ผลของน้ำยาผสมคอนกรีตประเภทเอฟ ชนิดลดน้ำอย่างมาก ต่อคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์

ณัฐวุฒิ กองม่วง[1] และ บุรฉัตร ฉัตรวีระ[2*]
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต คลองหลวง ปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

ธุรกิจอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศไทยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ธุรกิจหลัก ได้แก่ คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mix Concrete; RMC) และอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ (Cement Production Manufacturing; CPM) ซึ่งได้มีการพัฒนาคุณภาพและประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ให้ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ รวมไปถึงการลดต้นทุนในการผลิต ซึ่งตัวแปรก็คือ การใช้สารผสมเพิ่มหรือน้ำยาผสมคอนกรีต โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาการปรับปรุงหรือเพิ่มประสิทธิภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 โดยการใช้น้ำยาผสมคอนกรีตประเภทเอฟ ชนิดลดน้ำอย่างมาก (Concrete Admixtures Type F หรือ Superplasticizer) ซึ่งศึกษาเปรียบเทียบน้ำยาผสมคอนกรีตชนิดลดน้ำอย่างมากที่พัฒนาขึ้นเองกับที่มีจำหน่ายในท้องตลาดยี่ห้อ A B และ C จากการศึกษาพบว่าน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ A มีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบประเภท Melamine Sulphonate น้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ B มีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบประเภท Naphthalene Sulfonate และน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ C มีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบประเภท Polycarboxylate และน้ำยาผสมคอนกรีตที่พัฒนาขึ้น 10% Polycarboxylate ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก มีค่าการไหลเทของมอร์ต้าร์ร้อยละ 119 และการยุบตัวของคอนกรีต (W/C=0.38) อยู่ที่ 7 ซม. และเมื่อเพิ่มเป็นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีค่าการไหลเทของมอร์ต้าร์ร้อยละ 124 และการยุบตัวของคอนกรีต (W/C=0.38) อยู่ที่ 8 ซม. ซึ่งดีกว่าน้ำยาผสมคอนกรีตกลุ่มที่พัฒนาขึ้นและที่มีจำหน่ายในท้องตลาด เนื่องจากมีสารจำพวก Polycarboxylate และมีผลทำให้อนุภาคซีเมนต์เพสต์มีขนาดสม่ำเสมอและมีโครงสร้างของ Ettringite บางส่วนที่ทำให้การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อใช้ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก จะคุ้มทุนกว่าการใช้น้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ C เท่ากับ 10 บาท ต่อ 1 ลบ.ม.

คำสำคัญ : คอนกรีตผสมเสร็จ / น้ำยาผสมคอนกรีต / การไหลเทของมอร์ต้าร์ / การยุบตัวของคอนกรีต

---

* *Corresponding author : cburacha@engr.tu.ac.th*

1 *นักศึกษาระดับมหาบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์*

2 *รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์*

Effect of High Range Water Reducer (Type F) Admixture on Cement Paste Properties

Nattavude Kongmuang[1] and Burachat Chatveera[2*]

Thammasat University, Rangsit Campus, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

Abstract

Thai cement industries have been increasingly utilized the concrete admixture on both of Ready Mix Concrete (RMC) and Cement Production Manufacturing (CPM). Improving concrete qualifications should be considered suitably on both of cement application and also costing. Therefore, this research indicates to concrete admixture type F that impact to cement paste properties which were prepared from Portland cement type III, including to advance research of concrete admixture for new type that can replace the old one (Admixture A, B and C) to get economy advantage. The results showed that the main compound of admixture A is Melamine Sulphonate, the main compound of admixture B is Naphthalene Sulfonate and the main compound of admixture C is Polycarboxylate type. The prepared admixture mixed with concrete 10% polycarboxylate about 1% by weight has flow of cement paste of mortar 119% and slump of concrete (W/C = 0.38) at 7 centimeters. After increasing 2% by weight, flow of cement paste = 124% and slump of concrete (W/C = 0.38) at 8 centimeters, which better than the prepared admixture and market samples because polycarboxylate base component dispersed in cement paste particles causes uniform size and some ettringite structure which increase hydration reaction. Therefore, 1% by weight of the prepared admixture has less cost than A, 10 baht/m^3.

Keywords : Ready Mix Concrete / Concrete Admixture / Flow of Mortar / Slump of Concrete

* *Corresponding author : cburacha@engr.tu.ac.th*

1 *Graduate Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering.*

2 *Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering.*

1. บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยียุคใหม่ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมด้านต่างๆ รวมไปถึงงานก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในธุรกิจปูนซีเมนต์และคอนกรีต ซึ่งมีการพัฒนาคุณภาพและประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ให้ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้และการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด และสิ่งที่ขาดไม่ได้ในการพัฒนาร่วมกับสิ่งเหล่านี้คือ การรักษาสิ่งแวดล้อมเพื่อความปลอดภัยของชุมชน รวมไปถึงการลดต้นทุนในการผลิต

ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นในปัจจุบัน ได้รับการคิดค้นและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้คุณสมบัติตรงตามจุดประสงค์ในการนำไปใช้งาน และให้สอดคล้องกับคุณภาพของวัสดุ สิ่งแวดล้อม และสภาพการทำงาน นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงหรือเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการอย่างเฉพาะเจาะจงอีกด้วย วิธีการหนึ่งที่ใช้ในการปรับปรุงหรือเพิ่มประสิทธิภาพของปูนซีเมนต์เพื่อนำไปใช้งานโดยเฉพาะด้านการก่อสร้างนั้นคือการใช้สารผสมเพิ่มหรือน้ำยาผสมคอนกรีต (Concrete admixtures) ซึ่งเป็นสารที่ใช้เติมลงไปในส่วนผสมของคอนกรีตเพื่อปรับปรุงความสามารถการเทได้ เร่งหรือหน่วงการก่อตัวและแข็งตัว ควบคุมหรือดัดแปลงการพัฒนากำลังอัด ปรับปรุงคุณสมบัติการต้านทานการแตกร้าวเนื่องจากความร้อน และการทนต่อกรด

ธุรกิจอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศไทยมีการใช้น้ำยาผสมคอนกรีตใน 2 ธุรกิจหลัก ได้แก่ คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mix Concrete; RMC) และอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ (Cement Production Manufacturing; CPM) ซึ่งมีกำลังการผลิตปูนซีเมนต์ในปี พ.ศ. 2549 เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2548 ประมาณร้อยละ 5 โดยทั่วไปปูนซีเมนต์ทุกๆ 100 กก. จะมีการเติมสารลดน้ำประมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก นั่นแสดงว่ามีการใช้น้ำยาผสมคอนกรีตเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยในปี พ.ศ. 2549 มีการใช้น้ำยาผสมคอนกรีตในธุรกิจ CPM อยู่ที่ประมาณ 32.8 ล้านลิตร (เมื่อเทียบกับปริมาณการผลิตปูนซีเมนต์จำนวน 273,960 ตันต่อเดือน) [1] ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณการใช้น้ำยาผสมคอนกรีตในกระบวนการผลิตมีการใช้ในปริมาณมาก และส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศจึงส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสูง หากสามารถผลิตน้ำยาผสมคอนกรีตขึ้นใช้ได้เอง จะเป็นการช่วยลดต้นทุนในการผลิต ดังนั้นงานวิจัยนี้จะศึกษาคุณสมบัติของน้ำยาผสมคอนกรีตที่ส่งผลต่อปูนซีเมนต์ และศึกษาการเตรียมน้ำยาผสมคอนกรีตชนิดใหม่

2. วัตถุประสงค์

1) ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติน้ำยาผสมคอนกรีตประเภทเอฟ ชนิดลดน้ำอย่างมาก ที่จำหน่ายในท้องตลาด ได้แก่ ยี่ห้อ A B และ C ที่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ ที่เตรียมขึ้นจากซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3

2) ศึกษาการเตรียมน้ำยาผสมคอนกรีตประเภทเอฟ ชนิดลดน้ำอย่างมาก ชนิดใหม่ ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำยาผสมคอนกรีตที่มีจำหน่ายทั่วไป

3. ขอบเขตการศึกษาและกระบวนการวิจัย

3.1 ขอบเขตการศึกษา

ในงานวิจัยนี้ศึกษาน้ำยาผสมคอนกรีตประเภทเอฟ ชนิดลดน้ำอย่างมาก ยี่ห้อ A B และ C โดยจะศึกษาองค์ประกอบ ปริมาณ และคุณสมบัติที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ที่เตรียมขึ้นจากซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 เพื่อเป็นข้อมูลในการวางแผนการผลิตน้ำยาผสมคอนกรีตชนิดใหม่เพื่อใช้งานเองต่อไปในอนาคต

3.1.1 ศึกษาคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 ยี่ห้อ อินทรีดำ

(1) วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี (Chemical compositions) ด้วยเครื่อง XRF (X-Ray Fluorescence) และร้อยละการสูญเสียน้ำหนักจากการเผาไหม้ (%LOI)

(2) วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical properties) ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ความละเอียด (Blaine fineness) และปริมาณส่วนตกค้างบนตะแกรง (Residue on sieve)

3.1.2 ศึกษาคุณสมบัติของน้ำยาผสมคอนกรีตประเภทเอฟ ชนิดลดน้ำอย่างมาก ยี่ห้อ A B และ C

(1) วิเคราะห์หาองค์ประกอบของน้ำยาผสมคอนกรีตทั้ง 3 ยี่ห้อ ด้วยเครื่อง FTIR (Fourier Transform

Infrared Spectrophotometer)

