

อิทธิพลของอุณหภูมิเริ่มแรกต่อการก่อตัวและกำลังรับแรงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมสารเร่งการก่อตัวประเภทเกลือของคัลเซียม

ดร.ปริญญา จินดาประเสริฐ

รองศาสตราจารย์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

นายพงษ์พันธ์ ดาวแสงสว่าง

นักศึกษานิเทศศาสตร์

สาขาวิศวกรรมโครงสร้าง

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิเริ่มแรกต่อการก่อตัว และกำลังรับแรงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมสารเร่งการก่อตัว สารเร่งการก่อตัวที่นำมาทดสอบเป็นเกลือของคัลเซียม ได้แก่ เกลือไนเทรีย 3 ชนิด คือ คัลเซียมคลอไรด์ คัลเซียมคาร์บอเนต และคัลเซียมซัลเฟต และเกลืออินทรีย์ 2 ชนิด คือ คัลเซียมฟอเมต และคัลเซียมอะซิเตต ทำการทดสอบความชื้นเหลวปกติ และระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมสารเร่งการก่อตัว และทดสอบกำลังรับแรงอัดของลูกบาศก์มอร์ตาร์ขนาด 50 มม. โดยการหล่อและบ่มที่อุณหภูมิเริ่มแรก 15° , 25° และ 35° C

Abstract

The influence of initial temperature upon setting and strength of Portland Cement containing accelerators were studied. The accelerators were the salts of calcium. These inorganic salts, viz. calcium chloride, calcium carbonate and calcium sulphate and two organic salts, viz. calcium formate and calcium acetate were used. Normal consistency and setting time of cement paste and compressive strength of 50 mm. mortar cube were tested. The temperatures for mixing and initial curing were 15° , 25° and 35° C.

คำนำ

สารเร่งการก่อตัว (Accelerator) ใช้สำหรับเร่งระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ให้เร็วขึ้น และใช้สำหรับเร่งอัตราการแข็งตัว (Hardening) ของคอนกรีตทำให้มีกำลังรับแรงเร็วขึ้น ในทางปฏิบัติจะใช้สารเร่งการก่อตัวเมื่อต้องการให้คอนกรีตก่อตัวและแข็งตัวเร็วขึ้นเพื่อที่จะได้ถอดแบบได้เร็วขึ้น ระยะเวลาในการบ่มและสามารถใช้งานได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ยังใช้ด้านการหน่วงการก่อตัวจากอิทธิพลของอุณหภูมิหรือจากสารผสมเพิ่มชนิดอื่น [1]

สารเร่งการก่อตัวที่ใช้กันมาก ได้แก่ สารประกอบของคัลเซียมโดยเฉพาะคัลเซียมคลอไรด์ได้เริ่มใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1885 [2] การใช้สารคัลเซียมคลอไรด์จะเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารซัลเฟตลดลง และเพิ่มโอกาสในการเกิดปฏิกิริยาอัลคาไล-มวลรวม (Alkali-Aggregate Reaction) [3] นอกจากนี้ข้ออ่อนของคลอไรด์ยังมีผลต่อการเกิดสนิมของเหล็ก และในทางปฏิบัติจะไม่ใช้คัลเซียมคลอไรด์กับงานคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete) หรือกับปูนเหลว (Grout) ในงานคอนกรีตอัดแรง การเร่งการก่อตัวโดยการลดความเสี่ยงต่อการเกิดสนิมของเหล็ก

เสริม สามารถทำได้โดยใช้สารผสมเพิ่มเร่งการก่อตัวที่ไม่มีคลอไรด์สารที่นิยมใช้ได้แก่คัลเซียมฟออสเฟต และคัลเซียมอะซิเตต [4] แต่ทั้งนี้ประสิทธิภาพของการเร่งการก่อตัวนั้นต่ำกว่าคัลเซียมคลอไรด์ นอกจากนี้สารประกอบของคาร์บอเนต และของซิลเฟตก็มีคุณสมบัติในการเร่งการก่อตัวเช่นกัน ประสิทธิภาพของสารเร่งการก่อตัวจะขึ้นอยู่กับปริมาณที่ใช้ นอกจากนี้คุณสมบัติเริ่มแรกในช่วงการผสม การเทเข้าแบบและช่วงที่คอนกรีตก่อตัวจะมีผลค่อนข้างมากต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

วิธีการทดลอง

1. วัสดุ

ปูนซีเมนต์ เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาประเภทหนึ่ง
น้ำ ใช้น้ำประปา

ทราย เป็นทรายหยาบสีเทา จ.บุรีรัมย์ ผ่านร่อนเบอร์ 16 และค้างร่อนเบอร์ 30

สารเร่งการก่อตัว ใช้ 5 ชนิด ได้แก่

1. คัลเซียมคลอไรด์ (A)
2. คัลเซียมคาร์บอเนต (B)
3. คัลเซียมซิลเฟต (C)
4. คัลเซียมฟออสเฟต (D)
5. คัลเซียมอะซิเตต (E)

