อิทธิพลของสารหน่วงการก่อตัวที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

Effects of Retarders on Concrete Properties

ประเสริฐ สุวรรณวิทยา และ สมชัย โค้วเจริญ[1]

Prasert Suwanvitaya and Somchai Kowcharoen

ABSTRACT

This is a study on the effect of three different brands of concrete set retarding admixture. The study was divided into 2 parts, the first consisted of slump test, determination of air content in concrete, setting time and compressive strength of concrete. The second part consisted of determination of setting time of cement paste and observation of microstructure of cement paste with and without retarding admixture by using optical microscope, scanning electron microscope and X-ray diffractometer.

The results revealed that all three different brands of retarding admixture increased the slump of concrete, air content in concrete and delay in setting time of concrete. However, the effectiveness varied with the brand and dosage of the retarding admixture. Compressive strength of concrete with retarding admixture developed faster than concrete without admixture at the early age. No difference in the compressive strength of concrete was found at 28 days at the significant level of 0.01 percent. Concerning microstructure, it was found that there better dispersion of cement particles in the cement paste with retarding admixture. The scanning electron microscope study revealed that the morphologies of calcium hydroxide and two types of C-S-H Gel, Fibrous particles type and small equant grain type in the cementpaste with retarding admixture was not different from those of normal concrete.

The x-ray diffraction experiment revealed that patterns of X-ray diffractograms of cement paste with and without retarding admixture are similar.

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของสารหน่วงการก่อตัวที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีตโดยได้แบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วน และใช้สารหน่วงการก่อตัวสามสารในการวิจัยการวิจัยในส่วนที่หนึ่งนั้นเป็นการศึกษาหาค่าการยุบตัว ปริมาณฟองอากาศ ระยะเวลาการก่อตัว และกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมและไม่ผสมสารหน่วงการก่อตัว ในส่วนที่สองจะทำการตรวจสอบโครงสร้างระดับไมโครของซีเมนต์เพสท์ที่ผสมและไม่ผสมสารหน่วงการก่อตัว ด้วยเครื่อง Optical microscope, Scanning electron microscope และ X-ray diffractometer

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า สารหน่วงการก่อตัวที่ใช้ในการทดลองมีผลในการเพิ่มค่าการยุบตัว เพิ่มปริมาณฟองอากาศและหน่วงระยะเวลาการก่อตัว โดยการเพิ่มของค่าทั้งสามขึ้นกับชนิดและปริมาณสารที่ผสมเพิ่ม ส่วนกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมสารหน่วงการก่อตัวจะสามารถพัฒนากำลังรับแรงอัดได้เร็วกว่าคอนกรีตปกติในช่วงวันแรก ๆ แต่ที่เวลา 28

1. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ Dept. of Civil Engineering, Faculty of Engineering Kasetsart Univ.

วัน พบว่าค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมสารหน่วงการก่อตัวในอัตราส่วน 100–200 ลบ. ซม. ต่อ 100 กก. ของปูนซิเมนต์ มีค่าไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ย กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตปกติที่ค่านัยสำคัญ 0.01 เปอร์เซ็นต์ ทางด้านการตรวจสอบโครงสร้างระดับไมโครของซีเมนต์เพสท์ด้วย Optical microscope พบว่า การกระจายตัวของอนุภาคซีเมนต์ในซีเมนต์เพสท์ที่ผสมสารหน่วงการก่อตัวจะกระจายตัวได้ดีกว่าในซีเมนต์เพสท์ปกติ และจากการใช้ Scanning electron microscope สามารถตรวจพบ Morphology ของสารประกอบ Calcium hydroxide และสารประกอบ C-S-H Gel แบบ Fibrous particels และแบบ Small equant grain จากการเปรียบเทียบลักษณะ Morphology ของสารประกอบที่ผสมและไม่ได้ผสมสารหน่วงการก่อตัว พบว่า Morphology ของสารประกอบแต่ละชนิด มีลักษณะไม่แตกต่างจากลักษณะปกติของแต่ละสารประกอบ ส่วนการตรวจสอบด้วย X-ray diffractometer พบว่า ลักษณะของกราฟ X-ray ของซีเมนต์เพสท์ที่ผสมและไม่ผสมสารหน่วงการก่อตัว มีลักษณะคล้ายคลึงกัน และไม่พบหลักฐานสำคัญใดชี้ชัดว่า สารหน่วงการก่อตัวที่ผสมลงในซีเมนต์เพสท์มีผลทำให้ลักษณะการเกิดสารประกอบที่ตรวจพบแตกต่างจากลักษณะการเกิดสารประกอบของซีเมนต์เพสท์ปกติ

คำนำ

สารผสมเพิ่มในคอนกรีตเริ่มมีบทบาทสำคัญมากขึ้นในงานคอนกรีต เนื่องจากความต้องการลักษณะจำเพาะบางอย่างของคอนกรีต เช่น ต้องการให้คอนกรีตก่อตัวช้าหรือเร็วกว่าปกติ ให้มีการยุบตัวสูงกว่าปกติ หรือให้มีการพัฒนากำลังเร็วขึ้นเป็นต้น สารหน่วงการก่อตัวเป็นสารที่ได้รับความนิยมสูงโดยเฉพาะในงานเทคอนกรีตปริมาณมาก ๆ อย่างต่อเนื่อง ประสิทธิผลของสารจำพวกนี้สามารถวัดได้จากระยะการก่อตัวที่ยืดออกไป แต่ผลในระยะยาวโดยเฉพาะที่มีต่อกำลังของคอนกรีตนั้นประเมินได้ยากมาก เพราะระดับการควบคุมคุณภาพในบริเวณงานไม่อาจทำได้ละเอียดพอ อีกทั้งสารหน่วงการก่อตัวที่นำมาใช้กันนั้น เป็นพวกที่ผลิตมาทางการค้า ข้อมูลที่บริษัทผู้ผลิตจัดให้จึงไม่อาจนับได้ว่าน่าเชื่อถือได้เพียงพอข้อมูลจากงานวิจัยอื่นแม้จะมีประโยชน์ แต่ก็มักเป็นการศึกษาของสารประกอบเป็นอย่าง ๆ เช่น ของแคลเซียมลิกโนซัลเฟต หรือเกลือกไฮตรอกซิลคาร์บอซิลิค เป็นต้น ไม่ใช่สารผสมดังที่พบในบริเวณงาน จึงควรมีการศึกษาเกี่ยวกับสารหน่วงเหล่านี้โดยละเอียด