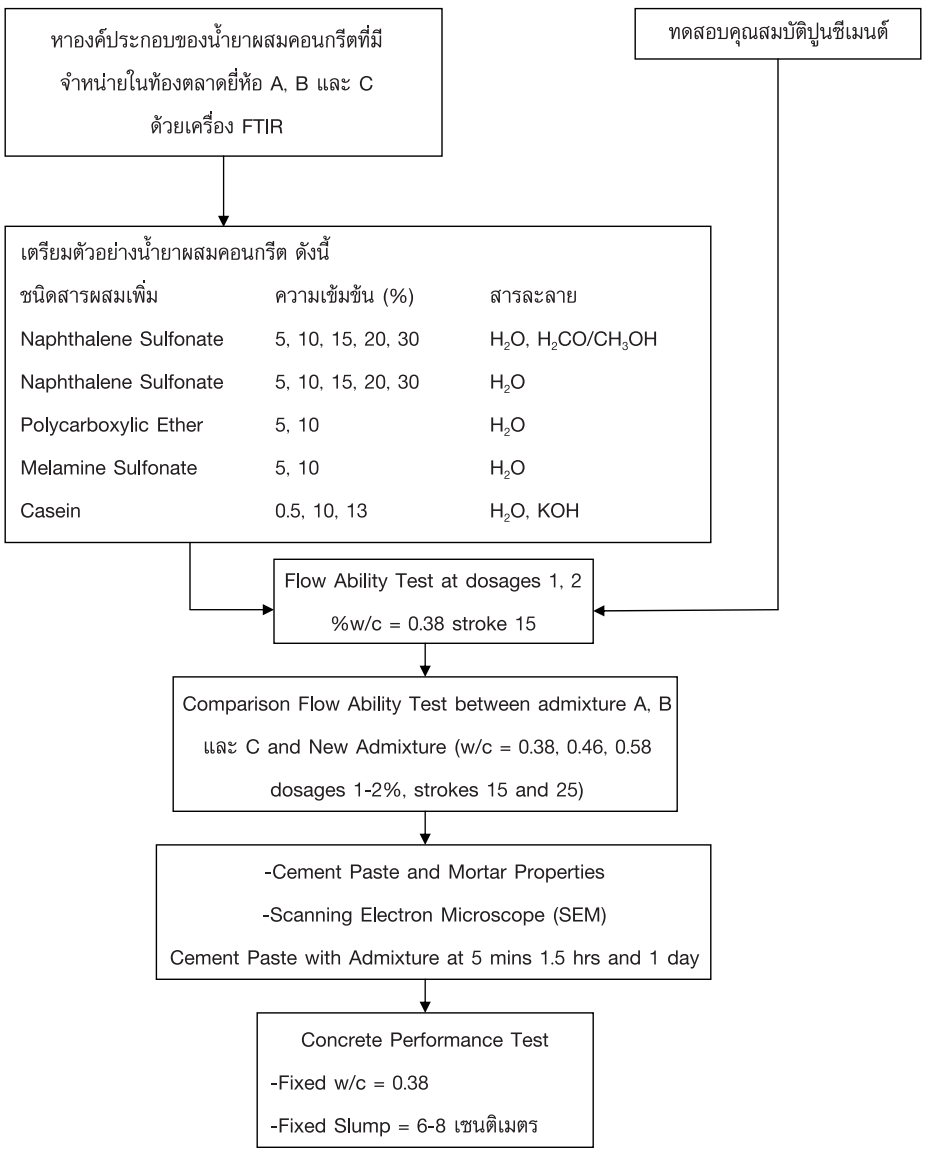
(2) ศึกษาการไหลเทของมอร์ต้าร์ที่เติมสารลดน้ำอย่างแรงร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ ที่จำนวนการเคาะ 15 และ 25 ครั้ง ซึ่งใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.38 0.46 และ 0.58 เปรียบเทียบระหว่างยี่ห้อ A B และ C กับน้ำยาผสมคอนกรีตที่เตรียมขึ้นมาใหม่

(3) ศึกษาคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ อันเนื่องมาจากน้ำยาผสมคอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนร้อยละ 2 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ และ W/C = 0.38 และศึกษารูปร่างและลักษณะ (Morphology) ของ C_3S, C_2S และ C_3A ที่ส่งผลถึงคุณภาพของปูนซีเมนต์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

(4) ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตที่มีการเติมสารลดน้ำอย่างมากร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก เพื่อทดสอบหาค่าการยุบตัวและการรับแรงอัดที่ 1 วัน เมื่อกำหนดให้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.38

3.2 กระบวนการวิจัย

แผนภาพที่สามารถเข้าใจถึงวิธีการทดสอบได้ง่าย ดังรูปที่ 1 ดังนี้คือ



รูปที่ 1 แผนภาพของการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างที่จะนำมาวิจัย

4. ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล

4.1 คุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 ยี่ห้อ อินทรีดำ

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 ยี่ห้อ อินทรีดำ จากบริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง (มหาชน) จำกัด โดยมีคุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทดลองตามมาตรฐาน ASTM C150 [2] ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 ยี่ห้อ อินทรีดำ

คุณสมบัติทางเคมี	ค่า (%)	คุณสมบัติทางกายภาพ	ค่า
SiO_2	20.66	Blaine ($cm^2/g.$)	4544
Al_2O_3	4.79	Residue on Sieve 75 um (%)	0.086
Fe_2O_3	3.23	Residue on Sieve 36 um (%)	1.4
CaO	64.30	Initial Setting Time (min)	63
MgO	1.36	Final Setting Time (min)	135
K_2O	0.49	LOI (%)	1.01
Na_2O	0.15	1 Day Strength (ksc)	234
SO_3	3.22	3 Days Strength (ksc)	343
C_3S	58.75	28 Days Strength (ksc)	506
C_2S	14.90		
C_3A	7.23		
C_4AF	9.84		

4.2 คุณสมบัติของน้ำยาผสมคอนกรีตประเภทเอฟ ชนิดลดน้ำอย่างมาก ยี่ห้อ A, B และ C

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำยาผสมคอนกรีตประเภทเอฟ ชนิดลดน้ำอย่างมากทั้ง 3 ยี่ห้อ ได้แก่ ยี่ห้อ A B และ C ด้วยเครื่อง FTIR เพื่อทำนายหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบหลักจากผลการทดลองพบว่า

4.2.1 น้ำยาผสมคอนกรีต ยี่ห้อ A

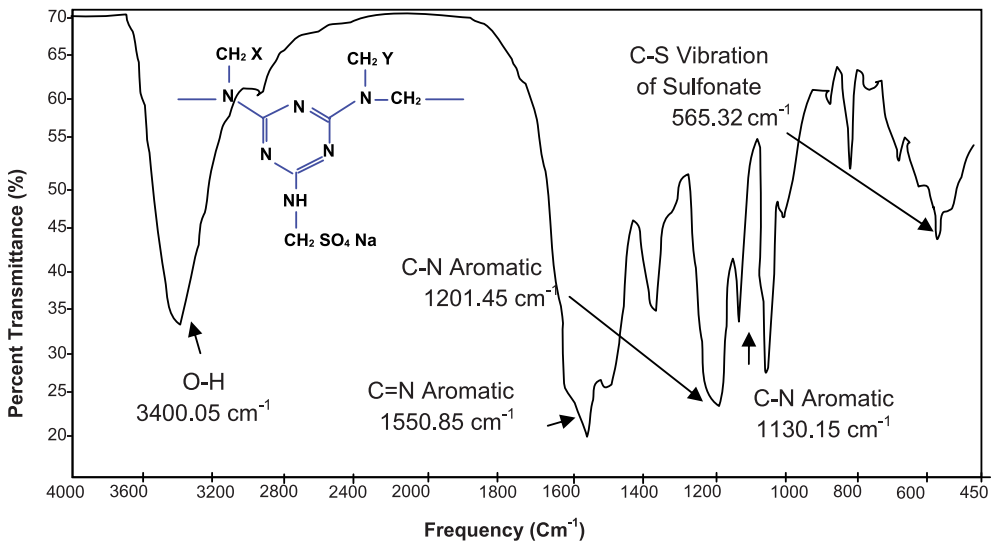
รูปที่ 3 แสดงผลสเปกตรัมของน้ำยาผสมคอนกรีต ยี่ห้อ A เมื่อเทียบกับสเปกตรัมอ้างอิง (Reference Spectrum) พบว่าพีค 3411.93 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชันของ O-H (พันธะไฮโดรเจนของน้ำ) ที่วัดได้คือ 3400.05 cm^{-1}, พีค 1554.84 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชันของ C=N Aromatic ที่วัดได้ 1550.85 cm^{-1}, พีค 1196.79 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชันของ C-N Aromatic ที่วัดได้ 1201.45 cm^{-1}, พีค 1124.04 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชันของ C-N ที่วัดได้ 1130.15 cm^{-1} และพีค 570.68 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชันของ C-S Vibration of Sulfonate ที่วัดได้ 565.32 cm^{-1} จะเห็นว่าน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ A มีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบประเภท Melamine Sulphonate Base เมื่อเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล [3]

4.2.2 น้ำยาผสมคอนกรีต ยี่ห้อ B

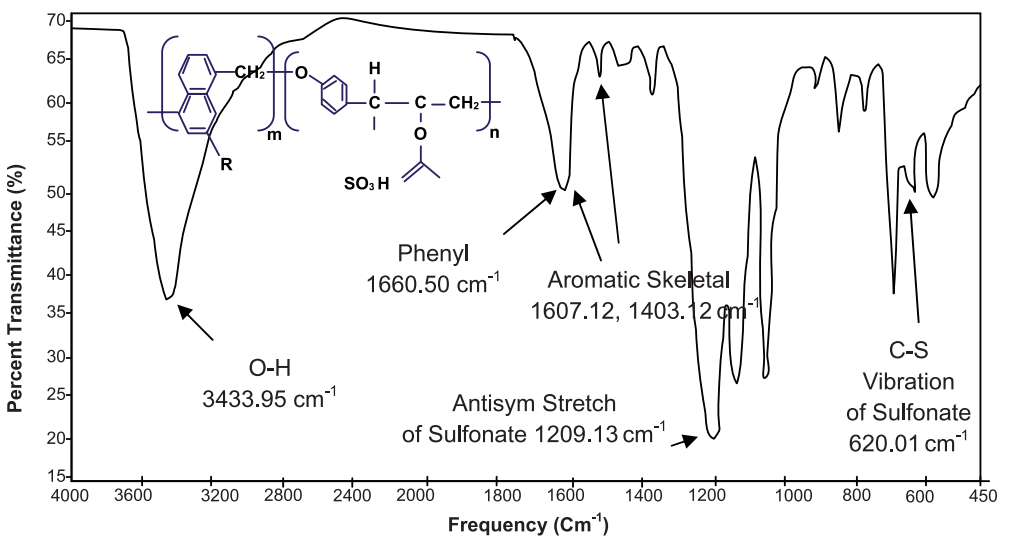
รูปที่ 2 แสดงผลสเปกตรัมของน้ำยาผสมคอนกรีต ยี่ห้อ B เมื่อเทียบกับสเปกตรัมอ้างอิง พบว่าพีค 3411.93 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชันของ O-H (พันธะไฮโดรเจนของน้ำ) ที่วัดได้คือ 3433.95 cm^{-1}, พีค 1614.57 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชันของ Phenyl ที่วัดได้ 1660.50 cm^{-1}, พีค 1596.12 และ 1444.27 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชันของ Aromatic Skeletal ที่วัดได้ 1607.07 และ 1403.12 cm^{-1}, พีค 1187.76 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชันของ Antisym Stretch of Sulfonate ที่วัดได้ 1209.13 cm^{-1} และพีค 623.12 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชันของ C-S Vibration of Sulfonate ที่วัดได้ 620.01 cm^{-1} จะเห็นว่าน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ B มีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบประเภท Naphthalene Sulfonate Base เมื่อเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล [3]

