บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันปัญหาในด้านการหดตัวและการคืบตัวอย่างต่อเนื่องของคอนกรีตเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลให้โครงสร้างของคอนกรีตเกิดความเสียหายเป็นอย่างมากทั้งในด้านกำลังและความทนทานซึ่งอุตสาหกรรมก่อสร้างในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีการก่อสร้างแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปจากต่างประเทศเข้ามามีบทบาทมากยิ่งขึ้นในประเทศไทย โดยมีลักษณะเด่นคือ มีการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปในโรงงานและนำมาติดตั้งในสถานที่ก่อสร้าง ซึ่งในการก่อสร้างที่ใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้นจะมีจำนวนข้อต่อที่ต้องการการกรอกปิดด้วยมอร์ต้าร์ที่มีความเสถียรภาพทางมิติ ไม่ทำให้เกิดการหดตัวซึ่งนำไปสู่การแตกร้าวได้โดยการแตกร้าวส่วนใหญ่นั้นจะเกิดจากการหดตัวเนื่องจากการสูญเสียน้ำ (Drying Shrinkage และ Autogeneous Shrinkage) ก่อให้เกิดการแตกร้าวภายในขึ้นดังนั้นการควบคุมการแตกร้าวดังกล่าวสามารถทำได้โดยการใช้สารผสมเพิ่มการขยายตัว (Expansive agent) ของซีเมนต์ซึ่งจะทำให้เกิดการขยายที่สามารถชดเชยการหดตัวที่เกิดขึ้นเพื่อเพิ่มความแข็งแรงมั่นคงและมีความทนทานสูงให้กับข้อต่อของโครงสร้าง

นอกจากนี้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ยังมีจุดอ่อนคือ จะหดตัวเมื่อตากแห้งทำให้เกิดการแตกร้าวขึ้น จึงได้มีการพัฒนาปูนซีเมนต์ที่มีการหดตัวน้อย โดยใช้หลักการของการขยายตัวเริ่มแรกก่อนที่จะมีการหดตัว การขยายตัวของปูนซีเมนต์ขยายตัว (Expansive Cement) อาศัยการทำให้เกิดเอททริงไกต์ในช่วงอายุแรกเริ่มโดยการใส่สารแคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตและสารซัลเฟตหรืออาจใช้การบดสารแคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา และเมื่อทำการปรับส่วนผสมให้พอเหมาะ สามารถทำให้เกิดการขยายตัวเริ่มแรกและการหดตัวภายหลังมีค่าใกล้เคียงกัน

อย่างไรก็ตามในกระบวนการผลิตและในกระบวนการใช้แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตในซีเมนต์ชดเชยการหดตัวนั้นจำเป็นต้องศึกษาถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นด้วย หากพิจารณาดูแล้วนั้นจะพบว่าก่อนที่จะได้แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตเพื่อนำมาใช้ในซีเมนต์ชดเชยการหดตัวนั้นจะต้องผ่านกระบวนการสังเคราะห์สารเคมีขึ้นมา ซึ่งในกระบวนการเหล่านี้อาจส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากการใช้ทรัพยากร พลังงาน และวัสดุ ดังนั้นเพื่อให้เกิดการพัฒนาการใช้ประโยชน์ของ

แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตในซีเมนต์ชดเชยการหดตัวอย่างยั่งยืน งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของแคลเซียมซัลโฟอลูมิเนต (Life Cycle Assessment: LCA) เพื่อทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้น โดย LCA จะใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิตโดยเริ่มจาก การใช้วัตถุดิบ และพลังงานในกระบวนการผลิต การใช้ การทิ้ง และการจัดการของเสียที่เกิดจากกระบวนการ โดยพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการใช้ทรัพยากร ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาหาส่วนผสมของซีเมนต์ชดเชยการหดตัวเพื่อใช้ในงานก่อสร้างที่เหมาะสม โดยใช้สารเพิ่มการขยายตัวลงในส่วนผสม ทั้งนี้ส่วนผสมที่ได้ต้องมีความสามารถในการชดเชยการหดตัวของซีเมนต์ และมีค่าการไหล ระยะเวลาก่อตัว และกำลังเป็นไปตามการนำไปใช้งานในแต่ละประเภทและศึกษาเกี่ยวกับการเกิดผลึกภายในของซีเมนต์ชดเชยการหดตัว

2. เพื่อสร้างสมการทำนายค่าการยืดหดตัว และค่ากำลังอัด

3. เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นและพลังงานของแคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตจากซีเมนต์ชดเชยการหดตัว

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3

1.3.2 ใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 ที่ร้อยละ 0, 15, 25 และ 35

1.3.3 สารเคมีผสมเพิ่มชนิด F ในปริมาณร้อยละ 4, 8 และ 12 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3

1.3.4 ทรายแม่น้ำที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 16, 30, 50 และ 100

1.3.5 อัตราส่วนระหว่างน้ำต่ออนุภาคละเอียด เท่ากับ 0.32

1.3.6 ใช้อัตราส่วนการผสมเพิ่มของสารเพิ่มการขยายตัวที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3

