร์ต้าร์ผสมเพลดพลาสติกในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก และมอร์ต้าร์มาตรฐาน ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

จากภาพที่ 4-22 แสดง การเปรียบเทียบ แรงดึงของมอร์ต้าร์ผสมเพลดพลาสติกทด แทนทรายบางส่วน ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน พบว่ามอร์ต้าร์ผสมเพลดพลาสติก 2.5% โดยน้ำหนัก เป็นอัตราส่วนผสมที่มีค่ากำลังดึงของมอร์ต้าร์สูงสุดและใกล้เคียงกับค่ากำลังดึงของมอร์ต้าร์มาตรฐาน

4.1.2 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของมอร์ต้าร์ผสมโพนในอัตราส่วน 2.5 ,5 และ 10% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

น้ำหนัก					(day)		
มาตรฐาน 0	1	26.20	26.00	138.00	7	30.50	305.00
	2	31.70	26.60	139.00		37.50	375.00
	3	32.00	26.40	140.00		35.00	350.00
	ค่าเฉลี่ย						
โฟม 2.5	1	31.00	26.40	112.50	7	22.00	220.00
	2	31.40	26.60	114.00		21.50	215.00
	3	31.20	26.60	117.50		22.00	220.00
	ค่าเฉลี่ย						
โฟม 5	1	30.50	26.40	97.50	7	11.50	115.00
	2	30.00	26.00	96.50		11.50	115.00
	3	26.40	26.40	99.50		10.50	105.00
	ค่าเฉลี่ย						
โฟม 10	1	28.00	25.50	76.00	7	6.50	65.00
	2	27.50	26.40	72.50		6.50	65.00
	3	27.20	26.20	74.50		6.50	65.00
	ค่าเฉลี่ย						

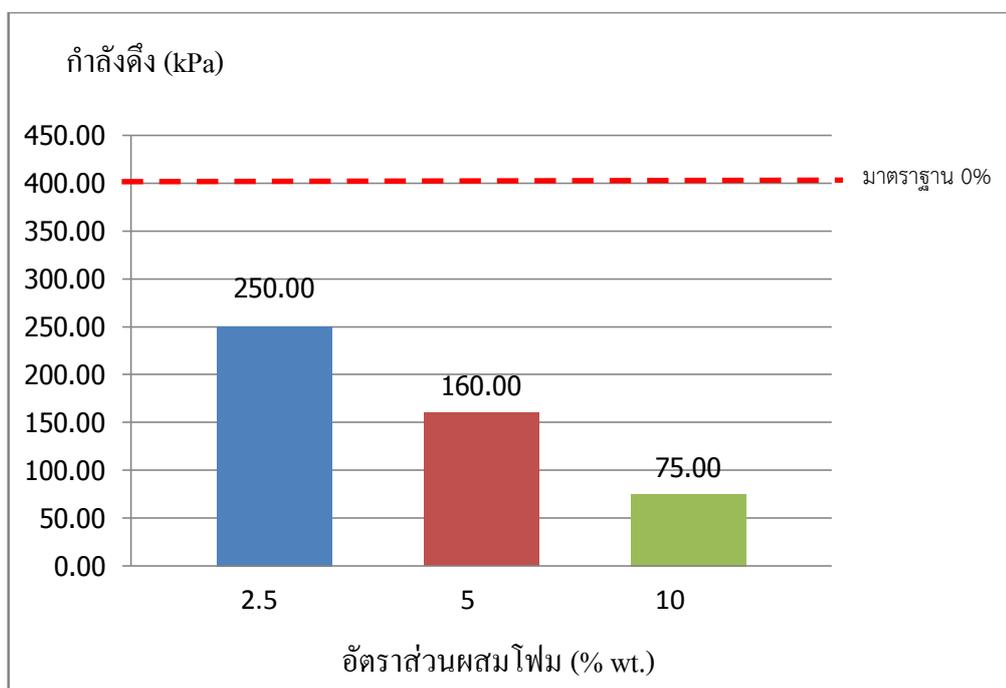


ภาพที่ 4-24 กราฟ แสดง ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมไฟเบอร์และ ความต้านทานแรงดึง ในระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

จากภาพที่ 4-24 แสดงการเปรียบเทียบกำลังดึงของมอร์ตาร์ผสมไฟเบอร์ทดแทนทรายบางส่วน ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน พบว่ามอร์ตาร์ผสมไฟเบอร์ 2.5% โดยน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 218.33 kPa เป็นอัตราส่วนผสมที่มีค่ากำลังดึงของมอร์ตาร์สูงสุดแต่ต่ำกว่าค่ากำลังดึงของมอร์ตาร์มาตรฐาน

ตารางที่ 4-14 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของมอร์ตาร์มาตรฐานและมอร์ตาร์ผสมไฟเบอร์ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการบ่ม 14 วัน

อัตรา ส่วนผสม % โดย น้ำหนัก	ชั้นงาน ทดสอบ	หน้าตัด (mm.)		น้ำหนัก (g)	ระยะเวลา การบ่ม (day)	รับแรงดึง (N/cm ²)	กำลังดึง ประลัย (kPa)
		กว้าง	ยาว				
มาตรฐาน 0	1	28.50	26.50	138.00	14	41.50	415.00
	2	26.20	26.50	136.00		37.00	370.00
	3	30.60	26.50	135.00		42.00	420.00
	ค่าเฉลี่ย						
โพน 2.5	1	26.60	27.40	120.00	14	25.00	250.00
	2	26.50	26.60	119.73		25.50	255.00
	3	26.60	27.80	120.37		24.50	245.00
	ค่าเฉลี่ย						
โพน 5	1	26.60	26.30	104.50	14	16.00	160.00
	2	26.30	26.50	105.00		16.50	165.00
	3	26.50	26.60	106.50		15.50	155.00
	ค่าเฉลี่ย						
โพน 10	1	30.00	26.80	84.00	14	6.50	65.00
	2	31.00	26.30	83.00		8.50	85.00
	3	26.40	25.40	82.00		7.50	75.00
	ค่าเฉลี่ย						

