

บทที่ 4

วิเคราะห์และวิจารณ์ผลการวิจัย

4.1 คุณสมบัติของถ้ำลอยแม่เมาะ

4.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

ความละเอียดของอนุภาคถ้ำลอยมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกของถ้ำลอยเป็นอย่างมาก สมิตร์และชัย (2538) พบว่าความละเอียดของถ้ำลอยมีผลอย่างมากต่อการพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ เมื่อถ้ำลอยมีความละเอียดมากขึ้นการพัฒนากำลังอัดก็จะเร็วมากขึ้น จากการที่ถ้ำลอยแม่เมาะที่นำมาทดลองไม่ได้มีการคัดแยกขนาดทำให้อนุภาคโดยรวมมีขนาดโตกว่าเม็ดปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยดูได้จากผลการทดสอบหาปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะซึ่งถ้ำลอยแม่เมาะมีค่าเท่ากับ 2133 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ขณะที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีค่าเท่ากับ 3420 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ขนาดหรือพื้นที่ผิวจำเพาะของถ้ำลอยจะบ่งบอกถึงความสามารถในการทำปฏิกิริยาปอซโซลานิก ซึ่งถ้ำลอยที่มีอนุภาคหยาบจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกได้ช้ากว่าอนุภาคที่ละเอียด ทำให้กำลังอัดของคอนกรีตผสมถ้ำลอยแม่เมาะต่ำกว่าคอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วนในระยะแรก ส่วนผลกระทบอื่นๆเนื่องจากความละเอียดของถ้ำลอยต่อคุณสมบัติของคอนกรีตคือ ที่ความชื้นเหลวเท่ากันค่าความต้องการน้ำของคอนกรีต (Water Requirement) จะลดลงถ้าอนุภาคถ้ำลอยมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากอนุภาคขนาดใหญ่มีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยกว่าจึงใช้ปริมาณน้ำในการเคลือบผิวน้อยกว่าอนุภาคขนาดเล็ก

ถ้ำลอยแม่เมาะที่ใช้ในงานวิจัยนี้พบว่ามีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 0.18 มาตรฐาน ASTM C618 ได้กำหนดไว้ไม่ให้เกินร้อยละ 3 เนื่องจากจะทำให้ถ้ำลอยประเภท C สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันกับความชื้นได้ก่อนที่จะนำมาใช้งาน ทำให้อนุภาคถ้ำลอยจับตัวกันเป็นก้อนเกิดความไม่สม่ำเสมอในการนำไปใช้ผสมคอนกรีต และมีผลทำให้กำลังอัดของคอนกรีตผสมถ้ำลอยลดลง (Halstead, 1986) ส่วนปริมาณน้ำหนักที่สูญหายจากการเผา (Loss on Ignition) ซึ่งเป็นค่าบ่งชี้ถึงปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ในถ้ำลอยมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.94 มาตรฐาน ASTM C618 ได้กำหนดไว้ไม่ให้เกินร้อยละ 6 เนื่องจากจะทำให้คอนกรีตต้องการน้ำเพิ่ม และคอนกรีตต้องการฟองอากาศมากขึ้นด้วย

การนำถ้ำลอยแม่เมาะมาใช้ผสมคอนกรีตในการศึกษานี้ ได้ใช้วิธีการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยน้ำหนัก ทำให้ปริมาตรของซีเมนต์ผสมถ้ำลอยแม่เมาะมีมากกว่าเพศของปูนซีเมนต์ล้วน เนื่องจากค่าความถ่วงจำเพาะของถ้ำลอยแม่เมาะมีค่าน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ กล่าวคือถ้ำลอยมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.04 ขณะที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีค่าประมาณ 3.15

ดังนั้นหากแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 30 จะทำให้ซีเมนต์เพส มีปริมาณเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 16 ซึ่งมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีตหลายประการคือ ความสามารถในการเทได้ กำลังอัด และการหดแห้ง