โดยสารเร่งการก่อตัวชนิดที่ 1, 2 และ 3 เป็นเกลืออนินทรีย์ และสารชนิดที่ 4 และ 5 เป็นเกลืออินทรีย์

2. การเตรียมวัสดุ

อุณหภูมิของวัสดุ วัสดุที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้วัสดุมีอุณหภูมิตามต้องการเมื่อทำการผสม

ห้องควบคุมอุณหภูมิ สามารถตั้ง และปรับอุณหภูมิในห้องได้ตามต้องการ อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง คือ 15° , 25° และ 35° ซ. ในห้องควบคุมอุณหภูมินี้จะบรรจุด้วยเครื่องมือสำหรับทำการทดลอง เพื่อให้อุณหภูมิระหว่างการผสมและทดสอบคงที่

3. การทดลอง การทดสอบระยะเวลาการก่อตัว ทดสอบระยะเวลาการก่อตัวระยะต้น และระยะปลายของซีเมนต์เพสต์โดยใช้เครื่องมือวัด การทดสอบทำตามมาตรฐาน ASTM C191 ในห้องควบคุมอุณหภูมิ

กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ ทำการหล่อและทดสอบมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM C191 หล่อก้อนลูกบาศก์มอร์ตาร์ขนาด 50 มม. และบ่มในแบบหล่อที่อุณหภูมิที่ต้องการในห้องควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากถอดแบบแล้วบ่มในน้ำที่อุณหภูมิ $20-25^{\circ}$ ซ. ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 1, 3, 7, 28 และ 90 วัน

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

1. ความชื้นเหลือปกติ

ผลการทดสอบความชื้นเหลือปกติของปูนซีเมนต์ผสมสารหน่วงการก่อตัวที่อุณหภูมิ 15° , 25° และ 35° ซ. แสดงไว้ในรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่าความชื้นเหลือปกติของปูนซีเมนต์ที่ไม่ผสมสารเร่งการก่อตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความชื้นเหลือปกติเพิ่มขึ้นเนื่องจากการสูญเสียน้ำที่อุณหภูมิสูง ปฏิกิริยาไฮเดรชันและการสูญเสียน้ำเกิดขึ้นได้รวดเร็ว การเพิ่มสารคัลเซียมคลอไรด์ทำให้ค่าความชื้นเหลือปกติเพิ่มขึ้น การเพิ่มสารคัลเซียมคาร์บอเนต คัลเซียมซิลเฟต คัลเซียมฟออสเฟต และคัลเซียมอะซิเตต ทำให้ความชื้นเหลือปกติเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก โดยมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ยกเว้นสารคัลเซียมอะซิเตตที่อุณหภูมิ 35° ซ. ที่ให้ค่าความชื้นเหลือปกติลดลงเล็กน้อย

2. ระยะเวลาการก่อตัว

ผลการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ผสมสารเร่งการก่อตัวที่อุณหภูมิ 15° , 25° และ 35° ซ. ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เวลาการก่อตัวทั้งระยะต้นและระยะปลายของซีเมนต์เพสต์จะลดลง

เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของซีเมนต์โพสท์ จากรูปที่ 2(ก) จะพบว่าการผสมสารคัลเซียมคลอไรด์ 3% ทำให้ระยะเวลาการก่อตัวของเพสต์ที่อุณหภูมิ 15°, 25° และ 35° ช เกิดได้รวดเร็วขึ้นมาก โดยที่เวลาการก่อตัวระยะต้นจะลดลงจาก 150, 135 และ 85 นาที เป็น 40, 35 และ 30 นาที ตามลำดับ และระยะเวลาการก่อตัวระยะปลายจะลดลงมากเช่นเดียวกัน จากรูปที่ 2 (ข) และรูปที่ 2(ค) จะเห็นได้ว่าสารคัลเซียมคาร์บอเนต และสารคัลเซียมซิลเฟต เป็นสารเร่งการก่อตัวอย่างอ่อน โดยการผสมสารดังกล่าวในช่วง 0-3% ทำให้การก่อตัวระยะต้นเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก แต่การก่อตัวระยะปลายจะลดลง โดยเฉพาะที่อุณหภูมิต่ำคือที่ 15° และ 25° ช การก่อตัวระยะปลายจะเร็วขึ้น 20-60 นาที จากรูปที่ 2(ง) จะเห็นได้ว่าสารคัลเซียมฟอสเฟตเป็นสารเร่งการก่อตัวที่ค่อนข้างดี การผสมสารคัลเซียมฟอสเฟต 0-3% จะสามารถลดระยะเวลาการก่อตัวของเพสต์ที่อุณหภูมิ 15°, 25° และ 35° ช ได้มากการผสมคัลเซียมฟอสเฟต 3% ทำให้เวลาการก่อตัวระยะต้นของเพสต์ที่อุณหภูมิ 15, 25 และ 35% ลดลงจาก 150, 135 และ 85 นาทีเป็น 65, 55 และ 40 นาที ตามลำดับและเวลาการก่อตัวระยะปลายจะลดลงจาก 255, 220 และ 135 นาที เหลือ 100, 75 และ 60 นาที ตามลำดับ และจากรูปที่ 2(จ) จะเห็นได้ว่าสารคัลเซียมอะซิเตตเป็นสารเร่งการก่อตัวปานกลาง โดยการผสมสารคัลเซียมอะซิเตต 0-2% จะทำให้ระยะเวลาการก่อตัวลดลงไม่มากและเมื่อเพิ่มเป็น 3% เวลาในการก่อตัวทั้งระยะต้นและระยะปลายจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน

3. กำลังรับแรงอัด

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมสารเร่งการก่อตัวซึ่งหล่อและบ่มที่อุณหภูมิ 15°, 25° และ 35° ช เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3(ก)-3(จ) จะเห็นได้ว่าสำหรับมอร์ตาร์ธรรมดาที่ไม่ใส่สารเร่งการก่อตัวกำลังรับแรงที่อายุต่ำคือ 1 และ 3 วัน จะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ที่อายุมากคือที่ 28 และ 90 วัน กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่อุณหภูมิสูงคือ 35°ช จะมีค่าต่ำกว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่าคือที่ 15° และ 25°ช

การทดลองของ Price และ Klieger [5] ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน Helmut และ Verbeck [6] ให้เหตุผลว่าที่อุณหภูมิสูงปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเกิดอย่างรวดเร็วในระยะแรก จึงไม่มีเวลาเพียงพอในการกระจายผลผลิตจากการปฏิกิริยาไฮเดรชันออกจากเม็ดปูนซีเมนต์ ผลผลิตดังกล่าวเพิ่มขึ้นบริเวณใกล้ติดกับเม็ดปูน ทำให้ซีเมนต์เพสต์เกิดเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรงเร็วแต่เป็นโครงข่ายที่หยาบ และปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์โพสท์ส่วนที่เหลือจะเกิดขึ้นภายในโครงสร้างที่เกิดขึ้นแล้วทำให้ไม่สม่ำเสมอ มีผลให้กำลังรับแรงระยะปลายเพิ่มขึ้นไม่มาก

รูปที่ 3(ก) แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมสารคัลเซียมคลอไรด์ 1-3% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ จะเห็นได้ว่าการผสมสารคัลเซียมคลอไรด์ 1-3% จะทำให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้นทั้งที่อายุเริ่มต้น และที่อายุมาก โดยที่การเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณคัลเซียมคลอไรด์ และการเพิ่มขึ้นของกำลังที่อุณหภูมิสูงคือที่ 35° ช เกิดขึ้นมากกว่าที่อุณหภูมิ 25° และ 15°ช ตามลำดับ

Blenkinsop (อ้างถึงโดย Rixom [2]) ได้ทดสอบอิทธิพลของคัลเซียมคลอไรด์และพบว่าการผสมสารคัลเซียมคลอไรด์ 2% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้น Neville และ Brooks [3] ได้รวบรวมผลการทดสอบคัลเซียมคลอไรด์กับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั้ง 5 ชนิด และพบว่าที่อายุ 1-28 วันกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมสารคัลเซียมคลอไรด์ 2% สูงกว่าคอนกรีตธรรมดาเช่นกัน

รูปที่ 3(ข) แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมสารคัลเซียมคาร์บอเนต 1-3% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ จะเห็นได้ว่าสารคัลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารเร่งการก่อตัวที่อ่อนมาก กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมสารคัลเซียมคาร์บอเนต 0, 1, 2 และ 3% จะเกาะกลุ่มและไม่แตกต่างกันมาก

รูปที่ 3(ค) แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมสารคัลเซียมซิลเฟต 1-3% โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ จะเห็นได้ว่าสารคัลเซียมซิลเฟตเป็นสารเร่งการก่อตัวที่ดีพอสมควร โดยที่อุณหภูมิสูงคือที่ 25° และ 35° ช กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมสารคัลเซียมซิลเฟตจะสูงกว่ามอร์ตาร์ธรรมดาอย่างเห็นได้ชัด และที่อุณหภูมิต่ำคือที่ 15° ช กำลังรับแรงอัดระยะต้นจะไม่แตกต่างกันมาก แต่กำลังรับแรงอัดระยะปลายของมอร์ตาร์ที่ผสมสารคัลเซียมซิลเฟตจะสูงกว่ามอร์ตาร์ธรรมดา

