

บทที่ 4

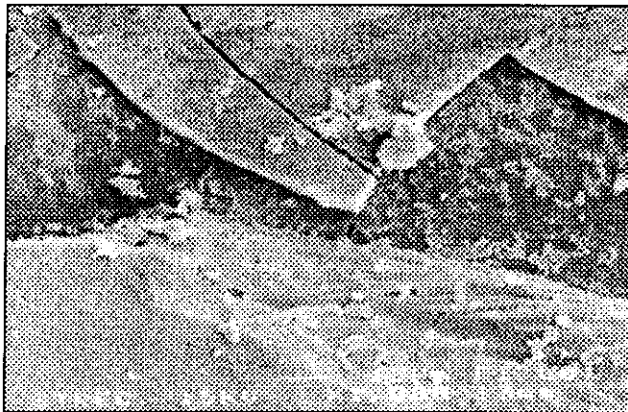
ผลการวิจัย

4.1 สมบัติทางกายภาพของหินเพอร์ไลต์

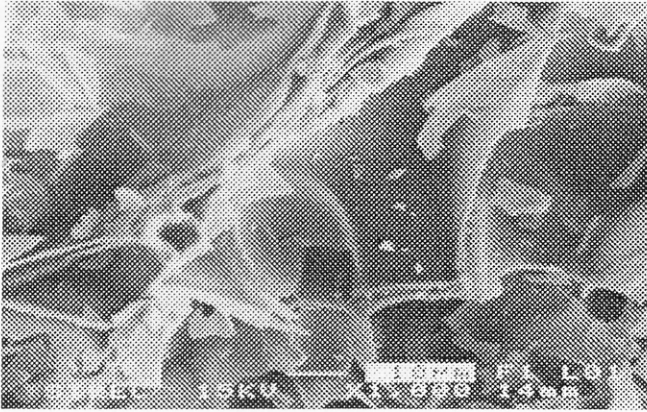
ประกอบด้วยการวิจัยด้านจุลภาคโครงสร้างของหินเพอร์ไลต์ดิบและเผาสุกแล้ว ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาประเภทและปริมาณแร่หรือสารประกอบ รวมถึงสมบัติทางกายภาพอื่นที่สำคัญดังรายการของผลการวิจัยดังต่อไปนี้

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางจุลภาค

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของเนื้อหินเพอร์ไลต์ มีการจำแนกประเภทและปริมาณของสารประกอบหลัก ซึ่งจากผลการศึกษาผ่านกล้องจุลทรรศน์กำลังสูงโดยวิธีกวาด (SEM) พบว่าลักษณะเนื้อของหินเพอร์ไลต์ดิบและหินเพอร์ไลต์สุกซึ่งเป็นตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการเผาด้วยอุณหภูมิที่สูงกว่า 950°C . พบว่ามีโครงสร้างเป็นเนื้อแก้วมีรอยแตกโค้งเว้ารูปร่างฟ้ายอย และเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างก่อนเผาให้สุกพบว่าการยึดเกาะกันของโครงสร้างเปลี่ยนไปโดยหินเพอร์ไลต์ที่ผ่านการเผาสุกแล้วเกิดการพองตัวมีรูโพรงแผ่นบางอยู่ทั่วบริเวณผิวโปร่งแสงและมีการยึดเกาะตัวกันอย่างหลวมๆ แต่หินเพอร์ไลต์ดิบก่อนนำมาเผาพบว่ามีเนื้อพื้นเรียบแน่นผิวมีขุยติดอยู่ไม่มีรูโพรงปรากฏให้เห็นและค่อนข้างทึบแสง ใช้กำลังขยาย 1000 เท่า ผลการวิเคราะห์ได้แสดงในภาพประกอบ 4.1 ซึ่งเป็นภาพโครงสร้างเนื้อพื้นของหินเพอร์ไลต์ดิบ ส่วนภาพประกอบ 4.2 เป็นภาพโครงสร้างของเนื้อพื้นของหินเพอร์ไลต์เผาสุก

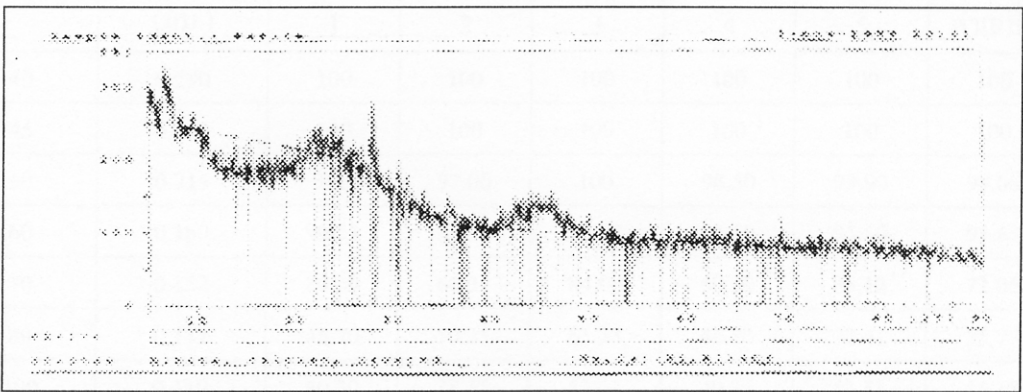


ภาพประกอบ 4.1 โครงสร้างรูปผลึกของหินเพอร์ไลต์ดิบ โดยวิธี SEM (กำลังขยาย 1000 เท่า)



ภาพประกอบ 4.2 โครงสร้างรูปผลึกของหินเพอร์ไลต์เผาสุก โดยวิธี SEM (กำลังขยาย 1000 เท่า)

สำหรับการวิเคราะห์หาแร่ประกอบโดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ไม่ได้ผลเพราะพบว่าผลการสะท้อนกลับของคลื่นรังสีที่ผ่านตัวอย่างเป็นแบบในแนวเส้นพื้นหลัง (background) ไม่พบว่ามีช่วงใดของกราฟแสดงค่ามุมในแนวแกน X (diffraction or scattering) ในระดับความหนาแน่นของค่าในแนวแกน Y (intensity) เด่นชัดออกมาจากแนวเส้นพื้นหลัง ดังแสดงในภาพประกอบ 4.3 ซึ่งจะไม่สามารถวิเคราะห์ได้ว่าเป็นส่วนประกอบแร่ชนิดใดบ้าง ซึ่งกรณีที่เกิดขึ้นดังกล่าวจะเกิดขึ้นกับตัวอย่างที่ไม่มีรูปของโครงสร้างผลึกหรืออสัณฐาน (amorphous) ซึ่งจะพบได้เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่างประเภท แก้ว ของเหลว หรือ แก๊ส



ภาพประกอบ 4.3 ลักษณะกราฟของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ของหินเพอร์ไลต์เผาสุก

จากการวิเคราะห์วิธีเอ็กซ์เรย์ฟลูออโรสเซนซ์ (XRF) พบว่าโครงสร้างส่วนใหญ่ของหินเพอร์ไลต์เผาสุกแล้วประกอบด้วยสารซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) เป็นสารองค์ประกอบหลักกว่าร้อยละ 60 อะลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) กว่าร้อยละ 14 และมีสารอื่นเป็นองค์ประกอบอีกหลายชนิดด้วยกัน

ดังแสดงผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.1 ซึ่งองค์ประกอบหลักของปอซโซลาน (SiO_2 , Al_2O_3 , Al_2O_3) พบว่ามีค่าร้อยละ 78.70 จัดว่าเป็นสารปอซโซลานประเภท C (ASTM C 65) ดังกล่าวเป็นเหตุผลที่สำคัญที่จะส่งถึงผลในระยะต่างๆ ต่อทางด้านสมบัติของตัวอย่างได้

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบในตัวอย่งหินเพอร์ไลต์เผาสุก

| องค์ประกอบ | Na_2O | CaO | K_2O | MnO | Fe_2O_3 | MgO | TiO_2 | SiO_2 | Al_2O_3 |
|------------|-----------------------|--------------|----------------------|--------------|-------------------------|--------------|----------------|----------------|-------------------------|
| ปริมาณ (%) | 9.77 | 0.57 | 10.16 | 0.18 | 1.70 | 0.11 | 0.41 | 62.37 | 14.73 |

4.1.2 ขนาดคละของเพอร์ไลต์

จากการทดสอบการคัดคละส่วนใหญ่จะพบว่าขนาดของเม็ดหินเพอร์ไลต์ของตัวอย่างที่นำมาเป็นส่วนผสมที่ขนาดคละใกล้เคียงกับขนาดของทรายละเอียดที่ต้องการนำมาแทนที่ และมีส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 จำนวนมากซึ่งอาจเกิดจากการเสียดสีทำให้เกิดความเสียหายในขั้นตอนการขนย้ายและเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิจัย ส่วนดังกล่าวมีเนื้อที่ละเอียดมากซึ่งในงานวิจัยนี้มิได้นำมาเป็นส่วนผสม ซึ่งผลการคัดขนาดแสดงในตารางที่ 4.2 เป็นขนาดของเม็ดเพอร์ไลต์ที่ผ่านกระบวนการเผาสุกแล้วซึ่งใช้เป็นส่วนผสม ในงานผลิตก้อนมอร์ต้าร์ในงานวิจัย

ตารางที่ 4.2 ขนาดคละของเม็ดหินเพอร์ไลต์สุก

| หมายเลข ตะแกรง | ขนาด ตะแกรง (มม.) | ร้อยละของหินเพอร์ไลต์สุกที่ผ่านตะแกรง (%) | | | | | |
|-------------------|-------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | ค่าเฉลี่ย |
| 40 | 0.290 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 45 | 0.247 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 50 | 0.215 | 100 | 97.00 | 100 | 98.50 | 99.90 | 99.08 |
| 60 | 0.180 | 90.51 | 85.46 | 93.17 | 93.50 | 95.50 | 91.63 |
| 70 | 0.152 | 70.50 | 60.34 | 84.00 | 60.30 | 85.12 | 72.05 |
| 80 | 0.131 | 46.70 | 50.21 | 65.23 | 46.30 | 70.41 | 55.77 |
| 100 | 0.110 | 40.30 | 38.35 | 53.41 | 40.34 | 53.35 | 45.15 |
| 120 | 0.091 | 35.10 | 32.17 | 45.22 | 35.41 | 48.17 | 39.21 |
| 140 | 0.076 | 30.20 | 25.12 | 35.71 | 33.50 | 38.21 | 32.55 |
| 170 | 0.064 | 16.50 | 16.31 | 22.44 | 24.60 | 22.20 | 20.41 |
| 200 | 0.058 | 10.50 | 12.00 | 16.90 | 19.80 | 14.80 | 14.80 |

ตารางที่ 4.3 ผลการหาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างของหินเพอร์ไลต์สุก

| ชนิดวัสดุ | ผลการหาค่าความหนาแน่น (กก./ลบ. ม) | | | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------------|
| | จำนวน ตัวอย่าง | ค่าต่ำสุด | ค่าสูงสุด | ค่าเฉลี่ย | ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน |
| หินเพอร์ไลต์ ($\times 10$) | 5 | 12.85 | 14.04 | 13.22 | 0.19 |
| ทรายละเอียด ($\times 10^3$) | 5 | 1.59 | 1.73 | 1.62 | 0.04 |

4.1.4 ค่าการดูดซึมน้ำ

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของหินเพอร์ไลต์สุกและทรายละเอียดพบว่าตัวอย่างหินเพอร์ไลต์เผาสุกแล้วสามารถดูดซึมน้ำได้สูงกว่าทรายละเอียดโดยเฉลี่ยร้อยละ 16 ดังแสดงผลการทดสอบในตารางที่ 4.4 ซึ่งมีสาเหตุเนื่องจากหินตัวอย่างมีเนื้อที่ประกอบด้วยรูพรุนมากจึงดูดซึมน้ำได้สูงซึ่งเป็นอีกสมบัติหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงการออกแบบส่วนผสมและการนำไปใช้งาน

ตารางที่ 4.4 การดูดซึมน้ำของเพอร์ไลต์สุกและทรายละเอียด

| ชนิดวัสดุ | ผลการทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ (%) | | | | ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน |
|-----------------|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------------|
| | จำนวนตัว อย่าง | ค่าต่ำสุด | ค่าสูงสุด | ค่าเฉลี่ย | |
| หินเพอร์ไลต์สุก | 5 | 13.63 | 27.02 | 18.23 | 5.47 |
| ทรายละเอียด | 5 | 1.98 | 2.31 | 2.03 | 2.46 |

4.2 สมบัติทางกายภาพของมอร์ตาร์

การทดสอบสมบัติทางกายภาพของมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ประกอบด้วยทดสอบตัวอย่างส่วนผสมมอร์ตาร์สด และก้อนมอร์ตาร์ที่อายุการบ่มในช่วงต่าง ซึ่งได้แบ่งประเภทของมอร์ตาร์เป็น 4 กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ มอร์ตาร์ควบคุม (OPM) มอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (PM) มอร์ตาร์เพอร์ไลต์ผสมน้ำยาลดปริมาณน้ำ (HRRM) และมอร์ตาร์ใส่สารกักกระจายฟองอากาศ (APM) โดยรายละเอียดของชนิดและวิธีการจัดกลุ่มก้อนมอร์ตาร์และตามขั้นตอนวิธีการวิจัยในบทที่ 3 ดังมีผลการวิจัยดังต่อไปนี้

4.2.1 อัตราการไหล

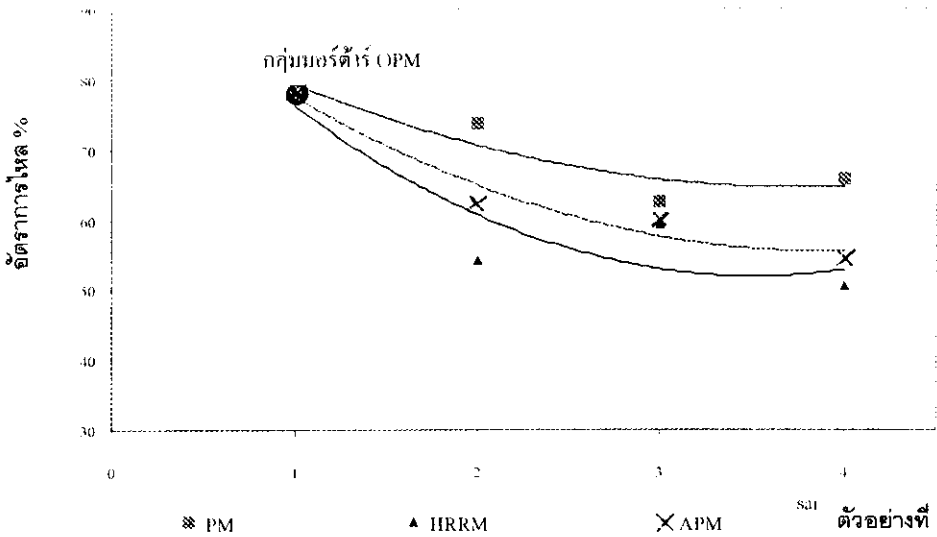
ผลการทดสอบการไหลของมอร์ตาร์ เพื่อหาความข้นเหลวซึ่งเป็นคุณลักษณะเฉพาะของแต่ละอัตราส่วนผสมก่อนนำตัวอย่างไปเทในแบบ โดยเปรียบเทียบในแต่กลุ่มตัวอย่างซึ่งผลการทดสอบดังกล่าวได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.5 พบว่ามอร์ตาร์เพอร์ไลต์ควบคุม (OPM) อัตราส่วน

1:1:4 มีอัตราการไหลที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานกว่ามอร์ตาร์กลุ่มอื่น แต่ก็ยังมีผลด้อยกว่ามอร์ตาร์ควบคุมโดยเฉลี่ยร้อยละ 4.49 ซึ่งมีสาเหตุเนื่องมาจากปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมมากกว่า และเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมกับสภาวะการไหลในการดำเนินการเทลงในแบบหล่อ

สำหรับตัวอย่างของอัตราส่วนผสมที่ใส่สารปรับสมบัติเพิ่มลงไปก็มิได้ทำให้อัตราการไหลดีกว่ามอร์ตาร์ควบคุมและมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ อันอาจเป็นเพราะมีการลดปริมาณน้ำที่น้อยลง เมื่อเปรียบเทียบผลโดยเฉลี่ยของอัตราการไหลของกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ในภาพรวมอยู่เกณฑ์ข้อกำหนดในการนำไปใช้งานได้ดี ถ้าวิเคราะห์ผลการทดสอบดังกล่าวพบว่าตัวอย่างมอร์ตาร์สดซึ่งจะมีความชื้นเหลวมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอัตราส่วนปริมาณน้ำและสารที่ใช้เติมเพื่อเสริมสมบัติของตัวอย่าง และเช่นกันจากผลการทดสอบของกลุ่มตัวอย่างเชิงเปรียบเทียบพบว่าการใช้ปริมาณสารเพิ่มในเนื้อมอร์ตาร์ทำให้เกิดการไหลดีขึ้นถึงแม้จะลดปริมาณน้ำลงไปถึงร้อยละ 30 ก็ตามดังภาพประกอบ 4.5 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลเพอร์ไลต์กับอัตราการไหลของแต่ละสัดส่วนผสมสามารถโยงความสัมพันธ์กับมอร์ตาร์ควบคุมซึ่งมิได้มีส่วนผสมของหินเพอร์ไลต์

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์อัตราการไหลมอร์ตาร์สด

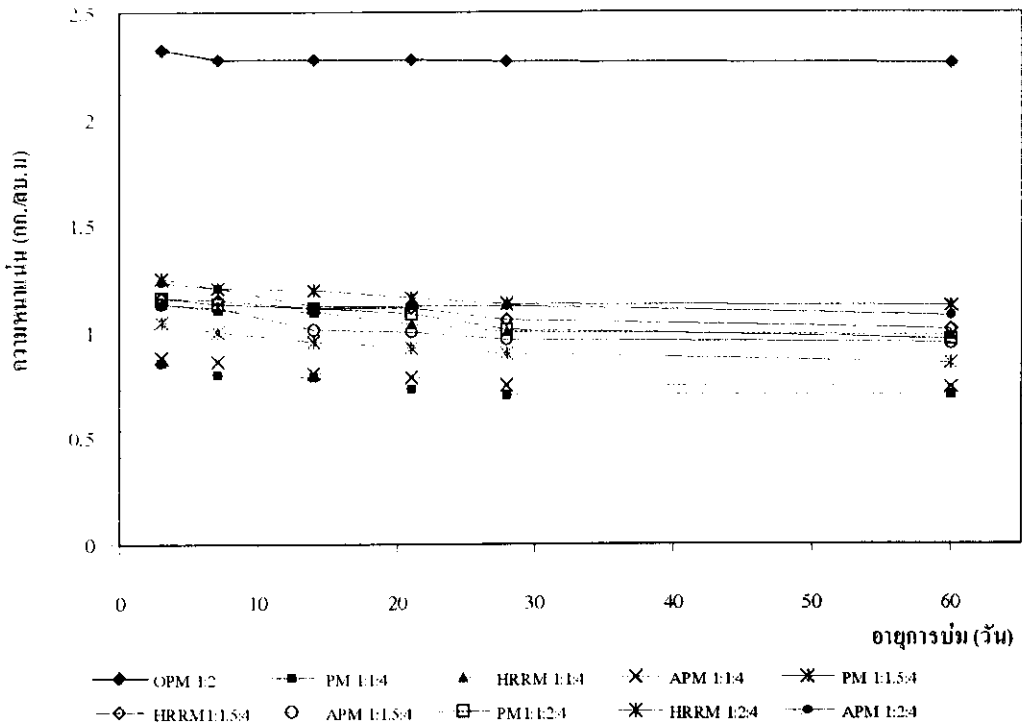
| อัตราส่วน และประเภท มอร์ตาร์ | | ค่าร้อยละของอัตราการไหลมอร์ตาร์สด (%) | | | | |
|------------------------------------|------|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------------|
| | | จำนวน ตัวอย่าง | ค่าต่ำสุด | ค่าสูงสุด | ค่าเฉลี่ย | ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน |
| 1:2 | OPM | 5 | 70.02 | 85.02 | 78.33 | 5.96 |
| 1:1:4 | PM | 5 | 67.04 | 81.56 | 73.83 | 6.67 |
| | HRRM | 5 | 46.21 | 65.54 | 54.26 | 8.25 |
| | APM | 5 | 53.09 | 73.46 | 62.43 | 9.09 |
| 1:1.5:4 | PM | 5 | 60.47 | 75.45 | 62.50 | 7.97 |
| | HRRM | 5 | 48.78 | 69.78 | 59.41 | 9.12 |
| | APM | 5 | 50.74 | 71.45 | 60.01 | 10.21 |
| 1:2:4 | PM | 5 | 53.97 | 73.25 | 65.78 | 7.96 |
| | HRRM | 5 | 43.75 | 68.78 | 50.72 | 10.51 |
| | APM | 5 | 51.45 | 65.21 | 54.50 | 6.83 |



ภาพประกอบ 4.5 ประเภทของกลุ่มมอร์ดีอาร์สดกับค่าอัตราการไหล

4.2.2 ค่าความหนาแน่นรวม

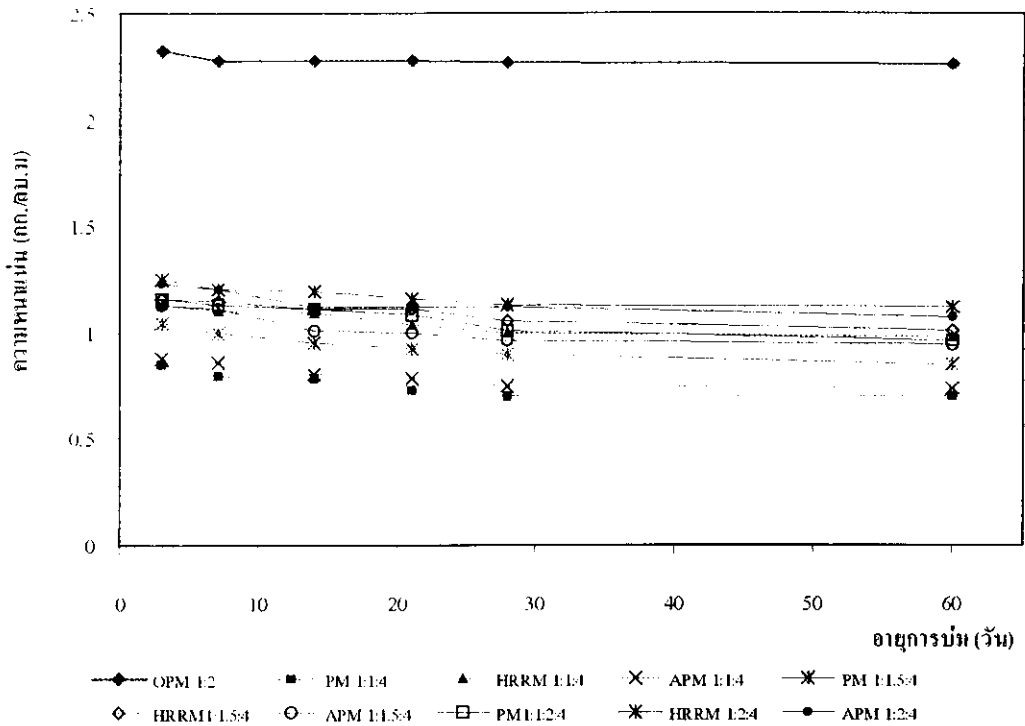
ซึ่งผลการทดสอบโดยเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 จากผลการทดสอบพบว่าผลการเปรียบเทียบด้านความหนาแน่นรวมของมอร์ดีอาร์ควบคุมกับมอร์ดีอาร์เพอร์ไลต์ ซึ่งจะมีผลต่างกันเชิงบวกต่อต้านการนำไปใช้งานโดยที่ต้องการให้มีความหนาแน่นต่ำลง หรือทำให้น้ำหนักของก้อนตัวอย่างลดลงทุกกลุ่มตัวอย่างมอร์ดีอาร์ที่ผสมด้วยหินเพอร์ไลต์ สำหรับการเปรียบเทียบผลการทดสอบของกลุ่มของมอร์ดีอาร์เพอร์ไลต์ด้วยกันเองพบว่ามอร์ดีอาร์เพอร์ไลต์ (PM) ในอัตราส่วนผสม 1:1:4 ให้ผลความหนาแน่นต่ำกว่าสัดส่วนผสมอื่นๆ เป็นเพราะมีปริมาณเพอร์ไลต์ผสมอยู่ในสัดส่วนที่มากกว่าสัดส่วนผสมอื่นๆ และถ้าเปรียบเทียบกับผลการนำไปใช้งานพบว่ามีความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์การจัดเป็นคอนกรีตเบาคือมีค่าไม่เกิน 750 กก/ลบ.ม. ที่อายุการบ่ม 7 วัน แต่ถ้าพิจารณาอายุการบ่มที่ยาวนานกว่านั้นพบว่าก้อนตัวอย่างมีการคลายความชื้นจากเม็ดหินเพอร์ไลต์มากขึ้นกว่ามอร์ดีอาร์ควบคุมทำให้สามารถจัดเข้าเกณฑ์การนำไปใช้งานในการผลิตคอนกรีตเบาได้หลากหลายประเภทของงานยิ่งขึ้น (ซึ่งต้องพิจารณาผลสมบัติด้านกำลังอัดประกอบด้วย) ดังแสดงผลการทดสอบเชิงเปรียบเทียบในภาพประกอบ 4.6 ของทุกกลุ่มมอร์ดีอาร์ตัวอย่างในงานวิจัยนี้



