รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

“ผลของสารผสมเพิ่มชนิดลดน้ำจำนวนมาก (Type F) ต่อคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์”

EFFECT OF HIGH RANGE WATER REDUCER (TYPE F) ADMIXTURE ON CEMENT PASTE PROPERTIES

ณัฐวุฒิ กองม่วง

Nattavude Kongmuang

เมษายน พ.ศ. 2552

CONFIDENTIAL

สัญญาเลขที่ RDG 515009

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

“ผลของสารผสมเพิ่มชนิดลดน้ำจำนวนมาก (Type F) ต่อคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์”

EFFECT OF HIGH RANGE WATER REDUCER (TYPE F) ADMIXTURE ON CEMENT PASTE PROPERTIES

ณัฐวุฒิ กองม่วง

Nattavude Kongmuang

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ทุนสนับสนุนการวิจัยสาขาวิศวกรรมโยธา

(ทุน สกว.- บริษัทปูนซีเมนต์ นครหลวง จำกัด (มหาชน) ปี 2550

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

และบริษัทปูนซีเมนต์ นครหลวง จำกัด (มหาชน)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. และบริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของสารผสมเพิ่มชนิดลดน้ำจำนวนมาก (Type F) ต่อคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์
นักศึกษา	นายณัฐวุฒิ กองม่วง
รหัสนักศึกษา	4810036071
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
พ.ศ.	2552
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. ดร.บุรฉัตร ฉัตรวีระ

บทคัดย่อ

ธุรกิจอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศไทยที่มีการใช้สารผสมเพิ่มหรือน้ำยาผสมคอนกรีต สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ธุรกิจหลัก ได้แก่ คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mix Concrete; RMC) และอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ คอนกรีต (Cement Production Manufacturing; CPM) ซึ่งได้มีการพัฒนาคุณภาพและประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ให้ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ให้ดียิ่งขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง รวมไปถึงการลดต้นทุนในการผลิต โดยงานวิจัยชิ้นนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาการปรับปรุงหรือเพิ่มประสิทธิภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 โดยการใช้สารผสมเพิ่มหรือน้ำยาผสมคอนกรีตชนิดลดน้ำอย่างแรง (Concrete Admixtures Type F หรือ Superplasticizer) ซึ่งเลือกศึกษาเปรียบเทียบน้ำยาผสมคอนกรีตชนิดลดน้ำอย่างแรงที่ผสมขึ้นเองกับน้ำยาที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ได้แก่ Sikament FF®, Mighty MXT® and Viscocrete® ซึ่งน้ำยาทั้ง 3 ยี่ห้อข้างต้นมีความแตกต่างกันที่องค์ประกอบหลัก จากการศึกษาในตอนแรกพบว่า Sikament FF ® มีองค์ประกอบหลักเป็นสารจำพวก Melamine Sulfonate, Mighty MXT ® มีองค์ประกอบหลักเป็นสารจำพวก Napthalene Sulphonate และ Viscocrete® มีองค์ประกอบหลักเป็นสารจำพวก polycarboxylate copolymer ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้เลือกศึกษาสารจำพวก Napthalene Sulphonate เป็นสารแรก เนื่องจากต้นทุนในท้องตลาดมีราคาถูก และได้ศึกษาเปรียบเทียบกับสารจำพวก Melamine sulphonate และ Polycarboxylate ether ซึ่งเป็นสารที่มีประสิทธิภาพสูง แต่ราคาต้นทุนค่อนข้างสูง รวมทั้งศึกษาเพิ่มเติมสารอีก 1 ชนิด ได้แก่ Casein ซึ่งเป็นสารที่สกัดจากนมวัว ที่มีประสิทธิภาพในการเป็น concrete admixture จากผลการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าสารจำพวก Napthalene Sulphonate, Polycarboxylic ether และ Casein ทำให้ซีเมนต์เพสต์เกิดการไหลเทได้ดีในช่วงควบคุม เมื่อใช้ที่ 1-2% (เมื่อกำหนดให้ค่า w/c = 0.38) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาโดยรวมทั้งด้านต้นทุน ปริมาณการใช้ และประสิทธิภาพ พบว่าน้ำยาผสมคอนกรีตที่ผลิตขึ้นจาก 10% Polycarboxylate ether ในปริมาณการใช้ที่ 1.5% ให้ประสิทธิภาพที่สูงที่สุด แม้ว่าราคาต้นทุนในการผลิตจะสูงกว่า 30% Napthalene Sulphonate (~ 3 บาท/กก.)

Thesis Title	**Effect of high range water reducer (type F) admixture on cement paste properties**
Student	Mr. Nattavude Kongmuang
Student ID.	4810036071
Degree	Master of Engineering
Program	Civil Engineering
Year	2009
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Burachat Chatveera

Abstract

Thai Cement Industries has 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 to get economy advantage. Results in the first experiment indicated that the main compound of Sikament FF® is Melamine Sulphonate , the main compound of Mighty MXT® is Naphthalene Sulphonate and the main compound of Viscocrete® is Polycarboxylate-base type. In this experiment, we would study the effect of Naphthalene Sulphonate [NS], Melamine sulfonate [MS] and Polycarboxylic ether [PC] and Casein, which extracted from cow milk, on flow of cement paste. This results showed that the flow of cement paste [w/c = 0.38] after adding 1-2% of new admixtures is in control limit range. However cost of raw material of each admixture is different for example NS is lower than PC and Casein. For cost of Casein is the higher than NS almost 10 times so it is not suitable for this study. 10% solution of PC is chosen for using as a new admixture type F causing that low dosage and high efficiency. Although the cost of 10% PC is higher than 30% NS about 3 Baht/Kg.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และบริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) ภายใต้โครงการทุนวิจัยสาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อมประจำปี ในการสนับสนุนทุนวิจัย

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ทางศูนย์เครื่องมือวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบตัวอย่าง

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของบริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองและขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทางเคมีและฟิสิกส์ในการทดสอบตัวอย่าง และความช่วยเหลือในด้านต่างๆ รวมทั้งการอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัย

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคลากรและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่มิได้เอ่ยนามมา ณ ที่นี้ ที่มีส่วนทำให้งานวิจัยนี้สามารถทำได้สำเร็จลุลาวงได้ด้วยดี และหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้ สามารถนำมาใช้ประยุกต์และ/หรือเป็นนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ต่อไป

นายณัฐวุฒิ กองม่วง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญรูป.....VIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์.....3

1.3 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษา.....3

1.4 ขอบเขตการศึกษา.....3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....5

2.1 หลักการและทฤษฎี.....5

2.1.1 สารลดน้ำ (Water-Reducing Admixture หรือ Plasticizer) 5

2.1.2 สารเคมีผสมคอนกรีต.....7

2.2 ผลงานที่เกี่ยวข้อง.....11

บทที่ 3 เครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมีและวิธีการทดลอง.....16

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี.....16

3.2 จำนวนตัวอย่างทดสอบ.....16

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์.....17

3.4 วิธีการทดลอง.....17

3.5 ขั้นตอนการทดลอง.....22

3.5.1 ศึกษาลักษณะเฉพาะของวัตถุดิบ.....22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5.2 ออกแบบชุดการทดลองเพื่อทดสอบสภาพการไหลเท
ของซีเมนต์เพสต์.....22
3.5.3 การออกแบบชุดทดลองเพื่อทดสอบ slump ของคอนกรีต.....24
3.5.4 การทดสอบการเข้ากันได้.....26
3.5.5 การทดสอบการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง ปูนซีเมนต์ เพสต์
และน้ำยาผสมคอนกรีต.....26
3.5.6 การทดสอบหาค่าความคงทน (Durability) 27
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....30
4.1 ศึกษาลักษณะเฉพาะของวัตถุดิบ.....30
4.1.1 ศึกษาข้อมูลองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพ
ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3.....30
4.1.2 ศึกษาข้อมูลองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพ
ของน้ำยาผสมคอนกรีต.....32
4.2 การทดลองเพื่อทดสอบสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์.....34
4.2.1 ความเข้มข้นของน้ำยาผสมคอนกรีต (ที่พัฒนาขึ้น) 34
4.2.2 ทดสอบสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์เมื่อเติมน้ำยาผสมคอนกรีต
(ที่พัฒนาขึ้น) เทียบกับน้ำยาผสมคอนกรีตที่มีจำหน่ายในท้องตลาด.....35
4.2.3 ทดสอบสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์เมื่อเพิ่มอัตราส่วน w/c
และจำนวนครั้งในการเคาะ flow table.....38
4.3 การทดสอบน้ำยาผสมคอนกรีตเพื่อหาค่า slump ในงานคอนกรีต.....41
4.3.1 การหาค่า slump ของคอนกรีตเมื่อกำหนดให้ w/c = 0.38.....41
4.3.2 การหาค่า slump ของคอนกรีตเพื่อให้ได้ slump ไม่น้อยกว่า 7.....43
4.4 การทดสอบน้ำยาผสมคอนกรีตโดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1
แทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3.....44

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....46
5.1 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่3.....46
5.2 การศึกษาหาหมู่ฟังก์ชันเพื่อสืบหาและทำนายโครงสร้างที่เป็นองค์ประกอบหลัก ในน้ำยาผสมคอนกรีต Type F.....46
5.3 การทดสอบสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์.....46
5.4 การทดสอบคอนกรีต.....47
5.4.1 ค่า slump เมื่อกำหนดให้อัตราส่วน w/c = 0.38.....47
5.4.2 หาค่า w/c ที่เหมาะสม โดยให้ค่า slump ของคอนกรีตไม่น้อยกว่า 7.....47
5.4.3 การใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3.....47
บรรณานุกรม.....48

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ชนิดคุณลักษณะ และคุณสมบัติของ Anionic Melamine Formaldehyde Resin.....10
3.1 การทดสอบตัวอย่างคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุวิจัย.....18
3.2 แผนภาพของการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างที่จะนำมาวิจัย.....20
3.3 ความเข้มข้นของสารตั้งต้นแต่ละชนิดในการนำไปใช้ผลิตเป็นน้ำยาผสมคอนกรีต.....22
3.4 ชุดทดลองสำหรับศึกษาสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์.....23
3.5 ชุดการทดลองเพื่อหา slump ของคอนกรีต เมื่อกำหนดให้ค่า w/c = 0.38.....25
3.6 ชุดการทดลองเพื่อหา slump ของคอนกรีต เพื่อให้ได้ค่า slump ไม่น้อยกว่า 7.....25
4.1 แสดงข้อกำหนดองค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
ประเภทที่ 3 ตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 1-2547.....30
4.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3
ที่นำมาใช้ในการทดสอบ.....31
4.3 แสดงสมบัติทางฟิสิกส์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3
ที่นำมาใช้ในการทดสอบ.....32
4.4 ค่าสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์ที่มีน้ำยาผสมคอนกรีต 1%
ที่วัดจาก Flow Table เมื่อกำหนดให้ w/c = 0.38 เคาะจำนวน 15 ครั้ง.....36
4.5 ค่าสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์ที่มีน้ำยาผสมคอนกรีต 2%
ที่วัดจาก Flow Table เมื่อกำหนดให้ w/c = 0.38 เคาะจำนวน 15 ครั้ง.....37
4.6 ค่ากำลังอัดคอนกรีตที่เติมน้ำยาผสมคอนกรีตแต่ละชนิด (กำหนดให้ w/c=0.38) 42
4.7 ค่า w/c ของแต่ละชุดการทดลอง โดยกำหนดให้ slump ของคอนกรีตมีค่าไม่น้อยกว่า 7..... 43
4.8 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของปูนอินทรีเพชร.....45
4.9 ผลการทดสอบค่า slump และค่า compressive strength ของคอนกรีตที่ผลิตขึ้น
จากปูนอินทรีเพชร เปรียบเทียบผลต่างระหว่างกรณีที่มีการเติมน้ำยา 10% PC
และไม่เติมน้ำยา 10% PC 45

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 ปริมาณส่วนแบ่งทางการตลาดของคอนกรีตผสมเสร็จทางตลาดในปี 2006.....2

1.2 ปริมาณส่วนแบ่งทางการตลาดของอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ทางตลาดในปี 2006.....2

2.1 การทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ และน้ำ.....6

2.2 ชนิดของสารเคมีของ Superplasticizer.....8

2.3 กระบวนการผลิต Sulphonated Napthalene Formaldehyde (SNF) 9

2.4 กระบวนการผลิต Sulfonate Melamine Formaldehyde (SMF) 10

3.1 วิธีการทดสอบ Mini slump.....26

3.2 ตำแหน่งของบล็อค 1 บล็อค 2 และ 3 ที่ได้จากการตัดตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม .สูง 200 มม .ที่ใช้ในการทดสอบต่างๆ.....27

4.1 FTIR สเปกตรัม ของตัวอย่างน้ำยาผสมคอนกรีต Type F ยี่ห้อ Mighty MXT.....33

4.2 FTIR สเปกตรัม ของตัวอย่างน้ำยาผสมคอนกรีต Type F ยี่ห้อ Sikament FF.....33

4.3 FTIR สเปกตรัม ของตัวอย่างน้ำยาผสมคอนกรีต Type F ยี่ห้อ Viscocrete.....34

4.4 พื้นที่การไหลของซีเมนต์เพสต์หลังจากเคาะจำนวน 15 ครั้ง โดย (◆) ซีเมนต์เพสต์ที่ไม่มีน้ำยาผสมคอนกรีต, (■) ซีเมนต์เพสต์ที่มี Mighty MXT, (▲) ซีเมนต์เพสต์ที่มี 30% Naphthalene sulphonate, (✱) ซีเมนต์เพสต์ที่มี Viscocrete, (●)ซีเมนต์เพสต์ที่มี 10% PC และ (●) ซีเมนต์เพสต์ที่มี Sigament FF, โดยความเข้มข้นของน้ำยาผสมคอนกรีตของแต่ละชนิดอยู่ที่ 1%.....39

4.5 พื้นที่การไหลของซีเมนต์เพสต์หลังจากเคาะจำนวน 25 ครั้งโดย (◆) ซีเมนต์เพสต์ที่ไม่มีน้ำยาผสมคอนกรีต, (■) ซีเมนต์เพสต์ที่มี Mighty MXT, (▲) ซีเมนต์เพสต์ที่มี 30% Naphthalene sulphonate, (✱) ซีเมนต์เพสต์ที่มี Viscocrete, (●)ซีเมนต์เพสต์ที่มี 10% PC และ (●) ซีเมนต์เพสต์ที่มี Sigament FF, โดยความเข้มข้นของน้ำยาผสมคอนกรีตของแต่ละชนิดอยู่ที่ 1%.....39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.6 พื้นที่การไหลของซีเมนต์เพสต์หลังจากเคาะจำนวน 25 ครั้ง โดย
ซีเมนต์เพสต์ที่ไม่มีน้ำยาผสมคอนกรีต, (■) ซีเมนต์เพสต์ที่มี Mighty MXT,
(▲) ซีเมนต์เพสต์ที่มี 30% Naphthalene sulphonate, (✱) ซีเมนต์เพสต์ที่มี
Viscocrete, (●)ซีเมนต์เพสต์ที่มี 10% PC และ (●) ซีเมนต์เพสต์ที่มี Sigament FF,
โดยความเข้มข้นของน้ำยาผสมคอนกรีตของแต่ละชนิดอยู่ที่ 2%.....40

4.7 พื้นที่การไหลของซีเมนต์เพสต์หลังจากเคาะจำนวน 25 ครั้ง โดยโดย (◆)
ซีเมนต์เพสต์ที่ไม่มีน้ำยาผสมคอนกรีต, (■) ซีเมนต์เพสต์ที่มี Mighty MXT,
(▲) ซีเมนต์เพสต์ที่มี 30% Naphthalene sulphonate, (✱) ซีเมนต์เพสต์ที่มี
Viscocrete, (●)ซีเมนต์เพสต์ที่มี 10% PC และ (●) ซีเมนต์เพสต์ที่มี Sigament FF,
โดยความเข้มข้นของน้ำยาผสมคอนกรีตของแต่ละชนิดอยู่ที่ 2%.....40

4.8 ลักษณะเนื้อคอนกรีต เมื่อกำหนดให้ค่า w/c = 0.38 เมื่อเติม
น้ำยาผสมคอนกรีตแต่ละชนิด.....41

4.9 การทดสอบ slump ของคอนกรีตที่หน้างานจริงของลูกค้า เค.ซี. คอนกรีต, เลิงชนากรณ์
และนายกคอนกรีต โดยใช้น้ำยาผสมคอนกรีต 10% PC ที่ปริมาณ 1.5%.....44

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

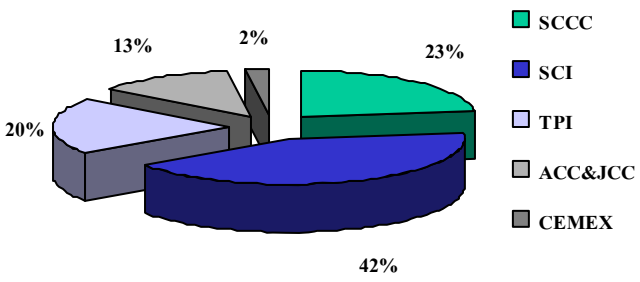
ในโลกแห่งการเปลี่ยนแปลงทุกวันนี้เทคโนโลยียุคใหม่ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมด้านต่างๆ รวมไปถึงงานก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในธุรกิจปูนซีเมนต์และคอนกรีต ซึ่งมีการพัฒนาคุณภาพและประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ให้ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ให้ดียิ่งขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง รวมไปถึงการลดต้นทุนในการผลิต การใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด และสิ่งที่ขาดไม่ได้ในการพัฒนาร่วมกับสิ่งเหล่านี้คือ การรักษาสิ่งแวดล้อมเพื่อความปลอดภัยของชุมชน

ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นในปัจจุบันนั้น ได้รับการคิดค้นและพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้คุณสมบัติตรงตามจุดประสงค์ในการนำไปใช้งาน และสอดคล้องกับคุณภาพของวัสดุ สิ่งแวดล้อม และสภาพการทำงาน นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงหรือเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการอย่างเฉพาะเจาะจงอีกด้วย วิธีการหนึ่งที่ใช้ในการปรับปรุงหรือเพิ่มประสิทธิภาพของปูนซีเมนต์เพื่อนำไปใช้งานโดยเฉพาะด้านการก่อสร้างนั้น สามารถทำได้โดยการใช้สารผสมเพิ่มหรือน้ำยาผสมคอนกรีต (Concrete Admixtures) ซึ่งเป็นสารที่ใช้เติมลงไปในส่วนผสมของคอนกรีตไม่ว่าจะก่อนหรือกำลังผสมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีต ไม่ว่าจะเป็นการปรับปรุงความสามารถเทได้ เร่งหรือหน่วงการก่อตัวและแข็งตัว ควบคุมหรือดัดแปลงการพัฒนากำลังอัด ปรับปรุงคุณสมบัติการต้านทานการแตกร้าวเนื่องจากความร้อน การทนต่อกรด รวมไปถึงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างที่ลดลง