1.3.7 ทำการทดสอบหาค่าคุณสมบัติของการไหล ระยะเวลาการก่อตัว กำลังอัด ความเค้น (Strain) XRD และ SEM

1.3.8 การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและพลังงานที่เกิดขึ้นของแคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตจากซีเมนต์ชดเชยการหดตัวเปรียบเทียบกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา โดยการนำค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) คูณเข้ากับปริมาณ เพื่อแปลงปริมาณให้อยู่ในหน่วยของ Kg CO_2/Kg โดยไม่รวมค่าขนส่งในกระบวนการผลิตทั้งของแคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตและซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษาเชิงทฤษฎี / ประยุกต์

1. ได้ส่วนผสมของซีเมนต์ชดเชยการหดตัวที่เหมาะสมทั้งด้านเสถียรภาพทางมิติ (Dimensional Stability) ความสามารถในการทำงานได้ การรับแรง ประหยัดและมีประสิทธิภาพตามที่ต้องการ

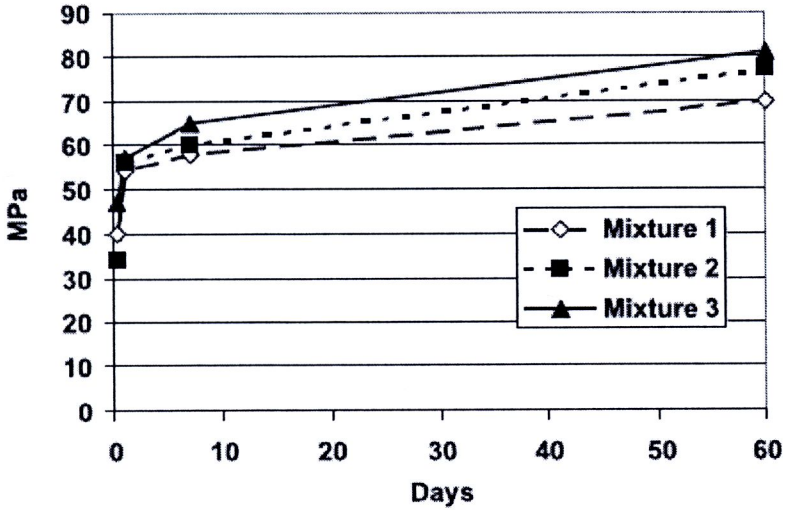
2. ได้สมการที่ใช้คาดคะเนหาค่าการยืดหดตัว และค่ากำลังอัด

3. ได้ทราบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและพลังงานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตซีเมนต์ชดเชยการหดตัวจากการผสมด้วยเถ้าลอย (by– product) ว่าสามารถเปลี่ยนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้หรือไม่เปรียบเทียบกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา

1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

J. Pera and J. Ambroise (2004) ได้ทำการศึกษาประโยชน์ของแคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตซีเมนต์ ดังนี้

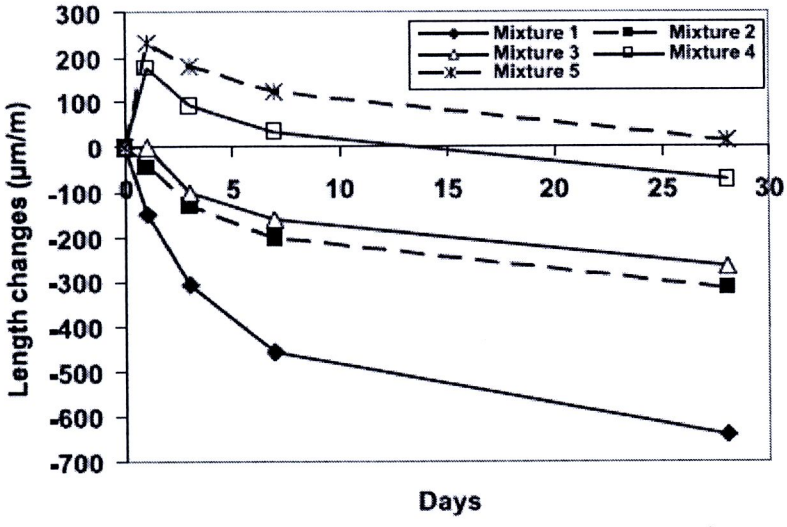
1. การพัฒนาของคอนกรีตที่ให้กำลังสูงเร็ว จากการทดสอบได้ผลว่า หลังจาก 6 ชั่วโมงในการเตรียมการ จะได้กำลังสูงกว่า 40 MPa และ 24 ชั่วโมง ได้กำลังสูงกว่า 55 MPa และกำลังจะสูงขึ้นระหว่าง 1 ถึง 60 วัน สูงกว่า 30%



รูป 1.1 แสดงถึงการพัฒนากำลังของคอนกรีตชดเชยการหดตัวสัมพันธ์กับเวลา

(J. Pera และ J. Ambroise, 2004)

