หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำทั่วไป

ในงานก่อสร้างอาคารไม่ว่าจะเป็นอาคารขนาดใหญ่ อาคารขนาดเล็ก หรือบ้านพักอาศัย มักจะต้องมีงานก่ออิฐฉาบปูนร่วมอยู่ด้วยเสมอ การฉาบปูนมีบทบาทต่อการก่อสร้างในปัจจุบันดังต่อไปนี้

1. เพื่อให้ผิวเดิมเรียบ สวยงาม ปราศจากรอยแตกร้าว
2. เป็นผิวป้องกันการกัดกร่อนของสภาพดินฟ้าอากาศ และฝุ่นละออง
3. เป็นฉนวนป้องกันเสียงและความร้อน
4. เป็นฉนวนป้องกันไฟ
5. เพื่อทำให้ผิวเดิมง่ายต่อการตกแต่ง
6. เพื่อลดการซึมผ่านของน้ำ

มอร์ต้าที่สามารถทำงานปูนฉาบได้ดี จะต้องมีลักษณะลื่น เนื้อสม่ำเสมอ ความข้นเหลวสะดวกที่จะใช้เกรียงปาดให้แผ่กระจาย สามารถยึดติดกับผิววัสดุต่อในแนวดิ่งได้ดี มีขนาดละของวัสดุมวลรวม และมีปริมาณน้ำพอเหมาะ แม้ว่ามนุษย์จะเริ่มรู้จักการก่ออิฐฉาบปูนมาช้านาน และมีการพัฒนามอร์ต้าที่จะใช้ฉาบปูนมาอย่างต่อเนื่อง แต่อย่างไรก็ตามปัญหาอย่างหนึ่งซึ่งยังคงพบเห็นอยู่มากในปัจจุบัน คือ การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวของมอร์ต้าที่นำมาใช้ในงานฉาบ

มอร์ต้าที่ใช้กันทั่วไปคือ ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์-ไลม์มอร์ต้า ซึ่งได้จากการทำปูนขาวเข้าร่วมผสมกับปูนซิเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และน้ำ ปูนขาวที่นำมาใช้จะต้องเป็นปูนขาวอิ่มน้ำ (Hydrate Lime) หรือ คัลเซียมไฮดรอกไซด์ $Ca(OH)_2$ ซึ่งได้จากการนำปูนขาวสุก (Quick Lime) มาหมักน้ำไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง จึงจะทำให้มอร์ต้ามีลักษณะเหนียวลื่น เหมาะที่จะนำมาใช้ในงานฉาบปูน เนื่องจากจะเสียเวลาและไม่สะดวกที่จะหมักปูนขาวเมื่อต้องการฉาบปูนเป็นจำนวนมาก ปัจจุบันจึงได้มีการนำเอาสารผสมเพิ่มประเภทกระจายกักฟองอากาศมาใช้ผสมปูนฉาบ

แทนปูนขาว สารผสมเพิ่มดังกล่าวมีจำหน่ายในท้องตลาดมากมายหลายชนิด ทั้งชนิดที่เป็นผงและน้ำยา ผู้จำหน่ายแต่ละรายมักจะอ้างคุณสมบัติในแง่ของการเพิ่มความไหลลื่น เพิ่มกำลัง ตลอดจนลดการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวให้แก่มอร์ต้า อย่างไรก็ตามปัญหาการแตกร้าวของผิวปูนฉาบก็ยังคงพบเห็นอยู่เสมอ การวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงพฤติกรรมการหดตัวของมอร์ต้า ที่ผสมสารเพิ่มประเภทกระจายกักฟองอากาศ เปรียบเทียบกับมอร์ต้าที่ผสมแบบเดิมคือใช้ปูนขาว โดยศึกษาผลกระทบของสัดส่วนผสมและปริมาณน้ำ ต่อคุณสมบัติทางด้านกลศาสตร์ เช่น กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึง โมดูลัสยืดหยุ่น การหดตัวเนื่องจากการเสียน้ำ การดูดซึมน้ำ และการขยายตัวตามอุณหภูมิ

