

การพัฒนาหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย เพื่อใช้ใน  
งานเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่

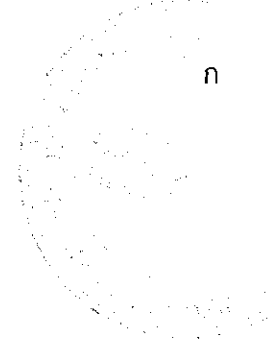
Development of self-compacting concrete mixtures for use in  
Bored pile

นายพงศนัย	หวั่นท็อก	รหัส 54364764
นายถิรวัฒน์	บุญมาปะ	รหัส 54364580
นางสาวมณฑิตา	กะณะศิริ	รหัส 54361336

ได้รับรองฉบับปริทัศน์  
วันที่รับ..... ๑๓ มิถุนายน ๒๕๕๗  
เลขทะเบียน..... ๑๖๑๑๑๐๐  
..... ๒๕๕  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ๑๑๑ ก

๒๕๕๗


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี  
ปีการศึกษา ๒๕๕๗



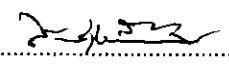
## ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ	การพัฒนาหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย เพื่อใช้ในงานเชื่อมเจาะขนาดใหญ่
ผู้ดำเนินโครงการ	นายพงศนันท์ หวันทอก รหัส 54364764
	นายถิรวัฒน์ บุญมาปะ รหัส 54364580
	นางสาวมณฑิตา กระณะศิริ รหัส 54361336
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร.รัฐภูมิ ปรีชาตปรีชา
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

.....ที่ปรึกษาโครงการ  
(ดร.รัฐภูมิ ปรีชาตปรีชา)

.....กรรมการ  
(ดร.ทรงศักดิ์ สุธาสุประดิษฐ์)

.....กรรมการ  
(ผศ.ดร.สสิกรณณ์ เหลืองวิชเจริญ)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การพัฒนาหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย เพื่อใช้ในงานเข็มเจาะขนาดใหญ่		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายพงศนัย	หวั่นท็อก	รหัส 54364764
	นายถิรวัฒน์	บุญมาปะ	รหัส 54364580
	นางสาวมณฑิตา	กะณะศิริ	รหัส 54361336
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร.รัฐภูมิ		
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
ปีการศึกษา	2557		

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผสมของคอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย เพื่อนำไปใช้กับงานเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ โดยการแทนที่ซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลาน และสารผสมเพิ่ม ได้แก่ เถ้าลอย ซิลิกาฟูม และ น้ำยาลดน้ำชนิดพิเศษ(PCEs) โดยงานวิจัยนี้จะใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างปอร์ตแลนด์ซีเมนต์กับเถ้าลอยและซิลิกาฟูมในอัตราส่วนร้อยละ 20 - 30 และ ร้อยละ 2-8 ตามลำดับ โดยจะทำการทดสอบความสามารถในการทำงานได้ และคุณสมบัติด้านกำลัง ซึ่งประกอบด้วย การทดสอบ อัตราการไหลแฝด(Slump flow) J-Ring การเยิ้ม(Bleeding) Static Column Test และ กำลังรับแรงอัดที่อายุคอนกรีต 28 วัน จากผลการทดสอบพบว่า คอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย โดยการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลาน และการเติมสารผสมเพิ่ม มีความสามารถในการทำงานได้ และความสามารถด้านกำลังที่ดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุม

คำสำคัญ:คอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย, วัสดุปอซโซลาน, สารผสมเพิ่ม, คุณสมบัติด้านกำลัง

**Project title** Development of self-compacting concrete mixtures for use in Bored pile

<b>Name</b>	Mr. Pongdanai Wanthock	ID. 54364764
	Mr. Thirawat Bunmapa	ID. 54364580
	Miss Montita Kanasiri	ID. 54361336

**Project advisor**

**Major** Civil Engineering

**Department** Civil Engineering

**Academic year** 2014

---

### Abstract

This study aims to develop mixtures of self-compacting concrete for bored pile by replacing cement with pozzolan and admixtures by using fly ash 20-30 percentage and silica fume 2-8 percentage by weight. The workability were evaluated by slump flow test, j-ring, bleeding and static column test and the compressive strength to compressive test. It was found that self-compacting concrete of cement replaced with pozzolan and admixtures increased workability and strength comparing to control concrete.

**Keywords:** self-compacting concrete, pozzolan, admixtures, compressive strength

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้ลุล่วงด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาจาก ดร.รัฐภูมิ ปรีชาตปรีชา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและชี้แนะแก้ไขรายงานโครงการนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง มา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณนางสาวธำปณี ศุภกิจวัฒนา และนายวันรุ่ง ทรงปัญญาวุฒิ นิสิตปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา ที่ชี้แนะแก้ไขรายงานและแนะนำขั้นตอนการดำเนินโครงการ-ในการปฏิบัติ ทดสอบเกี่ยวกับโครงการ

ขอขอบคุณเพื่อนนิสิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ บิตา มารดา ที่สนับสนุนส่งเสริมในเรื่องการศึกษา

ขอขอบคุณท่านที่ไม่ได้กล่าวถึง ซึ่งให้ความร่วมมือและสนับสนุนให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นายพงศนัย หวันท็อก

นายถิรวัฒน์ บุญมาปะ

นางสาวมณฑิตา กะณะศิริ

## สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ขอบเขตการทำโครงการ.....	2
1.5 แผนการดำเนินงาน.....	3
1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	4
2.1 คำจำกัดความของเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ และคอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย (Self-Compacting Concrete).....	4
2.2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น.....	9
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อด้านความสามารถในการทำงานได้ ด้านกำลังและความทนทานของคอนกรีต ที่ใช้ในงานเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่.....	11
2.4 วัสดุปอซโซลาน และสารผสมเพิ่มที่ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1.....	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ.....	23
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	23
3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ.....	25
3.3 อัตราส่วนผสม.....	35
บทที่ 4 ผลการทดสอบ.....	49
4.1 ผลการทดสอบ.....	49
บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	58
5.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	58

เอกสารอ้างอิง.....	60
ภาคผนวก ก.....	61

---



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์และวัสดุป่อซีโกลาน.....	13
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางเคมีของปูนซีเมนต์และวัสดุป่อซีโกลาน.....	14
ตารางที่ 3.1 แสดงสารประกอบ และส่วนประกอบของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	26
ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางกายภาพของซิลิกาฟูม.....	27
ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของซิลิกาฟูม ตามมาตรฐาน ASTM C188.....	28
ตารางที่ 3.4 รายละเอียดและสูตรทางเคมีของแก้วลอย ชนิด F ตาม ASTM C618.....	29
ตารางที่ 3.5 ตารางแสดงผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของแก้วลอย ตามมาตรฐาน ASTM C188.....	29
ตารางที่ 3.6 ตารางแสดงผลการทดสอบหาส่วนคละของมวลรวมละเอียดด้วยตะแกรง ตามมาตรฐาน ASTM C30.....	32
ตารางที่ 3.7 ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความหุ้งจำเพาะของมวลรวมหยาบ.....	33
ตารางที่ 3.8 ตารางแสดงผลการทดสอบหาส่วนคละของมวลรวมหยาบด้วยตะแกรง ตามมาตรฐาน ASTM C30.....	34
ตารางที่ 3.9 ตารางแสดงปริมาณส่วนผสม.....	35
ตารางที่ 4.1 แสดงผลค่าการไหลของคอนกรีต SCC.....	49
ตารางที่ 4.2 แสดงผลค่าการไหลผ่านของคอนกรีต SCC.....	51
ตารางที่ 4.3.1 แสดงผลการทดสอบการเยิ้มของแบบทดสอบที่ 1.....	52
ตารางที่ 4.3.2 แสดงผลการทดสอบการเยิ้มของแบบทดสอบที่ 2.....	53
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบค่าการเยิ้มโดยเฉลี่ยของแบบทดสอบที่ 1 และ 2.....	53
ตารางที่ 4.5 แสดงผลค่าการแยกตัวของคอนกรีต.....	54
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด.....	56
ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงความสามารถในการทำงานได้ และกำลัง ของตัวอย่างคอนกรีต.....	59



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 การกดบล็อกเหล็กโดยใช้ไวโบริสมแมอร์.....	5
รูปที่ 2.2 การเจาะดินโดยใช้หัวเจาะแบบสว่าน (Auger).....	5
รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนหัวเจาะเป็นแบบถังเจาะเก็บดิน (Bucket).....	6
รูปที่ 2.4 การติดตั้งเหล็กเสริมในหลุมเสาเข็มเจาะ.....	6
รูปที่ 2.5 การติดตั้งและเทคอนกรีตด้วยท่อ (Tremie Pipe).....	7
รูปที่ 2.6 การเทคอนกรีตชั้นสุดท้าย.....	7
รูปที่ 2.7 การไหลของคอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย (Self-Compacting Concrete).....	8
รูปที่ 2.8 การเย็มน้ำของคอนกรีตสดในเสาเข็มเจาะ.....	11
รูปที่ 2.9 ลักษณะการเย็มน้ำของคอนกรีต.....	11
รูปที่ 2.10 ลักษณะการแยกตัวของคอนกรีต.....	12
รูปที่ 2.11 การแยกตัวของคอนกรีต เมื่อแข็งตัวแล้ว.....	12
รูปที่ 2.12 ขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์และวัสดุปอซโซลาน.....	13
รูปที่ 2.13 ลักษณะของปูนซีเมนต์.....	15
รูปที่ 2.14 ลักษณะแต่ละชนิดของวัสดุปอซโซลาน (Pozzolan).....	16
รูปที่ 2.15 ลักษณะและขนาดอนุภาคของซิลิกา (Silica Fume).....	17
รูปที่ 2.16 ลักษณะอนุภาคของเถ้าลอย (Fly Ash Type F).....	18
รูปที่ 2.17 โครงสร้างของ Poly carboxylic Ethers (PCEs) Co-Polymer.....	20
รูปที่ 2.18 การจับตัวกันของ Poly carboxylic Ethers (PCEs), ซิลิกา(Silica Fume) และปูนซีเมนต์.....	21
รูปที่ 2.19 ผลของการทำปฏิกิริยาระหว่าง Poly carboxylic Ethers (PCEs) กับปูนซีเมนต์.....	21
รูปที่ 2.20 Poly carboxylic Ethers (PCEs) Sika <sup>®</sup> ViscoCrete <sup>®</sup> -10 <sup>TH</sup> .....	21
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	23
รูปที่ 3.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1.....	25
รูปที่ 3.3 ลักษณะทั่วไปของซิลิกาฟูม.....	27
รูปที่ 3.4 ลักษณะทั่วไปของเถ้าลอย.....	28
รูปที่ 3.5 ลักษณะทั่วไปของ Poly Carboxylic Ethers (PCE).....	30
รูปที่ 3.6 มวลรวมละเอียด.....	31
รูปที่ 3.7 การทดสอบสารอินทรีย์ในมวลรวมละเอียดตามมาตรฐาน ASTM C87.....	31
รูปที่ 3.8 กราฟแสดงผลการทดสอบหาขนาดคละของทราย.....	32
รูปที่ 3.9 มวลรวมหยาบ.....	33