2. การออกแบบมอร์ต้าร์ให้มีคุณสมบัติในด้านความสามารถในการทำงาน มากกว่า 30 นาที, ระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายภายใน 75 นาที และจากส่วนผสม 4 รูป 1.2 ที่มีปริมาณปูนเม็ด ซัลโฟอลูมิเนต 75 % และยิปซั่ม 25 % พบว่าเกิดการหดตัวแบบแห้งต่ำ (< 250 ไมโครเมตร/เมตร)



รูป 1.2 แสดงถึงการหดตัวของคอนกรีตชดเชยการหดตัวสัมพันธ์กับเวลา

(J. Pera และ J. Ambroise, 2004)

วิศว จักรไพศาล และ เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ (2544) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาซีเมนต์ชดเชยการหดตัว โดยได้ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมจากพื้นฐานทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับสารเพิ่มการขยายตัวเพื่อให้ได้ซีเมนต์ชดเชยการหดตัวที่มีปริมาณการหดตัวและขยายตัวสอดคล้องกัน และศึกษาการใช้เถ้าลอยเป็นตัวปรับแต่งคุณสมบัติต่างๆ และศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพซึ่งประกอบไปด้วยค่าการไหล การยุบตัว การยืดและหดตัว และคุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ กำลังอัด เปรียบเทียบกับส่วนผสมที่ใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา จากการศึกษาสามารถได้สมการในการหาปริมาณสารผสมเพิ่มเพื่อชดเชยการหดตัว ดังนี้

$$EA = \alpha_{(t)} . C_1 . (C_2 . C_3S + C_3 . C_2S + W_p) \qquad (1.1)$$

เมื่อ EA = ปริมาณสารเพิ่มการขยายตัวที่ชดเชยการหดตัวได้พอดี (g.)

$\alpha_{(t)}$ = Degree of hydration = อัตราส่วนระหว่างซีเมนต์ที่ทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นแล้วต่อซีเมนต์ทั้งหมด

C_3S = ปริมาณไตรแคลเซียมซิลิเกตในซีเมนต์ 100 g. (g.)

C_2S = ปริมาณไดแคลเซียมซิลิเกตในซีเมนต์ 100 g. (g.)

W_p = Adsorb water + Capillary water (cm^3)

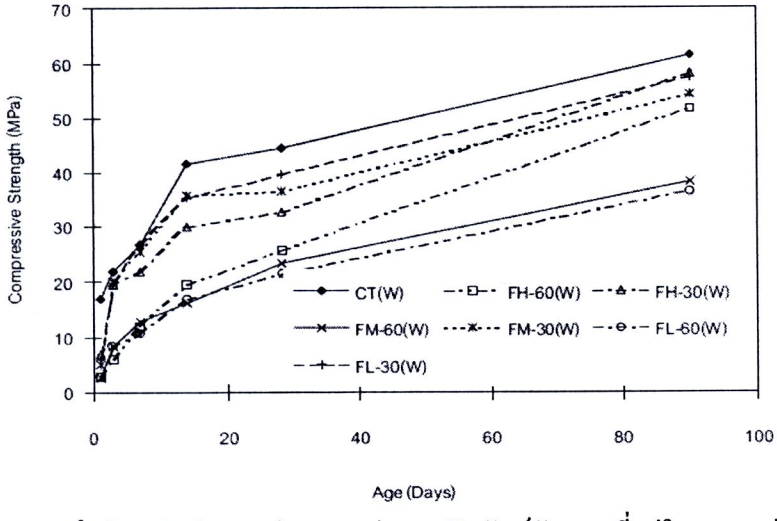
C_1, C_2, C_3 = ค่าคงที่จากสมดุลเคมี

จากสมการสามารถคำนวณได้ว่าต้องการสารผสมการขยายตัวเพื่อชดเชยการหดตัวของซีเมนต์ประมาณ ร้อยละ 8 - 15 โดยน้ำหนักของซีเมนต์ และจากการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี (XRD) พบว่าเอททริงไกต์จะเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงอายุเริ่มต้นจนถึง 7 วัน และจะเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อย เมื่อใส่สารเพิ่มการขยายตัวลงไป ในด้านการหดและขยายตัว พบว่าเมื่อใส่สารเพิ่มการขยายตัว ค่าการหดตัวจะลดลงเนื่องจากการขยายตัวของเอททริงไกต์ ความสามารถทำงานได้เมื่อผสมเถ้าลอยในส่วนผสมพบว่าการยุบตัวและการไหลมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนกำลังอัดของส่วนผสมซีเมนต์ชดเชยการหดตัวจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา เมื่อแทนที่ด้วยเถ้าลอยในส่วนผสม พบว่ากำลังอัดจะเพิ่มขึ้นในระยะยาวเนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานิกของซีเมนต์กับเถ้าลอย