วัตถุประสงค์ในการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อให้ทราบว่าสารหน่วงการก่อตัวในตลาด จะมีผลอย่างไรต่อคอนกรีต โดยศึกษาถึงคุณสมบัติต่อไปนี้

1. ค่าการยุบตัว
2. ปริมาณฟองอากาศ
3. ระยะเวลาการก่อตัว
4. กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต และ
5. microstructure ของซีเมนต์เพสต์

สารหน่วงการก่อตัว

Rixom (1978) ได้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับสารหน่วงการก่อตัว (Retarding admixture) ว่าจะสามารถผลิตได้จาก แคลเซียมลิกโนซัลโฟเนต, เกลือ ไฮดรอกซิลคาร์บอซิลิค, สารประกอบย่อยของคาร์โบไฮเดรท, โปรตีน, น้ำตาล หรือ ฟอสเฟตโฟเลต

ส่วนสารหน่วงการก่อตัวและมีความสามารถในการช่วยลดปริมาณน้ำที่เรียกว่า Water reducing and retarding admixture จะได้จากสารจำพวก High sugar Lignoslphonate, Hydroxycarboxylic acid หรือ Hydroxylated polymer

ทฤษฎีการหน่วงการก่อตัว

Jeffs (1979) จำแนกทฤษฎีเกี่ยวกับการหน่วงการก่อตัวออกเป็น ทฤษฎี Absorption, ทฤษฎี Precipitation, ทฤษฎี Complexing, และทฤษฎี Nucleation แต่ทฤษฎีที่เป็นที่ยอมรับกันมากคือทฤษฎี Nu-

cleation ซึ่งมีใจความว่า

เมื่อน้ำผสมกับปูนซีเมนต์ C_3A จะทำปฏิกริยาทันทีกับยิบซั่มจะทำให้เกิด Ettringite ส่วน C_3S จะทำปฏิกริยากับน้ำเกิดเป็นชั้นของไฮเดรทขึ้นห่อหุ้มตัวของมันและชั้นบาง ๆ นี้เป็นเหตุให้ขบวนการไฮเดรทชั่นช้าลง และเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมอิออนในสารละลายค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงขีด Supersaturation ชั้นบางนี้จะแตกออกและการตกผลึกของ C_3S ไฮเดรทจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และปริมาณแคลเซียมอิออนในสารละลายจะค่อย ๆ ลดลงที่จุดนี้คอนกรีตจะเริ่มก่อตัวและเริ่มมีกำลังรับแรงได้

ในกรณีที่มีการเติมสารหน่วงการก่อตัว จะพบว่าปฏิกริยาของ C_3S กับน้ำที่ทำให้เกิด Ettringite จะดูดซึมเอาปริมาณสารหน่วงไปจำนวนหนึ่ง อย่างไรก็ตามสารหน่วงที่ยังคงมีอยู่จะกระจายและหน่วงการก่อตัวอยู่ โดยปกติเมื่อแคลเซียมอิออนในสารละลายเพิ่มขึ้นจนถึงจุด Supersaturation เยื่อบาง ๆ ของไตรแคลเซียมซิลิเกต ไฮเดรทจะแตกออกและเกิดการตกผลึก แต่สารหน่วงกลับจะไปห่อหุ้มเยื่อบาง ๆ ให้แตกออกยากขึ้น ทำให้ระยะเวลาการก่อตัวยืดออกไปจนกระทั่งจุดหนึ่ง เยื่อบาง ๆ ไม่อาจต่อต้านแรงผลักดันจากสารละลายและแตกออก และการก่อตัวปกติจึงได้เริ่มขึ้น

ผลกระทบต่อคอนกรีต

ผลที่มีต่อคอนกรีตนั้น Tayler (1965) ให้รายละเอียดว่า Calcium lignosulphonate กับ Sucrose ผสมลงในคอนกรีต และได้ผลการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวว่า หากใช้สาร Calcium lignosulphonate ในปริมาณ 0.25 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณของสารหน่วงต่อน้ำหนักของปูนซีเมนต์ จะทำให้ระยะเวลาการก่อตัวแรกเริ่มเกิดที่ 6 ชั่วโมง 30 นาที และระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายที่ 10 ชั่วโมง ส่วนสาร Sucrose จะให้ระยะเวลาการก่อตัวแรกเริ่มที่ 144 ชั่วโมง และการก่อตัวสุดท้ายที่ 360 ชั่วโมง ส่วนการทดสอบกำลังรับแรงอัดให้ผลว่า คอนกรีตที่ผสมสารจะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตปกติ ต่อมาในปี 1977 Rixom ได้กล่าวถึงผลการใช้สารหน่วงการก่อตัว และลดปริมาณน้ำว่า จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าสารชนิดนี้จะเพิ่มค่าการยุบตัวและหน่วงระยะเวลา การก่อตัวออกไปตามปริมาณของสารที่ใช้ ส่วนกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมสารนี้จะให้กำลังรับแรงอัดสูงขึ้น ต่อมา Young and Mindess (1981) ได้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับการทดสอบสารหน่วงการก่อตัวชนิดที่มีส่วนประกอบของสาร Lignosulphonic acids และ Hydroxycarboxylic acids ผลการทดสอบที่ได้แสดงให้ทราบว่าจะมีผลในการหน่วงระยะเวลาการก่อตัว, เพิ่มปริมาณฟองอากาศ และเพิ่มค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต โดยการเพิ่มขึ้นกับปริมาณสารที่ใช้ ต่อมา Suwanvitaya และ Suriyawanakul (1985) ได้ทำการทดลองสารหน่วง 4 ชนิด ที่ใช้อยู่ในประเทศไทยพบว่า สารหน่วงแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการใช้ที่แตกต่างกัน และเมื่อใช้สารหน่วงในอัตรา 300 ลบ.ซม. ต่อ 100 กก. ของปูนซีเมนต์ จะทำให้ระยะเวลาการก่อตัวยืดออกไปอย่างมาก และไม่พบหลักฐานใดชี้ชัดว่า สารหน่วงการก่อตัวจะทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลง

ส่วนผลที่มีต่อ Microstructure ของคอนกรีตนั้น Ciach and Swenson (1997) ได้ทำการตรวจสอบ Synthetic cement paste ที่ผสมและไม่ผสมสาร Calcium lignosulphonate โดยใช้เครื่อง Electron micrograph กับเครื่อง X-ray diffractometer และสรุปผลได้ว่า สารนี้ไม่ทำให้ Morphology ของไฮเดรทผิดแปลกไปจากเดิม และไม่ก่อให้เกิดสารประกอบแปลกปลอมขึ้น ต่อมาในปี ค.ศ. 1976 Diamond ได้ใช้เครื่อง Scanning electron microscope และ X-ray diffractometer ตรวจสอบ Microstructure ของซีเมนต์เพสท์ พบว่าลักษณะของ C-S-H Gel มี 4 แบบ คือ แบบ Fibrous particles, Small equant grain, reticular และ Innerproduct นอกจากนั้นยังตรวจพบ Calcium hydroxide และจากการตรวจสอบด้วย X-ray diffractometer พบ Peak ของ Calcium hydroxide, C_3S, C_2S และ C-S-H Gel.

รายละเอียดของสารหน่วงการก่อตัวที่ใช้ในการทดลอง

สารหน่วงการก่อตัวที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันมีมากมายหลายชนิด และแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการใช้ที่แตกต่างกัน ในการทดลองนี้ได้เลือกสารหน่วงการก่อตัวที่ใช้กันอย่างแพร่หลายจาก 3 บริษัท มาทดลองคือ สาร A, B และ C ซึ่งมีลักษณะตามระบุดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

วิธีการทดลอง

การทดลองนี้แบ่งออกเป็นสองส่วน ในส่วนแรกนั้นจะทำการทดลองด้านคุณสมบัติของคอนกรีต และในส่วนที่สองจะทำการตรวจสอบโครงสร้างระดับไมโครของซีเมนต์เพสท์ที่ผสมและไม่ผสมสารหน่วงการก่อตัว

การทดลองด้านคุณสมบัติของคอนกรีต

การทดลองนี้ได้ผสมคอนกรีตออกเป็น 10 แบบ ดังนี้

แบบที่ 1 เป็นคอนกรีตที่ไม่ผสมสารหน่วงการก่อตัวใช้เป็นคอนกรีตเปรียบเทียบ ให้ชื่อว่าคอนกรีตแบบ D

แบบที่ 2, 3 และ 4 เป็นคอนกรีตที่ผสมสารหน่วงการก่อตัวชนิด A ในอัตราส่วน 100, 200 และ 300 ลบ.ซม. ต่อ 100 กก. ของปูนซิเมนต์และให้ชื่อว่าคอนกรีตแบบ A-100, A-200 และ A-300 ตามลำดับ

แบบที่ 5, 6 และ 7 เป็นคอนกรีตที่ผสมสารหน่วงการก่อตัวชนิด B ในอัตราส่วน 100, 200 และ 300 ลบ.ซม. ต่อ 100 กก. ของปูนซีเมนต์และให้ชื่อว่าคอนกรีตแบบ B-100, B-200 และ B-300 ตามลำดับ

แบบที่ 8, 9 และ 10 เป็นคอนกรีตที่ผสมสารหน่วงการก่อตัวชนิด C ในอัตราส่วน 100, 200 และ 300 ลบ.ซม. ต่อ 100 กก. ของปูนซีเมนต์และให้ชื่อว่าคอนกรีตแบบ C-100, C-200 และ C-300 ตามลำดับ

นอกจากสารผสมเพิ่มแล้วคอนกรีตทั้ง 10 แบบนี้จะประกอบด้วยปูนซีเมนต์ 318 กก. หิน 1138 กก. ทราย 759 กก. และน้ำ 175 กก. (อัตราส่วนนี้ได้จากการทำ Mix design ด้วยวิธีของ ACI โดยต้องการให้ได้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตประมาณ 300 กก. ต่อ ตร.ซม. และค่าการยุบตัวประมาณ 8–10 ซม.) และหลังจากผสมคอนกรีตเสร็จแล้ว นำมาทำการทดลองดังนี้

1. ตรวจสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีตด้วยเครื่องมือ Slump test (ASTM C-143)

2. ตรวจสอบปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตด้วยเครื่อง Air meter type B (ASTM C-231)

3. ตรวจสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตด้วยเครื่อง Penetration resistance apparatus (ASTM C-430)

4. นำคอนกรีตที่ผสมมาหล่อเป็นคอนกรีตลูกบาศก์และเก็บไว้ทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน ทดสอบครั้งละ 6 ลูกบาศก์ รวมคอนกรีต 18 ลูกบาศก์ ในคอนกรีตแต่ละแบบ

5. นำผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงมาตรฐานแล้วนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดกำลังอัดระหว่างคอนกรีตที่ผสมและไม่ผสมสารหน่วงการก่อตัว ดังนี้