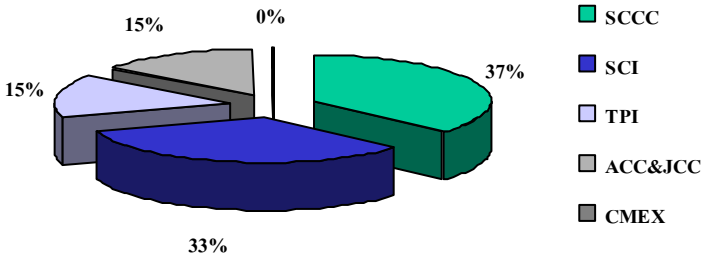
โดยทั่วไปปูนซีเมนต์ทุกๆ 100 กิโลกรัม จะมีการเติมสารลดน้ำประมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณการใช้สารลดน้ำในกระบวนการผลิตมีการใช้ในปริมาณมาก และสารลดน้ำเหล่านี้ส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศจึงส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มสูงมากขึ้น ดังนั้นการศึกษาหาองค์ประกอบและคุณสมบัติของสารลดน้ำที่ส่งผลต่อปูนซีเมนต์จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจอย่างยิ่ง กล่าวคือ หากสามารถผลิตสารลดน้ำขึ้นใช้ได้เอง จะเป็นการช่วยลดต้นทุนในการผลิต และเป็นแนวทางในการศึกษาเพื่อผลิตสารผสมเพิ่มหรือน้ำยาผสมคอนกรีตชนิดอื่นๆ ต่อไปได้อีก

ธุรกิจอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศไทยที่มีการใช้สารผสมเพิ่มหรือน้ำยาผสมคอนกรีต สามารถแบ่งออกเป็น 2 ธุรกิจหลัก ได้แก่ คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mix Concrete; RMC) และอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ (Cement Production Manufacturing; CPM) ซึ่งมีส่วนแบ่งในตลาดดังแผนภาพที่แสดงด้านล่าง (รูปที่

1.1และรูปที่ 1.2) จากแผนภาพจะพบว่าปริมาณการผลิตปูนซีเมนต์โดยรวมมีปริมาณสูงมาก และในการผลิตปูนซีเมนต์จะมีการใช้สารผสมเพิ่มหรือน้ำยาผสมคอนกรีตตามที่ได้กล่าวข้างต้น ดังนั้นจากปริมาณกำลังการผลิตที่เพิ่มมากขึ้น จึงเป็นผลให้สัดส่วนในการใช้สารผสมเพิ่มหรือน้ำยาผสมคอนกรีตเพิ่มขึ้นตามด้วยเช่นเดียวกัน โดยในปี 2006 พบว่าปริมาณการใช้สารผสมเพิ่มหรือน้ำยาผสมคอนกรีตในธุรกิจ CPM อยู่ที่ประมาณ 32.8 ล้านลิตร (เมื่อเทียบกับปริมาณการผลิตซีเมนต์จำนวน 273, 960ตันต่อเดือน)



รูปที่ 1.1 ปริมาณส่วนแบ่งทางการตลาดของคอนกรีตผสมเสร็จทางตลาดในปี 2006
[วิเคราะห์การตลาด บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง, 2006]



รูปที่ 1.2 ปริมาณส่วนแบ่งทางการตลาดของอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ทางตลาดในปี 2006
[วิเคราะห์การตลาด บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง, 2006]

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำยาผสมคอนกรีต Type F (ชนิดลดปริมาณน้ำจำนวนมาก) ยี่ห้อ Sikament FF, Mighty MXT และ Viscocrete ที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติของซีเมนต์เพสต์ ที่เตรียมขึ้นจากซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3
2. ศึกษาความเป็นไปได้ในผสมน้ำยาผสมคอนกรีต Type F (ชนิดลดปริมาณน้ำจำนวนมาก) ชนิดใหม่ ที่มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำยาผสมคอนกรีต Type F (ชนิดลดปริมาณน้ำจำนวนมาก) ที่มีขายทั่วไปแต่ให้ผลกำไรในทางเศรษฐศาสตร์สูงสุดมาผลิตขึ้น

1.3 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษา

1.3.1 ความรู้เชิงพื้นฐาน

* ทราบถึงองค์ประกอบพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตน้ำยาผสมคอนกรีต Type F (ชนิดลดปริมาณน้ำจำนวนมาก) ยี่ห้อ Sikament FF, Mighty MXT และ Viscocrete
* ทราบถึงผลกระทบของน้ำยาผสมคอนกรีต Type F (ชนิดลดปริมาณน้ำจำนวนมาก) ยี่ห้อ Sikament FF, Mighty MXT และ Viscocrete ที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติของซีเมนต์เพสต์ ที่เตรียมขึ้นจากซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3

1.3.2 เชิงพาณิชย์

* สามารถนำข้อมูลไปวางแผนผลิตน้ำยาผสมคอนกรีตขึ้นได้เอง เพื่อลดต้นทุนการผลิต
* สามารถพัฒนาคุณภาพของน้ำยาผสมคอนกรีตให้ดียิ่งขึ้น

1.3.3 เชิงสาธารณะ

เป็นการส่งเสริมและสร้างนักวิจัยรุ่นใหม่ที่มีคุณภาพ และมีความสามารถทำงานวิจัยในเชิงความรู้อีกทั้งยังสามารถสร้างโจทย์งานวิจัยเพื่อพัฒนาและแก้ไขปัญหาของสังคมหรือปัญหาของภาคอุตสาหกรรมอันจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศโดยรวม

1.4 ขอบเขตการศึกษา

ในงานวิจัยครั้งนี้ จึงมุ่งเน้นศึกษาน้ำยาผสมคอนกรีต Type F (ชนิดลดปริมาณน้ำจำนวนมาก) ยี่ห้อ Sikament FF, Mighty MXT และ Viscocrete) เนื่องจากเป็นยี่ห้อที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย (โดยจะศึกษาถึงองค์ประกอบ ปริมาณและคุณสมบัติที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ ที่เตรียมขึ้นจากซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 เพื่อเป็นข้อมูลในการวางแผนการผลิตน้ำยาผสมคอนกรีตขึ้นใช้เองต่อไปในอนาคต

1.4.1 ศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 ยี่ห้อ อินทรีย์ดำ

* วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี (Chemical Compositions) ด้วยเครื่อง XRD (X-Ray Diffraction) , ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักจากการเผาไหม้ (%LOI)
* วิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ,ความละเอียด (Blaine Fineness) ,และปริมาณส่วนตกค้างบนตะแกรง (Residue on Sieve)

1.4.2 ศึกษาคุณสมบัติของน้ำยาผสมคอนกรีต Type F (ชนิดลดปริมาณน้ำจำนวนมาก) ยี่ห้อ Sikament FF, Mighty MXT และ Viscocrete

* วิเคราะห์หาองค์ประกอบ และปริมาณของน้ำยาผสมคอนกรีตทั้ง 3 ยี่ห้อ ด้วยเครื่อง GC-MS (Gas Chromatography-Mass Spectrometry)
* วิเคราะห์หาองค์ประกอบของน้ำยาผสมคอนกรีตทั้ง 3ยี่ห้อ ด้วยเครื่อง FTIR (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer) เพื่อยืนยันโครงสร้างขององค์ประกอบน้ำยาผสมคอนกรีต

1.4.3 ศึกษาคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ อันเนื่องมาจากน้ำยาผสมคอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนร้อยละ 0, 00.5 , 0.8 และ 1.2 โดยน้ำหนัก ที่ W/C = 0.38

* ศึกษารูปร่างและลักษณะ (Morphology) ของ C_3S, C_2S และ C_3A ที่ส่งผลถึงคุณภาพของปูนซีเมนต์ ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)
* ศึกษาปริมาณของ C_3S, C_2S และ C_3A ที่ส่งผลถึงคุณภาพของปูนซีเมนต์ ด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD)
* วิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) ได้แก่ ระยะเวลาการก่อตัว (Setting time) , ปริมาณอากาศ (Air Content), การขยายตัว (Expansion), การไหลตัวของซีเมนต์เพลท (Flow Table), ค่าการจมตัว (Mini Slump), ค่าความคงทน (Durability) และค่ากำลังอัด (Compressive Strength) ที่ 1, 3, 7, และ 28วัน

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการและทฤษฎี

2.1.1 สารลดน้ำ (Water-Reducing Admixture หรือ Plasticizer)

สารลดน้ำ หรือ Plasticizer หมายถึง สารเคมีผสมคอนกรีตที่เติมลงในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อลดปริมาณน้ำที่จะต้องใช้ผสม โดยได้ความข้นเหลวตามที่กำหนด และไม่มีผลกระทบต่อปริมาณฟองอากาศและเวลาการก่อตัวของคอนกรีต อย่างไรก็ตาม อาจมีผลกระทบรองที่ทำให้คอนกรีตหน่วงหรือเร่งการก่อตัวได้ แต่ต้องไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด (Roger Rixom and Noel Mailvaganam, Chemical Admixtures for Concrete, 1999)

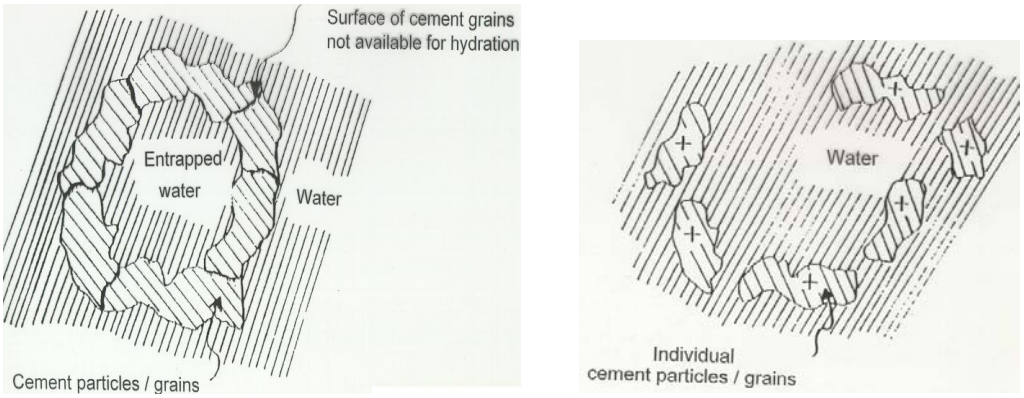
2.1.1.1 <u>ประโยชน์ในการใช้สารลดน้ำ</u>

การใช้สารลดน้ำก่อให้เกิดประโยชน์ ดังนี้ :

1) ไม่เปลี่ยนแปลงส่วนผสมเลย ทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้เพิ่มขึ้น: ใช้เพื่อช่วยให้งานเทคอนกรีตที่ทำได้ยาก เช่น โครงสร้างที่บางหรือมีเหล็กเสริมค่อนข้างหนาแน่น คอนกรีตนี้จะมีความสามารถเทได้ดี ง่ายต่อการจี้เขย่าเข้าแบบโดยไม่ต้องเพิ่มปริมาณน้ำและปูนซีเมนต์
2) ลดน้ำในส่วนผสม ทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดเพิ่มขึ้น: คอนกรีตจะมีความสามารถเทได้ตามต้องการโดยใช้ปริมาณน้ำลดลงในขณะที่ปริมาณปูนซีเมนต์คงที่ นั่นคือ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์จะลดลง ส่งผลทำให้กำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้น ความต้านทานการซึมผ่านของน้ำและความคงทนสูงขึ้น หรืออาจประยุกต์ใช้ในกรณีที่ต้องการเพิ่มกำลังอัดโดยไม่สามารถเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ เพราะจะเกิดปัญหาด้านอุณหภูมิที่สูงขึ้นหรือเกิดการหดตัวทำให้เกิดการแตกร้าว โดยเฉพาะโครงสร้างคอนกรีตหลา)Mass Concrete (เช่น ฐานรากแผ่ขนาดใหญ่ เป็นต้น
3) ลดน้ำและปูนซีเมนต์ในส่วนผสม ทำให้คอนกรีตมีราคาประหยัด : คอนกรีตจะมีความสามารถเทได้ตามต้องการ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ นั่นคือสามารถลดปริมาณปูนซีเมนต์และน้ำลงได้

2.1.1.2 <u>ลักษณะการทำงาน</u>

สารลดน้ำมีคุณสมบัติช่วยลดความต้องการน้ำของคอนกรีต ทั้งนี้เพราะมีคุณสมบัติในการช่วยเปลี่ยนคุณสมบัติของผิวสัมผัสระหว่างของแข็งและน้ำในคอนกรีต ปกติอนุภาคของปูนซีเมนต์ในคอนกรีตจะมีประจุไฟฟ้าเคลือบค้างบนผิว โดยอาจเป็นขั้วบวกหรือลบก็ได้ อนุภาคซึ่งมีประจุต่างกันจะดูดรวมกันเป็นกลุ่ม (Flocculate) ซึ่งสามารถดูดน้ำได้ปริมาณมาก ทำให้เหลือน้ำหล่อลื่นคอนกรีตเหลวอยู่น้อย โมเลกุลของสารผสมเพิ่มชนิดนี้จะช่วยให้ประจุเป็นกลาง หรือทำให้ประจุบนผิวอนุภาคต่างๆ กลายเป็นประจุชนิดเดียวกัน จึงเกิดแรงผลักซึ่งกันและกัน ทำให้อนุภาคปูนซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์แยกตัวออกจากกัน น้ำที่ผสมในคอนกรีตส่วนใหญ่จึงทำหน้าที่ช่วยลดความหนืดของซีเมนต์เพสต์ มีผลทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้สูงขึ้น



รูปที่ 2.1 การทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ และน้ำ

2.1.1.3 <u>ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงาน</u>

1) ชนิดและปริมาณการใช้สารลดน้ำ เช่น องค์ประกอบทางเคมี ความเข้มข้น เป็นต้น
2) ชนิดและคุณสมบัติของวัสดุผสมคอนกรีตชนิดอื่นๆ
   - ชนิดและคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ เช่น ปริมาณ C_3A และ SO_3 เป็นต้น
   - ชนิดและคุณสมบัติของมวลรวม เช่น ขนาดคละ และรูปร่าง เป็นต้น
   - ชนิดและคุณสมบัติของสารผสมเพิ่มอื่นๆ ที่ใช้ในส่วนผสม เช่น สารปอซโซลาน ซึ่งมีอยู่หลายชนิด อาทิเช่น ซิลิกาฟูม มีความต้องการการใช้น้ำยามากกว่า เนื่องจากมีการดูดยึดสารลดน้ำมากกว่า

3) ส่วนผสมคอนกรีต เช่น ปริมาณปูนซีเมนต์ และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เป็นต้น

4) วิธีการใส่สารลดน้ำในการผสมคอนกรีต

5) อุณหภูมิ

ถ้าใช้สารลดน้ำในปริมาณปกติ โดยทั่วไปปริมาณน้ำที่ลดลงจะอยู่ในช่วงร้อยละ 8 – 12 อย่างไรก็ตาม ควรทดสอบในห้องปฏิบัติการก่อนนำไปใช้งานจริง เพื่อหาชนิดและปริมาณของสารลดน้ำที่จะให้บรรลุคุณสมบัติที่เหมาะสม

2.1.1.4 สารประกอบหลักที่ใช้ในการผลิตสารลดน้ำ แบ่งได้ 5กลุ่ม ได้แก่

1) กรดและเกลือลิกโนซัลโฟเนต (Lignosulphonates) ได้แก่ สารประกอบเกลือแคลเซียม (Ca) โซเดียม (Na) หรือแอมโมเนียม (NH_4) ของกรดลิกโนซัลโฟนิค (Lignosulphonic Acid)

2) กรดและเกลือลิกโนซัลโฟเนต ที่ได้จากการดัดแปลงและพันธะที่เกี่ยวข้อง

3) กรดไฮดรอกซีคาร์บอซีลิค (Hydroxycarboxylic Acid) และเกลือของมัน ได้แก่ สารประกอบโซเดียม แอมโมเนียม หรือไตรเอทาโนลามีน (Triethanolamine) ของกรดไฮดรอกซีคาร์บอซีลิค

4) กรดไฮดรอกซีคาร์บอซีลิคและเกลือของมัน ที่ได้จากการดัดแปลงและพันธะที่เกี่ยวข้อง

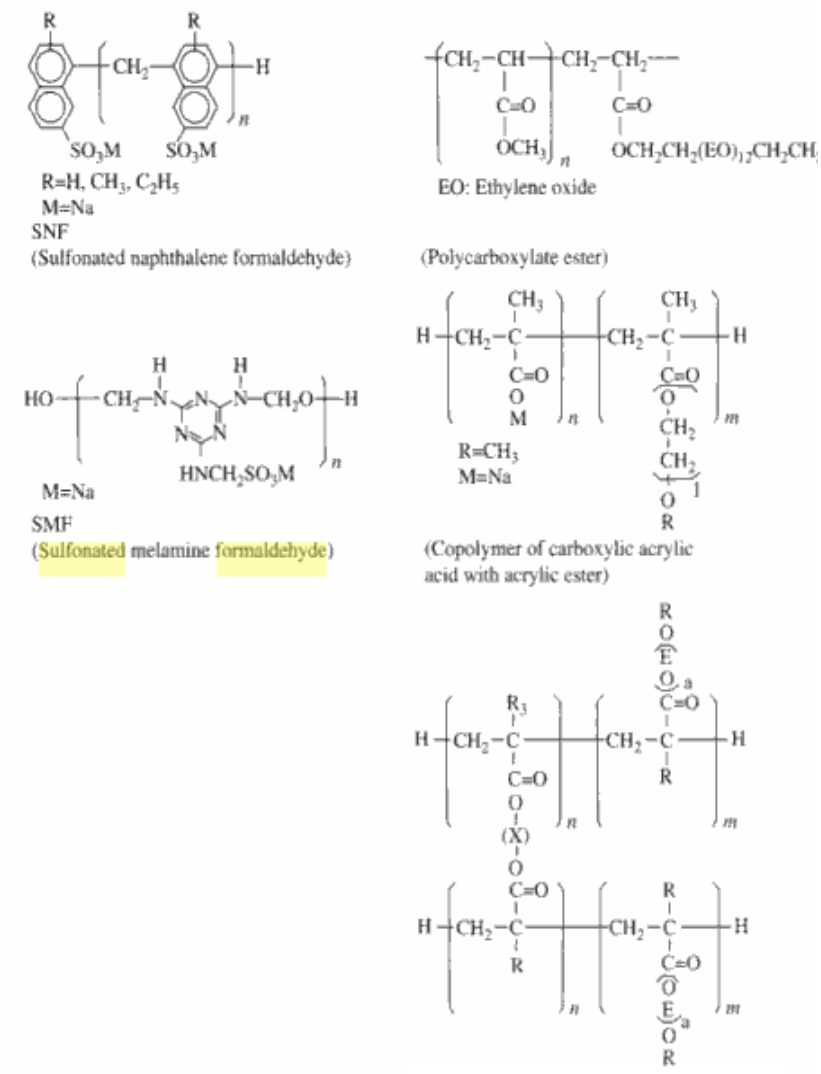
5) องค์ประกอบอื่นๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) เช่น Hydroxylated Polymer, สารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น Acrylate and Methacrylate Polymer และวัสดุหลายองค์ประกอบ เช่น พันธะเมลามีน (Melamine Derivative) พันธะแนพทาลีน (Naphthalene Derivative) เป็นต้น

2.1.2 สารเคมีผสมคอนกรีต

1) สารลดน้ำและหน่วงการก่อตัว (Water-Reducing and Retarding Admixtures) : เป็นสารผสมเพิ่มที่ใช้มากที่สุดสำหรับงานคอนกรีตในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับงานคอนกรีตผสมเสร็จ

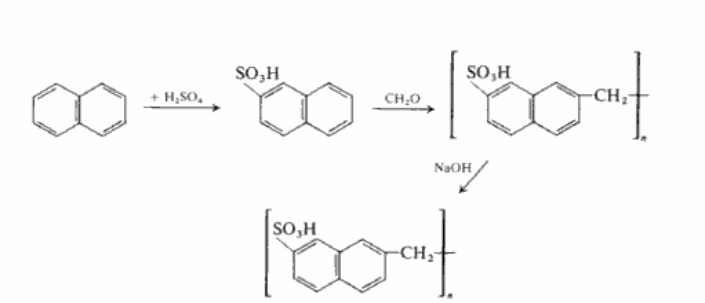
2) สารลดน้ำพิเศษ (High Range Water-Reducing Admixtures หรือ Superplasticizers) : มักเรียกกันอีกชื่อหนึ่งว่า “Superplasticizers” สารประเภทนี้สามารถลดปริมาณน้ำส่วนผสมได้ร้อยละ30-15 หรือมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากประจุไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดการผลักดัน มีแรงผลักดันมากกว่าสารลดน้ำทั่วๆไปมีคุณสมบัติช่วยให้คอนกรีตมีความสามารถถ่ายเทได้สูงขึ้นอย่างมาก ในปัจจุบันสารประเภทนี้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในวงงานคอนกรีตสำเร็จรูป เพราะการลดน้ำในปริมาณมากๆ ทำให้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำ ส่งผลทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดในช่วงต้นที่สูงมาก ทำให้สามารถตัดลวดอัดแรง และถอดแบบได้ในเวลารวดเร็ว รวมทั้งยังสามารถลดปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมได้ ซึ่งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย สารประเภทนี้โดยทั่วไปใช้กันอยู่ 3

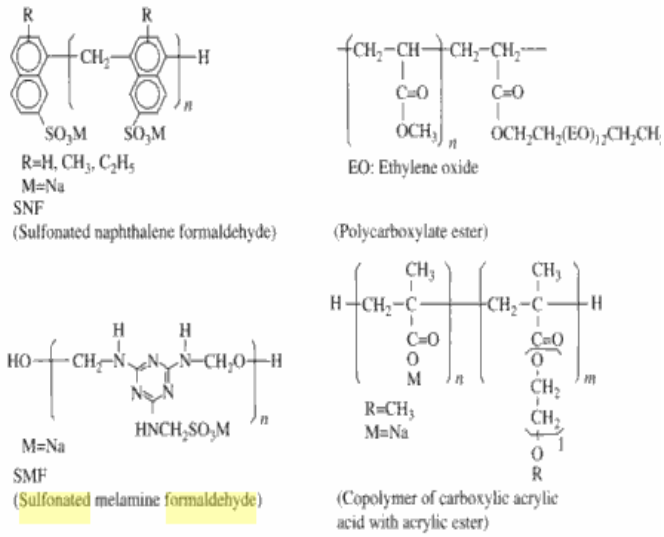
ชนิด ได้แก่ Sulphonated Naphthalene Formaldehyde (SNF), Sulfonate Melamine Formaldehyde (SMF) และ Polycarboxylate นอกจากนี้ผังมีชนิดอื่นๆ อีก เช่น Trietanolamine (ขัดขวางการหน่วงตัว), Tributyl phosphate (ลดปริมาณอากาศที่มากเกินไปในคอนกรีต), Hydroxycarboxylic acid salts และ Modified Lignosulphonates เป็นต้น



รูปที่ 2.2 ชนิดของสารเคมีของ Superplasticizer

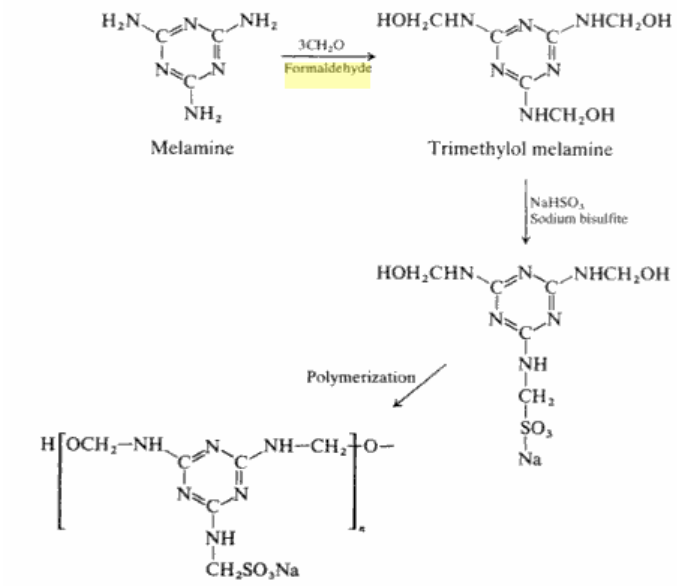
* Sulphonated Napthalene Formaldehyde (SNF) : วัตถุดิบชนิดนี้ถูกผลิตขึ้นจากแนฟทาลีน ผสมกับ โอเลี่ยม (Oleum หรือ กรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ99.88) เพื่อเกิดเป็นซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ซัลโฟเนชั่นภายใต้เงื่อนไขจะเกิดเป็น β - ซัลโฟเนต ต่อจากนั้นก็นำมาทำปฏิกิริยากับฟอร์มอลดีไฮด์ เพื่อที่เกิดจะเกิดกระบวนการพอลีเมอไรเซชั่น และกรดซัลโฟนิก ซึ่งจะถูกสะเทินด้วยโซเดียมไอดรอกไซด์ หรือปูนขาว (Lime) ซึ่งปฏิริยาที่เกิดสามารถดูได้จากรูปที่ 2.1 ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้นอกเหนือจากที่ต้องการ คือ โซเดียมซัลเฟต (Sodium Sulfate) โดยได้จากการทำปฏิกิริยาสะเทินกับปริมาณซัลโฟเนตที่มากเกินพอ แต่ก็สามารถลดปริมาณโซเดียมซัลเฟตได้โดยการนำมันไปตกตะกอนกับปูนขาวต่อ





รูปที่ 2.3 กระบวนการผลิต Sulphonated Napthalene Formaldehyde (SNF)

* Sulfonate Melamine Formaldehyde (SMF) : ถูกผลิตขึ้นจากกระบวนการรีซินนิฟิเกชั่นที่ปกติ โดยกระบวนการผลิตจะถูกแสดงดัง รูปที่ 2.2 และหากการดำเนินการที่ปกติคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณลักษณะตาม รูปที่ 2.2 ทั้งนี้ระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชั่นจะมีอิทธิพลต่อน้ำหนักโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ โดยความยาวมากที่สุดโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 30,000 โดยวัตถุดิบนี้อาจจะนำมันไปผสมกับ SNF เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ หรือนำไปใช้โดยที่ไม่ต้องนำไปผสมกับสารเคมีอื่นก็ได้ เมื่อนำมันไปใช้โดยที่ไม่ต้องนำไปผสม เราพบว่าสามารถลดปริมาณอากาศที่มากเกินไปในคอนกรีต หรือลดระยะเวลาในการก่อตัวได้



รูปที่ 2.4 กระบวนการผลิต Sulfonate Melamine Formaldehyde (SMF)

ตารางที่ 2.1 ชนิดคุณลักษณะ และคุณสมบัติของ Anionic Melamine Formaldehyde Resin (After Davis)

Key Parameter	Descriptions
Solid content (%), w/w	20
Viscosity (cP), and 20 ^{o}C	10
pH	8.5
Specific Gravity at 20 ^{o}C	1.12
Apperance	Clear water white solution

* Polyacrylates : Polyacrylate หลายชนิดถูกทำขึ้นจากมอนอเมอร์ที่เกี่ยวข้องโดยกลไกอนุมูลอิสระซึ่งใช้เปอร์ออกไซด์เป็นสารตั้งต้น

3) สารลดน้ำพิเศษและหน่วงการก่อตัว (High Range Water-Reducing and Retarding Admixture หรือ Superplasticizing and Retarding Admixtures) : เหมาะสำหรับงานคอนกรีตผสมเสร็จที่ต้องการคอนกรีตที่เหลวมากๆ เช่น คอนกรีตงานฐานรากแผ่ขนาดใหญ่ และชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีเหล็กเสริมหนาแน่น เป็นต้น โดยคอนกรีตที่ใส่สารประเภทนี้จะมีค่ายุบตัวมากกว่า 15 เซนติเมตร ทำให้สามารถลื่นไหลเข้าไป ในทุกซอกทุกมุมของเหล็กและแบบหล่อโดยไม่ต้องทำการจี้เขย่าคอนกรีตมากนัก คอนกรีตประเภทนี้มีชื่อเรียกทั่วๆไปว่า “Flow Concrete” นอกจากนี้ในปัจจุบัน ได้มีการนำสารประเภทนี้ไปประยุกต์ใช้ร่วมกับแร่ผสมเพิ่มในการทำคอนกรีตสำหรับงานชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีเหล็กเสริมหนาแน่นมากจนไม่สามารถเทด้วยวิธีการปกติได้และไม่สามารถจี้เขย่าได้ โดยรู้จักกันในชื่อ “คอนกรีตไหลเข้าแบบง่าย (Self Compacting Concrete)”

2.2 ผลงานที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 1995 M. Yousuf A. Mollah และคณะ: ได้รายงานถึงผลกระทบของ sodium lignosulfonate)สาร superplasticizer (ที่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ Portland cement type V รวมทั้งผลการเกิด solidification และ stabilization ซึ่งศึกษาโดยใช้เครื่อง XRD และ FT-IR ในการวิเคราะห์ผล พบว่า สาร superplasticizer จะยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น เนื่องจากสารsuperplasticizer จะไปลดปริมาณ $CaOH_2$ และลดการเกิดปฏิกิริยา polymerization ของ silicate anions ซึ่งเป็นผลมาจากในการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นระยะแรกจะเกิด Ca^{2+} ขึ้นในสารละลายซึ่งจะรวมตัวกับ counter ions ต่างๆ เกิดเป็น tightly-bound bi-layer และจะไปรวมตัวที่พื้นผิวของ calcium-silica-hydrate (CSH gel) ซึ่งมีประจุตรงข้าม แต่เมื่อในระบบที่มีสาร superplasticizer จะพบว่าตัวสารจะแสดงผลเป็น anion ซึ่งจะไปทำให้เกิดเป็น tri-layer ขึ้น แทนที่จะเป็น bi-layer เช่นที่กล่าวข้างต้น จึงเป็นเหตุให้ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยากับ CSH gel ต่อไป นั่นคือปฏิกิริยาไฮเดรชั่นถูกยับยั้งนั่นเอง

ในปี ค.ศ. 1998 Carmel Jolicoeur และ Marc-André Simard: รายงานถึงกลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารเคมีผสมเพิ่มกับซีเมนต์ โดยสารผสมเพิ่มที่ศึกษานั้นเป็นสารประเภท superplasticizer (ตัวที่เลือกศึกษาคือ polynaphthalene sulfonates; PNS) ซึ่งได้อธิบายกลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารเคมีผสมเพิ่มกับซีเมนต์สามารถแบ่งกลไกออกเป็น 3ช่วง ดังนี้

ช่วงที่ 1 PNS จะเกิดการดูดซับบนพื้นผิวซีเมนต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน aluminate phase (ซึ่งจะเกิดการแข่งขันกับ sulfate ion; SO_4^{2-}) เกิดเป็น multi-layer ซึ่งเหนี่ยวนำให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน ซึ่งจะทำให้การกระจายตัวและการไหลเกิดเพิ่มขึ้นและส่งผลให้ค่าความร้อนในการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นช่วงต้นลดลง จึงมีผลไปยับยั้งการเกิด nucleation รวมทั้งการขยายตัวของสารประกอบ hydrate

ช่วงที่ 2 โมเลกุล PNS ที่อยู่ในสารละลายจะไปยับยั้งการเกิด nucleation และการเติบโตของโมเลกุล hydrates ในแต่ละ phase รวมไปถึงแรงกระทำระหว่าง phase นอกจากนี้ PNS จะเข้าไปแทรกหรือรวมตัวอยู่กับ hydrate ที่เกิดขึ้นบางส่วน

ช่วงที่ 3 ในช่วงที่ 2 ถ้าใช้ระยะเวลาในการเกิดโมเลกุล hydrates นาน จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนรูปและความว่องไวต่างๆ ของโมเลกุล hydrates ถูกยับยั้ง อันเนื่องมาจากการแทรกซึมของโมเลกุล PNS

ดังนั้นกลไกในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารเคมีผสมเพิ่มกับซีเมนต์ ยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีและความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาของสารผสมเพิ่ม รวมทั้งองค์ประกอบทางเคมีของซีเมนต์

ในปี ค.ศ. 1998 Bouzoubaa และคณะ: ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใส่สารลดน้ำอย่างแรงเข้าไปในขั้นตอนการบดปูนซีเมนต์เลย โดยใส่แนฟทาลีนซุปเปอร์พลาสติไซเซอร์ที่เป็นผงเข้าไปในขั้นตอนการบดปูนซีเมนต์กับยิปซั่ม ซึ่งผลที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาที่เติมสารลดน้ำอย่างแรงในขั้นตอนที่ผสมกับน้ำ เพื่อศึกษาถึงความละเอียดของผลิตภัณฑ์ที่ได้และกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์เปรียบเทียบกับปูนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ธรรมดา และทดสอบเกี่ยวกับคุณสมบัติของคอนกรีตสดและคอนกรีตแข็งตัว พบว่าทำให้เวลาที่ใช้ในการบดปูนซีเมนต์ผสมสารลดน้ำอย่างแรงนั้นน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการบดปูนซีเมนต์ผสมสารลดน้ำอย่างแรงนั้นน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการบดปูนซีเมนต์ควบคุมที่ความละเอียดเดียวกัน ใช้ปริมาณน้ำต่อซีเมนต์เท่ากันในการทำมอร์ตาร์จากซีเมนต์ทั้งสองแบบที่มีปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงเท่ากัน และนอกจากนี้ที่ความละเอียดประมาณ $4500cm^2/g$ มอร์ตาร์ที่ทำจากซีเมนต์ที่บดพร้อมกับสารลดน้ำอย่างแรงมีกำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ควบคุม นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาปูนซีเมนต์ผสมสารลดน้ำอย่างแรงที่ความละเอียดมากกว่า $5000cm^2/g$ ด้วย โดยจะทดสอบเกี่ยวกับการสูญเสียค่าความยุบตัว ปริมาณอากาศ การเยิ้มเวลาในการก่อตัว และกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ผสมสารลดน้ำอย่างแรงในขั้นตอนการบดปูนซีเมนต์เปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ทำจากปูนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ธรรมดาที่เติมสารลดน้ำอย่างแรงเข้าไปตอนผสมคอนกรีต พบว่าผลที่ได้แตกต่างกันไม่ชัดเจนนัก

ในปี ค.ศ. 1999 M.Y.A. Mollah และคณะ: ศึกษาอิทธิพลของ sodium lignosulfonate ซึ่งเป็น superplasticizer (SP) ที่ส่งผลต่อการเกิดไฮเดรชั่นระยะต้นของ Portland cement (Type I) โดยใช้ Fourier Transform Infrared Spectroscopic (FT-IR) เป็นตัววิเคราะห์ผล ซึ่งจะพิจารณาจากเวลาและข้อมูลสเปกตรัมใน 3

บริเวณ ได้แก่ water region) > 1600 cm^{-1} (และ silicate region (< 1000 cm^{-1}) ซึ่งแสดงให้เห็นการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นระยะต้น ส่วน sulfate region (1100 - 1150 cm^{-1}) จะแสดงให้เห็นถึงการเกิด ettringite ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นพบว่าในกรณีที่ไม่มี SP การเกิดไฮเดรชั่นจะเกิดขึ้นใน 5ชั่วโมง แต่ถ้ามี SP ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะเกิดขึ้นใน 9 ชั่วโมง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า SP จะเป็นสารหน่วงและต้านการเกิดไฮเดรชั่นในระยะต้น

ในปี ค.ศ. 1999 Hanehara and Yamada: ทำการศึกษาเกี่ยวกับการทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์และสารผสมเพิ่ม โดยศึกษาจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์ พฤติกรรมการดูดซับสารผสมเพิ่มและโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งสารผสมเพิ่มสามารถช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพคอนกรีตให้มีกำลังรับแรงอัดสูง มีความสามารถในการเทได้ และทำให้คอนกรีตสามารถแน่นได้เองโดยไม่ต้องผ่านการจี้ คุณสมบัติของคอนกรีตสดนั้นได้รับผลอย่างมาก เนื่องจากการทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับสารผสมเพิ่ม วิธีการในการผสมสารผสมเพิ่มหรือปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ ส่วนปัญหาที่เกิดขึ้น เช่น การแข็งตัว และการสูญเสียความสามารถในการเทได้อย่างรวดเร็วก็เป็นผลมาจากการเข้ากันได้ไม่ดีระหว่างปูนซีเมนต์และสารผสมเพิ่ม ซึ่งเหตุการณ์เช่นนี้เรียกว่า ปูนซีเมนต์กับสารผสมเพิ่มไม่เข้ากัน ซึ่งการศึกษานี้ได้ศึกษาการทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับสารผสมเพิ่ม ซึ่งได้แก่ ลิกนินซีลโฟเนต แนฟทาลีนซัลโฟเนต เมลามีนซัลโฟเนต อะมิโนซัลโฟเนต และโพลีคาบอกซีเลต ในด้านปัจจัยการใช้งานและโครงสร้างภายใน โดยใช้การทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์มาเป็นตัวอธิบาย พบว่าสารลดน้ำอย่างแรงที่เป็นโพลีคาบอกซีเลตจะเข้ากับปูนซีเมนต์แต่ละชนิดได้มากที่สุดและความเข้ากันได้ของสารลดน้ำอย่างแรงที่เป็นโพลีคาบอกซีเลตกับปูนซีเมนต์นั้นเป็นผลมาจากปริมาณอัลคาไลน์ในปูนซีเมนต์เนื่องจากปริมาณอัลคาไลน์ซัลเฟตมีผลต่อการดูดซับสารผสมเพิ่มบนเม็ดปูนซีเมนต์ ส่วนสารลดน้ำอย่างแรงที่เป็นแนฟทาลีนซัลโฟเนตนั้นแตกต่างออกไปเพราะโมเลกุลของสารลดน้ำอย่างแรงจะถูกดูดซับลงบน C_3A, C_3AF และ f-CaO มากกว่า alite และ belite ดังนั้นเมื่อปูนซีเมนต์มีปริมาณ C_3A มาก ปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงที่จะถูกดูดซับลงบน alite และ belite น้อยลง ทำให้ความสามารถในการเทของคอนกรีตลดลง

ในปี ค.ศ. 1999 Jiang และคณะ: ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของปริมาณสารละลายอัลคาไลน์ในซีเมนต์เพสต์ว่ามีผลต่อความเข้ากันระหว่างปูนซีเมนต์และสารลดน้ำอย่างแรง โดยใช้โพลีแนฟทาลีนซัลโฟเนตซุปเปอร์พลาสติไซเซอร์ ในการศึกษาพบว่าปริมาณของอัลคาไลน์ที่เข้าสู่สารละลายในช่วง 3-2 นาทีแรกนี้เป็นส่วนสำคัญที่ช่วยควบคุมความข้นเหลว และการสูญเสียความสามารถในการเทได้ของซีเมนต์เพสต์ซึ่งผสมสารลดน้ำอย่างแรง ปริมาณอัลคาไลน์ที่เหมาะสมที่จะเพิ่มความสามารถในการเทได้และลดอัตราการสูญเสียความสามารถในการเทได้นั้น คือร้อยละ 0.5-0.4 ของ Na_2O ทั้งนี้ได้ทำการศึกษากับปูนซีเมนต์ 6ชนิด โดยในการเพิ่มปริมาณอัลคาไลน์นั้น จะเติม Na_2SO_4 ลงไป ซึ่งปริมาณอัลคาไลน์ที่เหมาะสมนั้นไม่ขึ้นกับปริมาณสารลด