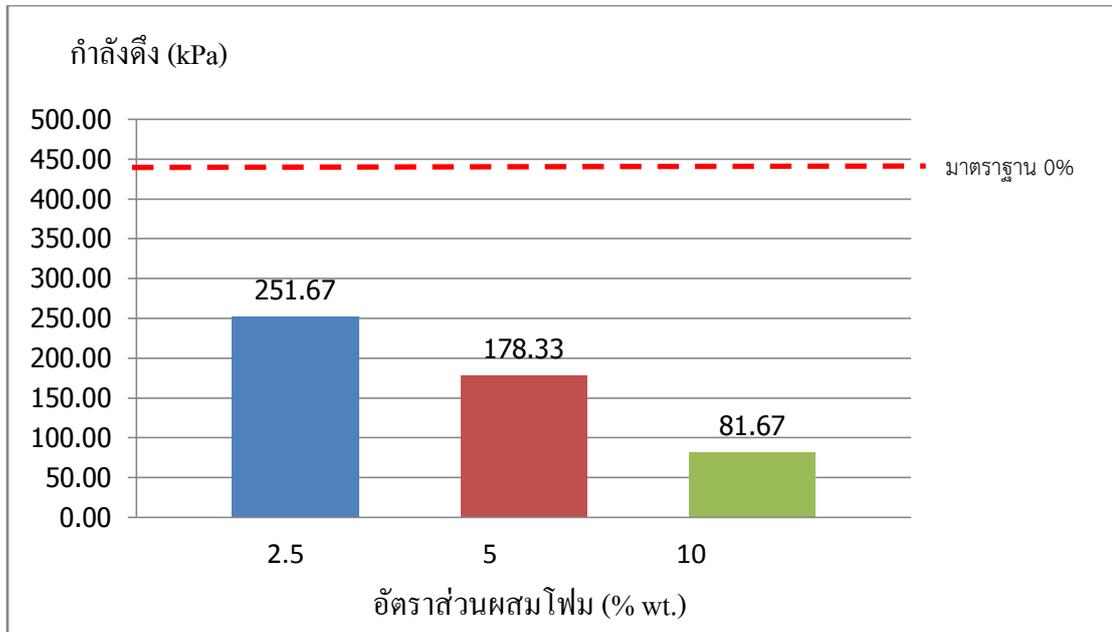


ภาพที่ 4-25กราฟ แสดง ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมโพลีเมอร์และ ความต้านทานแรงดิ่ง ในระยะเวลาการบ่ม 14 วัน

จากภาพที่ 4-25แสดงการเปรียบเทียบกำลังดิ่งของมอร์ตาร์ผสมโพลีเมอร์ทดแทนทรายบางส่วน ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 14 วัน พบว่ามอร์ตาร์ผสมโพลีเมอร์ 2.5% โดยน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 250.00kPaเป็นอัตราส่วนผสมที่มีค่ากำลังดิ่งของมอร์ตาร์สูงสุดแต่ต่ำกว่าค่ากำลังดิ่งของมอร์ตาร์มาตรฐาน

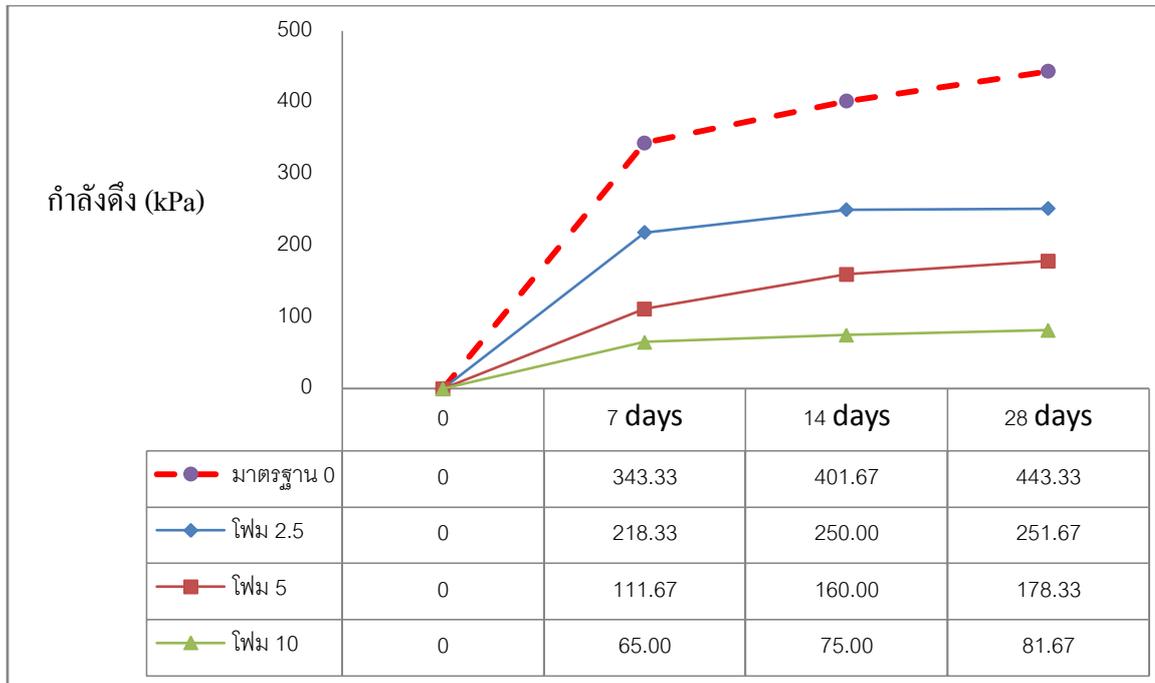
ตารางที่ 4-15การทดสอบความต้านทานแรงดิ่งของมอร์ตาร์มาตรฐานและมอร์ตาร์ผสม โพลีเมอร์ในอัตราส่วน 2.5%, 5% และ 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

อัตรา ส่วนผสม % โดย น้ำหนัก	ชั้นงาน ทดสอบ	หน้าตัด (mm.)		น้ำหนัก (g)	ระยะเวลา การบ่ม (day)	รับแรงดึง (N/cm ²)	กำลังดึง เฉลี่ย (kPa)
		กว้าง	ยาว				
มาตรฐาน 0	1	25.00	25.10	135.50	28	44.00	440.00
	2	25.00	25.10	135.50		44.00	440.00
	3	26.10	26.80	137.50		45.00	450.00
	ค่าเฉลี่ย						44.33
โฟม 2.5	1	26.00	25.50	110.50	28	24.00	240.00
	2	31.50	25.50	110.50		26.00	260.00
	3	27.00	25.50	117.50		25.50	255.00
	ค่าเฉลี่ย						25.17
โฟม 5	1	31.00	26.00	108.50	28	19.00	190.00
	2	26.00	25.00	108.50		17.00	170.00
	3	26.00	25.50	107.00		17.50	175.00
	ค่าเฉลี่ย						17.83
โฟม 10	1	25.00	26.00	87.50	28	8.50	85.00
	2	30.00	27.00	91.50		7.50	75.00
	3	30.00	26.00	91.50		8.50	85.00
	ค่าเฉลี่ย						8.17



ภาพที่ 4-26 กราฟ แสดง ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมโพลีเมอร์และ ความต้านทานแรงดิ่ง ในระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

จากภาพที่ 4-26 แสดงการเปรียบเทียบกำลังดิ่งของมอร์ตาร์ผสมโพลีเมอร์ทดแทนทรายบางส่วน ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน พบว่ามอร์ตาร์ผสมโพลีเมอร์ 2.5% โดยน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 251.67 kPa เป็นอัตราส่วนผสมที่มีค่ากำลังดิ่งของมอร์ตาร์สูงสุดแต่ต่ำกว่าค่ากำลังดิ่งของมอร์ตาร์มาตรฐาน



ภาพที่ 4-27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดึงและระยะเวลาการบ่ม ของมอร์ตาร์ผสม โฟมในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก และมอร์ตาร์มาตรฐานที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