เนื่องจากตัวอย่างมีจำนวนน้อยกว่า 30 และไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากร ดังนั้นจึงต้องทำการทดสอบค่าความแปรปรวนของคอนกรีตที่ผสมและไม่ผสมสารหน่วงการก่อตัวว่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยวิธี F-test แล้วจึงตรวจความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมและไม่ผสมสารหน่วงการก่อตัวต่อไป โดยใช้ t-test

การตรวจสอบโครงสร้างระดับไมโครของซีเมนต์เพสท์

การตรวจสอบโครงสร้างระดับไมโครของซีเมนต์เพสท์นี้ได้ทำการผสมซีเมนต์เพสท์ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ 0.55 ขึ้น 4 แบบ คือ ซีเมนต์เพสท์แบบ D ไม่ผสมสารหน่วงการก่อตัวและแบบ A–200, B-

200 และ C-200 ผสมสารหน่วงการก่อตัวชนิด A, B และ C ที่อัตราส่วน 200 ลบ.ซม. ต่อ 100 กก. ของปูนซีเมนต์และทำการทดลองดังนี้

1. ทดสอบหาค่าระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสท์

2. นำซีเมนต์เพสท์ที่ได้หลังจากการผสมแล้ว 3 ชั่วโมง มาทำการตรวจสอบด้วยกล้อง Optical microscope

3. ทำการตรวจสอบซีเมนต์เพสท์ด้วยกล้อง Scanning electron microscope

4. ทำการตรวจสอบซีเมนต์เพสท์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer โดยใช้ Co เป็น Target และตั้งกระแสไฟฟ้าที่ 20 MA, 30 KV ใช้ Iron เป็น filter และเอียงแผ่นสไลด์ด้วยอัตราสององศาต่อนาที จากการทดลองจะได้ผลการทดลองในรูปของกราฟ X-ray diffraction นำกราฟมาวิเคราะห์หาสารประกอบที่เกิดขึ้นในซีเมนต์เพสท์

Table 1 Information regarding retarders A, B and C

Item	retarder A	retader B	retarder C
Classification (ASTM C-494)	B and D	D	D
State	liquid	liquid	liquid
Colour	dark brown	dark brown	dark brown
Specific gravity	-	1.18	1.20
Normal dosage (cc./100 kg.)	160-200	200-360	280
Delay of initial set (hr:min)	1:50	-	1:30
Delay of final set (hr:min)	1:55	-	-
Percentage increase in concrete strength (at 28 days)	-	6.7	2.5

Table 2 Fresh concrete properties

Specimen	Slump (cm)	Air Content (%)	Setting time (hr:min) Initial	Final	Set delay (hr:min) Initial	Final
D	7.5	1.8	3:30	4:35	–	
A-100	12.0	1.8	4:45	6:00	1:15	1:25
A-200	17.0	1.9	5:25	7:00	1:55	2:25
A-300	18.5	2.2	9:30	11:00	6:00	6:25
B-100	8.5	1.8	3:50	5:10	0:20	0:35
B-200	14.0	2.3	5:45	7:00	2:15	2:25
B-300	18.0	2.5	9:00	10:10	5:30	5:35
C-100	11.0	1.8	4:10	5:35	0:40	1:00
C-200	14.5	2.1	5:00	6:20	1:30	1:45
C-300	17.5	2.4	6:10	7:25	2:40	2:50

Table 3 Compressive strength and standard deviation (S.D.)

Specimen	3-Day Strength (ksc) Average	S.D.	7-Day Strength (ksc) Average	S.D.	28-Day Strength (ksc) Average	S.D.
D	191.50	18.69	259.66	5.28	334.50	15.65
A-100	226.83	15.86	293.33	12.44	362.83	17.03
A-200	248.50	11.35	289.66	12.36	355.16	9.29
A-300	243.00	9.93	296.00	6.16	368.66	7.45
B-100	243.66	10.51	307.00	13.76	329.66	4.34
B-200	226.00	16.85	282.63	6.61	341.00	10.97
B-300	247.33	9.24	303.33	14.56	354.83	6.91
C-100	221.83	18.96	274.16	16.57	347.00	5.97
C-200	236.50	14.31	278.00	9.73	365.16	12.17
C-300	253.00	15.43	310.00	14.42	378.66	9.01

Table 4 Values of F and t corresponding to the results

Comlparing Pair	3-Day Strength F	t	7-Day strength F	t	28-Day Strength F	t
A-100 and D	0.720	3.223*	5.551	5.571*	1.185	3.000
A-200 and D	0.368	5.828*		4.991*	0.352	2.780
A-300 and D	0.282	5.741*	1.361	10.015*	0.227	4.827*
B-100 and D	0.316	5.439*	6.791	7.182*	0.077	-0.058
B-200 and D	0.812	3.065	1.567	6.124*	0.491	0.833
B-300 and D	0.244	5.987*	7.604	6.304*	0.195	2.910
C-100 and D	1.029	2.547	9.848	1.864	0.146	1.828
C-200 and D	0.586	4.274*	3.396	3.704*	0.605	3.788
C-300 and D	0.681	5.674*	7.458	7.330*	0.567	5.900*