4.2.3 น้ำยาผสมคอนกรีต ยี่ห้อ C

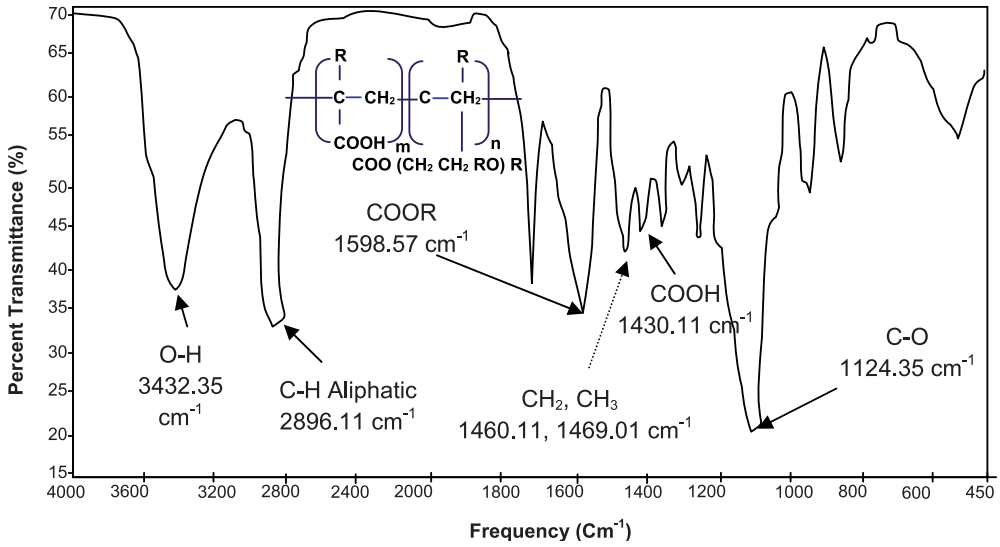
รูปที่ 4 แสดงผลสเปกตรัมของน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ C เมื่อเทียบกับสเปกตรัมอ้างอิง พบว่าพีค 3411.93 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชันของ O-H (พันธะไฮโดรเจนของน้ำ) ที่วัดได้คือ 3432.35 cm^{-1}, พีค 2877.60 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชันของ C-H aliphatic ที่วัดได้ 2896.11 cm^{-1}, พีค 1577.59 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชันของ COOR ที่วัดได้ 1598.57 cm^{-1}, พีค 1472.57 และ 1456.13 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชันของ Ethyl และ Methyl ที่วัดได้ 1460.11 cm^{-1} และ 1469.01 cm^{-1} ตามลำดับ, พีค 1402.82 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชันของ -COOH ที่วัดได้ 1430.11 cm^{-1} และพีค 1107.13 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชันของ C-O ที่วัดได้ 1124.35 cm^{-1} จะเห็นว่าน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ C มีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบประเภท Polycarboxylate Base เมื่อเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล [3]



รูปที่ 2 FTIR สเปกตรัมของตัวอย่างน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ A



รูปที่ 3 FTIR สเปกตรัมของตัวอย่างน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ B



รูปที่ 4 FTIR สเปกตรัมของตัวอย่างน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ C

4.3 การทดสอบการไหลเทของมอร์ต้าร์

สารลดน้ำอย่างมากมี 4 ประเภท แยกตามองค์ประกอบหลัก เพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาน้ำยาผสมคอนกรีตตัวใหม่ ดังนี้

1. Naphthalene Sulfonate จาก บริษัท สยามเคมิคอล จำกัด

2. Melamine Sulfonate จาก บริษัท อินเกรซโซ จำกัด

3. Polycarboxylic จาก บริษัท อินเกรซโซ จำกัด

4. Casein

ผลการทดสอบความสามารถในการไหลเทของมอร์ต้าใช้ทรายตามมาตรฐาน ASTM C778-02 [4] โดยผสมกับปูนซีเมนต์ในสัดส่วน 1 ต่อ 3 (น้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อน้ำหนักทรายมาตรฐาน) ผลการทดสอบสภาพการไหลเท ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นของสารลดน้ำอย่างมากที่ใช้ในน้ำยาผสมคอนกรีต

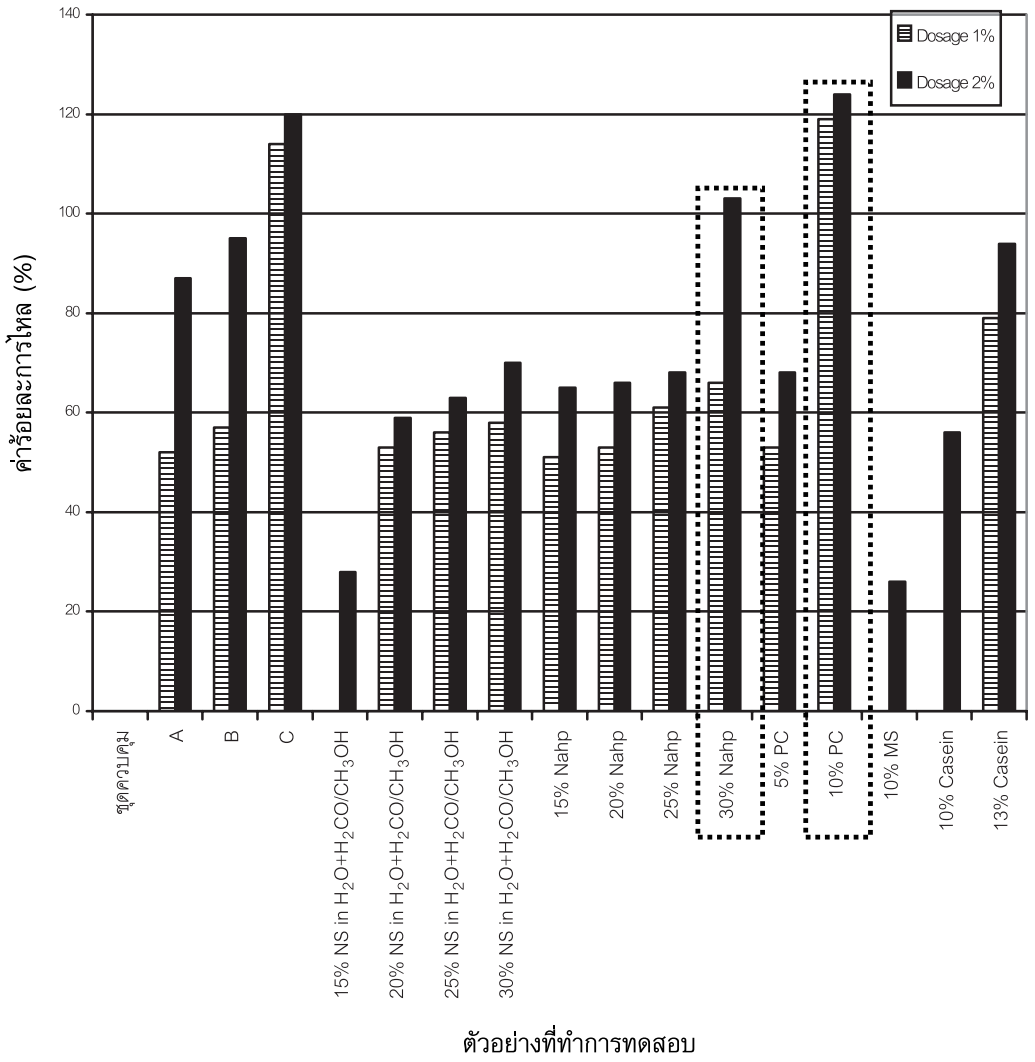
ชนิดของสาร	ความเข้มข้น (%)	ชนิดของตัวทำละลาย
Naphthalene Sulfonate, NS	15, 20, 30	น้ำ (H_2O), ฟอร์มัลดีไฮด์ผสมเมทานอล (H_2CO/CH_3OH)
Naphthalene Sulfonate, Naph	15, 20, 30	น้ำ (H_2O)
Polycarboxylic Ether, PC	5, 10	น้ำ (H_2O)
Melamine Sulfonate, MS	5, 10	น้ำ (H_2O)
Casein	10, 13	โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 5 พบว่าน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ A, B และ C ที่ใช้ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก จะเห็นว่าน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ C ให้ค่าการไหลเทของมอร์ต้าร์เท่ากับร้อยละ 58 ซึ่งมากกว่าน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ B และ A ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยาผสมคอนกรีตเป็นร้อยละ 2 โดยน้ำ

หนัก จะเห็นว่าค่าการไหลเทของมอร์ต้าร์เพิ่มมากขึ้น ส่วนน้ำยาผสมคอนกรีตที่พัฒนาขึ้นเองได้แก่ Naphthalene Sulfonate, NS ที่ใช้ความเข้มข้นร้อยละ 15, 20, 25 และ 30 (ผสมกับน้ำ และฟอร์มัลดีไฮด์ผสมเมทานอล) และถูกใช้ในปริมาณร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก พบว่าค่าการไหลเทของมอร์ต้าร์เพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ Naphthalene Sulfonate เพิ่มขึ้นและเมื่อใช้น้ำยาผสมคอนกรีตเพิ่มขึ้น สำหรับ Naphthalene Sulfonate, Naph ที่ใช้ความเข้มข้นร้อยละ 15, 20, 25 และ 30 (ผสมกับน้ำ) และถูกใช้ในปริมาณร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก พบว่าค่าการไหลเทของมอร์ต้าร์เพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ Naphthalene Sulfonate เพิ่มขึ้นและเมื่อใช้น้ำยาผสมคอนกรีตเพิ่มขึ้น สำหรับ Polycarboxylic Ether, PC ที่ใช้ความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10 และถูกใช้ผสมในปริมาณร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก พบว่าค่าการไหลเทของมอร์ต้าร์เพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ Polycarboxylic Ether เพิ่มขึ้นและเมื่อใช้น้ำยาผสมคอนกรีตเพิ่มขึ้น สำหรับ Melamine Sulfonate, MS ที่ใช้ความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10 และถูกใช้ในปริมาณร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก พบว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 ไม่สามารถทดสอบหาค่าการไหลเทของมอร์ต้าร์ได้ แต่ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 และถูกใช้ผสมในปริมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก สามารถทดสอบหาค่าการไหลเทของมอร์ต้าร์ได้ แต่ให้ค่าการไหลเทของมอร์ต้าร์ได้น้อยกว่าทุกตัวอย่าง และสำหรับ Casein ที่ใช้ความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 13 และถูกใช้ในปริมาณร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก พบว่าค่าการไหลเทของมอร์ต้าร์เพิ่มมากขึ้นเมื่อน้ำยาผสมคอนกรีตถูกใช้เพิ่มขึ้น แต่ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 และถูกใช้ในปริมาณร้อยละ โดยน้ำหนัก ไม่สามารถทดสอบหาค่าการไหลเทของมอร์ต้าร์ได้

เมื่อเปรียบเทียบน้ำยาผสมคอนกรีตที่เตรียมขึ้นได้แก่ Naphthalene Sulfonate (NS), Naphthalene Sulfonate (Naph), Polycarboxylic Ether (PC), Melamine Sulfonate (MS) และ Casein ที่ปริมาณการใช้ร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก จะเห็นว่าน้ำยาผสมคอนกรีต Polycarboxylic Ether (PC) จะให้ค่าสภาพการไหลเทของมอร์ต้าร์ได้สูงกว่า Naphthalene Sulfonate (Naph), Naphthalene Sulfonate (NS), Casein และ Melamine Sulfonate (MS) แต่ Casein ไม่สามารถละลายได้ในน้ำจึงไม่น่านำมาใช้งาน นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำยาผสมคอนกรีตที่มีจำหน่ายในท้องตลาดยี่ห้อ C กับน้ำยาผสมคอนกรีตที่เตรียมขึ้น Polycarboxylic Ether (PC) ให้ค่าสภาพการไหลเทของมอร์ต้าร์ที่สูงมากกว่าตัวอย่างในกลุ่มเดียวกัน เนื่องจากน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ C และน้ำยาผสมคอนกรีตที่เตรียมขึ้น Polycarboxylic Ether (PC) มีสารพวก Polycarboxylate เป็นหลักเหมือนกัน