จากภาพที่ 4-27 แสดงการเปรียบเทียบแรงดึงของมอร์ตาร์ผสมโฟมทดแทนทรายบางส่วน ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน พบว่ามอร์ตาร์ผสมโฟม 2.5% โดยน้ำหนัก เป็นอัตราส่วนผสมที่มีค่ากำลังดึงของมอร์ตาร์สูงสุดแต่ต่ำกว่าค่ากำลังดึงของมอร์ตาร์มาตรฐาน

4.1.3 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของมอร์ตาร์ผสมเม็ดพลาสติก ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน



ก่อนทำการทดสอบแรงดึง

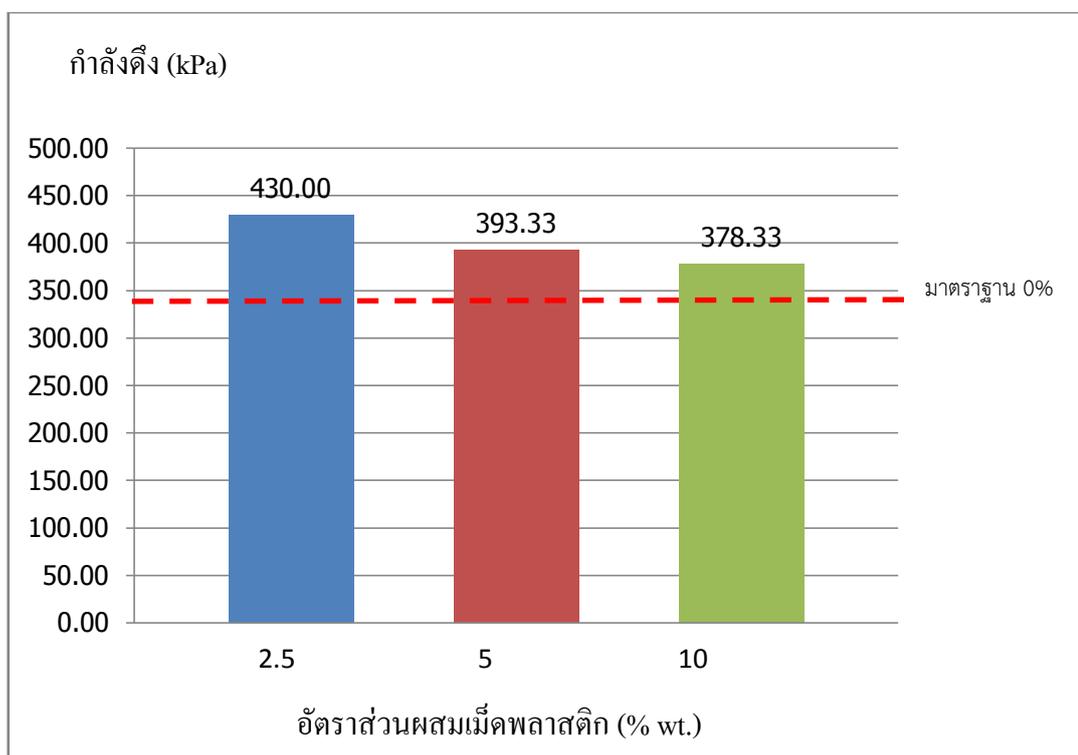
หลังทำการทดสอบแรงดึง

ภาพที่ 4-28 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของมอร์ต้าร์ผสมเม็ดพลาสติก

ตารางที่ 4-16 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของมอร์ต้าร์มาตรฐานและมอร์ต้าร์ผสม เม็ดพลาสติก ในอัตราส่วน 2.5,5 และ 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

อัตราส่วนผสม % โดยน้ำหนัก	ชั้นงานทดสอบ	หน้าตัด (mm.)		น้ำหนักรับ (g)	ระยะเวลาการบ่ม (day)	รับแรงดึง (N/cm ²)	กำลังดึงประลัย (kPa)
		กว้าง	ยาว				
	1	26.20	26.00	138.00	7	30.50	305.00

มาตรฐาน 0	2	31.70	26.60	139.00		37.50	375.00
	3	32.00	26.40	140.00		35.00	350.00
	ค่าเฉลี่ย						
เม็ดพลาสติก 2.5	1	25.70	25.30	138.50	7	42.50	425.00
	2	28.70	26.70	139.00		43.00	430.00
	3	25.10	26.70	138.00		43.50	435.00
	ค่าเฉลี่ย						
เม็ดพลาสติก 5	1	26.00	26.40	137.00	7	39.50	395.00
	2	26.80	26.70	138.50		38.50	385.00
	3	26.50	26.20	136.50		40.00	400.00
	ค่าเฉลี่ย						
เม็ดพลาสติก 10	1	28.30	27.40	130.50	7	37.50	375.00
	2	28.50	27.20	134.50		36.50	365.00
	3	30.70	27.20	134.00		39.50	395.00
	ค่าเฉลี่ย						

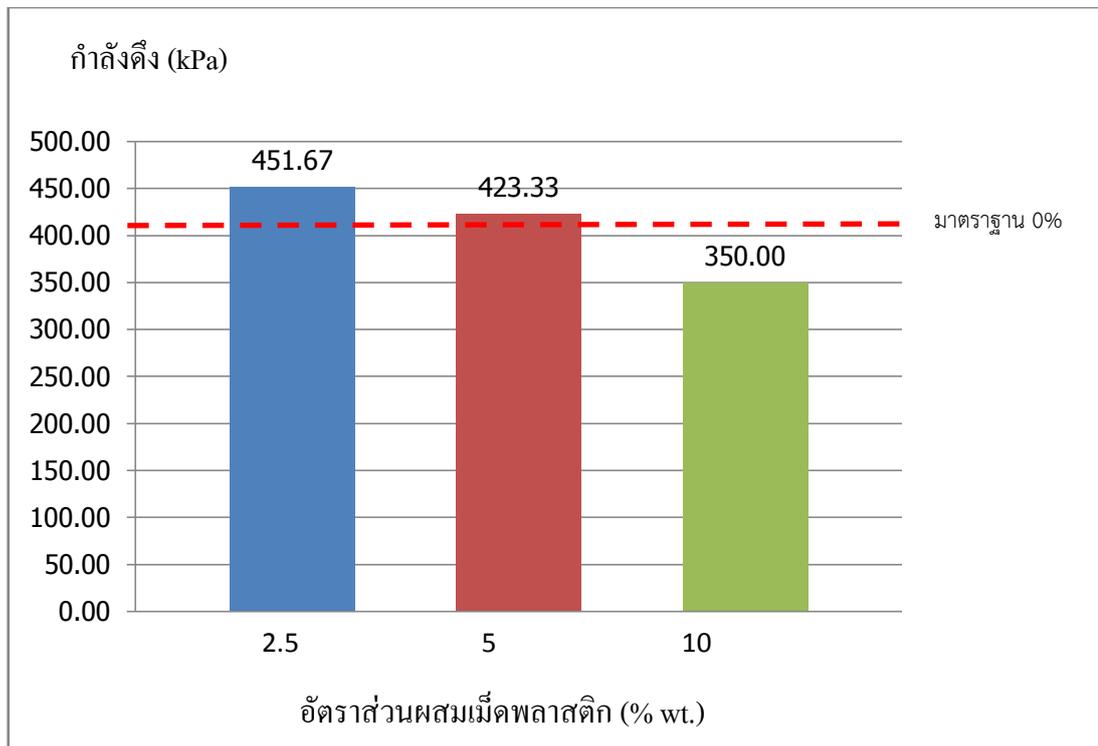


ภาพที่ 4-29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมเม็ดพลาสติกและความต้านทานแรงดึง ในระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