*Difference exists at significance level of 0.01

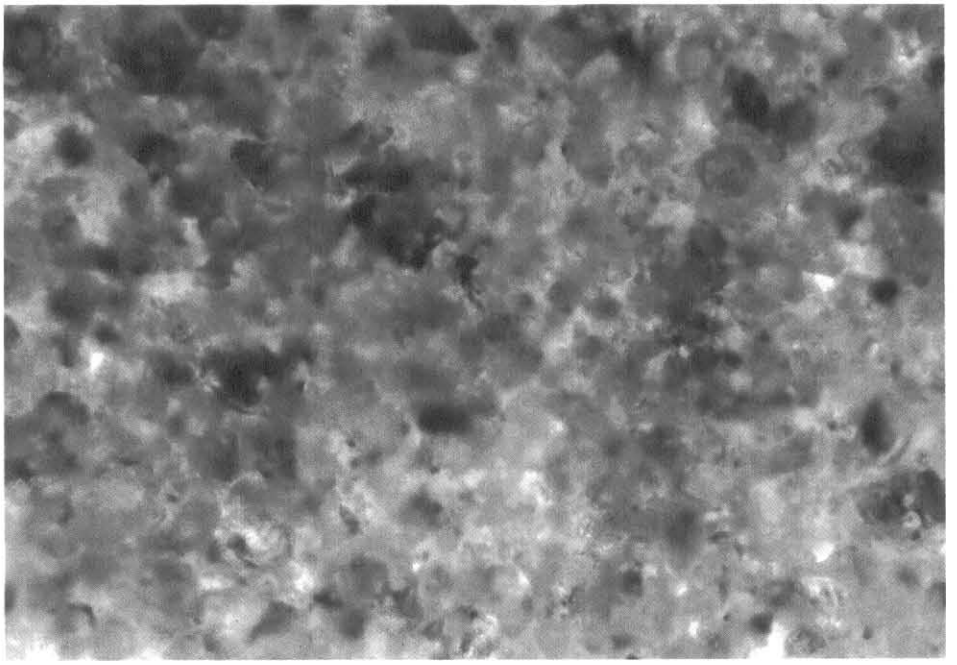

Figure 1 Particle dispersion in the control cement paste.
Magnification 66 times.

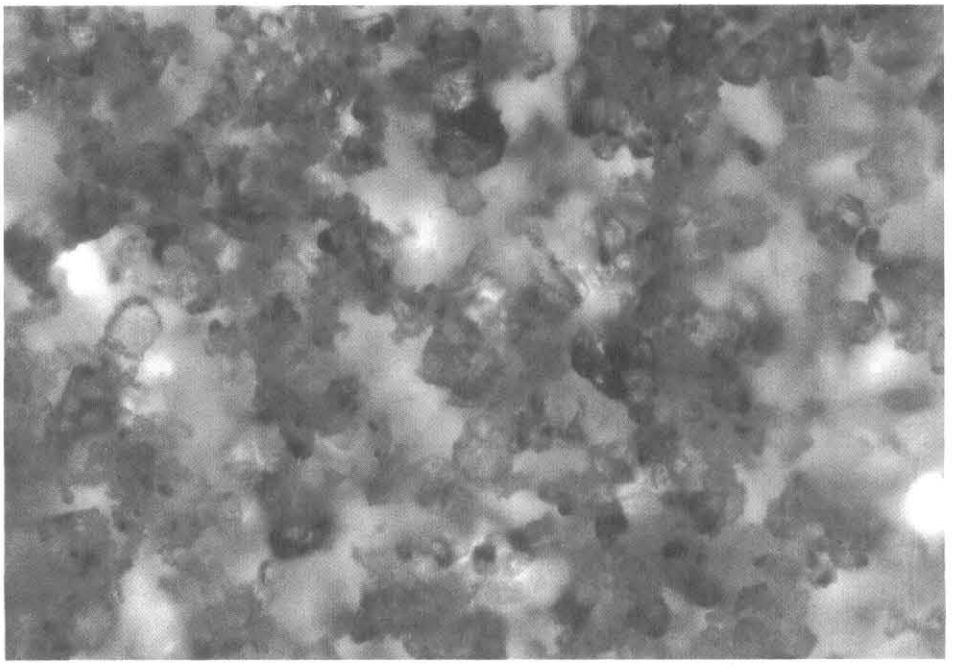

Figure 2 Particle dispersion in cement paste with A-200.
Magnification 66 times.

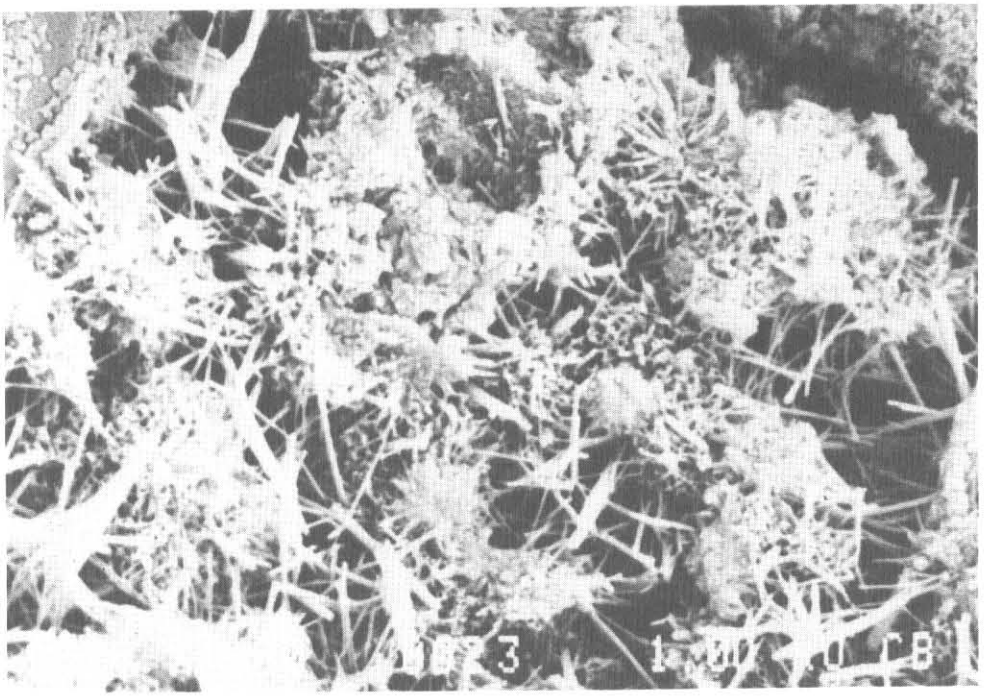

Figure 3 Morphology of C-S-H Gel in the form of fibrous particles. Magnification × 4400.