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.10	34
รูปที่ 3.11	36
รูปที่ 3.12	36
รูปที่ 3.13	37
รูปที่ 3.14	38
รูปที่ 3.15	38
รูปที่ 3.16	39
รูปที่ 3.17	39
รูปที่ 3.18	40
รูปที่ 3.19	41
รูปที่ 3.20	41
รูปที่ 3.21	42
รูปที่ 3.22	43
รูปที่ 3.23	43
รูปที่ 3.24	44
รูปที่ 3.25	44
รูปที่ 3.26	45
รูปที่ 3.27	45
รูปที่ 3.28	46
รูปที่ 3.29	46
รูปที่ 3.30	46
รูปที่ 3.31	47
รูปที่ 3.32	48
รูปที่ 4.1	50
รูปที่ 4.2	51
รูปที่ 4.3	53
รูปที่ 4.4	55
รูปที่ 4.5	57

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

งานเสาะเข็มเจาะขนาดใหญ่ คือ งานเสาะเข็มที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาะเข็มมากกว่า 600 มิลลิเมตร และลึกได้มากกว่า 60 เมตร มักนำไปใช้กับโครงสร้างขนาดใหญ่ ที่ต้องการความแข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักได้มาก ซึ่งคอนกรีตที่จะนำมาใช้ในงานเสาะเข็มเจาะขนาดใหญ่จึงต้องการคุณสมบัติทางด้านความสามารถในการทำงานได้ และด้านกำลังที่เหมาะสม

คอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย (Self-Compacting Concrete : SCC) จึงเป็นคอนกรีตที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในงานเสาะเข็มเจาะขนาดใหญ่เป็นอย่างมาก เนื่องจากคุณสมบัติของตัวคอนกรีตที่สามารถไหลเข้าแบบและอัดตัวได้เอง โดยไม่ต้องใช้เครื่องจี้เขย่า

แต่คอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่ายนั้นยังคงมีปัญหาในเรื่องของการแยกตัว (Bleeding) และการแยกตัวของเนื้อคอนกรีต (Segregation) อยู่ ซึ่งการเกิดสิ่งเหล่านี้ นำไปสู่ปัญหาด้านความสามารถในการทำงานได้ และด้านกำลังของคอนกรีต ทำให้เสาะเข็มเจาะที่ทำการเทแล้วนั้นเกิดปัญหาที่ต้องทำการตัดหัวเสาะเข็ม ซึ่งส่งผลให้เกิดต้นทุนที่เพิ่มขึ้น

ดังนั้น การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลาน และการเติมสารผสมเพิ่ม จะสามารถลดปัญหาการเกิดการแยกตัว และการแยกตัวของเนื้อคอนกรีตได้ โครงการนี้จึงได้มุ่งเน้นศึกษาเพื่อหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตไหลประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย เพื่อใช้ในงานเสาะเข็มเจาะขนาดใหญ่

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ศึกษาและพัฒนาหาสัดส่วนผสมคอนกรีตไหลประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย (Self-Compacting Concrete : SCC) เพื่อใช้ในงานเสาะเข็มเจาะขนาดใหญ่

1.2.1.1 ศึกษาคุณสมบัติด้านความสามารถในการทำงานได้ (Workability) ของคอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลาน และเติมสารผสมเพิ่ม

1.2.1.2 ศึกษาคุณสมบัติด้านกำลัง ของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยวัสดุปอซโซลาน และเติมสารผสมเพิ่ม

1.2.1.3 ศึกษาและเปรียบเทียบส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสมในการใช้ในงานเสาะเข็มเจาะขนาดใหญ่ทั้งด้านความสามารถในการทำงานได้ และด้านความทนทาน (กำลังอัด)

### 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ทราบถึงคุณสมบัติด้านความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย ที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลาน และเติมสารผสมเพิ่ม
- 1.3.2 ทราบถึงคุณสมบัติด้านกำลังของคอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย ที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลาน และเติมสารผสมเพิ่ม
- 1.3.3 ทราบถึงส่วนผสมของคอนกรีตที่เหมาะสมในการใช้งาน สำหรับงานเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ ทั้งคุณสมบัติด้านความสามารถในการทำงานได้ ด้านกำลัง และด้านราคา

### 1.4 ขอบเขตการทำโครงการ

- ทำการผสมคอนกรีตที่มีสัดส่วนผสมของวัสดุปอซโซลานที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าลอย ซิลิกาฟูม และเติมสารผสมเพิ่ม PCE โดยปรับปริมาณสัดส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ดังนี้
  - เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ ร้อยละ 20,30 โดยน้ำหนัก
  - ซิลิกาฟูมแทนที่ปูนซีเมนต์ ร้อยละ 2,5 และ 8 โดยน้ำหนัก
- ทำการทดสอบประสิทธิภาพการไหล และความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย โดยการทดสอบ
  - Slump flow test (ASTM C1611/C1611 M)
  - J-Ring (ASTM C16211/C16211 M)
  - Column test (ASTM C1610/C1610 M)
  - Bleeding test (ASTM C232/C232 M-09)
- ทำการทดสอบคอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย โดยการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย โดยการทดสอบ
  - Compressive Strength (ASTM C31/C31 M)

## 1.5 แผนการดำเนินงาน

ลำดับที่	กิจกรรม	ระยะเวลา				
		5 ม.ค. - 31 ม.ค. 2558	1 ก.พ. - 28 ก.พ. 2558	1 มี.ค. - 31 มี.ค. 2558	1 เม.ย. - 30 เม.ย. 2558	1 พ.ค. - 31 พ.ค. 2558
1	ศึกษารวบรวมข้อมูล ที่เกี่ยวข้องกับการ ทดสอบ	←→				
2	จัดเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ สำหรับใช้ ในการทดสอบ		←→			
3	ทำการทดสอบ ตาม ขอบเขตที่กำหนดไว้				←→	
4	สรุปผล และ วิเคราะห์ผลการ ทดสอบ				←→	
5	เขียนโครงการ			←→		

## 1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

1. ค่าวัสดุอุปกรณ์สำหรับผสมคอนกรีต 2,000 บาท  
(หิน, ทราย และวัสดุสิ้นเปลืองอื่นๆ)
  2. ค่าจัดทำเอกสาร 1,000 บาท
- รวมเป็นเงินทั้งสิ้น 3,000 บาท (สามพันบาทถ้วน)

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

การเพิ่มประสิทธิภาพของคอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย (Self-Compacting Concrete) โดยการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลาน และเติมสารผสมเพิ่ม มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปัญหาการแยกตัว การเอิ่มน้ำ และเพิ่มความสามารถในด้านการทำงานได้ และความสามารถด้านกำลังและความทนทาน ในงานเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่

#### 2.1 คำจำกัดความของเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่และ คอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย (Self-Compacting Concrete)

##### 2.1.1 เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่

เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ คือ เสาเข็มที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 600 มิลลิเมตร สามารถก่อสร้างได้ถึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2,000 มิลลิเมตร มีความยาวได้มากกว่า 60 เมตร และรับน้ำหนักได้เกิน 1,500 ตันต่อต้น เหมาะกับงานโครงสร้างขนาดใหญ่ทุกระดับความสูง การที่เสาเข็มมีความยาวมาก จะทำให้แรงเสียดทานรอบเสาเข็มช่วยรับน้ำหนักได้ส่วนหนึ่ง นอกจากแรงแบกทานรองรับที่ได้ปลายเสาเข็มซึ่งรับน้ำหนักส่วนใหญ่เอาไว้ ขนาดของเสาเข็มจะขึ้นอยู่กับแรงรับน้ำหนักของสิ่งปลูกสร้างที่ได้รับการออกแบบไว้ ในกรณีงานโครงสร้างที่ต้องรองรับน้ำหนักมาก เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่จะได้เปรียบเสาเข็มเจาะขนาดเล็กและเสาเข็มตอก เนื่องจากเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่จะใช้พื้นที่ฐานรากน้อยกว่าเสาเข็มเจาะขนาดเล็กและเสาเข็มตอก

### 2.1.1.1. ขั้นตอนเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่

1.ช่างสำรวจวางหมุดตำแหน่งเข็ม กัดปลอกเหล็กกลงดินให้อยู่ในตำแหน่งโดยใช้ไวโบรแฮมเมอร์ โดยปลอกเหล็กที่ใช้ควรมีความยาวตลอดช่วงความลึกของชั้นดินอ่อน และตรวจสอบแนวตั้งของปลอกเหล็ก โดยใช้ระดับน้ำร่วมกับการเล็งแนวจากลูกตั้ง 2 ตำแหน่งที่ตั้งฉากกันหรือใช้กล้องสำรวจ ดังรูปที่ 2.1



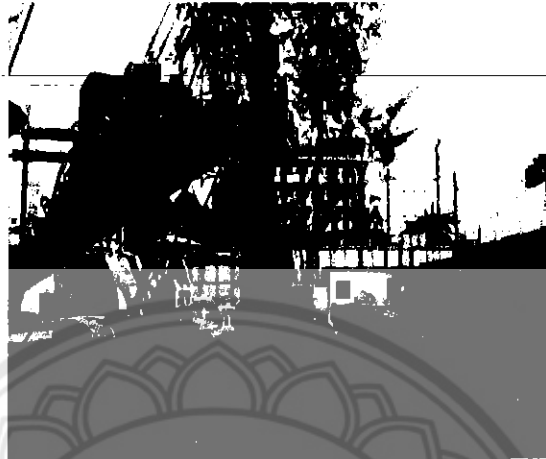
รูปที่ 2.1 การกัดปลอกเหล็กโดยใช้ไวโบรแฮมเมอร์  
www.thaiengineering.com

2.เจาะดินออกผ่านชั้นดินเหนียวอ่อน โดยใช้หัวเจาะแบบสว่าน (Auger) เมื่อได้ระดับความลึกก่อนผันปลายปลอกเหล็ก เติมสารละลายเบนโทไนท์ หรือ โพลีเมอร์ เพื่อพยุงและป้องกันการพังของหลุมเจาะขณะเจาะผ่านปลายของปลอกเหล็ก



รูปที่ 2.2 การเจาะดินโดยใช้หัวเจาะแบบสว่าน (Auger)  
www.thaiengineering.com

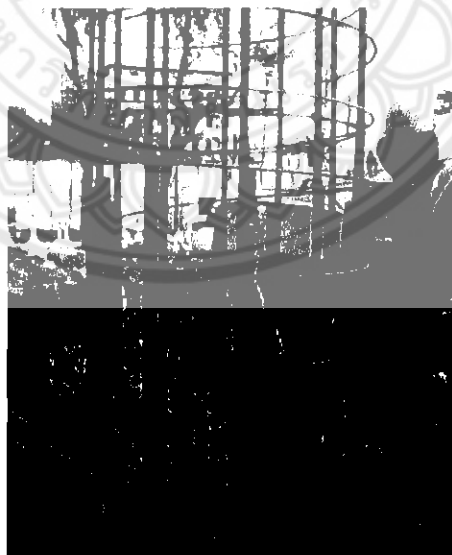
3.เปลี่ยนหัวเจาะเป็นแบบถังเจาะเก็บดิน (Bucket) แล้วทำการเจาะลงไปจนถึงระดับที่ต้องการ โดยต้องรักษาระดับของสารละลายพุงหลุมเจาะให้ไม่ต่ำกว่าระดับดินเดิมเกิน 3 เมตร สำหรับสารละลายโพลีเมอร์ หลังจากเจาะจนถึงระดับที่ต้องการแล้วรอให้ทรายตกตะกอนประมาณ 1 ชั่วโมง หากพบว่ามีตะกอน ใช้ถังเก็บตะกอน หรือ Air-Lift ทำความสะอาดกันหลุม