4.1.2 ส่วนประกอบทางเคมี

ก. สารประกอบออกไซด์หลัก

โดยส่วนใหญ่เถ้าลอยประเภท C สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันโดยตรงกับน้ำได้ (Halstead, 1986) เนื่องจากมีปริมาณสารประกอบแคลเซียมออกไซด์ (CaO) สูงซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะเกิดสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) และจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบอลูมินา และซิลิกาที่มีอยู่มากในเถ้าลอย ทำให้เกิดสารเชื่อมประสานได้บ้างในช่วงแรกซึ่งในช่วงนี้ปฏิกิริยาปอซโซลานิกยังเกิดได้น้อย กำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอยประเภท C จึงไม่ลดต่ำกว่าคอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์อย่างเดียวนัก แต่เถ้าลอยแม่เมาะที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีปริมาณสารประกอบแคลเซียมออกไซด์ค่อนข้างต่ำกว่าเถ้าลอยประเภท C โดยทั่วไปคือมีประมาณร้อยละ 6.94 ทำให้สารเชื่อมประสานที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชันโดยตรงระหว่างเถ้าลอยกับน้ำมีปริมาณต่ำ ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะในช่วงแรกต่ำกว่าคอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ล้วน แต่กำลังอัดในช่วงปลายจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากเถ้าลอยแม่เมาะมีปริมาณสารประกอบออกไซด์หลักคือ ซิลิกา อะลูมินา และเฟอริกมากพอที่จะเกิดปฏิกิริยา ปอซโซลานิกได้ โดยมีปริมาณรวมกันเท่ากับร้อยละ 61.46 จัดอยู่ในสารปอซโซลานประเภท C

ข. สารประกอบออกไซด์รอง

โดยทั่วไปสารประกอบซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) และโซเดียมออกไซด์ (Na_2O) ที่อยู่ในเถ้าลอยมีผลกระทบต่อความคงทนและการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว เถ้าลอยแม่เมาะที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีปริมาณซัลเฟอร์ไตรออกไซด์และโซเดียมออกไซด์เท่ากับร้อยละ 0.66 และ 0.64 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าอยู่ภายในข้อกำหนดมาตรฐานซึ่งกำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 5.0 และ 1.5 ตามลำดับ จึงสามารถมั่นใจได้ว่าเมื่อนำใช้ในการผสมคอนกรีตเพื่อผลิตคอนกรีตบล็อก จะไม่ทำให้ความคงทนของคอนกรีตบล็อกสูญเสียไป แต่ในงานวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาผลกระทบของสารประกอบทั้งสองนี้โดยตรง

ค. สารเชื่อมประสาน

จากการคำนวณหาปริมาณของสารเชื่อมประสานหลักในปูนซีเมนต์โดยใช้สมการของ Bogue พบว่าเถ้าลอยแม่เมาะมีอัตราส่วนสารเชื่อมประสานหลักแตกต่างจากปูนซีเมนต์ซึ่งมีผลให้การพัฒนากำลังอัดในแต่ละช่วงเวลาแตกต่างกัน (Makoto, 1984) โดยเถ้าลอยแม่เมาะมีปริมาณไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) เท่ากับ -365.12 เปอร์เซ็นต์ซึ่งน้อยกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มากที่มีค่าเท่ากับ 59.07 เปอร์เซ็นต์ทำให้อัตราการพัฒนากำลังอัดในช่วง 14 วันแรกของคอนกรีต

ผสมเถ้าลอยแม่เมาะต่ำกว่าคอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ล้วน กำลังอัดที่เวลา 7 และ 14 วันแรกของคอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะจึงต่ำกว่าคอนกรีตที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ล้วน แต่การที่เถ้าลอยแม่เมาะมีปริมาณของไคแคลเซียมซัลเฟต (C_2S) เท่ากับ 371.32 เปอร์เซ็นต์ซึ่งสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีค่าเท่ากับ 13.43 เปอร์เซ็นต์ทำให้อัตราการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะหลังจาก 14 วันไปแล้วมีค่าสูงกว่าคอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ล้วน ส่งผลให้กำลังอัดที่เวลา 28 และ 60 วันสูงขึ้นจนมีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ล้วน

4.2 ผลกระทบของเถ้าลอยแม่เมาะต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสด(Fresh Concrete)