รูปที่ 3(ง) และ รูปที่ 3(จ) แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมสารคัลเซียมฟอสเฟต และคัลเซียมอะซิเตต 1-3% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ จะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงของมอร์ตาร์ที่ผสมสารคัลเซียมฟอสเฟต และคัลเซียมอะซิเตตมีลักษณะคล้ายกันโดยที่กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมสารคัลเซียมฟอสเฟตและคัลเซียมอะซิเตตที่อุณหภูมิ

15° และ 35° ซ ไม่แตกต่างจากมอร์ตาร์ธรรมดาแต่ที่อุณหภูมิ 25° ซ กำลังรับแรงของมอร์ตาร์ที่ผสมคัลเซียมฟอร์เมตจะสูงกว่ามอร์ตาร์ธรรมดา และจากตารางที่ 1 จะพบว่าที่อุณหภูมิ 25° ซ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ของมอร์ตาร์ที่ผสมสารคัลเซียมฟอร์เมต และคัลเซียมอะซิเตตนั้น จะมีค่าต่ำกว่ามอร์ตาร์ธรรมดาค่อนข้างมาก การลดลงของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้กำลังรับแรงของมอร์ตาร์ที่ผสมสารคัลเซียมฟอร์เมต และคัลเซียมอะซิเตตที่ 25° ซ สูงขึ้น สำหรับอิทธิพลของสารคัลเซียมฟอร์เมตและคัลเซียมอะซิเตต Neville และ Brooks [3] ให้ความเห็นว่ายังไม่สามารถสรุปได้แน่นอน

Mindess และ Young [4] ได้สรุปอิทธิพลของสารเร่งการก่อตัวกำลังของคอนกรีตว่า โดยทั่วไปกำลังของคอนกรีตผสมสารเร่งการก่อตัวจะสูงขึ้นที่อายุเริ่มแรกและการเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงเนื่องจากสารเร่งการก่อตัว จะมีน้อยลงเมื่ออายุมากขึ้นและอาจลดลงต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดา ซึ่งการลดลงของกำลังรับแรงของคอนกรีตที่อายุมากจะเกิดขึ้นเมื่อการเร่งการก่อตัวเกิดขึ้นมาก ในระยะแรกผลการทดสอบการผสมสารเร่งการก่อตัวที่มีประสิทธิภาพคือ คัลเซียมคลอไรด์ 1-3% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 3(ก) แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงอัดเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ จะมากที่สุดที่อายุเริ่มแรก และจะน้อยลงเมื่ออายุมากขึ้นจริง แต่ภายในอายุ 90 วัน กำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้น ยังคงสูงกว่ากำลังรับแรงของคอนกรีตธรรมดา

สรุป

จากผลของการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า

1. ค่าความชื้นเหลวปกติของซีเมนต์เพสต์ธรรมดา และซีเมนต์เพสต์ผสมสารเร่งการก่อตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น การผสมสารคัลเซียมคลอไรด์ 1-3% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์จะเพิ่มค่าความชื้นเหลวปกติประมาณ 1-3% และการผสมสารคัลเซียมคาร์บอเนต คัลเซียมซิลเฟต คัลเซียมฟอร์เมต และคัลเซียมอะซิเตต 1-3% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ทำให้ค่าความชื้นเหลวปกติไม่เปลี่ยนแปลงมาก
2. จากการทดสอบระยะเวลาการก่อตัว พบว่าเมื่อผสมสาร 1-3% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ สารคัลเซียมคลอไรด์เป็นสารที่เร่งการก่อตัวได้ดีที่สุด สารคัลเซียมฟอร์เมต และคัลเซียมอะซิเตต เร่งการก่อตัวได้ปานกลาง และสารคัลเซียมคาร์บอเนตและคัลเซียมซิลเฟตเร่งการก่อตัวเพียงเล็กน้อย
3. สารคัลเซียมคลอไรด์ให้กำลังรับแรงดีที่สุด โดยที่กำลังรับแรงอัดทั้งระยะต้นและระยะปลายเพิ่มขึ้นมากที่สุด สารคัลเซียมซิลเฟตให้กำลังรับแรงดีปานกลาง โดยที่กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมสารคัลเซียมซิลเฟต ให้กำลังรับแรงอัดสูงขึ้น โดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูงคือ 25° และ 35° ซ และการผสมสารคัลเซียมคาร์บอเนต คัลเซียมฟอร์เมต และคัลเซียมอะซิเตต 1-3% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ไม่มีผลต่อกำลังรับแรง