ในงานวิจัยนี้จะต้องคำนึงถึงต้นทุนการผลิตน้ำยาผสมคอนกรีต โดยน้ำยาผสมคอนกรีตที่พัฒนาขึ้นมาใหม่จะต้องมีราคาต้นทุนที่ต่ำกว่าน้ำยาผสมคอนกรีตที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด ได้แก่ น้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ B (Naphthalene-based Admixture) และยี่ห้อ C (Polycarboxylate-based Admixture) ดังนั้นในการทดสอบงานคอนกรีตจึงเลือกสารลดน้ำอย่างมาก 2 ชนิด ได้แก่ Naphthalene Sulfonate และ Polycarboxylic Ether เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำยาผสมคอนกรีตที่เตรียมขึ้นกับที่มีจำหน่ายในท้องตลาด เพื่อให้สามารถผลิตขึ้นใช้งานเองได้จริงและมีต้นทุนต่ำกว่า รวมทั้งมีประสิทธิภาพสูง



รูปที่ 5 ค่าสภาพการไหลเทของมอร์ต้าร์ที่ใช้ปริมาณน้ำยาผสมคอนกรีตร้อยละ 1, 2 ที่วัดจากโต๊ะทดสอบการไหล เมื่อกำหนดให้ w/c = 0.46 เคาะจำนวน 15 ครั้ง

4.4 การศึกษาอิทธิพลของน้ำยาผสมคอนกรีตต่อการพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์

ในการศึกษาอิทธิพลของน้ำยาผสมคอนกรีตต่อการพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์ จะศึกษาโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์ด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เลือกทดสอบเพียง 3 ตัวอย่าง ได้แก่ ซีเมนต์เพสต์ที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำยาผสมคอนกรีต ซีเมนต์เพสต์ที่มีส่วนผสมของน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ B และซีเมนต์เพสต์ที่มีส่วนผสมของน้ำยาผสมคอนกรีต 10% PC จากผลการทดลองพบว่าซีเมนต์เพสต์ที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำยาผสมคอนกรีตที่ก่อตัวภายใน 5 นาที, 1.5 ชั่วโมง และ 1 วัน จะเกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็ว และเมื่อนำไปวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง SEM จะพบผลึกรูปเข็ม (Ettringite) จำนวนมากอย่างชัดเจน (แสดงดังรูปที่ 6) ในขณะที่ซีเมนต์เพสต์ที่มีส่วนผสมของน้ำยาผสมคอนกรีต B และ 10% PC นั้น พบผลึกรูปเข็มน้อยมากหรือแทบจะไม่พบเลย ซึ่งเห็นผลในลักษณะเดียวกันไม่ว่าจะเป็นระยะเวลาก่อตัวที่ 5 นาที 1.5 ชั่วโมง และ

1 วัน (แสดงดังรูปที่ 7 และ 8)

การเติมน้ำยาผสมคอนกรีตส่งผลต่อการชะลอการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์เพสต์ เนื่องด้วยโมเลกุลของน้ำยาผสมคอนกรีตจะไปยับยั้งการละลายหรือการแตกตัวของแคลเซียม โดยโมเลกุลของน้ำยาผสมคอนกรีตจะถูกดูดซับปกคลุมบนพื้นผิวของอนุภาคซีเมนต์ จึงทำให้เกิดการหน่วงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของผลึกไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S; Alite) (แสดงดังรูปที่ 7) ในกรณีของน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ B (Napthalene-Based) พบโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์ที่เกิดเป็นกลุ่มก้อนของซีเมนต์เพสต์ที่มีหลากหลายขนาด เมื่อระยะเวลาก่อตัวใน 5 นาที 1.5 ชั่วโมง และ 1 วัน ตามลำดับ พบว่าลักษณะของกลุ่มก้อนของอนุภาคซีเมนต์เพสต์มีขนาดที่ค่อนข้างเสมอกันมากขึ้น แต่พบผลึกเข็มเพียงเล็กน้อย ดังนั้นพบว่าน้ำยาผสมคอนกรีตมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์เพสต์

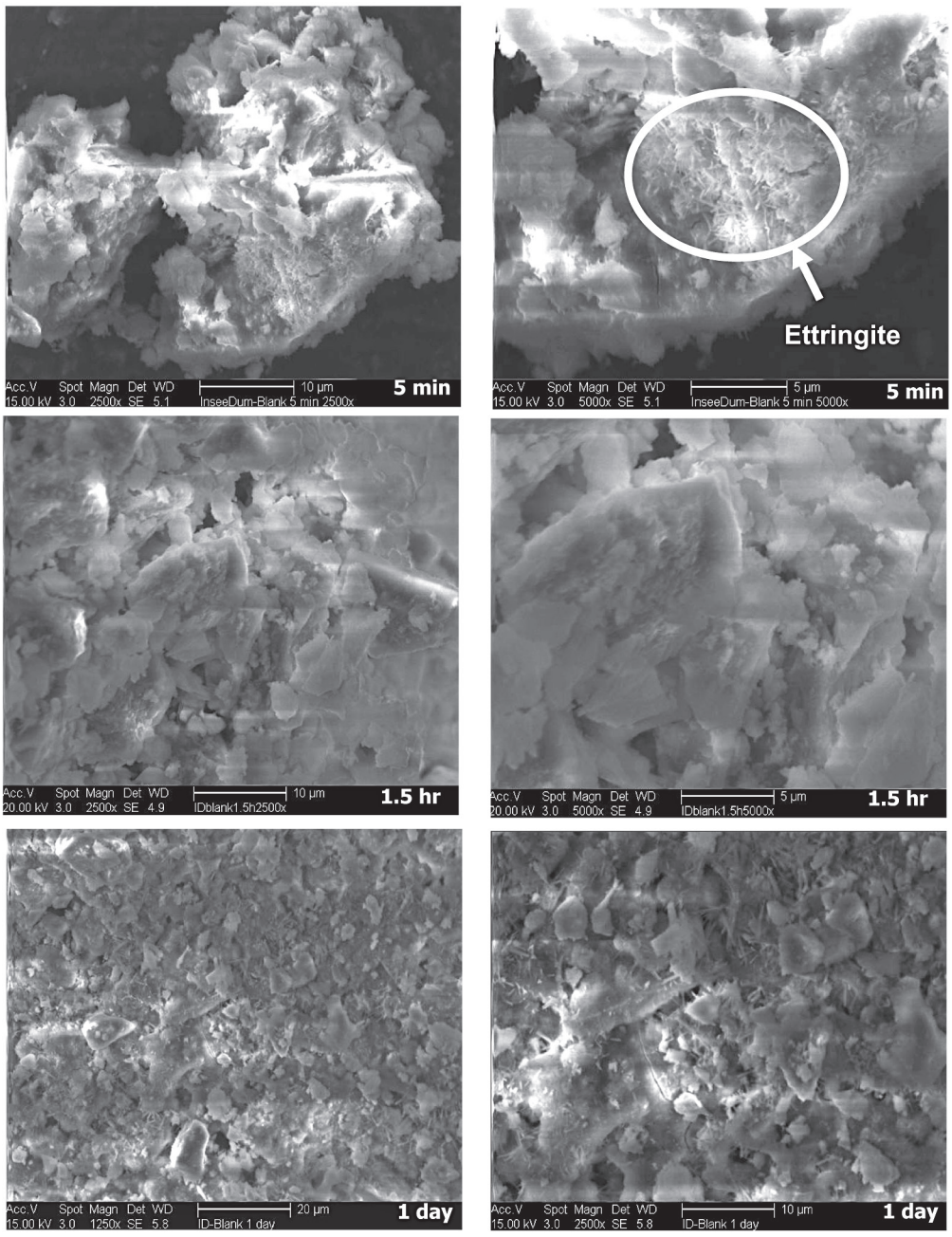
ในกรณีของน้ำยาผสมคอนกรีต 10% PC (Polycarboxylate-Based) พบโครงสร้างของอนุภาคซีเมนต์เพสต์คล้ายคลึงกันกับกรณีของน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ B แต่ทั้งนี้จะพบผลึกรูปเข็มบางส่วนบนอนุภาคซีเมนต์เพสต์ อาจจะเป็น Ettringite ซึ่งโครงสร้างผลึกของ Ettringite (แสดงดังรูปที่ 8) นี้เป็นการแสดงให้เห็นว่าน้ำยาผสมคอนกรีต 10% PC ทำให้การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันเพิ่มสูงขึ้น [6] และจะสังเกตเห็นในปริมาณที่เพิ่มขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป 1 วัน

4.5 ทดสอบสภาพการไหลเทของมอร์ต้าร์เมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) และจำนวนครั้งในการเคาะทดสอบการไหล