1.2 ความเป็นมาของปัญหา

การแตกร้าวของผิวปูนฉาบนั้นแม้ว่าจะไม่เป็นอันตราย หรือไม่มีผลเสียต่อความแข็งแรงของอาคาร แต่ก็ทำให้เกิดความไม่สวยงาม และผลเสียต่อจิตวิทยาของผู้ใช้อาคาร ซึ่งอาจเกิดความหวาดระแวงต่อความปลอดภัย ตลอดจนจะต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมเป็นจำนวนมาก ซึ่งสาเหตุของการแตกร้าวอาจเกิดจากกรรมวิธีการฉาบที่ไม่ถูกต้องของช่างปูนเอง หรือเกิดจากการใช้อัตราส่วนผสมของปูนฉาบที่ทำให้เกิดการหดตัวสูง

สภาวะการณ์ปัจจุบัน ซึ่งการก่อสร้างโครงการแต่ละแห่งจะต้องเร่งรีบดำเนินการให้เสร็จสิ้นโดยเร็วที่สุด ทำให้หน่วยงานส่วนใหญ่ นิยมนำสารผสมเพิ่มแทนปูนขาวมาใช้ในการผสมปูนฉาบเพื่อเพิ่มความเหนียวลื่นแทนปูนขาว เนื่องจากความไม่สะดวกในการที่จะต้องหมักปูนขาวก่อนนำมาใช้ ผู้ผลิตสารผสมเพิ่มแทนปูนขาวในท้องตลาดทุกราย มักจะอ้างคุณสมบัติของปูนฉาบที่ผสมสารเพิ่มว่าดีกว่าการผสมปูนฉาบแบบเก่าคือใช้ปูนขาว ทั้งในแง่ความเหนียวลื่น ความแข็งแรง ลดการหดตัวและรอยแตกร้าว แต่ก็ยังปรากฏว่า ปูนฉาบที่ใช้สารผสมเพิ่มแทนปูนขาว ยังคงพบเห็นการแตกร้าวอยู่เสมอ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาพฤติกรรมการหดตัวเนื่องจากการเสียน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการแตกร้าวของผิวปูนฉาบ ตลอดจนคุณสมบัติทางกลศาสตร์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ของปูนฉาบที่ผสมโดยวิธีดั้งเดิมคือใช้ปูนขาว เปรียบเทียบกับปูนฉาบที่ผสมสารเพิ่มแทนปูนขาวในแง่ของอัตราส่วนผสม โดยเน้นศึกษาผลกระทบของปริมาณปูนซิเมนต์ และปริมาณน้ำในส่วนผสม เพื่อนำมาซึ่งวิธีการป้องกันและลดการแตกร้าวของปูนฉาบให้น้อยลง ตลอดจนลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมเมื่อเกิดรอยแตกร้าวในภายหลัง

1.3 งานวิจัยที่ผ่านมา

แม้ว่าคุณสมบัติทางด้านการรับกำลังของมอร์ต้าที่ใช้เป็นปูนฉาบ จะมีความสำคัญน้อยกว่าคุณสมบัติทางด้านการทำงานได้ และการลดการหดตัว แต่การแตกร้าวในผิวปูนฉาบมีส่วนเกี่ยวข้องระหว่างการหดตัว และคุณสมบัติทางด้านกลศาสตร์ที่ควรจะศึกษาอยู่มิใช่น้อย การศึกษาและพัฒนามอร์ต้าและคอนกรีตได้กระทำมาตลอดเวลา

ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดประลัยของมอร์ต้าและคอนกรีต ได้แก่ ปริมาตรมวลรวมในส่วนผสม อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และความแน่น Stock, Hannant และ Williams (1) พบว่าสำหรับคอนกรีตที่มีปริมาณซีเมนต์เพสท์คงที่ ขณะที่เพิ่มปริมาตรมวลรวมจากร้อยละ 0-20 กำลังอัดของคอนกรีตจะลดลงเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มปริมาตรมวลรวมจนถึงร้อยละ 40-60 จะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1.1 Erntroy และ Shacklock (2) ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนมวลรวมต่อซีเมนต์ และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ กับกำลังอัดของคอนกรีตตามรูปที่ 1.2 พบว่า เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลง และที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เดียวกัน คอนกรีตที่มีอัตราส่วนมวลรวมต่อซีเมนต์สูง จะมีกำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตที่มีอัตราส่วนมวลรวมต่อซีเมนต์ต่ำ ทั้งนี้ เนื่องจากปริมาตรมวลรวมที่สูงขึ้นจะทำการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จึงแสดงผลได้น้อยลง นอกจากนั้นการลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ยังเป็นการลดอัตราส่วนเจลต่อช่องว่างในเนื้อคอนกรีต ซึ่งมีผลให้กำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1.3