ภาพประกอบ 4.6 ค่าความหนาแน่นของแต่ละกลุ่มมอร์ต้าร์กับอายุการบ่ม

4.2.3 ค่าความคงตัวของมอร์ต้าร์

ผลการทดสอบความคงตัวโดยนำชุดตัวอย่างในแต่ละช่วงอายุการบ่มนำไปแช่ในน้ำที่มีส่วนผสมของสารโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 5 ซึ่งผลการทดสอบพบว่ามอร์ต้าร์เพอร์ไลต์ (PM) อัตราส่วนผสม 1:1:4 มีค่าความคงตัวสูงกว่าก้อนตัวอย่างมอร์ต้าร์เพอร์ไลต์อัตราส่วนผสมอื่นๆ อีกทั้งมีความความคงตัวที่เด่นกว่ากลุ่มมอร์ต้าร์ควบคุม (OPM) ร้อยละ 13.68 สำหรับตัวอย่างที่อายุการบ่ม 28 วัน อันอาจมีสาเหตุมาจากสมบัติของหินเพอร์ไลต์มีสถานะความคงตัวหรือทนต่อการกัดกร่อนได้ดีกว่าวัสดุผสมประเภทอื่น ดังแสดงผลการเปรียบเทียบในตารางที่ 4.7 และภาพประกอบ 4.7



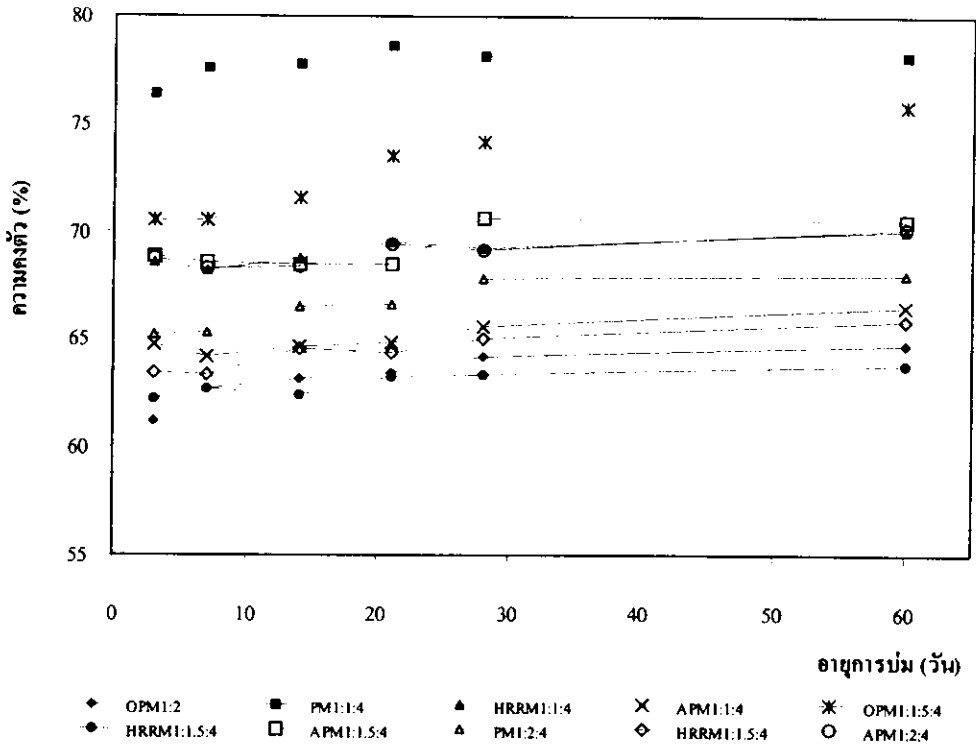
ภาพประกอบ 4.6 ค่าความหนาแน่นของแต่ละกลุ่มมอร์ต้าร์กับอายุการบ่ม

4.2.3 ค่าความคงตัวของมอร์ต้าร์

ผลการทดสอบความคงตัวโดยนำชุดตัวอย่างในแต่ละช่วงอายุการบ่มนำไปแช่ในน้ำที่มีส่วนผสมของสาร โซเดียมซิลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 5 ซึ่งผลการทดสอบพบว่ามอร์ต้าร์เพอร์ไลต์ (PM) อัตราส่วนผสม 1:1:4 มีค่าความคงตัวสูงกว่าก้อนตัวอย่างมอร์ต้าร์เพอร์ไลต์อัตราส่วนผสมอื่นๆ อีกทั้งมีความความคงตัวที่เด่นกว่ากลุ่มมอร์ต้าร์ควบคุม (OPM) ร้อยละ 13.68 สำหรับตัวอย่างที่อายุการบ่ม 28 วัน อันอาจมีสาเหตุมาจากสมบัติของหินเพอร์ไลต์มีสถานะความคงตัวหรือทนต่อการกัดกร่อนได้ดีกว่าวัสดุผสมประเภทอื่น ดังแสดงผลการเปรียบเทียบในตารางที่ 4.7 และภาพประกอบ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบความคงตัวของตัวบ่งชี้สารทุกกลุ่มและทุกอายุการบ่ม

| อัตราส่วนผสม และประเภท บ่งชี้สาร | จำนวน | ค่าความคงตัว (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|------------------|--------|-------|------------------|--------|-------|-------------------|--------|-------|-------------------|--------|-------|-------------------|--------|-------|-------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | อายุการบ่ม 3 วัน | | | อายุการบ่ม 7 วัน | | | อายุการบ่ม 14 วัน | | | อายุการบ่ม 21 วัน | | | อายุการบ่ม 28 วัน | | | อายุการบ่ม 60 วัน | | | | | | | | |
| | | ต่ำสุด | สูงสุด | SD | ต่ำสุด | สูงสุด | SD | ต่ำสุด | สูงสุด | SD | ต่ำสุด | สูงสุด | SD | ต่ำสุด | สูงสุด | SD | ต่ำสุด | สูงสุด | SD | | | | | | |
| 1-2. OPM | 5 | 58.30 | 62.96 | 61.25 | 1.79 | 57.72 | 64.83 | 61.72 | 3.42 | 58.05 | 67.02 | 63.14 | 3.39 | 52.96 | 68.77 | 18.12 | 6.07 | 56.34 | 75.29 | 65.23 | 7.55 | 59.39 | 88.89 | 64.11 | 14.71 |
| | | 67.74 | 84.21 | 76.41 | 7.22 | 73.66 | 86.90 | 77.58 | 5.38 | 67.44 | 96.26 | 77.70 | 13.09 | 65.33 | 89.70 | 63.37 | 9.01 | 64.28 | 82.66 | 78.12 | 12.66 | 62.50 | 82.01 | 78.11 | 8.75 |
| 1-1-4. HRRM | 5 | 55.85 | 83.92 | 68.58 | 12.04 | 50.63 | 85.39 | 68.16 | 15.68 | 61.75 | 76.19 | 68.77 | 5.27 | 47.47 | 81.82 | 78.56 | 13.45 | 55.55 | 73.21 | 69.26 | 8.38 | 56.25 | 82.93 | 70.05 | 9.75 |
| | | 52.38 | 77.24 | 64.77 | 11.35 | 55.84 | 76.08 | 64.24 | 10.09 | 45.74 | 77.01 | 65.65 | 13.51 | 59.65 | 78.04 | 69.50 | 15.34 | 59.75 | 85.89 | 65.54 | 12.07 | 52.68 | 85.07 | 66.57 | 12.48 |
| 1-1.5-4. IIRRM | 5 | 56.32 | 83.21 | 70.50 | 10.04 | 53.60 | 82.92 | 70.47 | 12.11 | 53.29 | 81.11 | 71.53 | 11.27 | 65.31 | 83.65 | 64.81 | 9.17 | 67.69 | 81.11 | 74.17 | 4.79 | 66.46 | 81.33 | 75.80 | 5.94 |
| | | 46.71 | 73.46 | 62.18 | 10.42 | 53.60 | 75.12 | 62.73 | 10.38 | 54.63 | 70.01 | 62.36 | 6.49 | 50.32 | 75.64 | 73.52 | 14.54 | 55.01 | 74.02 | 63.34 | 6.99 | 47.67 | 76.23 | 63.87 | 12.02 |
| 1-2-4. APM | 5 | 52.45 | 83.21 | 68.87 | 11.08 | 47.91 | 76.30 | 68.55 | 6.98 | 57.29 | 75.26 | 68.46 | 7.36 | 56.94 | 82.50 | 63.18 | 9.37 | 52.32 | 84.14 | 70.62 | 12.36 | 64.55 | 73.17 | 70.47 | 3.41 |
| | | 59.33 | 71.93 | 65.23 | 4.03 | 57.57 | 72.52 | 65.33 | 7.25 | 55.88 | 77.01 | 66.54 | 9.18 | 49.41 | 79.38 | 66.58 | 11.01 | 54.80 | 76.47 | 67.81 | 6.34 | 56.14 | 78.17 | 67.99 | 9.68 |
| HRRM | 5 | 54.54 | 77.75 | 64.45 | 10.87 | 51.053 | 70.00 | 63.37 | 6.53 | 52.38 | 84.84 | 64.57 | 13.01 | 55.88 | 74.22 | 64.34 | 7.92 | 52.38 | 95.89 | 65.03 | 17.61 | 58.33 | 71.57 | 65.89 | 6.48 |
| | | 53.06 | 82.35 | 68.76 | 10.39 | 55.72 | 82.79 | 68.27 | 11.05 | 65.68 | 74.49 | 68.39 | 3.49 | 56.97 | 75.55 | 69.45 | 7.38 | 55.88 | 77.92 | 69.14 | 8.24 | 56.84 | 78.82 | 70.12 | 10.66 |



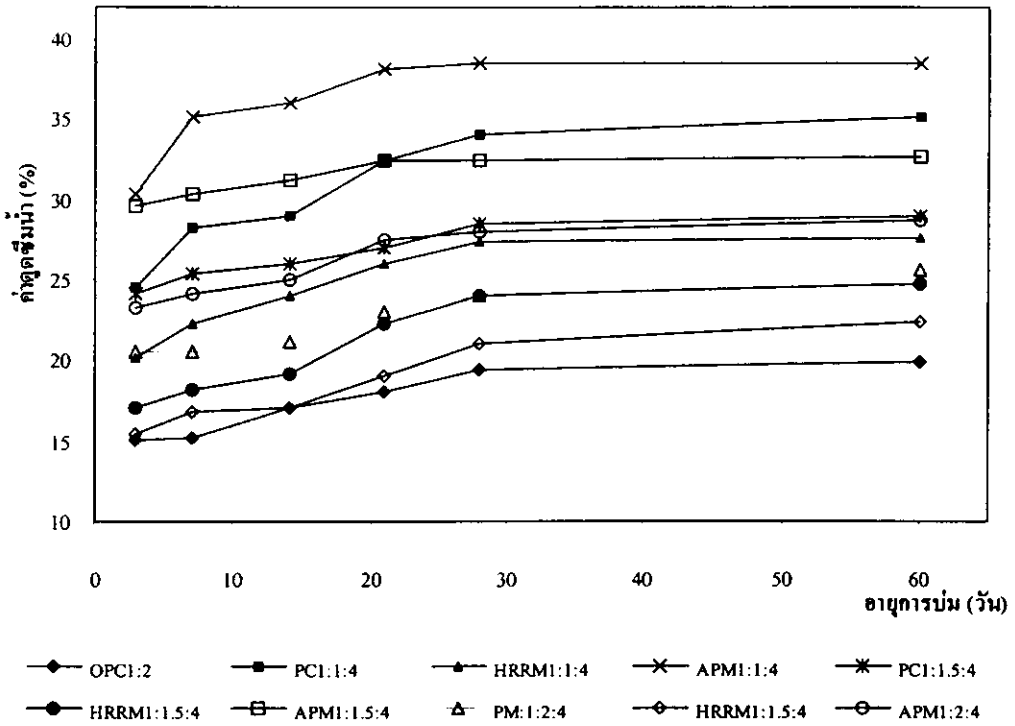
ภาพประกอบ 4.7 ค่าความคงตัวกับชุดอายุการบ่มแต่อัตราส่วนของมอร์ตาร์ผสมเพอร์ไลต์

4.2.4 การดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนตัวอย่างได้ทำการทดสอบทุกกลุ่มและทุกช่วงอายุการบ่มพบว่าก้อนตัวอย่างที่มีอายุการบ่มยาวนานขึ้นจะมีน้ำหนักที่เบาและแห้งหรือมีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งจะดูดน้ำได้สูงกว่าก้อนตัวอย่างที่มีอายุการบ่มน้อยกว่า อันมีเหตุมาจากก้อนตัวอย่างดังกล่าวมีการคายความชื้นออกจากเนื้อตัวอย่างมากที่สุดแต่เมื่อถูกความชื้นจะดูดซับมากกว่าส่วนผสมอื่นซึ่งโดยเฉลี่ยมีผลต่างที่เพิ่ม ดังเช่นการพิจารณาของกลุ่มตัวอย่างที่อายุการบ่ม 28 วัน ผลการทดสอบพบว่าสมบัติของกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (PM) ที่อัตราส่วนผสม 1:1:4, 1:1.5:4 และ 1:2:4 มีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่าร้อยละ 14.59, 5.51 และ 10.02 ของกลุ่มมอร์ตาร์ควบคุมตามลำดับ ถ้าเปรียบเทียบผลของกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ทุกอัตราส่วนผสมพบว่ากลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (APM) มีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่ามอร์ตาร์กลุ่มอื่น ส่วนกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (HRRM) ให้ค่าผลการดูดซึมน้ำที่น้อยที่สุดในกลุ่มตัวอย่าง ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.8 และภาพประกอบ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำตัวมอร์ตาร์ด้าควบคุม และกลุ่มมอร์ตาร์ด้าผสมหินเพอร์ไลท์

| อัตราส่วนผสม และประเภท | จำนวน จ้ำ | ผลการทดสอบดูดซึมน้ำ (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|--------------|-------------------------|--------|-------|------------------|--------|-------|-------------------|--------|------|-------------------|--------|-------|-------------------|--------|-------|-------------------|--------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|
| | | อายุการบ่ม 3 วัน | | | อายุการบ่ม 7 วัน | | | อายุการบ่ม 14 วัน | | | อายุการบ่ม 21 วัน | | | อายุการบ่ม 28 วัน | | | อายุการบ่ม 60 วัน | | | | | | | | | |
| | | ต่ำสุด | สูงสุด | SD | ต่ำสุด | สูงสุด | SD | ต่ำสุด | สูงสุด | SD | ต่ำสุด | สูงสุด | SD | ต่ำสุด | สูงสุด | SD | ต่ำสุด | สูงสุด | SD | | | | | | | |
| มอร์ตาร์ด้า | 5 | 1-2. OPM | 13.94 | 22.18 | 15.10 | 7.19 | 8.71 | 25.00 | 15.24 | 6.75 | 8.62 | 24.41 | 17.05 | 7.05 | 15.71 | 21.08 | 18.12 | 2.16 | 17.41 | 20.44 | 19.44 | 1.26 | 17.83 | 24.17 | 19.86 | 2.49 |
| | | 1-1-4. PM | 15.83 | 32.18 | 24.50 | 6.41 | 18.18 | 34.57 | 28.19 | 7.36 | 11.70 | 37.33 | 29.01 | 9.98 | 30.00 | 35.14 | 32.48 | 1.85 | 28.75 | 37.50 | 34.03 | 3.63 | 22.22 | 45.24 | 35.24 | 8.26 |
| | 5 | HRRM | 11.43 | 33.86 | 20.15 | 8.54 | 14.36 | 33.08 | 22.24 | 7.84 | 17.24 | 32.73 | 24.05 | 7.07 | 23.28 | 29.06 | 26.01 | 2.27 | 19.95 | 34.62 | 27.42 | 5.20 | 19.73 | 37.10 | 27.65 | 6.48 |
| | | APM | 23.26 | 38.20 | 30.29 | 6.01 | 11.54 | 31.45 | 25.34 | 8.12 | 28.57 | 45.16 | 36.04 | 6.79 | 34.15 | 39.80 | 38.12 | 2.31 | 36.09 | 39.80 | 38.51 | 1.48 | 32.98 | 45.65 | 38.53 | 5.40 |
| 1-1-5-4. | 5 | PM | 14.40 | 28.91 | 24.22 | 5.73 | 11.25 | 28.97 | 25.47 | 3.98 | 13.82 | 35.09 | 26.03 | 8.08 | 23.64 | 31.48 | 27.02 | 3.74 | 24.12 | 39.84 | 28.51 | 6.75 | 17.53 | 36.84 | 28.96 | 7.99 |
| | | HRRM | 13.07 | 22.15 | 17.06 | 3.55 | 15.57 | 22.76 | 18.19 | 2.85 | 13.19 | 26.67 | 19.24 | 5.14 | 22.05 | 24.24 | 22.26 | 1.54 | 28.10 | 20.66 | 24.03 | 2.79 | 20.32 | 28.95 | 24.78 | 3.32 |
| 1-2-4. | 5 | APM | 21.33 | 37.24 | 29.60 | 6.13 | 26.14 | 36.36 | 30.32 | 5.44 | 17.89 | 37.50 | 31.24 | 8.01 | 29.36 | 33.74 | 32.41 | 1.75 | 30.10 | 33.33 | 32.48 | 1.41 | 30.93 | 36.36 | 32.65 | 2.14 |
| | | PM | 15.65 | 25.35 | 20.46 | 4.03 | 14.76 | 25.00 | 20.49 | 3.82 | 12.57 | 23.69 | 21.19 | 4.89 | 16.67 | 27.56 | 23.02 | 5.63 | 20.66 | 28.92 | 24.02 | 3.55 | 23.33 | 28.35 | 25.63 | 1.73 |
| | 5 | HRRM | 16.92 | 21.43 | 18.92 | 2.23 | 12.82 | 26.00 | 19.08 | 5.36 | 13.04 | 29.79 | 19.77 | 6.44 | 11.03 | 28.57 | 19.03 | 6.76 | 19.08 | 27.13 | 21.05 | 3.65 | 19.36 | 31.46 | 22.35 | 4.95 |
| | | APM | 10.79 | 32.09 | 23.34 | 7.74 | 22.56 | 26.80 | 24.17 | 1.88 | 20.16 | 32.03 | 25.04 | 4.74 | 23.48 | 33.57 | 27.49 | 4.18 | 20.83 | 35.40 | 28.09 | 5.17 | 27.36 | 32.05 | 27.74 | 4.71 |



ภาพประกอบ 4.8 ค่าการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ทุกกลุ่มกับช่วงอายุการบ่ม

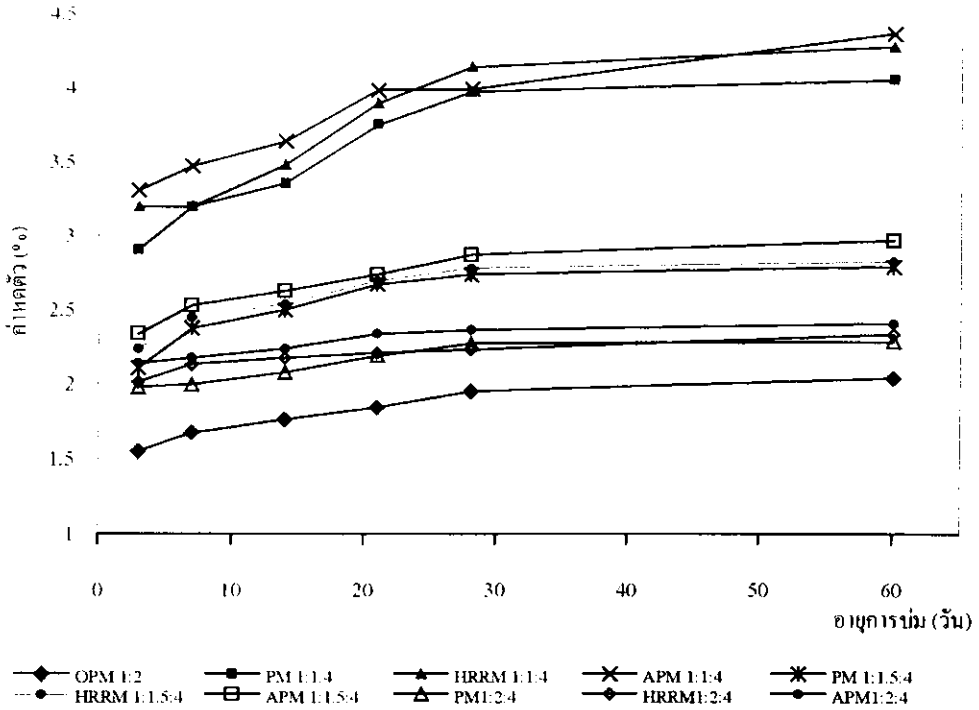
ซึ่งผลสมบัติด้านการดูดซึมน้ำเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงก่อนการนำไปประกอบการพิจารณาประยุกต์ใช้งานในแต่ละสภาวะเหมาะสมที่เกี่ยวข้องกับหรืองานที่สัมผัสกับความชื้นให้เหมาะสม โดยผลการทดสอบพบว่ามอร์ตาร์ที่มีค่าดูดซึมน้ำสูงกว่ามาตรฐานของวัสดุก่อสร้างโดยทั่วไปโดยเฉลี่ยร้อยละ 5 ซึ่งเป็นกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (APM) จะมีค่าดูดซึมน้ำสูงกว่าทุกกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์