จากภาพที่ 4- 29 แสดงการเปรียบเทียบกำลังดึงของมอร์ตาร์ผสม เม็ดพลาสติก ทดแทนทราย บางส่วน ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน พบว่ามอร์ตาร์ผสม เม็ดพลาสติก 2.5% โดยน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 430.00 kPa เป็นอัตราส่วนผสมที่มีค่ากำลังดึงของมอร์ตาร์ สูงสุดและใกล้เคียงกับค่ากำลังดึงของมอร์ตาร์มาตรฐาน

ตารางที่ 4-17 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของมอร์ตาร์มาตรฐานและมอร์ตาร์ผสม เม็ดพลาสติก ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการบ่ม 14 วัน

อัตรา ส่วนผสม % โดย น้ำหนัก	ชั้นงาน ทดสอบ	หน้าตัด (mm.)		น้ำหนัก (g)	ระยะเวลา การบ่ม (day)	รับแรงดึง (N/cm ²)	กำลังดึง ประลัย (kPa)
		กว้าง	ยาว				
มาตรฐาน 0	1	28.50	26.50	138.00	14	41.50	415.00
	2	26.20	26.50	136.00		37.00	370.00
	3	30.60	26.50	135.00		42.00	420.00
	ค่าเฉลี่ย						401.67
เม็ดพลาสติก 2.5	1	24.90	26.40	133.50	14	44.50	445.00
	2	25.70	25.80	129.50		45.00	450.00
	3	25.40	25.90	135.00		46.00	460.00
	ค่าเฉลี่ย						451.67
เม็ดพลาสติก 5	1	26.50	26.80	132.00	14	42.50	425.00
	2	26.00	27.90	130.00		41.00	410.00
	3	27.70	27.30	134.50		43.50	435.00
	ค่าเฉลี่ย						423.33
เม็ดพลาสติก 10	1	27.80	27.70	132.00	14	33.50	335.00
	2	27.50	26.50	127.00		37.50	375.00
	3	26.30	26.30	132.50		34.00	340.00
	ค่าเฉลี่ย						350.00

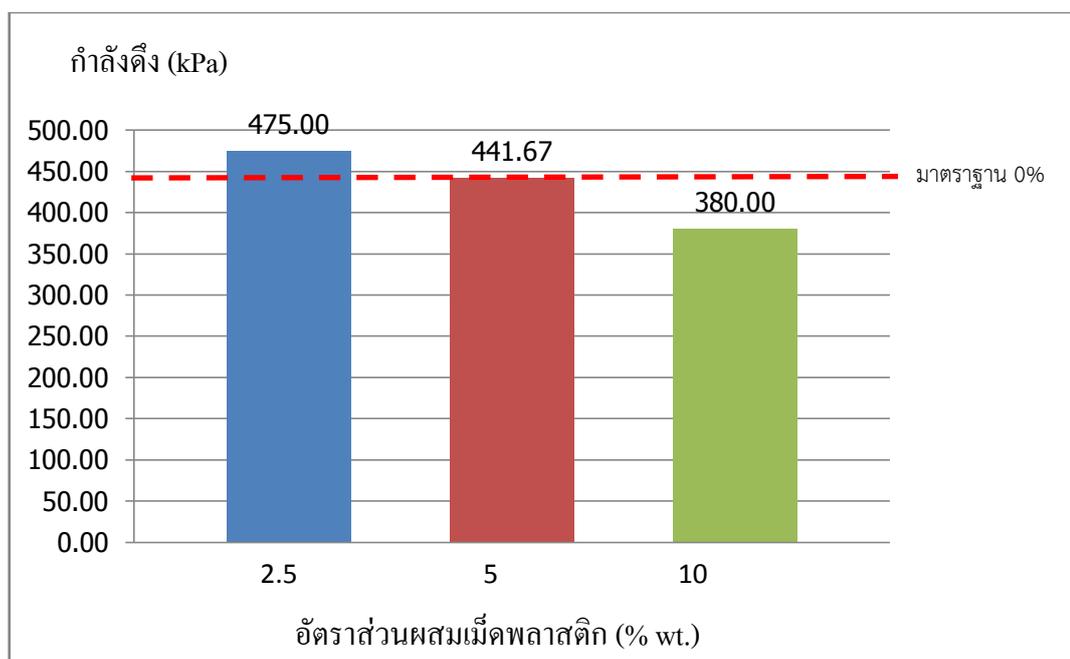


ภาพที่ 4-30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมเม็ดพลาสติกและความต้านทานแรงดิ่งในระยะเวลาการบ่ม 14 วัน

จากภาพที่ 4-30 แสดงการเปรียบเทียบกำลังดิ่งของมอร์ตาร์ผสมเม็ดพลาสติกทดแทนทรายบางส่วน ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 14 วัน พบว่ามอร์ตาร์ผสมเม็ดพลาสติก 2.5% โดยน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 451.67 kPa เป็นอัตราส่วนผสมที่มีค่ากำลังดิ่งของมอร์ตาร์สูงสุดและใกล้เคียงกับค่ากำลังดิ่งของมอร์ตาร์มาตรฐาน

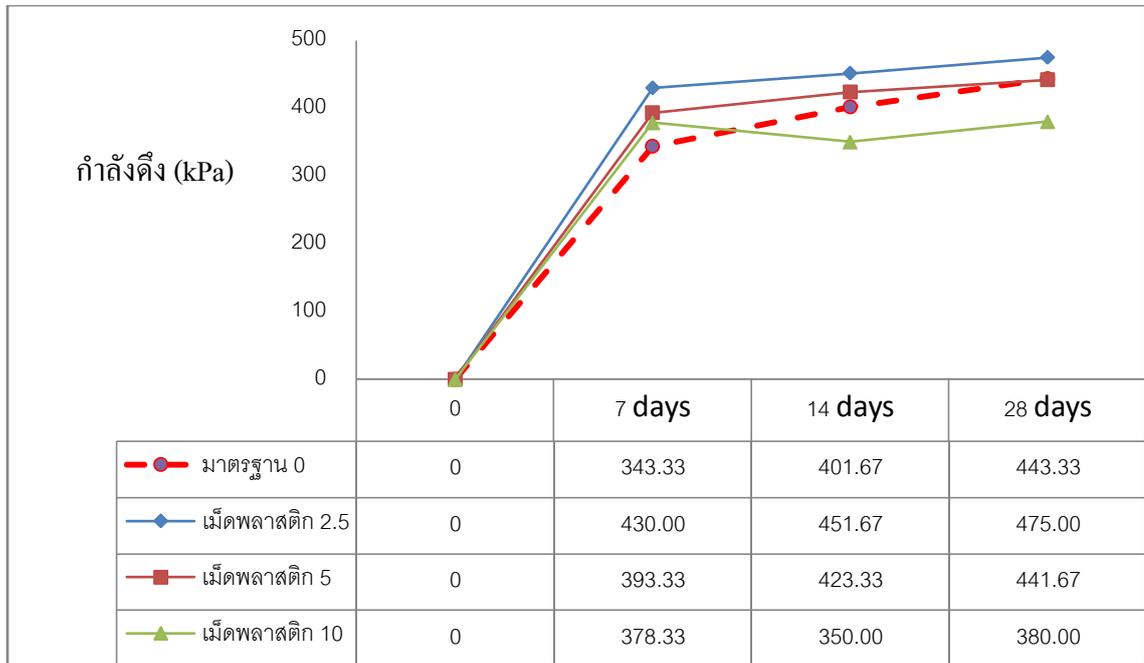
ตารางที่ 4-18 การทดสอบความต้านทานแรงดิ่งของมอร์ตาร์มาตรฐานและมอร์ตาร์ผสมเม็ดพลาสติกในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

