

บทที่ 3

ผลการทดลอง

จากข้อมูลทั้งหมดที่ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก สามารถนำมาสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

3.1 คุณสมบัติของเถ้าลอยแม่เมาะ

เถ้าลอยแม่เมาะที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีโดย บริษัทสยามซีเมนต์จำกัด ซึ่งมีผลการทดสอบดังนี้

3.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

เถ้าลอยแม่เมาะมีคุณสมบัติทางกายภาพดังแสดงในตารางที่ 3.1 พบว่ามีความละเอียด (Fineness) น้อยกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยพิจารณาจากค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (Surface Area) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2133 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีค่าเท่ากับ 3420 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม และมีปริมาณอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 45 ไมครอนมากเกินไปข้อกำหนดมาตรฐาน ASTM อยู่ร้อยละ 4 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของเถ้าลอยแม่เมาะมีค่า 2.04 ซึ่งน้อยกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีค่าเท่ากับ 3.15 ส่วนปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำหนัที่สูญหายจากการเผา (Loss on Ignition) มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.18 และ 0.94 ตามลำดับมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดตามมาตรฐาน ASTM C618

3.1.2 ส่วนประกอบทางเคมี

ตารางที่ 3.1 แสดงถึงส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าลอยแม่เมาะเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และข้อกำหนดสำหรับสารปอซโซลานเพื่อใช้ผสมคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C618 โดยมีสารประกอบที่ต้องพิจารณาดังนี้

ก. สารประกอบออกไซด์หลัก

ออกไซด์หลักของเถ้าลอยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานประกอบด้วย สารประกอบซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) มาตรฐาน ASTM C618 ได้กำหนดผลรวมปริมาณของออกไซด์ดังกล่าวในเถ้าลอยประเภท Fu และ C ให้มีอย่างน้อยร้อยละ 70 และ 50 ตามลำดับ เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าเถ้าลอยนั้นสามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้มากพอ จากการวิเคราะห์พบว่าเถ้าลอยแม่เมาะที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีผลรวมของปริมาณออกไซด์หลักคือ ซิลิกา อะลูมินาและเฟอร์ริกเท่ากับร้อยละ 61.46 สามารถจัดเป็นสารปอซโซลานประเภท C ส่วนสารประกอบแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซึ่งมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันในเถ้าลอย พบว่ามีปริมาณร้อยละ 6.94 ซึ่งน้อยกว่าเถ้าลอยประเภท C โดยทั่วไปซึ่งมีค่าประมาณร้อยละ 15 ถึง 23 (พิชัย, 2542) จากส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าลอยแม่เมาะดังกล่าวทำให้

คอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในงานวิจัยนี้มีกำลังรับแรงอัดในช่วงต้นต่ำกว่าคอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วน แต่กำลังรับแรงอัดในช่วงหลังจะใกล้เคียงกัน

ข. สารประกอบออกไซด์รอง

สารประกอบออกไซด์รองที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีตคือ ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) และโซเดียมออกไซด์ (Na_2O) พบว่ามีปริมาณเท่ากับร้อยละ 0.66 และ 0.64 ตามลำดับ โดยมาตรฐาน ASTM C618 กำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 5 และ 1.5 ตามลำดับ สามารถนำเถ้าลอยแม่เมาะมาใช้ผสมในคอนกรีตได้

ค. สารเชื่อมประสาน

สารประกอบออกไซด์หลักในเถ้าลอยสามารถนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารเชื่อมประสานตามสมการของBOGUEได้ (ชัชวาลย์, 2536) ดังแสดงในตารางที่ 3.2 กับรูปที่ 3.1พบว่าเถ้าลอยแม่เมาะมีปริมาณไตรแคลเซียมซัลเฟต (C_3S) น้อยกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มาก คือมีค่าเท่ากับ -365.12 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปูนซีเมนต์มีค่าเท่ากับ 59.07 เปอร์เซ็นต์ แต่เถ้าลอยแม่เมาะมีปริมาณของไดแคลเซียมซัลเฟต (C_2S) สูงกว่ามากคือมีค่าเท่ากับ 371.32 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปูนซีเมนต์มีค่าเท่ากับ 13.43 เปอร์เซ็นต์ สำหรับไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) และเตตราแคลเซียม อลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF) มีปริมาณใกล้เคียงกัน

3.2 ผลการทดลองของแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก

3.2.1 ปริมาณน้ำต่อสารเชื่อมประสาน

ตารางที่ 3.3 กับรูปที่ 3.2 แสดงถึงปริมาณน้ำต่อสารเชื่อมประสาน (w/c) ที่ได้จากการทดสอบความชื้นเหลวโดยวิธีบี เพื่อให้อัตราส่วนผสมต่างๆกันมีความชื้นเหลวเท่ากัน คือมีค่าเวลารี้อยู่ที่ 20 วินาที โดยใช้คอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะทดแทนปูนซีเมนต์โดยน้ำหนักในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 สัญลักษณ์ที่ใช้แทนอัตราส่วนผสมต่างๆได้แก่ C, F1, F2, F3, F4 และ F5 ตามลำดับ

จากการทดสอบพบว่าคอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะทุกอัตราส่วนผสมมีค่าปริมาณน้ำต่อสารเชื่อมประสานต่ำกว่าคอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะด้วยกันพบว่าคอนกรีตที่มีเถ้าลอยแม่เมาะผสมอยู่ในอัตราส่วนร้อยละ 30 มีค่าปริมาณน้ำต่อสารเชื่อมประสานต่ำสุดโดยมีค่าเท่ากับ 0.432 ส่วนคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 10 มีค่าปริมาณน้ำต่อสารเชื่อมประสานสูงสุดโดยมีค่าเท่ากับ 0.437 ส่วนคอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วนมีค่าปริมาณน้ำต่อสารเชื่อมประสานเท่ากับ 0.440

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3.2 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยแม่เมาะมากขึ้นมีผลให้ปริมาณน้ำต่อสารเชื่อมประสานเปลี่ยนไป โดยเมื่อผสมเถ้าลอยแม่เมาะเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 ถึง 50 จะทำให้ปริมาณน้ำต่อสารเชื่อมประสานลดลง โดยจะลดต่ำสุดที่ปริมาณเถ้าลอยแม่เมาะเท่ากับร้อยละ 30 เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยอีกเป็นอัตราส่วนร้อยละ 40 และ 50 อัตราส่วนปริมาณน้ำต่อสารเชื่อมประสานจะเพิ่มขึ้นและคงที่ แสดงให้เห็นว่าการใช้เถ้าลอยแม่เมาะทดแทนปูนซีเมนต์ในปริมาณที่เหมาะสม ช่วยลดปริมาณน้ำต่อสารเชื่อมประสานลงได้มาก

3.2.2 เวลาที่ใช้ในการบดอัด

ตารางที่ 3.4 กับรูปที่ 3.3 แสดงถึงเวลาเฉลี่ยจำนวน 5 ตัวอย่างที่ใช้ในการหล่อแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกให้ความหนาแน่นเท่ากับ 2.10 ตัน/ม.³ เพื่อให้ได้ความหนาแน่นเท่ากับคอนกรีตบล็อกที่ผลิตโดยใช้เครื่องจักรอัตโนมัติ โดยใช้คอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะทดแทนปูนซีเมนต์โดยน้ำหนักในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 สัญลักษณ์ที่ใช้แทนอัตราส่วนผสมต่างๆ ได้แก่ C, F1, F2, F3, F4 และ F5 ตามลำดับ ปริมาณน้ำต่อสารเชื่อมประสานมีค่าตั้งแต่ 0.432 ถึง 0.440 แปรเปลี่ยนตามปริมาณเถ้าลอยเพื่อให้ได้ความชื้นเหลวเท่ากันคือมีค่าเวลาวิบีเท่ากับ 20 วินาที

แท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ล้วนใช้เวลาในการบดอัด(Compaction) มากที่สุดคือ 165 วินาที เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแท่งตัวอย่างที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะด้วยกัน พบว่าแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 40 ใช้เวลาในการบดอัดต่ำสุดคือ 120 วินาทีลดลงจากส่วนผสมที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วนถึงร้อยละ 27 ส่วนแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 10 ใช้เวลาในการบดอัดสูงสุดคือ 135 วินาที สำหรับคอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนอื่นใช้เวลาในการบดอัดอยู่ในช่วงระหว่าง 132 ถึง 135 วินาที

จากรูปที่ 3.3 แสดงให้เห็นว่าคอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะทุกอัตราส่วนผสมใช้เวลาในการบดอัดน้อยกว่าคอนกรีตที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ล้วน และพบว่าเมื่อผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นมีผลให้เวลาในการบดอัดลดลง และจะลดต่ำสุดเมื่อปริมาณเถ้าลอยแม่เมาะเท่ากับร้อยละ 40 ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกับการทดลองในการหาปริมาณน้ำต่อสารเชื่อมประสาน

3.2.3 กำลังรับแรงอัด

ตารางที่ 3.5ก และ 3.5ข แสดงถึงกำลังอัดเฉลี่ยจำนวน 3 ตัวอย่างที่อายุ 7, 14, 28 และ 60 วัน ของแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาด 10×20 ซม. ความหนาแน่น (Density) เท่ากันทุกส่วนผสมคือ 2.10 ตัน/ม.³ ใช้ปริมาณเถ้าลอยแม่เมาะแทนที่ปูนซีเมนต์โดยน้ำหนักตั้งแต่ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 สัญลักษณ์ที่ใช้แทนอัตราส่วนผสมต่างๆ ได้แก่ C, F1, F2, F3, F4 และ F5 ตามลำดับ ปริมาณน้ำต่อสารเชื่อมประสานมีค่าตั้งแต่ 0.432 ถึง 0.440 แปรเปลี่ยนตามปริมาณเถ้าลอยเพื่อให้ได้ความชื้นเหลวเท่ากันคือมีค่าเวลาวิบี 20 วินาที