4.2.1 ปริมาณน้ำต่อสารเชื่อมประสาน

จากการศึกษาพบว่าคอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะทุกอัตราส่วนผสมมีปริมาณน้ำต่อสารเชื่อมประสาน (w/c) ต่ำกว่าคอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ล้วนที่ความชื้นเหลวเท่ากัน โดยคอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วนมีค่า w/c สูงสุดคือ 0.440 ขณะที่คอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะมีค่า w/c อยู่ระหว่าง 0.432 ถึง 0.437 ซึ่งผลการทดลองมีความสอดคล้องกับการวิจัยก่อนหน้านี้ โดย Makoto (1984) พบว่าค่า w/c ของคอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะส่วนใหญ่ต่ำกว่าคอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วน การเพิ่มปริมาณเถ้าลอยทำให้ค่า w/c ลดลง ทั้งนี้มีผลมาจากอนุภาคเถ้าลอยแม่เมาะส่วนใหญ่มีรูปร่างเป็นเม็ดกลมขณะที่อนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นเหลี่ยมคมมากกว่า (วราภรณ์, 2537) จึงทำให้ซีเมนต์เพสที่มีเถ้าลอยแม่เมาะผสมอยู่เกิดการไหลได้ง่ายกว่า และจากการที่เถ้าลอยแม่เมาะมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยกว่าปูนซีเมนต์ที่น้ำหนักเท่ากัน ดังนั้นการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยแม่เมาะโดยน้ำหนัก ทำให้พื้นที่ผิวของสารเชื่อมประสานลดลงปริมาณน้ำที่ใช้ในการเคลือบผิวจึงลดลงด้วย เหตุผลสำคัญอีกอย่างคือเถ้าลอยแม่เมาะมีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าปูนซีเมนต์ ดังนั้นที่น้ำหนักเท่ากันเถ้าลอยแม่เมาะจะมีปริมาตรมากกว่าปูนซีเมนต์ ทำให้ซีเมนต์เพสที่มีเถ้าลอยแม่เมาะผสมอยู่มีปริมาตรมากกว่า สามารถเชื่อมประสานมวลรวมได้มากกว่า จึงเป็นการเพิ่มความสามารถในการเทได้ให้คอนกรีต (Halstead, 1986)

นอกจากนี้ยังพบอีกว่าการเพิ่มปริมาณเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนที่มากขึ้นมีผลทำให้ปริมาณน้ำต่อสารเชื่อมประสานลดลงที่ความสามารถในการเทได้เท่าเดิม และจะลดต่ำสุดที่ปริมาณเถ้าลอยแม่เมาะเท่ากับร้อยละ 30 ซึ่งมีค่า w/c ต่ำสุดเท่ากับ 0.432 หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยอีกร้อยละ 10 และ 20 ค่า w/c จะเพิ่มขึ้นเป็น 0.433 และคงที่ ทั้งนี้เนื่องมาจากอนุภาคของเถ้าลอยแม่เมาะโดยส่วนใหญ่มีขนาดโตกว่าอนุภาคของปูนซีเมนต์ ดังนั้นเมื่อผสมกันอนุภาคที่ละเอียดของปูนซีเมนต์จะแทรกตัวอยู่ระหว่างอนุภาคของเถ้าลอย ทำให้ช่องว่างในคอนกรีตมีน้อยลง ปริมาณน้ำที่สะสมอยู่ในช่องว่างจึงต่ำลงด้วย การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

แม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 30 มีค่า w/c ต่ำสุดเนื่องจากอนุภาคที่ละเอียดของปูนซีเมนต์มีปริมาณพอดีกับช่องว่างระหว่างอนุภาคของเถ้าลอยแม่เมาะ