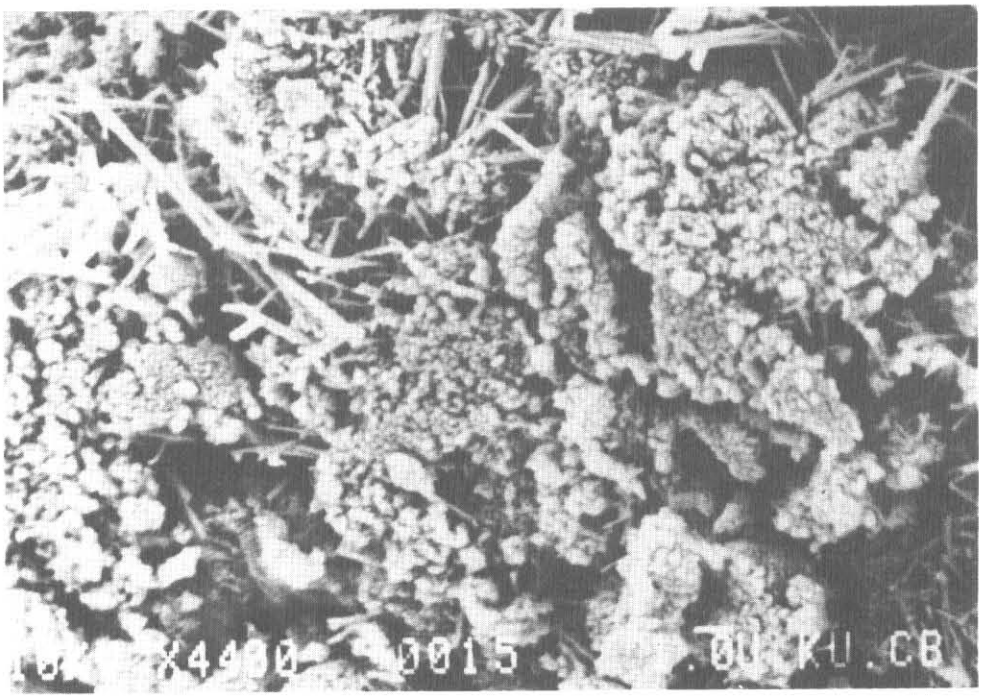

Figure 4 Morphology of C-S-H Gel of the small equant grain type. Magnification × 4400.

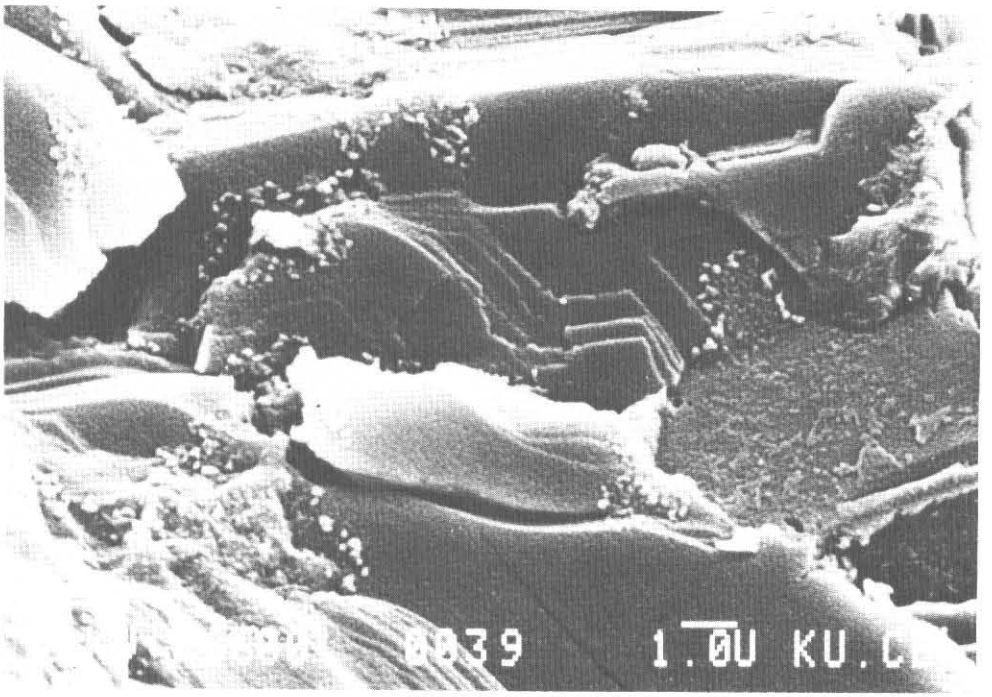

Figure 5 Presence of calcium hydroxide. Shown here at × 6600.

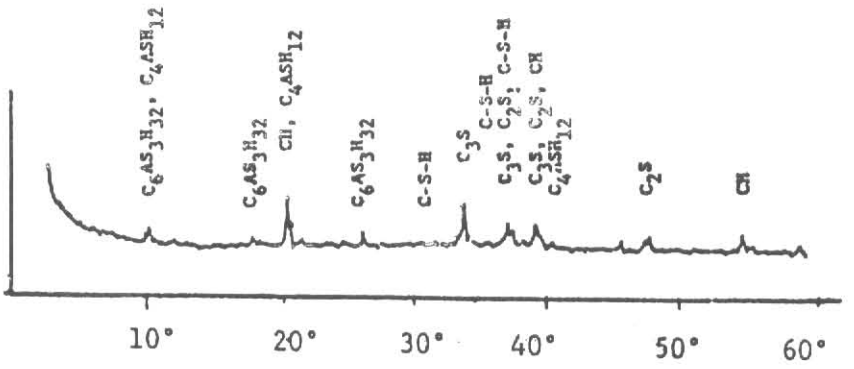

Figure 6 Typical X-ray diffraction pattern of cement paste.