แท่งตัวอย่างคอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ล้วนให้กำลังอัดสูงกว่าแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะทุกอัตราส่วนผสมและทุกช่วงเวลา โดยแท่งตัวอย่างคอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ล้วนมีกำลังรับแรงอัดที่ 7, 14, 28 และ 60 วันเท่ากับ 93, 103, 111 และ 128 กก./ชม.²ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแท่งตัวอย่างที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะด้วยกัน พบว่าที่เวลา 7 และ 14 วันแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 10 ให้กำลังรับแรงอัดสูงสุดโดยมีค่าเท่ากับ 88 และ 90 กก./ชม.² โดยคิดเป็นร้อยละ 95 และ 87 ของแท่งตัวอย่างคอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ล้วน สำหรับเวลาที่ 28 และ 60 วัน แท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 30 ให้กำลังรับแรงอัดสูงสุดโดยมีค่าเท่ากับ 106 และ 129 กก./ชม.² โดยคิดเป็นร้อยละ 95 และ 101 ของแท่งตัวอย่างคอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ล้วน ส่วนแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่มีเถ้าลอยแม่เมาะผสมอยู่ในอัตราส่วนร้อยละ 50 ให้กำลังรับแรงอัดต่ำสุดทุกช่วงเวลา โดยมีกำลังอัดที่ 7, 14, 28 และ 60 วันเท่ากับ 51, 65, 78 และ 97 กก./ชม.²ตามลำดับโดยคิดเป็น ร้อยละ 55, 63, 70 และ 76 ของแท่งตัวอย่างคอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ล้วน

รูปที่ 3.4ก แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับกำลังอัดของแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ความชันของกราฟแสดงถึงอัตราการพัฒนากำลังอัดเมื่อเทียบกับเวลา พบว่าแท่งตัวอย่างที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วนและแท่งตัวอย่างที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 50 มีอัตราการพัฒนากำลังอัดค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดระยะเวลา 7 ถึง 60 วัน สำหรับแท่งตัวอย่างที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 10 และ 40 พบว่าในช่วงอายุตั้งแต่ 7 ถึง 28 วันมีอัตราการพัฒนากำลังอัดต่ำกว่าแท่งตัวอย่างที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วน แต่ในช่วงเวลา 28 ถึง 60 วันมีอัตราการพัฒนากำลังอัดใกล้เคียงกันกับแท่งตัวอย่างที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วน ส่วนแท่งตัวอย่างที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 20 และ 30 พบว่าในช่วงเวลา 7 ถึง 14 วันมีอัตราการพัฒนากำลังอัดต่ำกว่าแท่งตัวอย่างที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วน แต่ในช่วงเวลา 14 ถึง 28 วันกลับมีอัตราการพัฒนากำลังอัดสูงกว่าแท่งตัวอย่างที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วน

รูปที่ 3.4ข แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับกำลังอัดของแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกอัตราส่วนผสมต่างกันเทียบกับกำลังอัดของแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วน พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นแท่งตัวอย่างผสมเถ้าลอยแม่เมาะยังมีกำลังอัดใกล้เคียงกับแท่งตัวอย่างที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วนมากขึ้น เมื่อพิจารณาที่เวลา 7 และ 14 วัน พบว่าแท่งตัวอย่างผสมเถ้าลอยแม่เมาะทุกอัตราส่วนผสมมีกำลังอัดต่ำกว่าแท่งตัวอย่างที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วน โดยแท่งตัวอย่างที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนมากที่สุดจะมีกำลังอัดเทียบกับปูนซีเมนต์ต่ำที่สุด สำหรับเวลาที่ 28 และ 60 วัน พบว่าแท่งตัวอย่างที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 20 และ 30 มีกำลังอัดใกล้เคียงกับแท่งตัวอย่างที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วน ส่วนแท่งตัวอย่างผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนอื่นยังคงมีกำลังอัดต่ำกว่าแท่งตัวอย่างที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วน

เมื่อเปรียบเทียบกำลังอัดของแท่งตัวอย่างที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนที่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 3.5ก พบว่าที่เวลา 7 และ 14 วัน การผสมเถ้าลอยแม่เมาะทดแทนปูนซีเมนต์ในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นทำให้กำลังรับแรงอัดต่ำกว่าคอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วนอย่างชัดเจน โดยพิจารณาจากเส้นความสัมพันธ์ที่มีลักษณะลาดลงตามอัตราส่วนเถ้าลอยแม่เมาะที่เพิ่มขึ้น สำหรับที่เวลา 28 และ 60 วัน พบว่าการเพิ่มปริมาณเถ้าลอยแม่เมาะจากอัตราส่วนร้อยละ 10 ถึง 30 ทำให้กำลังรับแรงอัดสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยแม่เมาะเกินอัตราส่วนร้อยละ 30 กำลังรับแรงอัดจะต่ำลงอีก โดยพิจารณาจากเส้นความสัมพันธ์ที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งรูปประฆังคว่ำมีจุดสูงสุดอยู่ที่ปริมาณเถ้าลอยแม่เมาะประมาณร้อยละ 30

รูปที่ 3.5ข แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนร้อยละของเถ้าลอยแม่เมาะกับกำลังอัดของแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกอัตราส่วนผสมต่างกันเทียบกับส่วนผสมปูนซีเมนต์ล้วน พบว่าแท่งตัวอย่างที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 10 และ 20 มีกำลังอัดเทียบกับปูนซีเมนต์ที่อายุ 7, 14, 28 และ 60 วันไม่ต่างกันมากนัก ส่วนคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 30 ถึง 50 ให้กำลังอัดเทียบกับปูนซีเมนต์ในแต่ละช่วงเวลาต่างกันมากกว่า โดยมีกำลังอัดเทียบกับปูนซีเมนต์ที่อายุ 60 วันสูงสุดและ 7 วันต่ำสุด

3.3 ผลการทดลองของคอนกรีตบล็อก

3.3.1 กำลังรับแรงอัด

ในการทดสอบกำลังอัดนี้ได้นำตัวอย่างคอนกรีตบล็อกชนิดกลวงขนาด 14X15X29 ซม.ที่มีความหนาแน่น (Density) เฉลี่ยเท่ากับ 2.10 ตัน/ม.³ โดยทำการทดสอบกำลังอัดที่อายุ 7, 14, 28 และ 60 วัน ใช้ปริมาณเถ้าลอยแม่เมาะแทนที่ปูนซีเมนต์โดยน้ำหนักในอัตราส่วนร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 สัญลักษณ์ที่ใช้แทนอัตราส่วนผสมต่างๆ ได้แก่ BC, BF2, BF3 และ BF4 ใช้ปริมาณน้ำต่อสารเชื่อมประสานเท่ากันทั้งหมดทุกอัตราส่วนผสม โดยมีความชื้นเหลวแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณเถ้าลอยโดยมีค่าเวลาวิบอยู่ระหว่าง 22 ถึง 16 วินาที

ตารางที่ 3.6ก และ 3.6ข แสดงถึงกำลังอัดเฉลี่ยจำนวน 5 ตัวอย่างโดยหน้าตัดสุทธิและหน้าตัดรวมของคอนกรีตบล็อกตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากมาตรฐานของคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักตาม มอก. 57-2530 เรื่องความต้านแรงอัดดังแสดงในตารางที่ 1.1 พบว่าคอนกรีตบล็อกที่มีความหนาแน่น 2.10 ตัน/ม.³ ซึ่งผลิตจากปูนซีเมนต์ล้วนมีกำลังอัดเฉลี่ยที่ 28 วันโดยหน้าตัดสุทธิและหน้าตัดรวมเท่ากับ 146 และ 83 กก./ซม.² ตามลำดับ จัดเป็นคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ก ส่วนคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยแม่เมาะที่มีความหนาแน่นเท่ากับ 2.10 ตัน/ม.³ ทุกอัตราส่วนผสมจัดเป็นคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ข โดยกำลังอัดสูงสุดอยู่ที่ปริมาณเถ้า

ลอยแม่เมาะเท่ากับร้อยละ 30 มีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยที่ 28 วันโดยหน้าตัดสุทธิและหน้าตัดรวมเท่ากับ 125 และ 72 กก./ซม. ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 86 ของคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ล้วน

เมื่อพิจารณากราฟในรูปที่ 3.6ก ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเถ้าลอยกับกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่มีความหนาแน่น 2.10 ตัน/ม.³ พบว่าที่เวลา 7 วันการผสมเถ้าลอยแม่เมาะทดแทนปูนซีเมนต์ในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นทำให้กำลังรับแรงอัดต่ำกว่าคอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วนอย่างชัดเจน โดยพิจารณาจากเส้นความสัมพันธ์ที่มีลักษณะลาดลงเกือบเป็นเส้นตรงตามอัตราส่วนเถ้าลอยแม่เมาะที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเวลาผ่านไป 14, 28 และ 60 วันพบว่าการเพิ่มปริมาณเถ้าลอยแม่เมาะจากร้อยละ 20 เป็น 30 ทำให้กำลังรับแรงอัดสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยแม่เมาะจากร้อยละ 30 เป็น 40 กำลังรับแรงอัดจะต่ำลงอีก โดยพิจารณาจากเส้นความสัมพันธ์ที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งรูปประฆังคว่ำมีจุดสูงสุดอยู่ที่ปริมาณเถ้าลอยแม่เมาะเท่ากับร้อยละ 30