น้ำอย่างแรงและชนิดของปูนซีเมนต์ และในปูนซีเมนต์ซึ่งมีปริมาณสารละลายอัลคาไลน์ที่เหมาะสม ปริมาณไตรแคลเซียมอะลูมิเนตจะไม่มีผลกับการสูญเสียความสามารถในการเทได้

ในปี ค.ศ. 1999 Grabiec และคณะ ได้ศึกษาผลกระทบของเมลามีนซุปเปอร์พลาสติไซเซอร์ที่มีคุณลักษณะของคอนกรีตคือ ความหนาแน่น กำลังอัดที่ 28 วัน และ 360 วัน การดูดซับน้ำและความทนทานต่ออากาศที่หนาวเย็นหลังจากเวลาผ่านไป 200 วัน โดยใช้การทดสอบการแช่แข็งและละลายเนื่องจากให้ความเย็นเป็นช่วงๆ และมีการหาปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ พบว่าคอนกรีตที่ใส่สารลดน้ำอย่างแรงมีกำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน สูงขึ้น มีการดูดซับน้ำต่ำ และมีความทนทานต่ออากาศหนาวเย็นสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ใส่สารลดน้ำอย่างแรง กำลังรับแรงอัดที่ 360 วันของคอนกรีตที่ใส่สารลดน้ำอย่างแรงทั้งที่บ่มในอากาศและบ่มในน้ำ จะมีกำลังแรงอัดต่ำกว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใส่สารลดน้ำอย่างแรงที่ 28 วัน และกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลงหลังจากที่ผ่านอากาศที่หนาวเย็นเป็นจำนวน 200 วัน สาเหตุที่กำลังรับแรงอัดที่ลดลงนั้นเนื่องมาจากปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นทั้งหลังจากแข็งตัว 360 วัน และหลังจากผ่านอากาศที่หนาวเย็นเป็นจำนวน 200 วัน

ในปี ค.ศ. 2001 N.B. Singh และคณะ: ได้รายงานถึงผลกระทบของ lignosulfonate และ calcium chloride ($CaCl_2$) ซึ่งเป็นสารผสมเพิ่ม (admixtures) ที่ส่งผลกระทบต่อ Portland cement ที่มีส่วนผสมของ เถ้าแกลบข้าว (rice husk ash; RHA) ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และในระบบการทดลองจะเติม $CaCl_2$ ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก และ lignosulfonate ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก จากผลการทดลองพบว่า $CaCl_2$ จะเร่งปฏิกิริยาระหว่าง ($CaOH_2$) และ RHA (pozzolanic reation) นอกจากนี้ยังพบว่าระบบที่มีสารผสมเพิ่มทั้ง 2 ชนิด จะช่วยลดปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมปูนซีเมนต์เพสต์ รวมทั้งเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชั่น และค่ากำลังอัดช่วงปลาย (compressive strength at 28 days) มีค่าสูงที่สุด (~ 96 kN/cm^2) แต่อย่างไรก็ตาม ปูนซีเมนต์ที่มีส่วนผสมของสารผสมเพิ่มทั้ง 2 ชนิดนี้ จะไม่ทนต่อสภาวะกัดกร่อน

ในปี ค.ศ. 2002 Prince และคณะ: ศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาระหว่างเอทตริงไกท์ และโพลีแนฟทาลีนซัลโฟเนตในซีเมนต์เพสต์ จากการทดสอบพบว่าสารลดน้ำอย่างแรงนั้นไม่ได้ถูกดูดซับลงบนส่วนของ anhydrous เท่านั้น แต่ยังถูกดูดซับลงบนผลึกที่เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นด้วย ทำให้เอทตริงไกท์ หยุดการก่อตัว แต่เมื่อโมเลกุลของสารลดน้ำอย่างแรงถูกนำไปใช้จนหมดแล้ว ผลึกของเอทตริงไกท์ ก็จะพัฒนาต่อไป ซึ่งผลจากการดูดซับโมเลกุลของสารลดน้ำอย่างแรงลงบนเฟสที่ทำปฏิกิริยากับน้ำนั้นเกิดผลคือ เกิดประจุไฟฟ้าล้อมรอบเม็ดซีเมนต์ ทำให้เกิดแรงผลักกัน ช่วยทำให้เม็ดซีเมนต์กระจายตัวออกจากกัน และชะลอการเกิดเอทตริงไกท์ ในลักษณะที่เป็นเข็มยาวๆ ซึ่งเอทตริงไกท์ในลักษณะนี้จะลดความสามารถในการเทได้ของซีเมนต์เพสต์ เป็นผลให้ยืดระยะเวลาในการใช้งานออกไป

ในปี ค.ศ. 2006 K.Tosun, B. Felelpglu และ B. Baradan: ได้ศึกษาถึงผลกระทบของสารผสมเพิ่มประเภท plasticizer 3 ชนิด ได้แก่ สารประกอบจำพวก lignosulfonate, sulfonated naphthalene formaldehyde และ polycarboxylate ที่ส่งผลต่อการขยายตัวของซีเมนต์อันเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา Alkali-Silica (Alkali-Silica Reaction)โดยใช้ซีเมนต์ 2 ประเภท ได้แก่ ซีเมนต์ที่มีปริมาณอัลคาไลน์สูง.0 (0.98 Na_2O eq.) และซีเมนต์ที่มีอัลคาไลน์ต่ำ (0.53Na_2O eq.) จากการทดลองพบว่า ชนิดและปริมาณของสารผสมเพิ่มไม่มีผลต่อการขยายตัวอันเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา Alkali-Silica ของซีเมนต์ที่มีปริมาณอัลคาไลน์สูงและซีเมนต์ที่มีอัลคาไลน์ต่ำ แต่ในมอร์ตาร์พบว่า ถ้ามีสารผสมเพิ่มจำพวก lignosulfonate และ naphthalene base มากเกินไปจะเป็นผลให้เกิดการขยายตัวอันเนื่องจากการสูญเสียเสถียรภาพของมอร์ตาร์ ส่วนสารจำพวก polycarboxylate base เมื่อใช้ในปริมาณสูง จะเพิ่มกำลังและลดการซึมผ่าน (low capillary permeability) จึงเป็นเหตุให้ การขยายตัวอันเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา Alkali-Silica ลดลง

ในปี 2007 Tomohiro Emoto และ Thomas A. Bier: ได้ศึกษาอิทธิพลของสารผสมเพิ่มประเภท plasticizer ชนิด Polycarboxylate ether)โดยศึกษาเปรียบเทียบ 3ชนิดได้แก่ MF PP100F, MF 2651F และ MF 1641F (ที่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของซีเมนต์ในระบบ Self-Level Underlayment (SLU) อันได้แก่ ความสามารถในการเท (Workability) สภาพการไหล (Rheology) และจลนศาสตร์ของการเกิดไฮเดรชั่น (hydration kinetic) ซึ่งระบบ SLU ที่ศึกษามี 2 ระบบ คือ ระบบ Ettringite (Calcium aluminates cement) และระบบ CAH-CSH system (Portland cement) จากการศึกษาพบว่า ระบบ Ettringite จะเกิด short open time ส่วนระบบ CAH-CSH system จะเกิด long open time ส่วนสมบัติทาง Rheology และ hydration kinetic นั้น พบว่าจะขึ้นกับชนิดของ plasticizer โดย plasticizer ชนิด MF 2651F จะช่วยให้เกิดการไหลได้ดีที่สุด และซีเมนต์ก่อตัวเร็ว รองลงมาคือ MF PP100F และ MF 1641F ตามลำดับ แต่ MF PP100F จะหน่วงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นได้มากที่สุด และในส่วนผสมที่มีสารหน่วง (Retarder) พบว่าสารหน่วงที่เป็น Tartaric acid จะทำให้ซีเมนต์เกิดการแผ่ (Contributed to a thinning)ได้ดีกว่า Citric acid รวมทั้งยังหน่วงการเกิดปฏิกิริยา ไฮเดรชั่นได้มากกว่า แต่อย่างไรก็ตาม สามารถยืด open time และกำหนดให้ค่าการไหลลงที่ในระบบ เอทตริงไกท์ โดยการเพิ่มสารหน่วงเข้าไปในระบบนั่นเอง

บทที่ 3
เครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมีและวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3

2) น้ำยาผสมคอนกรีต Type F (ชนิดลดปริมาณน้ำจำนวนมาก) ได้แก่

2.1) น้ำยาผสมคอนกรีต Type F ยี่ห้อ Sikament FF ที่จำหน่ายในท้องตลาด

2.2) น้ำยาผสมคอนกรีต Type F ยี่ห้อ Mighty MXT ที่จำหน่ายในท้องตลาด

2.3) น้ำยาผสมคอนกรีต Type F ยี่ห้อ Viscocrete ที่จำหน่ายในท้องตลาด

2.4) น้ำยาผสมคอนกรีต type F ที่เป็น Naphthalene sulfonate ที่พัฒนาขึ้น (วัตถุดิบได้มาจากผลิตภัณฑ์ข้างเคียงจากอุตสาหกรรมหนึ่ง)

2.5) น้ำยาผสมคอนกรีต type F ที่เป็น Polycarboxylic ether ที่พัฒนาขึ้น (วัตถุดิบได้มาจากบริษัท วิสต้า จำกัด)

2.6) น้ำยาผสมคอนกรีต type F ที่เป็น Melamine sulfonate (วัตถุดิบได้มาจากบริษัท อินเกรสโซส์ จำกัด)

2.7) Casein ที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้เป็นน้ำยาผสมคอนกรีต type F (วัตถุดิบได้มาจากบริษัท บัสกัม จำกัด)

3.2 จำนวนตัวอย่างทดสอบ

3.2.1 การทดสอบด้วยเครื่อง GC-MS และเครื่อง FTIR เพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำยาผสมคอนกรีตที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ได้แก่ Sikament FF, Mighty MXT และ Viscocrete

3.2.2 การทดสอบเป็นชุด ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 และ น้ำยาผสมคอนกรีต 3 ยี่ห้อ และ น้ำยาผสมคอนกรีตที่เตรียมขึ้น 4 ตัวอย่าง จะทำการทดสอบจำนวน 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย สำหรับการทดสอบทางกายภาพ (ค่าต้านทานกำลังอัด, ระยะเวลาการก่อตัว, Air content, Expansion) และการทดสอบการเข้ากันได้ (การทดสอบโดยใช้โคน, การทดสอบมินิสลัม) จำนวนทั้งสิ้น 54 ตัวอย่าง และแต่ตัวอย่างจะทำการทดสอบที่ปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงต่าง ๆ กัน 6 สัดส่วนรวมเป็นการทดลองทั้งสิ้น 324 ตัวอย่าง

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

1) X-Ray Diffraction
2) Master Seizer
3) Air Jet Sieve
4) Laser Granulom Blaine Apparatus
5) Furnace
6) Hydrometer
7) FTIR
8) GC-MS
9) pH Meter
10) Density Meter
11 (SEM (Scanning Electron Microscope)
12) Automatic Setting Time
13) Mold / Autocave
14) Flow Table
15) Conical Cone
16) Rapid Chloride
17) Compressive Machine

เครื่องมือที่ใช้ทดสอบในการดำเนินการศึกษาในครั้งนี้ เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและความสามารถของน้ำยาผสมคอนกรีต โดยได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) และคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 วิธีการทดลอง

ศึกษาข้อมูลองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 และซีเมนต์เพสต์ที่ผสมน้ำยาผสมคอนกรีต type F ทั้ง 3 ยี่ห้อที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ได้แก่

1. Sikament FF
2. Mighty MXT
3. Viscocrete

และสารอีก 4 ชนิด ที่พัฒนาขึ้นเอง ได้แก่

1. Naphthalene sulphonate
2. Polycarboxylic ether
3. Melamine sulfonate
4. Casein

ซึ่งวิธีการทดสอบ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ สามารถจำแนกได้ดังตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1 การทดสอบตัวอย่างคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุวิจัย

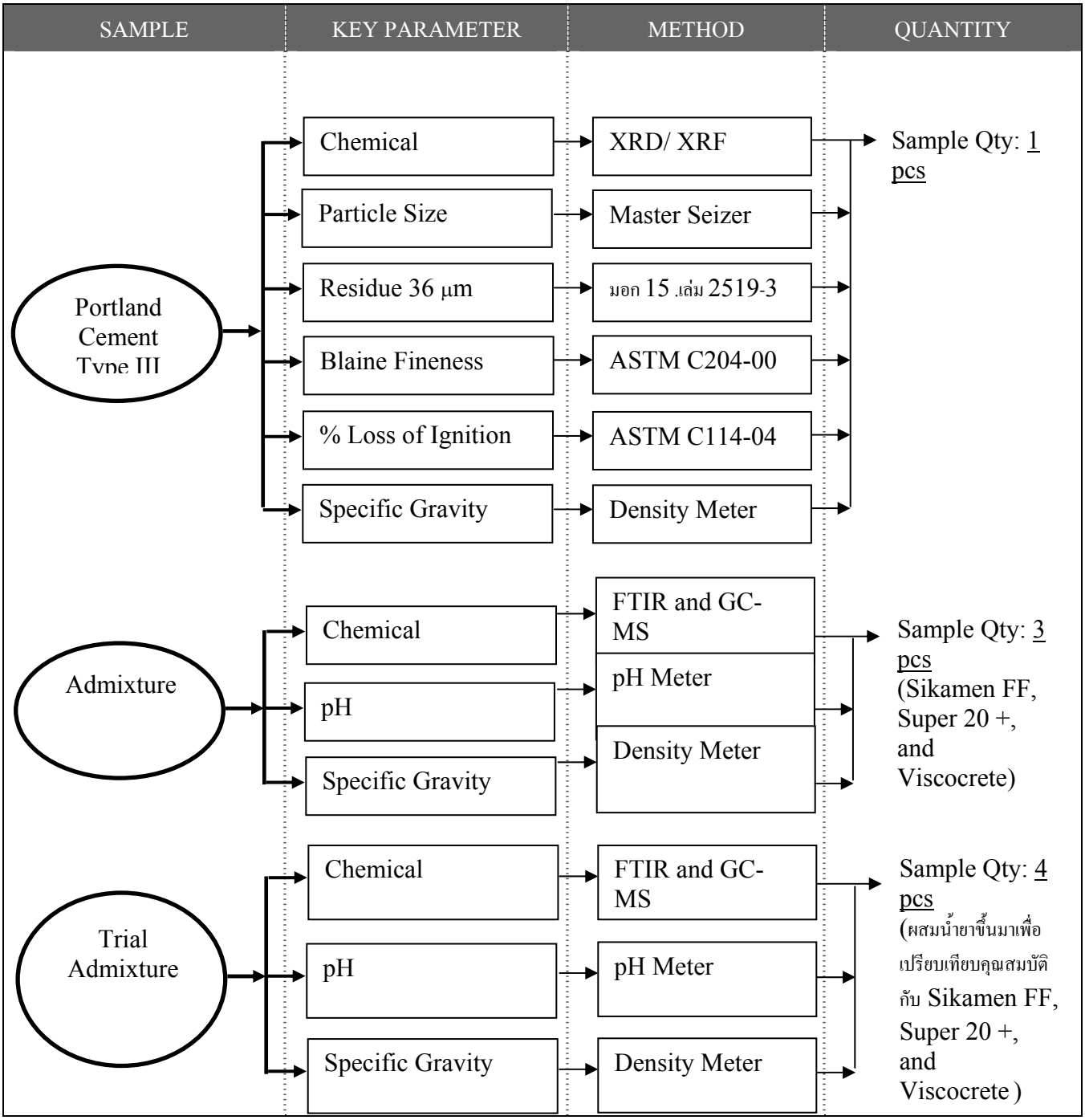
วัสดุ	การทดสอบ	เครื่องมือ ที่ใช้ในการทดสอบ
ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3	องค์ประกอบทางเคมี (Chemical Composition)	XRF
	ขนาดการกระจายตัวของอนุภาค (Particle Size Distribution)	Master Seizer
	ร้อยละปริมาณส่วนตกค้างขนาด 36ไมครอนบนตะแกรง, (%R36)	Air Jet Sieve
	ค่าความละเอียด (Blaine Fineness)	Laser Granulom Blaine Apparatus
	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักจากการเผาไหม้ (%Loss of Ignition)	Furnace
	ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)	Hydrometer
น้ำยาผสมคอนกรีต Type F (ชนิดลดปริมาณน้ำจำนวนมาก) ยี่ห้อ Sikament FF, Super 20+ และ Viscocrete	องค์ประกอบทางเคมี (Chemical Composition)	FTIR และ GC-MS

ตารางที่ 3.1 การทดสอบตัวอย่างคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุวิจัย (ต่อ)