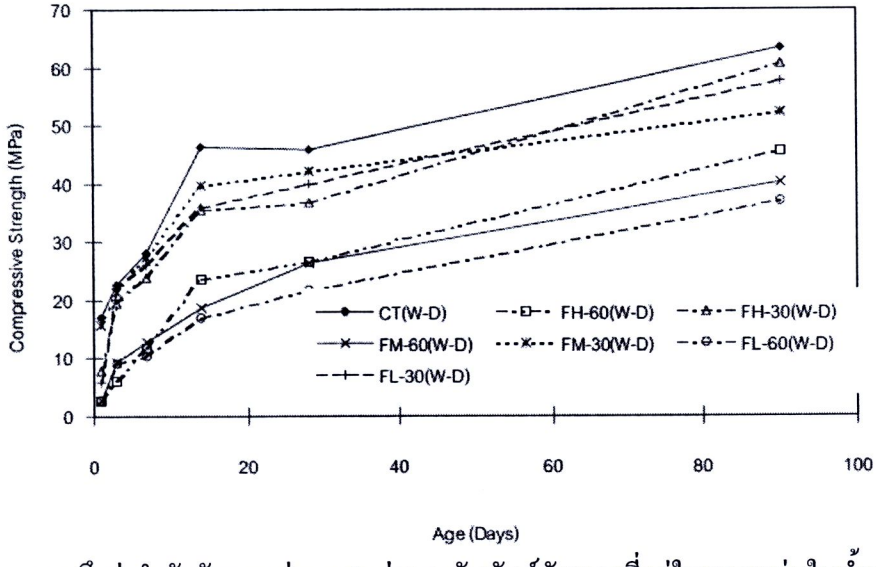
Keith Quillin (2001) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติในการผสม sulfoaluminatebelite cement ซึ่งปริมาณของพลังงานที่ต้องการในการผลิต belite – based cement นั้นน้อยกว่าปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ PC

โดยที่ C_3S เป็นส่วนประกอบหลักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ PC ทำที่อุณหภูมิประมาณ 1450 °C แต่ C_2S ทำที่ประมาณ 1200 °C ดังนั้น belite – based cement สามารถผลิตที่เตาที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ PC โดยรวมๆ แล้วสามารถประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นในการใช้ belite cement ซึ่งประหยัดได้ประมาณ 16% เมื่อเทียบกับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ PC และระดับของ CO_2 ที่ปล่อยออกมาระหว่างการผลิตของ belite – based cement นั้นจะต่ำกว่าของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ PC โดยรวมแล้ว CO_2 ที่ปล่อยออกมาสามารถลดได้มากกว่า 20% และในระยะยาวกำลังและความทนทานของคอนกรีตนี้มีความเป็นไปได้ว่าจะสูงกว่าปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ PC สำหรับการให้ได้มาของการพัฒนากำลังอย่างเร็วนั้นมีเทคนิคอยู่หลายอย่าง เช่น การกระตุ้นทางกล การทำให้คงที่ของปฏิกิริยาของ belite และใช้ Hydrothermal Techniquse อย่างไรก็ตามเทคนิคที่เป็นที่นิยมมากคือ การใส่ส่วนประกอบของปฏิกิริยาเพิ่ม เช่น แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนต C_4A_3S ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของเฟสนี้จะนำไปสู่การสร้างเอททริงไกต์($C_6AS_3H_{32}$) ที่จะช่วยในการพัฒนากำลังให้เร็วขึ้น

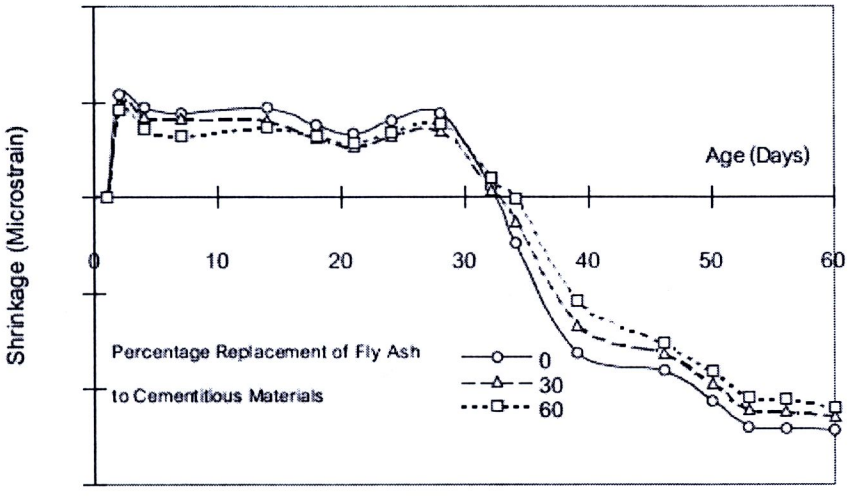
บุรฉัตร ฉัตรวีระ (2543) ได้ทำการศึกษาถึงความลึกของปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นการหดตัวแบบออโตจีนัสและการหดตัวแบบแห้ง รวมทั้งได้ทำการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าลอยแม่เมาะ โดยอัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าลอยต่อปริมาณปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 30 และ 60 และใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงคงที่ จากผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มปริมาณการแทนที่ของเถ้าลอย สามารถลดการหดตัวทั้งการหดตัวแบบแห้งและการหดตัวแบบออโตจีนัสของมอร์ต้าร์ลงได้ แต่จะทำให้ความต้านทานปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นลดลง ในด้านกำลังอัด พบว่าปริมาณแคลเซียมออกไซด์เทียบเท่าในวัสดุผงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าลอยแม่เมาะ