ส่วนกราฟรูปที่ 3.6ข แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเถ้าลอยกับกำลังอัดโดยหน้าตัดสุทธิของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมต่างกันเทียบกับกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วนความหนาแน่น 2.10 ตัน/ม.³ พบว่าคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 20 มีกำลังอัดเทียบกับปูนซีเมนต์ที่อายุ 7, 14, 28 และ 60 วันไม่ต่างกันมากนัก ส่วนคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 30 และ 40 ให้กำลังอัดเทียบกับปูนซีเมนต์ในแต่ละช่วงเวลาต่างกันมากกว่า โดยมีกำลังอัดเทียบกับปูนซีเมนต์สูงสุดที่อายุ 60 วัน และมีความต่ำสุดที่อายุ 7 วัน

จากกราฟรูปที่ 3.7ก เมื่อพิจารณาความชันของกราฟซึ่งแสดงถึงอัตราการพัฒนากำลังอัดเทียบกับเวลา พบว่าคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะทุกอัตราส่วนผสมมีอัตราการพัฒนากำลังอัดสม่ำเสมอตลอดช่วงอายุ 7 ถึง 60 วัน สำหรับคอนกรีตบล็อกที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วนมีอัตราการพัฒนากำลังอัดในช่วง 7 ถึง 14 วันใกล้เคียงกับคอนกรีตผสมเถ้าลอย แต่เมื่อเวลาผ่านไป 14 วันไปแล้วมีอัตราการพัฒนากำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของเถ้าลอย

ส่วนรูปที่ 3.7ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมต่างกันเทียบกับกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วน พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยแม่เมาะยังมีกำลังอัดใกล้เคียงกับคอนกรีตบล็อกที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วนมากขึ้น

3.3.2 การดูดกลืนน้ำ

ในการทดสอบการดูดกลืนน้ำใช้ตัวอย่างคอนกรีตบล็อกขนาด 14X15X29 ซม. อายุ 28 วัน ที่มีความหนาแน่นเท่ากับ 2.10 ตัน/ม.³ จำนวน 5 ตัวอย่างต่อส่วนผสมหนึ่งชุด โดยใช้คอนกรีตบล็อกที่มีอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยแม่เมาะแทนที่ปูนซีเมนต์โดยน้ำหนักตั้งแต่ร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 สัญลักษณ์ที่ใช้แทนอัตราส่วนผสมต่างๆ ได้แก่ BC, BF2, BF3 และ BF4

ตารางที่ 3.7 แสดงการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกจำนวน 5 ตัวอย่าง พบว่าคอนกรีตบล็อกที่มีเถ้าลอยแม่เมาะผสมอยู่ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 มีการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 191, 194, 183 และ 190 กก./ม.³ ตามลำดับ โดยมีหน่วยน้ำหนักคอนกรีตเมื่ออบแห้งอยู่ระหว่าง 2,020 ถึง 2,030 กก./ม.³ เมื่อพิจารณาจากมาตรฐานของคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักตาม มอก. 57-2530 เรื่องการดูดกลืนน้ำดังแสดงในตารางที่ 1.1 พบว่าคอนกรีตบล็อกทุกอัตราส่วนผสมจัดอยู่ในคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ข คือมีค่าการดูดกลืนน้ำไม่เกิน 208 กก./ม.³ เมื่อหน่วยน้ำหนักคอนกรีตอบแห้งเกิน 2,000 กก./ม.³ สำหรับคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ก ได้กำหนดให้มีค่าการดูดกลืนน้ำไม่เกิน 160 กก./ม.³ เมื่อหน่วยน้ำหนักคอนกรีตอบแห้งเกิน 2,000 กก./ม.³

รูปที่ 3.8 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมเถ้าลอยแม่เมาะกับร้อยละการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อก พบว่าร้อยละการดูดกลืนน้ำไม่มีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนเถ้าลอยในคอนกรีตบล็อกมากนัก คือเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมเถ้าลอยมากขึ้นค่าการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกมีทั้งมากขึ้นและต่ำลง โดยพบว่าการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ปริมาณเถ้าลอยเท่ากับร้อยละ 30 และการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกมีค่าสูงสุดอยู่ที่ปริมาณเถ้าลอยเท่ากับร้อยละ 20 ส่วนคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ล้วนและคอนกรีตบล็อกที่มีเถ้าลอยในอัตราส่วนร้อยละ 20 มีค่าการดูดกลืนน้ำใกล้เคียงกัน

รูปที่ 3.10 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมเถ้าลอยกับกำลังรับแรงอัดสุทธิและการดูดกลืนน้ำ พบว่าคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 30 มีกำลังอัดที่เวลา 28 และ 60 วันสูงกว่าคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยในอัตราส่วนอื่นและมีค่าการดูดกลืนน้ำต่ำกว่าด้วย

3.3.3 การหดแห้ง

ในการทดสอบการหดแห้งใช้ตัวอย่างชิ้นเปลือกซีกเดียวขนาด $10 \times 15 \times 29$ ซม. ที่ตัดมาจากเปลือกทั้งสองด้านของคอนกรีตบล็อกขนาด $10 \times 15 \times 29$ ซม. อายุ 28 วันจำนวน 6 ชิ้นต่ออัตราส่วนผสม 1 ชุด โดยใช้คอนกรีตบล็อกความหนาแน่นเท่ากันทุกอัตราส่วนผสมคือ 2.10 ตัน/ม.³ โดยมีอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยแม่เมาะแทนที่ปูนซีเมนต์โดยน้ำหนักตั้งแต่ร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 สัญลักษณ์ที่ใช้แทนอัตราส่วนผสมต่างๆ ได้แก่ BC, BF2, BF3 และ BF4

ผลการทดสอบการหดแห้งแสดงในตารางที่ 3.8 พบว่าปริมาณการหดแห้งทั้งหมดที่เวลา 13 วันของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 40 มีค่าสูงสุดคือร้อยละ 0.061 ส่วนคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 30 มีปริมาณการหดแห้งต่ำสุดโดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.053 สำหรับคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 20 และคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ล้วนมีปริมาณการหดแห้งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 0.059 และ 0.057 ตามลำดับ

รูปที่ 3.9 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาอบแห้งกับร้อยละการหดแห้งของคอนกรีตบล็อกที่มีอัตราส่วนผสมเถ้าลอยแตกต่างกัน พบว่าคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ล้วนมีปริมาณการหดแห้งในช่วงเวลา 9 วันแรกสูงที่สุด ขณะที่การหดแห้งของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยแม่เมาะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อผ่านช่วงเวลา 9 วันไปแล้วปริมาณการหดแห้งของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 40 มีค่าสูงสุด ส่วนคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 30 มีปริมาณการหดแห้งต่ำสุด

ในช่วงเวลา 9 วันแรกพบว่าคอนกรีตบล็อกที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วนกับคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะมีอัตราการหดแห้งใกล้เคียงกัน แต่หลังจากผ่าน 9 วันไปแล้วอัตราการหดแห้งของคอนกรีตบล็อกผสมปูนซีเมนต์ล้วนกับคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 30 มีค่าต่ำลง ขณะที่คอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนอื่นยังคงมีอัตราการหดแห้งคงเดิม

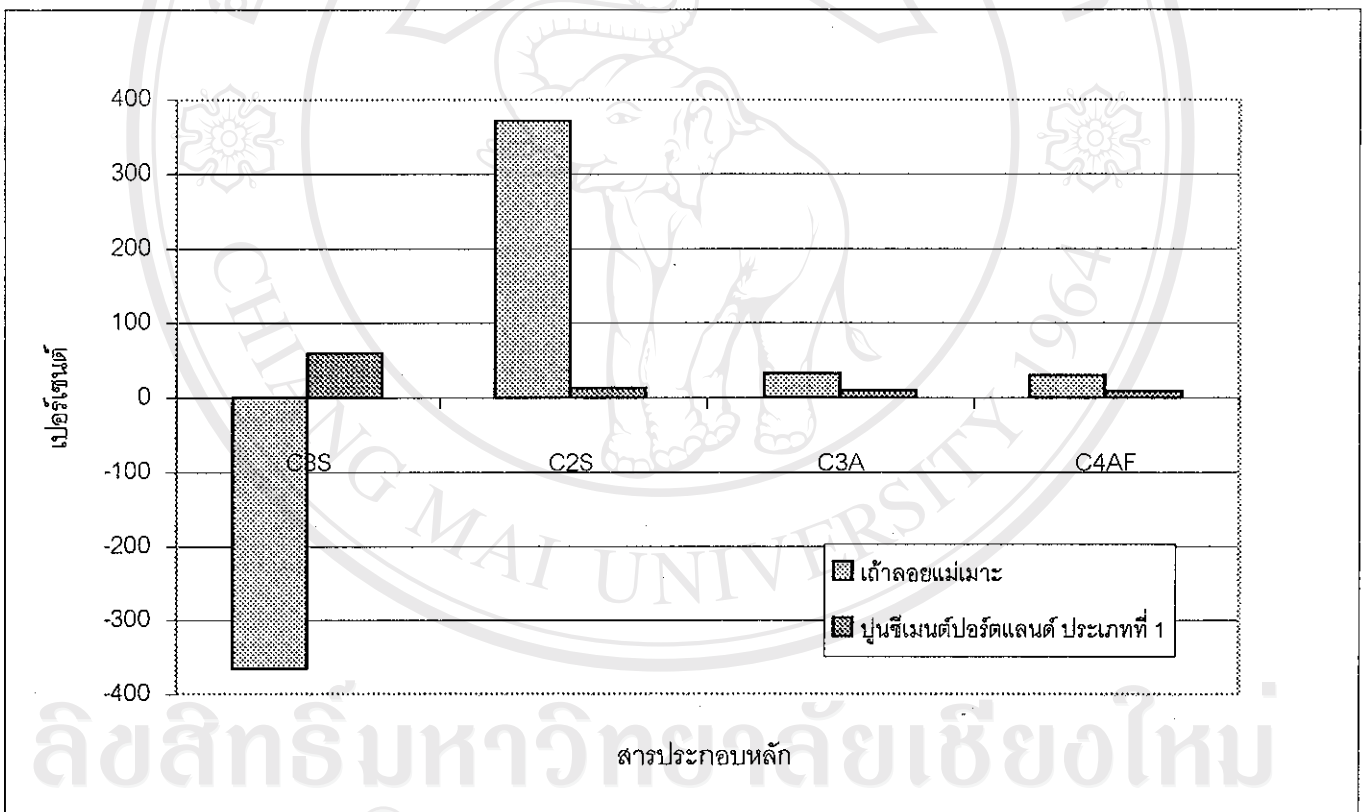
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยแม่เมาะ