อัตรา ส่วนผสม % โดย น้ำหนัก	ชั้นงาน ทดสอบ	หน้าตัด (mm.)		น้ำหนัก (g)	ระยะเวลา การบ่ม (day)	รับแรงดึง (N/cm ²)	กำลังดึง เฉลี่ย (kPa)
		กว้าง	ยาว				
มาตรฐาน 0	1	25.00	25.10	135.50	28	44.00	440.00
	2	25.00	25.10	135.50		44.00	440.00
	3	26.10	26.80	137.50		45.00	450.00
	ค่าเฉลี่ย						
เม็ดพลาสติก 2.5	1	25.70	27.10	134.00	28	48.50	485.00
	2	27.10	30.70	134.00		46.50	465.00
	3	26.80	27.50	132.50		47.50	475.00
	ค่าเฉลี่ย						
เม็ดพลาสติก 5	1	26.10	26.40	132.50	28	43.50	435.00
	2	25.80	26.30	132.00		44.50	445.00
	3	26.40	32.10	126.50		44.50	445.00
	ค่าเฉลี่ย						
เม็ดพลาสติก 10	1	26.30	30.40	130.00	28	38.00	380.00
	2	26.30	27.20	123.50		38.50	385.00
	3	26.10	31.60	125.00		37.50	375.00
	ค่าเฉลี่ย						



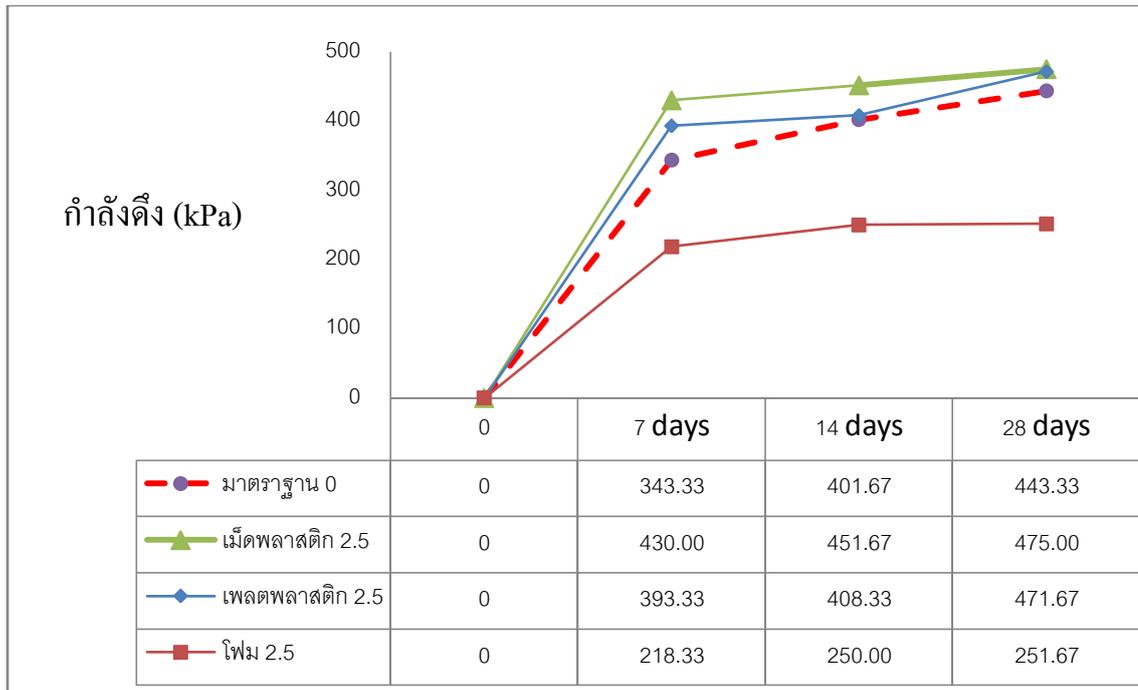
ภาพที่ 4-31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมเม็ดพลาสติกและความต้านทานแรงดึง ในระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

จากภาพที่ 4-31 แสดงการเปรียบเทียบกำลังดึงของมอร์ต้าร์ผสมเม็ดพลาสติกทดแทนทรายบางส่วน ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน พบว่ามอร์ต้าร์ผสมเม็ดพลาสติก 2.5% โดยน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 475.00 kPa เป็นอัตราส่วนผสมที่มีค่ากำลังดึงของมอร์ต้าร์สูงสุดและใกล้เคียงกับค่ากำลังดึงของมอร์ต้าร์มาตรฐาน



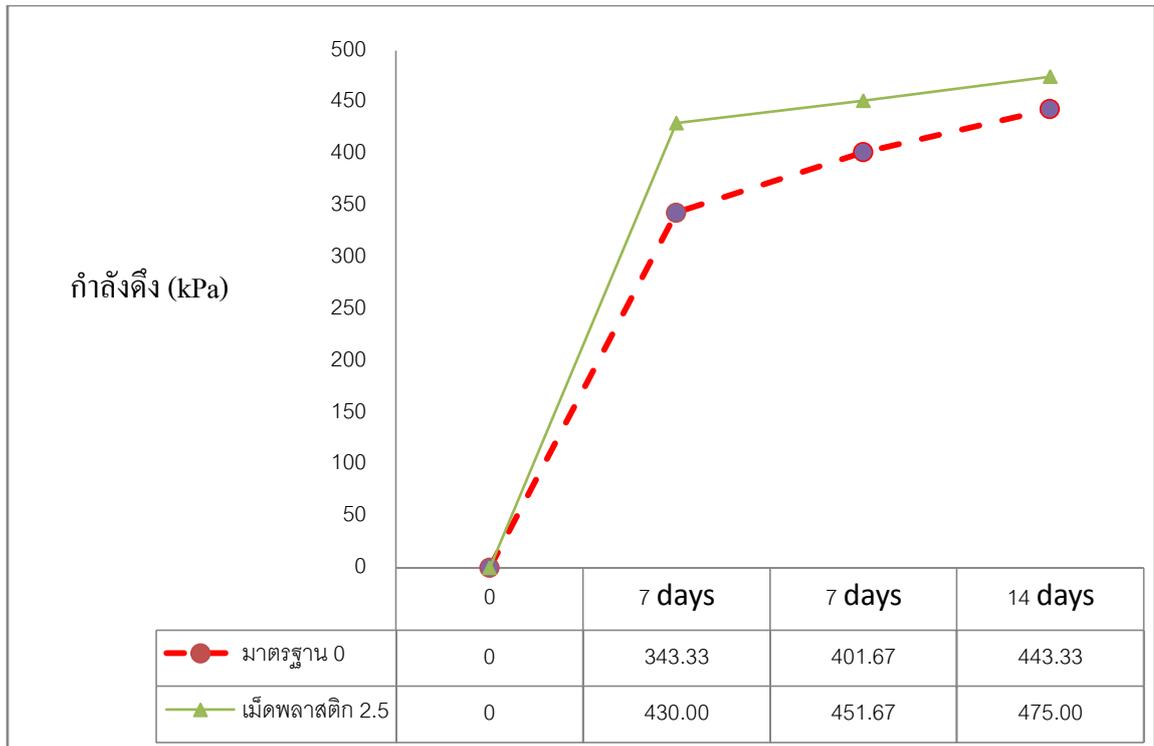
ภาพที่ 4-32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง ดึงและระยะเวลาการบ่ม ของมอร์ต้าร์ผสม เม็ดพลาสติกในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก และมอร์ต้าร์มาตรฐาน ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