4.2.2 ความสามารถในการบดอัด

เนื่องจากคอนกรีตที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกเป็นคอนกรีตแห้งมากไม่มีค่าการยุบตัว (Slump) ดังนั้นในการทำให้คอนกรีตแน่นได้จำเป็นต้องใช้การบดอัด (Compaction) ซึ่งต้องใช้แรงอัดและการสั่นสะเทือนเพื่อให้คอนกรีตมีความหนาแน่นตามที่ต้องการ โดยความแน่นจะขึ้นอยู่กับเวลาและน้ำหนักที่ใช้ในการบดอัด (Schneider and Dickey, 1980) จากผลการศึกษาถึงเวลาที่ใช้ในการบดอัดแท่งตัวอย่างคอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะที่มีความชื้นเหลวเท่ากัน พบว่าเมื่อผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นมีผลให้เวลาที่ใช้ในการบดอัดลดลงทั้งแรงอัดและความหนาแน่นเท่ากัน โดยคอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ล้วนใช้เวลาในการบดอัดมากที่สุดคือ 165 วินาที ส่วนคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะอัตราส่วนต่างๆกันใช้เวลาในการบดอัดใกล้เคียงกันตั้งแต่ 135 ถึง 120 วินาทีที่ความหนาแน่นเท่ากันคือ 2.10 ตัน/ม³ โดยเวลาจะลดต่ำสุดเมื่อปริมาณเถ้าลอยแม่เมาะเท่ากับร้อยละ 40 ซึ่งใช้เวลาในการบดอัด 120 วินาที จากการวิจัยแสดงให้เห็นชัดเจนว่าการใช้เถ้าลอยแม่เมาะผสมทดแทนปูนซีเมนต์ช่วยให้การบดอัดทำได้ง่ายขึ้น การที่เถ้าลอยแม่เมาะช่วยลดเวลาที่ใช้ในการบดอัด เป็นผลมาจากเถ้าลอยแม่เมาะปรับปรุงให้ความสามารถในการเทได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคเถ้าลอยแม่เมาะโดยส่วนใหญ่มีรูปร่างเป็นทรงกลมเมื่อเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์จะมีลักษณะเป็นแท่ง (วราภรณ์, 2537) ทำให้มวลรวมสามารถไหลได้ง่ายขึ้นเมื่อมีแรงกดมากระทำ ถึงแม้คอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะจะมีปริมาตรที่ต้องบดอัดมากกว่าก็ตาม

4.3 ผลกระทบของเถ้าลอยแม่เมาะต่อคุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว (Harden Concrete)

4.3.1 กำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่างทรงกระบอก

จากการศึกษาพบว่าแท่งตัวอย่างคอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ล้วนให้กำลังอัดสูงกว่าแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะทุกอัตราส่วนผสมและทุกช่วงเวลา เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแท่งตัวอย่างที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะด้วยกัน พบว่าที่เวลา 7 และ 14 วันแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 10 ให้กำลังรับแรงอัดสูงสุดโดยมีค่าเท่ากับ 88 และ 90 กก./ซม.² ทั้งนี้เนื่องจากการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยในปริมาณน้อย ทำให้สารเชื่อมประสานที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ไม่ลดลงมากนัก สำหรับเวลาที่ 28 และ 60 วัน แท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 30 ให้กำลังรับแรงอัดสูงสุดโดยมีค่าเท่ากับ 106 และ 129 กก./ซม.² คิดเป็นร้อยละ 95 และ 101 ของกำลังอัดแท่งตัวอย่างผสมปูนซีเมนต์ล้วน เนื่องจากในคอนกรีตผสมเถ้าลอยสารประกอบ CSH (แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต) ที่เกิดขึ้นเป็นผลมา

จากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์กับการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกในเถ้าลอย จากการคำนวณเมื่อพิจารณาให้ปฏิกิริยาปอซโซลานิกเกิดได้สมบูรณ์ดังแสดงในตาราง ก-16 และรูป ข-17 พบว่าการใช้เถ้าลอยแทนปูนซีเมนต์ด้วยอัตราส่วนร้อยละ 30 และ 40 ทำให้เกิดสารประกอบCSHรวมในปริมาณสูงสุด และสารประกอบCSHที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันในคอนกรีตผสมเถ้าลอยในอัตราส่วนร้อยละ 30 มีปริมาณมากกว่าในคอนกรีตผสมเถ้าลอยร้อยละ 40 จึงทำให้คอนกรีตผสมเถ้าลอยในอัตราส่วนร้อยละ 30 มีกำลังอัดสูงสุด อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาปอซโซลานิกต้องใช้เวลา นานกว่าจะสมบูรณ์ ส่วนแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่มีเถ้าลอยแม่เมาะผสมอยู่ในอัตราส่วนร้อยละ 50 ให้กำลังรับแรงอัดต่ำสุดทุกช่วงเวลา เนื่องจากมีปริมาณปูนซีเมนต์ที่จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันน้อยที่สุด และเถ้าลอยเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกได้น้อยเนื่องจากสารประกอบไฮดรอกไซด์ที่เหลือจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์มีปริมาณน้อย ซึ่งพบว่าสอดคล้องกับผลการวิจัยที่ผ่านมา โดยชัยและคณะ (2535) พบว่าการใช้เถ้าลอยที่มีความละเอียดทดแทนปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 35 ให้กำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ล้วน