4.2.5 ค่าหาค่าควบคุมแห้งของมอร์ตาร์

การทดสอบหาค่าการหดตัวของตัวอย่างได้ดำเนินการทดสอบเพื่อหาค่าการเปลี่ยนรูปของตัวอย่าง ซึ่งเป็นค่าของผลการทดสอบอีกประเภทหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงในการนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านการยึดเกาะของผิวงาน ซึ่งผลการทดสอบโดยเฉลี่ยมีค่าการหดตัวแบบแห้งอยู่ในเกณฑ์ข้อกำหนดควบคุมในงานคอนกรีตที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.00050 ของปริมาตร แต่ทุกกลุ่มตัวอย่างของมอร์ตาร์เพอร์ไลต์มีผลการทดสอบมีค่าหดตัวสูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุม (OPM) เช่นกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (PM) มีค่าผลต่างร้อยละ 2.02, 1.393 และ 0.346 ของกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์อัตราส่วนผสม 1:1:4, 1:1.5:4 และ 1:2:4 ที่อายุการบ่ม 28 วัน ส่วนก้อนตัวอย่างที่มีสารผสมเพิ่ม (HRRM, APM) หลังการวิเคราะห์พบว่ามีค่าหดตัวน้อยกว่ากลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (PM) ทุกกลุ่มอัตราส่วน แต่ยังคงสูงกว่าก้อนมอร์ตาร์ควบคุม (OPM) ดังแสดงผลการทดสอบไว้ในตารางที่ 4.9 ภาพประกอบ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ควบคุมและกลุ่มมอร์ตาร์ผสมหินเพอร์ไลต์

| อัตราส่วนผสม และประเภท มอร์ตาร์ | จำนวน | ผลการทดสอบการหดตัวแบบแห้ง (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------|-------------------------------|--------|------|------------------|--------|--------|-------------------|--------|--------|-------------------|------|--------|-------------------|--------|------|-------------------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|
| | | อายุการบ่ม 3 วัน | | | อายุการบ่ม 7 วัน | | | อายุการบ่ม 14 วัน | | | อายุการบ่ม 21 วัน | | | อายุการบ่ม 28 วัน | | | อายุการบ่ม 60 วัน | | | | | | | | |
| | | ต่ำสุด | สูงสุด | SD | ต่ำสุด | สูงสุด | เฉลี่ย | SD | ต่ำสุด | สูงสุด | เฉลี่ย | SD | ต่ำสุด | สูงสุด | เฉลี่ย | SD | ต่ำสุด | สูงสุด | เฉลี่ย | SD | | | | | |
| I-2. OPM | 5 | 1.22 | 1.86 | 1.55 | 0.24 | 0.88 | 2.93 | 1.67 | 0.84 | 1.44 | 2.11 | 1.76 | 0.29 | 1.44 | 2.27 | 1.84 | 0.36 | 1.40 | 2.64 | 1.95 | 0.48 | 1.24 | 3.60 | 2.04 | 0.99 |
| I-1-4. PM | 5 | 2.10 | 3.53 | 2.91 | 0.53 | 1.69 | 4.96 | 3.20 | 1.17 | 2.49 | 4.11 | 3.36 | 0.73 | 2.68 | 5.55 | 3.75 | 1.07 | 3.14 | 4.40 | 3.97 | 0.52 | 2.85 | 6.05 | 4.06 | 1.23 |
| HRRM | 5 | 2.59 | 3.78 | 3.19 | 0.47 | 2.27 | 5.78 | 3.20 | 1.45 | 3.22 | 4.27 | 3.48 | 0.45 | 3.22 | 4.48 | 3.89 | 0.56 | 3.13 | 6.59 | 4.14 | 1.40 | 3.77 | 4.82 | 4.29 | 0.37 |
| APM | 5 | 2.76 | 4.20 | 3.31 | 0.57 | 3.01 | 4.15 | 3.47 | 0.47 | 2.97 | 4.91 | 3.64 | 0.74 | 2.43 | 4.96 | 3.99 | 1.00 | 3.01 | 4.48 | 3.99 | 0.58 | 3.73 | 4.79 | 4.37 | 0.45 |
| I-1.5-4. PM | 5 | 1.60 | 3.30 | 2.11 | 0.70 | 1.81 | 3.10 | 2.38 | 0.57 | 1.81 | 3.34 | 2.50 | 0.80 | 1.24 | 3.63 | 2.67 | 0.95 | 2.02 | 4.19 | 2.74 | 0.92 | 1.16 | 4.69 | 2.79 | 1.59 |
| HRRM | 5 | 1.86 | 2.89 | 2.24 | 0.40 | 1.41 | 3.55 | 2.45 | 0.79 | 1.94 | 2.98 | 2.54 | 0.49 | 2.16 | 3.60 | 2.70 | 0.57 | 1.40 | 4.88 | 2.78 | 1.71 | 1.69 | 3.64 | 2.83 | 0.72 |
| APM | 5 | 2.01 | 2.64 | 2.35 | 0.24 | 2.10 | 2.97 | 2.53 | 0.37 | 1.94 | 3.14 | 2.63 | 0.49 | 2.10 | 3.89 | 2.74 | 0.70 | 1.87 | 3.64 | 2.87 | 0.68 | 1.98 | 3.64 | 2.97 | 0.61 |
| I-2-4. PM | 5 | 1.49 | 2.64 | 1.98 | 0.55 | 1.57 | 2.64 | 1.99 | 0.54 | 1.77 | 2.44 | 2.07 | 0.33 | 1.45 | 2.97 | 2.20 | 0.67 | 1.36 | 2.85 | 2.27 | 0.57 | 1.53 | 4.48 | 2.29 | 1.26 |
| HRRM | 5 | 1.57 | 2.80 | 2.01 | 0.51 | 1.12 | 2.80 | 2.14 | 0.91 | 1.57 | 2.71 | 2.16 | 0.42 | 1.44 | 2.93 | 2.21 | 0.62 | 1.98 | 3.10 | 2.54 | 0.48 | 1.79 | 2.73 | 2.34 | 0.34 |
| APM | 5 | 1.65 | 3.42 | 2.14 | 0.83 | 1.81 | 2.76 | 2.18 | 0.38 | 1.49 | 2.93 | 2.24 | 0.60 | 1.40 | 3.64 | 2.34 | 1.00 | 1.65 | 3.40 | 2.37 | 0.68 | 1.26 | 3.28 | 2.41 | 0.78 |

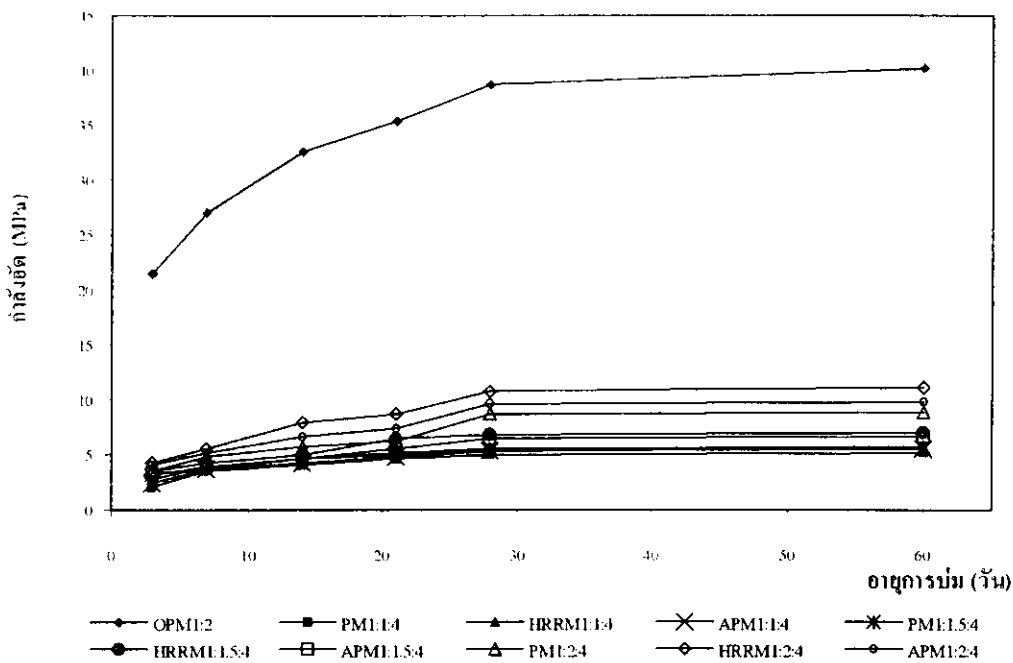


ภาพประกอบ 4.9 ค่าการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์กับอายุการบ่ม

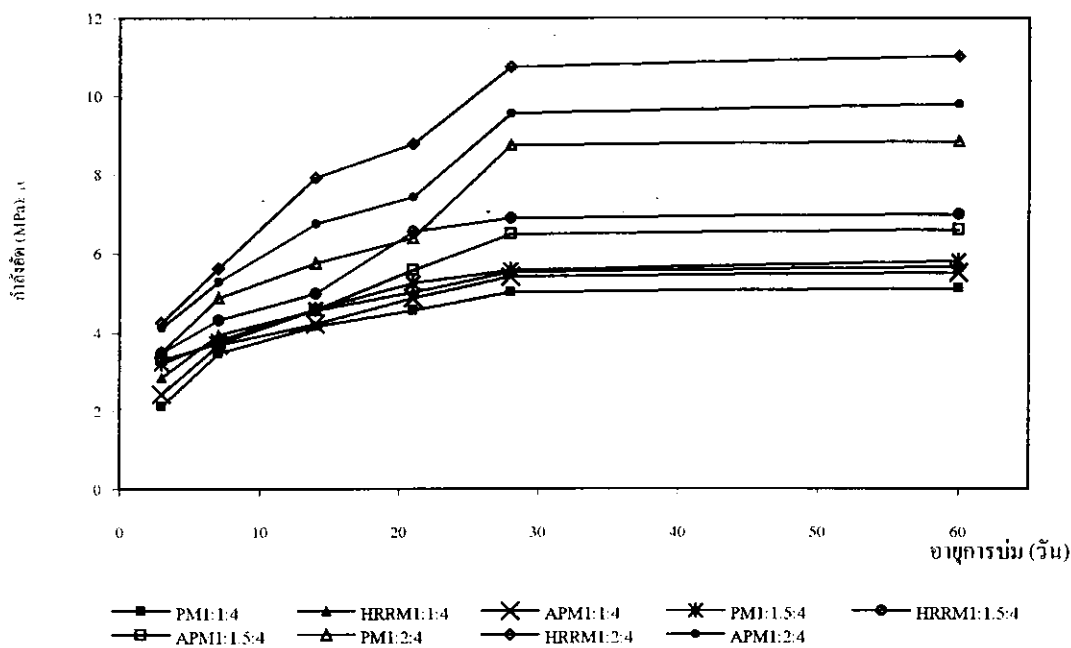
4.3 สมบัติเชิงกลของมอร์ตาร์

4.3.1 กำลังอัด

ซึ่งจากพิจารณาผลการทดสอบพบว่าการใช้หินเพอร์ไลต์เป็นส่วนในกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (PM) อัตราส่วนผสม 1:1:4 ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีการใช้อัตราส่วนของหินเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมมากที่สุด แต่ก็ยังคงให้ผลกำลังอัดอยู่ในขั้นที่พิจารณานำไปใช้งานได้ในเกณฑ์กำหนดตามวัตถุประสงค์ เช่นเดียวกับกับส่วนอัตราส่วนกลุ่มตัวอย่างอื่นๆ ก็ให้ผลกำลังอัดอยู่ในเกณฑ์กำหนด และเด่นกว่าอัตราส่วนผสม 1:1:4 ทุกกลุ่มตัวอย่างอัตราส่วนผสมและช่วงอายุการบ่ม ซึ่งอยู่ในเกณฑ์กำหนดในการพิจารณาเป็นวัสดุคอนกรีตบ้านนั้นมีมีเกณฑ์กำหนดค่ากำลังอัดที่อายุการบ่ม 7 วันต้องไม่น้อยกว่า 3.5 MPa. ซึ่งในการทดสอบในงานวิจัยนี้ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบอยู่ระหว่าง 3.47-7.61 MPa โดยเฉลี่ยจะมีค่าสูงกว่าข้อกำหนดในวัตถุประสงค์ร้อยละ 30.17

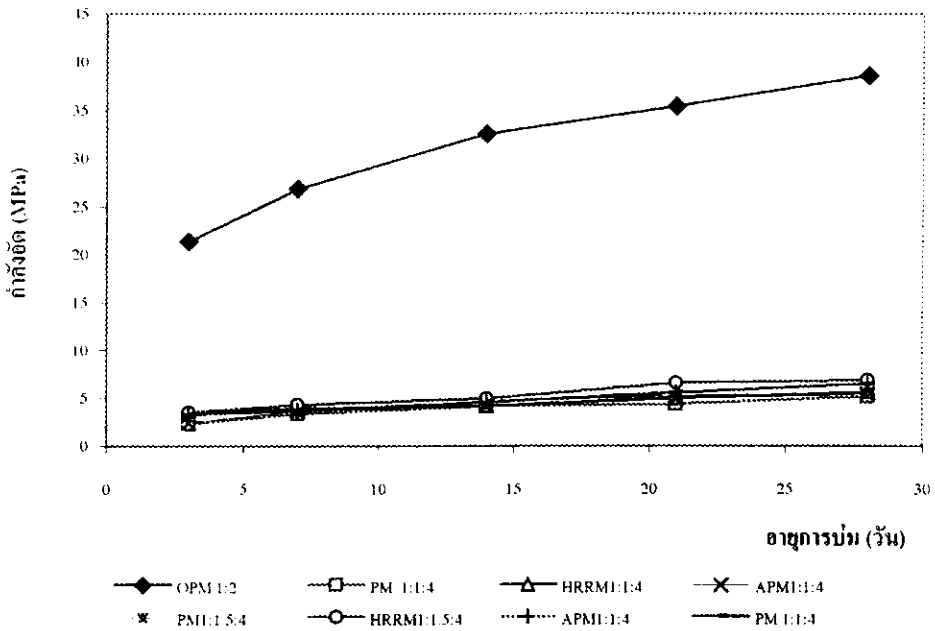


ภาพประกอบ 4.10 กำลังอัดทรงลูกบาศก์กับอายุการบ่มของมอร์ตาร์ทุกกลุ่ม

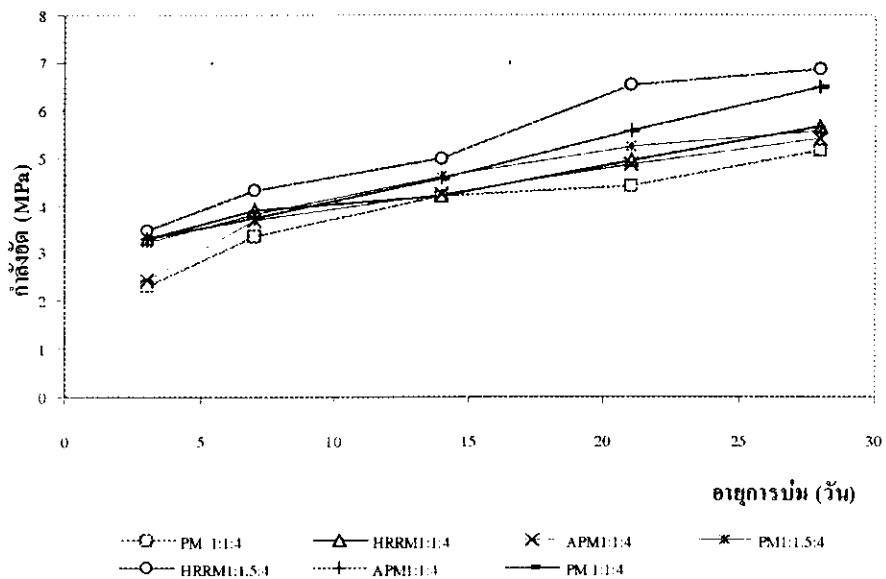


ภาพประกอบ 4.11 กำลังอัดทรงลูกบาศก์กับช่วงอายุการบ่มของมอร์ตาร์ผสมเพอร์ไลต์

สำหรับการทดสอบกำลังอัดของแท่งตัวอย่างทรงกระบอกเพื่อนำผลไปวิเคราะห์หาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นดังแสดงในภาพประกอบ 4.12 – 4.13 พบว่ามีค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ยมีผลต่างจากตัวอย่างมอร์ตาร์ทรงกลมบาศก์ร้อยละ ± 5 ดังแสดงผลการทดสอบเชิงเปรียบเทียบของค่ากำลังอัดของก้อนตัวอย่างทั้งสองประเภทไว้ในตารางที่ 4.10-4.11



ภาพประกอบ 4.12 กำลังอัดกับอายุการบ่มของตัวอย่างมอร์ตาร์



ภาพประกอบ 4.13 กำลังอัดกับอายุการบ่มของตัวอย่างมอร์ตาร์เพอร์ไลต์

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบการกำลังอัดมอร์ตาร์ความคมและกลุ่มมอร์ตาร์ผสมหินเพอร์ไลต์

| อัตราส่วนผสม และประเภท มอร์ตาร์ | จำนวน จ้ำ | ผลการทดสอบกำลังอัด (MPa) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--------------|--------------------------|------------------|-------|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|------|-------------------|------------------|-------|------------------|------------------|-------|-------------------|------------------|-------|------------------|------------------|------|-------------------|------------------|-------|------|--|--|-------------------|--|--|--|--|--|
| | | อายุการบ่ม 3 วัน | | | | | | อายุการบ่ม 7 วัน | | | | | | อายุการบ่ม 14 วัน | | | | | | อายุการบ่ม 21 วัน | | | | | | อายุการบ่ม 28 วัน | | | | | | อายุการบ่ม 60 วัน | | | | | |
| | | ค่าสุด ต่ำสุด | ค่าสุด เฉลี่ย | SD | ค่าสุด ต่ำสุด | ค่าสุด เฉลี่ย | SD | ค่าสุด ต่ำสุด | ค่าสุด เฉลี่ย | SD | ค่าสุด ต่ำสุด | ค่าสุด เฉลี่ย | SD | ค่าสุด ต่ำสุด | ค่าสุด เฉลี่ย | SD | ค่าสุด ต่ำสุด | ค่าสุด เฉลี่ย | SD | ค่าสุด ต่ำสุด | ค่าสุด เฉลี่ย | SD | ค่าสุด ต่ำสุด | ค่าสุด เฉลี่ย | SD | ค่าสุด ต่ำสุด | ค่าสุด เฉลี่ย | SD | | | | | | | | | |
| 1-2- PM | 5 | 19.76 | 20.98 | 21.41 | 1.18 | 26.21 | 28.11 | 26.93 | 0.91 | 31.98 | 33.04 | 32.58 | 0.38 | 35.04 | 35.79 | 35.45 | 0.30 | 37.57 | 39.59 | 38.64 | 0.87 | 39.83 | 40.70 | 40.18 | 0.39 | 40.70 | 40.18 | 40.18 | 0.39 | | | | | | | | |
| | | 2.00 | 2.24 | 2.11 | 0.09 | 3.34 | 3.59 | 3.48 | 0.11 | 3.93 | 4.27 | 4.16 | 0.14 | 4.40 | 4.84 | 4.56 | 0.17 | 4.59 | 5.39 | 5.02 | 0.38 | 4.92 | 5.30 | 5.12 | 0.14 | 5.30 | 5.12 | 5.12 | 0.14 | | | | | | | | |
| 1-1-4- HRRM | 5 | 2.64 | 3.09 | 2.85 | 0.16 | 3.86 | 4.03 | 3.94 | 0.07 | 4.29 | 5.01 | 4.56 | 0.29 | 4.81 | 5.28 | 5.01 | 0.21 | 5.24 | 5.78 | 5.53 | 0.27 | 5.37 | 5.81 | 5.64 | 0.17 | 5.81 | 5.64 | 5.64 | 0.17 | | | | | | | | |
| | | 2.37 | 2.47 | 2.42 | 0.04 | 3.63 | 3.73 | 3.68 | 0.06 | 4.06 | 4.78 | 4.23 | 0.31 | 4.45 | 5.14 | 4.87 | 0.26 | 5.18 | 5.79 | 5.41 | 0.24 | 5.16 | 5.82 | 5.50 | 0.24 | 5.82 | 5.50 | 5.50 | 0.24 | | | | | | | | |
| 1-1.5-4- PM | 5 | 2.99 | 3.37 | 3.22 | 0.15 | 3.69 | 3.94 | 3.80 | 0.09 | 4.40 | 4.75 | 4.59 | 0.16 | 5.18 | 5.37 | 5.23 | 0.08 | 5.46 | 5.66 | 5.57 | 0.07 | 5.61 | 5.90 | 5.80 | 0.12 | 5.90 | 5.80 | 5.80 | 0.12 | | | | | | | | |
| | | 3.19 | 3.62 | 3.48 | 0.18 | 3.99 | 4.93 | 4.32 | 0.36 | 4.60 | 5.18 | 4.98 | 0.27 | 6.30 | 6.77 | 6.54 | 0.22 | 6.57 | 7.03 | 6.88 | 0.18 | 6.58 | 7.20 | 6.98 | 0.24 | 7.20 | 6.98 | 6.98 | 0.24 | | | | | | | | |
| 1-2-4- HRRM | 5 | 3.13 | 3.49 | 3.30 | 0.14 | 3.68 | 3.78 | 3.72 | 0.05 | 4.10 | 5.41 | 4.57 | 0.56 | 5.38 | 5.70 | 5.56 | 0.13 | 6.43 | 6.58 | 6.49 | 0.06 | 6.51 | 6.70 | 6.59 | 0.07 | 6.70 | 6.59 | 6.59 | 0.07 | | | | | | | | |
| | | 3.47 | 3.69 | 3.50 | 0.12 | 4.75 | 5.01 | 4.87 | 0.10 | 5.23 | 6.74 | 5.71 | 0.62 | 6.00 | 6.69 | 6.38 | 0.29 | 8.55 | 9.15 | 8.75 | 0.24 | 8.74 | 9.04 | 8.85 | 0.16 | 9.04 | 8.85 | 8.85 | 0.16 | | | | | | | | |
| 1-2-4- HRRM | 5 | 4.12 | 4.34 | 4.24 | 0.11 | 7.25 | 7.69 | 7.61 | 0.21 | 8.42 | 9.31 | 8.92 | 0.35 | 9.64 | 9.89 | 9.79 | 0.12 | 10.39 | 11.08 | 10.76 | 0.29 | 10.68 | 11.17 | 10.94 | 0.23 | 11.17 | 10.94 | 10.94 | 0.23 | | | | | | | | |
| | | 3.92 | 4.14 | 4.10 | 0.10 | 4.79 | 5.64 | 5.27 | 0.32 | 6.71 | 6.77 | 6.75 | 0.03 | 7.14 | 7.58 | 7.42 | 0.18 | 9.16 | 10.14 | 9.56 | 0.38 | 9.77 | 10.02 | 9.81 | 0.14 | 10.02 | 9.81 | 9.81 | 0.14 | | | | | | | | |