จากภาพที่ 4-32 แสดง การเปรียบเทียบ แรงดึง ของมอร์ต้าร์ ผสมเม็ดพลาสติกทด แทนทราย บางส่วน ในอัตราส่วน 2.5, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน พบว่ามอร์ต้าร์ ผสมเม็ดพลาสติก 2.5% โดยน้ำหนัก เป็นอัตราส่วนผสมที่มีค่ากำลังดึงของมอร์ต้าร์สูงสุดและใกล้เคียงกับค่ากำลังดึงของมอร์ต้าร์มาตรฐาน



ภาพที่ 4-33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดึงและระยะเวลาการบ่มของมอร์ตาร์ผสม เพลตพลาสติก, โฟม, เม็ดพลาสติกในอัตราส่วน 2.5% โดยน้ำหนัก และมอร์ตาร์มาตรฐานที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

จากภาพที่ 4-33 พบว่ามอร์ตาร์ผสมเม็ดพลาสติก ในอัตราส่วน 2.5 % โดยน้ำหนัก มีค่ากำลังดึงสูงสุดมากกว่าขยะพลาสติกชนิดอื่น เท่ากับ 475.00 kPa ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน



ภาพที่ 4-34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างกำลัง ดึงและระยะเวลาการบ่ม ของมอร์ตาร์ ผสมเม็ดพลาสติกในอัตราส่วน 2.5 ,5 และ10 โดยน้ำหนัก และมอร์ตาร์มาตรฐานที่ระยะเวลาการบ่ม 7 ,14 และ28 วัน

จากภาพที่ 4-34 พบว่ามอร์ตาร์ผสมเม็ดพลาสติกในอัตราส่วน 2.5 % โดยน้ำหนัก มีค่าแรงดึงสูงใกล้เคียงกับมอร์ตาร์มาตรฐาน เท่ากับ 475.00 kPa ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

บทที่ 5

สรุป

5.1 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษา การพัฒนาสมบัติทางแรงอัดและแรงดึงของมอร์ตาร์ผสมขยะพลาสติก เพื่อทราบถึง ค่าขีดจำกัดของ กำลังต้านทานแรงอัดและกำลัง ต้านทานแรงดึงของมอร์ตาร์ผสมขยะพลาสติกทดแทนทรายในแต่ละอัตราส่วน และนำองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างต่างๆ เช่น งานพื้น งานผนัง งานคาน และงานเสาฐานราก เป็นต้น

กรณีการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด

1. การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมขยะพลาสติก พบว่ามอร์ตาร์ผสมพลาสติกที่อัตราส่วน 2.5%โดยน้ำหนัก สามารถรับกำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดมากกว่าอัตราส่วนอื่นและขยະชนิดอื่น เท่ากับ 44.03 MPa,มอร์ตาร์ผสมพลาสติกอัตราส่วน 5%โดยน้ำหนัก สามารถรับแรงอัด เท่ากับ 35.30 MPa และมอร์ตาร์ผสมพลาสติกอัตราส่วน 10%โดยน้ำหนัก สามารถรับแรงอัด เท่ากับ 25.20 MPaที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน
2. เมื่อนำพลาสติกมาทดแทนทรายทำให้ขนาดคละของมวลรวมดีขึ้นช่วยลดช่องว่างหรือฟองอากาศในเนื้อมอร์ตาร์ให้เล็กลงพลาสติกที่ผ่านการบดจะมีลักษณะเป็นแท่ง ผิวขรุขระและผิวเรียบ เมื่อผสมกับมอร์ตาร์จะทำให้มีกำลังต้านทานแรงอัดของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้น
3. เมื่อนำมาเป็นส่วนผสม ทดแทนทรายของมอร์ตาร์ใน ปริมาณที่เหมาะสมนั้นจะทำให้มอร์ตาร์ผสมพลาสติก มี ความแข็งแรง ใกล้เคียงมอร์ตาร์มาตรฐาน แต่หากผสมใน ปริมาณที่มากจะทำให้ซีเมนต์เพสต์ถูกแทนที่ด้วย พลาสติก มากเกินไปจะทำให้กำลังต้านทานแรงอัดของมอร์ตาร์ลดลง

กรณีการทดสอบความต้านทานแรงดึง

1. การทดสอบความต้านทานแรงดึงของมอร์ตาร์ผสมขยะพลาสติก พบว่ามอร์ตาร์ผสมเม็ดพลาสติกที่อัตราส่วน 2.5% โดยน้ำหนัก สามารถรับกำลังต้านทานแรงดึงสูงสุด มากกว่าอัตราส่วนอื่นและขยະชนิดอื่น เท่ากับ 475.00 kPa, มอร์ตาร์ผสมเม็ดพลาสติกที่อัตราส่วน 5% โดยน้ำหนักสามารถรับกำลังต้านทานแรงดึง เท่ากับ 441.67 kPa และมอร์ตาร์ผสมเม็ดพลาสติกอัตราส่วน 10% โดยน้ำหนัก สามารถรับกำลังต้านทานแรงดึง เท่ากับ 380.00 kPa ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน
2. เมื่อนำเม็ดพลาสติกมาทดแทนทรายทำให้ขนาดคละของมวลรวมดีขึ้น และช่วยในเรื่องการยึดเกาะตัวของมอร์ตาร์ เพราะเม็ดพลาสติกที่ผลิตจากพอลิเอทิลีน มีสมบัติ เติ้นด้าน ความสามารถในการขึ้นรูปง่าย มีความแข็งแรง ความคงทน และความเหนียว สูงรวมถึงทนทานต่อแรงดึงปานกลาง จึงสามารถทำให้มอร์ตาร์มีกำลังต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นอนำมาเป็นส่วนผสมของมอร์ตาร์ในปริมาณที่เหมาะสมนั้นจะทำให้ความต้านทานแรงดึงใกล้เคียง