การแตกร้าวในผิวคอนกรีตหรือมอร์ต้า จะเกี่ยวข้องกับกำลังดึงของคอนกรีตโดยตรง ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตมักจะมีผลต่อกำลังดึงเช่นกัน Saul (3) พบว่า อัตราส่วนระหว่างกำลังดึงและกำลังอัดจะมากในช่วง 1 เดือนแรก หลังจากนั้นจะเริ่มลดลง คอนกรีตที่บ่มในอากาศเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่บ่มชื้น จะทำให้กำลังดึงของคอนกรีตลดต่ำลงมากกว่ากำลังอัด (4) ซึ่งเป็นผลจากรอยแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว นอกจากนั้นปริมาณฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตยังมีผลต่อกำลังดึงน้อยกว่ากำลังอัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในคอนกรีตที่มีอัตราส่วนของซีเมนต์สูง ๆ (5)

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อโมดูลัสยืดหยุ่นโดยตรงคือกำลังอัด และความหนาแน่นของคอนกรีต ดังนั้น การเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ซึ่งมีผลทำให้กำลังอัดและความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง

ผลที่ตามมาคือ โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตนั้นลดลงด้วย Rusch (6) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับอัตราส่วนความความเค้นต่อกำลังของคอนกรีตที่มีกำลังต่าง ๆ กัน ดังรูปที่ 1.4 พบว่า ณ ตำแหน่งที่มีน้ำหนักกระทำเป็นสัดส่วนเดียวกับกำลังอัดประลัย คอนกรีตที่มีกำลังสูงกว่าจะมีความเครียดที่มากกว่าคอนกรีตที่มีกำลังต่ำ แต่อย่างไรก็ตาม ระหว่างคอนกรีต 2 ชนิด อัตราส่วนระหว่างความเครียด ก็ยังน้อยกว่าอัตราส่วนระหว่างความเค้น จึงทำให้กำลังของคอนกรีตสูงขึ้นเท่าใด โมดูลัสยืดหยุ่นก็สูงขึ้นเท่านั้น รูปที่ 1.5 (7) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของซีเมนต์เพสท์, มวลรวม และคอนกรีต พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของซีเมนต์เพสท์และมวลรวม ค่อนข้างจะเป็นเส้นตรง เนื่องจากวัสดุทั้งสองเป็นเนื้อเดียวกันตลอด ส่วนของคอนกรีตมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง

การดูดซึมน้ำ เป็นคุณสมบัติของคอนกรีตในแง่ของความคงทน Ishai และ Barli (8) ได้ทำการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าที่ได้รับการอัดกระทุ้งด้วยวิธีแตกต่างกัน พบว่ามอร์ต้าที่ได้รับการอัดกระทุ้งมากเป็นพิเศษ จะมีค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำกว่ามอร์ต้าที่หล่อธรรมดา ทั้งนี้เนื่องจากการกระทุ้งเป็นการลดความพรุนในเนื้อมอร์ต้า นอกจากนั้น มอร์ต้าที่มีรูพรุนภายในมากจะทำให้การยึดรั้งต่อการหดตัวของซีเมนต์เจลลดลง มอร์ต้าที่ได้รับการบ่มน้ำเกิน 3 วัน จะลดการดูดซึมน้ำลงมากกว่ามอร์ต้าที่บ่มน้ำ 1 วันมาก ดังแสดงในรูปที่ 1.6