ผล และ วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า ค่าความยุบตัว ปริมาณฟองอากาศและระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตที่ผสมสารหน่วงการก่อตัว จะมีค่าสูงกว่าของคอนกรีตแบบ D (คอนกรีตที่ไม่ได้ผสมสารหน่วงการก่อตัว) และในชุดของคอนกรีตที่ผสมสารหน่วงชนิดเดียวกันนั้น ค่าทั้ง 3 ที่กล่าวข้างต้นจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของสารที่ผสม และจากผลของการหน่วงการก่อตัว พบว่า พฤติกรรมการหน่วงของสารหน่วงการก่อตัวนั้นจะหน่วงระยะเวลาการก่อตัวในช่วงระยะเวลาก่อนการก่อตัวแรกเริ่ม และเมื่อการก่อตัวดำเนินมาถึงช่วงนี้แล้วนั้นไม่ว่าคอนกรีตจะผสมสารหน่วงการก่อตัวหรือไม่ จะใช้เวลาประมาณไม่เกิน 2 ชั่วโมง ในการพัฒนาการก่อตัวไปสู่ช่วงระยะเวลาการก่อตัวสุดท้าย ซึ่งสอดคล้องกับ ทฤษฎี Nucleation ที่ว่าสารหน่วงการก่อตัวคือ สารที่ไปช่วยให้ชั้นบาง ๆ ของ Tricalcium silicate hydrate หนาและแตกออกยากขึ้น แต่เมื่อแตกออกแล้วการก่อตัวจะเกิดขึ้นตามปกติ นอกจากนี้แล้วยังพบอีกว่าคอนกรีตแบบ A-300 และ B-300 จะให้ผลการหน่วงระยะเวลาการก่อตัวออกไปอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ผสมสารหน่วงในช่วง 100–200 ลบ.ซม. ต่อ 100 กก. ของปูนซีเมนต์ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Suwanvitaya และ Suriyawanakul (1985)

ส่วนผลการทดลองกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (แสดงผลไว้ในตารางที่ 3) พบว่า ค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมสารหน่วงการก่อตัว จะสูงกว่าของคอนกรีตแบบ D ยกเว้นคอนกรีตแบบ B-100 ที่อายุ 28 วัน จะมีค่าต่ำกว่าของเฉลี่ยของคอนกรีตแบบ D ที่ 28 วัน เล็กน้อย แต่จากการวิเคราะห์ผลด้วยวิชาสถิติ (แสดงผลไว้ในตารางที่ 4) พบว่าที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์นั้น ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคอนกรีตที่ผสมสารหน่วงการก่อตัวในแต่ละแบบกับคอนกรีตแบบ D อายุคอนกรีตเดียวกันนั้นมีค่าไม่แตกต่างกัน และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ระดับความเชื่อมั่นเดียวกัน พบว่า ที่อายุ 3 วัน คอนกรีตที่ผสมสารหน่วงการก่อตัวเกือบทั้ง 9 แบบ ให้ค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแตกต่างจากของคอนกรีตแบบ D ไปในทางมากกว่า (ค่า t-test มีค่าเกินเขตวิกฤตไปในทางบวก) ยกเว้นคอนกรีตแบบ B-200 และ C-100 ต่อมาที่อายุ 7 วัน พบว่ามีเพียงคอนกรีตแบบ C-100 เท่านั้นที่ยังให้ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างไปจากค่าเฉลี่ยของคอนกรีตแบบ D สำหรับตัวอย่างที่อายุ 28 วันพบว่ามีเพียงคอนกรีตแบบ A-300 และ C-300 เท่านั้นที่ให้ค่าเฉลี่ยแตกต่างจากคอนกรีตแบบ D จากผลการทดลองนี้จะเห็นได้ว่า สารหน่วงการก่อตัวมีผลช่วยให้คอนกรีตผสมสารหน่วงมีความสามารถในการพัฒนากำลังรับแรงอัดสูงขึ้นเร็วกว่าของคอนกรีตแกติ แต่เมื่อเวลาผ่านไปจนถึงอายุ 28 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสม และไม่ผสมสารหน่วงการก่อตัว ไม่แตกต่างกัน ยกเว้นคอนกรีตแบบ A-300 และ C-300 ที่ยังให้ค่าเฉลี่ยสูงกว่าเล็กน้อย

ผลที่มีต่อ Microstructure ของซีเมนต์เพสท์นั้น จากการตรวจสอบซีเมนต์เพสท์ด้วยกล้อง optical microscope ที่เวลาประมาณ 3 ชั่วโมงหลังจากการผสมนั้น พบว่าอนุภาคของปูนซีเมนต์เพส์ที่ผสมสารหน่วงการก่อตัว จะกระจายออกมากกว่าในซีเมนต์เพสท์ แบบ D (ซีเมนต์เพสท์ที่ไม่ได้ผสมสารหน่วงการก่อตัว) เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะสารหน่วงการก่อตัวที่ใช้มีคุณสมบัติของสารลดปริมาณน้ำอยู่ด้วย ซึ่งสารลดปริมาณน้ำจะเป็นสารที่เป็นประจุลบและเมื่อเติมลงไปในซีเมนต์เพสท์ ทำให้เกิดแรงผลักดันซึ่งกันและกัน ทำให้อนุภาคเป็นอิสระต่อกัน (Rixom, 1978)