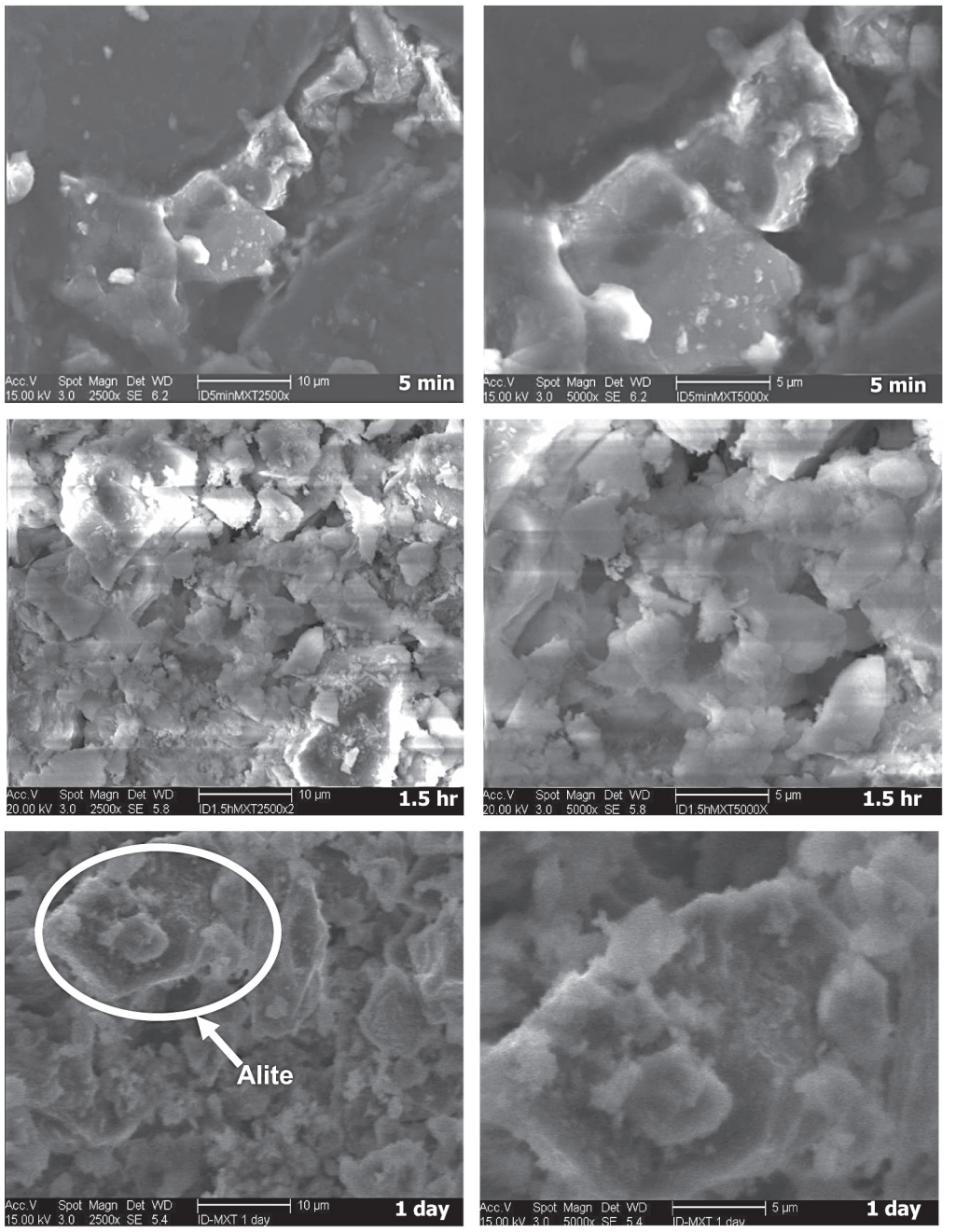
จากผลการทดลองข้างต้น ตามรูปที่ 5 เลือกน้ำยาผสมคอนกรีตที่จะมาศึกษาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และจำนวนครั้งในการเคาะ ได้แก่ น้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ A, B, C และ 30% Naphthalene Sulfonate (30% Naph) และ 10% Polycarboxylic Ether (10% PC) ส่วน Casein ไม่ได้นำมาศึกษาเพิ่มเติม เนื่องจาก Casein มีราคาต้นทุนที่สูงมาก ประกอบกับไม่สามารถละลายในน้ำได้ ต้องละลายในตัวทำละลาย รวมทั้งมีปัญหาเรื่องการแยกตัวของสาร ในการศึกษาอิทธิพลของค่า w/c และจำนวนครั้งในการเคาะ ที่อาจส่งผลต่อสภาพการไหลเทของมอร์ต้าร์นั้น ทำโดยเพิ่มค่าอัตราส่วน w/c ให้สูงขึ้น โดยศึกษาที่ค่า w/c = 0.36, 0.46 และ 0.58 และเพิ่มการเคาะทดสอบการไหลจาก 15 ครั้ง เป็น 25 ครั้ง นอกจากนี้เลือกปริมาณที่ใช้น้ำยาผสมคอนกรีตที่ร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก

ผลการทดลองจากรูปที่ 9 พบว่าในกรณีที่ใช้น้ำยาผสมคอนกรีตร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และจำนวนครั้งในการเคาะ 15 ครั้ง จะเห็นว่าน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ C และ 10% PC จะมีค่าการไหลเทของมอร์ต้าร์ที่สูงใกล้เคียงกันมากกว่าตัวอื่น และเมื่ออัตราส่วนของ w/c เพิ่มมากขึ้นการไหลเทของมอร์ต้าร์เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มจำนวนการเคาะเป็น 25 ครั้ง พบว่ามอร์ต้าร์ที่ไม่ผสมน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ A และ B มีค่าการไหลเทเพิ่มขึ้น แต่สำหรับมอร์ต้าร์ที่ผสมน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ C และ 10% PC มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ตามรูปที่ 10

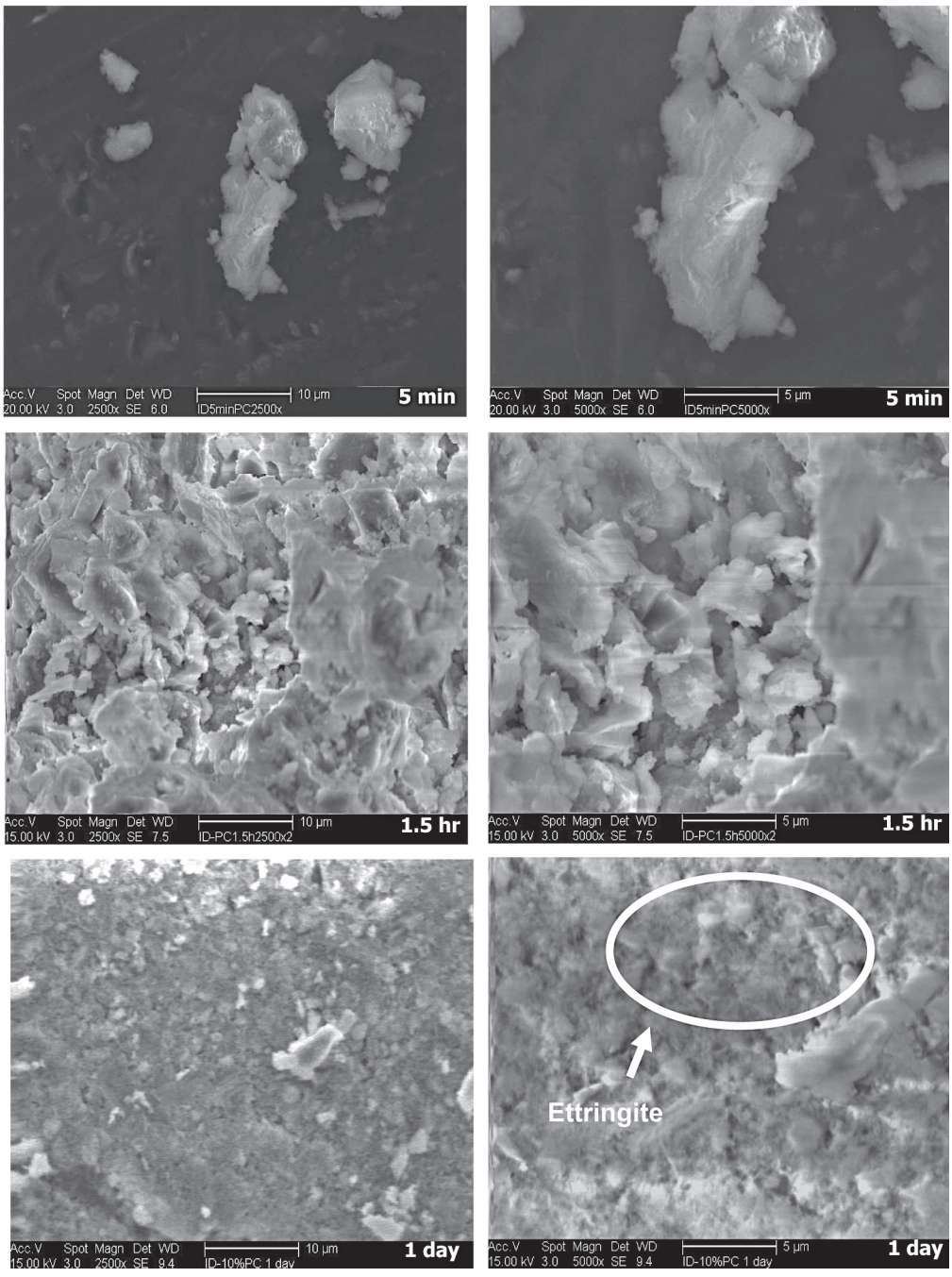
สำหรับในกรณีที่ใช้น้ำยาผสมคอนกรีตร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก และจำนวนครั้งในการเคาะ 15 ครั้ง จะเห็นว่าน้ำยาผสมคอนกรีต Viscocrete และ 10% PC จะมีค่าการไหลเทของมอร์ต้าร์ที่สูงใกล้เคียงกันมากกว่าตัวอื่น และเมื่ออัตราส่วนของ w/c เพิ่มมากขึ้นการไหลเทของมอร์ต้าร์เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มจำนวนการเคาะเป็น 25 ครั้ง พบว่ามอร์ต้าร์ที่ไม่ผสมน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ A และ B มีค่าการไหลเทเพิ่มขึ้น แต่สำหรับมอร์ต้าร์ที่ผสมน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ C และ 10% PC มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ตามรูปที่ 10 และมีค่ามากกว่าการใช้น้ำยาผสมคอนกรีตร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก



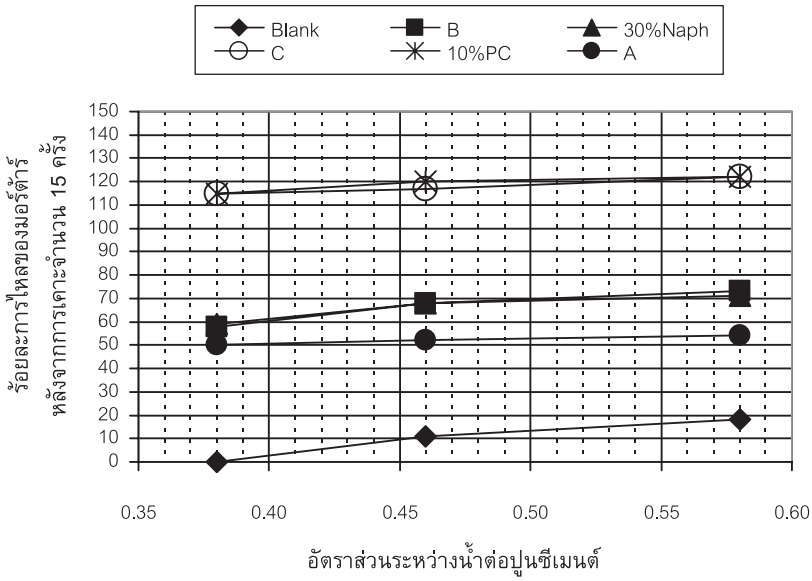
รูปที่ 6 โครงสร้างของกลุ่มก้อนซีเมนต์เพสต์ที่เตรียมขึ้นจากปูนปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 โดยไม่มีส่วนผสมของน้ำยาผสมคอนกรีต กำลังขยาย 2,500 และ 5,000 เท่า