มอร์ตาร์มาตรฐาน แต่หากผสมในปริมาณที่มากจะทำให้ซีเมนต์เพสต์ถูกแทนที่ด้วยเม็ดพลาสติกมากเกินไปจะทำให้ความต้านทานกำลังดึงของมอร์ตาร์ลดลง

5.2 ปัญหาและการแก้ไขปัญหา

วัสดุที่มีความขนาดใหญ่ต้องนำมาบดละเอียดทำให้ต้องใช้เวลาในการเตรียมวัสดุนาน ควรมีการเตรียมการตั้งแต่เนิ่นๆ

5.3 การนำไปใช้ประโยชน์/แนวทางการประยุกต์หรือพัฒนาต่อยอดในลักษณะอื่นๆ

5.3.1 การนำไปใช้ประโยชน์

1. เพื่อนำสมบัติทางวิศวกรรมของขยะพลาสติกประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างเพื่อลดปริมาณขยะพลาสติกที่มีจำนวนมากภายในประเทศ
2. เพื่อนำความสามารถความต้านทานแรงดึงและกำลังอัดของขยะพลาสติกประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้าง เช่น งานพื้น งานผนัง งานคานและงานเสาฐานราก ต่อไป
3. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาคุณสมบัติของกำลังต้านทานแรงอัดและกำลังต้านทานแรงดึงของมอร์ตาร์ต่อไป

5.3.2 แนวทางการประยุกต์หรือพัฒนาต่อยอดในลักษณะอื่นๆ

1. การศึกษาครั้งต่อไปควรมีการศึกษาการนำวัสดุประเภทพลาสติกที่มีความละเอียดในอัตราส่วนที่แตกต่างกันออกไปกว่านี้ เพื่อนำมาเปรียบเทียบความสามารถรับกำลังอัดและแรงดึงของแต่ละอัตราส่วนผสมได้ดียิ่งขึ้น
2. การศึกษาครั้งต่อไปควรมีการศึกษาถึงการผลิตและส่วนประกอบของวัสดุพลาสติกที่นำมาทดสอบว่ามีส่วนผสมของวัสดุหรือสารเคมีตัวไหนที่จะทำให้กำลังอัดของมอร์ตาร์ลดลงหรือเพิ่มขึ้น
3. การศึกษาครั้งต่อไปควรจัดทำชิ้นงานทดสอบให้มีจำนวนมากกว่านี้ เพื่อความละเอียดในการทดสอบความเป็นไปได้ของงานวิจัยต่อไป

บรรณานุกรม

- [1] ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร. คอนกรีตเทคโนโลยี พิมพ์ครั้งที่ 8 : มกราคม พ.ศ. 2543.
- [2] ประชุม คำพุ่ม และคณะ . (2554). การพัฒนาสมบัติความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเศษพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- [3] เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ และคณะ. (2555). การนำของเสียประเภทฉลากกระดาษมาใช้ประโยชน์ในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นโดยใช้ผงหินปูน -ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน .วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 22 ฉบับที่1 (ม.ค.-เม.ษ. 2555) : 99-106.
- [4] B. Malek, et al. “Use of Selected Waste Materials in Concrete Mixes” Waste Management 27, (2007) : 1870-1876
- [5] A. Bhogayata, et al. “Performance of Concrete by Using Non Recyclable Plastic Wastes as Constituent.” International Journal of Engineering Research & Technology. Vol. 1 Issue 4, (June 2012): 1-3.
- [6] R.N. Nibudey, et al. “Strength and Fracture Properties of Post Consumed of Post Consumed Waste Plastic Fiber Reinforced Concrete”, International Journal of

Civil, Structural, Environmental and Infrastructure Engineering Research and Development, Vol. 3 Issue 2, (June 2013): 9-16

- [7] เวชสุวรรณค์หล้าภาศ . การศึกษาการใช้ขยะถุงพลาสติกในแอสฟัลต์คอนกรีต . วิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการก่อสร้าง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.
- [8] จักรพันธ์ุ์ เซาว์มะเร็ง และ วสิษฐา รามสุวรรณ . (2556). การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตผสมเม็ดโฟมพลาสติกที่ใช้แล้ว.
- [9] อมรัตน์สุริยวิจิตรเศรษฐ์, สิทธิชัย แสงอาทิตย์ และอำนาจ อภิชาติวัลลภ. (2549). การศึกษาการใช้เส้นพลาสติกที่ใช้แล้วแบบสั้นผสมในคอนกรีต . การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 11. 20-22 เมษายน 2549. สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [10] วีระชาติ ตั้งจิรภัทร และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล , คู่มือการทดสอบคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ มวลรวมและคอนกรีต, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: บริษัทเอสซีจี ซีเมนต์ จำกัด, 2556. หน้า 71-110
- [11] ผศ.ดร.อุดมวิทย์ ไชยสกุลเกียรติ , สมยศ เพ็ชรประเสริฐและจิรวุฒน์ สถิตวัฒน์ “คอนกรีตเทคโนโลยี Concrete Technology” 2553, หน้า 47-71, หน้า 85-97

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) น.ส.ธีรินทร์ คงพันธุ์
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Teerin Kongpun
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 7399 00295 13 5
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
4. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ email
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 96 หมู่ 3 ถ.พุทธมณฑล
สาย 5 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170 โทรศัพท์ 02-889-4585-7 ต่อ 2696
โทรสาร 02-889-4585-7 ต่อ 2621 E-mailaddress: teerin.kon@rmutr.ac.th,
ampandamp@gmail.com
5. ประวัติการศึกษา
 - Ph.D. in Material Science and Engineering Nagasaki University JAPAN
graduated in 2552
 - M.Eng. in Materials and Molecular Engineering Nagasaki University JAPAN
graduated in 2549
 - วท.บ.ปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์มหาวิทยาลัยศิลปากร พ.ศ. 2543
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
Surface Modification, Corona treatment, Ultra filtration, Rubber Technology
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและ ภายนอกประเทศ โดยระบุ
สถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยใน
แต่ละข้อเสนอการวิจัย

PUBLICATIONS

1. Teerin Kongpun, Suguru Motokucho, Ken Kojio and Mutsuhisa Furukawa; “**Effect of Polymer Glycols on the Micro-aggregation Structure and Mechanical Properties of Spherulite Size Graded Polyurethane Elastomers**”, Journal of Applied Polymer Science, 113 (3), pp. 1454-1461 (2009)
2. Teerin Kongpun, Ken Kojio, and Mutsuhisa Furukawa; “**The Influence of Curing Temperature on Micro-aggregation Structure and Adhesion Properties of Segmented Polyurethanes**”, Journal of The Adhesion Society of Japan, 44 (12), pp. 8-15 (2008)
3. Teerin Kongpun, Suguru Motokucho, Ken Kojio and Mutsuhisa Furukawa; “**Effect of the Ratio of Diol to Triol as Curing Agents on the Microaggregation Structure and Adhesion Properties of Segmented Polyurethanes**”, Journal of The Adhesion Society of Japan, 44 (9), pp. 1-8 (2008)