Properties	unit	Mae Moh	Cement Portland	Pozzolana Class	
CHEMICAL ANALYSIS		Fly Ash	Type 1	F	C
Silicon dioxide (SiO ₂)	%	33.49	20.20	-	-
Aluminum oxide (Al ₂ O ₃)	%	18.33	5.42	-	-
Ferric oxide (Fe ₂ O ₃)	%	9.64	2.92	-	-
Total (SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃)	%	61.46	28.54	min 70	min 50
Calcium oxide (CaO)	%	6.94	63.82	-	-
Magnesium oxide (MgO)	%	2.30	1.50	-	-
Sulfur trioxide (SO ₃)	%	0.66	2.3	max 5.0	max 5.0
Sodium oxide (Na ₂ O)	%	0.64	2.72	max 1.5	max 1.5
Potassium oxide (K ₂ O)	%	1.99	0.30	-	-
Free Lime	%	0.45	-	-	-
PHYSICAL TEST					
Loss on ignition	%	0.94	2.92	max 6.0	max 6.0
Moisture Content	%	0.18	-	max 3.0	max 3.0
Surface Area	cm ² /g	2133	3420	-	-
Residue 45 micron	%	37.58	-	max 34	max 34
Bulk Density	-	1.08	-	-	-
Specific Gravity	Kg/l	2.04	3.15	-	-

ที่มา ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างเถ้าลอยโดยบริษัทสยามซีเมนต์ จำกัด

ตารางที่ 3.2 สารประกอบหลักในเถ้าลอยแม่เมาะและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

ชื่อสารประกอบ	ชื่อย่อ	หน่วย	เถ้าลอยแม่เมาะ	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
ไตรแคลเซียม ซิลิเกต	C_3S	%	-365.12	59.07
ไดแคลเซียม ซิลิเกต	C_2S	%	371.32	13.43
ไตรแคลเซียม อลูมินต	C_3A	%	32.28	9.43
เตตราแคลเซียม อลูมิโนเฟอร์ไรท์	C_4AF	%	29.31	8.88

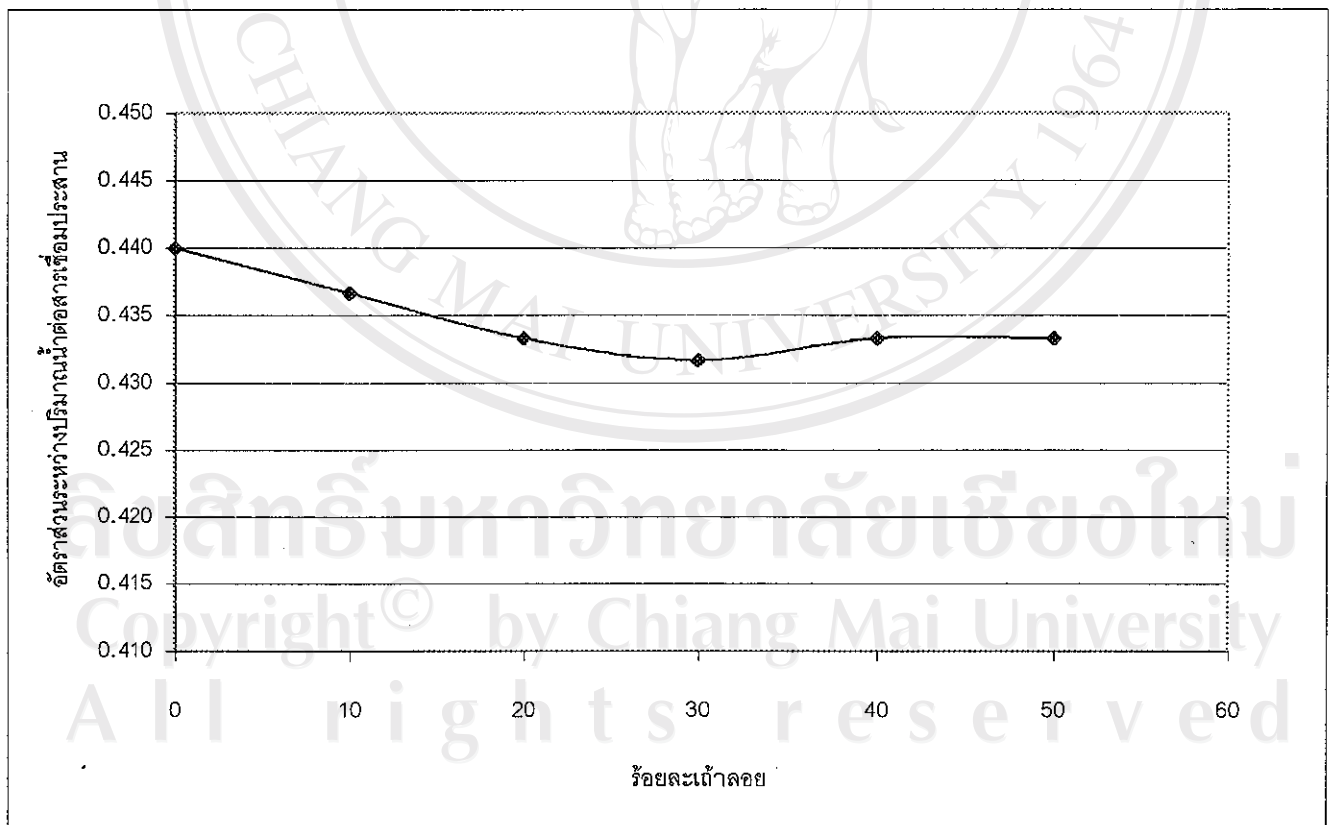


รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบหลักของเถ้าลอยแม่เมาะกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

All rights reserved

ตารางที่ 3.3 ปริมาณน้ำที่ใช้ในการหล่อตัวอย่างรูปทรงกระบอกต่อหนึ่ง โมเพื่อให้ความชื้นเหลวเท่ากัน

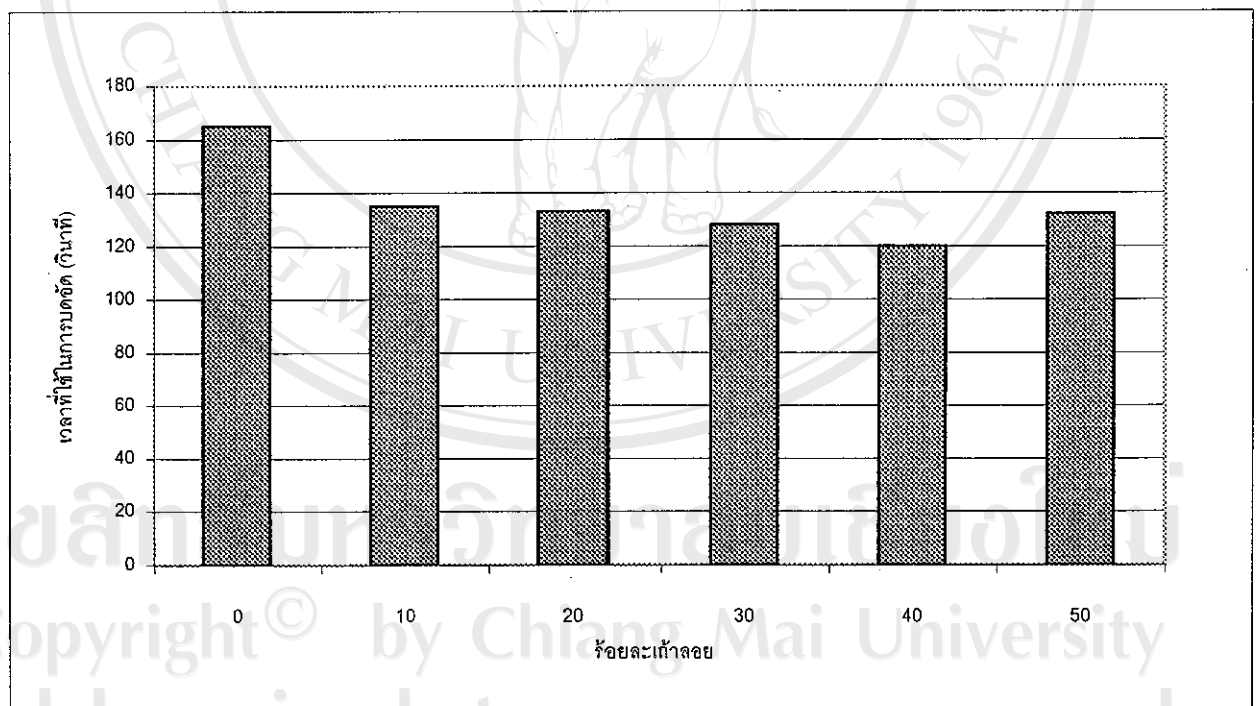
อัตราส่วนผสม	ร้อยละถ้ำลอย ในสารเชื่อมประสาน	ปริมาณน้ำที่เติม (ลิตร)	ปริมาณน้ำจากมวลรวม (ลิตร)	ปริมาณน้ำรวม (ลิตร)	อัตราส่วนระหว่างปริมาณ น้ำต่อสารเชื่อมประสาน	เวลาวิป (วินาที)
C	0	1.4	1.24	2.64	0.440	20
F1	10	1.3	1.32	2.62	0.437	20
F2	20	1.3	1.30	2.60	0.433	20
F3	30	1.3	1.29	2.59	0.432	20
F4	40	1.3	1.30	2.60	0.433	20
F5	50	1.3	1.30	2.60	0.433	20