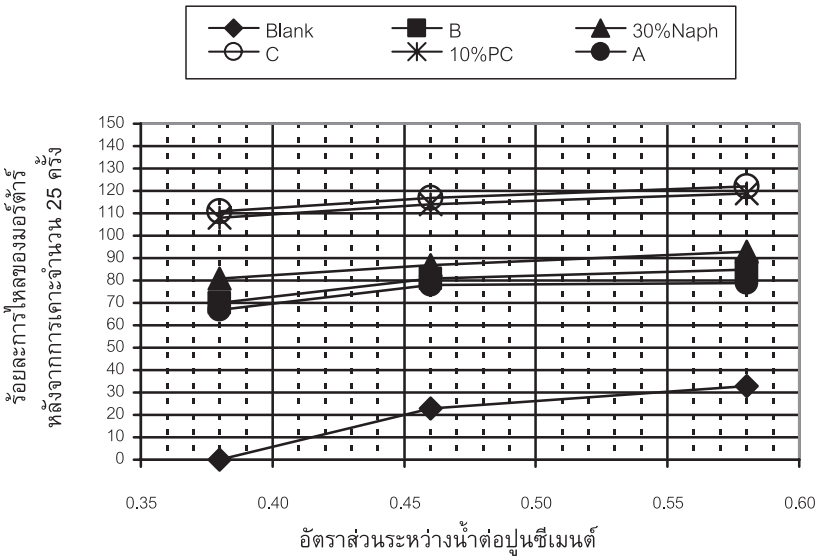
รูปที่ 7 โครงสร้างของกลุ่มก้อนซีเมนต์เพสต์ที่เตรียมขึ้นจากปูนปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 โดยมีส่วนผสมของน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ B กำลังขยาย 2,500 และ 5,000 เท่า



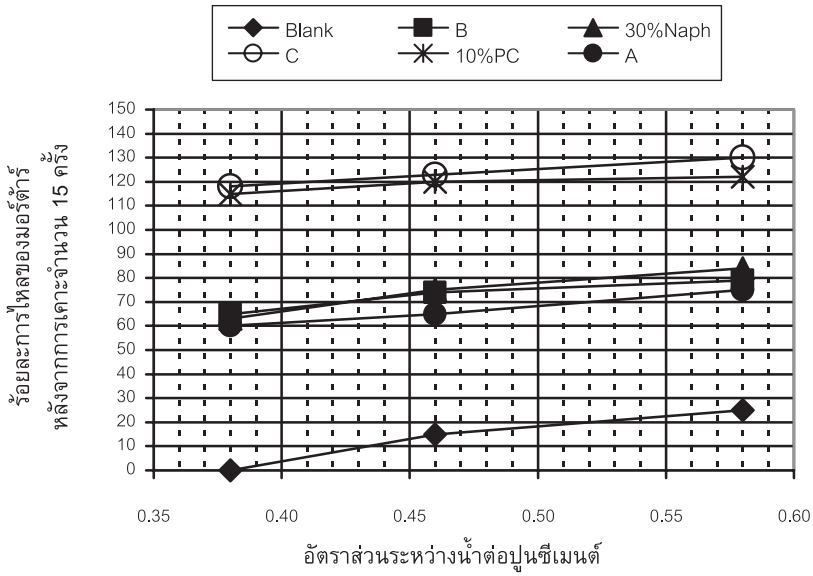
รูปที่ 8 โครงสร้างของกลุ่มก้อนซีเมนต์เพสต์ที่เตรียมขึ้นจากปูนปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 โดยมีส่วนผสมของน้ำยาผสมคอนกรีต 10% PC กำลังขยาย 2,500 และ 5,000 เท่า



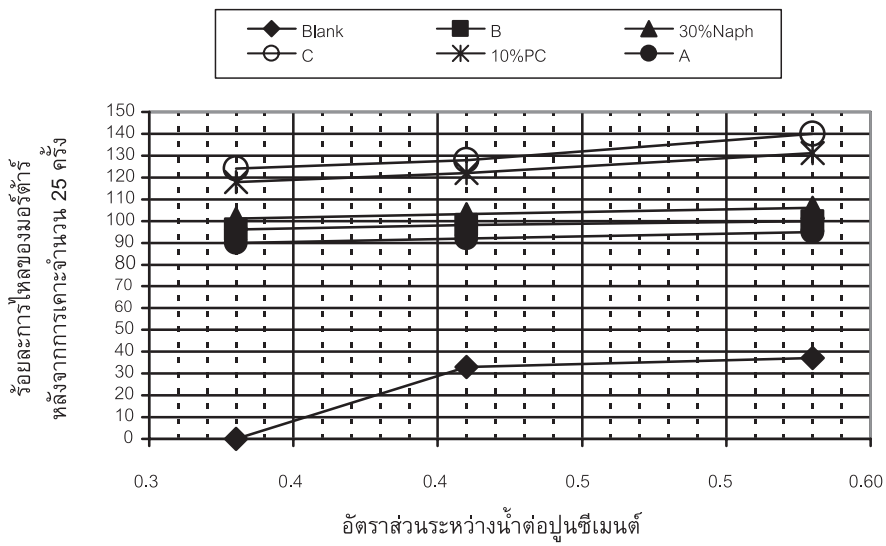
รูปที่ 9 ร้อยละการไหลของมอร์ต้าร์หลังจากเคาะจำนวน 15 ครั้ง
โดยใช้น้ำยาผสมคอนกรีตของแต่ละชนิดอยู่ที่ร้อยละ 1 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์



รูปที่ 10 ร้อยละการไหลของมอร์ต้าร์หลังจากเคาะจำนวน 25 ครั้ง
โดยใช้น้ำยาผสมคอนกรีตของแต่ละชนิดอยู่ที่ร้อยละ 1 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์



รูปที่ 11 ร้อยละการไหลของมอร์ต้าร์หลังจากเคาะจำนวน 15 ครั้ง
โดยใช้น้ำยาผสมคอนกรีตของแต่ละชนิดอยู่ที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์

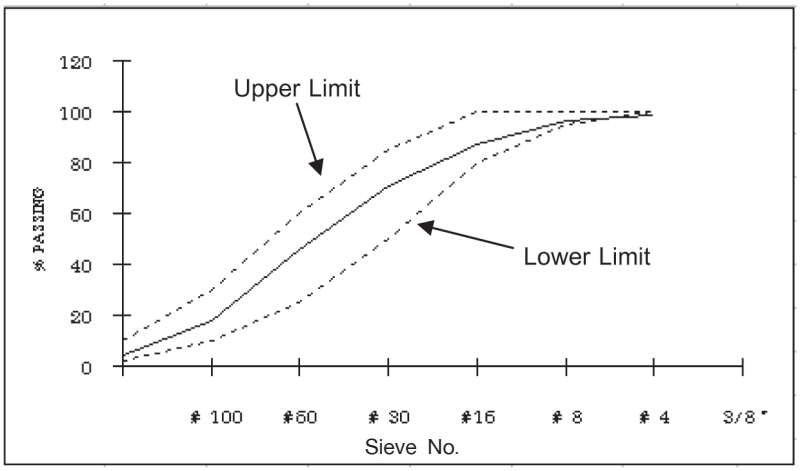


รูปที่ 12 ร้อยละการไหลของมอร์ต้าร์หลังจากเคาะจำนวน 25 ครั้ง
โดยใช้น้ำยาผสมคอนกรีตของแต่ละชนิดอยู่ที่ร้อยละ 2 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์

4.6 คุณสมบัติของคอนกรีต

4.6.1 การหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต เมื่อกำหนดให้ W/C = 0.38

การหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต เมื่อกำหนดให้ W/C = 0.38 โดยชุดการทดลองเพื่อทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีตแสดงในตารางที่ 3 และใช้ทรายตามมาตรฐาน ASTM C778-02 [4] ที่มีค่า F.M. = 2.57 และสัดส่วนคละตามรูปที่ 13 และหินที่ใช้ขนาดใหญ่สุด 3/4 นิ้ว

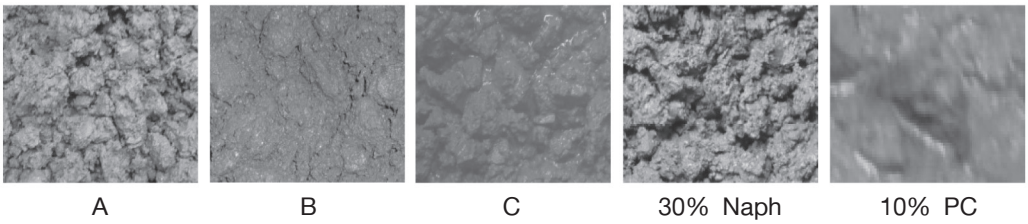


รูปที่ 13 สัดส่วนคละของมวลรวมละเอียด

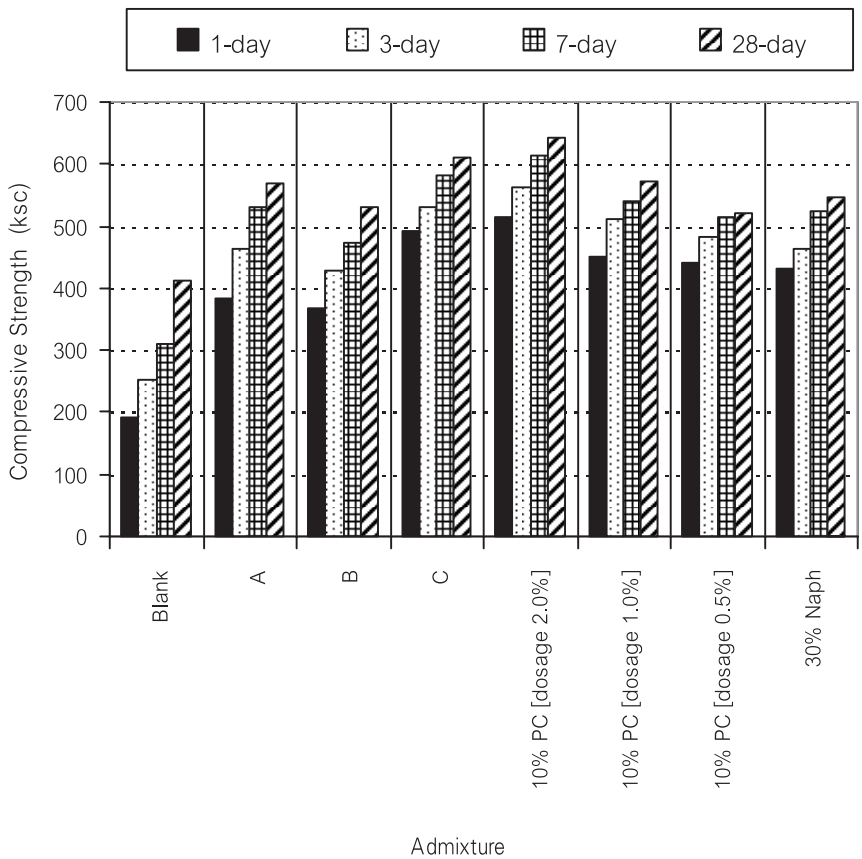
ตารางที่ 3 ชุดการทดลองเพื่อหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต เมื่อกำหนดให้ค่า w/c = 0.38

No.	Admixture Type	% Dosage of cement	วัตถุดิบที่ใช้ในการทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต (กก.)						
			Cement	Sand	Rock 3/4"	Rock 1/2"	Rock 3/8"	Rock 4"	Water
1	Blank	0	13	29	3	16	7	17	4.94
2	A	2.0	13	29	3	16	7	17	4.94
3	B	2.0	13	29	3	16	7	17	4.94
4	C	2.0	13	29	3	16	7	17	4.94
5	10% PC [dosage 2.0%]	2.0	13	29	3	16	7	17	4.94
6	10% PC [dosage 1.0%]	2.0	13	29	3	16	7	17	4.94
7	10% PC [dosage 0.5%]	2.0	13	29	3	16	7	17	4.94
8	30% Naph	2.0	13	29	3	16	7	17	4.94