คุณสมบัติของปูนซีเมนต์จะขึ้นอยู่กับสารประกอบที่สำคัญ 4 ชนิดในปูนซีเมนต์ คือ C_3S , C_2S , C_3A และ C_4AF ทั้ง C_3S และ C_2S เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ จะทำให้ได้คัลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) และคัลเซียมไฮดรอกไซด์ (CH) ซึ่งในช่วงแรกปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงและหยุดใน 15 นาที ปฏิกิริยาในช่วงนี้จะเกิดขึ้นน้อยมาก เรียกว่า "ระยะดอร์เมนต์" (Dorment Period) เนื่องจากการเกิดชั้นบาง ๆ ของ CSH รอบ C_3S และ C_2S ตลอดจนการเพิ่มขึ้นของอิออนของคัลเซียม และไฮดรอกไซด์

Brunauer (21) พบว่า อิออนของคัลเซียม และไฮดรอกไซด์ ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส มีผลไปหน่วงการเกิดปฏิกิริยาของ C_3A โดย $Ca(OH)_2$ จะทำปฏิกิริยากับ C_3A และน้ำ ทำให้เกิด C_4AH_{19} เคลือบผิวอนุภาคของ C_3A ปฏิกิริยาในช่วงนี้จะลดลง และซีเมนต์เพสต์มีสภาพพลาสติกอยู่ช่วงเวลาหนึ่ง การเติมปูนขาวในส่วนผสมปูนฉาบเท่ากับเป็นการเพิ่มคัลเซียมไฮดรอกไซด์ในส่วนผสม ซึ่งจะหน่วงให้ระยะดอร์เมนต์ยาวขึ้น ปูนฉาบที่ผสมปูนขาวจึงมีสภาพพลาสติกอยู่ได้นานกว่าปกติ

เมื่อถึงจุดหนึ่งความเข้มข้นของอิออนของคัลเซียมและไฮดรอกไซด์ ในสารละลายจะสูงพอที่จะทำให้เกิดการตกผลึกของ CH ปฏิกิริยาจะเริ่มเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วอีกครั้งหนึ่ง เรียกว่า ปฏิกิริยาโทโปเคมิคัล (Topochemical Reaction) จากนั้นปฏิกิริยาจะค่อย ๆ ลดลงจนเหลือน้อยที่สุด สำหรับ C_3A เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ จะทำให้เกิดผลึกเซียมซัลโฟอลูมิเนตไฮเดรต ซึ่งเรียกว่า เอ็นทริงไจต์ (Enttringite) ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว C_4AF จะทำปฏิกิริยากับน้ำ ทำให้เกิดคัลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ โดยการเกิดปฏิกิริยา เกิดขึ้นได้ช้ากว่า C_3A

การใช้สารผสมเพิ่มประเภทกระจายกักฟองอากาศ ผสมในส่วนผสมปูนฉาบแทนปูนขาว จะทำให้ปูนฉาบมีความสามารถในการทำงานได้สูงขึ้น ดดยสารผสมเพิ่มดังกล่าวจะเป็นตัวทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กเป็นจำนวนมากแผ่ปนอยู่ในเนื้อปูนฉาบ แต่ความไหลลื่นดังกล่าวจะลดลงอย่างรวดเร็วตามเวลา

การหดตัวเนื่องจากการเสียน้ำของคอนกรีตและมอร์ต้า สามารถแยกตามลักษณะและช่วงเวลาที่เกิดได้ดังนี้