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนหัวเจาะเป็นแบบถังเจาะเก็บดิน (Bucket)

[www.thaiengineering.com](http://www.thaiengineering.com)

4.นำเหล็กเสริมที่ขึ้นรูปพร้อมแล้วมาติดตั้งลงในหลุมที่เจาะเตรียมไว้ โดยที่รอยต่อระหว่างเหล็กเสริมแต่ละท่อนต้องมีระยะห่างเพียงพอและเชื่อมรอยต่อหรือใช้ข้อยึด (Clamp)

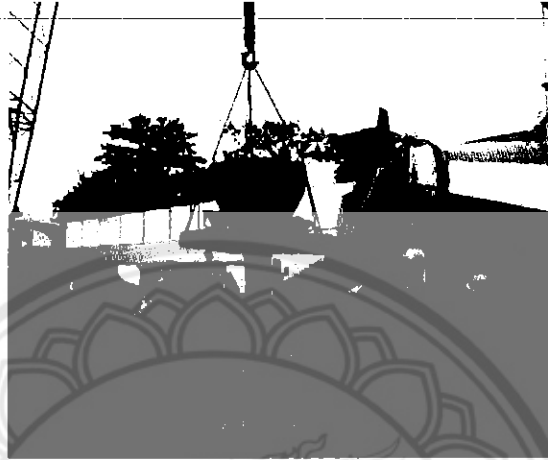


รูปที่ 2.4 การติดตั้งเหล็กเสริมในหลุมเสาเข็มเจาะ

[www.thaiengineering.com](http://www.thaiengineering.com)

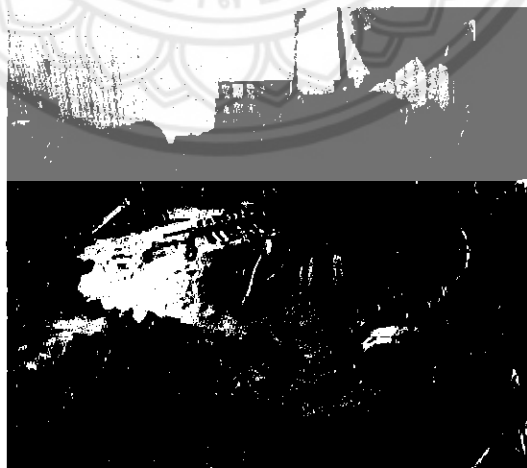


5.ติดตั้งท่อเทคอนกรีต (Tremie Pipe) ซึ่งมีการเชื่อมต่อระหว่างท่ออย่างดี เพื่อป้องกันการปนเปื้อนระหว่างคอนกรีตกับสารละลาย โดยรักษาระดับปลายท่อให้อยู่เหนือชั้นหลุมประมาณ 0.5 เมตรและเทคอนกรีต โดยมีการตรวจสอบระดับและปริมาณอย่างต่อเนื่อง โดยเมื่อเทคอนกรีตได้ระดับหนึ่ง ท่อเทคอนกรีตจะถูกถอดให้สั้นลงโดยรักษาระดับปลายท่อให้อยู่ภายในเนื้อคอนกรีตที่ดีไม่น้อยกว่า 3 เมตรตลอดเวลา



รูปที่ 2.5 การติดตั้งและเทคอนกรีตด้วยท่อ (Tremie Pipe)  
www.thaiengineering.com

6.การเทคอนกรีตในชั้นสุดท้าย จะต้องเทคอนกรีตให้อยู่สูงกว่าระดับตัดหัวเข็มประมาณ 1-4 เมตร เพื่อรับประกันว่าจะไม่มีคอนกรีตที่ปนเปื้อนสารละลาย หรือตะกอนหลงเหลืออยู่แล้วจึงถอนปลอกเหล็กออกโดยใช้ไวโบรแฮมเมอร์



รูปที่ 2.6 การเทคอนกรีตชั้นสุดท้าย  
www.thaiengineering.com

## 2.1.2 คอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย (Self-Compacting Concrete)

คอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย (Self-Compacting Concrete) คือ คอนกรีตที่ไหลเข้าแบบเองได้ด้วยน้ำหนักตัวมันเอง ปราศจากการจี้เขย่า และยังคงความเป็นเนื้อเดียวกัน

### มีคุณสมบัติหลักๆ อยู่ 3 ข้อ คือ

1. ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างสูง (Filling ability) คือ ความสามารถของคอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย (Self-Compacting Concrete) ที่ไหลเข้าไปทุกมุมในของแบบภายใต้ น้ำหนักของตัวมันเอง

2. สามารถไหลผ่านสิ่งกีดขวางได้ดี (Passing ability) คือ ความสามารถของคอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย (Self-Compacting Concrete) ที่ไหลผ่านช่องว่างระหว่างเหล็กเสริม โดยปราศจากการแยกตัว

3. มีความต้านทานการแยกตัวของมวลรวมสูง (Segregation resistance) คือ ความสามารถของคอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย (Self-Compacting Concrete) ที่ยังคงมีความเป็นเนื้อเดียวกันในระหว่างการขนส่งและบรรจุ



รูปที่ 2.7 การไหลของคอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย (Self-Compacting Concrete)

[www.concreteconstruction.net](http://www.concreteconstruction.net)

## 2.2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.2.1. การพัฒนาการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตไหลเข้าแบบได้ง่าย โดยตัวแปรหลักคือ การไหลของซีเมนต์เพสต์ (Development of a mix design method for SCC based on the rheological characteristics of paste) งานวิจัยของ Qiong Wu, Xuehui An, 2013 ในบทความนี้ได้นำเสนอวิธีการออกแบบส่วนผสมแบบใหม่ สำหรับคอนกรีตไหลเข้าแบบได้ง่าย (Self-Compacting Concrete : SCC) โดยยึดตัวแปรการไหลของซีเมนต์เพสต์ รูปแบบจำลองทางทฤษฎีแสดงให้ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อ การไหล คือ ความสามารถในการไหล และต้านทานการแยกตัวของคอนกรีตไหลเข้าแบบได้ง่าย (Self-Compacting Concrete : SCC) ภายใต้น้ำหนักและการเคลื่อนที่ของตัวมันเอง การทดสอบ Mini Slump ของเพสต์ และความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตไหลเข้าแบบได้ง่าย (Self-Compacting Concrete : SCC) ให้ได้ตามรูปแบบที่จำลองไว้ ซึ่งในภายหลังได้นำเสนอวิธีออกแบบส่วนผสมที่ง่าย และมีประสิทธิภาพ คือการเตรียมเผาหินปูนบริสุทธิ์ โดยปราศจากปูนซีเมนต์ วิธีนี้ทำให้ได้ ความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตไหลเข้าแบบได้ง่าย (Self-Compacting Concrete : SCC) จากตัวแปรการไหลของซีเมนต์เพสต์

2.2.2. ผลกระทบของวัสดุผงที่มีผลต่อการไหลและแรงดันในแบบของคอนกรีตไหลเข้าแบบได้ง่าย (Effect of powder materials on the rheology and formwork pressure of self-consolidating concrete) งานวิจัยของ Jae Hong Kim , Nagy Noemi , Surendra P. Shah ,2011 คอนกรีตไหลเข้าแบบได้ง่ายในปัจจุบัน ได้พัฒนาวัสดุก่อสร้างที่ทันสมัยในการใช้คอนกรีตไหลเข้าแบบได้ง่าย จำเป็นต้องมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างสูง จะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายของแรงงาน ดังนั้นคอนกรีตไหลเข้าแบบได้ง่าย ต้องมีไม้แบบที่แข็งแรงในการต้านทานแรงดันด้านข้างที่สูงกว่าคอนกรีตธรรมดา ในการศึกษาได้แสดงผลจากแรงดันในแบบ โดยการแทนที่หินปูน หรือเถ้าลอย และยังคงความสามารถในการเทได้ของการผสมคอนกรีตไหลเข้าแบบได้ง่าย ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ถูกแทนที่ด้วยวัสดุผง ซึ่งเพิ่มความสามารถในการไหลและความทนทาน วัสดุผงที่แทนที่นี้จะเพิ่มแรงดันในแบบ และยังคงลดความสามารถในการเทได้ ผลกระทบจากแรงดันในแบบของวัสดุผงแทนที่นี้ มีการเสนอประเมินผล 2 รูปแบบ และเปรียบเทียบความสามารถในการไหลของเพสต์

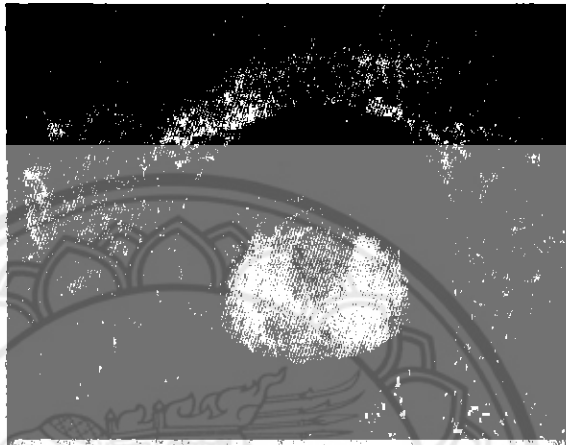
2.2.3. อิทธิพลของสารผสมเพิ่มที่มีต่อการไหลของซีเมนต์เพสต์และคอนกรีต (The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete) งานวิจัยของ Chiara F. Ferraris, Karthik H. Obla, Russell Hill, 2000 การทดสอบการไหลของซีเมนต์เพสต์ขึ้นอยู่กับ การเลือกชนิดและปริมาณของสารผสมเพิ่ม ซึ่ง จะเพิ่มความสามารถในการทำงานได้ การทดสอบสารผสมเพิ่มที่แตกต่างกัน 6 ชนิด พบว่า Ultrafine Fly Ash (UFFA) ให้ผลการทดสอบที่ดีที่สุด โดยลด Yield stress และความหนืด จึงทำให้เพิ่ม ความสามารถในการไหล การเพิ่มปริมาณน้ำและเพิ่มปริมาณ High-Range Water Reducer (HRWR) ดังนั้นการเพิ่ม Ultrafine Fly Ash (UFFA) จะเพิ่มการไหลของคอนกรีตโดยไม่ลดคุณสมบัติ ของคอนกรีต เมื่อแข็งตัวแล้ว หรือค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น ส่วนการทดสอบ Slump Test ของซีเมนต์ เพสต์ ผลที่ได้จากการทดสอบคือความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์ ได้พิจารณาเปรียบเทียบ 2 การทดสอบ คือ Mini Slump และ Marsh Cone เพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่น่าเชื่อถือ เพื่อหาปัจจัย ที่มีผลต่อการไหลของซีเมนต์เพสต์