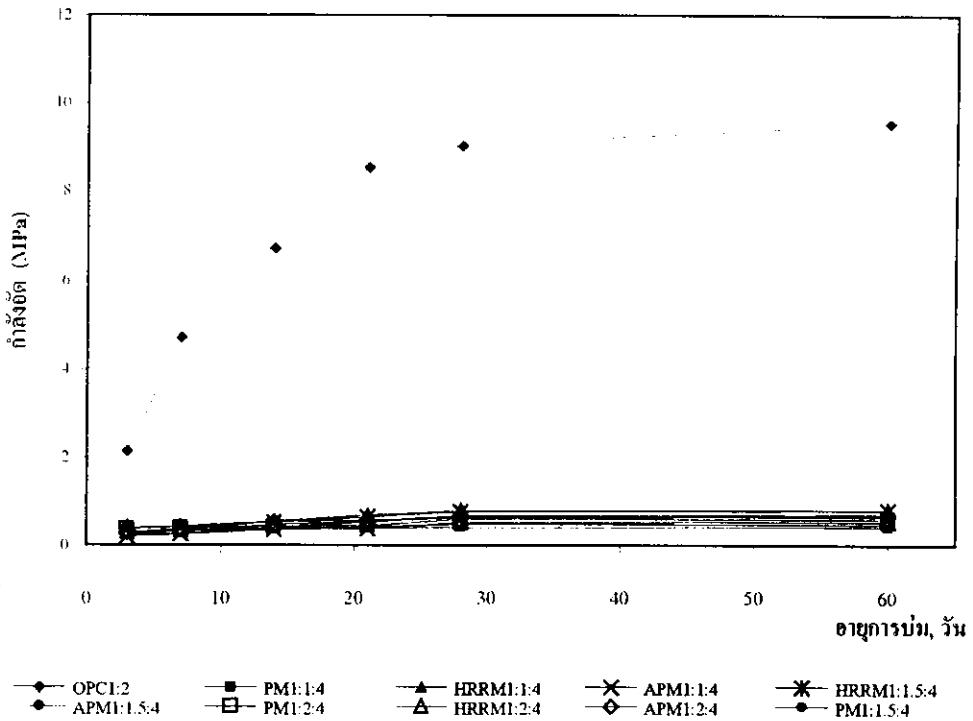
ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบการกักตุนออร์ทัลความคมและกลุ่มมอรัลพีเออร์ไลต์เปรียบเทียบกับแสงตัวอย่างรูปทรงระบอบ

| อัตราส่วนผสม | จำนวน | ผลการทดสอบกำลังยึด (MPa) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-------|--------------------------|--------|--------|------------------|-----------------|--------|-------------------|--------|-------|-------------------|--------|--------|-------------------|-------|-----------------|--------|--------|--------|-------|-----------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | | อายุการบ่ม 3 วัน | | | อายุการบ่ม 7 วัน | | | อายุการบ่ม 14 วัน | | | อายุการบ่ม 21 วัน | | | อายุการบ่ม 28 วัน | | | | | | | | | | | | |
| | | ต่ำสุด | สูงสุด | เฉลี่ย | SD | ความแตกต่าง (%) | ต่ำสุด | สูงสุด | เฉลี่ย | SD | ความแตกต่าง (%) | ต่ำสุด | สูงสุด | เฉลี่ย | SD | ความแตกต่าง (%) | ต่ำสุด | สูงสุด | เฉลี่ย | SD | ความแตกต่าง (%) | | | | | |
| 1-2, CPM | 5* | 19.76 | 22.99 | 21.41 | 1.18 | -5.0 | 26.21 | 28.11 | 26.93 | 0.91 | 8.88 | 31.98 | 33.04 | 32.58 | 0.38 | 1.37 | 35.04 | 35.79 | 35.45 | 0.30 | 2.41 | 37.57 | 39.59 | 38.64 | 0.87 | 1.42 |
| | | ** | 21.23 | 23.74 | 22.48 | 0.55 | | 23.89 | 25.23 | 24.53 | 0.54 | | 30.53 | 33.10 | 32.14 | 0.68 | | 33.86 | 36.10 | 34.60 | 0.34 | | 37.21 | 39.69 | 38.09 | 1.04 |
| 1-1-4, PM | 5* | 2.00 | 2.24 | 2.11 | 0.09 | -8.42 | 3.34 | 3.59 | 3.48 | 0.11 | 3.59 | 3.93 | 4.27 | 4.16 | 0.14 | -0.16 | 4.40 | 4.84 | 4.56 | 0.17 | 4.00 | 4.59 | 5.39 | 5.02 | 0.38 | -2.83 |
| | | ** | 1.98 | 2.63 | 2.29 | 0.13 | | 3.13 | 3.27 | 3.35 | 0.02 | | 4.08 | 4.25 | 4.17 | 0.04 | | 4.28 | 4.47 | 4.38 | 0.07 | | 4.85 | 5.85 | 5.16 | 0.11 |
| HRRM | 5* | 2.64 | 3.09 | 2.85 | 0.16 | -15.99 | 3.86 | 4.03 | 3.94 | 0.07 | 0.84 | 4.29 | 5.01 | 4.56 | 0.29 | 8.12 | 4.81 | 5.28 | 5.01 | 0.21 | 1.04 | 5.24 | 5.78 | 5.53 | 0.27 | -2.31 |
| | | ** | 3.17 | 3.42 | 3.31 | 0.09 | | 3.85 | 3.93 | 3.91 | 0.05 | | 3.98 | 4.32 | 4.19 | 0.04 | | 4.81 | 4.91 | 4.96 | 0.05 | | 5.62 | 5.69 | 5.65 | 0.03 |
| APM | 5* | 2.37 | 2.47 | 2.42 | 0.04 | -7.67 | 3.63 | 3.73 | 3.68 | 0.06 | -11.38 | 4.06 | 4.78 | 4.23 | 0.31 | -2.24 | 4.45 | 5.14 | 4.87 | 0.26 | -6.72 | 5.18 | 5.79 | 5.41 | 0.24 | -4.79 |
| | | ** | 2.53 | 2.68 | 2.61 | 0.05 | | 3.21 | 4.22 | 4.10 | 0.10 | | 4.28 | 4.36 | 4.33 | 0.04 | | 5.02 | 5.31 | 5.20 | 0.01 | | 5.48 | 5.79 | 5.67 | 0.03 |
| 1-1.5-4, PM | 5* | 2.99 | 3.37 | 3.22 | 0.15 | 12.03 | 3.69 | 3.94 | 3.80 | 0.09 | 0.31 | 4.40 | 4.75 | 4.59 | 0.16 | 3.80 | 5.18 | 5.37 | 5.23 | 0.08 | -2.74 | 5.46 | 5.66 | 5.57 | 0.07 | -24.45 |
| | | ** | 2.52 | 2.99 | 2.83 | 0.04 | | 3.71 | 3.86 | 3.79 | 0.02 | | 4.22 | 4.65 | 4.41 | 0.07 | | 5.27 | 5.53 | 5.38 | 0.02 | | 6.72 | 7.00 | 6.93 | 6.86 |
| HRRM | 5* | 3.19 | 3.62 | 3.48 | 0.18 | -2.44 | 3.99 | 4.93 | 4.32 | 0.36 | -0.15 | 4.60 | 5.18 | 4.98 | 0.27 | -2.93 | 6.30 | 6.77 | 6.54 | 0.22 | 0.78 | 6.57 | 7.03 | 6.88 | 0.18 | 2.48 |
| | | ** | 3.34 | 3.73 | 3.57 | 0.12 | | 4.25 | 4.42 | 4.33 | 0.05 | | 5.03 | 5.23 | 5.12 | 0.07 | | 6.38 | 6.55 | 6.49 | 0.02 | | 6.63 | 6.88 | 6.71 | 0.05 |
| APM | 5* | 3.13 | 3.49 | 3.30 | 0.14 | -10.20 | 3.68 | 3.78 | 3.72 | 0.05 | -13.15 | 4.10 | 5.41 | 4.57 | 0.56 | -17.54 | 5.38 | 5.70 | 5.56 | 0.13 | -25.65 | 6.43 | 6.58 | 6.49 | 0.06 | -22.96 |
| | | ** | 3.57 | 3.87 | 3.64 | 0.03 | | 4.17 | 4.85 | 4.21 | 0.15 | | 5.27 | 6.51 | 5.37 | 0.12 | | 6.76 | 7.49 | 6.99 | 0.07 | | 6.92 | 9.37 | 7.98 | 0.18 |
| 1-2-4, PM | 5* | 3.47 | 3.69 | 3.50 | 0.12 | 3.24 | 4.75 | 5.01 | 4.87 | 0.10 | 12.91 | 5.23 | 6.74 | 5.71 | 0.62 | -4.17 | 6.00 | 6.69 | 6.38 | 0.29 | -2.41 | 8.55 | 9.15 | 8.75 | 0.24 | -13.78 |
| | | ** | 3.33 | 3.69 | 3.39 | 0.04 | | 3.20 | 5.31 | 4.24 | 0.01 | | 3.86 | 6.02 | 5.95 | 0.01 | | 4.28 | 7.74 | 6.54 | 0.16 | | 7.85 | 10.10 | 9.96 | 0.13 |
| HRRM | 5* | 4.12 | 4.34 | 4.24 | 0.11 | 21.55 | 7.25 | 7.69 | 7.61 | 0.21 | 13.20 | 8.42 | 9.31 | 8.92 | 0.35 | 15.80 | 9.64 | 9.89 | 9.79 | 0.12 | -3.27 | 10.39 | 11.08 | 10.76 | 0.29 | 16.19 |
| | | ** | 3.24 | 3.40 | 3.32 | 0.02 | | 5.45 | 7.71 | 6.61 | 0.05 | | 6.14 | 8.78 | 7.51 | 0.07 | | 8.08 | 11.16 | 10.11 | 0.02 | | 9.91 | 11.46 | 9.02 | 0.19 |
| APM | 5* | 3.92 | 4.14 | 4.10 | 0.10 | 11.73 | 4.79 | 5.64 | 5.27 | 0.32 | 2.73 | 6.71 | 6.77 | 6.75 | 0.03 | -3.48 | 7.14 | 7.58 | 7.42 | 0.18 | 1.55 | 9.16 | 10.14 | 9.56 | 0.38 | -3.94 |
| | | ** | 3.61 | 3.63 | 3.61 | 0.02 | | 4.96 | 5.23 | 5.13 | 0.07 | | 6.85 | 7.08 | 6.98 | 0.05 | | 7.17 | 7.46 | 7.30 | 0.07 | | 8.29 | 12.41 | 9.94 | 0.29 |

หมายเหตุ: * = มอรัลต่ำทรงลูกบาศก์; ** = มอรัลต่ำทรงระบอบ

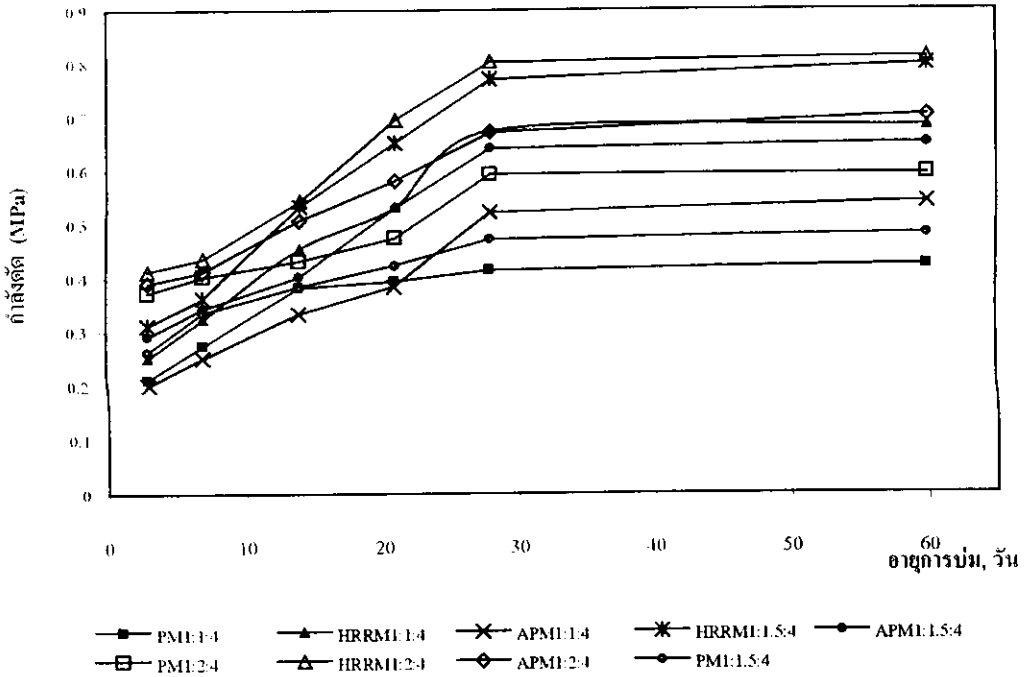
4.3.2 กำลังคัด

ผลการทดสอบแรงคัด พบว่าตัวอย่างคานมอร์ตาร์ที่ผสมหินเพอร์ไลต์เผาสุก มีการยึดเกาะกันของเนื้อมอร์ตาร์ที่รับแรงคัดดีกว่าคานมอร์ตาร์ควบคุม (OPM) โดยเฉลี่ยทุกอัตราส่วนเท่ากับ 14.6 เท่า ซึ่งวิเคราะห์ได้จากผลการเปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 4.12 และภาพประกอบ 4.14-15



ภาพประกอบ 4.14 กำลังคัดกับอายุการบ่มของมอร์ตาร์

จากผลการทดสอบโดยภาพรวมพบว่ากำลังคัดของกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์พบว่าค่าที่ได้ของการทดสอบที่อายุการบ่ม 28 วัน ของแต่ละกลุ่มตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาเชิงเปรียบเทียบผลการทดสอบเฉพาะกลุ่ม พบว่าอัตราส่วนผสมดังกล่าวที่ให้ผลกำลังคัดที่เด่นกว่าอื่นทุกอัตราส่วน คือ กลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ที่ใส่สารลดน้ำ (HRRM) ซึ่งอาจมีสาเหตุมาความแกร่งในเนื้อมอร์ตาร์ ซึ่งการยึดตัวเกาะกันแน่นขึ้นอันจะส่งผลดีต่อสมบัติดังกล่าว ซึ่งผลการทดสอบมีค่าไปในแนวทางเดียวกับค่ากำลังคัด



ภาพประกอบ 4.15 กำลังค้ำกับอายุการบ่มของคานมอร์ต้าร์

4.3.3 กำลังค้ำ

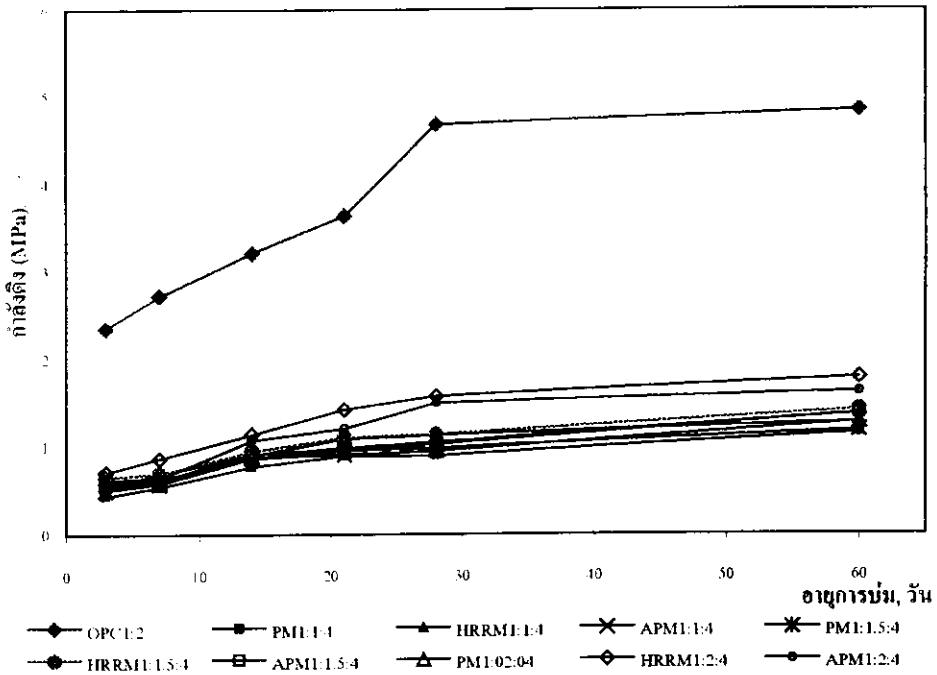
ซึ่งผลการทดสอบพบว่ามอร์ต้าร์ที่ผสมหินเพอร์ไลต์แสดงผลค่ากำลังค้ำค้อยกว่ากลุ่มมอร์ต้าร์ควบคุม (OPM) แต่สำหรับการเปรียบเทียบผลในกลุ่มมอร์ต้าร์ผสมหินเพอร์ไลต์ด้วยกันพบว่ากลุ่มมอร์ต้าร์เพอร์ไลต์ใส่สารลดน้ำ (HRRM) ให้ผลกำลังค้ำสูงกว่าทุกประเภท โดยเฉพาะกลุ่มอัตราส่วนผสม 1:2:4 และจากผลการทดสอบโดยภาพรวมของกลุ่มมอร์ต้าร์เพอร์ไลต์พบว่ามีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ระหว่าง 0.90-1.57 ของตัวอย่างที่อายุการบ่ม 28 วัน ตามลำดับ ซึ่งอาจมีผลมาจากความหนาแน่นของตัวอย่างที่มีค่าสูงกว่าอัตราส่วนอื่นซึ่งมีผลไปเป็นแนวทางเดียวกับค่ากำลังอัด จากผลการทดสอบดังกล่าวได้แสดงเปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 4.13 และภาพประกอบ 4.16 และ 4.17

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบการกำลังค้ำคานมอร์ตาร์ควมคุม และกลุ่มมอร์ตาร์ผสมหินเพอร์ไลต์

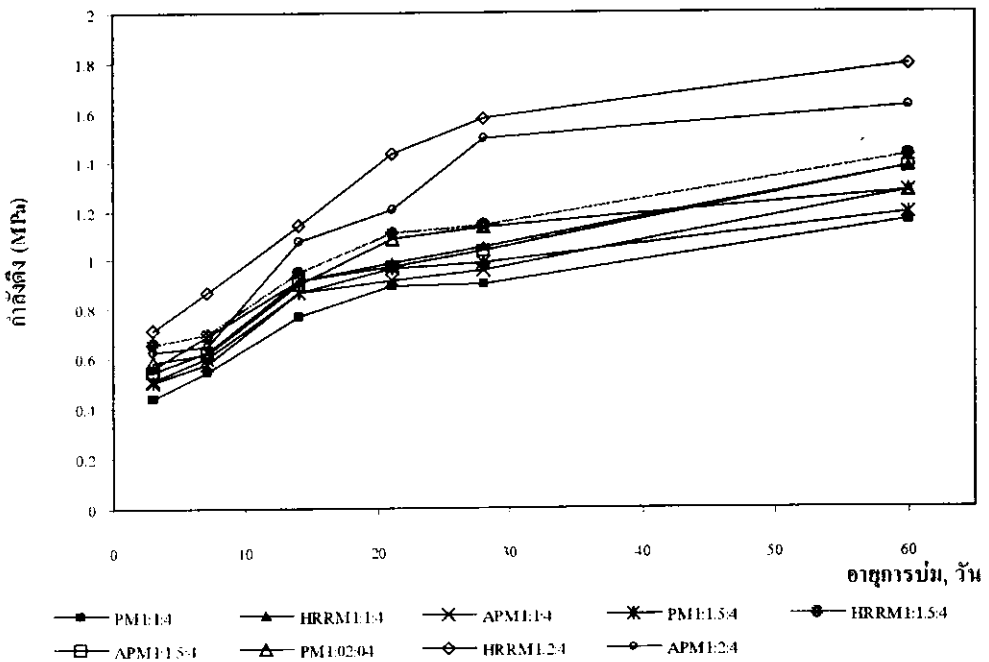
| อัตราส่วนผสม และประเภท มอร์ตาร์ | จำนวน จำ | ผลการทดสอบกำลังค้ำคาน (MPa) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|-----------------------------|------------------|--------|------|------------------|------------------|------------------|------|------------------|------------------|--------|------|-------------------|------------------|--------|------|------------------|------------------|-------------------|------|------------------|------------------|--------|------|-------------------|------------------|--------|----|--|--|-------------------|--|--|--|--|--|
| | | อายุการบ่ม 3 วัน | | | | | | อายุการบ่ม 7 วัน | | | | | | อายุการบ่ม 14 วัน | | | | | | อายุการบ่ม 21 วัน | | | | | | อายุการบ่ม 28 วัน | | | | | | อายุการบ่ม 60 วัน | | | | | |
| | | ค่าสุด ต่ำสุด | ค่าสุด สูงสุด | เฉลี่ย | SD | ค่าสุด ต่ำสุด | ค่าสุด สูงสุด | เฉลี่ย | SD | ค่าสุด ต่ำสุด | ค่าสุด สูงสุด | เฉลี่ย | SD | ค่าสุด ต่ำสุด | ค่าสุด สูงสุด | เฉลี่ย | SD | ค่าสุด ต่ำสุด | ค่าสุด สูงสุด | เฉลี่ย | SD | ค่าสุด ต่ำสุด | ค่าสุด สูงสุด | เฉลี่ย | SD | ค่าสุด ต่ำสุด | ค่าสุด สูงสุด | เฉลี่ย | SD | | | | | | | | |
| 1-2. | OPM | 5 | 2.03 | 2.24 | 2.14 | 0.08 | 4.55 | 4.87 | 4.73 | 0.13 | 5.99 | 7.32 | 6.72 | 0.54 | 8.39 | 8.71 | 8.54 | 0.13 | 8.93 | 9.19 | 9.03 | 0.16 | 9.35 | 9.69 | 9.54 | 0.14 | | | | | | | | | | | |
| 1-1-4. | PM | 5 | 0.19 | 0.23 | 0.21 | 0.02 | 0.24 | 0.30 | 0.27 | 0.02 | 0.36 | 0.40 | 0.38 | 0.02 | 0.36 | 0.41 | 0.39 | 0.02 | 0.40 | 0.42 | 0.41 | 0.01 | 0.41 | 0.43 | 0.42 | 0.01 | | | | | | | | | | | |
| | HRRM | 5 | 0.25 | 0.30 | 0.25 | 0.03 | 0.30 | 0.34 | 0.32 | 0.01 | 0.47 | 0.50 | 0.49 | 0.01 | 0.53 | 0.54 | 0.53 | 0.01 | 0.66 | 0.71 | 0.67 | 0.03 | 0.67 | 0.70 | 0.68 | 0.01 | | | | | | | | | | | |
| | APM | 5 | 0.20 | 0.21 | 0.20 | 0.00 | 0.24 | 0.27 | 0.25 | 0.01 | 0.35 | 0.37 | 0.36 | 0.01 | 0.36 | 0.42 | 0.38 | 0.02 | 0.49 | 0.60 | 0.52 | 0.04 | 0.53 | 0.55 | 0.54 | 0.01 | | | | | | | | | | | |
| 1-1.5-4. | PM | 5 | 0.20 | 0.22 | 0.21 | 0.01 | 0.30 | 0.35 | 0.33 | 0.02 | 0.30 | 0.35 | 0.33 | 0.02 | 0.41 | 0.43 | 0.42 | 0.01 | 0.45 | 0.48 | 0.47 | 0.01 | 0.46 | 0.49 | 0.48 | 0.01 | | | | | | | | | | | |
| | HRRM | 5 | 0.30 | 0.32 | 0.31 | 0.01 | 0.35 | 0.37 | 0.36 | 0.01 | 0.52 | 0.55 | 0.53 | 0.01 | 0.60 | 0.72 | 0.65 | 0.05 | 0.76 | 0.80 | 0.77 | 0.02 | 0.76 | 0.83 | 0.80 | 0.03 | | | | | | | | | | | |
| | APM | 5 | 0.28 | 0.29 | 0.29 | 0.00 | 0.32 | 0.36 | 0.34 | 0.02 | 0.40 | 0.41 | 0.40 | 0.01 | 0.51 | 0.55 | 0.53 | 0.02 | 0.63 | 0.67 | 0.64 | 0.02 | 0.64 | 0.67 | 0.65 | 0.01 | | | | | | | | | | | |
| 1-2-4. | PM | 5 | 0.37 | 0.38 | 0.37 | 0.00 | 0.39 | 0.41 | 0.40 | 0.01 | 0.41 | 0.44 | 0.43 | 0.01 | 0.43 | 0.49 | 0.45 | 0.02 | 0.57 | 0.64 | 0.59 | 0.03 | 0.57 | 0.64 | 0.60 | 0.03 | | | | | | | | | | | |
| | HRRM | 5 | 0.40 | 0.43 | 0.41 | 0.02 | 0.41 | 0.45 | 0.44 | 0.01 | 0.47 | 0.64 | 0.54 | 0.09 | 0.68 | 0.72 | 0.70 | 0.02 | 0.78 | 0.83 | 0.80 | 0.02 | 0.77 | 0.85 | 0.81 | 0.03 | | | | | | | | | | | |
| | APM | 5 | 0.37 | 0.40 | 0.39 | 0.01 | 0.41 | 0.42 | 0.41 | 0.01 | 0.54 | 0.59 | 0.55 | 0.03 | 0.53 | 0.59 | 0.56 | 0.02 | 0.64 | 0.70 | 0.67 | 0.03 | 0.69 | 0.71 | 0.70 | 0.01 | | | | | | | | | | | |