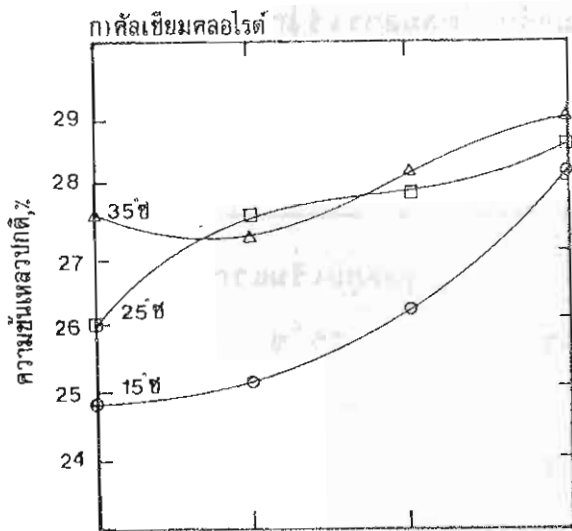
บรรณานุกรม

- [1]. Troxell, G.E.; Davis, H.E. and Kelly, J.W. "Composition and Properties of Concrete" McGraw-Hill, p.529, 1968.
- [2]. Rixom, M.R. "Chemical Admixture for Concrete" Spon, p.234, 1978.
- [3]. Neville, A.M. and Brooks J.J. "Concrete Technology" Longman Group Ltd, ELBS edition, 1990, P.438.
- [4]. Mindess, S. and Young, J.F. "Concrete" Prentice-Hall, p.671, 1981.
- [5]. Klieger, P. "Effect of Mixing and Curing Temperature on Concrete Strength" ACI Journal, Vol.29, No.12, p.1063-1081, 1958.
- [6]. Helmuth, R.H. and Verbeck, G.J. "Structures and Physical Properties of Cement Pastes" Proc. 5th Int. Sym. on the Chemistry of Cement, Tokyo, p.1-13, 1968.

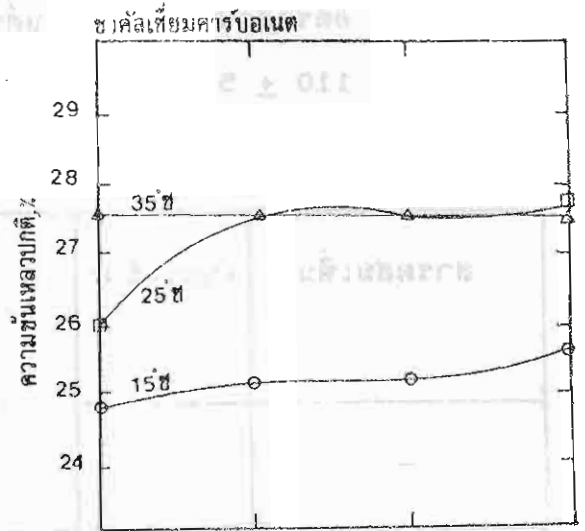
ตารางที่ 1 อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ของมอร์ตาร์ผสมสารเร่งการก่อตัวที่ค่าการไหล

110 ± 5 %

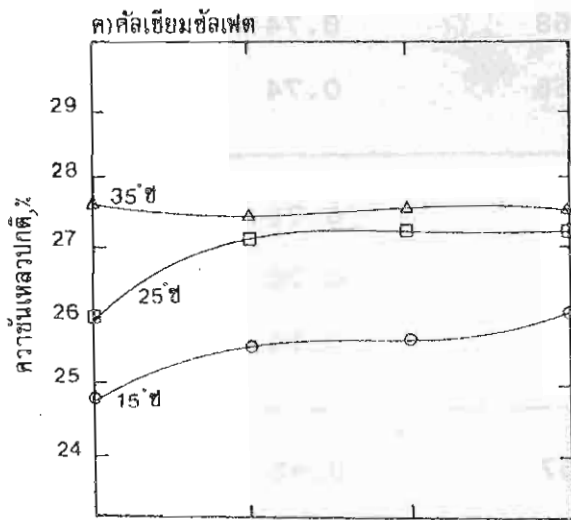
สารผสมเพิ่ม	เปอร์เซ็นต์	อุณหภูมิเริ่มแรก		
		15 °ซ	25 °ซ	30 °ซ
—	—	0.67	0.72	0.72
กัลเซียมคลอไรด์	1	0.68	0.73	0.71
	2	0.68	0.74	0.71
	3	0.68	0.74	0.71
กัลเซียมคาร์บอเนต	1	0.70	0.72	0.72
	2	0.69	0.70	0.72
	3	0.69	0.70	0.73
กัลเซียมซัลเฟต	1	0.67	0.65	0.69
	2	0.68	0.65	0.70
	3	0.68	0.65	0.71
กัลเซียมฟอर्मेट	1	0.66	0.64	0.71
	2	0.66	0.63	0.70
	3	0.66	0.63	0.69
กัลเซียมอะซิเตต	1	0.68	0.66	0.71
	2	0.68	0.66	0.70
	3	0.67	0.66	0.70