2.2.4. ผลกระทบต่อการไหลของคอนกรีตสดจากการเติมสารผสมเพิ่ม (Additivity effects in the rheology of fresh concrete containing water-reducing admixtures) งานวิจัยของ P.F.G. Banfill ,2010 คอนกรีตสดมีความ จำเป็นต้องมีการขนส่งและบรรจุ คือคอนกรีตที่สามารถไหลเข้าแบบและรอบๆเหล็กเสริม โดยมีการ อัดตัวและไหลเข้าแบบเมื่อเสร็จ โดยปราศจากการแยกตัว คอนกรีตยุคใหม่สามารถใช้สารผสมเพิ่มใน การลดปริมาณน้ำ เพื่อให้มีประสิทธิภาพได้ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้ได้ ค่ากำลังอัดที่สูงขึ้น จะทำให้ ได้คอนกรีตสดที่ดี อ้างอิงจาก Bingham Model ในปี 1970s. ข้อมูลที่สำคัญคือ ผลกระทบของ ส่วนประกอบวัสดุและความสัมพันธ์ส่วนระหว่าง Yield stress และ Plastic viscosity ในการ เลือกส่วนผสมวัสดุ โดยการสมมติ ซึ่งไม่ได้แสดงไว้อย่างชัดเจน ทำให้มีผลของการเพิ่มปริมาณวัสดุ ใน บทความนี้ได้นำเสนอการลดน้ำของคอนกรีต เมื่อเพิ่ม Superplasticizers จะทำให้ความเค้น ณ จุด คราก ลดลง ซึ่งต้องลดน้ำ เพื่อให้ความเค้น ณ จุดครากกลับมาเป็นค่าเท่าเดิม การลดปริมาณน้ำนี้จะทำ ให้ Plastic viscosity มีค่าสูงขึ้น ทำให้มีความเหนียวและหนืดสูง ซึ่งยากต่อการผสมคอนกรีต ผลสรุป ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ การไหลของคอนกรีตสดจากการเติมสารผสมเพิ่ม คือ ผลรวมของเวกเตอร์ที่ได้ จากการพล็อตกราฟระหว่าง Yield stress และ Plastic viscosity

## 2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อด้านความสามารถในการทำงานได้ ด้านกำลังและความทนทานของคอนกรีต ที่ใช้ในงานเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่

### 2.3.1. การเยิ้มน้ำของคอนกรีต (Bleeding)

การเยิ้มน้ำของคอนกรีต เป็นสาเหตุหนึ่งของการแยกตัวของคอนกรีต การที่น้ำไหลขึ้นมาที่ผิวหน้าของคอนกรีต เนื่องจากน้ำมีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยที่สุดในส่วนผสมของคอนกรีต



รูปที่ 2.8 การเยิ้มน้ำของคอนกรีตสดในเสาเข็มเจาะ  
www.thaiengineering.com



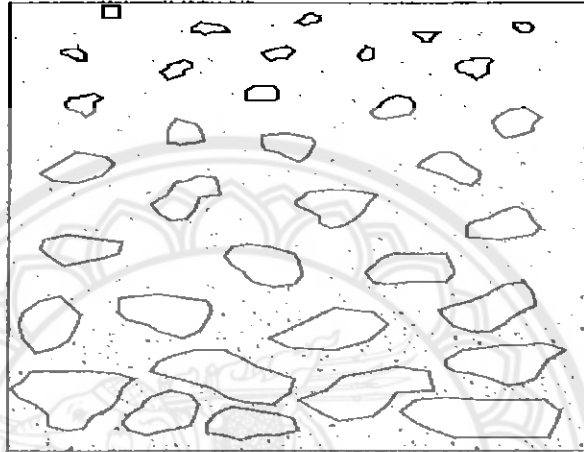
รูปที่ 2.9 ลักษณะการเยิ้มของคอนกรีต  
www.thaiengineering.com

### 2.3.2. การแยกตัวของคอนกรีต (Segregation)

การแยกตัวของคอนกรีต คือ การแยกตัวกันของส่วนผสมคอนกรีตระหว่างซีเมนต์เพสต์และมวลรวม จึงทำให้ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

มี 2 สาเหตุหลัก คือ

- 1.เกิดจากการที่มวลรวมหยาบแยกตัวหรือจมตัวออกจากมอร์ตาร์
- 2.เกิดจากการแยกตัวของซีเมนต์เพสต์ออกจากมวลรวมหยาบ

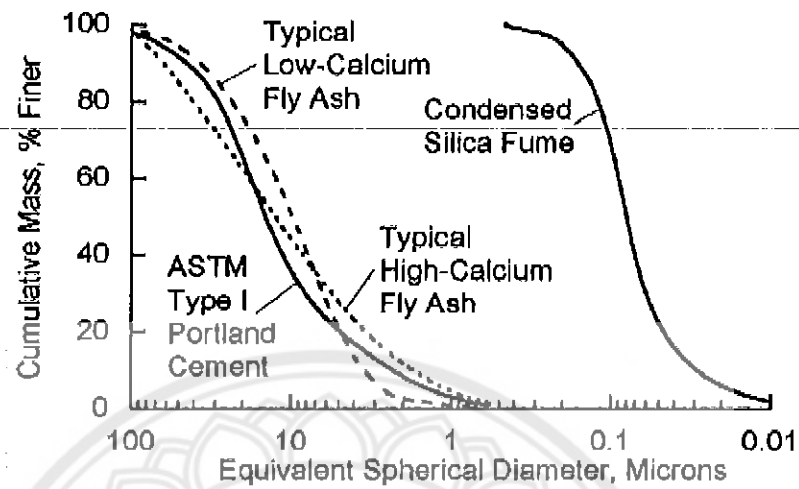


รูปที่ 2.10 ลักษณะการแยกตัวของคอนกรีต  
[www.dictionaryofconstruction.com](http://www.dictionaryofconstruction.com)



รูปที่ 2.11 การแยกตัวของคอนกรีต เมื่อแข็งตัวแล้ว  
[www.site.iugaza.edu.ps/matqedra](http://www.site.iugaza.edu.ps/matqedra)

## 2.4 วัสดุปอซโซลาน และสารผสมเพิ่มที่ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



รูปที่ 2.12 ขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์และวัสดุปอซโซลาน  
www.ce.berkeley.edu

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์และวัสดุปอซโซลาน (ศ.ดร.ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2550)

คุณสมบัติ	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	เถ้าถ่านหิน	ซิลิกาฟูม
ความละเอียดของเบส (ชม. <sup>2</sup> /ก.)	3,400	3,800	150,000
ความถ่วงจำเพาะ	3.15	2.4	2.2
สี	เทา	เทาอ่อนจนถึงเทาเข้มหรือสีน้ำตาล	เทาดำหรือเทาอมขาว

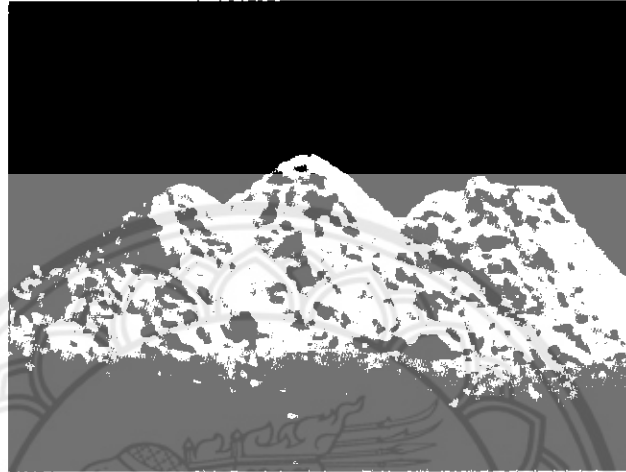
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางเคมีของปูนซีเมนต์และวัสดุปอซโซลาน (ศ.ดร.ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2550)

ออกไซด์	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	เถ้าถ่านหิน	ซิลิกาฟูม
SiO <sub>2</sub>	20	48	92
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5	26	0.7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3	10	1.2
CaO	60	5	0.2
MgO	1.1	2	0.2
SO <sub>3</sub>	2.4	0.7	-
ออกไซด์อื่นๆ	1.5	1.3	2.6
LOI.	2	3	-



### 2.4.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ใช้ผลิตภัณฑ์ของดอกบัว สีเทา มีรูปร่างกลม มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 20 ไมโครเมตร มีค่าความถ่วงจำเพาะ 3.15 มีความละเอียด 3,400 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ทดสอบโดยวิธีของเบรน มี  $\text{SiO}_2 > 20\%$  ตามมาตรฐาน ASTM C 150 ใช้สำหรับงานก่อสร้างทั่วไป ที่ไม่มีความต้องการคุณสมบัติพิเศษในด้านใด

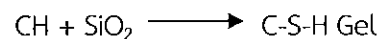


รูปที่ 2.13 ลักษณะของปูนซีเมนต์  
www.differencebetween.info

### 2.4.2. วัสดุปอซโซลาน

วัสดุปอซโซลาน คือ วัสดุซิลิกาหรืออลูมินา ที่มีขนาดเล็กกว่าปูนซีเมนต์ เมื่อเกิดการทำปฏิกิริยาปอซโซลานิกระหว่างวัสดุปอซโซลานกับความชื้นหรือน้ำด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์  $\text{Ca(OH)}_2$  ที่อุณหภูมิปกติ ทำให้เกิดวัสดุเชื่อมประสาน เช่นเดียวกับการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ และมีคุณสมบัติเหมือนปูนซีเมนต์ ASTM C595

การเกิดการทำปฏิกิริยาปอซโซลานิก



C คือ แคลเซียมออกไซด์ ( $\text{CaO}$ )

S คือ ซิลิกาไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ )

H คือ ไฮโดรเจนไดออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}$ )



รูปที่ 2.14 ลักษณะแต่ละชนิดของวัสดุปอซโซลาน (Pozzolan)

www.cement.org

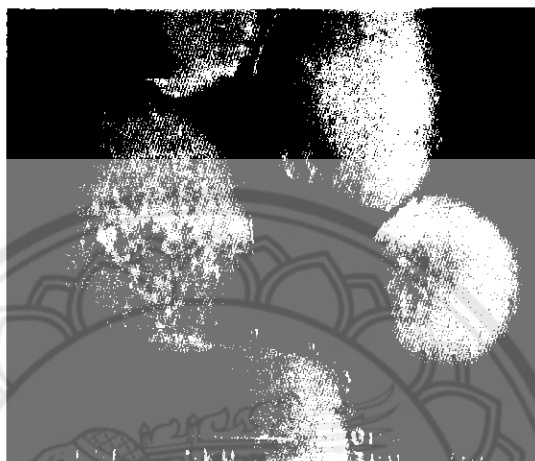
#### 2.4.2.1. แร่ธาตุผสมเพิ่ม

2.4.2.1.1. ซิลิกาฟุ้ง (Silica Fume) เป็นวัสดุที่ได้จากการผลิต Silicon Metal และ Ferrosilicon Alloy มีรูปร่างเป็นทรงกลม ไม่เป็นผลึก มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 0.1 ไมโครเมตร มีสีเทาอมขาว มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.2 และมีพื้นที่ผิวประมาณ 20 ถึง 25 ตารางเมตรต่อกรัม (โดยวิธี Nitrogen Absorption) มีความละเอียด 150,000 ตารางเมตรต่อกรัม ทดสอบโดยวิธีของเบนสัน มี  $\text{SiO}_2 > 90\%$  ทำให้มีอนุภาคเล็กมาก ซิลิกาฟุ้งมีพื้นที่ผิวสูงมากและอยู่ในรูปที่ไม่เป็นผลึก ทำให้ซิลิกาฟุ้งเป็นสารที่เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้เร็วมากต้องเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสมเพื่อให้ได้ความชื้นเหลวเท่าเดิม แต่ไม่ให้อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุผงมีค่าสูงมากเกินไป จึงต้องใช้ Poly Carboxylic Ethers (PCEs) ช่วยลดน้ำในส่วนผสมของคอนกรีต ตามมาตรฐาน ASTM C618