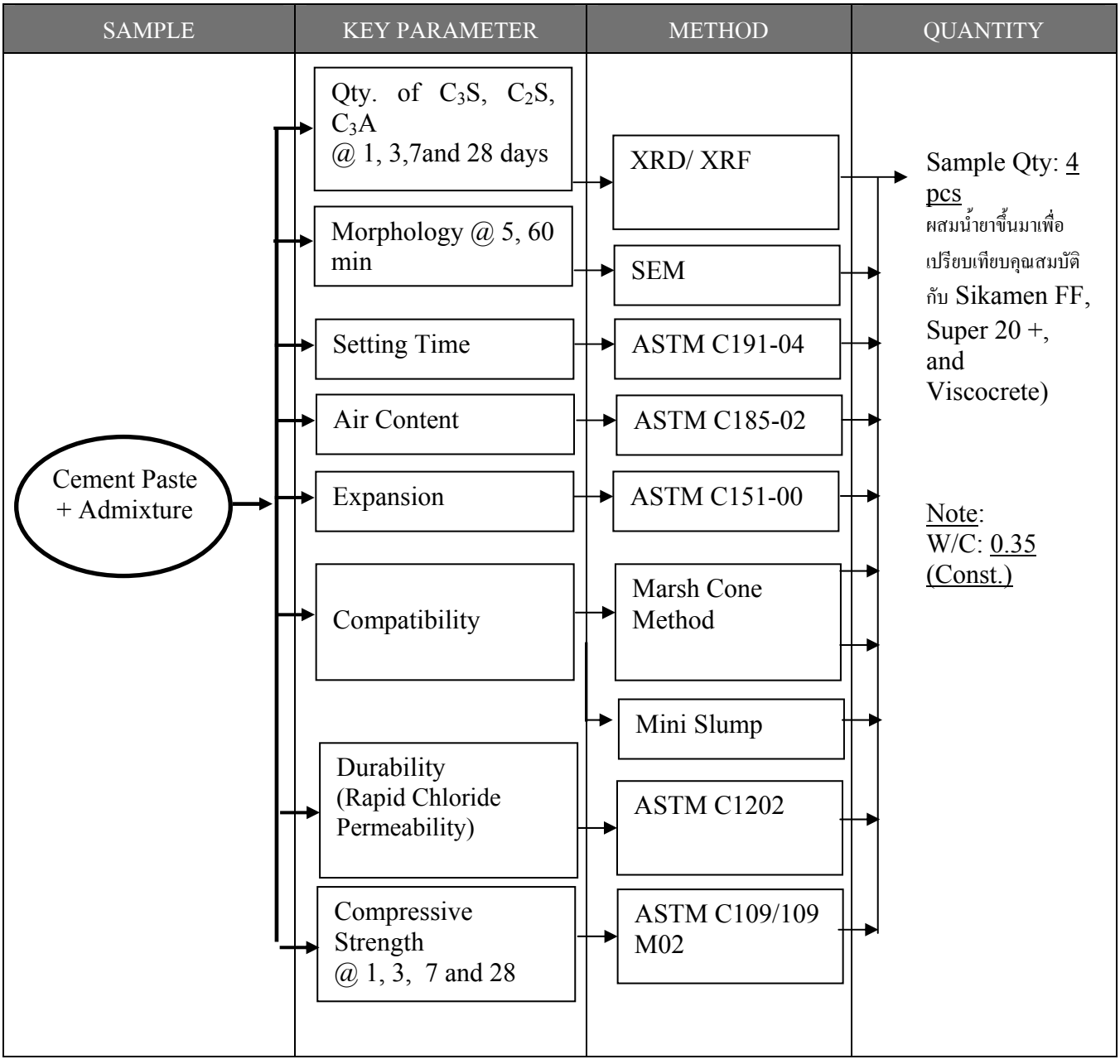
วัสดุ	การทดสอบ	เครื่องมือ ที่ใช้ในการทดสอบ
ซีเมนต์เพสต์ + น้ำยาผสมคอนกรีต Type F (ชนิดลดปริมาณน้ำจำนวนมาก) ยี่ห้อ Sikament FF, Mighty MXT และ Viscocrete	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH Meter
	ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)	Density Meter
	ปริมาณ C_3S, C_2S และ C_3A (Quantity of C_3S, C_2S and C_3A)	XRD (X-Ray Diffraction)
	รูปร่างและลักษณะของ C_3S, C_2S และ C_3A (Morphology)	SEM (Scanning Electron Microscope)
	ระยะเวลาการก่อตัว (Setting Time)	Automatic Setting Time
	ปริมาณอากาศ (Air Content)	Mold
	การขยายตัว (Expansion)	Mold/ Autoclave
	การไหลตัวของซีเมนต์เพสต์ (Flow Table)	Flow Table
	ค่าการจมตัว (Mini Slump)	Conical Cone
	ค่าความคงทน (Durability)	Rapid Chloride
	ค่ากำลังอัด [1, 3, 7, และ 28 วัน](Compressive Strength)	Compression Machine

ทั้งนี้ได้จัดทำ แผนภาพที่สามารถเข้าใจถึงวิธีการทดสอบ ,มาตรฐานวิธีการทดสอบ และจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบได้ง่ายดังตารางที่ 3.2 ดังนี้คือ

ตารางที่ 3.2 แผนภาพของการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างที่จะนำมาวิจัย



ตารางที่ 3.2 แผนภาพของการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างที่จะนำมาวิจัย (ต่อ)



3.5 ขั้นตอนการทดลอง

3.5.1 ศึกษาลักษณะเฉพาะของวัตถุดิบ

1) การหาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำยาผสมคอนกรีต Type F โดยเครื่อง FTIR

2) การทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณของสารเคมีในน้ำยาผสมคอนกรีต Type F โดยเครื่อง GC-MS

เมื่อทราบองค์ประกอบเบื้องต้น ของน้ำยาทั้ง 3 ชนิด ทำการเตรียม ตัวอย่าง โดยการผสมในสัดส่วนที่วิเคราะห์ ได้ และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีเบื้องต้น เช่น S.G. ,pH เป็นต้น และองค์ประกอบของน้ำยาผสมคอนกรีต Type F (ชนิดลดปริมาณน้ำจำนวนมาก) ยี่ห้อ Sikament FF, Mighty MXT และ Viscocrete โดยใช้เครื่อง FTIR และ GC-MS อีกครั้งเพื่อยืนยัน

3.5.2 ออกแบบชุดการทดลองเพื่อทดสอบสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์

1) ความเข้มข้นของน้ำยาผสมคอนกรีต (ที่พัฒนาขึ้น)

ค่าความเข้มข้นของน้ำยาผสมคอนกรีตที่พัฒนาขึ้นนั้นจะต้องพิจารณาถึงต้นทุนที่ต้องไม่แพงกว่าน้ำยาผสมคอนกรีตที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด และให้ประสิทธิภาพในการไหลเทของซีเมนต์เพสต์ที่อยู่ในช่วงการยอมรับตามมาตรฐาน ASTM เมื่อกำหนดให้ค่า w/c = 0.38 ดังนั้นค่าความเข้มข้นของสารแต่ละชนิดที่ใช้สำหรับผลิตเป็นน้ำยาผสมคอนกรีตได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ความเข้มข้นของสารตั้งต้นแต่ละชนิดในการนำไปใช้ผลิตเป็นน้ำยาผสมคอนกรีต

ชนิดของสาร	ความเข้มข้น (%)	ชนิดของตัวทำละลาย
Naphthalene sulphonate	5 - 30	น้ำ (H_2O), ฟอร์มัลดีไฮด์ผสมเมทธานอล (H_2CO/CH_3OH)
Polycarboxylic ether	5-10	น้ำ (H_2O)
Melamine sulphonate	5-10	น้ำ (H_2O)
Casein	0.5 - 13	ไม่มีการละลาย (Don't use solvent), โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH)

2) ทดสอบสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์เมื่อเติมน้ำยาผสมคอนกรีต (ที่พัฒนาขึ้น) เทียบกับน้ำยาผสมคอนกรีตที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

หลังจากทำการศึกษาความเข้มข้นของน้ำยาผสมคอนกรีต (ที่พัฒนาขึ้น) ที่มีความเหมาะสมแก่การนำไปใช้งานแล้ว จึงทำการทดสอบประสิทธิภาพของน้ำยาผสมคอนกรีตที่พัฒนาขึ้น เพื่อเทียบกับประสิทธิภาพของน้ำยาผสมคอนกรีตที่มีจำหน่ายอยู่ตามท้องตลาด โดยการทดสอบสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งได้ออกแบบชุดการทดลองโดยแสดงไว้ที่ตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ชุดทดลองสำหรับศึกษาสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์

ลำดับ	ชนิดของสาร	ปริมาณที่ใช้	วัตถุดิบ (กรัม)		
			ปูนซีเมนต์	ทราย	น้ำ
1	Mighty MXT	1%	450	1238	171
2	Mighty MXT	2%	450	1238	171
3	5% NS	2%	450	1238	171
4	10% NS	2%	450	1238	171
5	15% NS	2%	450	1238	171
6	20% NS	2%	450	1238	171
7	5% NS in H_2CO/CH_3OH	1%	450	1238	171
8	10% NS in H_2CO/CH_3OH	1%	450	1238	171
9	15% NS in H_2CO/CH_3OH	1%	450	1238	171
10	20% NS in H_2CO/CH_3OH	1%	450	1238	171
11	5% PC	1%	450	1238	171
12	5% PC	2%	450	1238	171
13	10% PC	1%	450	1238	171
14	10% PC	1.5%	450	1238	171
15	10% PC	2%	450	1238	171
16	5% MS-10	1%	450	1238	171
17	5% MS-10	2%	450	1238	171

ตารางที่ 3.4 ชุดทดลองสำหรับศึกษาสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์ (ต่อ)

ลำดับ	ชนิดของสาร	ปริมาณที่ใช้	วัตถุดิบ (กรัม)		
			ปูนซีเมนต์	ทราย	น้ำ
18	10% MS-15	1%	450	1238	171
19	10% MS-15	2%	450	1238	171
20	Casein	0.5%	450	1238	171
21	10% Casein	1%	450	1238	171
22	10% Casein	2%	450	1238	171
23	13% Casein	1%	450	1238	171
24	13% Casein	1.5%	450	1238	171
25	13% Casein	2%	450	1238	171

หมายเหตุ: NS = Naphthalene sulphonate, PC = Polycarboxylic ether, MS = Melamine sulphonate

3) ทดสอบสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์เมื่อเพิ่มอัตราส่วน w/c และจำนวนการเคาะ flow table

ศึกษาสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์ เมื่อเพิ่มอัตราส่วน w/c จาก 0.38 เป็น 0.46 และ 0.58 ตามลำดับ และศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการเคาะ flow table โดยเพิ่มจำนวนการเคาะจาก 15 ครั้ง เป็น 25 ครั้ง เพื่อศึกษาว่าตัวแปรทั้ง 2 นี้มีความสัมพันธ์กันหรือไม่ ชุดการทดลองจะเป็นการทดลองเดียวกันกับที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.4 โดยจะเลือกน้ำยาผสมคอนกรีตที่พัฒนาขึ้น (เฉพาะตัวที่สนใจที่นำไปใช้ศึกษาต่อในงานคอนกรีต) เทียบกับน้ำยาผสมคอนกรีตที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด

3.5.3 ออกแบบชุดการทดลองเพื่อทดสอบ slump ของคอนกรีต

1) ชุดการทดลองที่ 1 : การหาค่า slump ของคอนกรีต เมื่อกำหนดให้ w/c = 0.38

ค่าความเข้มข้นของน้ำยาผสมคอนกรีตที่พัฒนาขึ้น จะถูกเลือกเพื่อมาใช้ในงานคอนกรีตโดยพิจารณาจากค่าความสามารถในการไหลเทของซีเมนต์เพสต์ เมื่อกำหนดให้ค่า w/c = 0.38 โดยชุดการทดลองเพื่อทดสอบ slump ของคอนกรีตแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ชุดการทดลองเพื่อหา slump ของคอนกรีต เมื่อกำหนดให้ค่า w/c = 0.38

No.	Admixture type	% dosage of admixture	Raw materials for slump of concrete testing [kg]							
			cement	sand	Rock 3/4"	Rock 1/2"	Rock 3/8"	Rock 4 "	water	admixture
1	Blank	2.0	13	29	3	16	7	17	4.94	0.26
2	Mighty MXT	2.0	13	29	3	16	7	17	4.94	0.26
3	Sigament FF	2.0	13	29	3	16	7	17	4.94	0.26
4	Viscocrete	2.0	13	29	3	16	7	17	4.94	0.26
5	13% Casein	2.0	13	29	3	16	7	17	4.94	0.26
6	10% Casein	2.0	13	29	3	16	7	17	4.94	0.26
7	30% NS	2.0	13	29	3	16	7	17	4.94	0.26
8	10% PC	1.5%	13	29	3	16	7	17	4.94	0.26

หมายเหตุ: NS = Naphthalene sulphonate

2) ชุดการทดลองที่ 2 : การหาค่า w/c ของแต่ละชุดการทดลองของคอนกรีต เพื่อให้ได้ slump ของคอนกรีตไม่น้อยกว่า 7

ค่าความเข้มข้นของน้ำยาผสมคอนกรีตที่พัฒนาขึ้น จะถูกเลือกเพื่อมาใช้ในงานคอนกรีตนี้ โดยพิจารณาการเลือกใช้น้ำยาผสมคอนกรีตเช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 1 โดยชุดการทดลองเพื่อทดสอบ slump ของคอนกรีตแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ชุดการทดลองเพื่อหา w/c ของคอนกรีต เพื่อให้ได้ค่า slump ไม่น้อยกว่า 7

No.	Admixture type	% dosage of admixture	Raw materials for slump of concrete testing [kg]							
			cement	sand	Rock 3/4"	Rock 1/2"	Rock 3/8"	Rock 4 "	admixture	ปริมาณน้ำเริ่มต้น
1	Blank	2.0	13	29	3	16	7	17	0.26	4.94
2	Mighty MXT	2.0	13	29	3	16	7	17	0.26	4.94
3	Sigament FF	2.0	13	29	3	16	7	17	0.26	4.94
4	Viscocrete	2.0	13	29	3	16	7	17	0.26	4.94
5	13% Casein	2.0	13	29	3	16	7	17	0.26	4.94
6	10% Casein	2.0	13	29	3	16	7	17	0.26	4.94
7	30% NS	2.0	13	29	3	16	7	17	0.26	4.94
8	10% PC	1.5	13	29	3	16	7	17	0.26	4.94

หมายเหตุ: NS = Naphthalene sulphonate

3.5.4 การทดสอบการเข้ากันได้

1) การทดสอบหาค่าการจมตัว (Mini-Slump) - วิธีนี้คล้ายกับการทดสอบความยุบตัวของคอนกรีต แต่ใช้ซีเมนต์เพสต์จำนวนเพียงเล็กน้อยแทนคอนกรีต โดยใช้มินิสลัมพ์โคนที่แสดงดังรูปที่ 3.1 ในการทดลองนั้นจะวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของซีเมนต์เพสต์ที่เวลา 10, 30, 40, 60 และ 90นาที แล้วนำมาเขียนกราฟระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางของซีเมนต์เพสต์กับเวลา

รูปที่ 3.1 วิธีการทดสอบ Mini slump

2) การทดสอบหาค่าความหนืดของของไหลโดยวิธีการทดสอบโดยใช้โคน (Marsh ConeMethod) – หาปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสม - เริ่มจากใช้ปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ 0.38 และปริมาณสารลดน้ำอย่างแรง 1% ตรวจสอบดูที่เวลา 5 นาที ซีเมนต์เพสต์ใช้เวลาในการไหลออกจากโคนอยู่ระหว่าง 60– 90 วินาทีหรือไม่ ถ้ายังให้ปรับเพิ่มหรือลดปริมาณน้ำต่อซีเมนต์จนกว่าที่ซีเมนต์เพสต์ที่เวลา 5 นาที ใช้ในการไหลจนหมดโคนอยู่ระหว่าง 60– 90 วินาที

3.5.5 การทดสอบการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง ปูนซีเมนต์ เพสต์และน้ำยาผสมคอนกรีต

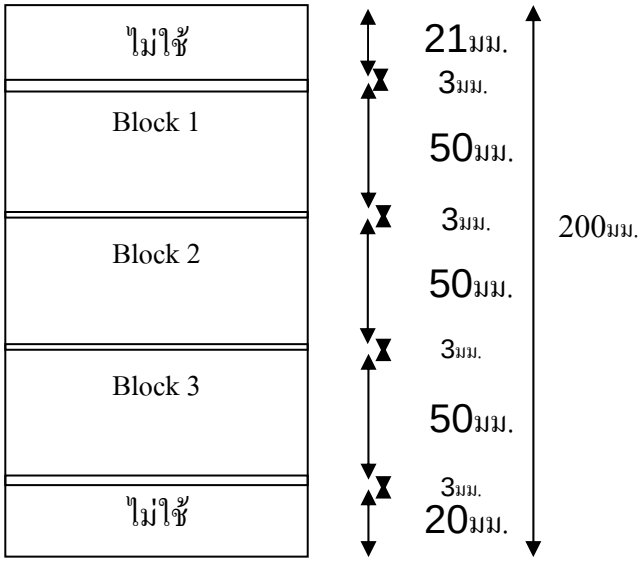
การทดสอบโดยใช้เครื่อง SEM เพื่อดูปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ เพสต์และน้ำยาผสมคอนกรีตที่ผสมขึ้นใหม่ และที่มีขายในท้องตลาดที่ระยะเวลา 5 นาที และ 60 นาที โดยใช้ w/c =0.35 หลังจากนั้น ทำการทดสอบปูนซีเมนต์เพสต์และน้ำยาผสมคอนกรีต เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ค่าต้านทานกำลังอัด (ที่อายุ 1 ,3 , 7 ,28 วัน) ระยะเวลาการก่อตัว ,Air content และทดสอบหา องค์ประกอบทางเคมีของซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้วที่ อายุ 1 ,3 , 7, 28 วัน ด้วยเครื่อง XRD และ XRF

3.5.6 การทดสอบหาค่าความคงทน (Durability)

แบ่งตามลักษณะของตัวอย่างที่ใช้เป็น 2ประเภท ดังนี้

1) ตัวอย่างที่ได้จากการตัดแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม . สูง 200

มม. โดยทรงกระบอก 1 แท่ง เมื่อตัดแล้วจะได้ 3 บล็อก ได้แก่ บล็อค ,1 2 และ 3 ซึ่งแต่ละบล็อคมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม . สูง 50 มม . ดังแสดงในรูปที่ 3.2 หลังจากตัดเสร็จปล่อยทิ้งในอากาศ 24 ชั่วโมง จึงเคลือบผิวด้านข้างด้วยอีพอกซี ทิ้งไว้ในอากาศอีก 24 ชั่วโมง จึงนำไปใช้ในการทดสอบต่างๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งของบล็อค 1 บล็อค 2 และ 3 ที่ได้จากการตัดตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม .สูง 200 มม .ที่ใช้ในการทดสอบต่างๆ

- ความต้านทานต่อการแทรกซึมของคลอไรด์ของคอนกรีต ตามมาตรฐาน ASTM C 1202-94 (Electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration) ใช้บล็อก 2 ของแท่งที่ 5 และ 6 จำนวน 2ตัวอย่างต่อ 1ส่วนผสม การทดสอบ การทำให้ตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำ และขั้นตอนในการทดสอบแสดงในรูปที่ 3.3 ตามลำดับ

- ตัวอย่างจมในสารละลายบางส่วน นำไปปรับเสถียรภาพในห้องความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 เป็นเวลา 7วัน จึงนำไปแช่ในสารละลาย แช่ตัวอย่างในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เข้มข้นร้อยละ 3 ให้มีระยะจม 5 มม. โดยมีรายละเอียดการใช้ตัวอย่างตามระยะเวลาแช่ ดังนี้

  - ระยะเวลาที่แช่ 7 วัน ใช้บล็อก 1 และ 2 ของตัวอย่างที่ 3 จำนวน 2 ตัวอย่างต่อ 1 ส่วนผสม
  - ระยะเวลาที่แช่ 30 วัน หรือ 1 เดือน ใช้บล็อก 3 ของตัวอย่างที่ 3 และบล็อก 1 ของตัวอย่างแท่งที่ 4จำนวน 2 ตัวอย่างต่อ 1 ส่วนผสม
  - ระยะเวลาที่แช่ 90 วัน หรือ 3 เดือน ใช้บล็อก 2 ของตัวอย่างที่ 4 จำนวน 1 ตัวอย่างต่อ 1 ส่วนผสม
  - ระยะเวลาที่แช่ 180 วัน หรือ 6 เดือน ใช้บล็อก 3 ของตัวอย่างที่ 4 จำนวน 1 ตัวอย่างต่อ 1 ส่วนผสม เมื่อครบระยะเวลาที่แช่แล้วจึงนำไปทดสอบหาระยะแทรกซึมคลอไรด์และน้ำต่อไป

- ตัวอย่างจมในสารละลายทั้งหมด แช่ตัวอย่างในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เข้มข้นร้อยละ 3 ให้มีระยะจมตลอดความสูง และระยะท่วมเหนือผิวบนเป็น 10 มม .โดยมีรายละเอียดการใช้ตัวอย่างตามระยะเวลาที่แช่ ดังนี้

  - ระยะเวลาที่แช่ 90 วัน หรือ 3 เดือน ใช้บล็อก 1 ของตัวอย่างแท่งที่ 1 จำนวน 1 ตัวอย่างต่อ 1 ส่วนผสม
  - ระยะเวลาที่แช่ 180 วัน หรือ 6 เดือน ใช้บล็อก 2 ของตัวอย่างแท่งที่ 1 จำนวน 1 ตัวอย่างต่อ 1 ส่วนผสม