รูป 1.3 แสดงถึงค่ากำลังอัดของส่วนผสมต่าง ๆ สัมพันธ์กับเวลาที่อยู่ในสภาพบ่มในน้ำ (บุรฉัตร ฉัตรวีระ, 2543)



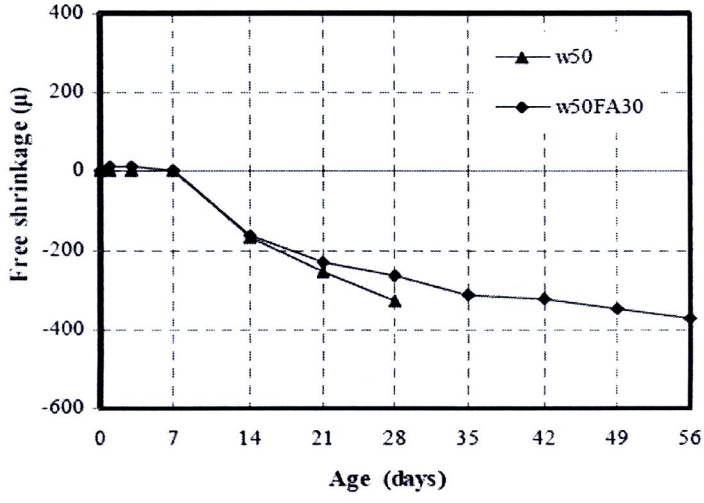
รูป 1.4 แสดงถึงค่ากำลังอัดของส่วนผสมต่าง ๆ สัมพันธ์กับเวลาที่อยู่ในสภาพบ่มในน้ำและบ่มในที่แห้ง (บุรฉัตร ฉัตรวีระ, 2543)



รูป 1.5 แสดงถึงค่าการหดตัวแบบแห้งของส่วนผสมต่าง ๆ ที่มีเถ้าลอยผสมอยู่สัมพันธ์กับเวลา (บุรฉัตร ฉัตรวีระ, 2543)

R. Sahamitmongkol and others (2010) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอายุวันของการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีตชดเชยการหดตัวที่ผสมเถ้าลอยและไม่ผสมเถ้าลอย โดยทำการตรวจสอบความสามารถของคอนกรีตชดเชยการหดตัวและศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการคำนวณอายุวันในการแตกร้าวของคอนกรีต ซึ่งส่วนใหญ่แล้วการแตกร้าวจะเกิดได้สูงหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการยึดรั้งของคอนกรีต คอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ภายใต้การยึดรั้งจะมีความเสี่ยงสูงในการเกิดรอยแตกร้าวจากการหดตัว ดังนั้นคอนกรีตที่ขยายตัวได้จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว จากการศึกษาพบว่า

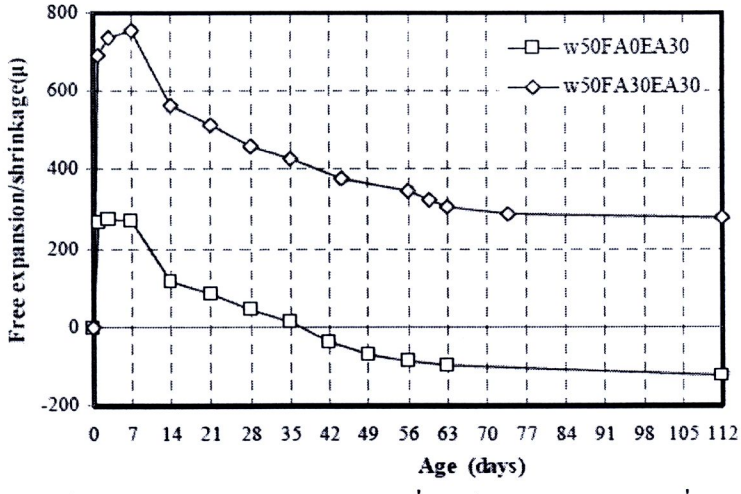
1. ถ้าใส่เถ้าลอยในขณะที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากัน จะช่วยลดการหดตัวได้ดีกว่าไม่ใส่เถ้าลอย



รูป 1.6 แสดงถึงค่าการยืดหดตัวของส่วนผสมที่ไม่ใส่เถ้าลอยและใส่เถ้าลอย

(R. Sahamitmongkol และ others, 2010)

2. ถ้าใส่สารเพิ่มการขยายตัวในปริมาณที่มาก จะทำให้การขยายตัวในช่วงเริ่มต้นสูง หลังจากนั้นจะค่อยๆ หดตัวลง และถ้าใส่เถ้าลอยไปด้วยก็จะยิ่งเพิ่มการขยายตัวได้ดียิ่งขึ้น