#### มีคุณสมบัติเฉพาะ

1. Pore-size refinement and matrix densification คือ ลดช่องว่างระหว่างส่วนผสมของคอนกรีต จึงทำให้มีความหนาแน่นของคอนกรีตเพิ่มขึ้น
2. Reaction with free-lime คือ เกิดการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างต่อเนื่องในระหว่างการบ่มของซีเมนต์คิงเกอร์ Tricalcium Silicate ( $\text{C}_3\text{S}$ ) , Dicalcium Silicate ( $\text{C}_2\text{S}$ ) ทำให้ได้การทำปฏิกิริยาไฮเดรชันที่สมบูรณ์
3. Cement Paste-Aggregate interfacial คือ มีพื้นที่ผิวสัมผัสและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์เพสต์และมวลรวมเพิ่มขึ้น ทำให้เพิ่มความสามารถในการรับแรงกำลังอัดและต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์

การศึกษาเปรียบเทียบหากระทบของไมโครซิลิกาที่ใช้ในคอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย (SCC) ที่ช่วงอายุต้น (Early-Age) ความพรุนและการซึมผ่าน มีตัวแปรอยู่หลายตัวในระยะเวลา 24 ชั่วโมง เช่น การระเหยของน้ำ ความดัน การหดตัวที่แห้งแล้ว อุณหภูมิ และความเร็วของอัลตราโซนิค (UPV) ซึ่งมีผลเนื่องจากการเติมไมโครซิลิกาซึ่งเกี่ยวกับการแทนที่น้ำ ปฏิกิริยาไฮเดรชัน และการพัฒนาของโครงสร้างเมื่อแข็งตัว ส่วนนาโนซิลิกาจะเร่งให้คอนกรีตไหลเข้าแบบเองได้ (SCC) แข็งตัวได้เร็วขึ้นที่ช่วงอายุต้น (Early-Age) ดังนั้น ผลกระทบที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของไมโครซิลิกา



รูปที่ 2.15 ลักษณะและขนาดอนุภาคของซิลิกาฟุ้ง (Silica Fume)  
วารสารคอนกรีต ศ.ดร.ชัย จาตุรพิทักษ์กุล เรื่อง ซิลิกาฟุ้ง ปี พ.ศ.2550

#### ข้อดี

1. เพิ่มแรงยึดเหนี่ยวและลดการแยกตัวของคอนกรีต
2. ลดการเยิ้มในคอนกรีต
3. เพิ่มกำลังอัดของคอนกรีต
4. ลดการซึมผ่านของคลอไรด์
5. เพิ่มความทนทานต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต

#### ข้อเสีย

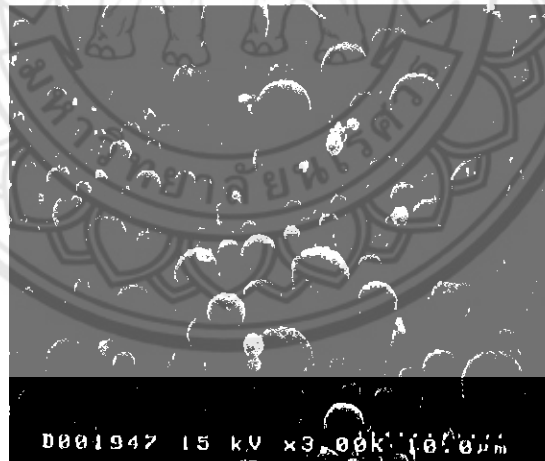
1. มีราคาแพง

2.4.2.1.2. เถ้าลอย (Fly Ash Type F) มักเรียกว่า”เถ้าลอยแคลเซียมต่ำ” ใช้ผลิตภัณฑ์ของ เป็นวัสดุที่ได้จากการเผาถ่านหิน มีลักษณะเป็นของแข็ง มีรูปร่างทรงกลม มีสีเทาดำ มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 10 ไมโครเมตร และมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 45 ไมโครเมตร อยู่ที่ 15-20 % มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.4 มีความละเอียด 3,800 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ทดสอบโดยวิธีของเบลน มี

$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 70\%$  ซึ่งจะอยู่ในรูปของออกไซด์ของซิลิกา และอะลูมินา โดยปกติใช้อยู่ในช่วง 15-30 % โดยน้ำหนักของวัสดุผงในส่วนผสมของคอนกรีต ตามมาตรฐาน ASTM C618

เถ้าถ่านหินและชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงโรงไฟฟ้า โดยมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม แต่เถ้าถ่านหินยังมีศักยภาพในการรีไซเคิล โดยทำให้การคอนกรีตมีประสิทธิภาพสูง เช่น คอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย (SCC) คอนกรีตที่เป็นนวัตกรรมใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถไหลเข้าแบบเองได้และไหลภายใต้น้ำหนักของตัวเอง โดยไม่เกิดการแยกตัว ด้วยเหตุนี้จึงไม่ต้องการ การกระทุงหรือจี้เขย่า ซึ่งปรับปรุงกระบวนการผลิตและประสิทธิภาพของโครงสร้างคอนกรีต

Gritsada Sua-lam ,Natt Makul ,2015 ได้ทำการวิเคราะห์คอนกรีตไหลเข้าแบบเองได้ (SCC) ในเรื่องของด้านต่างๆรวมถึงประวัติความเป็นมาของกระบวนการผลิตและการออกแบบส่วนผสม ซึ่งได้ทำการออกแบบส่วนผสมอยู่ 4 ตัว คือ เถ้าลอย (Fly ash) ,เถ้าหนัก(Bottom ash), ชี้เถ้าแกลบ(Rice husk ash) ,และเถ้าชานอ้อย(Sugarcane Bagasse ash) เนื่องด้วยการขยายตัวอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ทำให้การกำจัดผลพลอยได้ เช่น เถ้าลอยกลายมาเป็นประเด็นที่เพิ่มขึ้นของปัญหาสิ่งแวดล้อม และมันถูกนำมาใช้ในการผลิตคอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย (SCC) ถือเป็นวัสดุชนิดใหม่และความพยายามพัฒนาอย่างยั่งยืน และเป็นวัสดุที่สามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน มักจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของคอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย (SCC)



รูปที่ 2.16 ลักษณะอนุภาคของเถ้าลอย (Fly Ash Type F)

Ph.D.Micheal Thomas, University of New Brunswick : Optimizing the Used Fly Ash in Concrete Since 2007

### ข้อดี

1. เพิ่มความสามารถในการไหลของคอนกรีต
2. เพิ่มแรงยึดเหนี่ยวและลดการแยกตัวของคอนกรีต
3. ลดการเยิ้มในคอนกรีต
4. เพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตในระยะยาว
5. เพิ่มความทนทานต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต
6. ลดการซึมผ่านของคลอไรด์

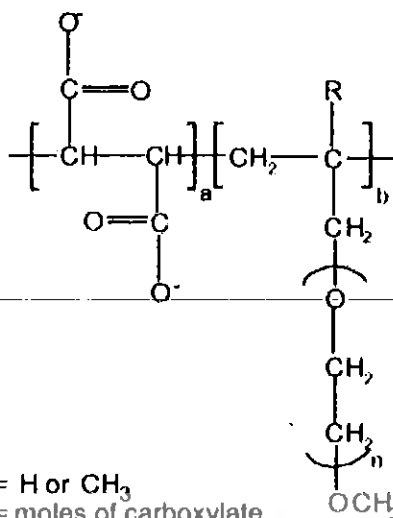
### ข้อเสีย

1. ทำปฏิกิริยาไฮเดรชันช้า จึงไม่เหมาะกับงาน High Early Strength Concrete

### 2.4.3. สารผสมเพิ่ม

2.4.3.1. Poly carboxylic Ethers (PCEs) หรือ “Superplasticizers” ใช้ผลิตภัณฑ์ของ Sika<sup>®</sup> ViscoCrete<sup>®</sup> -10TH เป็นสารลดน้ำพิเศษ (Type F Water-Reducing, High range admixtures) มีสีน้ำตาลอ่อน มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.06 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) = 4.3 ใช้ PCEs ในอัตรา 0.4-1.5% โดยน้ำหนักของวัสดุผง ซึ่งอยู่ในรูป Co-Polymer Ethers (R-O-R') ตามมาตรฐาน ASTM C494 / C494M – 13

ในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่าย Poly carboxylate-based Superplasticizers (PC-based SPs) เป็นตัวแปรเริ่มต้นของความสามารถในการทำงานได้ ปัญหาบางครั้งของการสูญเสียความสามารถในการทำงานได้นั้นเกิดจากแหล่งผลิตคอนกรีตผสมเสร็จในทางตรงกันข้ามการก่อตัวและกำลังอัดในช่วงอายุนั้น (Early-Age) ก็เป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่มีความน่าสนใจ ดังนั้น การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ง่ายที่เหมาะสมที่สุดนั้น ควรดูความต้องการที่แตกต่างกันทั้งสองตัวแปร



R = H or CH<sub>3</sub>

a = moles of carboxylate

b = moles of directly bonded polyoxyethylene

n = moles of ethylene oxide

รูปที่ 2.17 โครงสร้างของ Poly carboxylic Ethers (PCEs) Co-Polymer  
Effect of chemical structure of poly carboxylate-based superplasticizers on  
workability retention of self-compacting concrete



รูปที่ 2.18 การจับตัวกันของ Poly carboxylic Ethers (PCEs), ซิลิกา (Silica Fume) และปูนซีเมนต์  
POLYCARBOXYLATE ETHER DISPERSANTS: INTERACTION WITH MICROSILICA  
CONTAINING LOW-CEMENT

Adsorption  
of the  
polymer on  
the cement  
grain



Water reduction effect



Improved  
workability  
due to  
steric  
hindrance



steric effect



รูปที่ 2.19 ผลของการทำปฏิกิริยาระหว่าง Poly carboxylic Ethers (PCEs) กับปูนซีเมนต์  
Admixture Technical Sheet –ATS 2 Superplasticising /High range water reducing



รูปที่ 2.20 Poly carboxylic Ethers (PCEs) Sika® ViscoCrete® -10TH  
[www.Thai.sika.com](http://www.Thai.sika.com)

**ข้อดี**

1. ลดปริมาณการใช้น้ำ (Reduce water) สูงถึง 30%
2. เพิ่มความสามารถในการเทได้
3. เพิ่มกำลังอัดของคอนกรีต
4. ลดการซึมผ่าน
5. ลดการหดตัวระหว่างบ่ม
6. ลดการคืบเมื่อเกิดการแข็งตัว