เมื่อพิจารณาถึงอัตราการพัฒนากำลังอัด พบว่าแท่งตัวอย่างที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วน และแท่งตัวอย่างที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 50 มีอัตราการพัฒนากำลังอัดค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดระยะเวลา 7 ถึง 60 วัน ส่วนแท่งตัวอย่างที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนผสมอื่น พบว่าในช่วงอายุตั้งแต่ 7 ถึง 28 วันมีอัตราการพัฒนากำลังอัดค่อนข้างต่ำกว่าแท่งตัวอย่างที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วน แต่ในช่วงเวลา 28 ถึง 60 วันมีอัตราการพัฒนากำลังอัดสูงกว่าแท่งตัวอย่างที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วน ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการผสมเถ้าลอยแม่เมาะในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการแทนที่ปูนซีเมนต์โดยน้ำหนัก จึงทำให้คอนกรีตผสมเถ้าลอยมีปริมาณปูนซีเมนต์ที่เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันน้อยลง ส่งผลให้กำลังอัดต่ำลงในช่วงแรก แต่เมื่อคอนกรีตมีอายุมากขึ้นปริมาณสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกได้มากขึ้น กำลังอัดในช่วงหลังจึงเพิ่มขึ้นด้วย

เมื่อเปรียบเทียบกำลังอัดของแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกและกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกกับอัตราส่วนเถ้าลอยแม่เมาะพบว่ามีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกันคือ ปริมาณเถ้าลอยเท่ากับร้อยละ 30 จะให้กำลังอัดสูงสุดที่อายุ 28 และ 60 วัน ส่วนที่อายุ 7 และ 14 วันกำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะจะต่ำลงเมื่ออัตราส่วนเถ้าลอยแม่เมาะเพิ่มขึ้น

ดังนั้นในการทดลองเพื่อหาปริมาณเถ้าลอยแม่เมาะที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมที่แตกต่างไปจากการวิจัยนี้ สามารถทำการทดลองจากแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกก่อนได้ โดยกำลังอัดที่ได้จากแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกอาจจะต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกจริงที่ผลิตจากโรงงาน เนื่องจากการหล่อแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกในห้องปฏิบัติการใช้

ระดับการบดอัดตัวอย่างต่ำกว่าการผลิตคอนกรีตโดยใช้เครื่องจักรในโรงงาน และเนื่องจากการที่แท่งตัวอย่างทรงกระบอกกับคอนกรีตบล็อกมีรูปทรงที่แตกต่างกัน แต่ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอัตราส่วนเถ้าลอยมีลักษณะใกล้เคียงกัน

4.3.2 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อก

เมื่อพิจารณาจากมาตรฐานของคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักตาม มอก. 57-2530 เรื่อง ความต้านแรงอัด พบว่าคอนกรีตบล็อกที่มีความหนาแน่น 2.10 ตัน/ม.³ ซึ่งผลิตจากปูนซีเมนต์ล้วนมีกำลังอัดเฉลี่ยที่ 28 วันโดยหน้าตัดสุทธิและหน้าตัดรวมเท่ากับ 146 และ 83 กก./ชม.²ตามลำดับ จัดเป็นคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ก ส่วนคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยแม่เมาะที่มีความหนาแน่นเท่ากับ 2.10 ตัน/ม.³ทุกอัตราส่วนผสมจัดเป็นคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ข โดยกำลังอัดสูงสุดอยู่ที่ปริมาณเถ้าลอยเท่ากับร้อยละ 30 มีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยที่ 28 วันโดยหน้าตัดสุทธิและหน้าตัดรวมเท่ากับ 125 และ 72 กก./ชม.²ตามลำดับคิดเป็นร้อยละ 86 ของกำลังอัดคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ล้วน