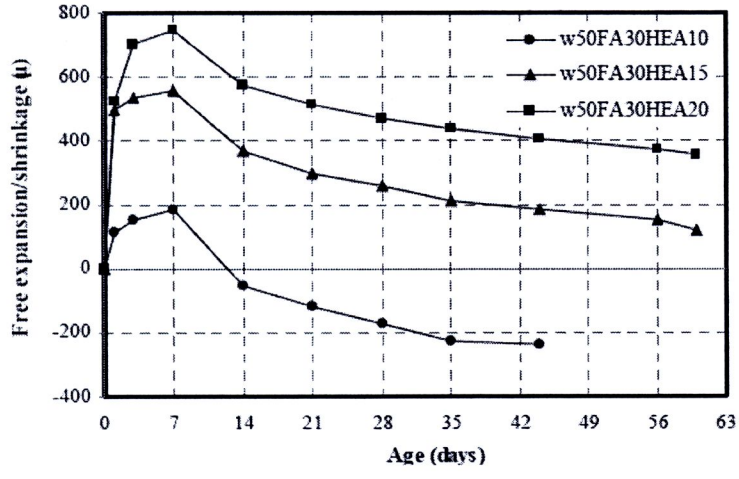


รูป 1.7 แสดงถึงค่าการยืดหดตัวของส่วนผสมที่ใส่เถ้าลอย และใส่สารเพิ่มการขยายตัว

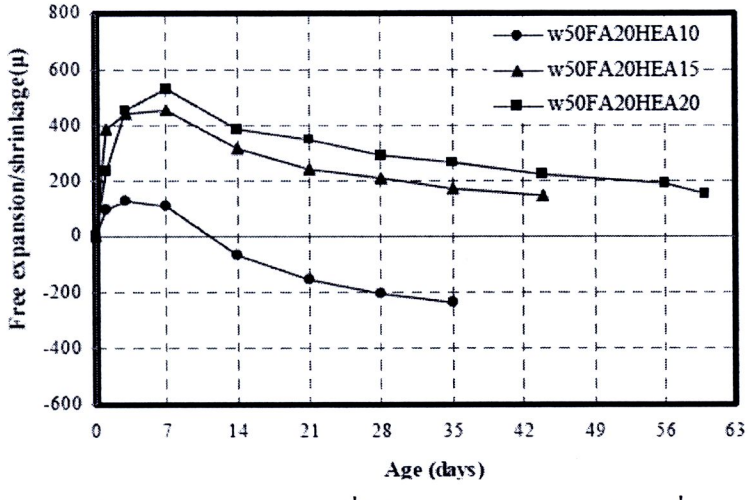
(R. Sahamitmongkol และ others, 2010)

3. การขยายตัวสุทธิจะเพิ่มขึ้นเมื่อใส่สารเพิ่มการขยายตัวร้อยละ 30 และเถ้าลอยร้อยละ 30

4. แม้ว่าเถ้าลอยจะแสดงให้เห็นถึงการขยายตัวที่สูง แต่อายุของการเกิดรอยแตกร้าวจะเกิดได้เร็วกว่าในกรณีที่ใส่สารเพิ่มการขยายตัวอย่างแรงกับเถ้าลอย 30% เปรียบเทียบกับสารเพิ่มการขยายตัวอย่างแรงกับเถ้าลอย 20%



รูป 1.8 แสดงถึงค่าการยืดหดตัวของส่วนผสมที่ใส่เถ้าลอย 30% และใส่สารเพิ่มการขยายตัวค่าต่างๆ (R. Sahamitmongkol และ others, 2010)



รูป 1.9 แสดงถึงค่าการยืดหดตัวของส่วนผสมที่ใส่เถ้าลอย 20% และใส่สารเพิ่มการขยายตัวค่าต่างๆ (R. Sahamitmongkol และ others, 2010)

5. อายุการเกิดรอยแตกร้าวของเถ้าลอยจะเกิดช้ากว่าคอนกรีตที่ไม่ใส่เถ้าลอย ในกรณีที่ยังไม่ใส่สารเพิ่มการขยายตัว อย่างไรก็ตามในกรณีที่ใส่สารเพิ่มการขยายตัวด้วยนั้น ถ้าใส่เถ้าลอยมาก อายุการเกิดรอยแตกร้าวจะเกิดได้เร็วขึ้น