PROCEEDING

1. ดร.ธีรินทร์ คงพันธุ์, “ผลของความชื้นที่มีต่อโครงสร้างและสมบัติทางการยึดเกาะของพอลิยูรีเทน”, The 4th National Conference of Industrial Operations Development 2013 (Rama garden hotel, Bangkok, 17 May 2013)
2. Teerin Kongpun, “**Effect of Humidity on the Micro-aggregation Structure and Adhesion Properties of Segmented Polyurethanes**” 2010 International Conference of Organizational Innovation (ICOI) (Siam University, Bangkok, Thailand; 4-6 August 2010)
3. Teerin Kongpun, Suguru Motokucho, Ken Kojio, and Mutsuhisa Furukawa “**Effect of Curing Temperature on Adhesion Properties of Segmented Polyurethanes**” Polyurethane Forum, (Nagasaki University, Nagasaki, Japan; 3 February 2009)
4. Teerin Kongpun, Suguru Motokucho, Ken Kojio, and Mutsuhisa Furukawa “**Influence of Curing Temperature on Microphase-separate Structure and Adhesion Properties of Segmented Polyurethanes**” International Rubber Conference & Exhibition 2008 (IRC’08), (Kuala Lumpur Convention Center, Kuala Lumpur, Malaysia 20-23 October 2008)

5. Teerin Kongpun, Suguru Motokucho, Ken Kojio, and Mutsuhisa Furukawa “**Effect of Physical and Chemical Crosslinks on Microaggregation Structure and Adhesion Properties of Segmented Polyurethane**”Rubber Conference, Kyoto, Japan;6-7 December 2007
6. Teerin Kongpun, Suguru Motokucho, Ken Kojio, and Mutsuhisa Furukawa “**The Influence of Curing Agent Ratio of Diol to Triol on Microaggregation Structure and Adhesion Properties of Segmented Polyurethane**”2007 Pusan-Gyeongnam/Kyushu-Seibu Joint Symposium on High Polymers (13th) and Fibers (11th), (Pusan University, Pusan, Korea;8-10 November 2007)
7. Teerin Kongpun, Suguru Motokucho, Ken Kojio, and Mutsuhisa Furukawa“**Effect of Curing Agent Ratio of Diol to Triol on Microaggregation Structure and Adhesion Properties of Segmented Polyurethane**”The 1st Thailand-Japan Rubber Symposium, awarded by Polymer Society (Thailand) and Society of Rubber Industry (Japan), (Jomtien Palm Beach Hotel & Resort, Chonburi, Thailand; 19-24 August 2007)
8. Teerin Kongpun, Suguru Motokucho, Ken Kojio, and Mutsuhisa Furukawa“**Aggregation Structure of Functionally Graded Polyurethane Elastomers**” Polyurethane Forum, (Nagasaki University, Nagasaki, Japan; March 2007)
9. **International Rubber Conference (IRC 2005)**, (Yokohama, Japan October 2005) (Attended)
10. **The 8th SPSJ International Polymer Conference (IPC 2005)**, (Fukuoka International Congress Center, Fukuoka, Japan July 2005) (Attended)

ประวัติผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวปิยนุช ม่วงทอง
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Piyanut Muangtong
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 1 600100058 79 8
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

4. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ email
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 96 หมู่ 3 ถ.พุทธมณฑล
สาย 5 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170 โทรศัพท์ 02-889-4585-7 ต่อ 2696
โทรสาร 02-889-4585-7 ต่อ 2621 E-mailaddresspiyanut.mua@rmutr.ac.th
5. ประวัติการศึกษา
 - M.Eng in Materials Engineering มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2555
 - B.Eng. in Materials Engineering มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ. 2550
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
Ceramics, Bioceramics, Cement and Concrete, Corrosion Technology
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและ ภายนอกประเทศ โดยระบุ
สถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัย
ในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

1. P. Muangtong, S. Sujjavanich, S. Boonsalee, S. Poomiapiradee, and D. Chaysuwan, "Effects of Fine Bagasse Ash on the Workability and Compressive Strength of Mortars", Chiang Mai Journal of Science, 2013; 40(1): 126-134 (Accepted: 29 June 2012).
2. D. Chaysuwan, P. Muangtong, S. Sujjavanich, and S. Poomiapiradee, "Low Carbon Cement Replacement by Ultrafine Particles of Bagasse Ash", The 4th KCU International Engineering Conference 2012 (KCU-IENC 2012), Khon Kaen, Thailand, May 10-12, 2012.
3. P. Muangtong, T. Sapsapap, A. Gositanon, W. Wachirasiri, and S.Chandra-ambhorn, "Experimental Potential-pH Diagrams of AISI 316L Stainless Steel in Sulfate-containing Aqueous Solutions Constructed by Cyclic Polarisation Method: Effect of Sulfate Ion and Dissolved Oxygen", The First International on Corrosion and Material Protection, Prague, Czech Republic, October 1-4, 2007.
4. S.Chandra-ambhorn, K. Kumpai, P. Muangthong, W. Wachirasiri, and S. Daopiset, "Application of the Polarised Potential-pH Diagrams to Investigate the Role of Sulfate and Dissolved Oxygen in the 3550-ppm NaCl Solution on

the Corrosion Behaviour of AISI 316L Stainless Steel”, International Corrosion Engineering Conference, Seoul, Korea, May 20-24, 2007.

ประวัติผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายสุธน รุ่งเรือง
(ภาษาอังกฤษ) Mr. Suthon Rungruang
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3920100172781
3. ตำแหน่งปัจจุบันอาจารย์ระดับ 6
4. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวกพร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสารและ e-mail
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
รัตนโกสินทร์ เลขที่ 96 หมู่ 3 ถ. พุทรมณฑลสาย 5 ต.ศาลายา อ. พุทรมณฑล จ. นครปฐม
73170 โทรศัพท์ 02-889-4585-7 โทรสาร 02-8894585-7E-mail:
suthon_ru@hotmail.com
5. ประวัติการศึกษา
 - ปริญญาตรี วิศวกรรมโยธา (คอบ.) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
 - ปริญญาตรี วิศวกรรมโยธา (วศบ.) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 - ปริญญาโท วิศวกรรมโยธา (วศม.) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษแตกต่างจากวุฒิการศึกษาทุกระบุสาขาวิชาการ

ความเสียหายของจุดต่อระหว่างคอนกรีตและเหล็กออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก และออกแบบโครงสร้างเหล็กคอนกรีตเทคโนโลยีและการทดสอบวัสดุ

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและ ภายนอกประเทศ โดยระบุ สถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจมากกว่า 1 เรื่อง)

1. พฤติกรรมของหุ้ข้างเหล็กที่ยึดติดกับคอนกรีตเสริมเหล็ก, ประชุมทางวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9, 19-21 พฤษภาคม, จังหวัดเพชรบุรี, 2547
2. จุดต่อโครงสร้างระหว่างองค์อาคารเหล็กและองค์ประกอบคอนกรีตเสริมเหล็ก, ประชุมทางวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9, 19-21 พฤษภาคม, จังหวัดเพชรบุรี, 2547