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนถ้ำลอยกับอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำต่อสารเชื่อมประสาน

ตารางที่ 3.4 เวลาที่ใช้ในการบดอัดตัวอย่างรูปทรงกระบอก

อัตราส่วนผสม	ร้อยละถ้ำลอย ในสารเชื่อมประสาน	เวลาที่ใช้ในการบดอัด (compaction) (วินาที)
C	0	165
F1	10	135
F2	20	133
F3	30	128
F4	40	120
F5	50	132



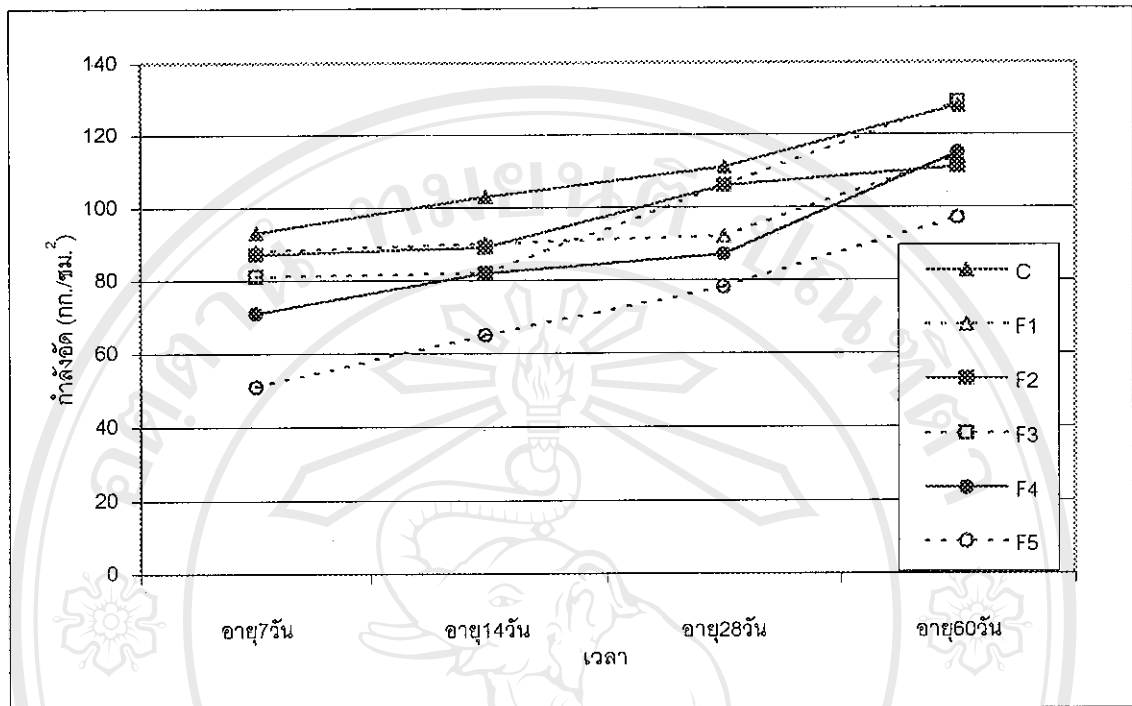
รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการบดอัดแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกกับอัตราส่วนถ้ำลอย

ตารางที่ 3.5ก กำลังอัดเฉลี่ยของแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก

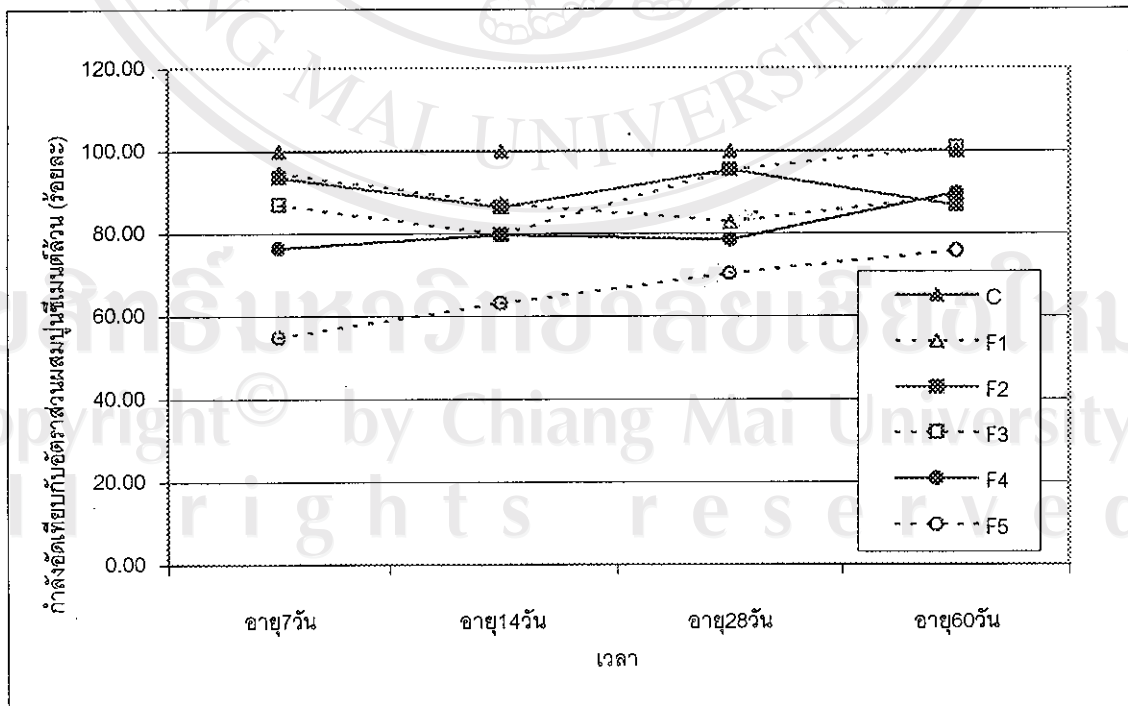
อัตราส่วนผสม	ร้อยละเถ้าลอย ในสารเชื่อมประสาน	density (ตัน/ม. ³)	กำลังอัดที่อายุ7วัน (กก./ซม. ²)	กำลังอัดที่อายุ14วัน (กก./ซม. ²)	กำลังอัดที่อายุ28วัน (กก./ซม. ²)	กำลังอัดที่อายุ60วัน (กก./ซม. ²)
C	0	2.10	93	103	111	128
F1	10	2.08	88	90	92	114
F2	20	2.09	86	89	106	111
F3	30	2.08	81	82	106	129
F4	40	2.10	71	82	87	115
F5	50	2.11	51	65	78	97

ตารางที่ 3.5ข กำลังอัดเฉลี่ยของแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกอัตราส่วนต่างกันเทียบกับส่วนผสมที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ล้วน

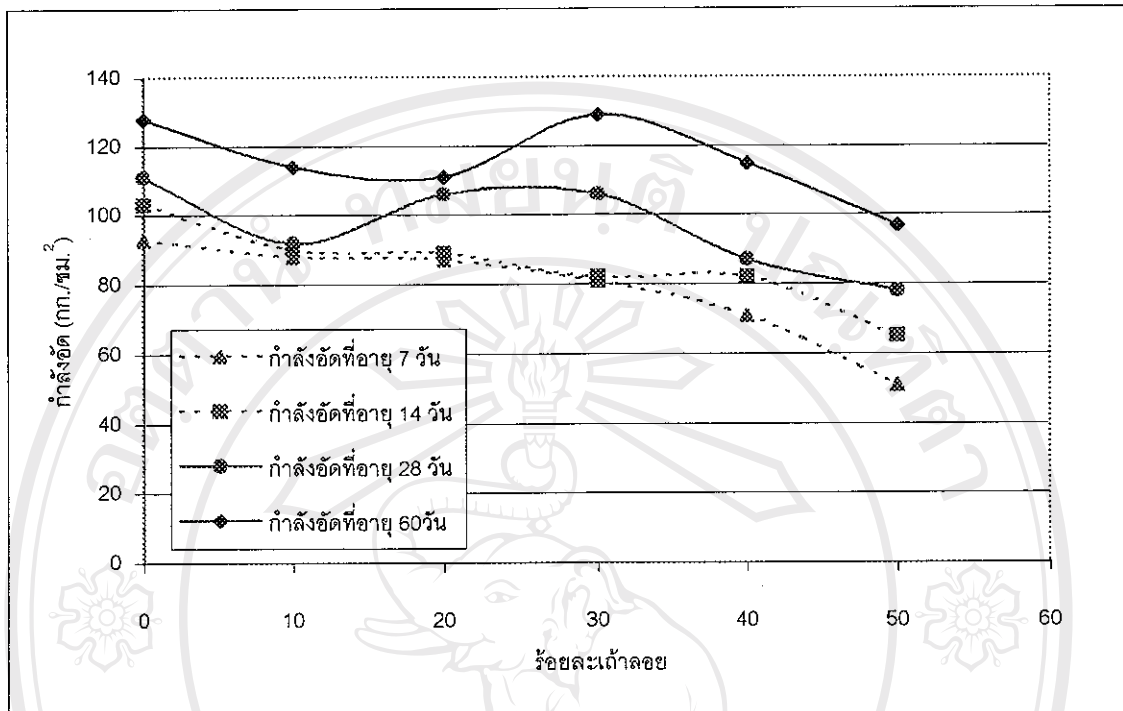
อัตราส่วนผสม	ร้อยละเถ้าลอย ในสารเชื่อมประสาน	density (ตัน/ม. ³)	กำลังอัดเทียบกับส่วนผสมที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ล้วน (ร้อยละ)			
			อายุ7วัน	อายุ14วัน	อายุ28วัน	อายุ60วัน
C	0	2.10	100	100	100	100
F1	10	2.08	95	87	83	89
F2	20	2.09	92	86	95	87
F3	30	2.08	87	80	95	101
F4	40	2.10	76	80	78	90
F5	50	2.11	55	63	70	76