S. Nagataki และ H. Gomi (1998) ได้ทำการศึกษาสารผสมเพิ่มการขยายตัว ซึ่งคุณสมบัติของคอนกรีตที่มีมาแต่กำเนิดจะมีอยู่ 2 ประเภทคือ หดตัวเนื่องจากการแห้ง และกำลังรับแรงดึงจะน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงอัด จึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่โครงสร้างคอนกรีตจะแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้ง ซึ่งสิ่งเหล่านี้ได้ถูกนำมาศึกษาเกี่ยวกับคอนกรีตที่ขยายตัวได้ ซึ่งมีความสามารถในการขยายตัวเนื่องจากเอททริงไกต์โดยคอนกรีตที่ขยายตัวได้มีอยู่ 3 ประเภทตามที่มาตรฐาน ACI ได้กำหนดไว้ คือ ประเภท K, M และ S กลไกการขยายตัวของคอนกรีตที่ขยายตัวได้มีดังนี้ (1) ในสภาวะเจลมีปริมาตรเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการดูดซับน้ำเข้าไปเป็นส่วนผสมของการขยายตัว (ทฤษฎีการบวมตัว) (2) การแพร่กระจายโดยรอบของผลึกที่เกิดจากส่วนผสมการขยายตัว (ทฤษฎีการเจริญเติบโตของผลึก) และ (3) การเกิดรูอันเนื่องมาจากการสึกกร่อนของส่วนผสมการขยายตัวในช่วงที่เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ซึ่งจากการศึกษาสารเพิ่มการขยายตัวพบว่า ในด้านการขยายตัวพบว่าอัตราการขยายตัวจะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารผสมเพิ่มการขยายตัวเข้าไป ในด้านกำลังอัดพบว่าจะมีค่าลดลงเมื่ออัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าเมื่อคอนกรีตขยายตัว คือยอมให้ขยายตัวโดยปราศจากการยึดรั้งของโครงสร้างคอนกรีต ทำให้เกิดความเสียหายเป็นสาเหตุให้กำลังของคอนกรีตต่ำลง

จุฑา มีพฤกษ์ และคณะ (2553) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของสารก่อการขยายตัวที่มีต่อการหดตัวของคอนกรีตสมรรถนะสูงมากเสริมเส้นใย โดยต้องการให้คอนกรีตสามารถรับกำลังอัดได้สูงกว่า 100 MPa ที่ 28 วันโดยทั่วไปนั้นการผสมคอนกรีตให้ได้กำลังอัดสูงระดับนี้จะต้องใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำมาก จึงเป็นสาเหตุทำให้เกิดการหดตัวอย่างรุนแรงนำมาสู่เกิดการแตกร้าวได้ในที่สุด จึงจำเป็นต้องใช้สารเพิ่มการขยายตัว เพื่อลดการหดตัว ซึ่งในคอนกรีตสมรรถนะสูงมากที่ผสมเส้นใยเหล็กนั้นก็มีส่วนช่วยลดการหดตัว เพราะมีผลต่อการยึดรั้งรอยแตกร้าวในคอนกรีตเสริมเส้นใย ดังนั้นการใช้สารเพิ่มการขยายตัวจึงควรใช้ในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีสมรรถนะสูงและลดการหดตัวที่เกิดขึ้นมาได้ผลจากการศึกษาพบว่า ในด้านการหดตัวอิสระนั้นคอนกรีตสมรรถนะสูงที่ได้ผสมสารเพิ่มการขยายตัวพร้อมกับเส้นใยเหล็ก สามารถลดการหดตัวอย่างอิสระของชิ้นตัวอย่างได้เมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ผสมเส้นใยเหล็กและการหดตัวที่เกิดขึ้นลดลงได้เมื่อเพิ่มปริมาณสารเพิ่ม

การขยายตัว ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณสารเพิ่มการขยายตัวจะสามารถลดการหดตัวของคอนกรีตสมรรถนะสูงมากลง ซึ่งการหดตัวในช่วงแรกเป็นผลจากปริมาณการใช้น้ำในปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ ทำให้ปริมาตรของคอนกรีตลดลงและเกิดการหดตัวในที่สุด นอกจากนี้อาจกลายเป็นการขยายตัวได้เมื่อมีสารเพิ่มการขยายตัวเพียงพอ ในด้านกำลังอัดพบว่าค่ากำลังอัดลดลงเมื่อปริมาณสารเพิ่มการขยายตัวมากขึ้น สามารถสรุปได้ว่าปริมาณสารเพิ่มการขยายตัวที่เหมาะสมต่อการลดการหดตัวของส่วนผสมในการทดสอบนี้ คือ 10% ของวัสดุประสานโดยพิจารณาจากการหดตัวและกำลังรับแรงอัดที่น้อยลง

สารพล ตรีสุวรรณ และคมสัน มาลีสี (2553) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของวัสดุอนินทรีย์ผสมเพิ่มต่อการหดตัวของมอร์ต้าร์ในช่วงอายุเริ่มต้นของมอร์ต้าร์ที่แทนที่ด้วยวัสดุอนินทรีย์ผสมเพิ่มแต่ละชนิด โดยเถ้าลอยเป็นวัสดุผสมเพิ่มชนิดหนึ่งในส่วนผสมของคอนกรีต ความสามารถเพิ่มการทำงานได้ดีของคอนกรีต และช่วยลดความร้อนจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นอันเป็นการช่วยลดการแตกร้าวของคอนกรีตได้อีกด้วย จากผลการทดสอบพบว่า ในด้านอัตราการไหลเถ้าลอยแม่เมาะทำให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้น ในด้านระยะเวลาการก่อตัว ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนการแทนที่ซีเมนต์ รวมถึงระยะเวลาก่อตัวสุดท้ายเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการแทนที่ซีเมนต์เช่นกัน ในด้านการหดตัว ช่วงอายุเริ่มต้นแสดงให้เห็นว่ามอร์ต้าร์ทุกส่วนผสมที่ถูกแทนที่ด้วยเถ้าลอยจะลดการหดตัว เนื่องจากปริมาณน้ำที่ต้องการของมอร์ต้าร์ลดลงเป็นผลให้เกิดการระเหยของน้ำที่ผิวลดลงรวมทั้งการแทนที่ด้วยซีเมนต์ทำให้ลดการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นระหว่างซีเมนต์และน้ำซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการหดตัว ในระยะยาวแนวโน้มการหดตัวจะเหมือนกับช่วงเริ่มต้น