ผลการตรวจสอบซีเมนต์เพสท์ด้วยเครื่อง Scanning electron Microscope สามารถพบ Morphology ของสารประกอบ C-S-H Gel แบบ Fibrous particles, แบบ Small equant grain และพบสารประกอบ Calcium hydroxide ซึ่งลักษณะตรงกับที่ Diamond (1976) ค้นพบ และจากการเปรียบเทียบลักษณะ Morphology ของสารประกอบทั้ง 3 ระหว่างซีเมนต์เพสท์ที่ผสมและไม่ผสมสารหน่วงการก่อตัว พบว่าลักษณะ Morphology ของสารประกอบทั้ง 3 ที่ตรวจพบไม่เปลี่ยนแปลงไปจากลักษณะปกติ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Ciach และ Swenson (1971) ซึ่งในครั้งนั้นเขาได้ทดลองเติมสาร Calcium lignosulpho-

nate ลงในซีเมนต์เพสท์และตรวจสอบไม่พบสิ่งใดที่เป็นหลักฐานว่าลักษณะ Morphology ของสารประกอบที่เกิดขึ้นเปลี่ยนแปลงไปจากปกติ

จากการตรวจสอบซีเมนต์เพสด้วยเครื่อง X-ray diffractometer พบว่าที่เวลา 4 ชั่วโมงหลังจากผสม พบว่า มีสารประกอบ Unhydrate ของสาร Tricalcium sillicate และ Dicalsium silicate และต่อมาที่เวลา 3 วัน พบว่า มีสารประกอบของ Calcium hydroxide, Ettringite Monosulfoaluminate, C-S-H Gel และสารประกอบ Unhydrate ของ Tricalcium silicate และ Dicalcium silicate ต่อมาที่เวลา 7 และ 28 วัน ยังคงพบแต่สารประกอบทั้ง 6 ชนิด ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีปริมาณมาก จึงแสดงค่า Peak ออกมาให้เห็นและ Identify การเกิดได้ แต่ยังมีสารประกอบบางชนิดที่มีลักษณะไม่เป็นผลึกจึงไม่สามารถ Identify ค่าได้และจากการเปรียบเทียบ Pattern ของ X-ray diffractogram ระหว่างซีเมนต์เพสท์ ที่ผสมและไม่ผสมสารหน่วงการก่อตัว อายุต่าง ๆ กันพบว่า Pattern ของ X-ray diffractogram นั้นมีลักษณะคล้ายคลึงกันและไม่พบหลักฐานใดชี้ชัดว่าสารหน่วงการก่อตัวมีผลทำให้การเกิดสารประกอบที่สามารถตรวจพบเปลี่ยนแปลงไปจากการเกิดสารประกอบในซีเมนต์เพสท์ปกติ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Ciach และ Swenson (1971)

สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้ต้องการทราบถึงผลที่เกิดขึ้นกับคอนกรีตที่ผสมสารหน่วงการก่อตัวโดยได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการยุบตัวของคอนกรีต, ปริมาณฟองอากาศในคอนกรีต, ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต, กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต และตรวจสอบโครงสร้างระดับไมโครของซีเมนต์เพสท์ จากการทดลองสรุปได้ดังนี้

1. สารหน่วงการก่อตัวทั้ง 3 ชนิด ที่ใช้ในการทดลองมีผลในการเพิ่มค่าความยุบตัวของคอนกรีต

2. สารหน่วงการก่อตัวทั้ง 3 ชนิด ที่ใช้ในการทดลองมีผลช่วยเพิ่มปริมาณฟองอากาศในคอนกรีต

3. สารหน่วงการก่อตัวจะยืดช่วงระยะเวลาการก่อตัวในช่วงก่อนระยะเวลาการก่อตัวแรกเริ่ม แต่เมื่อสารก่อตัวมาถึงช่วงนี้ ไม่ว่าคอนกรีตจะผสมสารหน่วงการก่อตัวหรือไม่ จะใช้ระยะเวลาประมาณไม่เกิน 2 ชั่วโมง ในการพัฒนาการก่อตัวไปสู่ช่วงระยะเวลาการก่อตัวสุดท้าย

4. สารหน่วงการก่อตัวจะทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต พัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว สูงกว่าการพัฒนาการก่อตัวของคอนกรีตปกติ แต่ที่อายุ 28 วัน

5. ไม่พบหลักฐานใดชี้ชัดว่าสารหน่วงการก่อตัวมีผลทำให้โครงสร้างระดับไมโครของซีเมนต์เพสท์ผสมสารนี้เปลี่ยนแปลงไปจากปกติ

เอกสารอ้างอิง

ACI Committee 212, 1972. Manual of Concrete Practice. ACI, Detroit. Michigan. 212 : 11-14

Angle, J.G 1939. Concrete supplement understanding-fifth ingredient, the admixture. Building Trade Journal. USA.

Ciach, T.D. and Swenson, E.G. 1971. Morphology and microstructure of hydrating portland cement and its constituents. IV. Change in hydration of a C_3S, C_2A, C_4AF and paste with and without the admixtute triethanoine and calcium lignosulphonate, Division of Building Res., National Research Council of Cannada. Ontario, Canada.

Diamond S. 1976. Cement paste microstructure - an overview at several levels. Hydraulic cement pastes : Their structure and properties. University of Sheffield. pp. 2-30.

Jeffs, P.A., Mc Currich, L.H. and Lammiman, S.A. 1979. The use of retarding admixture. Our World in Concrete and Structure 4th Conference. Shangri-la Hotel, Singapore.

Rixom, M.R. 1977. Concrete admixture, use and application. The Cement Admixture Association. The Construction Press, Lancaster, London. 328 p.

Suwanvitaya, P. and Suriyawanakul, P. 1985. Evaluation of set retarding admixture. Civil Engineering and Construction Journal Vol. 2 No. 1. April. Kasetsart University. Thailand. pp. 69-80.

Tayler, W.H. 1965. Concrete technology and practice. Elsevier Publishing Company Inc. New York. pp. 184-188.

Young. J.F. and Mindess, S. 1981. Concrete. Prentice Hall Inc. New Jersey. pp. 76-190