จากการทดลองพบว่าในระหว่างการผสมเนื้อของคอนกรีตสดที่ผสมด้วยน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ C ให้เนื้อคอนกรีตที่เข้ากันค่อนข้างดี รองลงมาคือน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ B, 10% PC, น้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ A และ 30% Naph ตามลำดับ ตามรูปที่ 14 และจากการวิเคราะห์ความต้านทานกำลังอัดของคอนกรีต พบว่า 10% PC ให้ค่าต้านทานกำลังอัดสูงสุดทุกอายุของการบ่ม ดังนั้นจึงได้ทดลองลดปริมาณการเติมน้ำยาคอนกรีตลงจากร้อยละ 2 เหลือร้อยละ 1 และ 0.5 โดยน้ำหนัก พบว่าการเติมน้ำยาคอนกรีตร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ให้ค่าต้านทานกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตใกล้เคียงกับน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ A และสูงกว่าน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ B ตามรูปที่ 15

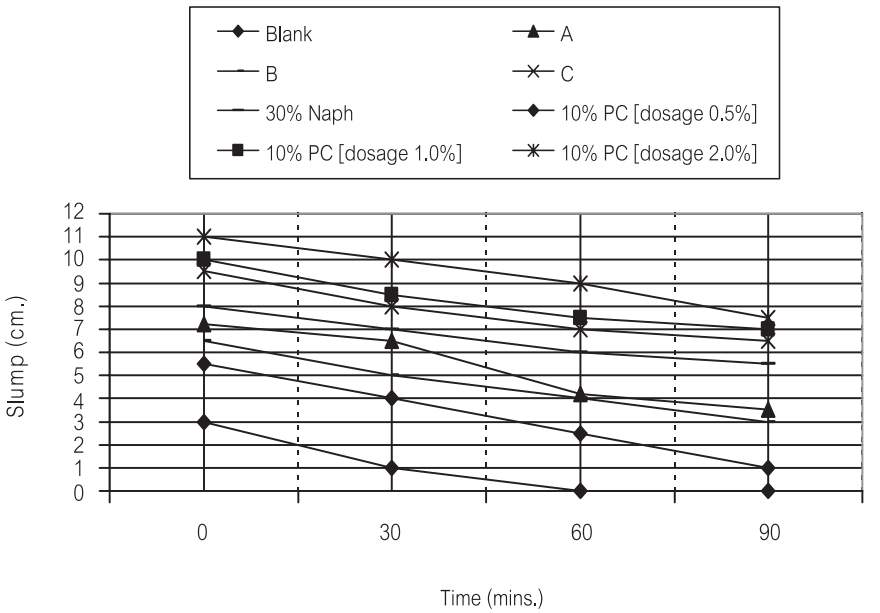


รูปที่ 14 ลักษณะเนื้อคอนกรีต เมื่อกำหนดให้ค่า w/c = 0.38 เมื่อเติมน้ำยาผสมคอนกรีตแต่ละชนิด



รูปที่ 15 ค่ากำลังรับแรงอัดคอนกรีตที่เติมน้ำยาผสมคอนกรีตแต่ละชนิด (กำหนดให้ค่า w/c = 0.38)

จากการทดสอบการเติมน้ำยาผสมคอนกรีตแต่ละชนิดในงานคอนกรีต เมื่อกำหนดให้ค่า w/c = 0.38 พบว่าเนื้อคอนกรีตที่มี 10% PC จะให้ค่าการยุบตัวที่สูงที่สุด รองลงมาคือคอนกรีตที่ใช้น้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ C แต่สำหรับคอนกรีต 30% Naph, B และ A จะให้ค่าการยุบตัวที่น้อยกว่าและใกล้เคียงกัน แต่เมื่อทำการหาค่าการสูญเสียค่าการยุบตัว เมื่อเวลาผ่านไป 90 นาที พบว่าเนื้อคอนกรีตที่มี 10% PC เกิดการสูญเสียค่าการยุบตัวน้อยที่สุดเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาระหว่าง C_3A กับ Polycarboxylic Ether [7] ซึ่งใกล้เคียงกับคอนกรีตที่ใช้น้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ C รองลงมาคือคอนกรีตที่มี 30% Naph ส่วนคอนกรีตที่ใช้น้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ B และ A เกิดการสูญเสียค่าการยุบตัวสูงที่สุด ผลแสดงรูปที่ 16



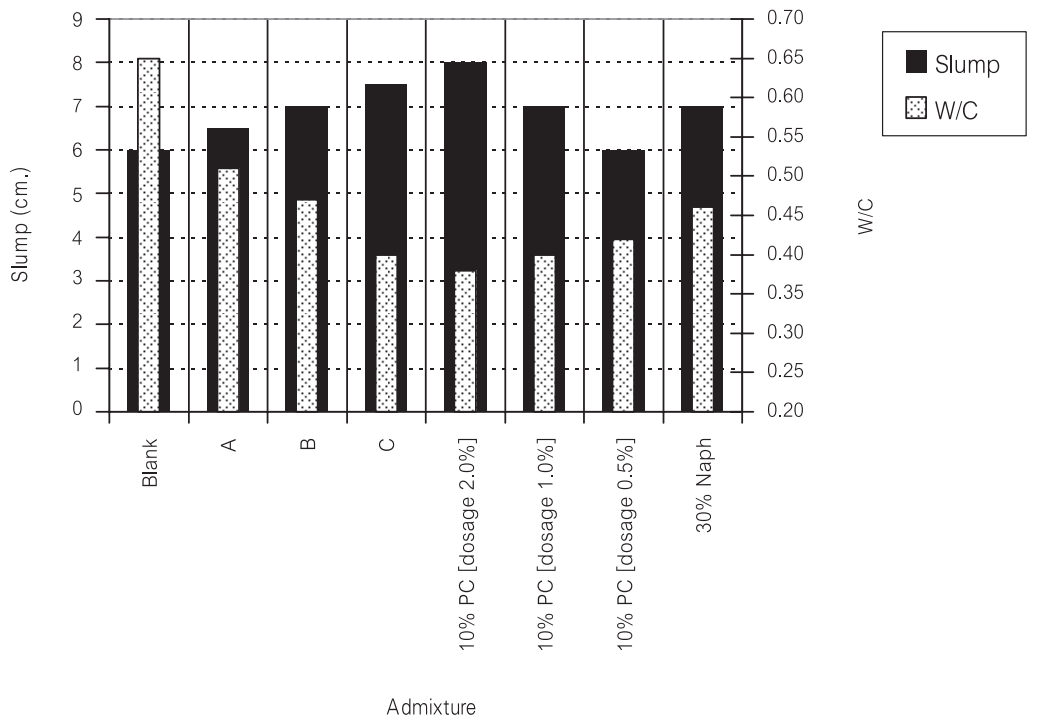
รูปที่ 16 ค่าการสูญเสียค่าการยุบตัวที่เติมน้ำยาผสมคอนกรีตแต่ละชนิด (กำหนดให้ค่า w/c = 0.38)

4.6.2 การหาค่า W/C ของคอนกรีต เพื่อให้ได้ค่าการยุบตัว 6-8 เซนติเมตร

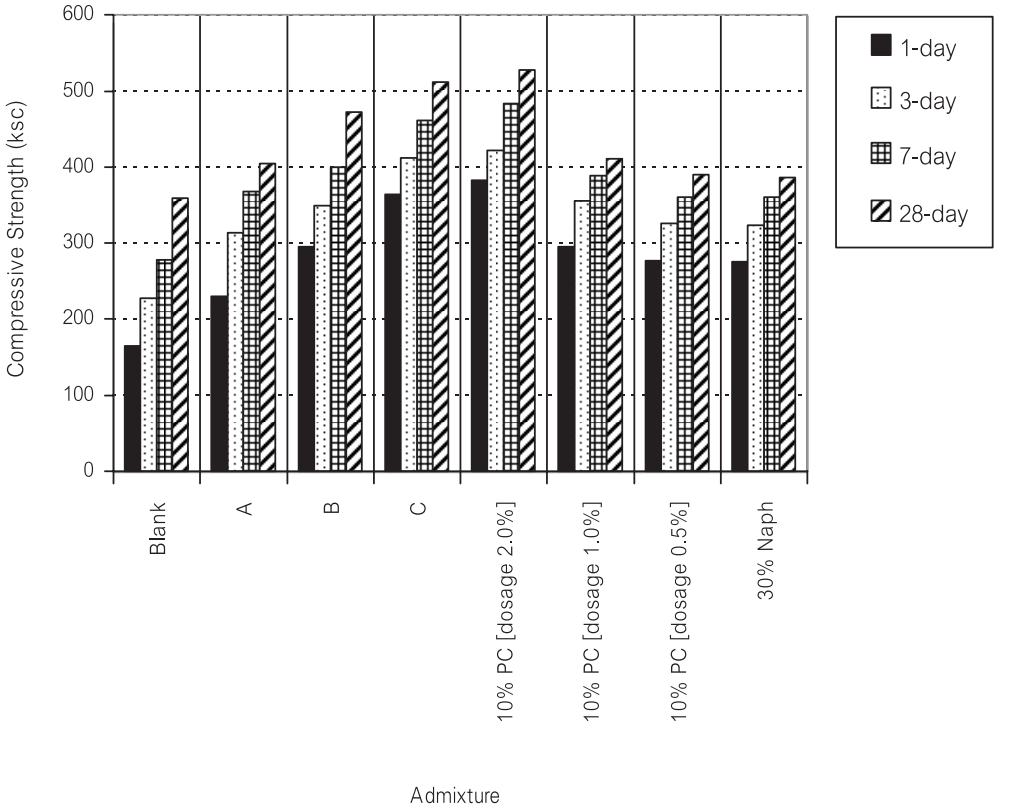
การหาค่า w/c ของแต่ละชุดการทดลองของคุณสมบัติคอนกรีต เพื่อให้ได้ค่าการยุบตัวของคอนกรีตเท่ากับ 6 ถึง 8 ซม. เลือกค่าความเข้มข้นของน้ำยาผสมคอนกรีตที่พัฒนาขึ้นมาใช้ในงานคอนกรีตนี้ โดยพิจารณาการเลือกใช้น้ำยาผสมคอนกรีตเช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 1 โดยชุดการทดลองเพื่อทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ชุดการทดลองเพื่อหา w/c ของคอนกรีต เพื่อให้ได้ค่าการยุบตัวไม่น้อยกว่า 7

No.	Admixture Type	% Dosage of cement	วัตถุดิบที่ใช้ในการทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต (กก.)						
			Cement	Sand	Rock 3/4"	Rock 1/2"	Rock 3/8"	Rock 4"	ปริมาณน้ำเริ่มต้น
1	Blank	0	13	29	3	16	7	17	4.94
2	A	2.0	13	29	3	16	7	17	4.94
3	B	2.0	13	29	3	16	7	17	4.94
4	C	2.0	13	29	3	16	7	17	4.94
5	10% PC [dosage 2.0%]	2.0	13	29	3	16	7	17	4.94
6	10% PC [dosage 1.0%]	2.0	13	29	3	16	7	17	4.94
7	10% PC [dosage 0.5%]	2.0	13	29	3	16	7	17	4.94
8	30% Naph	2.0	13	29	3	16	7	17	4.94



รูปที่ 17 ค่า w/c ของแต่ละชุดการทดลอง โดยกำหนดให้ค่าการยุบตัวของคอนกรีตเท่ากับ 6-8 ซม.