โดยเคลือบอีพอกซีที่ผิวบนด้วย เมื่อครบระยะเวลาที่แช่แล้ว จึงนำไปทดสอบหาระยะแทรกซึมของคลอไรด์และน้ำต่อไป

2) ตัวอย่างแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่ไม่ได้ตัด มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มม .สูง 200 มม .ใช้ในการทดสอบดังต่อไปนี้

- การทดสอบกำลังอัด โดยมีรายละเอียดการใช้ตัวอย่างดังนี้
  - อายุ 7 วัน ใช้แท่งที่ 1, 2 และ 3 จำนวน 3 ตัวอย่าง ต่อ 1 ส่วนผสม
  - อายุ 28 วัน ใช้แท่งที่ 4, 5 และ 6 จำนวน 3 ตัวอย่าง ต่อ 1 ส่วนผสม
  - อายุ 90 วัน ใช้แท่งที่ 7, 8 และ 9 จำนวน 3 ตัวอย่าง ต่อ 1 ส่วนผสม
- การแช่ตัวอย่างในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ให้มีระยะจม 50 มม .แบ่งเป็น 2 แบบ คือ
  - แช่ในสารละลายทันทีหลังจากนำออกจากห้องบ่มจึงนำไปแช่ในสารละลายโดยมีรายละเอียดการใช้ตัวอย่างตามระยะเวลาที่แช่ดังนี้

- ระยะเวลาที่แช่ 90 วัน หรือ 3 เดือน ใช้แท่งที่ 10 จำนวน 1 ตัวอย่างต่อ 1 ส่วนผสม
- ระยะเวลาที่แช่ 180 วัน หรือ 6 เดือน ใช้แท่งที่ 11 จำนวน 1 ตัวอย่างต่อ 1 ส่วนผสม

เมื่อครบระยะเวลาที่แช่แล้ว จึงนำไปทดสอบหาระยะแทรกซึมของคลอไรด์และน้ำต่อไป

- นำไปปรับเสถียรภาพในห้องความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 เป็นเวลา 7 วัน หลังจากนำขึ้นจากบ่มน้ำ จึงนำไปแช่ในสารละลาย โดยมีรายละเอียดการใช้ตัวอย่างตามระยะเวลาที่แช่ ดังนี้
  - ระยะเวลาที่แช่ 90 วัน หรือ 3 เดือน ใช้แท่งที่ 10 จำนวน 1 ตัวอย่างต่อ 1 ส่วนผสม
  - ระยะเวลาที่แช่ 180 วัน หรือ 6 เดือน ใช้แท่งที่ 17 จำนวน 1 ตัวอย่างต่อ 1 ส่วนผสม

เมื่อครบระยะเวลาที่แช่แล้ว จึงนำไปทดสอบหาระยะแทรกซึมของคลอไรด์และน้ำต่อไป ขั้นตอนในการทดสอบทั้ง 2 แบบ

<u>การทดสอบหาระยะแทรกซึมของคลอไรด์และน้ำ</u> :

ตัวอย่างแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่ไม่ได้ตัด มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มม .สูง 200 มม .ใช้ในการทดสอบดังต่อไปนี้

- การผ่าตัวอย่าง
  - ตัวอย่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มม .สูง 50 มม .ใช้การผ่าด้วยเครื่องมือที่ประดิษฐ์ขึ้น
  - ตัวอย่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มม .สูง 200 มม .ใช้การผ่าทางอ้อม โดยวิธีแรงดึงแยกด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด
- การทดสอบหาระยะแทรกซึมของคลอไรด์ ใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรตฉีดพ่นลงบนผิวที่ผ่าแล้วหนึ่งด้าน ทิ้งไว้ให้แห้ง แล้ววัดระยะที่คลอไรด์แทรกซึมเข้าไป ซึ่งปรากฏเป็นสีขาว
- การทดสอบหาระยะแทรกซึมของน้ำ ใช้ผงเมธิลีนบลูกับแป้งกลูโคสคนให้เข้ากัน แล้วทาลงบนผิวที่ผ่าแล้วหนึ่งด้านโดยทันที ทิ้งไว้ให้แห้ง แล้ววัดระยะที่น้ำแทรกซึมเข้าไป ซึ่งปรากฏเป็นสีน้ำเงิน

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ศึกษาลักษณะเฉพาะของวัตถุดิบ

4.1.1 ศึกษาข้อมูลองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3

ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 ด้วยเครื่อง XRF และปริมาณองค์ประกอบหลักของซีเมนต์เพสต์ ด้วยเครื่อง XRD พบว่าปริมาณองค์ประกอบทางเคมีหลักที่พบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 (ตารางที่ 4.2) ที่นำมาใช้ในการทดสอบผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด โดยเกณฑ์มาตรฐานที่นำมาใช้วัดผล ได้แก่ มาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 1–2547 ซึ่งมีข้อกำหนดไว้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อกำหนดองค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 ตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 1-2547

องค์ประกอบทางเคมี / ฟิสิกส์	ปริมาณ (%)
1. ปริมาณ C_3A - ถ้า C_3A น้อยกว่า 8 - ถ้า C_3A มากกว่า 8	ปริมาณ SO_3 - SO_3 ต้องน้อยกว่า 3.5 - SO_3 ต้องน้อยกว่า 4.5
2. ระยะก่อตัว (setting time) - Initial Setting Time (min) - Final Setting Time (min)	 > 45 < 375
3. กำลังอัด (compressive strength) - กำลังอัด 1 วัน (ksc) - กำลังอัด 7 วัน (ksc)	 > 120 > 210

ตารางที่ 4.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 ที่นำมาใช้ในการทดสอบ

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%)
SiO_2	20.66
Al_2O_3	4.79
Fe_2O_3	3.23
CaO	64.3
MgO	1.36
K_2O	0.49
Na_2O	0.15
SO_3	3.22
LOI	1.01
C_3S	58.75
C_2S	14.9
C_3A	7.23
C_4AF	9.84

สำหรับผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงฟิสิกส์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 ที่นำมาใช้ในการทดสอบ ก็ผ่านตามมาตรฐานมอก. 15 เล่ม 1-2547 เช่นเดียวกัน โดยผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงฟิสิกส์แสดงในตารางที่ 4.3

ดังนั้น จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 พบว่าผ่านตามมาตรฐาน มอก.15 เล่ม 1-2547 จึงสามารถนำปูนซีเมนต์นี้มาใช้ในการทดสอบขั้นต่อไปได้

ตารางที่ 4.3 แสดงสมบัติทางฟิสิกส์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 ที่นำมาใช้ในการทดสอบ

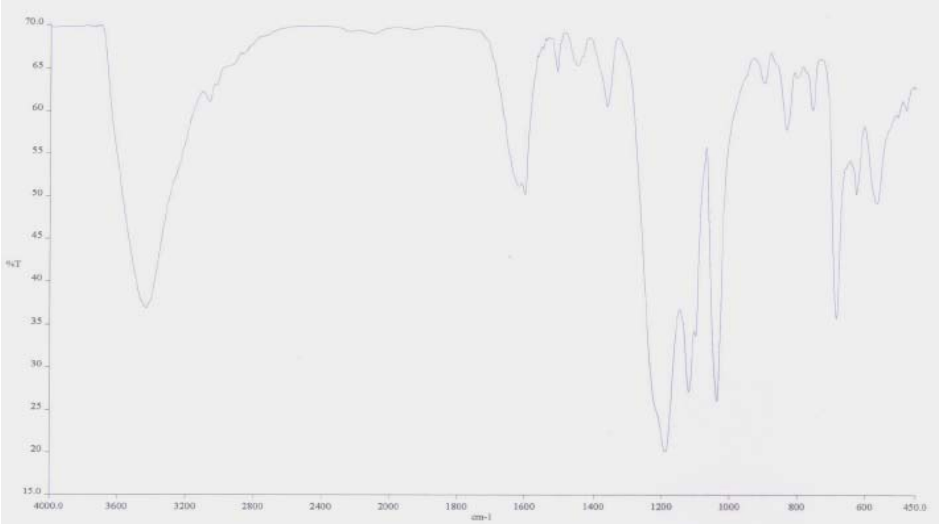
สมบัติทางฟิสิกส์	ปริมาณ
Blaine (cm^2/g)	4650
ค่าความละเอียด (Fineness; %)	
- Residue 75 μm	0.12
- Residue 36 μm	1.9
ระยะก่อตัว (setting time; min)	
- initial setting time	63
- final setting time	138
กำลังอัด (compressive strength; ksc)	
- กำลังอัด 1 วัน	234
- กำลังอัด 7 วัน	350
- กำลังอัด 28 วัน	504

4.1.2 <u>ศึกษาข้อมูลองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำยาผสมคอนกรีต</u>

ศึกษาหาองค์ประกอบทางเคมีของสารเคมีที่เป็นส่วนผสมในน้ำยาผสมคอนกรีต Type F ด้วยเครื่อง FTIR เพื่อทำนายหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า น้ำยาผสมคอนกรีต Type F ในทั้ง 3 ยี่ห้อ ได้แก่ Sikament FF, Mighty MXT และ Viscocrete มีหมู่ฟังก์ชันหลักที่แตกต่างกัน ดังรูป 4.1, 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ โดยสามารถแบ่งรายละเอียดออกได้ดังนี้

1) น้ำยาผสมคอนกรีต Type F ยี่ห้อ Mighty MXT

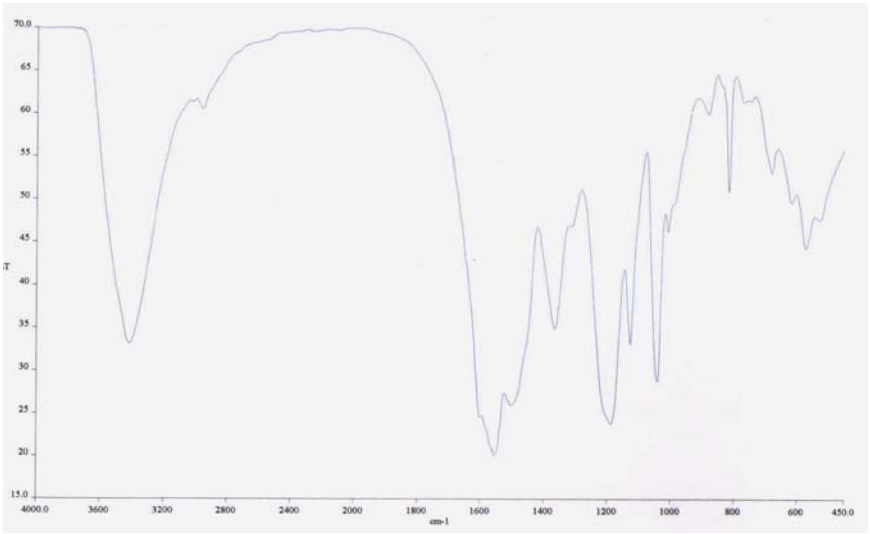
ผลจาก FTIR สเปกตรัม (รูปที่ 4.1) เมื่อเทียบกับสเปกตรัมอ้างอิง (Reference spectrum) จะพบพีกที่ 3433.95 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีกของ O-H (พันธะไฮโดรเจนของน้ำ) พีกที่ 1614.57 cm^{-1} เป็นหมู่ phenyl พีกที่ 1596.12 และ 1444.27 cm^{-1} เป็นหมู่ aromatic skeletal พีกที่ 1187.76 cm^{-1} แสดงถึง antisym stretch of sulfonate และพีกที่ 623.12 cm^{-1} แสดงถึง C-S vibration of sulfonate ซึ่งภาพรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้น คาดได้ว่า น้ำยาผสมคอนกรีต Type F ยี่ห้อ น่าจะมีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบประเภท Napthalene Sulfonate Base-Type



รูปที่ 4.1 FTIR สเปกตรัม ของตัวอย่างน้ำยาผสมคอนกรีต Type F ยี่ห้อ Mighty MXT

2) น้ำยาผสมคอนกรีต Type F ยี่ห้อ Sikament FF

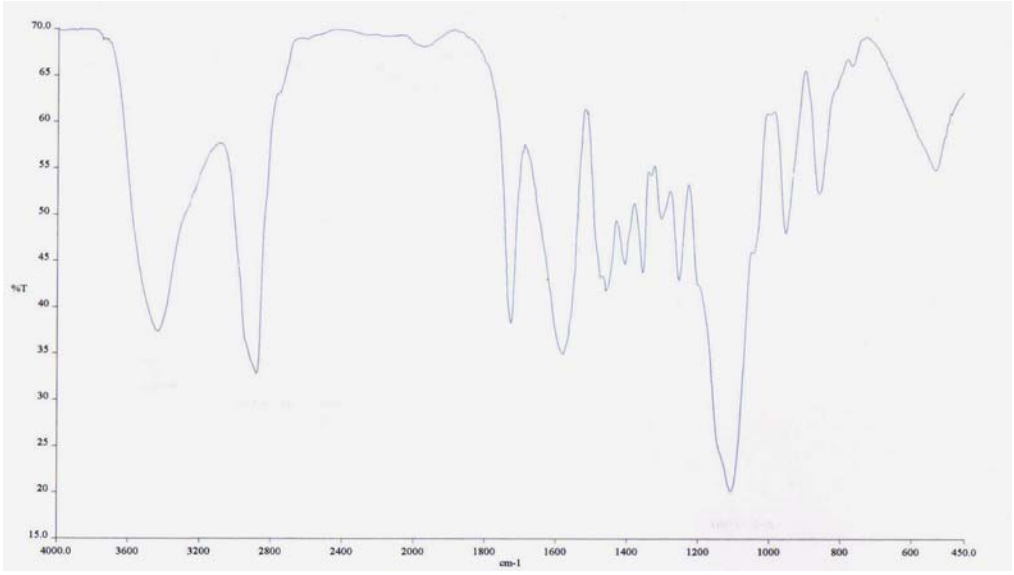
ผลจาก FTIR สเปกตรัม (รูปที่ 4.2) เมื่อเทียบกับสเปกตรัมอ้างอิง (Reference spectrum) จะพบพีกที่ 3411.93 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีกของ O-H (พันธะไฮโดรเจนของน้ำ) พีกที่ 1554.84 cm^{-1} เป็นหมู่ C=N aromatic พีกที่ 1196.79 cm^{-1} เป็น C-N aromatic พีกที่ 1124.04 cm^{-1} เป็นหมู่ C-N และพีกที่ 570.68cm^{-1} แสดงถึง C-S vibration of sulfonate ซึ่งภาพรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้น คาดได้ว่า น้ำยาผสมคอนกรีต Type F ยี่ห้อ น่าจะมีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบประเภท Melamine Sulphonate Base-Type



รูปที่ 4.2 FTIR สเปกตรัม ของตัวอย่างน้ำยาผสมคอนกรีต Type F ยี่ห้อ Sikament FF

3) น้ำยาผสมคอนกรีต Type F ยี่ห้อ Viscocrete

ผลจาก FTIR สเปกตรัม (รูปที่ 4.3) เมื่อเทียบกับสเปกตรัมอ้างอิง (Reference spectrum) จะพบพีกที่ 3434 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีกของ O-H (พันธะไฮโดรเจนของน้ำ) พีกที่ 3877.60 cm^{-1} เป็นหมู่ C-H aliphatic พีกที่ 1577.59cm^{-1} เป็น COOR พีกที่ 1472.57 และ 1456.13 cm^{-1} เป็นหมู่ ethyl และ methyl ตามลำดับ และพีกที่ 1402.82 cm^{-1} แสดงถึง -COOH และพีกที่ 1107.13 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ C-O ซึ่งภาพรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้น คาดได้ว่าน้ำยาผสมคอนกรีต Type F ยี่ห้อ น่าจะมีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบประเภท Polycarboxylate Base-Type



รูปที่ 4.3 FTIR สเปกตรัม ของตัวอย่างน้ำยาผสมคอนกรีต Type F ยี่ห้อ Viscocrete

4.2 การทดลองเพื่อทดสอบสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์

4.2.1 ความเข้มข้นของน้ำยาผสมคอนกรีต (ที่พัฒนาขึ้น)

ในการศึกษาเพื่อหาความเข้มข้นของน้ำยาผสมคอนกรีตที่พัฒนาให้เหมาะสมกับการใช้งานและมีประสิทธิภาพที่เทียบเท่ากับน้ำยาผสมคอนกรีตในท้องตลาดนั้น ได้ทำการศึกษาควบคู่ไปกับการทดสอบสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์ เนื่องจากสารตั้งต้นในแต่ละชนิดนั้นมีความสามารถละลายในตัวทำละลายได้มากกว่า 1 ชนิด จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาเพื่อหาตัวทำละลายที่เหมาะสมกับสารแต่ละชนิด เพื่อให้สารแต่ละชนิดสามารถแตกตัวได้เป็นอย่างดี เมื่อเกิดปฏิกิริยากับซีเมนต์

จากการทดสอบเบื้องต้น พบว่า Naphthalene sulphonate จะแตกตัวในสารละลายอินทรีย์ ได้ดีกว่าตัวทำละลายที่เป็นน้ำ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ใช้สารละลายอินทรีย์ คือ ฟอร์มัลดีไฮด์ผสมเมทธานอล ส่วน Melamine sulfonate และ Polycarboxylic ether จะมีน้ำเป็นตัวทำละลายที่เหมาะสม ส่วน Casein จะละลายได้ดีในโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์

4.2.2 ทดสอบสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์เมื่อเติมน้ำยาผสมคอนกรีต (ที่พัฒนาขึ้น) เทียบกับน้ำยาผสมคอนกรีตที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

จากการศึกษาเพื่อหาความเข้มข้นของน้ำยาผสมคอนกรีต (ที่พัฒนาขึ้น) ที่เหมาะสมกับการนำมาใช้งาน เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพเทียบเท่ากับน้ำยาผสมคอนกรีตในท้องตลาดนั้น ตัวทำละลายที่เลือกใช้จะพิจารณามาจากความสามารถในการไหลเทของซีเมนต์เพสต์ กล่าวคือ สารตั้งต้นแต่ละตัวมีความสามารถในการละลายได้ในตัวทำละลายหลายชนิด เมื่อนำไปทดสอบการไหลเทของซีเมนต์เพสต์ แล้วพบว่าซีเมนต์เพสต์ให้ flow ที่ดี ก็น่าจะสรุปได้ว่าตัวทำละลายนั้นมีความเหมาะสมกับสารตั้งต้นนั้นๆ ซึ่งผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.4 และ 4.5

จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์ที่มีน้ำยาผสมคอนกรีต 1% เมื่อกำหนดค่า w/c = 0.38 (ตามที่ลูกค้ากำหนด) จะพบว่าค่าการไหลของซีเมนต์ที่มีน้ำยาผสมคอนกรีตผสมอยู่สามารถวัดได้ แต่ค่าที่วัดได้ส่วนใหญ่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (เกณฑ์ที่กำหนดอยู่ในช่วง 70 - 90) ทั้งนี้อาจเนื่องจากอัตราส่วน w/c ที่ค่อนข้างต่ำมาก ยกเว้นกรณีซีเมนต์เพสต์ที่มี 10% Casein และ 13% Casein ผสมอยู่เท่านั้นที่มีสภาพการไหลอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด (วัดค่าได้ 78 และ 80 ตามลำดับ) ส่วนซีเมนต์เพสต์ที่มี Viscocrete (Polycarboxylic-based admixture) ค่าการไหลเทเกินเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งวัดได้ค่า 116 แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ polycarboxylic ether ที่มีความเข้มข้น 10% (เป็น admixture ที่เตรียมขึ้นเอง) ที่ปริมาณการเติมในซีเมนต์เพสต์ที่ 1% สภาพการไหลเทวัดได้ 69 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์กำหนด แต่เมื่อเพิ่มปริมาณการเติม 10% PC เป็น 1.5% และ 2% สภาพการไหลเทจะอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด คือ 86 และ 91 ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำยาผสมคอนกรีตเป็น 2% จะพบว่าสภาพการไหลเทของซีเมนต์มีค่าเพิ่มมากขึ้น (แสดงในตารางที่ 4.5) โดยซีเมนต์เพสต์ที่มี Mighty MXT จะให้สภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์เท่ากับ 94 ในขณะที่ Naphthalene sulphonate สามารถตรวจวัดสภาพการไหลเทได้ เมื่อใช้ความเข้มข้น 15% แต่ค่าสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน และน้อยกว่าของ Mighty MXT ซึ่งจะต้องเพิ่มความเข้มข้นไปจนถึง 30% จึงมีผลทำให้สภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์มีค่าเพิ่มขึ้นและอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด รวมทั้งให้ค่าการไหลที่สูงกว่า Mighty MXT สำหรับ Melamine sulfonate พบว่าไม่สามารถตรวจวัดสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์ได้ แม้ว่า

จะเพิ่มค่าความเข้มข้นขึ้นไป รวมทั้งปริมาณที่ใช้ถึง 2% ส่วน Polycarboxylic ether ที่ความเข้มข้น 10% จะให้สภาพไหลเทของซีเมนต์เพสต์สูงขึ้นกว่ากรณีที่ใช้ความเข้มข้น 1% สำหรับ Casein สามารถให้สภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์ในช่วงที่ต้องการได้เช่นกัน เมื่อใช้ Casein เป็นส่วนผสมโดยตรงที่ 0.5% (แสดงผลในตารางที่ 4.4) หรือเลือกใช้ในรูปสารละลายในปริมาณขั้นต่ำที่ 1% แต่อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้จะต้องคำนึงถึงต้นทุนการผลิตน้ำยาผสมคอนกรีต โดยน้ำยาผสมคอนกรีตที่ผลิตขึ้นมาใหม่จะต้องมีราคาต้นทุนที่ต่ำกว่าน้ำยาผสมคอนกรีตที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด ได้แก่ Mighty MXT (Naphthalene-based adnuxture) และ Viscocrete (Polycarboxylate-based admixture) ดังนั้นในการทดสอบงานคอนกรีต จึงเลือกเฉพาะวัตถุดิบ 2 ชนิด ได้แก่ Naphthalene sulphonate และ Polycarboxylic ether เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำยาผสมคอนกรีตที่เตรียมขึ้นกับที่มีจำหน่ายในท้องตลาด เพื่อให้สามารถผลิตขึ้นใช้งานเองได้จริง มีต้นทุนต่ำกว่า รวมทั้งมีประสิทธิภาพเป็นที่ยอมรับ

ตารางที่ 4.4 ค่าสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์ที่มีน้ำยาผสมคอนกรีต 1% ที่วัดจาก Flow Table เมื่อกำหนดให้ w/c = 0.38 เคาะจำนวน 15 ครั้ง

ลำดับ	ชนิดของน้ำยาผสมคอนกรีต	ค่า flow ของซีเมนต์เพสต์
1	Blank	ไม่สามารถวัดได้
2	Mighty MXT	58
3	Sikament FF	52
4	Viscocrete	116
5	5% NS solution	ไม่สามารถวัดได้
6	10% NS solution	ไม่สามารถวัดได้
7	15% NS solution	52
8	20% NS solution	52
9	25% NS soluiton	60
10	30% NS solution	62
11	5% NS in H_2CO/CH_3OH	ไม่สามารถวัดได้
12	10% NS in H_2CO/CH_3OH	ไม่สามารถวัดได้
13	15% NS in H_2CO/CH_3OH	ไม่สามารถวัดได้
14	20% NS in H_2CO/CH_3OH	ไม่สามารถวัดได้
15	25% NS in H_2CO/CH_3OH	48

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) ค่าสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์ที่มีน้ำยาผสมคอนกรีต 1% ที่วัดจาก Flow Table เมื่อกำหนดให้ w/c = 0.38 เคาะจำนวน 15 ครั้ง

ลำดับ	ชนิดของน้ำยาผสมคอนกรีต	ค่า flow ของซีเมนต์เพสต์
16	5% PC solution	ไม่สามารถวัดได้
17	10% PC [1% dosage]	69
18	10% PC [1.5% dosage]	86
19	5% MS-10 solution	ไม่สามารถวัดได้
20	10% MS-15 solution	ไม่สามารถวัดได้
21	10% MS-15 solution	ไม่สามารถวัดได้
22	0.5% Casein	60
23	10% Casein solution	78
24	13% Casein solution	80

ตารางที่ 4.5 ค่าสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์ที่มีน้ำยาผสมคอนกรีต 2% ที่วัดจาก Flow Table เมื่อกำหนดให้ w/c = 0.38 เคาะจำนวน 15 ครั้ง

ลำดับ	ชนิดของน้ำยาผสมคอนกรีต	ค่า flow ของซีเมนต์เพสต์
1	Blank	ไม่สามารถวัดได้
2	Mighty MXT	94
3	Sikament FF	87
4	Viscocrete	121
5	5% NS solution	ไม่สามารถวัดได้
6	10% NS solution	ไม่สามารถวัดได้
7	15% NS solution	64
8	20% NS solution	64
9	25% NS soluiton	67

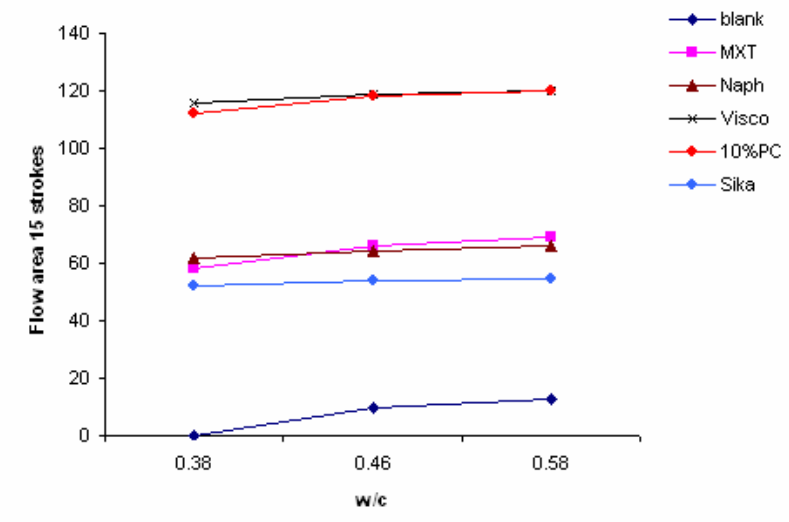
ตารางที่ 4.5 (ต่อ) ค่าสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์ที่มีน้ำยาผสมคอนกรีต 2% ที่วัดจาก Flow Table เมื่อกำหนดให้ w/c = 0.38 เคาะจำนวน 15 ครั้ง

ลำดับ	ชนิดของน้ำยาผสมคอนกรีต	ค่า flow ของซีเมนต์เพสต์
10	30% NS solution	101
11	5% NS in H_2CO/CH_3OH	ไม่สามารถวัดได้
12	10% NS in H_2CO/CH_3OH	ไม่สามารถวัดได้
13	15% NS in H_2CO/CH_3OH	ไม่สามารถวัดได้
14	20% NS in H_2CO/CH_3OH	ไม่สามารถวัดได้
15	25% NS in H_2CO/CH_3OH	55
16	5% PC solution	ไม่สามารถวัดได้
17	10% PC solution	91
18	5% MS-10 solution	ไม่สามารถวัดได้
19	10% MS-15 solution	ไม่สามารถวัดได้
20	10% Casein solution	82
21	13% Casein solution	106

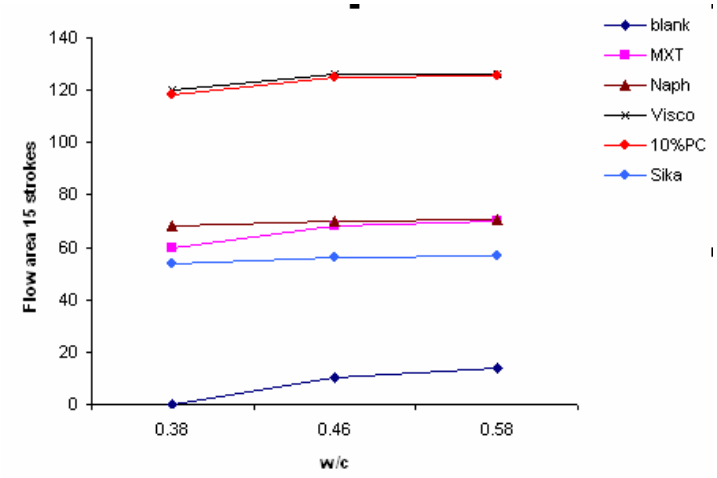
4.2.3 ทดสอบสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์เมื่อเพิ่มอัตราส่วน w/c และจำนวนครั้งในการเคาะ flow table

จากผลการทดลองข้างต้น (ตาราง 4.5) ทางผู้วิจัยได้เลือกชนิดของน้ำยาผสมคอนกรีตที่จะมาศึกษาในด้านอิทธิพลของอัตราส่วน w/c และจำนวนครั้งในการเคาะ ประกอบด้วย Mighty MXT, Viscocrete, Sigament FF และ 30% Naphthalene sulphonate และ Polycarboxylic ether ส่วน Casein ไม่ได้นำมาศึกษาเพิ่มเติม เนื่องจาก Casein มีราคาต้นทุนที่สูงมาก ประกอบกับไม่สามารถละลายในน้ำได้ ต้องละลายในตัวทำละลาย รวมทั้งมีปัญหาเรื่องการแยกตัวของสาร

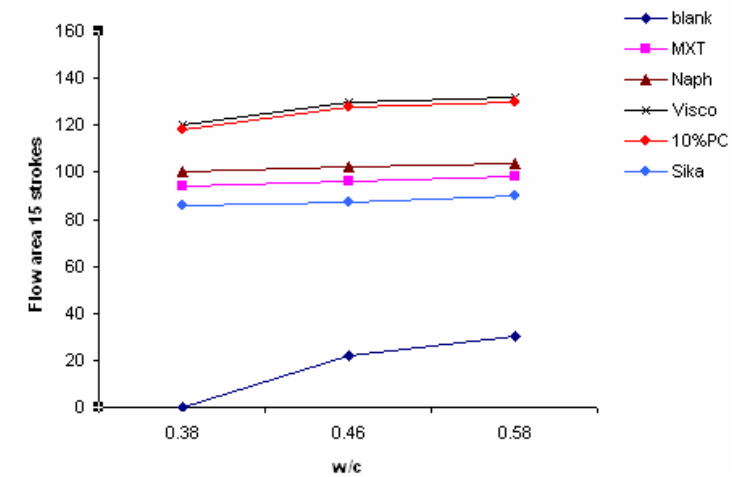
ในการศึกษาอิทธิพลของค่า w/c และจำนวนครั้งในการเคาะ ที่อาจส่งผลต่อสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์นั้น จะทำโดยเพิ่มค่าอัตราส่วน w/c ให้สูงขึ้น โดยจะศึกษาที่ค่า w/c = 0.46 และ 0.58 และเพิ่มการเคาะ flow จาก 15 ครั้ง เป็น 25 ครั้ง นอกจากนี้จะเลือกใช้น้ำยาผสมคอนกรีตที่ความเข้มข้น 1% และ 2% ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.4 – 4.7



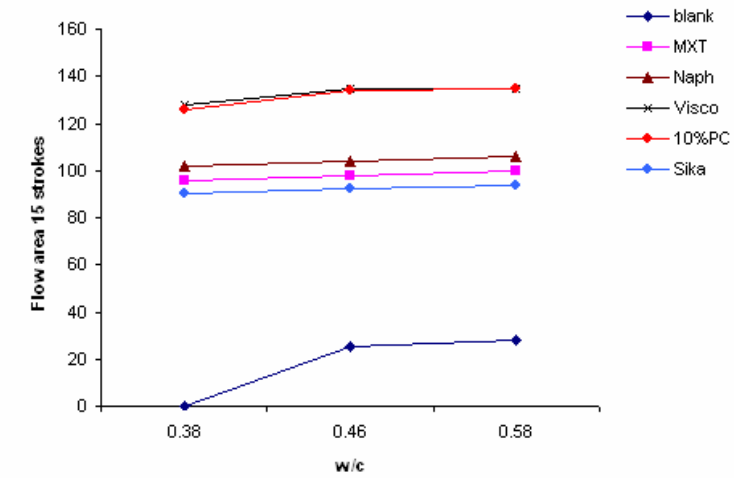
รูปที่ 4.4 พื้นที่การไหลของซีเมนต์เพสต์หลังจากเคาะจำนวน 15 ครั้ง โดย (◆) ซีเมนต์เพสต์ที่ไม่มีน้ำยาผสมคอนกรีต, (■) ซีเมนต์เพสต์ที่มี Mighty MXT, (▲) ซีเมนต์เพสต์ที่มี 30% Naphthalene sulphonate, (✳) ซีเมนต์เพสต์ที่มี Viscocrete, (●)ซีเมนต์เพสต์ที่มี 10% PC และ (●) ซีเมนต์เพสต์ที่มี Sigament FF, โดยความเข้มข้นของน้ำยาผสมคอนกรีตของแต่ละชนิดอยู่ที่ 1%



รูปที่ 4.5 พื้นที่การไหลของซีเมนต์เพสต์หลังจากเคาะจำนวน 25 ครั้ง โดย (◆) ซีเมนต์เพสต์ที่ไม่มีน้ำยาผสมคอนกรีต, (■) ซีเมนต์เพสต์ที่มี Mighty MXT, (▲) ซีเมนต์เพสต์ที่มี 30% Naphthalene sulphonate, (✳) ซีเมนต์เพสต์ที่มี Viscocrete, (●)ซีเมนต์เพสต์ที่มี 10% PC และ (●) ซีเมนต์เพสต์ที่มี Sigament FF, โดยความเข้มข้นของน้ำยาผสมคอนกรีตของแต่ละชนิดอยู่ที่ 1%



รูปที่ 4.6 พื้นที่การไหลของซีเมนต์เพสต์หลังจากเคาะจำนวน 15 ครั้ง โดย (◆) ซีเมนต์เพสต์ที่ไม่มีน้ำยาผสมคอนกรีต, (■) ซีเมนต์เพสต์ที่มี Mighty MXT, (▲) ซีเมนต์เพสต์ที่มี 30% Naphthalene sulphonate, (✳) ซีเมนต์เพสต์ที่มี Viscocrete, (●)ซีเมนต์เพสต์ที่มี 10% PC และ (●) ซีเมนต์เพสต์ที่มี Sigament FF, โดยความเข้มข้นของน้ำยาผสมคอนกรีตของแต่ละชนิดอยู่ที่ 2%



รูปที่ 4.7 พื้นที่การไหลของซีเมนต์เพสต์หลังจากเคาะจำนวน 25 ครั้ง โดย (◆) ซีเมนต์เพสต์ที่ไม่มีน้ำยาผสมคอนกรีต, (■) ซีเมนต์เพสต์ที่มี Mighty MXT, (▲) ซีเมนต์เพสต์ที่มี 30% Naphthalene sulphonate, (✳) ซีเมนต์เพสต์ที่มี Viscocrete, (●)ซีเมนต์เพสต์ที่มี 10% PC และ (●) ซีเมนต์เพสต์ที่มี Sigament FF, โดยความเข้มข้นของน้ำยาผสมคอนกรีตของแต่ละชนิดอยู่ที่ 2%

จากรูปที่ 4.4 – 4.7 แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มค่าอัตราส่วน w/c มีผลทำให้สภาพการไหลเทของซีเมต์เพสต์ที่มีน้ำยาผสมคอนกรีตในทุกชนิดมีค่าเพิ่มขึ้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ สืบเนื่องจากค่าอัตราส่วน w/c จะเป็นตัวควบคุมความเข้มข้นของไอออนในช่องว่างในสารละลาย ซึ่งที่อัตราส่วน w/c ต่ำ พื้นผิว C_3A และ C_4AF จะถูกปกคลุมไปด้วยอนุภาคของน้ำยาผสมคอนกรีต จึงทำให้ไอออนของน้ำยาผสมคอนกรีตที่เหลือพบได้น้อยในช่องว่างในสารละลาย แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วน w/c ให้สูงขึ้น จะส่งผลให้อนุภาคของ alite hydrate เพิ่มมากขึ้น นั่นคือ ไอออนของ Ca^{2+} เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน จึงเป็นผลให้สภาพการไหล (fluidity) เพิ่มขึ้น

ส่วนการเพิ่มการเคาะจาก 15 ครั้งเป็น 25 ครั้ง ก็มีผลทำให้พื้นที่การไหลของซีเมนต์เพสต์ที่มีน้ำยาผสมคอนกรีตเพิ่มขึ้นเล็กน้อยด้วยเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เป็นเพราะการเพิ่มการเคาะจะเป็นการเพิ่มพลังงานให้กับซีเมนต์เพสต์ ซึ่งจะไปลดความหนืด หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าซีเมนต์เพสต์จะเข้าสู่สภาพ thixotropic ที่ yield stress ลดลง สภาพการไหลจะเข้าสู่แบบ Newtonian

4.3 การทดสอบน้ำยาผสมคอนกรีตเพื่อหาค่า slump ในงานคอนกรีต

4.3.1 การหาค่า slump ของคอนกรีต เมื่อกำหนดให้ w/c = 0.38

จากการทดสอบโดยการเติมน้ำยาผสมคอนกรีตแต่ละชนิดในงานคอนกรีต เมื่อกำหนดให้ค่า w/c = 0.38 พบว่าเนื้อคอนกรีตที่มี 10% PC solution จะให้ค่า slump ที่สูงที่สุด ถัดมาคือคอนกรีตที่มีส่วนผสมของ Viscocrete สำหรับคอนกรีตที่มี 30% Naphthalene sulphonate, Mighty MXT และ Sikament FF จะให้ค่า slump ที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อทำการหาค่า slump loss เมื่อเวลาผ่านไป 90 นาที พบว่าเนื้อคอนกรีตที่มี 10% PC จะเกิด slump loss น้อยที่สุดซึ่งใกล้เคียงกับคอนกรีตที่มี Viscocrete รองลงมาคือคอนกรีตที่มี 30% Naphthalene sulphonate ส่วนคอนกรีตที่มี Mighty MXT และ Sikament FF จะเกิด slump loss สูงที่สุด ผลแสดงดังตารางที่ 4.6

Mighty MXT | 30% Naphthalene sulphonate | Sikament FF | Viscocrete | 10% %PC solution

รูปที่ 4.8 ลักษณะเนื้อคอนกรีต เมื่อกำหนดให้ค่า w/c = 0.38 เมื่อเติมน้ำยาผสมคอนกรีตแต่ละชนิด