ก. การหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี (Chemical Shrinkage) ผลกระทบของสัดส่วนปูนฉาบต่อการหดตัวทางเคมีที่สำคัญ คือ การหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ ภายหลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุดลง ปริมาตรของเนื้อซีเมนต์เจลจะน้อยกว่าปริมาตรของปูนซีเมนต์รวมกับน้ำ Czernin (9) พบว่า ปริมาตรภายหลังการทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์กับน้ำจะลดลงจากเดิมประมาณ 7% ดังนั้น ในส่วนผสมปูนฉาบที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิก้า ซึ่งมีเนื้อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาผสมอยู่เพียง 70% (23) ตลอดจนการนำเอาปูนขาวเข้าร่วมผสม จึงมีผลทำให้การหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น น้อยกว่ามอร์ต้าที่ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาเพียงอย่างเดียว สำหรับการหดตัวเนื่องจากอุณหภูมิ (Thermal Shrinkage) ดังได้กล่าวมาแล้วว่า สารประกอบหลักของปูนซีเมนต์คือ C_3S , C_2S , C_3A และ C_4AF ซึ่งอัตราความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะแตกต่างกันไป ตามที่แสดงในรูปที่ 1.7 โดย C_3A เป็นสารที่มีความว่องไวมากที่สุด C_3S และ C_4AF มีความว่องไวรองลงมาและ C_2S เป็นสารที่ทำปฏิกิริยาช้าที่สุด อนึ่ง ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น C_3A เป็นสารที่ให้ความร้อนสูงสุด C_3S และ C_4AF ให้ความร้อนปานกลาง ส่วน C_2S ให้ความร้อนต่ำสุด ดังแสดงในตารางที่ 1.1 ความร้อนที่เกิดขึ้นมีผลทำให้เกิดการหดตัว สำหรับในปูนฉาบจะมีการหดตัว เนื่องจากความร้อนน้อยกว่ามอร์ต้าทั่วไป ทั้งนี้เนื่องจากชนิดของปูนซีเมนต์ซิลิก้าที่ใช้ มีปริมาณสารประกอบหลักที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นน้อยกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ตลอดจนการใช้ปูนขาวในส่วนผสม $Ca(OH)_2$ ในปูนขาวจะทำ

หน้าที่หน่วงปฏิกิริยาของ C_3A ซึ่งเป็นสารที่ให้ความร้อนสูงสุดให้เกิดช้าลง มีผลทำให้ความร้อนรวมของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสูงสุดในช่วงแรกลดลง

ข. การหดตัวเนื่องจากการสูญเสียน้ำ (Drying Shrinkage) เป็นการหดตัวเนื่องจากการสูญเสียน้ำในสภาวะแข็งตัวแล้ว มีขนาดและความสำคัญมากกว่าการหดตัวชนิดอื่น ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการแตกร้าวได้ การหดตัวที่เกิดขึ้นบางส่วนจะสามารถขยายตัวกลับคืน เมื่อได้รับน้ำ (Reversible Shrinkage) แต่จะมีอีกส่วนหนึ่งที่ไม่ขยายตัวคืนที่ (Irreverible Shrinkage) ดูรายละเอียดในรูปที่ 1.8

การหดตัวที่ย้อนกลับได้ (Reversible Shrinkage) ปัจจัยที่มีผลต่อการหดตัวของซีเมนต์เพสท์ เชื่อกันว่าเกิดขึ้นจากหน่วยแรงในคาปิลลารี่ (Capillary Stress), แรงดันที่ทำให้แยกตัว (Disjoining Pressure) และการเปลี่ยนแปลงของพลังงานผิวอิสระ (Surface Free Energy) ดังแสดงในรูปที่ 1.9 โครงสร้างของซีเมนต์เพสท์ที่ทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นแล้วจะเต็มไปด้วยความพรุนของโพรงคาปิลลารี่ ตลอดจนการกระจายของอนุภาคเล็ก ๆ ของ CSH ที่ยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงวันเดอร์วาวล์ การหดตัวต่าง ๆ จะมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิน้ำที่อยู่ในโพรงคาปิลลารี่ จะทำให้เกิดหน่วยแรงดึงในคาปิลลารี่ การที่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลง มีผลทำให้หน่วยแรงดึงในโพรงคาปิลลารี่เพิ่มขึ้น อนุภาคของแข็งภายนอกโพรงจึงเกิดการหดตัว เมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับอยู่บนผิวของ CSH จะมีปริมาณมากขึ้น จนสามารถชนะแรงยึดเหนี่ยววันเดอร์วาวล์ อนุภาคในซีเมนต์เพสท์จะแยกออกจากกัน และเกิดแรงดันที่ทำให้แยกตัว (Disjoining Pressure) ผลของแรงดัน จะแสดงให้เห็นอย่างชัดเจน เมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นมากกว่า 50% การเปลี่ยนแปลงพลังงานผิวอิสระ (Surface Free Energy) เกิดขึ้นเมื่อความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้น จะทำให้มีการดูดซับความชื้นที่บริเวณผิวของ S ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีมากที่สุดใน CSH มีผลทำให้พลังงานที่ผิวอนุภาคลดลง และเกิดการขยายตัวของอนุภาค การเปลี่ยนแปลงพลังงานผิวจะแปรผันตรงกับการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ เมื่อความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 20-40% แต่ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นมากกว่า 40% การเปลี่ยนแปลงพลังงานผิวจะไม่เกิดขึ้น