รูปที่ 18 ค่ากำลังรับแรงอัดคอนกรีตที่เติมน้ำยาผสมคอนกรีตแต่ละชนิด (กำหนดให้ค่าการยุบตัว 6-8 ซม.)

จากผลการทดลองโดยการเติมน้ำยาผสมคอนกรีตแต่ละชนิดในงานคอนกรีต โดยกำหนดให้ค่า w/c = 0.38 พบว่าทุกชุดการทดลองไม่สามารถหาค่าการยุบตัวได้ เนื่องจากปริมาณน้ำที่ใช้น้อยเกินไป ยกเว้นกรณีที่เลือกใช้ 10% PC (ปริมาณการใช้ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก) จะสามารถวัดค่าการยุบตัวได้ 11 ซม. ด้วยเหตุนี้จึงได้ออกแบบชุดการทดลองเพิ่มเติมโดยการเพิ่มปริมาณน้ำขึ้นทีละน้อย (ปริมาณน้ำเริ่มต้นจะกำหนดให้ w/c ขั้นต่ำเท่ากับ 0.38) ตามแต่ละชุดการทดลองของคอนกรีตที่มีน้ำยาผสมคอนกรีตชนิดต่างๆ โดยจะหาค่า w/c ที่เหมาะสมในแต่ละชุดการทดลองเมื่อค่าการยุบตัวของคอนกรีตมีค่าไม่น้อยกว่า 7 ซม.

จากผลการทดลองตามรูปที่ 17 พบว่าคอนกรีตที่ไม่มีน้ำยาผสมคอนกรีตจะมีค่าการยุบตัวเท่ากับ 6 ซม. ซึ่งทั้งนี้ต้องเพิ่มปริมาณ w/c ให้สูงถึง 0.65 รวมทั้งค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้ค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่มีการเติมน้ำยาผสมคอนกรีต ยกเว้นกรณีที่ใช้ 10% PC ในปริมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก จะสามารถวัดค่าการยุบตัวเท่ากับ 8 ซม. รวมทั้งค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุเท่ากับ 382 ksc ตามรูปที่ 18 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าน้ำยาผสมคอนกรีตชนิด 10% PC เป็นน้ำยาที่ให้ประสิทธิภาพเทียบเท่ากับน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ C ซึ่งมีประสิทธิภาพสูง รองลงมาคือ 30% Naph ซึ่งให้ผลที่ใกล้เคียงกับน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ B ส่วนน้ำยาผสมคอนกรีต A จะให้ประสิทธิภาพต่ำสุด แต่ยังคงสามารถลดปริมาณน้ำลงได้เช่นเดียวกับน้ำยาผสมคอนกรีตชนิดอื่นๆ

จากการทดลองข้างต้น พบว่า น้ำยาผสมคอนกรีตชนิด 10% PC มีประสิทธิภาพสูงเทียบเท่ากับน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ C และเมื่อคำนวณราคาต้นทุนในการผลิตเฉพาะส่วนน้ำยาพบว่า ราคาน้ำยาผสมคอนกรีต 10% PC มีราคาต้นทุนอยู่ที่ 18 บาท/กก. ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ B ซึ่งมีราคาขายตามท้องตลาดอยู่ที่ 15 บาท/กก. จะมีราคาต้นทุนที่สูงกว่าเพียง 3 บาท/กก. ซึ่งถือว่าน่าจะนำน้ำยา 10% PC มาใช้ในงานคอนกรีต เนื่องจากปริมาณการใช้ที่ต่ำและให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ B หรือ 30% Naph และนำมาผสมในเนื้อคอนกรีตที่สัดส่วนร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก พบว่าสามารถให้ค่าการยุบตัวเท่ากันกับน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ C และเมื่อนำมาผสมในเนื้อคอนกรีตที่สัดส่วนร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ให้ค่าต้านทานกำลังอัดที่สูงกว่า ดังนั้นหากพิจารณาราคาต้นทุนของน้ำยาผสมคอนกรีตต่อ 1 ลบ.ม. พบว่าน้ำยาผสมคอนกรีต 10% PC มีราคาถูกกว่ายี่ห้อ C เท่ากับ 10 บาทต่อ 1 ลบ.ม. เนื่องจากใช้ในปริมาณที่น้อยกว่า

จากผลการทดลองจึงได้นำน้ำยาผสมคอนกรีต 10% PC ไปใช้กับงานคอนกรีตจำนวน 3 สถานที่ ได้แก่ บริษัท เค.ซี. คอนกรีต เลิงชนากรณ์ และนายกคอนกรีต โดยสัดส่วนการผสมจะกำหนดค่า w/c = 0.38 ปริมาณการใช้น้ำยาผสมคอนกรีตอยู่ที่ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก ซึ่งพบว่าค่าการยุบตัววัดได้ 13 ซม. ทั้งที่ เค.ซี. คอนกรีต และ เลิงชนากรณ์ ส่วนค่าการยุบตัว ที่วัดได้จากสถานที่ของบริษัท นายกคอนกรีต วัดได้ 17 ซม. (ดังรูปที่ 19) สำหรับค่ากำลังรับแรงอัดที่ 1 วัน ของ เค. ซี. คอนกรีต เลิงชนากรณ์ และ นายกคอนกรีต สามารถวัดค่าได้ 485 ksc, 505 ksc และ 495 ksc ตามลำดับ

รูปที่ 19 การทดสอบค่าการยุบตัว ของคอนกรีตที่หน้างานจริง (เค.ซี. คอนกรีต, เลิงชนากรณ์ และนายกคอนกรีต) โดยใช้น้ำยาผสมคอนกรีต 10% PC ที่ปริมาณร้อยละ 1.5

5. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาน้ำยาผสมคอนกรีตประเภทเอฟ ชนิดลดน้ำอย่างมาก ที่มีขายในท้องตลาดยี่ห้อ A, B และ C และน้ำยาผสมคอนกรีตที่เตรียมขึ้นเองให้มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับน้ำยาผสมคอนกรีตที่มีการขายทั่วไปในท้องตลาด สรุปได้ดังนี้

1) น้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ A มีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบประเภท Melamine Sulphonate Base, น้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ B มีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบประเภท Naphthalene Sulfonate Base และน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ C มีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบประเภท Polycarboxylate Base

2) จากการศึกษาอิทธิพลของน้ำยาผสมคอนกรีตต่อการพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) พบว่าน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ B และ 10% Polycarboxylate ส่งผลต่อการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ โดยการยืดระยะเวลาการก่อตัว ซึ่งส่งผลให้เกิดการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชัน เนื่องจากอนุภาคของน้ำยาผสมคอนกรีตเข้าไปปกคลุมพื้นผิวของอนุภาคปูนซีเมนต์ แต่

ซีเมนต์เพสต์ที่มีน้ำยาผสมคอนกรีต 10% Polycarboxylate ยังคงพบผลึกรูปเข็มบางส่วนบนอนุภาคซีเมนต์เพสต์ ซึ่งอาจจะเป็น Ettringite ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าน้ำยาผสมคอนกรีต 10% Polycarboxylate ทำให้การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันเพิ่มสูงขึ้น

3) ค่าร้อยละการไหลเทของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมน้ำยาผสมคอนกรีตที่พัฒนาขึ้นมีสารตั้งต้นหลักคือ Naphthalene Sulfonate ร้อยละ 30 ผสมกับน้ำร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 13 บาท/กก. ความสามารถในการละลายได้อยู่ในระดับปานกลาง ส่วน Casein ร้อยละ 13 ผสมกับโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ร้อยละ 87 โดยน้ำหนัก ต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 50 บาท/กก. และมีปัญหาเกี่ยวกับความสามารถในการละลายที่ค่อนข้างยาก ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะนำมาเตรียม และ Polycarboxylate ร้อยละ 10 ผสมกับน้ำร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก ต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 18 บาท/กก. ที่ถูกพัฒนาขึ้นและน่าสนใจ เนื่องจากมีประสิทธิภาพและให้ผลที่ใกล้เคียงกับน้ำยาผสมคอนกรีตยี่ห้อ C ซึ่งเป็นยี่ห้อที่ดีที่สุดในท้องตลาด

4) น้ำยาผสมคอนกรีต Polycarboxylate ร้อยละ 10 ผสมกับน้ำร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก ที่นำมาผสมในเนื้อคอนกรีตที่สัดส่วนร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก พบว่า สามารถให้ค่าการยุบตัวใกล้เคียงกับยี่ห้อ C ที่นำมาผสมในเนื้อคอนกรีตที่สัดส่วนร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก และให้ค่าต้านทานกำลังอัดที่สูงกว่า ดังนั้นหากพิจารณาราคาต้นทุนของน้ำยาผสมคอนกรีตต่อ 1 ลบ.ม. พบว่าน้ำยาผสมคอนกรีต Polycarboxylate ร้อยละ 10 ผสมกับน้ำร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก ถูกกว่ายี่ห้อ C เท่ากับ 10 บาทต่อ 1 ลบ.ม. เนื่องจากใช้ในปริมาณที่น้อยกว่า

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณหน่วยวิจัย สำนักงานกองทุนวิจัยแห่งชาติ (สกว.) และบริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) ที่สนับสนุนทุนวิจัย สัญญาเลขที่ RDG 5150009

7. เอกสารอ้างอิง

1. Boonprakrong, K., 2006, “Marketing Analysis of Siam City Cement Company”, INSEE Insight, Vol. 25, p. 60.

2. American Society for Testing Materials, 2002, “ASTM C150: Specification for Portland Cement”, *Annual Book of ASTM Standard*, Vol. 4.01 Philadelphia : American Concrete Institute, PA, USA.

3. Mollah, M.Y.A., Wenhong, Y., Robert, S., and David, L., 2000, “A Fourier Transform Infrared Spectroscopic Investigation of the Early Hydration of Portland Cement and the Influence of Sodium Lignosulfonate”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 30, pp. 267-273.

4. American Society for Testing Materials, 2002, “ASTM C778-02: Standard Specification for Standard Sand”, *Annual Book of ASTM Standard*, Vol. 4.01 Philadelphia : American Concrete Institute, PA, USA.

5. S. Chandra, and J. Bjornstrom., 2002, “Influence of Superplasticizer Type and Dosage on the Fluidity of Cement Mortars-Part I”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, pp. 1605-1611.

6. C. Jolicoeur, and M. Simard., 1998, “Chemical Admixture-Cement Interactions: Phenomenology and Physico-Chemical Concepts”, *Cement and Concrete Composition*, Vol. 20, pp. 87-101.

7. S. Chandra, and J. Bjornstrom, 2002, “Influence of Superplasticizer Type and Dosage on the Slump Loss of Portland Cement Mortars-Part II”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, pp. 1613-1619.