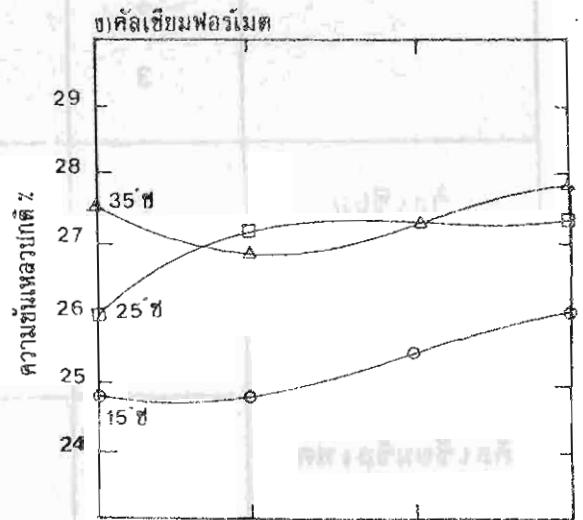
% โดยน.น. ของปูนซีเมนต์



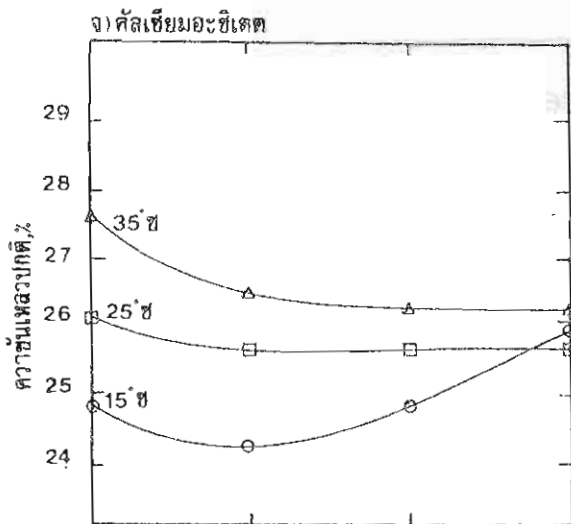
% โดยน.น. ของปูนซีเมนต์



% โดยน.น. ของปูนซีเมนต์

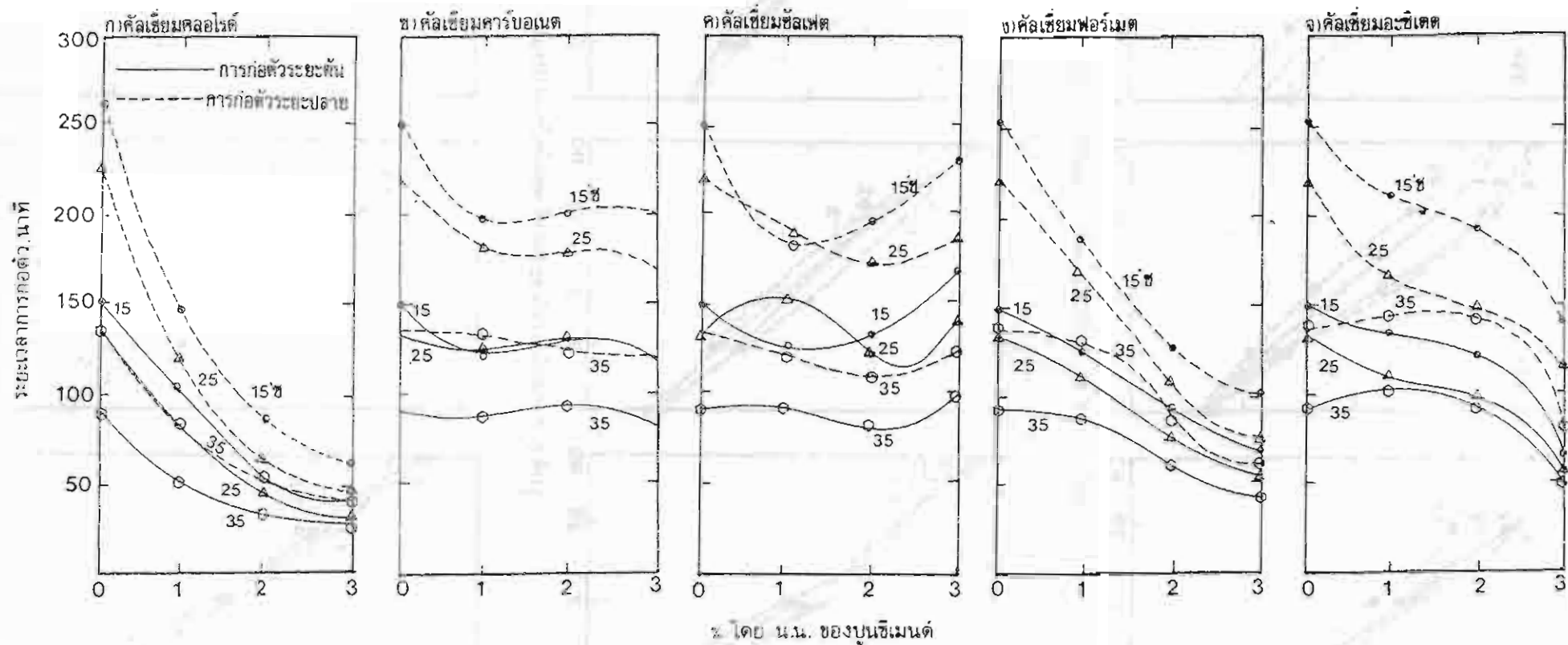


% โดยน.น. ของปูนซีเมนต์

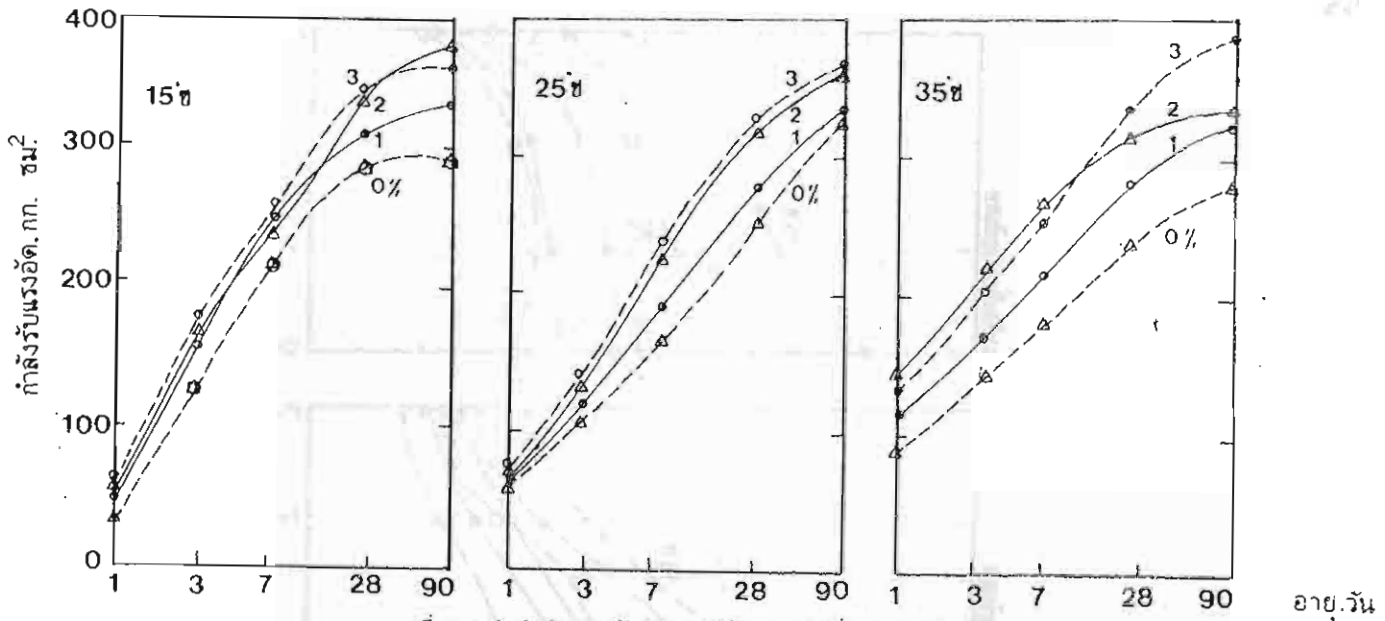