จากการศึกษาพบว่าเมื่ออัตราส่วนเถ้าลอยแม่เมาะเพิ่มขึ้นมีผลทำให้กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยในช่วง 7 และ 14 วันแรกลดลง แต่เมื่อเวลาผ่านไป 28 และ 60 วันแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนเถ้าลอยทำให้กำลังอัดสูงขึ้น ส่วนคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ล้วนมีการพัฒนากำลังอัดในช่วง 7 ถึง 14 วันเร็วกว่าคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยทุกอัตราส่วนผสม แต่เมื่อเวลาผ่านไป 28 วันไปแล้วคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยมีการพัฒนากำลังอัดได้เร็วกว่า คอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยแม่เมาะที่มีความหนาแน่นต่างกันมีอัตราการพัฒนากำลังอัดใกล้เคียงกัน

ผลจากการวิจัยแสดงให้เห็นว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยแม่เมาะทุกอัตราส่วนผสมมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ล้วนที่มีความหนาแน่นเท่ากัน โดยเฉพาะในช่วงอายุน้อยกว่า 28 วัน ทั้งนี้เป็นผลมาจากการผสมเถ้าลอยแม่เมาะในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการแทนที่ปูนซีเมนต์โดยน้ำหนัก จึงทำให้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันน้อยลง ขณะที่เถ้าลอยแม่เมาะจะค่อยๆเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกซึ่งใช้ระยะเวลานานกว่าจะสมบูรณ์ ดังนั้นปริมาณสารเชื่อมประสานที่เกิดขึ้นในช่วงแรกจึงมีน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดา ทำให้กำลังอัดและอัตราการพัฒนากำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดาในช่วงต้น แต่เมื่อปฏิกิริยาปอซโซลานิกเกิดสมบูรณ์แล้ว กำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะจะเพิ่มขึ้นจนมีกำลังใกล้เคียงกับคอนกรีตธรรมดา

4.3.3 การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อก

การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความพรุนของเนื้อคอนกรีต ถ้าเนื้อคอนกรีตมีความพรุนสูงจะดูดกลืนน้ำได้มาก นอกจากนี้ความพรุนในเนื้อคอนกรีตยังแสดงถึงปริมาณสารเชื่อมประสานที่แทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างมวลรวม (Hansen and Reinhardt, 1991) คอนกรีตที่มีปริมาณสารเชื่อมประสานมากจะมีความพรุนต่ำ ทำให้ดูดกลืนน้ำได้น้อยลง Hendry (1997) พบว่าการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกมีความสัมพันธ์กับกำลังรับแรงอัด คือคอนกรีตบล็อกที่มีค่าการดูดกลืนน้ำสูงจะมีกำลังรับแรงอัดต่ำ

จากผลการวิจัยพบว่าคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 มีค่าการดูดกลืนน้ำเท่ากับร้อยละ 9.48, 9.60, 9.02 และ 9.44 ตามลำดับ

ผลการวิจัยพบว่าคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 30 มีการดูดกลืนน้ำต่ำสุดและมีกำลังอัดสูงสุดที่ 28 วัน ทั้งนี้เพราะเมื่อเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ล้วน ถึงแม้ว่าคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 30 จะมีปริมาณสารเชื่อมประสานน้อยกว่า โดยทราบได้จากผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่พบว่าที่เวลา 28 วันคอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 30 มีกำลังรับแรงอัดคิดเป็นร้อยละ 85 ของคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ล้วน แต่จากการที่คอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 30 มีปริมาณซีเมนต์เฟสมากกว่า จึงทำให้เนื้อคอนกรีตมีความแน่นกว่า การดูดกลืนน้ำจึงน้อยกว่า และเมื่อเทียบกับคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยในอัตราส่วนอื่น จะเห็นได้ว่าการผสมเถ้าลอยแม่เมาะแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 30 ทำให้คอนกรีตบล็อกมีกำลังรับแรงอัดที่ 28 วันสูงสุด เนื่องจากสารประกอบออกไซด์ของอลูมินาและซิลิกาที่มีอยู่ในเถ้าลอยสามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกกับสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้เกิดสารเชื่อมประสานในปริมาณมากที่สุด เนื้อคอนกรีตจึงมีความแน่นมากทำให้มีความพรุนต่ำที่สุด และมีกำลังรับแรงอัดมากที่สุดด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยที่ผ่านมาของ ชัยและคณะ (2535) และการวิจัยของ Pichai and Sumon (1994) โดยพบว่าส่วนใหญ่การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 25 ถึง 35 โดยน้ำหนักทำให้คอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะมีกำลังรับแรงอัดสูงสุดที่เวลา 28 วันผ่านไป

สำหรับคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 20 มีค่าการดูดกลืนน้ำมากที่สุด ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะด้วยกัน พบว่าคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 20 มีปริมาณซีเมนต์เฟสน้อยที่สุด จึงทำให้เนื้อคอนกรีตมีช่องว่างมาก การดูดกลืนน้ำจึงมากตามไปด้วย ส่วนเมื่อเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วน แม้ว่าคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าลอยในอัตราส่วนร้อยละ 20 จะมีปริมาณซีเมนต์เฟสมากกว่า แต่สารเชื่อมประสานที่เกิดขึ้นอาจจะมีปริมาณน้อยกว่า โดยทราบได้

จากผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่พบว่า ที่เวลา 28 วันคอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะ ในอัตราส่วนร้อยละ 20 มีกำลังรับแรงอัดคิดเป็นร้อยละ 73 ของคอนกรีตบล็อกที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วน

ส่วนคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 40 พบว่ามีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วน ทั้งนี้เนื่องมาจากคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 40 มีปริมาณซีเมนต์ผสมมากกว่า ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณสารเชื่อมประสานน้อยกว่าโดยทราบได้จากผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่พบว่าที่เวลา 28 วันคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 40 มีกำลังรับแรงอัดคิดเป็นร้อยละ 74 ของคอนกรีตบล็อกที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วน แต่จากการที่อนุภาคเถ้าลอยบางส่วนที่ไม่เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกเป็นเสมือนมวลรวมละเอียดที่แทรกตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างมวลรวมได้ ทำให้ช่องว่างในคอนกรีตลดลง การดูดกลืนน้ำจึงต่ำลงด้วย

จากผลการวิจัยในเรื่องการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยแม่เมาะแสดงให้เห็นว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการดูดกลืนน้ำคือ ปริมาณสารเชื่อมประสานที่เกิดขึ้นทั้งหมดและปริมาณซีเมนต์ผสม โดยปริมาณสารเชื่อมประสานจะมีผลกระทบต่อการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกมากกว่า

4.3.4 การหดแห้งของคอนกรีตบล็อก

การหดแห้งของคอนกรีตบล็อกเป็นผลมาจากการสูญเสียความชื้นเมื่อนำคอนกรีตบล็อกมาใช้งานก่อสร้างที่มีอากาศค่อนข้างแห้ง การหดแห้งของคอนกรีตมีสาเหตุมาจากการหดตัวของสารเชื่อมประสานแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตเมื่อมีการสูญเสียความชื้น (Allen and Roper, 1991) ปัจจัยที่มีผลสำคัญต่อการหดแห้งคือปริมาณซีเมนต์ผสมและอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำต่อสารเชื่อมประสาน (w/c) กล่าวคือถ้าหากคอนกรีตส่วนผสมใดมีปริมาณซีเมนต์ผสมและอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อสารเชื่อมประสานมากการหดแห้งก็จะมากตามไปด้วย นอกจากนี้ความละเอียดของเม็ดปูนซีเมนต์ก็มีผลต่อการหดแห้งของคอนกรีตด้วยเช่นกัน Allen and Roper (1991)พบว่าคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเม็ดปูนซีเมนต์ที่มีขนาดใหญ่กว่าจะทำให้เกิดการหดแห้งได้น้อยกว่าเนื่องจากปริมาณน้ำที่ใช้เคลือบผิวน้อยกว่า ทำให้มีการสูญเสียความชื้นได้น้อยกว่า

จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณการหดแห้งของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยแม่เมาะไม่แตกต่างกันมากนัก โดยคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 40 มีปริมาณการหดแห้งสูงสุดคือร้อยละ 0.061 ส่วนคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 30 มีปริมาณการหดแห้งต่ำสุดโดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.053 สำหรับคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ล้วนและที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 20 มีการหดแห้งเท่ากับร้อยละ 0.057 และ 0.059 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาถึงสาเหตุที่มีผลกระทบต่อปริมาณการหดแห้งคือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำต่อสารเชื่อมประสาน ปริมาณของซีเมนต์เฟสในคอนกรีตบล็อก และความละเอียดของสารเชื่อมประสาน Allen and Roper (1991) พบว่าปริมาณน้ำต่อสารเชื่อมประสานมีผลต่อการหดแห้งของคอนกรีตมากที่สุด ในงานวิจัยนี้อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำต่อสารเชื่อมประสานไม่มีผลต่อการหดแห้งของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมต่างๆกัน เนื่องจากการผลิตคอนกรีตบล็อกใช้ปริมาณน้ำเท่ากันทุกอัตราส่วนผสม ดังนั้นผลกระทบที่สำคัญน่าจะมาจากคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยแม่เมาะมีปริมาณซีเมนต์เฟสมากกว่าคอนกรีตบล็อกที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วน ทำให้คอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 40 เกิดการหดแห้งมากที่สุดเนื่องจากมีปริมาณซีเมนต์เฟสมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Singleton Materials Engineering Laboratory (1979) ที่พบว่าคอนกรีตผสมเถ้าลอยมีการหดแห้งสูงกว่าคอนกรีตที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ล้วน เนื่องจากมีปริมาณซีเมนต์เฟสมากกว่า

ส่วนผลกระทบเนื่องจากความละเอียดของสารเชื่อมประสานทำให้คอนกรีตบล็อกที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วนมีปริมาณการหดแห้งสูงกว่าคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะ เนื่องจากการที่มีปูนซีเมนต์มีอนุภาคนาขนาดเล็กกว่าเถ้าลอยแม่เมาะ ทำให้ปริมาณน้ำที่เคลือบอยู่บนผิวของซีเมนต์เฟสตามไปด้วย จึงเกิดการหดแห้งได้มาก แต่ความละเอียดของสารเชื่อมประสานมีผลกระทบต่ออัตราการหดแห้งน้อยกว่าผลกระทบเนื่องจากปริมาณซีเมนต์เฟสที่แตกต่างกัน จึงทำให้คอนกรีตบล็อกผสมปูนซีเมนต์ล้วนมีปริมาณการหดแห้งต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยแม่เมาะ ในอัตราส่วนร้อยละ 20 และ 40 ส่วนคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 30 มีปริมาณการหดแห้งต่ำสุด ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณซีเมนต์เฟสน้อยกว่าเมื่อเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 40 และมีปริมาณอนุภาคละเอียดน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 20 และคอนกรีตบล็อกที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วน

เมื่อพิจารณาถึงอัตราการหดแห้งของคอนกรีตบล็อก จากการศึกษาพบว่าในช่วงเวลา 9 วันแรกคอนกรีตบล็อกที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วนกับคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะมีอัตราการหดแห้งใกล้เคียงกัน แต่หลังจากผ่าน 9 วันไปแล้วอัตราการหดแห้งของคอนกรีตบล็อกผสมปูนซีเมนต์ล้วนกับคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 30 มีค่าต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนอื่นแต่ไม่มากนัก

จากผลการศึกษาถึงการหดแห้งของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยแม่เมาะแสดงให้เห็นว่า การผสมเถ้าลอยแม่เมาะทดแทนปูนซีเมนต์ไม่มีผลต่อการหดแห้งในคอนกรีตบล็อกมากนัก ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยที่ผ่านมาของ Halstead (1986) ที่พบว่าอัตราการหดแห้งของคอนกรีตผสมเถ้าลอยกับคอนกรีตธรรมดา มีค่าใกล้เคียงกัน

จากผลการทดสอบกำลังอัดและการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผ่านมา พบว่า คอนกรีตบล็อกผสมปูนซีเมนต์ล้วนและคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 20,30 และ40 ความหนาแน่น 2.10 ตัน/ม.³ จัดเป็นคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ข ตามมาตรฐาน มอก.57-2530 โดยค่าการดูดกลืนน้ำมีผลสำคัญต่อการแบ่งประเภทมากกว่ากำลังอัด

การใช้เถ้าลอยแม่เมาะทดแทนปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักช่วยลดต้นทุนวัสดุที่ใช้ในการผลิตได้ดังแสดงในตาราง ก-14 โดยคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยแม่เมาะในอัตราส่วนร้อยละ 30 และ 40 มีราคาดัชนีวัสดุต่อก้อนลดลงจากคอนกรีตบล็อกผสมปูนซีเมนต์ล้วนถึง ร้อยละ 15 และ 21 ตามลำดับ