การหดตัวที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ (Irreversible Shrinkage) เป็นการหดตัวอย่างถาวร แม้ได้รับน้ำก็ไม่สามารถขยายตัวคืนที่ได้ R.A. Helmuth และ D.H. Turk พบว่า ความพรุนของเนื้อซีเมนต์เพสท์ มีผลเฉพาะกับการหดตัวที่ไม่สามารถย้อนกลับเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 1.10 ดังนั้น อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ซึ่งมีผล

ต่อความพรุนจึงมรผลต่อการหดตัวเช่นเดียวกัน นอกจากนี้การบ่มไอน้ำ การเพิ่มระยะเวลาในการบ่ม การเพิ่มอุณหภูมิในการบ่ม ความชื้นสัมพัทธ์สูง ล้วนมีผลที่ทำให้การหดตัวที่ไม่สามารถย้อนกลับลดลง แม้ว่าสาเหตุของการหดตัวที่ไม่สามารถย้อนกลับยังไม่สามารถทราบแน่ชัด แต่อาจสรุปโดยกว้าง ๆ ว่าเกิดจากความไม่เสถียรของอนุภาค CSH ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น เช่น การกระจายของช่องว่างในเจล แรงยึดเหนี่ยวของอนุภาค CSH การจัดเรียงตัวของอนุภาค CSH ปริมาณน้ำภายใน CSH Feldman และ Screda (2) พบว่า การสูญเสียน้ำในระหว่างชั้นของ CSH เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการหดตัว โดยเฉพาะเมื่อสภาพความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ

สำหรับการหดตัวเนื่องจากการสูญเสียน้ำ Power (10) พบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของน้ำที่ระเหยออกมา และการหดตัวดังแสดงในรูปที่ 1.11 นอกจากนี้ได้มีผู้ทำการศึกษาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการหดตัวของคอนกรีต และมอร์ต้า เช่น

ก. ปริมาตรมวลรวมในส่วนผสม Pickett (11) ได้ทำการทดสอบคอนกรีตด้วยการเปลี่ยนแปลงขนาดมวลรวมที่มีขนาดใหญ่ที่สุด จาก 6.3 มม. มาเป็น 152 มม. ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณมวลรวมในส่วนผสมเพิ่มขึ้นจาก 60 เป็น 80 เปอร์เซนต์ของปริมาตรคอนกรีต พบว่าการหดตัวของคอนกรีต ลดลงดังแสดงในรูปที่ 1.12

ข. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมวลรวมและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ซึ่งมีผลต่อการหดตัวของคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 1.13 (12)

ค. ชนิดของวัสดุมวลรวม Reichard (13) พบว่า สามารถลดการหดตัวของคอนกรีตด้วยการใช้วัสดุมวลรวมที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูง การใช้วัสดุมวลรวมเบาซึ่งมีโมดูลัสยืดหยุ่นน้อย จะทำให้แรงยึดรั้งต่อการหดตัวของซีเมนต์เพสท์น้อย ดังแสดงในรูปที่ 1.14

ง. ปริมาณปูนซิเมนต์ คอนกรีตที่มีปริมาณปูนซิเมนต์ผสมอยู่มากจะมีการหดตัวมาก เนื่องจากต้องการปริมาณน้ำที่ใช้ในส่วนผสมมากขึ้นตามปริมาณปูนซิเมนต์ ทำให้เกิดช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีตมาก

จ. สารเคมีบางชนิดในปูนซิเมนต์ ยิบซั่มทำให้เกิดการหดตัวของคอนกรีตสูง (14) อลูมิน่าจะเป็นสารเร่งให้เกิดการหดตัวของคอนกรีตเร็วขึ้น (15) คัลเซียมคลอไรด์จะเพิ่มการหดตัวของคอนกรีต (16)