**ข้อเสีย**

1. ถ้าเติม PCEs มากไป จะทำให้เกิดการแยกตัวของคอนกรีตระหว่างซีเมนต์เฟสกับมวลรวม



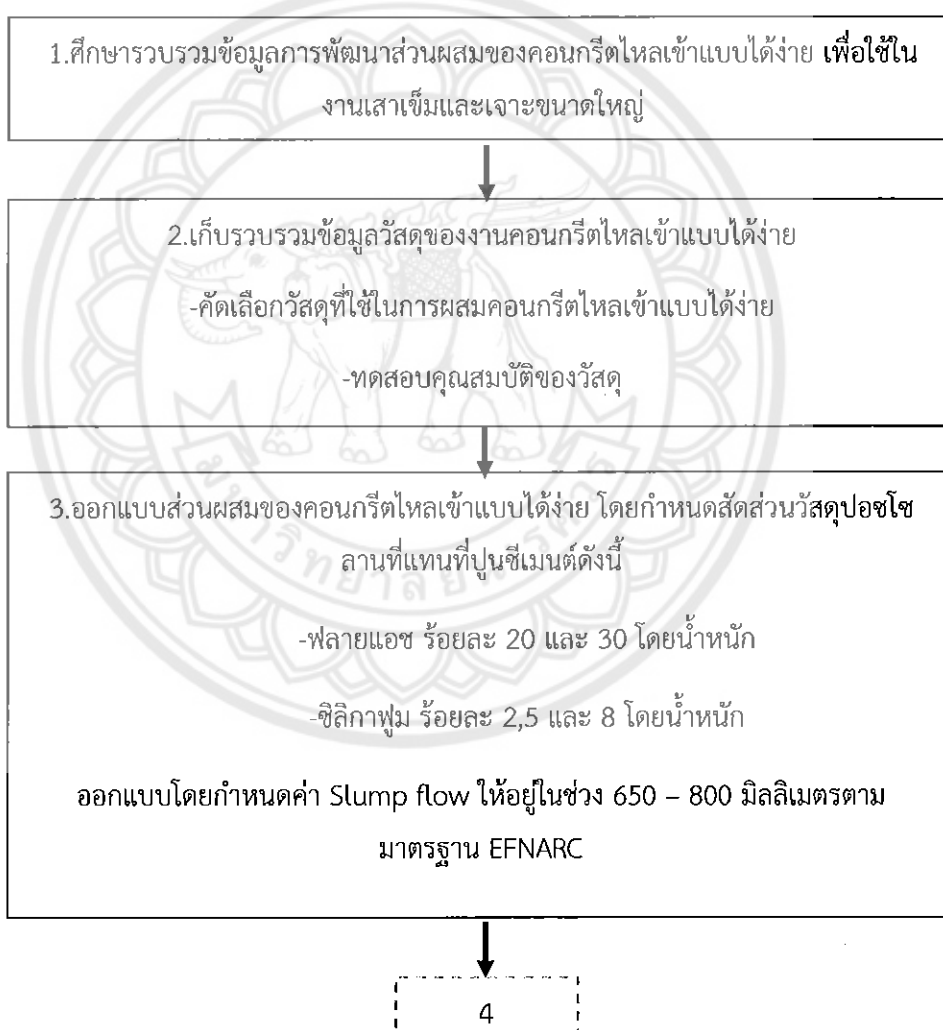


## บทที่ 3

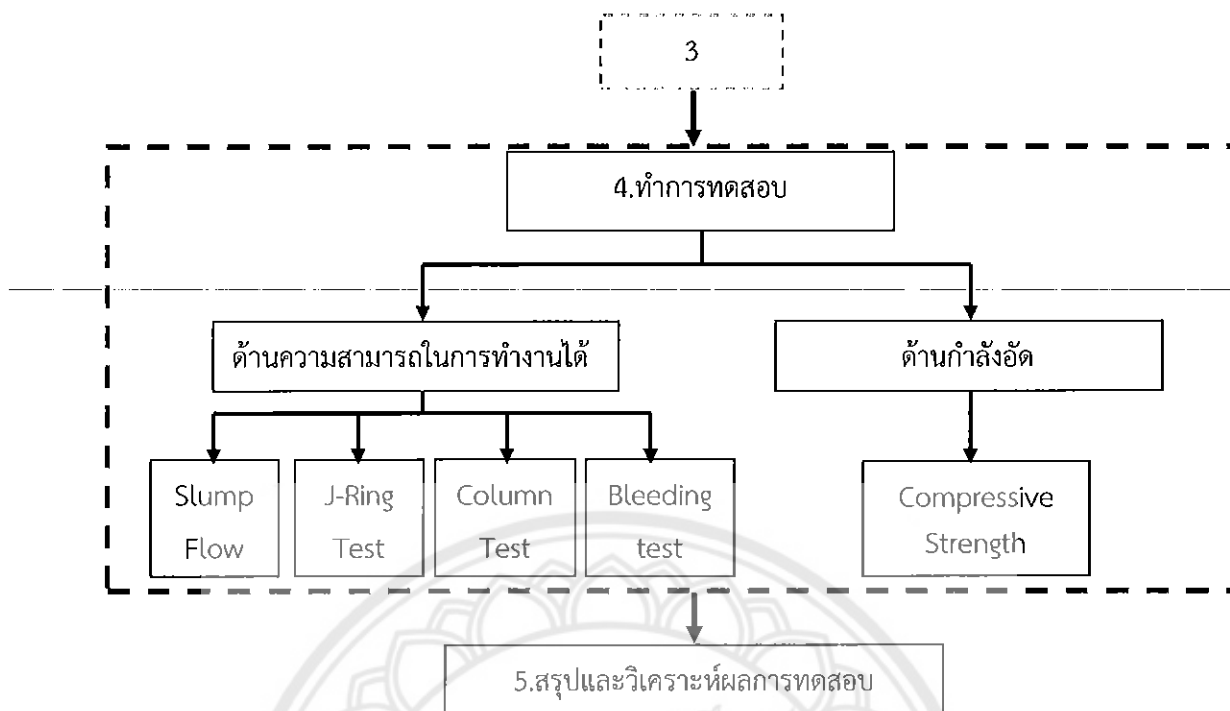
### วิธีดำเนินโครงการ

#### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานสรุปได้ทั้งหมดเป็น 5 ขั้นตอน คือ ศึกษารวบรวมข้อมูลการพัฒนาส่วนผสมของคอนกรีตไหลเข้าแบบได้ง่าย เพื่อใช้ในงานเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่, เก็บรวบรวมข้อมูลวัสดุของงานคอนกรีตไหลเข้าแบบได้ง่าย, ออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตไหลเข้าแบบได้ง่าย, ทำการทดสอบ และสรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบ ดังรูปที่ 3.1



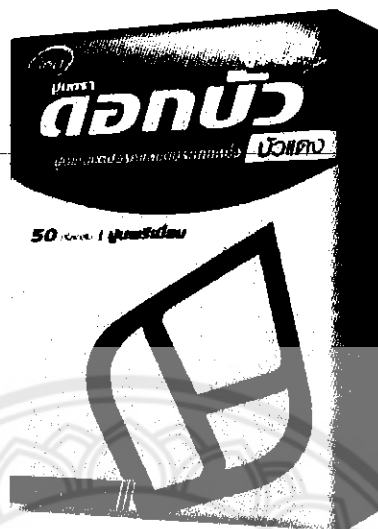
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย (ต่อ)

## 3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

### 3.2.1 ปูนซีเมนต์



รูปที่ 3.2 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1  
www.asiacement.co.th..

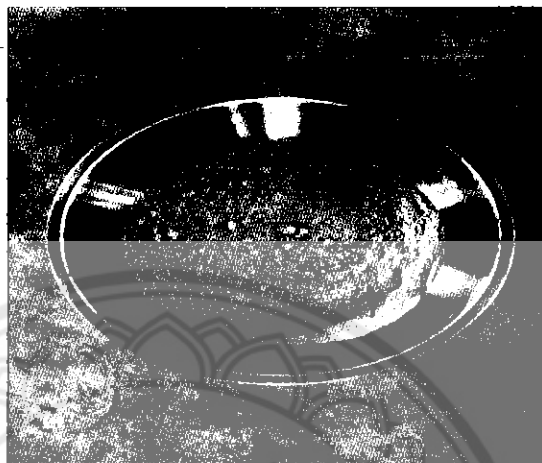
ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Cement Portland Type 1) ที่ผลิตตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 15 เล่ม 1-2547 และมาตรฐาน ASTM C 150 ใช้สำหรับงานก่อสร้างทั่วไป ที่ไม่มีความต้องการคุณสมบัติพิเศษในด้านใด มีคุณสมบัติทางเคมี และสมบัติทางกายภาพประกอบด้วย แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO<sub>3</sub>) เป็นหลัก ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงสารประกอบ และส่วนประกอบของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

Specification for Portland cement type I : Red Lotus Brand			TIS 15		
			Vol.1- 2004	ASTM C150	Test Result
<b>คุณลักษณะทางเคมี</b>					
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	Max.	%	6.0	6.0	1.8
<b>ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO<sub>3</sub>)</b>					
เมื่อมีไตรแคลเซียมอะลูมิเนต ร้อยละ 8 หรือน้อยกว่า	Max.	%	3.0	3.0	2.5
เมื่อมีไตรแคลเซียมอะลูมิเนต มากกว่า ร้อยละ 8	Max.	%	3.5	3.5	-
น้ำหนักที่สูญเสียเนื่องจากการเผา	Max.	%	3.0	3.0	1.0
กากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง	Max.	%	0.8	0.8	0.3
<b>คุณลักษณะทางฟิสิกส์</b>					
ความละเอียด พื้นผิวจำเพาะ (ตร.ซม.ต่อกรัม)	Min.	Cm <sup>2</sup> /g	2,800.0	2,800.0	3,100.0
การขยายตัวโดยวิธีอโตแคลฟ ร้อยละ	Max.	%	0.8	0.8	0.0
<b>ระยะเวลาก่อตัว การทดสอบแบบไวแคต</b>					
การก่อตัวระยะต้น : นาที	Min.	Minutes	45.0	45.0	100.0
การก่อตัวระยะปลาย : นาที	Max.	Minutes	375.0	375.0	180.0
ปริมาณอากาศในมอร์ตาร์ ร้อยละโดยปริมาตร	Max.	%	12.0	12.0	8.7
<b>ความต้านทานแรงอัด (เมกะพาสคัล)</b>					
อายุ 3 วัน	Min.	MPa	12.0	12.0	20.0
อายุ 7 วัน	Min.	MPa	19.0	19.0	29.0
อายุ 28 วัน	Min.	MPa	28.0	28.0	39.0

### 3.2.2. ซิลิกาฟุ้ง (Silica Fume)

ซิลิกาฟุ้ง มีลักษณะเป็นสีเทาขาว ดังรูปที่ 3.3 มีขนาดอนุภาค 0.1 มิลลิเมตร ซึ่งเล็กที่สุดในส่วนผสมของคอนกรีต มีองค์ประกอบหลักคือ ซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) ซึ่งมีอยู่มากกว่าร้อยละ 90 ดังตารางที่ 3.2 มีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.15 ดังตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ลักษณะทั่วไปของซิลิกาฟุ้ง

ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางกายภาพของซิลิกาฟุ้ง (ศุภชัย,2550)

องค์ประกอบทางเคมี	ซิลิกาฟุ้ง
Silicon Dioxide ( $\text{SiO}_2$ ),%	93
Aluminum Oxide ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ),%	0.4
Ferric Oxide ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ),%	1.2
Calcium Oxide ( $\text{CaO}$ ),%	0.2
Magnesium Oxide ( $\text{MgO}$ ),%	1.2
Sodium Oxide ( $\text{NaO}$ ),%	0.1
Potassium Oxide ( $\text{K}_2\text{O}$ ),%	1.1
Sulfur Trioxide ( $\text{SO}_3$ ),%	0.3
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	94.6
ค่าความถ่วงจำเพาะ	2.1

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของซิลิกาฟูม ตามมาตรฐาน

ASTM C188

รายการ	การทดลองครั้งที่	
	1	2
ขีดปริมาตรน้ำมันก๊าดครั้งแรก, มล.	0.00	0.00
น้ำหนักซิลิกาและถาดครั้งแรก, ก.	247.20	250.00
ขีดปริมาตรของน้ำมันก๊าดครั้งหลัง, มล.	18.50	18.40
น้ำหนักซีเมนต์และถาดครั้งหลัง, ก.	209.20	210.20
น้ำหนักของซิลิกาที่ใช้, ก.	38.00	39.80
ปริมาตรของน้ำมันก๊าดที่ถูกแทนที่, มล.	17.80	18.40
ความถ่วงจำเพาะ	2.13	2.16
ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย	2.15	

3.2.3. เถ้าลอย (Fly Ash)

เถ้าลอย เป็นเถ้าลอย ที่เกิดจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะประเภท Class F มีสีน้ำตาลอ่อน ดังรูปที่ 3.4 ได้จากการเผา ธาตุแอนทาไซด์ หรือธาตุบิโทมินัส มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับที่จะเป็นวัสดุปอซโซลาน มีส่วนประกอบของ ซิลิกอนไดออกไซด์ รวมกับ อลูมิเนียมออกไซด์ และเฟอริกออกไซด์ มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 30 ดังตารางที่ 3.4 มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.4



รูปที่ 3.4 ลักษณะทั่วไปของเถ้าลอย

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดและสูตรทางเคมีของเถ้าลอย ชนิด F ตาม ASTM C618

Class	Description in ASTM C618	Chemical Requirements
F	Fly ash normally produced from burning anthracite or bituminous coal that meets the applicable requirements for this class as given herein. This class of fly ash has pozzolanic properties.	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 70\%$

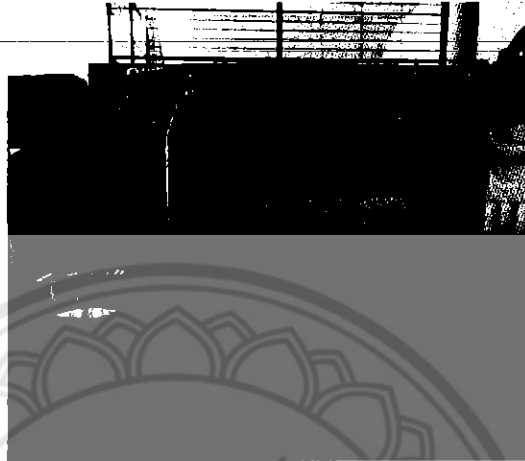
ตารางที่ 3.5 ตารางแสดงผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอย ตามมาตรฐาน

ASTM C188

รายการ	การทดลองครั้งที่	
	1	2
ขีดปริมาตรน้ำมันก๊าดครั้งแรก, มล.	0.00	0.00
น้ำหนักเถ้าลอยและถาดครั้งแรก, ก.	355.00	350.00
ขีดปริมาตรของน้ำมันก๊าดครั้งหลัง, มล.	19.70	19.00
น้ำหนักซีเมนต์และถาดครั้งหลัง, ก.	306.50	305.50
น้ำหนักของเถ้าลอยที่ใช้, ก.	48.50	44.50
ปริมาตรของน้ำมันก๊าดที่ถูกแทนที่, มล.	19.70	19.00
ความถ่วงจำเพาะ	2.46	2.34
ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย	2.40	

### 3.2.4 Poly Carboxylic Ethers (PCE)

PCE เป็นสารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer) มีสีน้ำตาลอ่อน ดังรูปที่ 3.5 มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.06 อัตราการใช้อยู่ที่ร้อยละ 0.4-1.5 ของน้ำหนัก ช่วยลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ให้ลดลง เพิ่มการไหลให้กับคอนกรีต



รูปที่ 3.5 ลักษณะทั่วไปของ Poly Carboxylic Ethers (PCE)

### 3.2.5 น้ำ (Water)

ในงานคอนกรีตมีอยู่สองส่วนคือ ส่วนที่ใช้ผสมคอนกรีต และส่วนที่ใช้ในการบ่ม

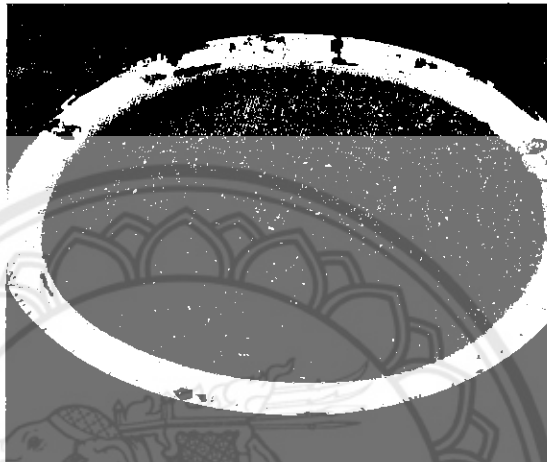
1. ส่วนที่ใช้ในการผสมคอนกรีต ใช้น้ำจากโรงผลิตน้ำประปamahวิทยาลัยนเรศวร ไม่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับนำมาผสมคอนกรีต คือ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่มีสิ่งส่งผลกระทบต่อกำลังอัดเจือปนอยู่

2. ส่วนที่ใช้ในการบ่ม ใช้น้ำจากโรงผลิตประปamahวิทยาลัยนเรศวร มีคุณสมบัติเป็นไปตามน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตเช่นกัน

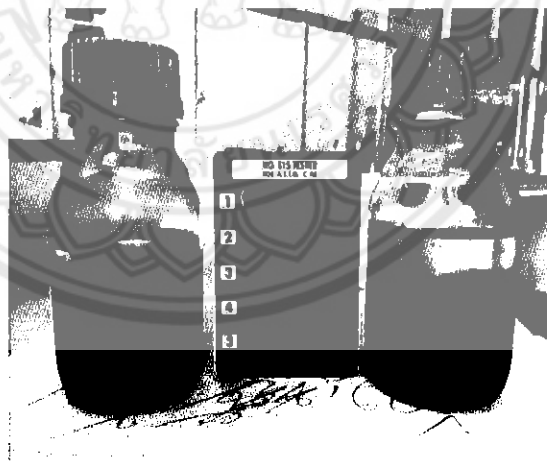


### 3.2.6 มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate)

มวลรวมละเอียด ใช้ทรายบกแหล่งที่มา จังหวัดพิษณุโลก มีสีน้ำตาลส้ม ดังรูปที่ 3.6 ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ล้างด้วยน้ำสะอาด เพื่อล้างสารอินทรีย์เจือปนออกจนได้ตามมาตรฐาน ASTM C87 ดังรูปที่ 3.7 อบในเตาอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำออกจากเตาผึ่งไว้ และเก็บในถังปิดสนิท เพื่อควบคุมความชื้นของทราย มีค่าโมดูลัสความละเอียดอยู่ในช่วง 2.2-2.8



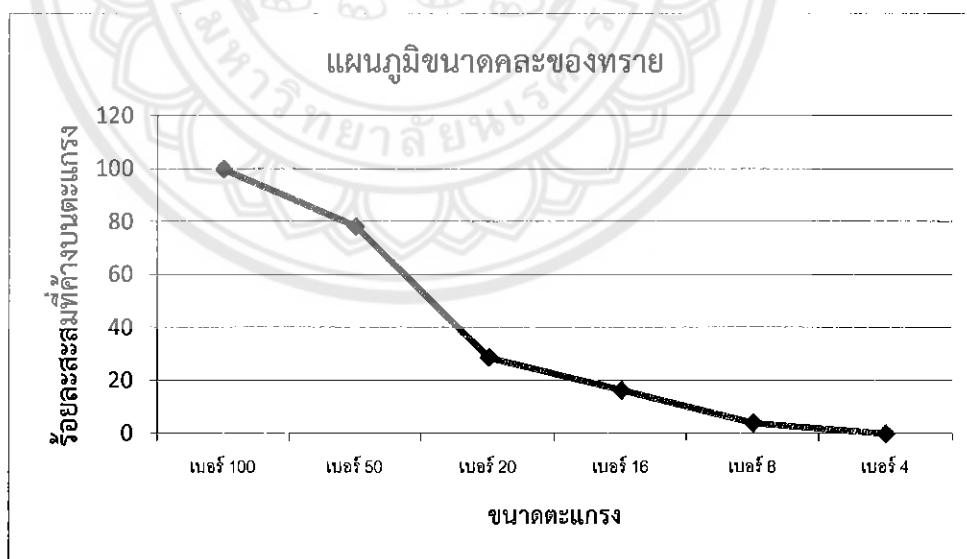
รูปที่ 3.6 มวลรวมละเอียด



รูปที่ 3.7 การทดสอบสารอินทรีย์ในมวลรวมละเอียดตามมาตรฐาน ASTM C87

ตารางที่ 3.6 ตารางแสดงผลการทดสอบหาส่วนคละของมวลรวมละเอียดด้วยตะแกรง ตามมาตรฐาน ASTM C30

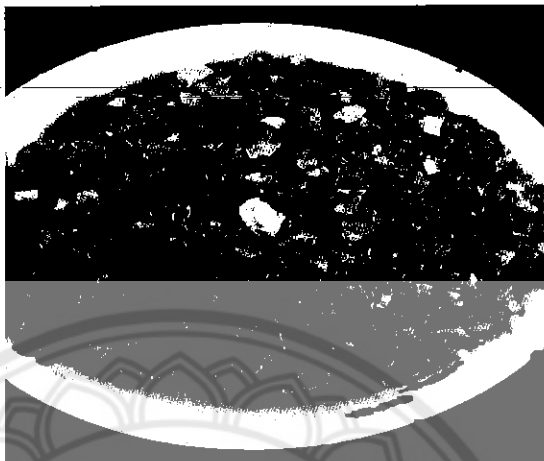
ขนาดตะแกรง มาตรฐาน	น้ำหนักที่ค้างอยู่บน ตะแกรง, กรัม	ร้อยละที่ค้างบน ตะแกรง	ร้อยละสะสมที่ค้าง บนตะแกรง
เบอร์ 4	0.00	0.00	0.00
เบอร์ 8	0.02	4.12	4.12
เบอร์ 16	0.06	12.37	16.49
เบอร์ 20	0.06	12.37	28.87
เบอร์ 50	0.24	49.48	78.35
เบอร์ 100	0.11	21.65	100.00
ถาด	0.00		
รวม	0.49	100.00	227.84
ค่าโมดูลัสความละเอียด =	2.28		