เมื่อทำการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตในแต่ละชุดการทดลอง พบว่า Viscocrete ให้ค่ากำลังอัด 1 วันสูงที่สุด คือ 510 ksc ส่วน 10% PC ให้ค่ากำลังอัดรองลงมา คือ 490 ksc ซึ่งถือว่าใกล้เคียงกับ viscocrete ถัดมาคือ 30% Naphthalene sulphonate ซึ่งให้ค่ากำลังอัดเท่ากับ 428 ksc ซึ่งให้ค่าที่สูงกว่า Sigament FF และ Mighty MXT (ผลการทดสอบค่ากำลังอัดแสดงไว้ที่ตาราง 4.5) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากรูป cube ก่อนที่จะนำไปหาค่ากำลังอัด พบว่า cube ที่เกิดขึ้นจากคอนกรีตที่มีส่วนผสมของ Viscocrete และ 10% PC จะให้รูป cube ที่ดี ไม่เกิดการผุกร่อน ในขณะที่ cube คอนกรีตที่มีส่วนผสมของน้ำยาผสมคอนกรีตอื่นๆ จะให้ cube ที่เกิดการผุกร่อนอันเนื่องมาจากปริมาณน้ำที่น้อยเกินไปนั่นเอง

ตารางที่ 4.6 ค่ากำลังอัดคอนกรีตที่เติมน้ำยาผสมคอนกรีตแต่ละชนิด (กำหนดให้ค่า w/c = 0.38)

Admixture type	Slump (cm)	Slump loss at 90 min (cm)	1-day Compressive strength (ksc)	Cube picture
Blank	3.0	Can't measure	191	
Mighty MXT	7.1	3.0	362	
Sigament FF	7.2	3.5	379	
Viscocrete	8.0	6.9	510	
10% PC solution [dosage 2.0%]	11.0	7	490	
[dosage 1.0%]	8.0	5.8	470	
[dosage 0.5%]	7.0	4.7	465	
30% Naphthalene sulphonate	7.5	5.8	428	

4.3.2 การหาค่า w/c ของคอนกรีต เพื่อให้ได้ slump ไม่น้อยกว่า 7

จากการทดสอบโดยการเติมน้ำยาผสมคอนกรีตแต่ละชนิดในงานคอนกรีต โดยกำหนดให้ค่า w/c = 0.38 พบว่าทุกชุดการทดลองไม่สามารถหาค่า slump ได้ เนื่องจากปริมาณน้ำที่ใช้น้อยเกินไป ยกเว้นกรณีเดียวเท่านั้นคือเมื่อเลือกใช้ 10% PC (ปริมาณการใช้ 2%) จะสามารถวัดค่า slump ได้ 11 ด้วยเหตุนี้จึงได้ออกแบบชุดการทดลองเพิ่มเติมโดยการเพิ่มปริมาณน้ำ ขึ้นทีละน้อย (ปริมาณน้ำเริ่มต้นจะกำหนดให้ w/c ขั้นต่ำที่ เท่ากับ 0.38) ตามแต่ละชุดการทดลองของคอนกรีตที่มีน้ำยาผสมคอนกรีตชนิดต่างๆ โดยจะหาค่า w/c ที่เหมาะสมในแต่ละชุดการทดลองเมื่อค่า slump ของคอนกรีตมีค่าไม่น้อยกว่า 7

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.6) พบว่าในคอนกรีตที่ไม่มีน้ำยาผสมคอนกรีต ค่า slump ที่ต้องการ (มากกว่า 7) จะต้องเพิ่มปริมาณให้สูงถึง 0.65 รวมทั้งค่า compressive strength ก็ได้ค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับคอนกรีตที่มีการเติมน้ำยาผสมคอนกรีต ยกเว้นกรณีเดียวคือ เมื่อใช้ 10% PC ในปริมาณ 2% จะสามารถวัดค่า slump ได้สูงกว่า 7 (ค่า slump ที่วัดได้มีค่า 11) รวมทั้งค่า compressive strength ก็สูง (มีค่าเท่ากับ 490 ksc) ดังนั้นจะเห็นได้ว่า น้ำยาผสมคอนกรีตชนิด 10% PC เป็นน้ำยาที่ให้ประสิทธิภาพเทียบเท่ากับ Viscocrete ซึ่งมีประสิทธิภาพสูง รองลงมาคือ 30% Naphthalene sulphonate ซึ่งให้ผลที่ใกล้เคียงกับ Mighty MXT ส่วน Sikament FF จะให้ประสิทธิภาพต่ำสุด แต่ยังคงสามารถลดปริมาณน้ำลงได้เช่นเดียวกับน้ำยาผสมคอนกรีตชนิดอื่นๆ

ตารางที่ 4.7 ค่า w/c ของแต่ละชุดการทดลอง โดยกำหนดให้ slump ของคอนกรีตมีค่าไม่น้อยกว่า 7

Admixture type	slump	w/c	1-day Compressive strength (ksc)
Blank	7.2	0.65	165
Mighty MXT	8.3	0.47	295
Sigament FF	8.4	0.50	220
Viscocrete	8.5	0.40	362
30% Naphthalene sulphonate	8.2	0.46	320
10% PC solution	11.0	0.38	490

จากการทดลองข้างต้น พบว่า น้ำยาผสมคอนกรีตชนิด 10% PC มีประสิทธิภาพสูงเทียบเท่ากับ Viscocrete และเมื่อคำนวณราคาต้นทุนในการผลิตเฉพาะส่วนน้ำยาพบว่า ราคาน้ำยา 10% PC จะมีราคาต้นทุนอยู่ที่ 18 บาท/กก. ซึ่งเมื่อเทียบกับ Mighty MXT ซึ่งมีราคาขายตามท้องตลาดอยู่ที่ 15 บาท/กก. จะมีราคาต้นทุนที่สูง

กว่าเพียง 3 บาท/กก. ซึ่งถือว่าน่าจะนำน้ำยา 10% PC มาใช้ในงานคอนกรีต เนื่องจากปริมาณการใช้ที่ต่ำ และให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่า Mighty MXT หรือ 30% Naphthalene sulfonate

จากผลการทดสอบข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้นำน้ำยาผสมคอนกรีต 10% PC ไปใช้กับงานคอนกรีตของลูกค้า จำนวน 3 สถานที่ ได้แก่ เค.ซี. คอนกรีต, เลิงชนากรณ์ และนายกคอนกรีต โดยสัดส่วนการผสมจะกำหนดค่า w/c = 0.38 ปริมาณการใช้น้ำยาผสมคอนกรีตอยู่ที่ 1.5% ซึ่งพบว่าค่า slump วัดได้ ~13 ซม. ทั้งที่ เค.ซี. คอนกรีต และ เลิงชนากรณ์ ส่วนค่า slump ที่วัดได้จากสถานที่ของบริษัท นายกคอนกรีต วัดได้ ~ 17 ซม. (ดังรูป 4.9) สำหรับค่า compressive strength ที่ 1 วัน ของเค. ซี. คอนกรีต, เลิงชนากรณ์ และ นายกคอนกรีต สามารถวัดค่าได้ 485 ksc, 505 ksc และ 495 ksc ตามลำดับ

เค. ซี. คอนกรีต เลิงชนากรณ์ นายกคอนกรีต

รูปที่ 4.9 การทดสอบ slump ของคอนกรีตที่หน้างานจริงของลูกค้า เค.ซี. คอนกรีต, เลิงชนากรณ์ และนายกคอนกรีต โดยใช้น้ำยาผสมคอนกรีต 10% PC ที่ปริมาณ 1.5%

4.4 การทดสอบน้ำยาผสมคอนกรีตโดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 แทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3

การทดลองในหัวข้อนี้ เป็นการศึกษาเพิ่มเติม โดยจะเลือกใช้สภาวะที่ดีที่สุดจากผลการศึกษาข้างต้น โดยจะเปลี่ยนชนิดของปูนซีเมนต์เท่านั้น จากเดิมซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3เปลี่ยนมาใช้เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของน้ำยาผสมคอนกรีตว่ายังคงให้ผลเช่นเดิมหรือไม่

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ ปูนอินทรีเพชร ซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของปูนอินทรีเพชร

SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	K2O	Na2O	SO3	LOI	NaEQ	CaOF	C3S	C2S	C3A	C4AF
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
21.16	4.78	3.18	64.94	1.44	0.44	0.14	2.67	0.85	0.43	1.16	59.23	15.99	7.30	9.67

Blaine (1)	R75	R36	w/c (1)	Initial	Final	AIR (1)	1Day	3Day	28Day
cm2/g	%	%	%	min	min	%	ksc	ksc	ksc
3392	0.5	9.1	24.50	80	180	8.0	158.32	269.01	464.45

สำหรับน้ำยาผสมคอนกรีตที่เลือกมาศึกษา คือ น้ำยา 10% PC โดยเลือกปริมาณการเติมน้ำยาที่ 1.5% กำหนดค่า w/c เท่ากับ 0.38 และนำไปทดสอบหาค่า slump และค่า compressive strength โดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ทำขึ้นจากปูนอินทรีเพชรที่ไม่มีการเติมน้ำยา 10% PC ผลการทดสอบแสดงค่าในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบค่า slump และค่า compressive strength ของคอนกรีตที่ผลิตขึ้นจากปูนอินทรีเพชร เปรียบเทียบผลต่างระหว่างกรณีที่มีการเติมน้ำยา 10% PC และไม่เติมน้ำยา 10% PC

ชนิดคอนกรีต	w/c	slump	1-day Compressive strength (ksc)
อินทรีเพชร	0.38	7.5	111
อินทรีเพชร + น้ำยา A	0.38	10.5	250
อินทรีเพชร + น้ำยา B	0.38	11.5	265
อินทรีเพชร + น้ำยา C	0.38	12.5	411
อินทรีเพชร + Naph	0.38	12.5	374
อินทรีเพชร + 10% PC [dosage 0.5%]	0.38	11.0	384
อินทรีเพชร + 10% PC [dosage 1.0%]	0.38	14.2	403
อินทรีเพชร + 10% PC [dosage 2.0%]	0.38	15.0	420

จากตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าการเติมน้ำยา 10% PC มีประสิทธิภาพในการลดน้ำอย่างแรง ซึ่งจะส่งผลให้ค่า compressive strength ที่ 1 วัน มีค่าสูงมากขึ้นด้วย

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3

คุณภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 ที่นำมาใช้ในการทดสอบมีคุณภาพทั้งทางเคมีและฟิสิกส์ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.15 เล่ม 1-2547 โดยมีค่าองค์ประกอบหลักทางเคมี ได้แก่ ปริมาณ C_3A 7.23 % และ SO_3 3.22 % และคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ได้แก่ ระยะก่อตัวช่วงต้น (initial setting time) 63 นาที, ระยะก่อตัวช่วงปลาย (final setting time) 138 นาที ส่วนค่ากำลังอัด 1 วันและ 7 วัน อยู่ที่ 234 ksc และ 350 ksc ตามลำดับ

5.2 การศึกษาหาหมู่ฟังก์ชันเพื่อสืบหาและทำนายโครงสร้างที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำยาผสมคอนกรีต Type F

ผลจาก FTIR สเปกตรัมที่วิเคราะห์ได้จากน้ำยาผสมคอนกรีต Type F ใน 3 ยี่ห้อ ได้แก่ Sikament FF, Mighty MXT และ Viscocrete พบว่า น้ำยาผสมคอนกรีต Type F ทั้ง 3 ยี่ห้อ มีองค์ประกอบหลักที่แตกต่างกัน โดย น้ำยาผสมคอนกรีต Type F ยี่ห้อ Sikament FF จะมีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบประเภท Melamine Sulphonate-Base Type น้ำยาผสมคอนกรีต Type F ยี่ห้อ Mighty MXT จะมีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบประเภท Napthalein Sulphonate-Base Type และ น้ำยาผสมคอนกรีต Type F ยี่ห้อ Viscocrete จะมีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบประเภท Polycarboxylate-Base Type

5.3 การทดสอบสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์

ผลจากสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์ ชี้ให้เห็นว่าน้ำยาผสมคอนกรีตที่พัฒนาขึ้นนั้น มีสารตั้งต้นหลักที่มีราคาต้นทุนต่ำ ได้แก่ Naphthalene sulphonate หรือ สารวัตถุดิบที่มีราคาค่อนข้างสูง ได้แก่ Polycarboxylate ether แต่เมื่อคำนึงร่วมกับปริมาณการใช้และประสิทธิภาพที่เหมาะสมในการใช้งานนั้น น้ำยาผสมคอนกรีตชนิด Polycarboxylic ether ที่ความเข้มข้น 10% ที่ถูกพัฒนาขึ้นเป็นอีกตัวเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจาก ประสิทธิภาพของน้ำยาให้ผลที่ทียบเคียงกับน้ำยาผสมคอนกรีตที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด (Viscocrete) และเมื่อคำนวณต้นทุนในการผลิต พบว่ามีราคาค่อนข้างถูกกว่าที่จำหน่ายในท้องตลาด แม้ว่าจะมีราคาต้นทุนที่สูงกว่าน้ำยาผสมคอนกรีตประเภท Naphthalene sulphonate แต่ก็เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนประสิทธิภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์ที่มีการเติมสาร Casein ก็ให้ผลที่ดีเช่นกัน แต่เนื่องจากราคาต้นทุนที่สูง

มากและปัญหาการละลายสารที่ยาก จึงไม่เหมาะนำมาใช้งานในขณะนี้ ส่วน Melamine sulfonate นั้นไม่สามารถวัดค่าสภาพการไหลเทได้ แม้ว่าจะเพิ่มค่าความเข้มข้นให้สูงขึ้นก็ตาม

เมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วน w/c และการจำนวนครั้งในการเคาะ เพื่อทดสอบสภาพการไหลของซีเมนต์ที่มีน้ำยาผสมคอนกรีต พบว่าสภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์เพิ่มขึ้นในทุกประเภทของชนิดน้ำยาผสมคอนกรีต โดยน้ำยาผสมคอนกรีตประเภท Polycarboxylate-base ทั้ง Viscocrete และ 10% PC จะให้สภาพการไหลเทของซีเมนต์เพสต์สูงที่สุด

5.4 การทดสอบคอนกรีต

5.4.1 ค่า slump เมื่อกำหนดให้อัตราส่วน w/c = 0.38

เมื่อใช้ชุดทดลองของคอนกรีตที่มีการเติมน้ำยาผสมคอนกรีตชนิดต่างๆ โดยกำหนดให้ค่าอัตราส่วน w/c = 0.38 ในทุกชุดการทดสอบ พบว่าไม่สามารถหาค่า slump ของคอนกรีตได้ในทุกชุดการทดลอง เนื่องจากปริมาณน้ำน้อยเกินไป ยกเว้นในกรณีของคอนกรีตที่มีการเติม 10% PC เท่านั้น ที่จะให้ค่า slump อยู่ในเกณฑ์ตามที่กำหนด ส่วนกรณีที่เติมน้ำยา Viscocrete พบว่า เนื้อคอนกรีตจะมีการคายน้ำสูง ทำให้เนื้อคอนกรีตเหลว ไม่มีความเหนียวจึงไม่สามารถหา slump ได้เช่นเดียวกัน

5.4.2 หาค่า w/c ที่เหมาะสม โดยให้ค่า slump ของคอนกรีตที่ไม่น้อยกว่า 7 ซม.

คอนกรีตที่มีน้ำยาผสมคอนกรีตจะให้ค่า slump ที่สูงกว่า 7 ซม. และสามารถลดปริมาณน้ำได้ในทุกชนิดของน้ำยาผสมคอนกรีต เมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่มีน้ำยาผสมคอนกรีต

5.4.3 การใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3

คอนกรีตที่เตรียมขึ้นจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เมื่อมีการเติมน้ำยาผสมคอนกรีตประเภทสารลดน้ำอย่างแรง (ในงานวิจัยชิ้นนี้ใช้น้ำยา 10% PC ที่พัฒนาขึ้นเอง) และนำไปเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ได้ใช้น้ำยาผสมคอนกรีต พบว่าน้ำยาผสมคอนกรีต 10% PC มีประสิทธิภาพในการลดน้ำอย่างแรง และช่วยเพิ่มค่า compressive strength ที่ 1 วัน เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการใช้น้ำยาผสมคอนกรีต รวมทั้งให้ผลเช่นเดียวกับงานคอนกรีตที่ผลิตขึ้นจากการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3

บรรณานุกรม

1. ASTM Committee. Annual Book of ASTM Standard, Vol. 4.02 Philadelphia : American Concrete Institute,PA,USA. **1994.**
2. Boateng A.A.and D.A.Skeete**. 1990** "Incineration of Rice Hull for Use as A Cementitious Material : The Guyana Experience.:" Cement and Concrete Research.Vol.20 pp.795-802
3. Bouzoubaa N., Zhang M.H., Malhotra V.M., "*Superplasticizer Portland Cement: Production and Compressive Strength of Mortars and Concrete*", Cement and Concrete Research, 28 **1998** 1783-1796.
4. Carmel Jolicoeur, Marc-André Simard, "*Chemical Admixture-Cement Interactions: Phenomenology and Physico-chemical Concepts*", Cement and Concrete Research, 20 **1998** 87-101.
5. Grabiec A.M., "*Contribution to the Knowledge of Melamine Superplasticizer Effects on some Characteristics of Concrete after Long Periods of Hardening*", Cement and Concrete Research, 29 **1999** 699-704.
6. Hanehara S., Yamada K., "*Interaction between Cement and Chemical Admixture from the Point of Cement Hydration, Absorption Behavior of Admixture and Paste Rehology*", Cement and Concrete Research, 29 **1999** 1159-1165.
7. Jiang S. Kim, "*Importance of Adequate Soluble Alkali Content to ensure Coment/Superplasticizer Compatibility*", Cement and Concrete Research, 29 **1999** 71-78.
8. M.Y.A. Mollah, Wenhong Yu, Robert Schennach, David L. Cocke, "*A Fourier transform infrared spectroscopic investigation of the early hydration of Portland cement and the influence of sodium lignosufonate*", Cement and Concrete Research, 30 **2000** 267-273.
9. N.B. Singh, V.D. Singh, Sarita Rai, Shivani Chaturvedi, "*Effect of lignosulfonate, calcium chloride and their mixture on the hydration of RHA-blended Portland cement*", Cement and Concrete Research, 32 **2002** 387-392.
10. Prince W., Edwards-Lajnef M., Aitcin P. C.., "*Interaction between ettringite and a polynaphthalene sulfonate superplasticizer in a cementitious paste*", Cement and Concrete Research, 32 **2002** 79-85.

11. Tomohiro emoto, Thomas A. Bier, "*Rheological behavior as influenced by plasticizers and hydration kinetics*", Cement and Concrete Research, 37 **2007** 647-654.
12. Tosun K., B. Felekoğlu, B. Baradan, "*The effect of cement alkali content on ASR susceptibility of mortars incorporating admixtures*", Building and Environment, 42 **2007** 3444-3453.
13. Yousuf M.A. Mollah, Padmavathy Palta, Thomas R. Hess, Rajan K., Venpati, David L. Cocke, "*Chemical and physical effects of sodium lignosulfonate superplasticizer on the hydration of portland cement and solidification/stabilization consequences*", Cement and Concrete Research, 25)3 (**1995** 671-682.
14. เครือซีเมนต์ไทย "ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน" บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรมจำกัด , กรุงเทพฯ ,**2548**.
15. บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ พิชัย นิมิตยงสกุล "คุณสมบัติทางกลศาสตร์ของคอนกรีตคุณภาพสูง" การประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปีวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ หน้า CE-1-28, **2538.**