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบกำลังดึงมอร์ตันทุกกลุ่มและทุกอายุการบ่ม

| อัตราส่วนผสม และประเภท | | ผลการทดสอบกำลังดึง (MPa) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-------|--------------------------|--------|--------|------|------------------|--------|--------|------|-------------------|--------|--------|------|-------------------|--------|--------|------|-------------------|--------|--------|------|-------------------|--------|--------|------|------|
| | | อายุการบ่ม 3 วัน | | | | อายุการบ่ม 7 วัน | | | | อายุการบ่ม 14 วัน | | | | อายุการบ่ม 21 วัน | | | | อายุการบ่ม 28 วัน | | | | อายุการบ่ม 60 วัน | | | | |
| | | ต่ำสุด | สูงสุด | เฉลี่ย | SD | ต่ำสุด | สูงสุด | เฉลี่ย | SD | ต่ำสุด | สูงสุด | เฉลี่ย | SD | ต่ำสุด | สูงสุด | เฉลี่ย | SD | ต่ำสุด | สูงสุด | เฉลี่ย | SD | ต่ำสุด | สูงสุด | เฉลี่ย | SD | |
| นอร์ทัล | จำนวน | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1-2. | OPM | 5 | 2.21 | 2.48 | 2.35 | 0.10 | 2.68 | 2.74 | 2.72 | 0.02 | 3.14 | 3.34 | 3.21 | 0.07 | 3.40 | 3.80 | 3.60 | 0.10 | 4.49 | 4.90 | 4.60 | 0.17 | 4.61 | 4.98 | 4.84 | 0.13 |
| 1-1-4. | PM | 5 | 0.37 | 0.50 | 0.44 | 0.05 | 0.53 | 0.50 | 0.55 | 0.01 | 0.71 | 0.80 | 0.77 | 0.04 | 0.84 | 0.95 | 0.89 | 0.04 | 0.80 | 0.93 | 0.90 | 0.20 | 1.05 | 1.23 | 1.15 | 0.10 |
| | HRRM | 5 | 0.50 | 0.65 | 0.56 | 0.59 | 0.68 | 0.70 | 0.68 | 0.01 | 0.91 | 0.98 | 0.91 | 0.05 | 0.90 | 0.99 | 0.98 | 0.01 | 1.02 | 1.09 | 1.05 | 0.02 | 1.34 | 1.42 | 1.30 | 0.03 |
| | APM | 5 | 0.48 | 0.52 | 0.51 | 0.01 | 0.54 | 0.56 | 0.61 | 0.01 | 0.81 | 0.91 | 0.87 | 0.04 | 0.88 | 0.94 | 0.91 | 0.02 | 9.00 | 0.96 | 0.95 | 0.01 | 1.24 | 1.30 | 1.27 | 0.02 |
| 1-1.5-4. | PM | 5 | 0.48 | 0.53 | 0.51 | 0.01 | 0.55 | 0.59 | 0.57 | 0.01 | 0.68 | 0.84 | 0.81 | 0.06 | 0.92 | 1.01 | 0.96 | 0.03 | 0.95 | 1.09 | 0.98 | 0.06 | 1.10 | 1.21 | 1.18 | 0.01 |
| | HRRM | 5 | 0.62 | 0.67 | 0.65 | 0.02 | 0.67 | 0.71 | 0.70 | 0.01 | 0.80 | 1.07 | 0.98 | 0.01 | 1.02 | 1.19 | 1.12 | 0.04 | 1.14 | 1.17 | 1.13 | 0.01 | 1.33 | 1.48 | 1.42 | 0.03 |
| | APM | 5 | 0.58 | 0.59 | 0.54 | 0.03 | 0.61 | 0.63 | 0.62 | 0.02 | 0.85 | 0.93 | 0.92 | 0.02 | 1.09 | 0.94 | 0.97 | 0.02 | 0.98 | 1.08 | 1.03 | 0.04 | 1.31 | 1.40 | 1.37 | 0.01 |
| 1-2-4. | PM | 5 | 0.58 | 0.60 | 0.58 | 0.01 | 0.59 | 0.64 | 0.61 | 0.02 | 0.84 | 0.94 | 0.89 | 0.03 | 1.10 | 1.38 | 1.08 | 0.03 | 1.12 | 1.16 | 1.13 | 0.03 | 1.20 | 1.31 | 1.27 | 0.04 |
| | HRRM | 5 | 0.68 | 0.74 | 0.71 | 0.02 | 0.88 | 0.89 | 0.87 | 0.02 | 1.09 | 1.20 | 1.14 | 0.03 | 1.39 | 1.47 | 1.42 | 0.05 | 1.50 | 1.60 | 1.57 | 0.02 | 1.70 | 1.80 | 1.78 | 0.03 |
| | APM | 5 | 0.59 | 0.66 | 0.62 | 0.03 | 0.63 | 0.66 | 0.64 | 0.01 | 1.10 | 1.06 | 1.07 | 0.01 | 1.16 | 1.27 | 1.20 | 0.04 | 1.47 | 1.50 | 1.49 | 0.07 | 1.60 | 1.66 | 1.62 | 0.02 |



ภาพประกอบ 4.16 กำลังดึงกับอายุการบ่มของมอร์ต้าร์



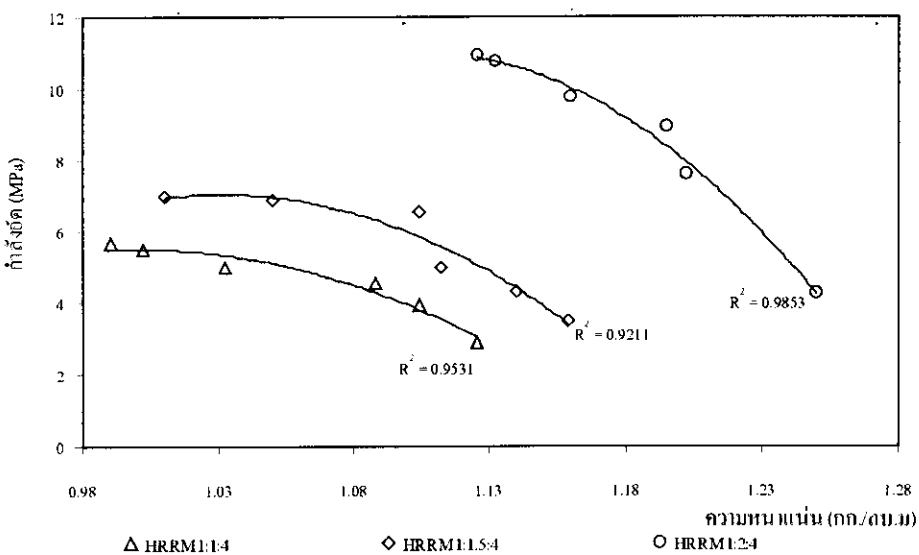
ภาพประกอบ 4.17 กำลังดึงกับอายุการบ่มของมอร์ต้าร์ผสมเพอร์ไลต์

4.4 สหสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและกำลังอัด

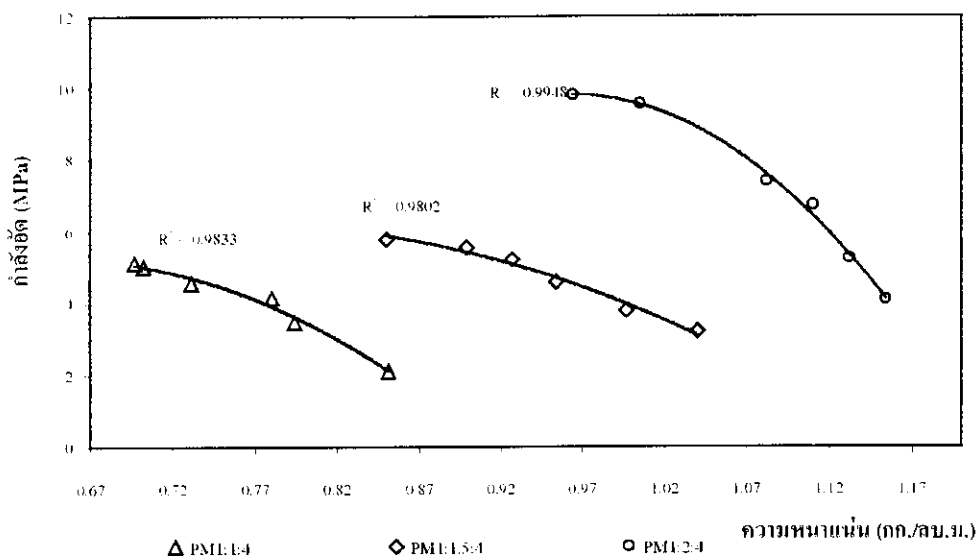
การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของตัวอย่างในการวิจัย เพื่อศึกษาความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน ว่ามีผลกระทบจริงกับสมบัติดังกล่าว โดยได้สร้างรูปแบบความสัมพันธ์เฉพาะสมบัติที่ควรคำนึงถึงอยู่เสมอก่อนนำไปประยุกต์ใช้งาน ซึ่งจัดเป็นปัจจัยที่บ่งบอกถึงคุณลักษณะเฉพาะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้กำหนดค่าตัวแปรความสัมพันธ์ ได้แก่ ค่าความหนาแน่นรวม ค่าการดูดซึมน้ำ ค่าอัตราการไหล ค่าความคงตัวและค่าการหดตัว กับค่าสมบัติเชิงกลด้านกำลังอัด ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

4.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรวมกับกำลังอัด

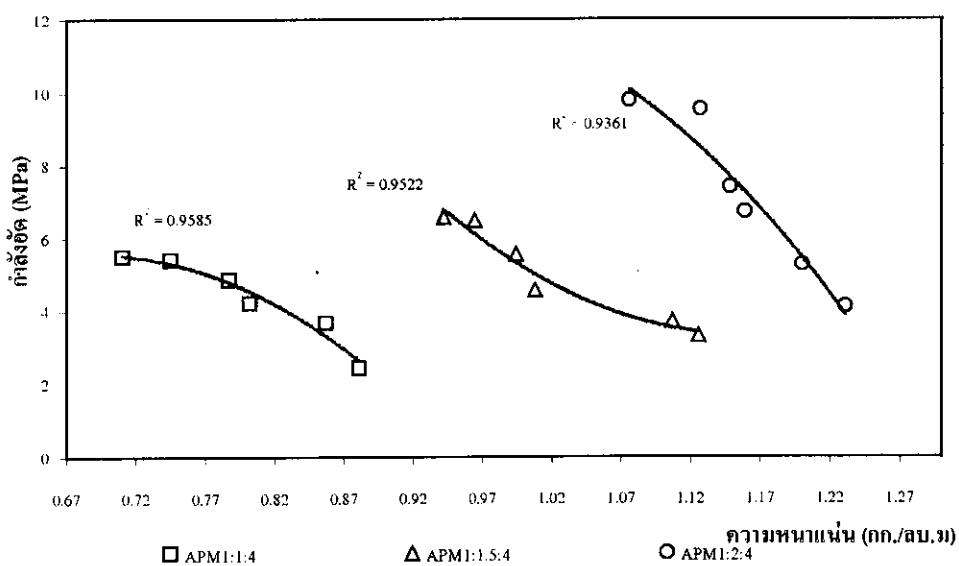
จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบชุดตัวอย่างพบว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวจะแปรผกผันต่อกัน ซึ่งสมบัติเชิงกลทั้ง 4 ประเภทหลัก คือ กำลังอัด กำลังดัด และกำลังดึง ค่าผลสมบัติดังกล่าวจะเด่นชัดหรือไม่จะมีผลพวงมาจากค่าความหนาแน่นเป็นส่วนประกอบสำคัญ โดยทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้หินเปอร์ไลต์เป็นส่วนผสม ซึ่งงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นเพื่อวิเคราะห์ผลการวิจัยของชุดตัวอย่างโดยมุ่งประเด็นไปที่สร้างอัตราส่วนผสมในมีผลสมบัติด้านความหนาแน่นน้อยสุด แต่คงให้มีค่าสมบัติเชิงกลอยู่ในเกณฑ์ข้อกำหนดในการนำไปประยุกต์ใช้งานได้ โดยพบว่ากลุ่มมอร์ตาร์เปอร์ไลต์ (PM) อัตราส่วนผสม 1:1:4 ที่อายุการบ่ม 7 วันให้ค่าสมบัติที่ควรค่าแก่การพิจารณา จัดเป็นคอนกรีตเบาโดยมีค่าความหนาแน่นและผลกำลังอัดอยู่ในข้อกำหนดมาตรฐานการนำไปใช้งาน จากผลการวิเคราะห์ชุดข้อมูลโดยใช้สมการโพลิโนเมียลพบว่ามีความสัมพันธ์แปรแบบผกผันดังแสดงในภาพประกอบ 4.18-4.20



ภาพประกอบ 4.18 กำลังอัดกับค่าความหนาแน่นรวมของมอร์ตาร์ผสมเปอร์ไลต์กลุ่ม HRRM



ภาพประกอบ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับความหนาแน่นของกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (PM)



ภาพประกอบ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับความหนาแน่นของกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (APM)

ซึ่งเป็นการพิจารณาผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงกลด้านกำลังอัดของแต่ละกลุ่มอัตราส่วนผสม โดยสามารถจัดรูปสมการความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลได้ดังสมการ (4.1)

$$\sigma_c = a\rho^2 + b\rho + c \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

โดยกำหนดให้ σ_c = กำลังอัด หน่วยเป็นเมกะพาสคัล (MPa)

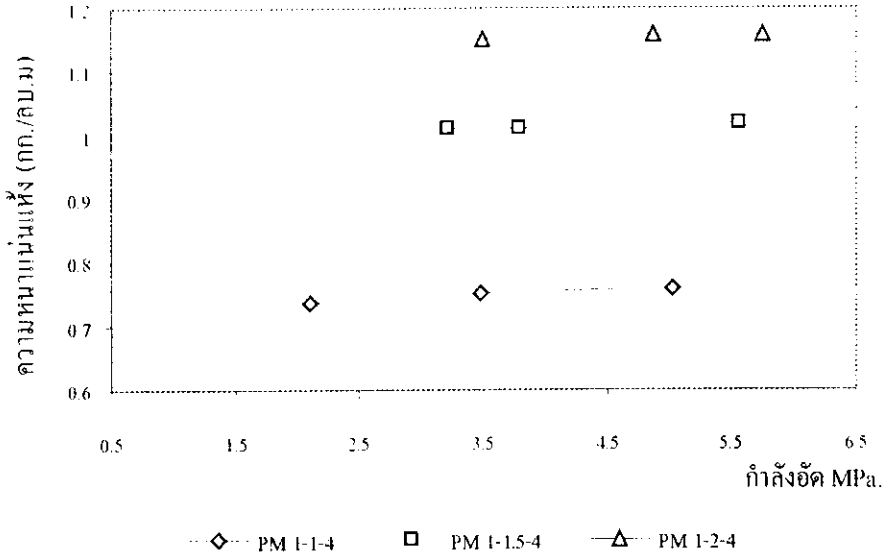
ρ = ความหนาแน่นของตัวอย่าง หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (กก/ลบ.ม)

และ a, b, c = ค่าสัมประสิทธิ์ในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ค่าสัมประสิทธิ์จากความสัมพันธ์ กำลังอัดกับความหนาแน่นของมอร์ตาร์

| ประเภท | อัตราส่วน | ค่าสัมประสิทธิ์ | | | R ² |
|--------|-----------|-----------------|----------|----------|----------------|
| | | a | b | c | |
| PM | 1:1:4 | -315 | 695.27 | - 372.64 | 0.983 |
| | 1:1.5 :4 | -85.70 | 157.78 | - 60.46 | 0.982 |
| | 1:2 :4 | 74.38 | - 172.17 | 102.90 | 0.948 |
| HRRM | 1:1:4 | -79.47 | 109.50 | - 32.15 | 0.91 |
| | 1:1.5 :4 | -220.10 | 453.50 | -226.60 | 0.92 |
| | 1:2 :4 | -151.96 | 303.28 | - 145.80 | 0.95 |
| APM | 1:1:4 | 155.62 | 299.74 | - 134.52 | 0.95 |
| | 1:1.5 :4 | -37.815 | 56.84 | - 15.10 | 0.92 |
| | 1:2 :4 | -75.272 | 97.50 | - 26.33 | 0.91 |

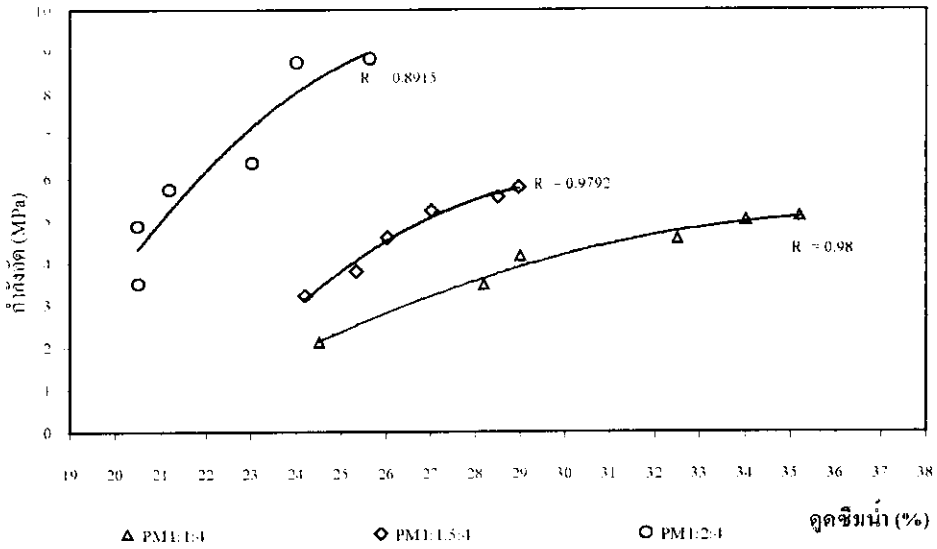
จากการนำผลค่าผลกำลังอัดมาสร้างความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นแห้ง โดยการหาค่าจากตัวอย่างหลังการทดสอบ พบว่าตัวอย่างที่อายุการบ่มเพิ่มขึ้นมีผลกำลังอัดสูงขึ้น ซึ่งจะแปรผันตรงกับค่ากำลังอัดดังผลการทดสอบตัวอย่างเชิงเปรียบเทียบที่อายุการบ่มที่ 3, 7 และ 28 วัน ดังแสดงภาพประกอบที่ 4.21



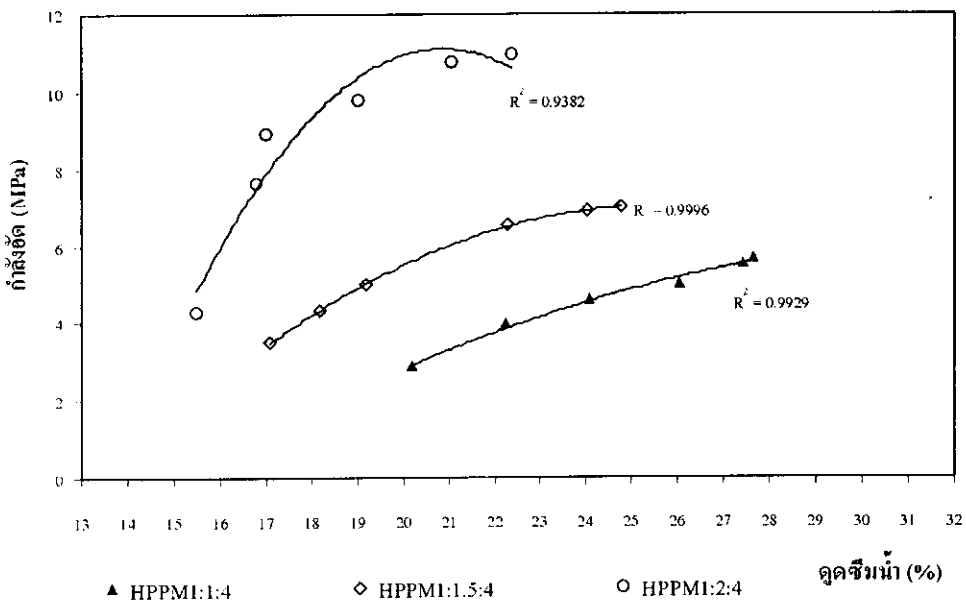
ภาพประกอบ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับความหนาแน่นแห้งของกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (PM)

4.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดซึมน้ำกับกำลังอัด

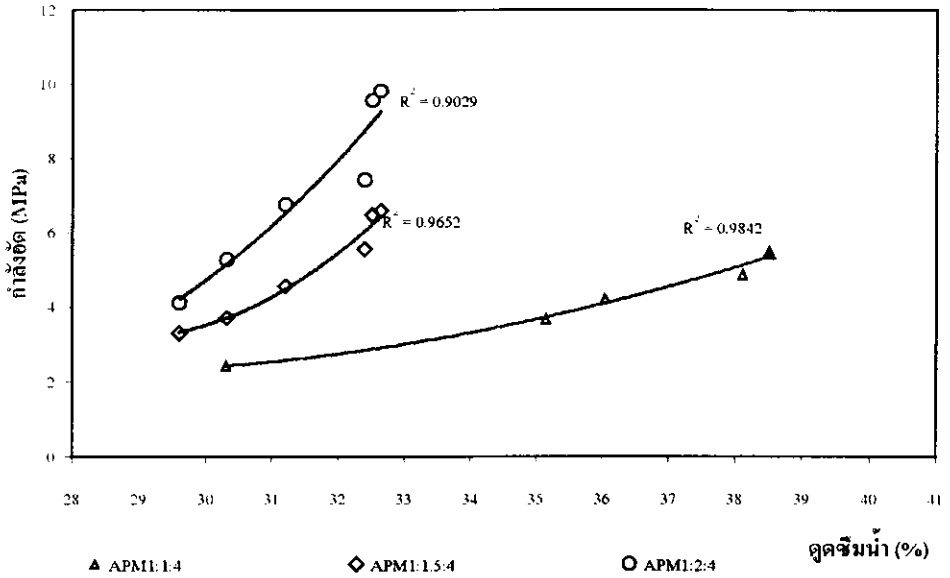
การวิเคราะห์ผลความสัมพันธ์ค่าดูดซึมน้ำกับสมบัติเชิงกลโดยเฉพาะกำลังอัดพบว่ามีความสัมพันธ์แปรผกผันตรงต่อกัน ซึ่งพบได้จากข้อเท็จจริงที่ว่าก้อนตัวอย่างที่ทิ้งไว้ในน้ำหรือยี่ดอายุการบ่มออกไปจะให้ผลการสมบัติเชิงกลที่มากกว่าก้อนตัวอย่างที่มีอายุการบ่มต่ำ เมื่อนำก้อนตัวอย่างดังกล่าวไปวิเคราะห์หาค่าดูดซึมน้ำพบว่ามีค่าสูงขึ้นมีสาเหตุมาจากก้อนตัวอย่างที่อายุการบ่มในระยะเวลาที่ยาวนานในอุณหภูมิห้อง จะเกิดการคายน้ำสูงทำให้เมื่อนำไปทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำกลับจะดูดซึมน้ำได้สูงกว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีอายุการบ่มน้ำ ดังแสดงความสัมพันธ์ในภาพประกอบ 4.22-4.25 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของค่ากำลังอัดกับค่าดูดซึมน้ำ แต่ถ้านำก้อนตัวอย่างที่มียังคงมีความชื้นสูงไปทดสอบสมบัติเชิงกลโดยตรงจะให้ค่าผลการทดสอบลดลง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการใช้งานจัดเป็นสมบัติที่ต้องนำมาพิจารณาในลำดับต้นๆ เสมอ