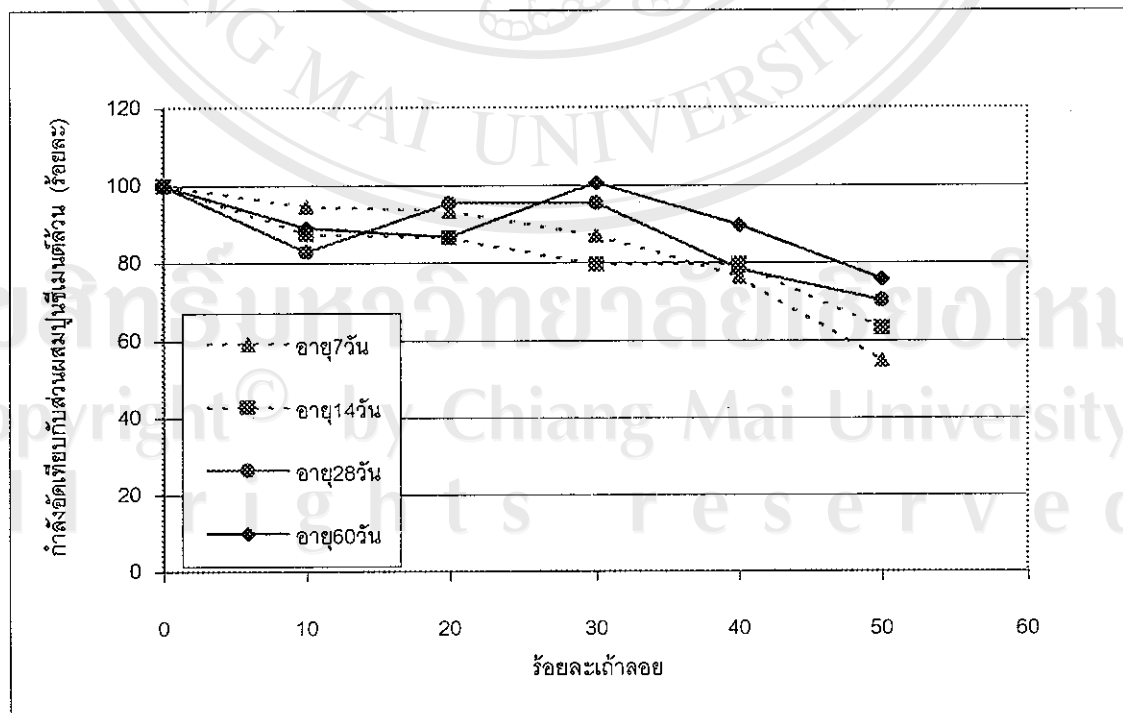
รูปที่ 3.4ก ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับกำลังอัดของแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก



รูปที่ 3.4ข ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับกำลังอัดของแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกอัตราส่วนผสมต่างกัน
เทียบกับส่วนผสมปูนซีเมนต์ล้วน



รูปที่ 3.5ก ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนร้อยละกับกำลังอัดของแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก



รูปที่ 3.5ข ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนร้อยละกับกำลังอัดของแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกอัตราส่วนผสม
ต่างกันเทียบกับส่วนผสมปูนซีเมนต์ล้วน

ตารางที่ 3.6ก กำลังอัดเฉลี่ยโดยหน้าตัดสุทธิของคอนกรีตบล็อก

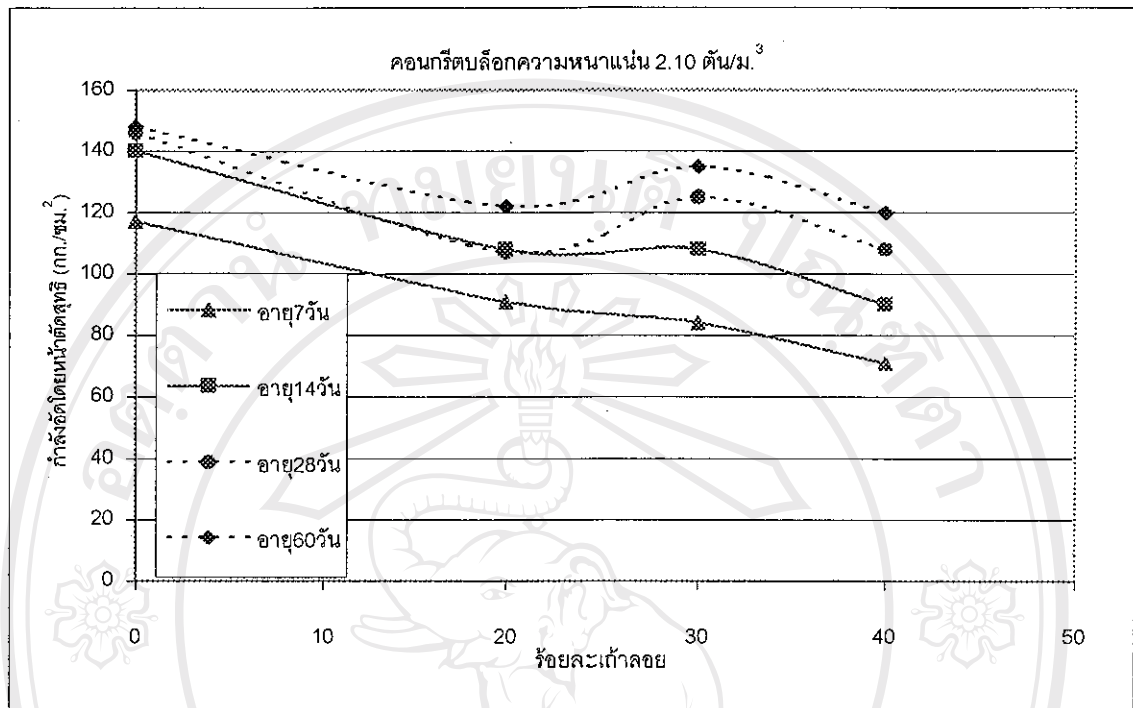
อัตราส่วนผสม	ร้อยละเถ้าลอย ในสารเชื่อมประสาน	density (ตัน/ม. ³)	กำลังอัดที่อายุ7วัน (กก./ชม. ²)	กำลังอัดที่อายุ14วัน (กก./ชม. ²)	กำลังอัดที่อายุ28วัน (กก./ชม. ²)	กำลังอัดที่อายุ60วัน (กก./ชม. ²)
BC	0	2.11	117	140	146	148
BF2	20	2.10	91	108	107	122
BF3	30	2.11	84	108	125	135
BF4	40	2.11	71	90	108	120

ตารางที่ 3.6ข กำลังอัดเฉลี่ยโดยหน้าตัดรวมของคอนกรีตบล็อก

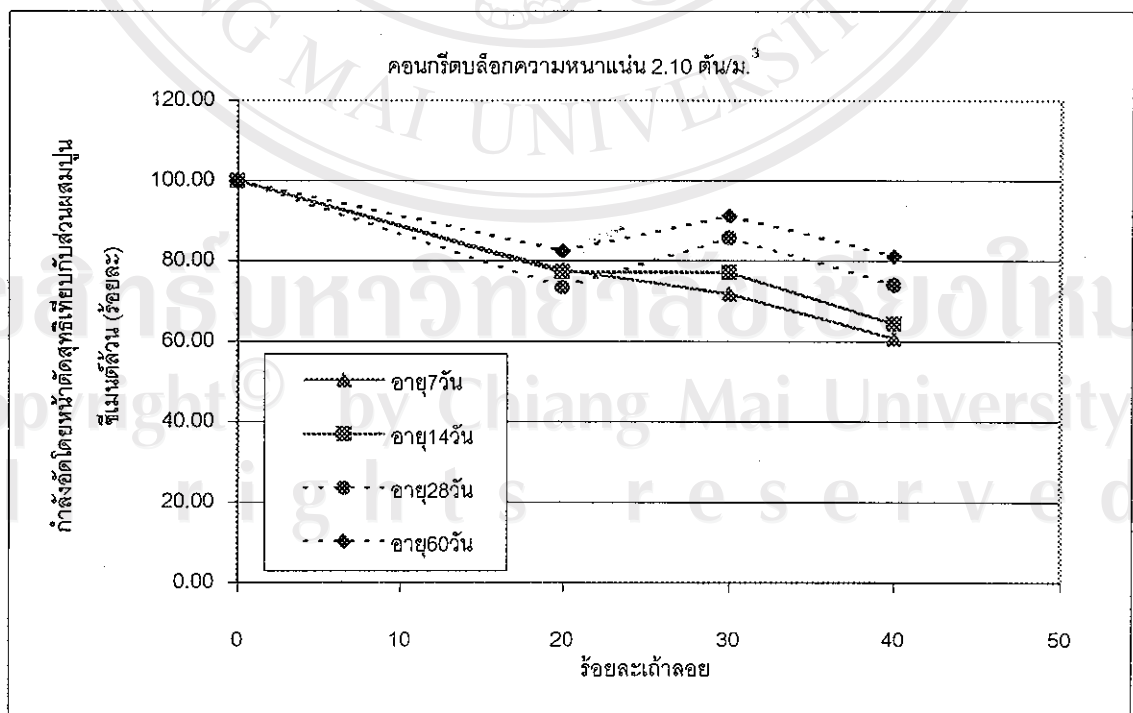
อัตราส่วนผสม	ร้อยละเถ้าลอย ในสารเชื่อมประสาน	density (ตัน/ม. ³)	กำลังอัดที่อายุ7วัน (กก./ชม. ²)	กำลังอัดที่อายุ14วัน (กก./ชม. ²)	กำลังอัดที่อายุ28วัน (กก./ชม. ²)	กำลังอัดที่อายุ60วัน (กก./ชม. ²)
BC	0	2.11	66	79	83	83
BF2	20	2.10	51	61	62	69
BF3	30	2.11	47	61	72	75
BF4	40	2.11	39	51	62	67