% โดยน.น. ของปูนซีเมนต์

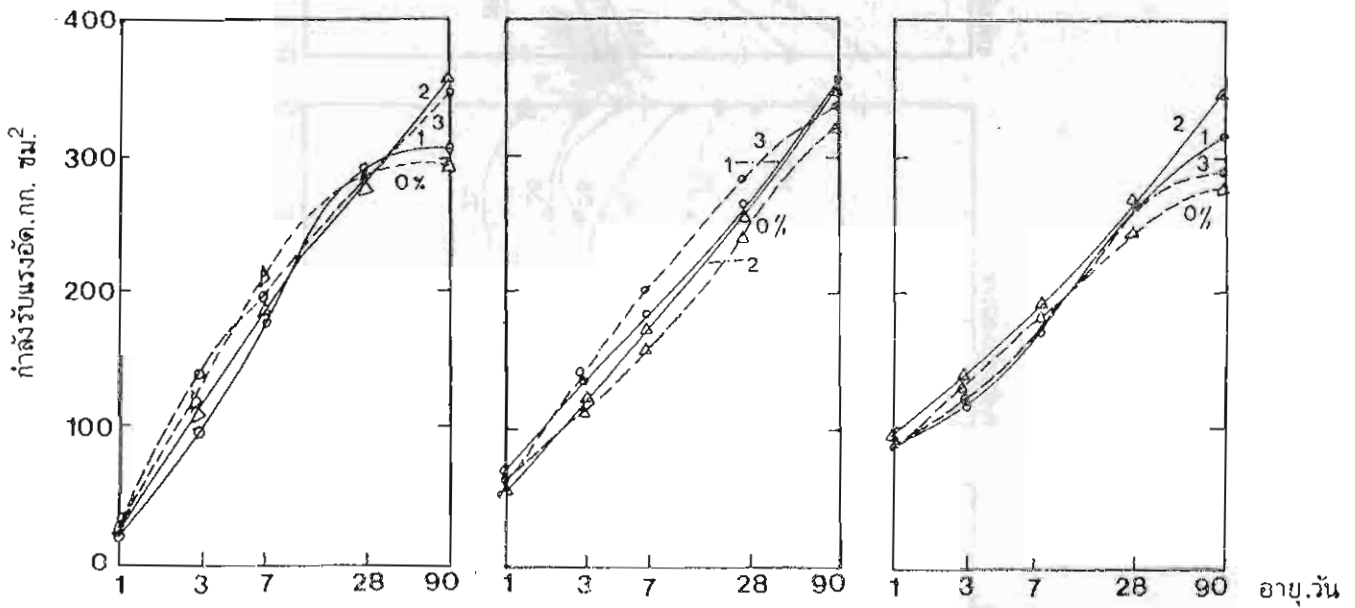
รูปที่ 1 ความชื้นเหลือปกติของซีเมนต์ผสมสารเร่งการก่อตัว



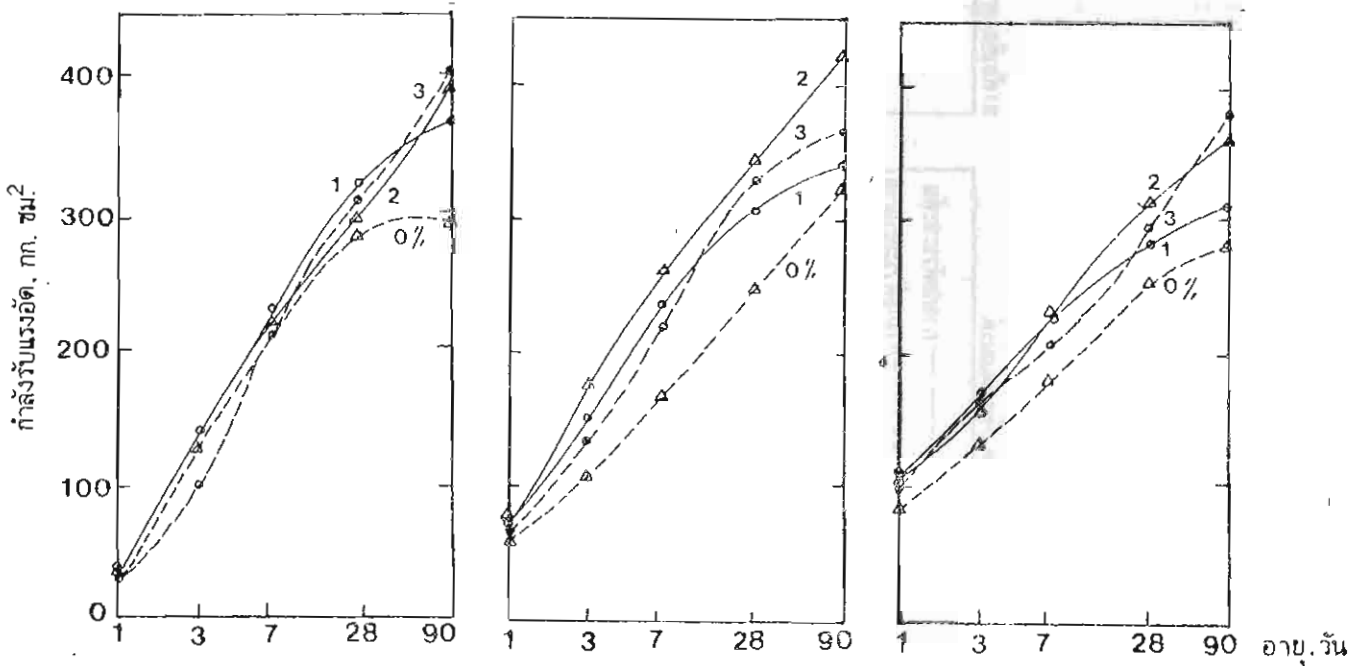
รูปที่ 2 ระยะเวลาการก่อกำเนิดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมสารเร่งการก่อกำเนิด



รูปที่ 3.1 กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าผสมคัลเซียมคลอไรด์



รูปที่ 3.2 กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าผสมคัลเซียมคาร์บอเนต



รูปที่ 3.3 กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าผสมคัลเซียมซิลเฟต