ภาพประกอบ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังยึดกับค่าความชื้นน้ำ
ของกุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (PM)



ภาพประกอบ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังยึดกับค่าความชื้นน้ำรวม
ของกุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (HRRM)



ภาพประกอบ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังอัดกับค่าดูชื้นน้ำ
ของกุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (APM)

จากรูปความสัมพันธ์โดยอาศัยรูปแบบของโพลิโนเมียลจะได้รูปแบบของสมการ (4.2) เพื่อการนำไปวิเคราะห์ผลการวิจัยและประยุกต์ใช้วิเคราะห์ผลลัพท์วัสดุประสงค์

$$\sigma_c = a\gamma^2 + b\gamma + c \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

โดยกำหนดให้ σ_c = กำลังอัด หน่วยเป็นเมกะพาสคัล (MPa)

γ = ค่าดูชื้นน้ำ (%)

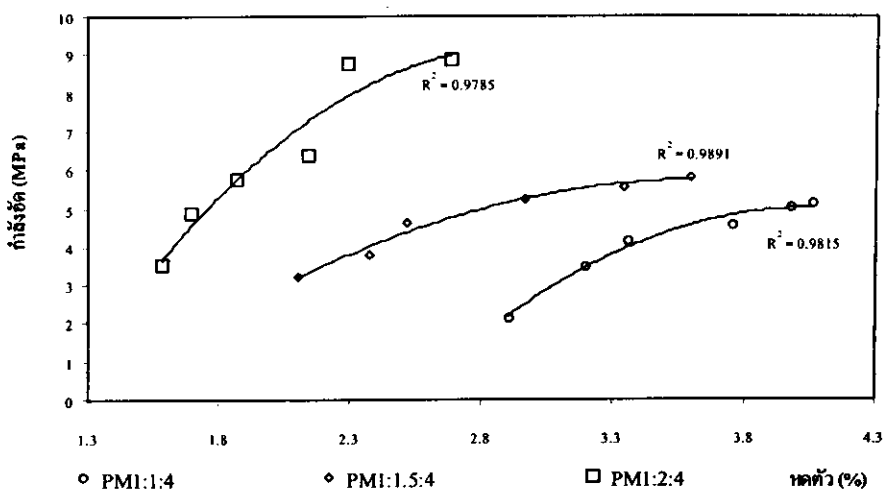
และ a, b, c = ค่าสัมประสิทธิ์ในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของ กำลังอัดกับค่าคูคซิมน้ำของมอร์ตาร์

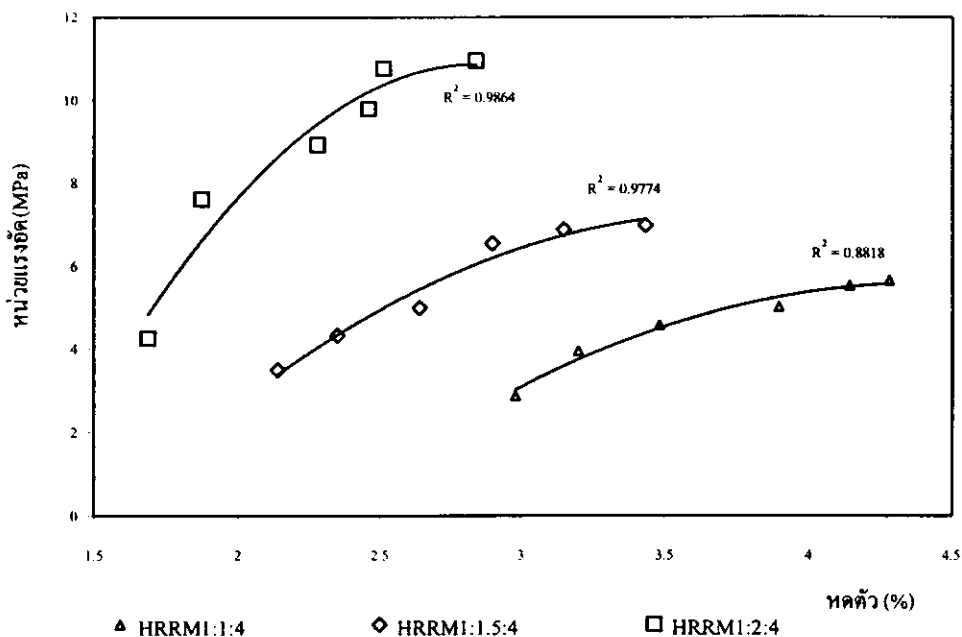
| ประเภทมอร์ตาร์ | อัตราส่วน | a | b | c | R ² |
|----------------|-----------|-------|---------|---------|----------------|
| PM | 1:1:4 | -0.09 | 5.21 | - 63.33 | 0.89 |
| | 1:1.5 :4 | 0.07 | 4.32 | - 60.04 | 0.97 |
| | 1:2 :4 | -0.01 | 1.40 | - 20.95 | 0.98 |
| HRRM | 1:1:4 | -0.21 | 9.14 | - 84.27 | 0.93 |
| | 1:1.5 :4 | -0.04 | 2.54 | - 25.46 | 0.99 |
| | 1:2 :4 | 0.01 | 1.21 | - 14.33 | 0.99 |
| APM | 1:1:4 | 0.15 | - 7.81 | 102.23 | 0.90 |
| | 1:1.5 :4 | 0.21 | - 12.33 | 180.33 | 0.96 |
| | 1:2 :4 | 0.02 | - 1.42 | 21.904 | 0.98 |

4.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการหาคัดัวแบบแห้งกับกำลังอัด

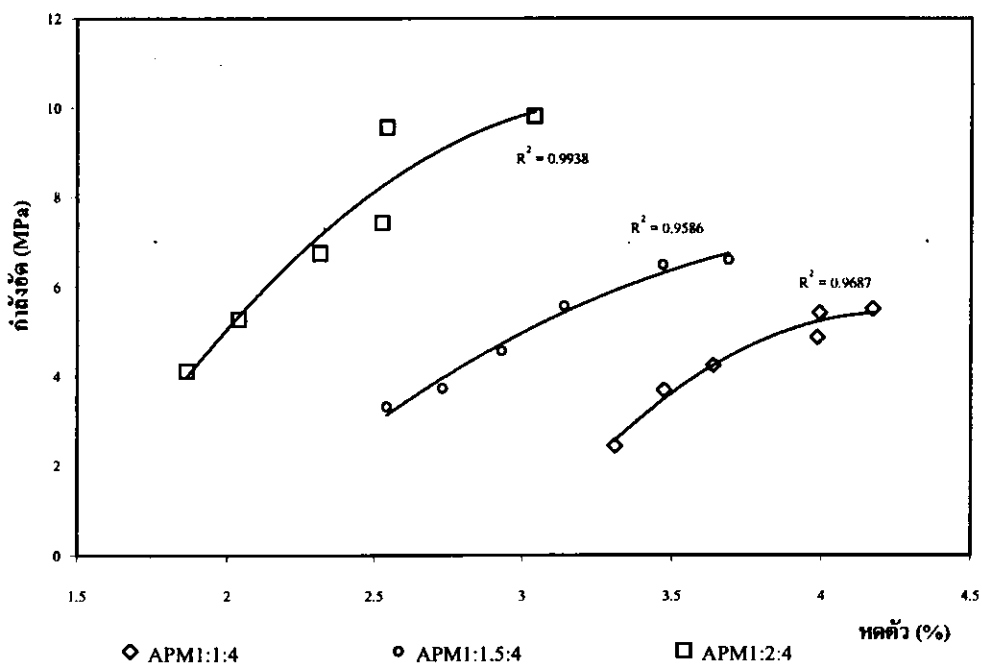
ผลความสัมพันธ์ระหว่างการหาคัดัวแบบแห้งกับกำลังอัด พบว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวมีความแปรผันตรงต่อกันซึ่งเป็นผลที่ต้องนำไปคำนึงถึงสถานะที่จะเกิดขึ้นกับผิวหน้าของงาน จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างกลุ่มมอร์ตาร์ควบคุม (OPM) กับกลุ่มมอร์ตาร์ผสมเพอร์ไลต์ทุกชุดตัวอย่างพบว่ากลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์มีค่าหาคัดัวสูงกว่า แต่ก็มิได้เกินเกณฑ์การนำไปพิจารณาใช้ในงานคอนกรีตงาน ซึ่งค่าการหาคัดัวนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่สะสมอยู่ในมวลรวมเป็นสำคัญ ค่าผลสมบัติเชิงกลด้านกำลังอัดจะด้อยลงดังแสดงในภาพประกอบ 4.25-4.27 แสดงความสัมพันธ์ของผลการหาคัดัวกับค่ากำลังอัดของกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์



ภาพประกอบ 4.25 กำลังอัดกับค่าการหาคัดัวแบบแห้งกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (PM)



ภาพประกอบ 4.26 กำลังยึดกับค่าการหดรัดตัวของกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (HRRM)



ภาพประกอบ 4.27 กำลังยึดกับค่าการหดรัดตัวของกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (APM)

จากผลการวิเคราะห์ภาพประกอบ 4.25-4.27 สามารถสร้างความสัมพันธ์โพลิโนเมียลของชุดข้อมูลได้ดังแสดงในสมการ (4.4) ดังต่อไปนี้

$$\sigma_c = aS_g^2 + bS_g + c \quad \dots\dots\dots (4.4)$$

โดยกำหนดให้ σ_c = กำลังอัด หน่วยเป็นเมกะพาสคัล (MPa)

S_g = ร้อยละการหดตัว (%)

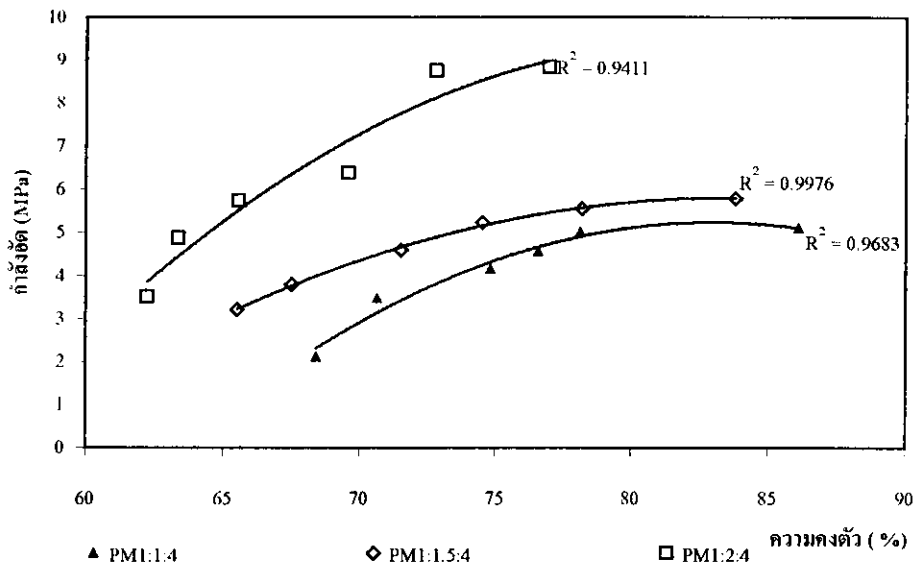
และ a, b, c = ค่าสัมประสิทธิ์ในตารางที่ 4.16 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.16 ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของกำลังอัดกับค่าการหดตัวของมอร์ตาร์

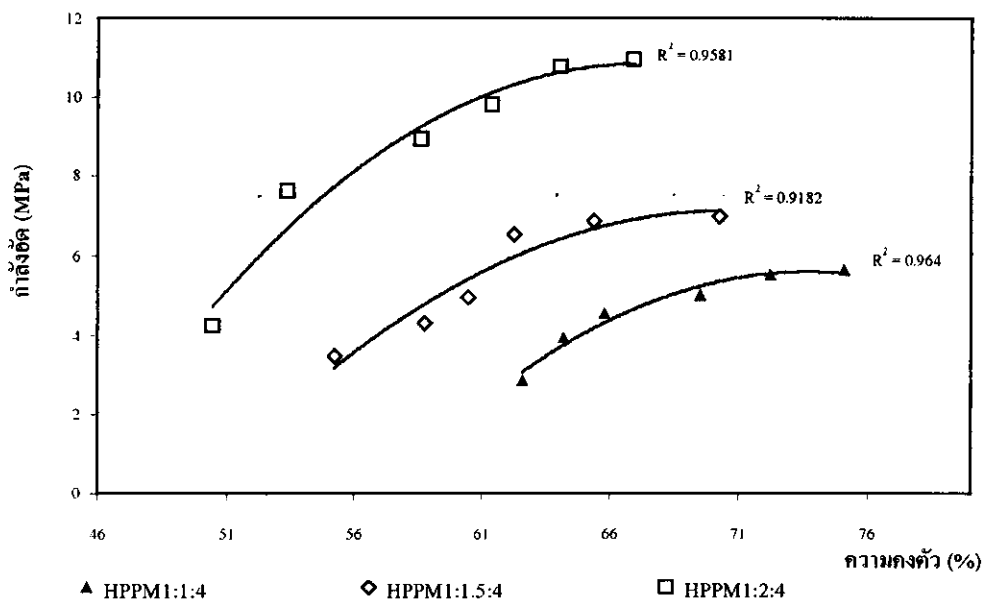
| ประเภทมอร์ตาร์ | อัตราส่วน | A | b | c | R ² |
|----------------|-----------|-------|---------|---------|----------------|
| PM | 1:1:4 | -2.17 | 17.58 | - 30.57 | 0.98 |
| | 1:1.5:4 | 2.32 | - 7.51 | 8.71 | 0.98 |
| | 1:2:4 | -5.96 | 34.81 | - 37.54 | 0.81 |
| HRRM | 1:1:4 | 1.47 | 13.03 | - 23.11 | 0.98 |
| | 1:1.5:4 | 2.91 | - 8.64 | 7.86 | 0.97 |
| | 1:2:4 | 7.67 | - 22.40 | 19.42 | 0.88 |
| APM | 1:1:4 | -3.05 | 26.21 | -50.67 | 0.99 |
| | 1:1.5:4 | 2.06 | - 5.08 | 3.748 | 0.95 |
| | 1:2:4 | 0.21 | 6.80 | - 7.63 | 0.96 |

4.4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความคงตัวกับกำลังอัด

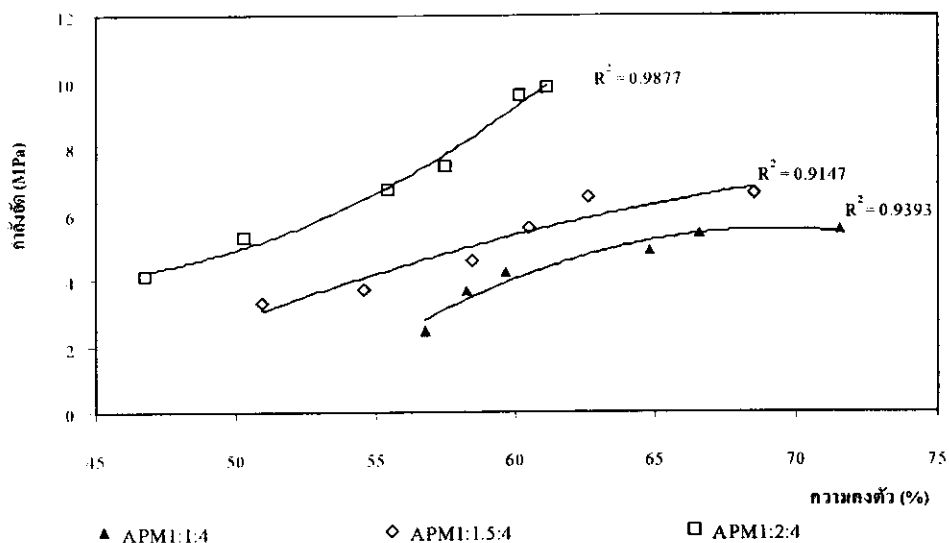
ความสัมพันธ์ระหว่างความคงตัวกับกำลังอัดของกลุ่มตัวอย่างพบว่ามีความสัมพันธ์ในรูปแบบการแปรผันตรงต่อกัน และพบว่าโดยเฉลี่ยกลุ่มมอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมของหินเปอร์ไลต์เผาสุกในส่วนผสมส่งผลทำให้ผลความคงตัวสูงขึ้นกว่ามอร์ตาร์ควบคุม (OPM) ดังแสดงความสัมพันธ์ไว้ในภาพประกอบ 4.28-30



ภาพประกอบ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับค่าความคงตัวสำหรับ
กลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (PM)



ภาพประกอบ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับค่าความคงตัวสำหรับ
กลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (HRRM)



ภาพประกอบ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับค่าความคงตัว
สำหรับกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (APM)

จากผลการสร้างความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลพบว่าผลการวิจัยดังกล่าวความสัมพันธ์เชิงแปรผันตรงต่อกัน ดังแสดงในสมการ (4.5)

$$\sigma_c = aD_u^2 + bD_u + c \quad \dots\dots\dots (4.5)$$

โดยกำหนดให้ σ_c = กำลังอัด หน่วยเป็นเมกะพาสคัล (MPa)

D_u = ความคงตัว (%)

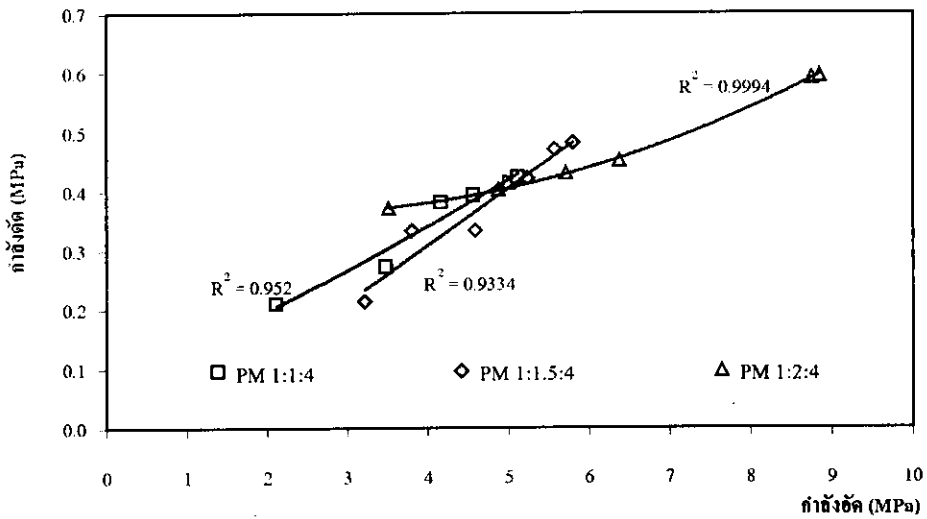
และ a, b, c = สัมประสิทธิ์ในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของกำลังอัดกับค่าความคงตัว

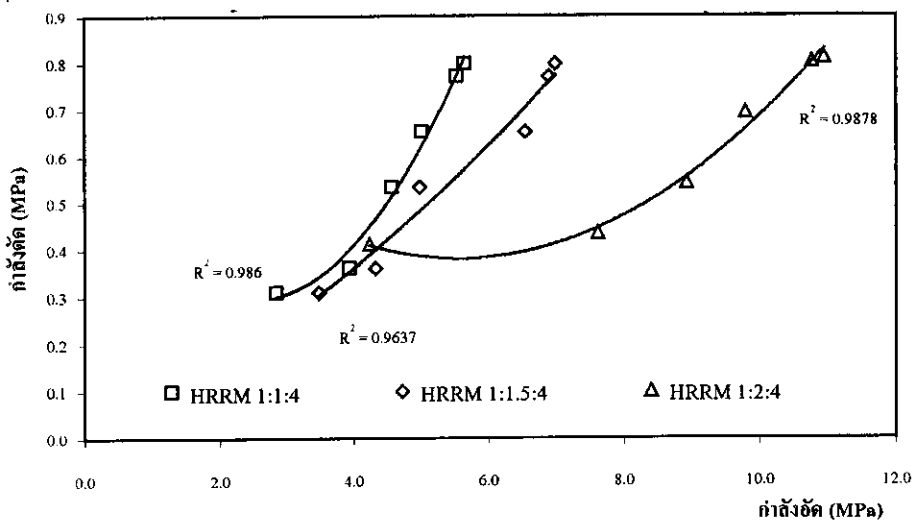
| ประเภทมอร์ตาร์ | อัตราส่วน | a | b | c | R ² |
|----------------|-----------|-------|--------|----------|----------------|
| PM | 1:1:4 | -0.01 | 2.23 | - 82.68 | 0.94 |
| | 1:1.5:4 | -0.02 | 2.93 | - 87.54 | 0.99 |
| | 1:2:4 | 0.01 | - 1.49 | 35.81 | 0.96 |
| HRRM | 1:1:4 | -0.01 | 1.34 | - 50.19 | 0.95 |
| | 1:1.5:4 | -0.01 | 2.36 | - 76.16 | 0.91 |
| | 1:2:4 | -0.01 | 0.76 | - 24.01 | 0.96 |
| APM | 1:1:4 | -0.01 | 2.28 | - 89.62 | 0.97 |
| | 1:1.5:4 | -0.02 | 2.98 | - 104.57 | 0.91 |
| | 1:2:4 | -0.01 | 2.43 | - 78.74 | 0.93 |

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับกำลังดัด

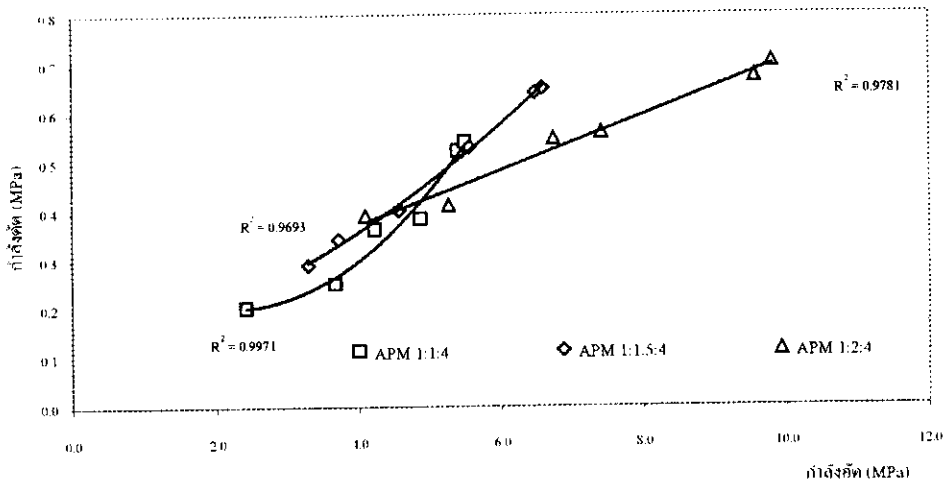
จากผลการทดสอบพบว่าค่ากำลังอัดกับค่ากำลังดัดจะแปรผันตรงต่อกัน แต่จะมีค่าผลต่างดังกล่าวต่างกันมากโดยค่ากำลังดัดจะให้ค่าผลการทดสอบต่ำกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 95 ของกำลังอัด ดังแสดงผลความสัมพันธ์ในภาพประกอบที่ 4.31-4.33



ภาพประกอบ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับกำลังดัดมอร์ตาร์ผสมเพอร์ไลต์ (PM)



ภาพประกอบ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัด กับกำลังดัดมอร์ตาร์ผสมเพอร์ไลต์ (HRRM)



ภาพประกอบ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากําลังอัดกับกําลังดึงคอนกรีตอัดแรงผสมเพอร์ไลต์ (APM)