ฉ. อายุของคอนกรีต อัตราการหดตัวของคอนกรีตจะมากในช่วงแรก และจะลดลงอย่างรวดเร็ว คือประมาณร้อยละ 24 ของการหดตัวของคอนกรีตตลอด 20 ปี จะเกิดขึ้นภายใน 2 สัปดาห์แรก ร้อยละ 60 ของการหดตัวภายใน 20 ปี จะเกิดภายใน 3 เดือน และร้อยละ 75 จะเกิดภายใน 1 ปี (17) ดังแสดงในรูปที่ 1.15

ช. การบ่ม คอนกรีตที่ได้รับการบ่มชื้นเป็นเวลานาน จะทำให้ซีเมนต์เพสท์มีกำลังมากพอที่จะต้านทานการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต (10)

ซ. อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตร คอนกรีตที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากจะมีการหดตัวมาก (18) เนื่องจากคอนกรีตจะมีการหดตัวไม่เท่ากันตลอดทั้งชิ้นส่วน บริเวณผิวจะมีการหดตัวมากกว่าบริเวณภายใน จะทำให้เกิดความแตกต่างของการหดตัวขึ้น สามารถแทนได้ด้วยหน่วยแรงดึงที่ผิว และหน่วยแรงอัดภายในชิ้นส่วน ทำให้เกิดการแตกร้าวกับคอนกรีตได้

ค. การหดตัวเนื่องจากปฏิกริยาคาร์บอเนท (Carbonation Shrinkage) เป็นการหดตัวของคอนกรีต เนื่องจากปฏิกริยาระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ กับไฮดรอกไซด์ในซีเมนต์หลังจากทำปฏิกริยากับน้ำแล้ว (Hydrated Cement) ความร้อนที่ได้จากปฏิกริยาจะทำให้ปริมาณน้ำในคอนกรีตลดลง บริเวณผิวที่มีการสัมผัสกับอากาศโดยตรง จึงมีการสูญเสียน้ำและเกิดการหดตัวมากกว่าภายในเนื้อคอนกรีต ทำให้ผิวของคอนกรีตเกิดการแตกร้าว

เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุซึ่งประกอบขึ้นจากซีเมนต์เพสท์และมวลรวม สัมประสิทธิ์การขยายตัวของคอนกรีต จึงได้รับอิทธิพลจากสัมประสิทธิ์การขยายตัวของซีเมนต์เพสท์และมวลรวมที่ใช้ Meyers (19) นบว่า สัมประสิทธิ์การขยายตัวตามอุณหภูมิของคอนกรีตจะมีค่าอยู่ระหว่างสัมประสิทธิ์การขยายตัวของซีเมนต์เพสท์ และสัมประสิทธิ์การขยายตัวของมวลรวม

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนทราย ต่อซีเมนต์ ต่อพฤติกรรมการหดตัว และคุณสมบัติเชิงกลของปูนฉาบที่ผสมปูนขาว เปรียบเทียบกับปูนฉาบที่ใช้สารผสมเพิ่มประเภทกระจายกักฟองอากาศ

ศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ต่อพฤติกรรมการหดตัว และคุณสมบัติเชิงกล ของปูนฉาบที่ผสมปูนขาว เปรียบเทียบกับปูนฉาบที่ใช้สารผสมเพิ่มประเภทกระจายกักฟองอากาศ

ประมวลผลจากคุณสมบัติเชิงกล และพฤติกรรมการหดตัว เพื่อพัฒนาวิธีการประยุกต์ใช้เป็นวัสดุฉาบในงานอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ จะทำการทดสอบหาค่าการหดตัวเนื่องเฉพาะจากการสูญเสียน้ำ เมื่อปูนฉาบแข็งตัวตามเวลาเท่านั้น สัดส่วนผสมของปูนฉาบที่ทดลองจะใช้สัดส่วนทรายต่อซีเมนต์ ตามสภาวะการใช้งานในประเทศไทย โดยถือความสามารถในการฉาบได้ตามที่ระบุในมาตรฐาน BS 4721:1981 เป็นเกณฑ์ ปริมาณสารผสมเพิ่มจะใช้ตามคำแนะนำของผู้ผลิต การวิเคราะห์และการประยุกต์พฤติกรรมการหดตัวที่ได้จากการทดสอบ จะพิจารณาเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับงานก่ออิฐฉาบปูนในอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเท่านั้น