ตารางที่ 3.6ค กำลังอัดเฉลี่ยโดยหน้าตัดสุทธิของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนต่างกันเทียบกับส่วนผสมที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ล้วน

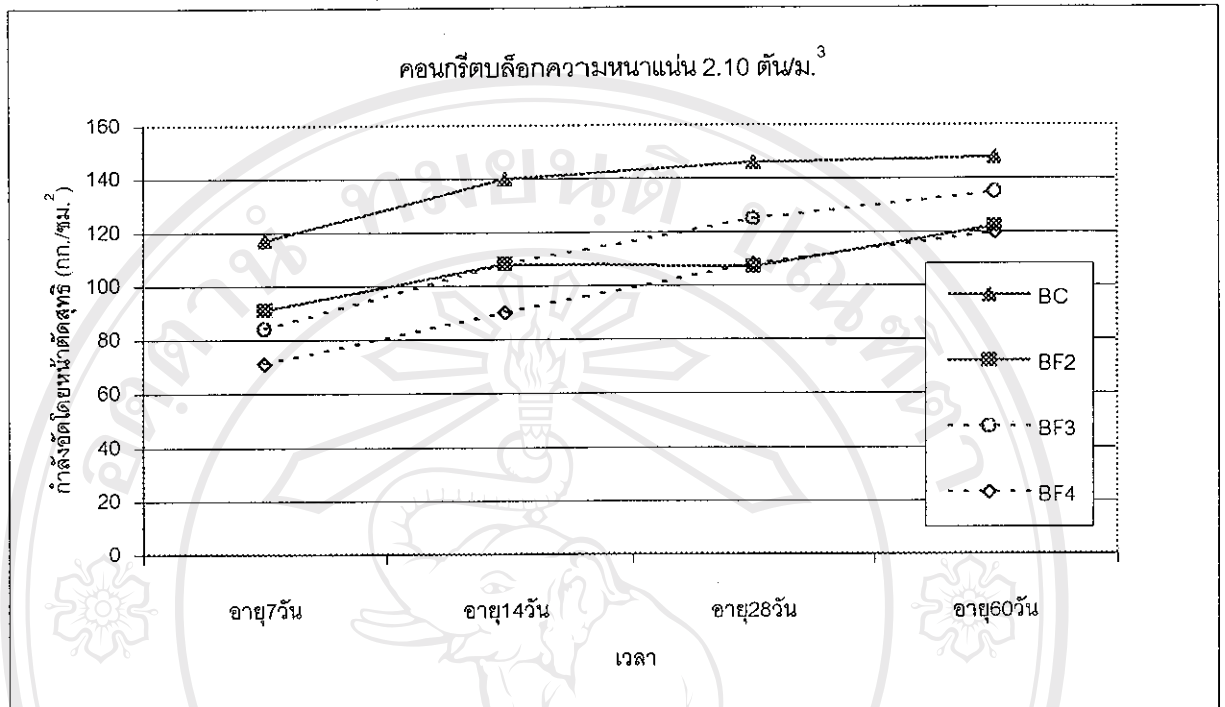
อัตราส่วนผสม	ร้อยละเถ้าลอย ในสารเชื่อมประสาน	density (ตัน/ม. ³)	กำลังอัดเฉลี่ยโดยหน้าตัดสุทธิของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนต่างกัน เทียบกับส่วนผสมที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ล้วน (ร้อยละ)			
			อายุ7วัน	อายุ14วัน	อายุ28วัน	อายุ60วัน
BC	0	2.11	100	100	100	100
BF2	20	2.10	78	77	73	82
BF3	30	2.11	72	77	86	91
BF4	40	2.11	61	64	74	81



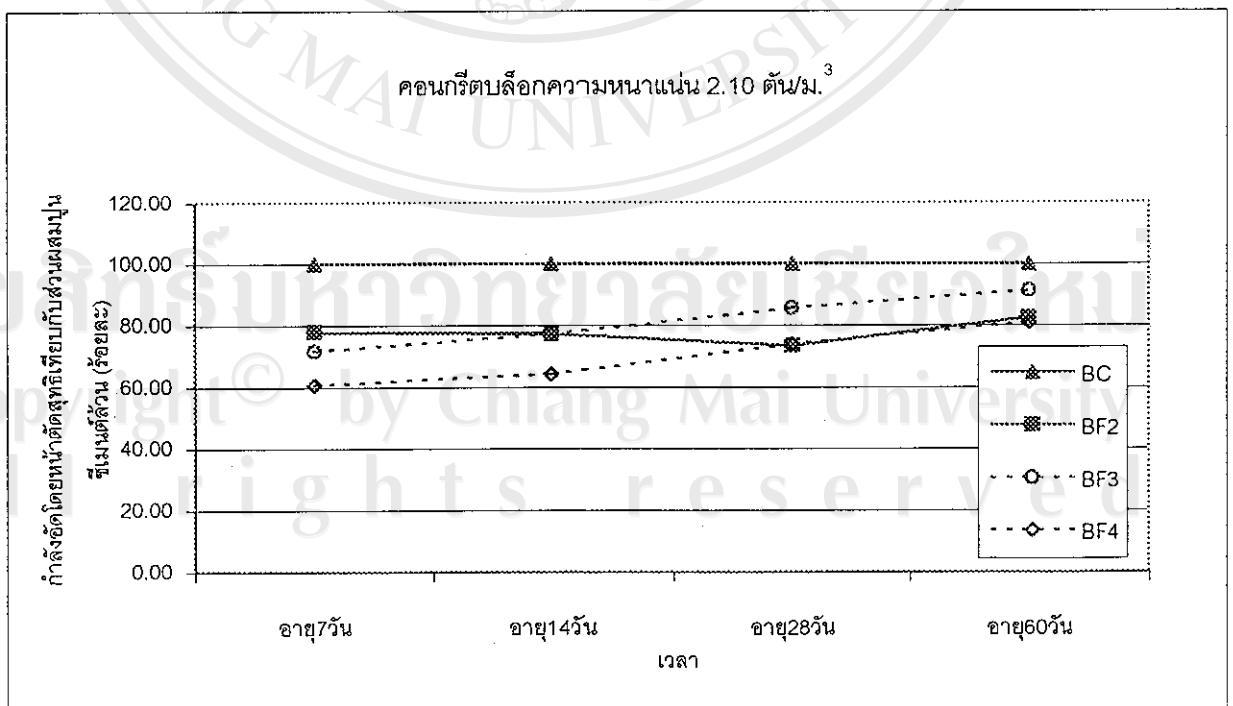
รูปที่ 3.6ก ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำตักกับกำลังอัดโดยน้ำตักของคอนกรีตบล็อก
ความหนาแน่น 2.10 ตัน/ม.³



รูปที่ 3.6ข ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำตักกับกำลังอัดโดยน้ำตักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมต่างกัน
เทียบกับส่วนผสมปูนซีเมนต์ล้วนความหนาแน่น 2.10 ตัน/ม.³