จากความสัมพันธ์ข้างต้นสามารถนำมาสร้างสมการโพลิโนเมียลได้ ดังแสดงในสมการ (4.7)

$$\sigma_c = aB^2 + bB + c \quad \dots\dots\dots (4.7)$$

โดยกำหนดให้ σ_c = กําลังอัด หน่วยเป็นเมกะพาสคัล (MPa)

B = กําลังดึง หน่วยเป็นเมกะพาสคัล (MPa)

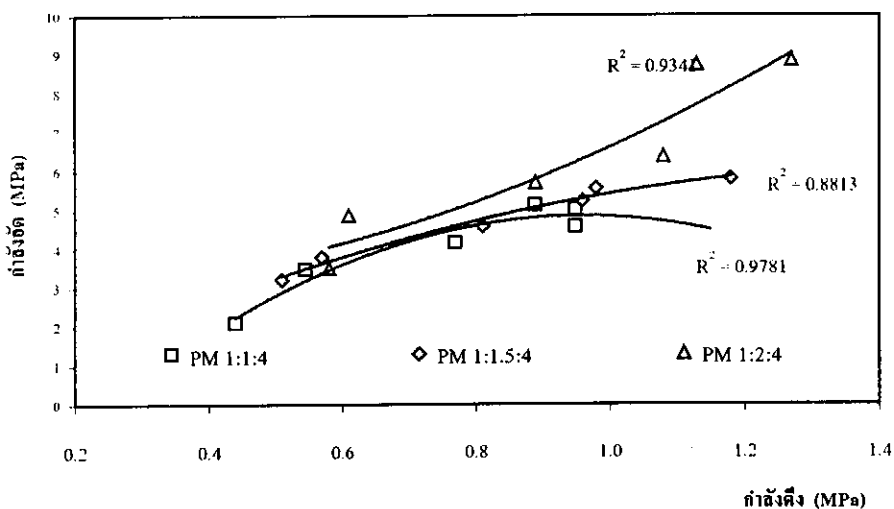
และ a, b, c = ค่าสัมประสิทธิ์ในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ค่าสัมประสิทธิ์จากความสัมพันธ์ กําลังอัดกับกําลังดึงของมอร์ตาร์

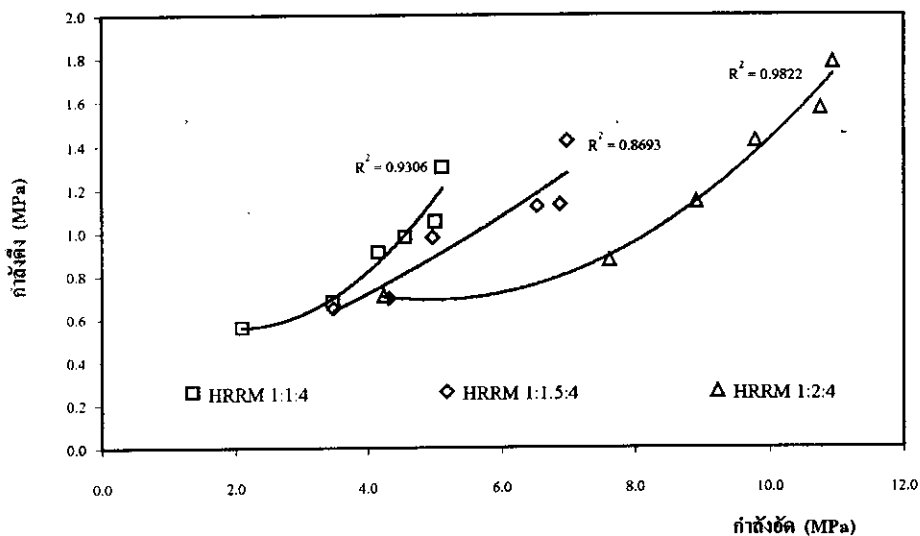
| ประเภท | อัตราส่วน | ค่าสัมประสิทธิ์ | | | R ² |
|--------|-----------|-----------------|-------|-------|----------------|
| | | a | b | c | |
| PM | 1:1:4 | 0.01 | 0.09 | -0.07 | 0.93 |
| | 1:1.5:4 | 0.01 | 0.02 | 0.39 | 0.95 |
| | 1:2:4 | 0.01 | 0.06 | 0.07 | 1 |
| HRRM | 1:1:4 | 0.02 | 0.17 | 0.86 | 0.99 |
| | 1:1.5:4 | 0.07 | 0.05 | 0.02 | 0.96 |
| | 1:2:4 | 0.05 | 0.27 | 0.64 | 0.99 |
| APM | 1:1:4 | 0.03 | -0.13 | 0.36 | 0.96 |
| | 1:1.5:4 | 0.01 | 0.03 | 0.11 | 1 |
| | 1:2:4 | 0.01 | 0.05 | 0.15 | 0.98 |

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับค่ากำลังดึง

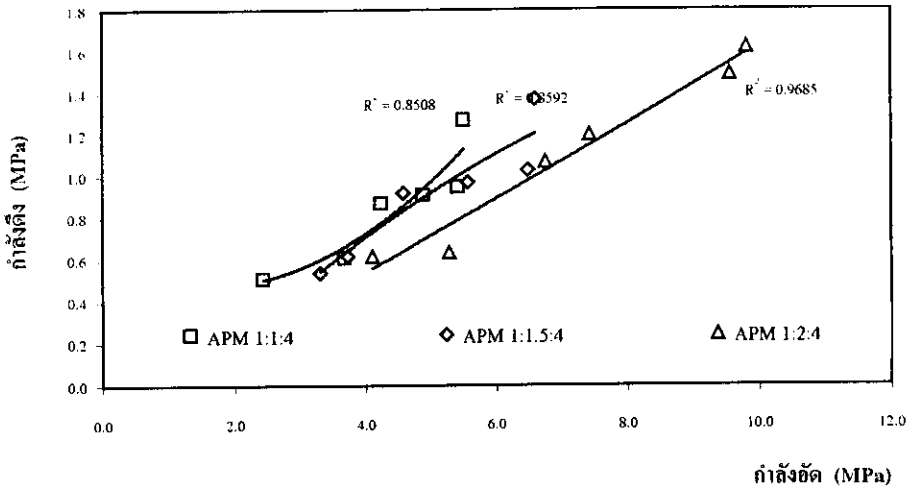
จากผลการทดสอบกำลังอัดและกำลังดึงพบว่ามีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงต่อกัน ซึ่งค่ากำลังดึงโดยเฉลี่ยแล้วมีค่าประมาณร้อยละ 10 ของค่ากำลังอัด จากผลดังกล่าวสามารถนำมาสร้างรูปแบบความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลโพลีโนเมียลได้ดังแสดงภาพประกอบ 4.34-4.36



ภาพประกอบ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัด กับกำลังดึงมอร์ตาร์ผสมเพอร์ไลต์ (PM)



ภาพประกอบ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับกำลังดึงมอร์ตาร์ผสมเพอร์ไลต์ (HRRM)



ภาพประกอบ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับกำลังดึงมอร์ต้ารผสมเพอร์ไลต์ (APM)

จากความสัมพันธ์ข้างต้นสามารถนำมาสร้างสมการ โพลีโนเมียลได้ ดังแสดงในสมการ (4.8)

$$\sigma_c = aT^2 + bT + c \quad \dots\dots\dots (4.8)$$

โดยกำหนดให้ σ_c = กำลังอัด หน่วยเป็นเมกะพาสคัล (MPa)

T = กำลังดึง หน่วยเป็นเมกะพาสคัล (MPa)

และ a, b, c = ค่าสัมประสิทธิ์ในตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.19 ค่าสัมประสิทธิ์จากความสัมพันธ์ กำลังอัดกับกำลังดึงของมอร์ต้าร

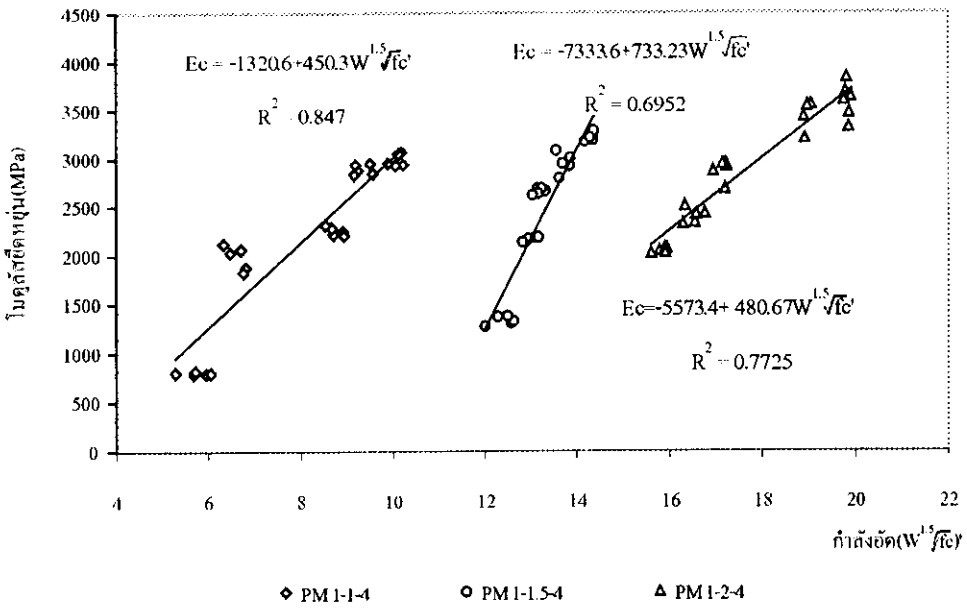
| ประเภท | อัตราส่วน | ค่าสัมประสิทธิ์ | | | R ² |
|--------|-----------|-----------------|-------|-------|----------------|
| | | a | b | c | |
| PM | 1:1:4 | -2.9 | 8.6 | -0.36 | 0.93 |
| | 1:1.5:4 | 4.2 | -0.6 | 3.01 | 0.88 |
| | 1:2:4 | -0.9 | 18 | -4 | 0.98 |
| HRRM | 1:1:4 | 0.06 | -0.28 | 0.8 | 0.93 |
| | 1:1.5:4 | 0.01 | 0.09 | 0.21 | 0.87 |
| | 1:2:4 | 0.02 | -0.29 | 1.4 | 0.98 |
| APM | 1:1:4 | 0.04 | -0.1 | -0.4 | 0.85 |
| | 1:1.5:4 | 0.01 | 0.16 | -0.12 | 0.85 |
| | 1:2:4 | -2.9 | 8.6 | -0.36 | 0.97 |

4.7 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของก้อนตัวอย่าง

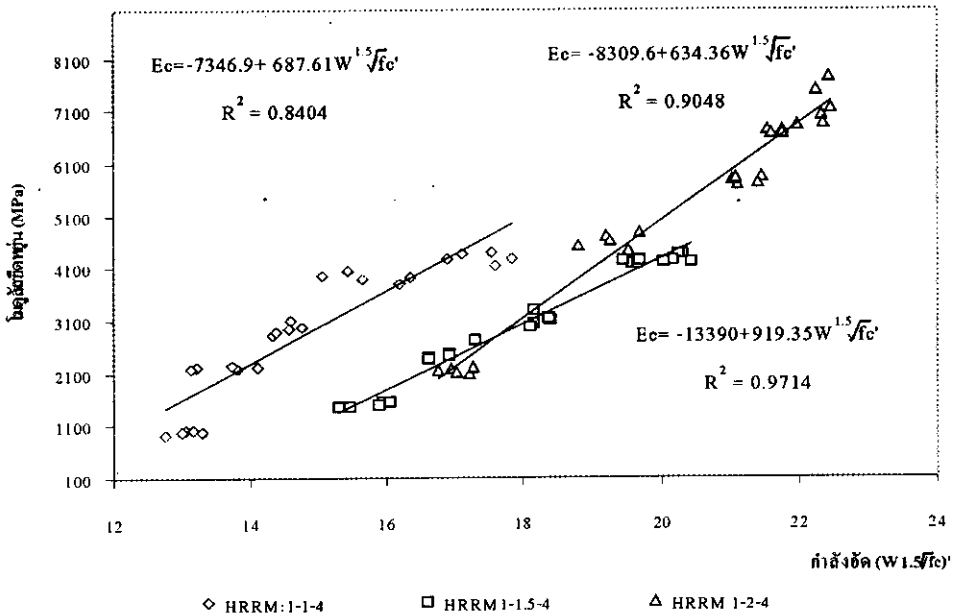
ผลการทดสอบกำลังอัดซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ผลหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น(modulus of elasticity) ของชุดตัวอย่างได้อาศัยผลความความสัมพันธ์จากสมการ (3.8) โดยผลการทดสอบของตัวอย่างอัตราส่วนผสม 1:1:4, 1:1.5:4 และ 1:2:4 ที่อายุการบ่ม 3-7-14 และ 28 วัน พบว่าสมบัติของการยืดหยุ่นของมอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมของเพอร์ไลต์พบว่าอัตราส่วน 1-1-4 มีค่าความเครียดมากกว่าอัตราส่วนผสมเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมน้อย จากผลความเครียดพบว่าอัตราส่วนที่ใช้ปริมาณเพอร์ไลต์อัตราส่วนผสมน้อยจะให้ค่าเครียดต่ำ ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วจะให้ผลต้านกำลังอัดสูงกว่าตัวอย่างก้อนมอร์ตาร์ที่ใช้เพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมจำนวนมากซึ่งทำให้ค่าความเครียดสูงกว่าปกติและให้ค่าผลกำลังอัดน้อยกว่า ซึ่งผลการทดสอบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นได้แสดงผลค่าเฉลี่ยการทดสอบไว้ในตารางที่ 4.20 และภาพประกอบ 4.37-4.39 แสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับค่ากำลังอัดซึ่งอยู่ในรูปความสัมพันธ์ของ $W^{1.5}\sqrt{f_c}$ ของสมการ ACI 318-89

ตารางที่ 4.20 ผลการทดสอบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ย

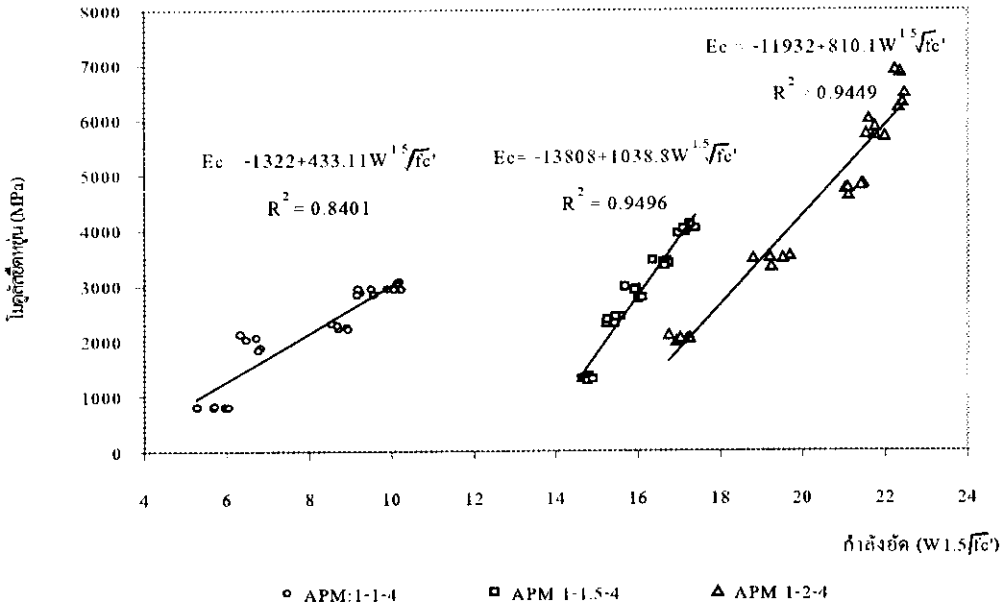
| ประเภทมอร์ตาร์ | อัตราส่วน | ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น(MPa) ในแต่ละอายุการบ่ม (วัน) | | | | |
|----------------|-----------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 3 | 7 | 14 | 21 | 28 |
| OPM | 1:2 | 102320.11 | 100461.80 | 105667.61 | 102221.93 | 110039.61 |
| PM | 1:1:4 | 804.36 | 2004.92 | 2255.59 | 2891.24 | 2986.43 |
| | 1:1.5:4 | 1332.16 | 2160.70 | 2654.40 | 2948.70 | 3212.49 |
| | 1:2:4 | 2054.73 | 2407.04 | 2875.34 | 3415.14 | 3649.30 |
| HRRM | 1:1:4 | 986.03 | 2209.87 | 2936.27 | 3915.07 | 4290.61 |
| | 1:1.5:4 | 1495.18 | 2484.02 | 3111.39 | 4199.12 | 4376.24 |
| | 1:2:4 | 2148.68 | 4602.18 | 5774.93 | 6721.05 | 7237.56 |
| APM | 1:1:4 | 1358.81 | 2305.36 | 2948.14 | 3434.01 | 3958.10 |
| | 1:1.5:4 | 1313.63 | 2369.63 | 2870.22 | 3409.22 | 4009.47 |
| | 1:2:4 | 2050.72 | 3477.15 | 4764.13 | 5812.94 | 6566.03 |



ภาพประกอบ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและค่ากำลังอัด
กลุ่มมอร์ตาร์ผสมเพอร์ไลต์ (PM)



ภาพประกอบ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและค่ากำลังอัด
กลุ่มมอร์ตาร์ผสมเพอร์ไลต์ (HRRM)



ภาพประกอบ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและค่ากำลังอัด
กลุ่มมอร์ตาร์ผสมเพอร์ไลต์ (APM)

จากผลการวิเคราะห์ผลการทดสอบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นพบว่าประเภทมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (PM) อัตราส่วนผสม 1:1.5:4 มีระดับความเชื่อมั่นของผลการทดสอบมากกว่าอัตราส่วนผสมอื่น และโดยภาพรวมของผลการทดสอบของตัวอย่างมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ทุกกลุ่มตัวอย่าง พบว่าจะมีค่าต่ำกว่าสมการของ ACI 381-89 สำหรับผลการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นในกลุ่มของมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ทั้ง 3 กลุ่ม พบว่ากลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (HRRM) มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูงกว่าทุกอัตราส่วน ร้อยละ 11.56-49.58 ของกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (PM) และร้อยละ 6.40-9.27 ของกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (APM)

สำหรับกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (PM) จะมีค่าต่ำกว่าทุกอัตราส่วนผสมดังแสดงผลเชิงเปรียบเทียบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของก้อนมอร์ตาร์ตัวอย่างในตารางที่ 4.20 ในข้างต้น และจากภาพประกอบ 4.38-4.39 ดังกล่าวพบว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของตัวอย่างมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ สามารถนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงอัดกับค่าน้ำหนักของตัวอย่างของตัวอย่างในแต่ละช่วงอายุการบ่ม ซึ่งการสร้างความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ใช้ความสัมพันธ์โดยวิธีถดถอยเชิงเส้น จะได้สมการความสัมพันธ์ของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับค่ากำลังอัดของชุดก้อนตัวอย่าง PM, HRRM และ APM อัตราส่วนผสม 1:1:4, 1:1.5:4 และ 1:2:4 ดังแสดงในสมการ (4.9)

$$E_c = A + B W^{1.5} \sqrt{f_c'} \dots\dots\dots (4.9)$$

โดยกำหนดให้ E_c = โมดูลัสยืดหยุ่น หน่วยเป็นเมกะพาสคัล (MPa)

W = น้ำหนัก หน่วยเป็นกิโลกรัม (กก.)

f_c' = กำลังอัด หน่วยเป็นเมกะพาสคัล (MPa)

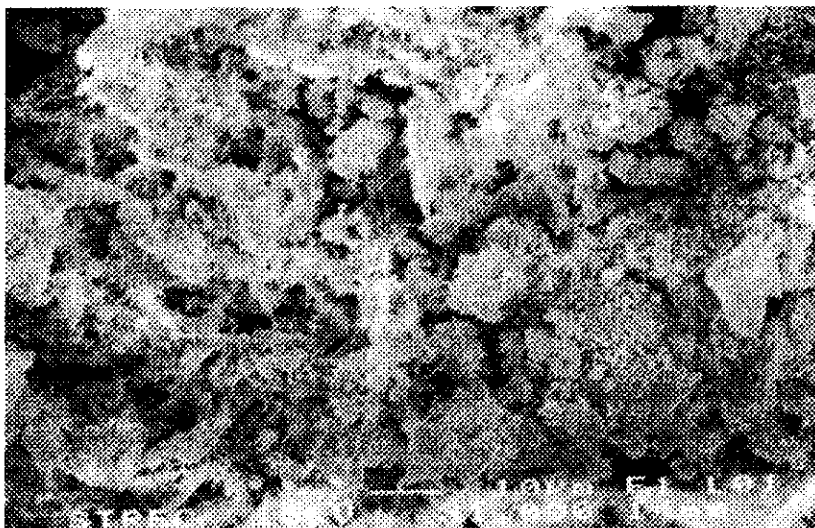
และ A, B = ค่าสัมประสิทธิ์ในตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นในแต่ละกลุ่ม

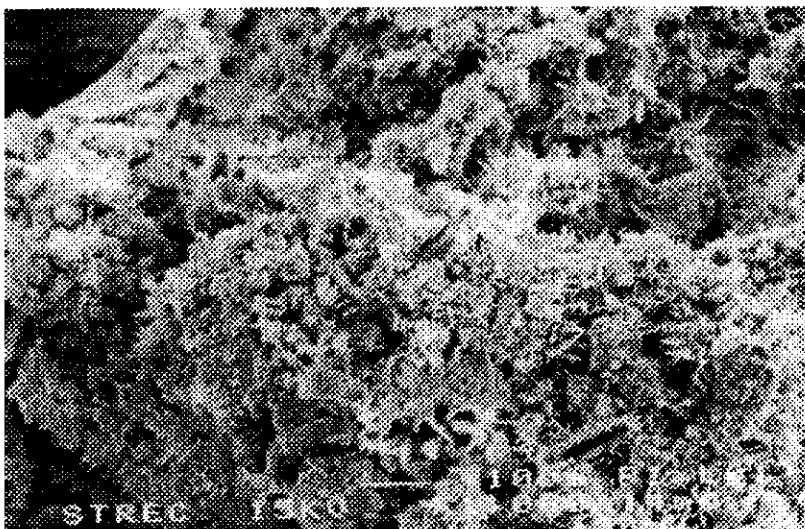
| ประเภทมอร์ตาร์ | อัตราส่วน | A | B | R ² |
|----------------|-----------|----------|---------|----------------|
| PM | 1-1-4 | -50.40 | 336.18 | 0.88 |
| | 1-1.5-4 | -7333.6 | 733.23 | 0.63 |
| | 1-2-4 | -5573.4 | 480.67 | 0.77 |
| HRRM | 1-1-4 | -7346.9 | 687.61 | 0.84 |
| | 1-1.5-4 | -8309.6 | 634.36 | 0.90 |
| | 1-2-4 | -11390 | 916.35 | 0.94 |
| APM | 1-1-4 | -1322 | 433.11 | 0.84 |
| | 1-1.5-4 | -13808 | 1038.81 | 0.94 |
| | 1-2-4 | -1193.32 | 810.12 | 0.94 |