Amina ALAOUI et al. (2007) ได้ทำการศึกษาทดลองเกี่ยวกับซัลโฟอลูมิเนตที่เป็นวัสดุคอนกรีต ว่าสามารถลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงได้หรือไม่ โดยเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปกติ ปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่าการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 ตันจะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 815 กิโลกรัม ดังนั้นในการทำให้กระบวนการผลิตดีขึ้นจึงควรมีการเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบที่ใช้ในการสร้างปูนเม็ด ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งของการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นจึงได้ทำปูนเม็ดซัลโฟอลูมิเนตขึ้น โดย Gartner (2004) ได้กล่าวว่าสามารถลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงได้ ซึ่ง Feraille et al. (2007) ได้ทำการทดสอบสรุปได้ว่า ปูนเม็ดปอร์ตแลนด์ 1 ตัน จะปล่อยก๊าซ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

คาร์บอนไดออกไซด์ 535 กิโลกรัม ส่วนปูนเม็ดซัลโฟอลูมิเนต 1 ตันจะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพียง 305 กิโลกรัม ที่ปล่อยออกมาต่ำกว่า เนื่องมาจากอุณหภูมิในการผลิตปูนเม็ดซัลโฟอลูมิเนตอยู่ที่ประมาณ 1250 – 1300 °C ซึ่งต่ำกว่าการผลิตปูนเม็ดปอร์ตแลนด์ นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาถึงค่าการขยายตัวและกำลังอัดของปูนเม็ดซัลโฟอลูมิเนต พบว่า เกิดการขยายตัวได้จริงและกำลังอัดที่อายุวันแรกๆ ดีมาก ซึ่งสามารถนำไปใช้กับการก่อสร้างสำเร็จรูปหรืองานก่อสร้างที่ต้องการใช้ระยะเวลารวดเร็ว โดยส่วนผสมที่ดีที่สุดเหมาะแก่การนำไปใช้ คือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.53

ตาราง 1.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างปูนเม็ดปอร์ตแลนด์กับปูนเม็ดซัลโฟอลูมิเนต (Popescu et al, 2002)

	ปูนเม็ดปอร์ตแลนด์	ปูนเม็ดซัลโฟอลูมิเนต
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาในกระบวนการผลิต ต่อตัน	535 กิโลกรัม/ตัน	305 กิโลกรัม/ตัน
การใช้ความร้อนจำเพาะในช่วงการทำปูนเม็ด (Popescu et al, 2002)	3.845 GJ/ตัน	3.305 GJ/ตัน
มูลค่าพลังงานในการบดอัด (Janotka I. และ Krajci L., 1999)	45 ถึง 50 kWh	20 ถึง 30 kWh

TristanaDuvallet et al (2009) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้พลังงานต่ำ การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำในกระบวนการผลิตซีเมนต์จากการเผาไหม้ของถ่านหิน กากที่เหลือจากอุตสาหกรรม และโคลนแดง โดยเจาะจงศึกษาประสิทธิภาพของแคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตซีเมนต์ ที่มีไดแคลเซียมซิลิเกตด้วย จะใช้เขียนในรูป CSAB และที่มีแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์จะเขียนในรูป CSFAB โดยซีเมนต์นี้ถูกผลิตที่อุณหภูมิ 1250 °C ซึ่งต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และต้องการพลังงานในการบดน้อยกว่า นอกจากนี้ยังต้องการหินปูนที่นำมาเป็นวัตถุดิบน้อยกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทำให้ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้น้อยกว่า โดยชิ้นตัวอย่างของมอร์ต้าร์นั้นเตรียมจากซีเมนต์ CSFAB โดยการใช้เถ้าถ่านหิน โคลนสีแดงเป็นวัตถุดิบ และมีปริมาณของแร่อลูมิเนียมเล็กน้อย นำมาทดสอบกำลังอัด และการขยายตัว ผลจากการศึกษาพบว่า CSFAB ที่ผสมกับยิปซั่ม 30% จะก่อตัวที่ระยะเวลา 30 นาที ได้กำลังอัด 8.6 MPa ใน 6 ชั่วโมงแรก หลังจาก 1 วันได้กำลังอัด 17.2 MPa และที่ 56 วันได้กำลัง

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 29 พ.ย. 2555
เลขทะเบียน 250747
เลขเรียกหนังสือ

อัด 34.5 MPa ข้อมูลการขยายตัวพบว่าหลัง 15 วันผ่านไป แท่งตัวอย่างจะขยายตัว 0.0585% แต่หลังจากนั้นการขยายตัวของแท่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงในจำนวนที่มาก