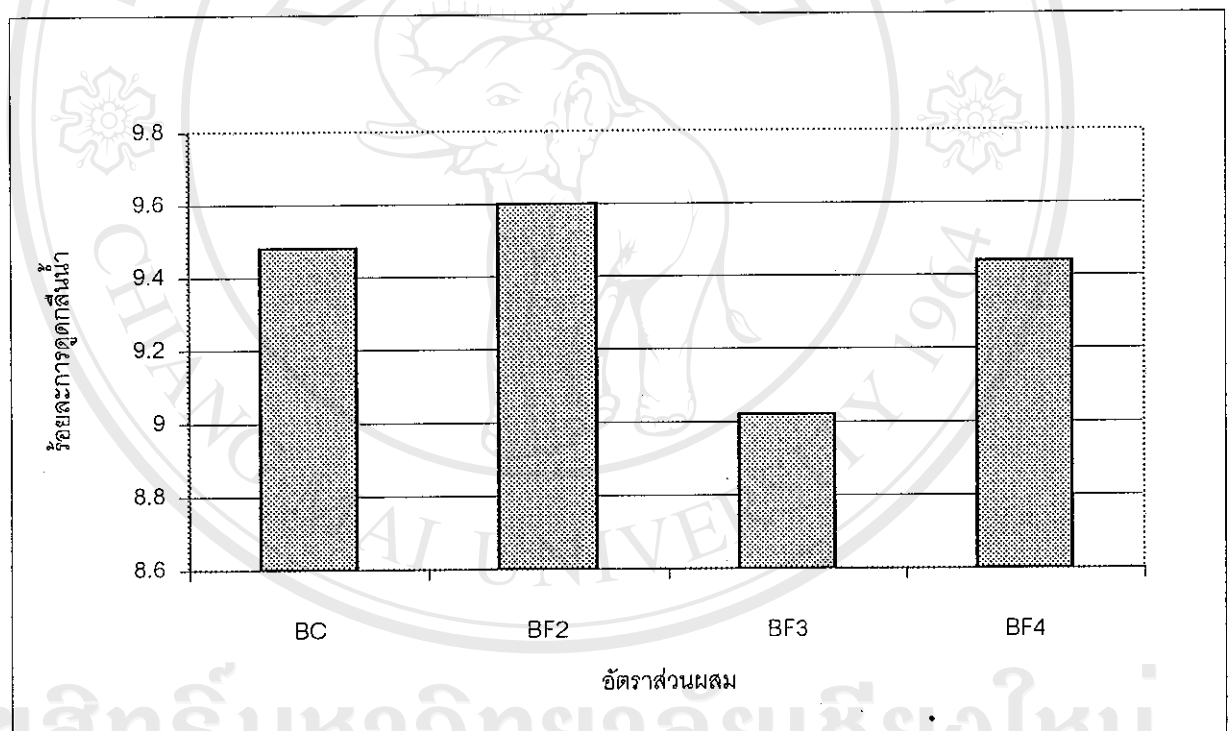
รูปที่ 3.7ก ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับกำลังอัดโดยน้ำตัดสุทธิของคอนกรีตบล็อกความหนาแน่น 2.10 ตัน/ม.³



รูปที่ 3.7ข ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับกำลังอัดโดยน้ำตัดสุทธิของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมต่างกัน เทียบกับส่วนผสมปูนซีเมนต์ล้วนความหนาแน่น 2.10 ตัน/ม.³

ตารางที่ 3.7 การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อก

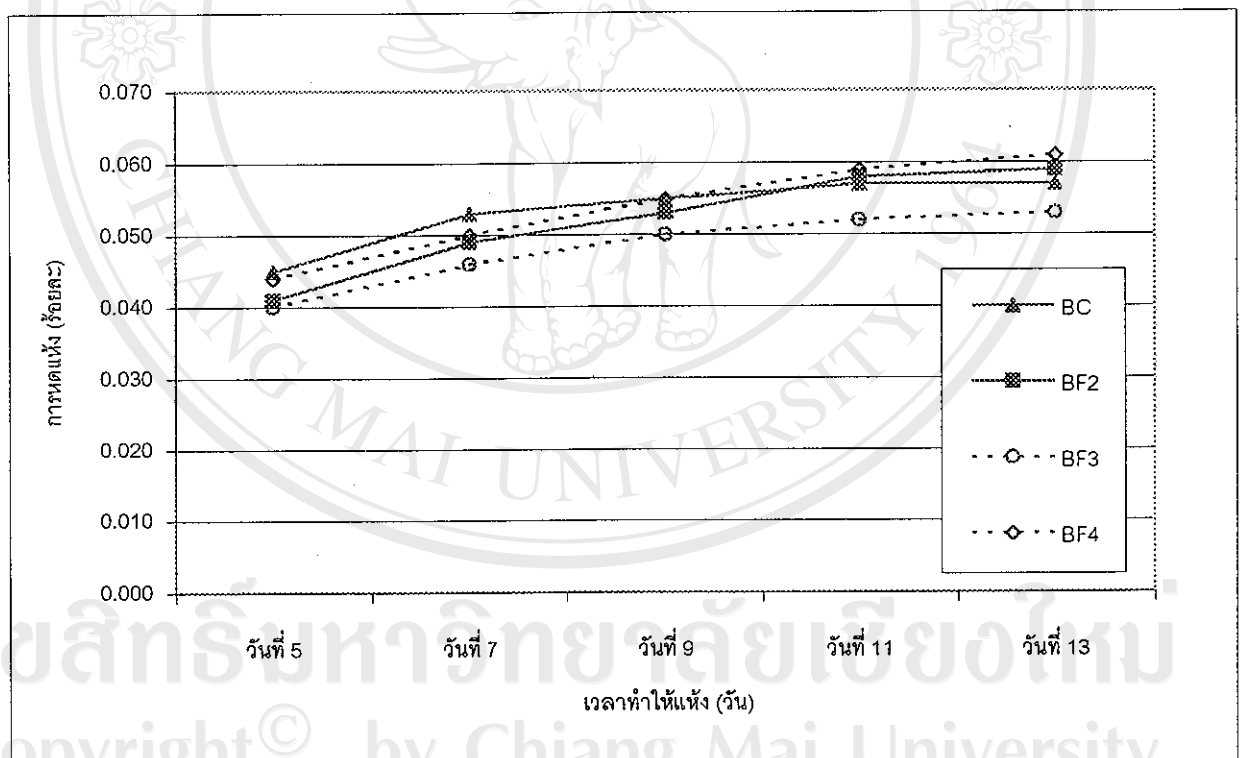
อัตราส่วนผสม	ร้อยละเถ้าลอย ในสารเชื่อมประสาน	น.น.คอนกรีตเมื่ออบแห้ง (ตัน/ม. ³)	การดูดกลืนน้ำเฉลี่ย (กก./ม. ³)	การดูดกลืนน้ำเฉลี่ย (ร้อยละ)
BC	0	2.02	191	9.48
BF2	20	2.02	194	9.60
BF3	30	2.03	183	9.02
BF4	40	2.02	190	9.44



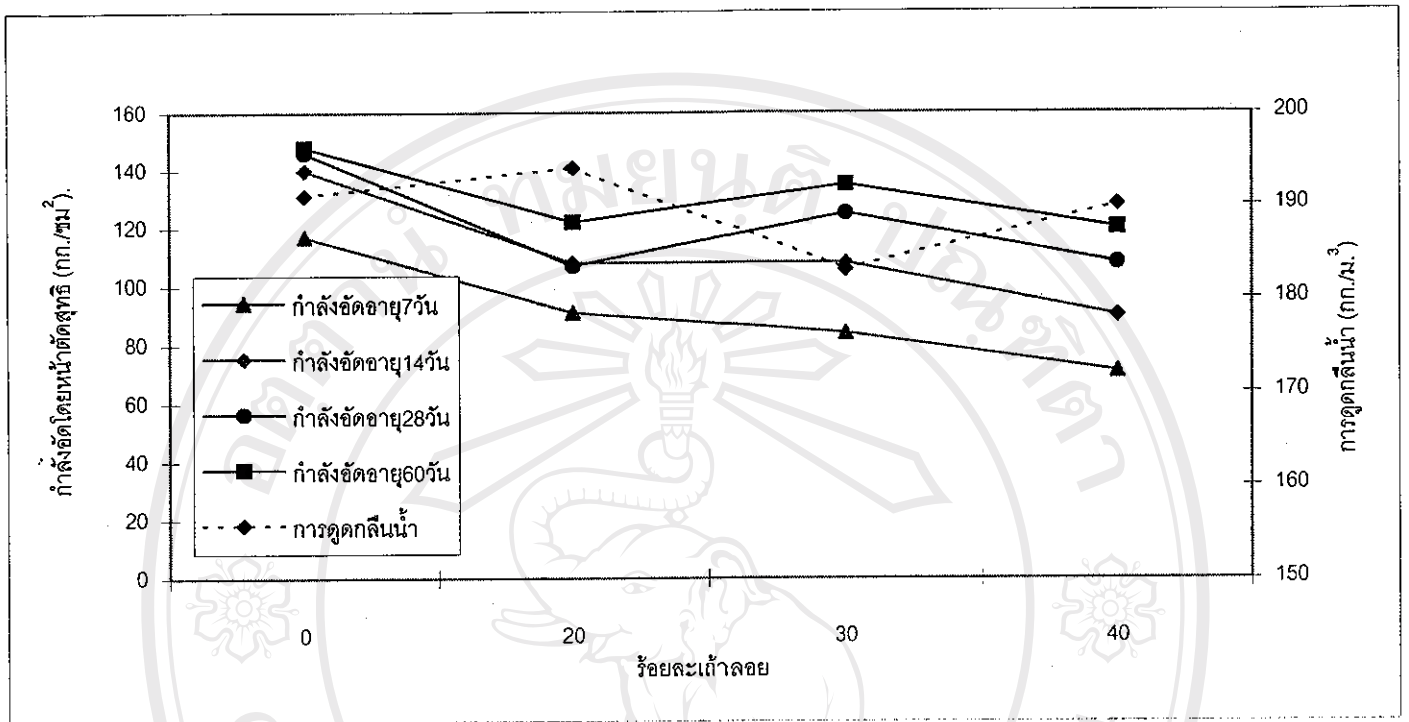
รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมเถ้าลอยกับร้อยละการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ 3.8 การหดแห้งของคอนกรีตบล็อก

อัตราส่วนผสม	ร้อยละเถ้าลอย ในสารเชื่อมประสาน	ร้อยละการหดแห้ง				
		วันที่ 5	วันที่ 7	วันที่ 9	วันที่ 11	วันที่ 13
BC	0	0.045	0.053	0.055	0.057	0.057
BF2	20	0.041	0.049	0.053	0.058	0.059
BF3	30	0.040	0.046	0.050	0.052	0.053
BF4	40	0.044	0.050	0.055	0.059	0.061



รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาอบแห้งกับร้อยละการหดแห้งของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมต่างกัน



รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการจมน้ำกับกำลังอัดโดยน้ำตื้นและการดูดกลืนน้ำ