4.8 โครงสร้างจุลภาคของมอร์ตาร์

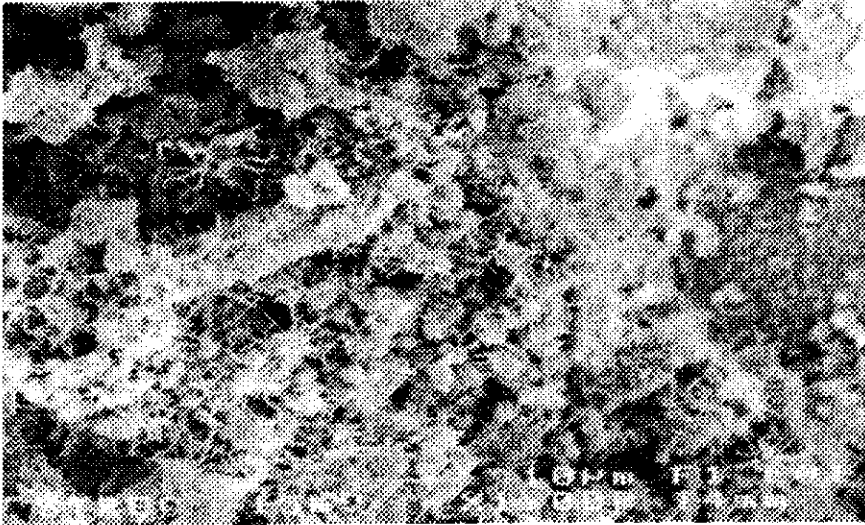
จากภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคหินเพอร์ไลต์มีโครงสร้างที่เกาะกันหลวมๆ มีรูโพรงภายในซึ่งนอกจากสมบัติด้านความเบาแล้วยังมีสารประกอบหลักบางประเภทที่จะช่วยเสริมการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันเช่นอะลูมินา ออกไซด์ (Al_2O_3) เหล็กออกไซด์ (FeO_2) และสารองค์ประกอบอื่นๆ อีกหลายประเภทซึ่งช่วยเสริมการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างสารซีเมนต์เฟสกับวัสดุมวลรวมให้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในระยะของการเพิ่มอายุการบ่มที่ยาวนานขึ้น อันเป็นผลต่อดีต่อการสร้างความแกร่งระหว่างเนื้อก้อนตัวอย่างได้เป็นอย่างดี ได้แสดงในภาพประกอบ 4.40-4.43 พบว่าเกิดโครงร่างแหอีตริงไจต์ (ettringite) ของกลุ่มมอร์ตาร์แต่ละประเภทที่การบ่มอายุของตัวอย่าง 7 วัน ซึ่งว่าตัวอย่างมอร์ตาร์ควบคุม (OPM) มีการเกิด โครงร่างแหอีตริงไจต์น้อยกว่ากลุ่มมอร์ตาร์ผสมเพอร์ไลต์



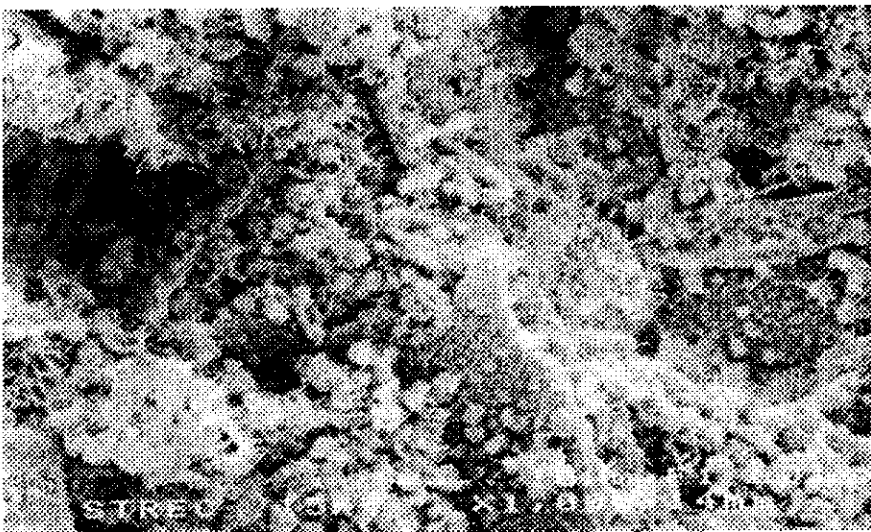
ภาพประกอบ 4.40 ภาพถ่ายจุลทรรศน์แบบ SEM ของมอร์ตาร์ผสมเพอร์ไลต์อัตราส่วนผสม 1:2 บ่ม 7 วัน มีรูเข็ม และ โพรงเล็กๆ โครงสร้างประสานของแคลเซียมซิลิเกตไฮดรต (กำลังขยาย 1000 เท่า)



ภาพประกอบ 4.41 ภาพถ่ายจุลทรรศน์แบบ SEM ของมอร์ตาร์ผสมเพอร์ไลต์อัตราส่วนผสม 1:1:4 บ่ม 7 วัน มีรูเข็มและ โพรงเล็กเกิดขึ้น ทั่วแคลเซียมอะลูมิเนต อยู่ขอบแคลเซียมซิลิเกตไฮดรต และเริ่มปรากฏ อิตตรินใจค์ขึ้นทั่วไป (กำลังขยาย 1000 เท่า)



ภาพประกอบ 4.42 ภาพถ่ายจุลทรรศน์แบบ SEM ของมอร์ต้าร์ผสมเพอร์ไลต์อัตราส่วนผสม 1:1.5:4 บ่ม 7 วัน มีรูเข็ม และ อิตตริไนต์ขึ้นมากในด้านซ้ายของภาพ (กำลังขยาย 1000 เท่า)



ภาพประกอบ 4.43 ภาพถ่ายจุลทรรศน์แบบ SEM ของมอร์ต้าร์ผสมเพอร์ไลต์อัตราส่วนผสม 1:2:4 บ่ม 7 วัน มีรูเข็ม และโพรงกว้าง เกิดอิตตริไนต์น้อย และแคลเซียมซิลิเกตไฮดรตแผ่นที่บิ่น (กำลังขยาย 1000 เท่า)

4.9 การวิเคราะห์ผลการวิบัติของก้อนตัวอย่าง

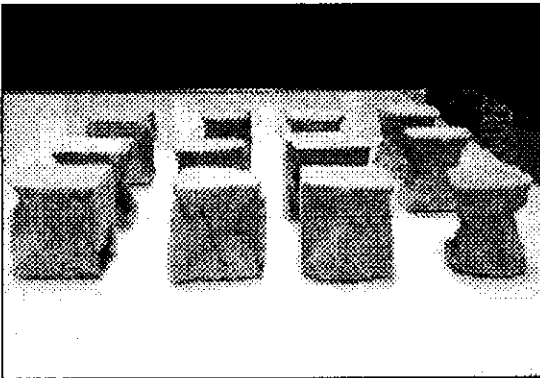
จากลักษณะการวิบัติของก้อนมอร์ตาร์ตัวอย่างหลังการทดสอบพบว่าสามารถจัดกลุ่มการตัวอย่างการวิบัติได้ 2 ลักษณะ โดยวิเคราะห์จากผลของแรงที่มากกระทำเนื่องจากแรงอัดดังนี้

4.9.1 การแตกแบบแยกออก (Splitting failure)

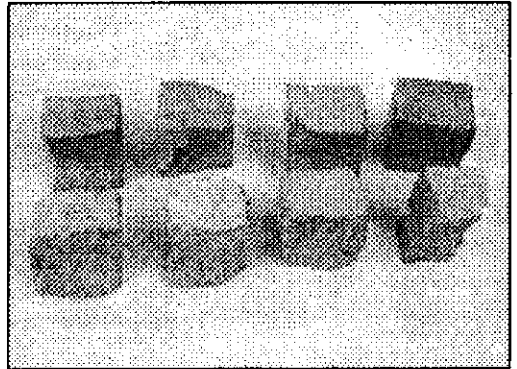
ซึ่งจะพบได้จากก้อนมอร์ตาร์ตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:2:4 โดยเฉลี่ยเกือบทุกกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นก้อนตัวอย่างที่มีกำลังสูงที่สุดในกลุ่มอัตราส่วนที่ใช้ผสม ดังแสดงในภาพประกอบ 4.44 ก) โดยมีการวิบัติออกมาแบบเฉือน (shear failures) ซึ่งโดยเฉลี่ยจะมีปลายกรวยอยู่ที่กึ่งกลางของหน้าตัด ซึ่งจะมีลักษณะการแตกคล้ายการระเบิด (explosive failure)

4.9.2 การแตกแบบรวมลักษณะการแตก (Combination shear and splitting failure)

พบได้จากก้อนตัวอย่างที่มีการใช้อัตราส่วนผสม 1:1:4 และอัตราส่วนผสม 1:1.5:4 ซึ่งเป็นก้อนตัวอย่างที่มีความแข็งแรงน้อยกว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีการวิบัติในข้อ 4.9.1 ในกลุ่มอัตราส่วนที่ใช้ผสมดังแสดงในภาพประกอบ 4.44 ข)



ก)



ข)

ภาพประกอบ 4.44 การวิบัติของก้อนมอร์ตาร์หลังการทดสอบแรงอัด ก) การวิบัติของมอร์ตาร์อัตราส่วนผสม 1:2:4 และ ข) การวิบัติของมอร์ตาร์อัตราส่วนผสม 1:4:5 และ 1:1.5:4

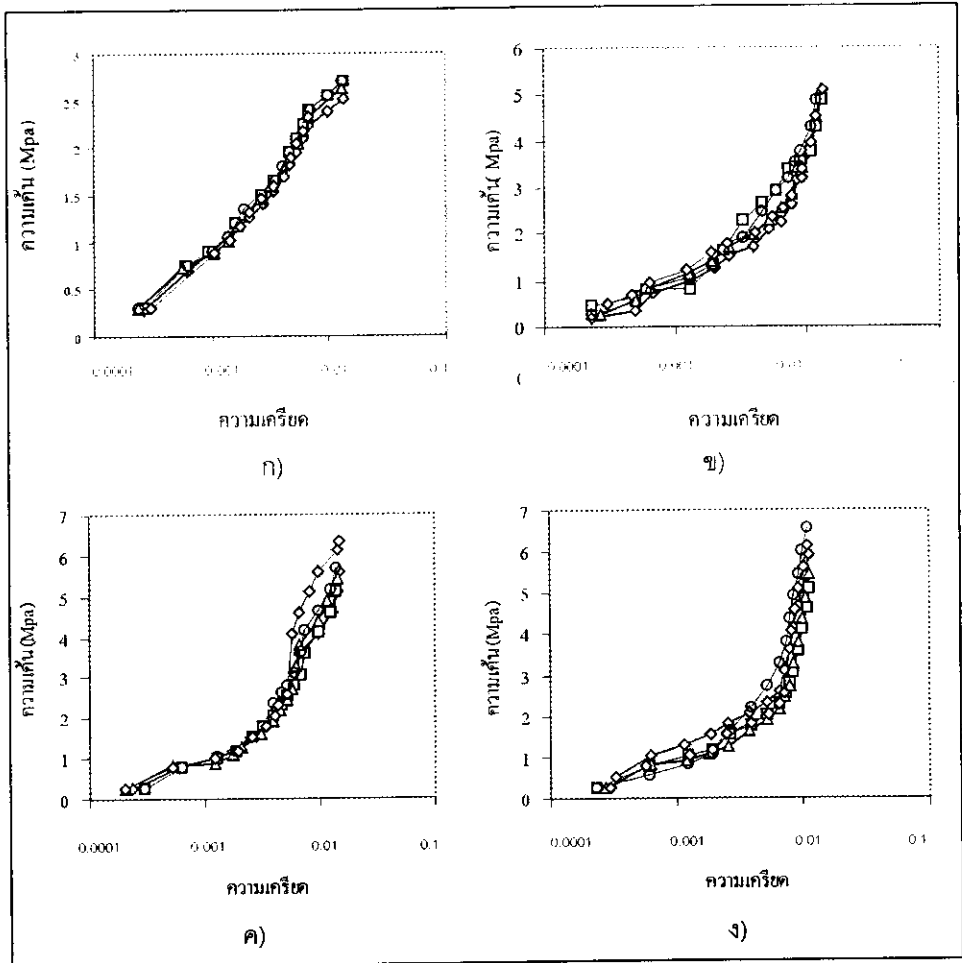
4.10 พฤติกรรมของมอร์ตาร์ด (Mode of Failure)

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์รูปทรงเส้นโค้งระหว่างความเค้นกับความเครียด (stress-strain curves) สามารถจำแนกพฤติกรรมโดยรวมได้ 4 ประเภท ซึ่งเป็นผลจากค่าเฉลี่ยของการทดสอบ ดังแสดงในภาพประกอบ 4.45 มีอายุการบ่มที่ 28 วัน

จากการพิจารณาผลความสัมพันธ์ของค่าความเค้นกับความเครียดในภาพรวมของกลุ่มตัวอย่างมอร์ตาร์ดควบคุม (OPM) มีผลของยึดหยุ่นโดยภาพรวมที่เกิดขึ้น ในภาพประกอบ 4.45 ก) ซึ่งเส้นความโค้งระหว่างความเค้นกับความเครียด (stress-strain curve) พบว่าโดยเฉลี่ยเกือบจะเป็นเส้นตรงโดยตลอดจนก่อนตัวอย่างวิบัติ ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ให้ค่ากำลังสูงจนถึงค่ากำลังอัดประลัยเป็นแนวเดียวกันตลอด ส่วนกลุ่มมอร์ตาร์ดเพอร์ไลต์ที่ผสมสารลดปริมาณน้ำ (HRRM) จะพบว่ามีสถานะยึดหยุ่น-พลาสติก-ยึดหยุ่น (elastic -plastic – elastic) เป็นผลความสัมพันธ์ของค่าสมบัติแบบยึดหยุ่นในตอนแรก ต่อจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นแบบพลาสติกในช่วงกลางของผลความสัมพันธ์ และจะกลับมาเป็นยึดหยุ่นในช่วงท้าย ซึ่งเป็นผลสัมพันธ์ในระชณะแนวความเครียดจะน้อยกว่าในแนวความเค้น ดังแสดงในภาพประกอบ 4.45 ข)

สำหรับกลุ่มมอร์ตาร์ดเพอร์ไลต์ (PM) จะพบว่าเกิดสถานะ พลาสติก-ยึดหยุ่น (plastic-elastic) ดังแสดงในภาพประกอบ 4.45 ค) พบว่าลักษณะพฤติกรรมนี้จะพบอยู่ในผลการทดสอบกลุ่มมอร์ตาร์ดเพอร์ไลต์ (PM) อัตราส่วนผสม 1:1:4 และ 1:1.5:4 เป็นผลพฤติกรรมทำนองเดียวซึ่งจะเกิดระชณะพลาสติกในช่วงความเครียดในระชณะแรกยาวนานกว่ากลุ่มมอร์ตาร์ดเพอร์ไลต์ (HRRM) ต่อจากนั้นจะเปลี่ยนไปเป็นผลสัมพันธ์แบบยึดหยุ่นและอีกครั้งก่อนตัวอย่างจะเกิดการวิบัติ ซึ่งเป็นกลุ่มมอร์ตาร์ดที่มีการใช้ปริมาณหินเพอร์ไลต์ทุกเป็นส่วนผสมสูงเมื่อเทียบกับกลุ่มมอร์ตาร์ดควบคุม (OPM) และมอร์ตาร์ดเพอร์ไลต์กลุ่มอื่นๆ และกลุ่มมอร์ตาร์ดเพอร์ไลต์ที่ผสมสารกักกระจายฟองอากาศ (APM) จะพบว่าเกิดสถานะ พลาสติก-ยึดหยุ่น (passaic-elastic) พบว่าเป็นการเกิดขึ้นกับมอร์ตาร์ดเพอร์ไลต์ (APM) เป็นส่วนใหญ่ซึ่งจะเกิดสถานะพลาสติกในช่วงแรกที่เป็นแนวชันมากกว่ากลุ่มมอร์ตาร์ดเพอร์ไลต์ (PM) ต่อจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นสภาวะยึดหยุ่นจนกระทั่งเกิดการวิบัติดังแสดงในภาพประกอบ 4.45 ง)

จากผลการวิเคราะห์พฤติกรรมของค่าความเค้นกับความเครียดข้างต้น พบว่าการใช้หินเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมจะมีผลที่แปรผัน โดยตรงกับความสัมพันธ์ดังกล่าวด้านการเกิดพฤติกรรมแบบพลาสติกมากขึ้นกว่ามอร์ตาร์ดควบคุม (OPM)



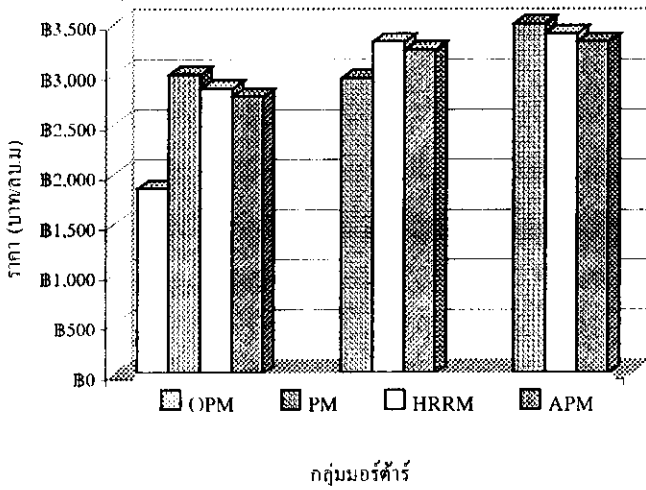
ภาพประกอบ 4.45 ตัวอย่างลักษณะความเค้นกับความเครียด อายุการบ่ม 28 วัน แต่ละประเภท ก) มอร์ตาร์ควบคุม (OPM) ข) มอร์ตาร์เฟอร์ไรต์ (HRRM) ค) มอร์ตาร์เฟอร์ไรต์ (PM) และ ง) มอร์ตาร์เฟอร์ไรต์ (APM)

4.11 การวิเคราะห์ต้นทุนเบื้องต้น

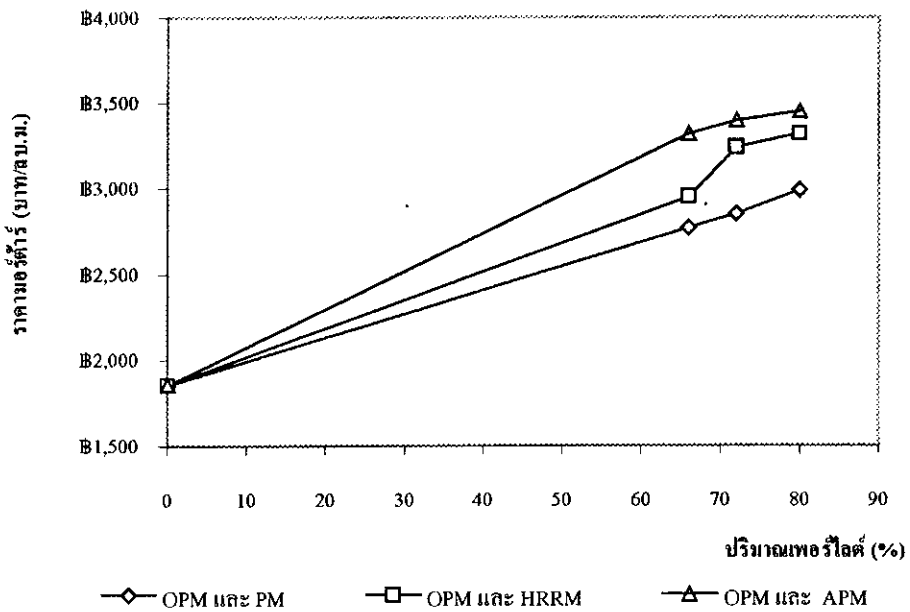
การวิเคราะห์ต้นทุนเบื้องต้นจะยังคงเน้นถึงขั้นตอนและกระบวนการสร้างก้อนมอร์ตาร์และการนำไปใช้งานเป็นหลักการใช้มอร์ตาร์ผสมเพอร์ไลต์ทำให้มีน้ำหนักที่เบา ซึ่งผลดังกล่าวจะส่งผลดีต่อการพัฒนาไปทำเป็นคอนกรีตเบา สำหรับรายละเอียดค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อหน่วยเปรียบเทียบกับราคาคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ทั่วไปในปัจจุบัน (พ.ศ. 2546-2547) ซึ่งสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ต้นทุนดังได้แสดงในตารางที่ 4.22 โดยข้อมูลดังกล่าวเป็นผลการเปรียบเทียบราคาต่อหน่วยวัสดุในปริมาตร 1 ลบ.ม. ซึ่งยังไม่ได้พิจารณาค่าดำเนินการผลิต และจากตารางการเปรียบเทียบราคาต้นทุนการสร้างผลิตภัณฑ์ของกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ในแต่ละกลุ่มตัวอย่างข้างต้นพบว่า กลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ที่ผลิตได้ราคาโดยเฉลี่ยมีราคาสูงกว่ามอร์ตาร์ทั่วไป (OPM) และถ้าเปรียบเทียบกับกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ด้วยกันอื่นเนื่องมาจากราคาต้นทุนของสารเพิ่มในการปรับสมบัติของส่วนผสมแล้วพบว่า กลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (HRRM) มีการใช้ต้นทุนในการผลิตสูงกว่าอัตราส่วนผสมอื่น ดังแสดงผลการวิเคราะห์ต้นทุนเชิงเปรียบเทียบในเบื้องต้นของแต่ละกลุ่มอัตราส่วนผสมในภาพประกอบ 4.46-4.47

ตารางที่ 4.22 การเปรียบเทียบต้นทุนการสร้างผลิตภัณฑ์ผลิตตัวอย่าง

| ประเภทและอัตราส่วนผสม | | รายละเอียดปริมาณและราคา | | | | | | | | | | | | รวมเงิน |
|-----------------------|------|-------------------------|------|----------------|-----|--------------|------|----------|------|-------------|-----|--------|-----|---------|
| | | ซีเมนต์ | | ทรายละเอียด | | หินเพอร์ไลต์ | | น้ำสะอาด | | สารลดปริมาณ | | สารกัก | | |
| | | กก. | บาท | ม ³ | บาท | กก. | บาท | ลิตร | บาท | ลิตร | บาท | ลิตร | บาท | |
| 1-2 | OPM | 1040 | 1560 | 0.66 | 165 | - | - | 520 | 78 | - | - | - | - | 1,855 |
| 1-1-4 | PM | 1040 | 1560 | 0.14 | 35 | 0.6 | 50.7 | 520 | 78 | - | - | - | - | 2,992 |
| | HRRM | 1040 | 1560 | 0.14 | 35 | 0.6 | 50.7 | 364 | 54.6 | - | - | - | - | 2,953 |
| | APM | 1040 | 1560 | 0.14 | 35 | 0.6 | 50.7 | 364 | 54.6 | - | - | 15.6 | 546 | 3,499 |
| 1-1.5-4 | PM | 1040 | 1560 | 0.19 | 48 | 0.5 | 46.2 | 364 | 54.6 | - | - | - | - | 2,852 |
| | HRRM | 1040 | 1560 | 0.19 | 48 | 0.5 | 46.2 | 364 | 54.6 | 15.6 | 468 | - | - | 3,320 |
| | APM | 1040 | 1560 | 0.19 | 48 | 0.5 | 46.2 | 364 | 54.6 | - | - | 15.6 | 546 | 3,398 |
| 1-2-4 | PM | 1040 | 1560 | 0.23 | 58 | 0.5 | 42.5 | 364 | 54.6 | - | - | - | - | 2,772 |
| | HRRM | 1040 | 1560 | 0.23 | 58 | 0.5 | 42.5 | 364 | 54.6 | 15.6 | 468 | - | - | 3,240 |
| | APM | 1040 | 1560 | 0.23 | 58 | 0.5 | 42.5 | 364 | 54.6 | - | - | 15.6 | 546 | 3,318 |



ภาพประกอบ 4.46 การเปรียบเทียบต้นทุนด้านวัสดุการผลิตมอร์ตาร์



ภาพประกอบ 4.47 การเปรียบเทียบแนวโน้มของต้นทุนด้านวัสดุการผลิตมอร์ตาร์เพอร์ไลต์