รูปที่ 3.8 กราฟแสดงผลการทดสอบหาขนาดคละของทราย

### 3.2.7 มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate)

ใช้หินปูน ที่ค้ำงบนตะแกรงเบอร์ 4 เนื้อหินแน่น ไม่มีรูพรุน ไม่มีสารอินทรีย์ที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตเจือปน



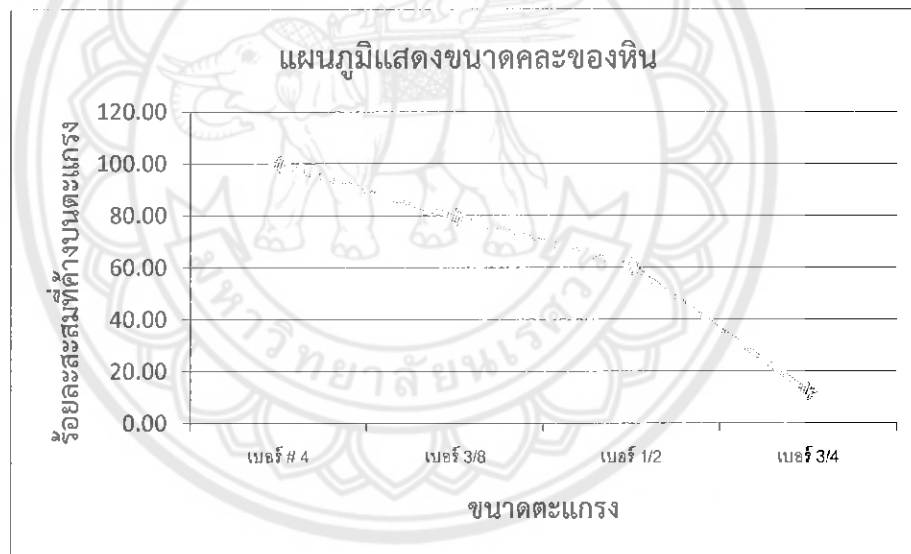
รูปที่ 3.9 มวลรวมหยาบ

ตารางที่ 3.7 ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความห่วยจำเพาะของมวลรวมหยาบ

รายการ	ผลการทดสอบ
น้ำหนักของหินในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง, กก.	1.98
น้ำหนักของตะกร้าลวดเหล็กในน้ำ, กก.	2.50
น้ำหนักของตะกร้าลวดเหล็กรวมหินในน้ำ, กก.	3.70
น้ำหนักของหินในน้ำ, กก.	1.20
น้ำหนักของหินในสภาวะแห้งด้วยเตาอบ, กก.	1.95
ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดในสภาวะแห้งด้วยเตาอบ	2.54
ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง	2.50
ความถ่วงจำเพาะปรากฏ	2.60
ร้อยละการดูดซึม	1.54

ตารางที่ 3.8 ตารางแสดงผลการทดสอบหาส่วนคละของมวลรวมหยาบด้วยตะแกรง ตามมาตรฐาน ASTM C30

ขนาดตะแกรง มาตรฐาน	น้ำหนักที่ค้างอยู่บน ตะแกรง, กรัม	ร้อยละที่ค้างบน ตะแกรง	ร้อยละสะสมที่ค้าง บนตะแกรง
3/4	1375.00	12.46	12.46
1/2	5338.00	48.38	60.84
3/8	2080.00	18.85	79.70
เบอร์ 4	2240.00	20.30	100.00
ถาด	0.00	0.00	100.00
รวม	11033.00	100.00	353.00
ค่าโมดูลัสความละเอียด =		3.53	



รูปที่ 3.10 กราฟแสดงผลการทดสอบหาขนาดคละของหิน

### 3.3 อัตราส่วนผสม

ตารางที่ 3.9 ตารางแสดงปริมาณส่วนผสม

No.	Specimen Code	Portland Cement	Fly Ash	Silica Flume	Admixture	W/B
		kg	kg	kg	L/m <sup>3</sup>	
1	Control	400	0	0	1.3	0.48
2	RHA20SCF02	312	80	8	0.9	0.48
3	RHA20SCF05	300	80	20	1	0.48
4	RHA20SCF08	288	80	32	1.1	0.48
5	RHA30SCF02	272	120	8	0.9	0.48
6	RHA30SCF05	260	120	20	1	0.48
7	RHA30SCF08	248	120	32	1.1	0.48

### 3.4 การทดสอบ

#### 3.4.1 Slump flow Test (ASTM C1611/C1611 M)

วัตถุประสงค์ คือ หาความสามารถในการไหลเข้าแบบของคอนกรีต

##### ขั้นตอนการทดสอบ

1. เช็ดภาชนะและด้านในของกรวยด้วยผ้าเปียกให้ทั่ว
2. วางภาชนะบนพื้นราบ วางกรวยลงบนภาชนะและกดกรวยให้แน่น
3. ตักคอนกรีตใส่ในกรวย ดังรูปที่ 3.11 โดยที่ไม่ต้องกระทุ้งจนเต็ม ปาดผิวด้านบนให้เรียบ

ด้วยเกรียงปาด



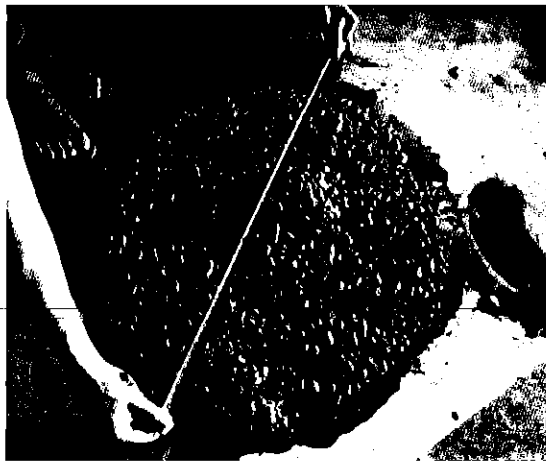
รูปที่ 3.11 การเทคอนกรีตลงในกรวย

4. ปิดเศษของคอนกรีตที่อยู่บริเวณแผ่นรองรอบกรวยให้เรียบร้อยดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ทำความสะอาดบริเวณรอบกรวยก่อนทำการชัก

5. ดึงกรวยขึ้นในแนวตั้ง และปล่อยให้คอนกรีตไหลอย่างอิสระ
6. จับเวลา และหยุดเวลาเมื่อคอนกรีตกระจายตัวถึง วงกลมที่มีรัศมี 500 มิลลิเมตร (บันทึกค่าเป็นค่า  $T_{50}$ )
7. วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอนกรีตที่กระจายตัวบนภาดรอง โดยวัดทั้งสองด้านที่ตั้งฉากกัน ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอนกรีต

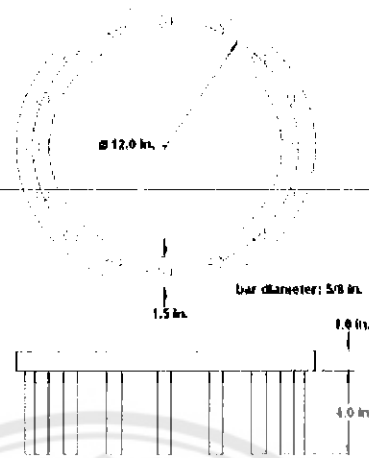
วิธีการคำนวณ

$$\text{Slump flow} = \frac{D_1 + D_2}{2}$$

โดยที่ D1 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของคอนกรีตบนแผ่นรอง ในแนวแกนที่ 1

D2 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของคอนกรีตบนแผ่นรอง ในแนวตั้งฉากกับแนวแกนที่ 1

### 3.4.2 J-Ring Test (ASTM C1621/C1621 M)



รูปที่ 3.14 อุปกรณ์ทดสอบ J-Ring

วัตถุประสงค์ คือ ทดความสามารถในการไหลเข้าแบบของคอนกรีต

#### ขั้นตอนการทดสอบ

1. เช็ดภาตรองและด้านในของกรวยด้วยผ้าเปียกให้ทั่ว
2. วาง J-Ring ไว้กกลางภาตรอง และวางกรวยไว้ตรงกลางด้านใน J-Ring และกดกรวยให้แน่น

ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 วาง J-Ring และกรวยบนภาตรอง กดให้แน่น

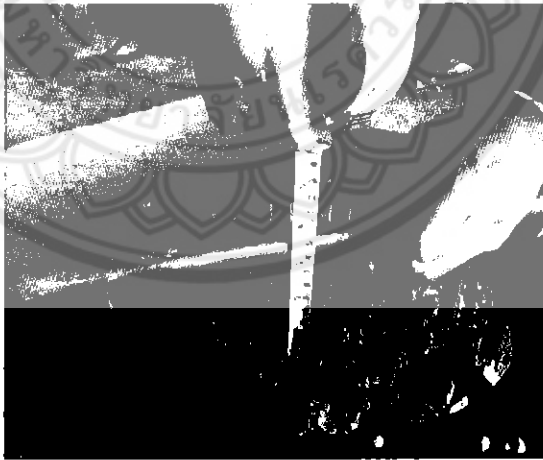


3. ตักคอนกรีตใส่ในกรวย โดยที่ไม่ต้องกระทุ้งจนเต็ม ปาดผิวด้านบนให้เรียบด้วยเกรียงปาด  
ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ใส่คอนกรีตในกรวยจนเต็มและปาดให้เรียบ

4. ปิดเศษของคอนกรีตที่อยู่บริเวณแผ่นรองรอบกรวยให้เรียบร้อย  
5. ดึงกรวยขึ้นในแนวตั้ง และปล่อยให้คอนกรีตไหลอย่างอิสระ  
6. วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอนกรีตที่กระจายตัวบนผาดรอง โดยวัดทั้งสองด้านที่ตั้งฉากกัน  
7. วัดความสูงที่ต่างกันของคอนกรีต โดยวัดด้านใน และด้านนอกทั้งสองด้านดังรูปที่ 3.17 และ  
รูปที่ 3.18



รูปที่ 3.17 วัดความสูงด้านในของคอนกรีต



รูปที่ 3.18 วัดความสูงด้านนอกทั้ง 4 ด้าน

วิธีการคำนวณ

$$\Delta D = \frac{D_1 + D_2}{2}$$

$$\Delta h = \frac{h_{x1} + h_{x2} + h_{y1} + h_{y2}}{4} - h_0$$

โดยที่  $h_0$  คือ ความสูงจากขอบ J-Ring ถึงคอนกรีต ด้านใน  
 $h_{x1}$  คือ ความสูงจากขอบ J-Ring ถึงคอนกรีต ด้านนอกในแกน x  
 $h_{x2}$  คือ ความสูงจากขอบ J-Ring ถึงคอนกรีต ด้านนอกในแกน x  
 $h_{y1}$  คือ ความสูงจากขอบ J-Ring ถึงคอนกรีต ด้านนอกในแกน y  
 $h_{y2}$  คือ ความสูงจากขอบ J-Ring ถึงคอนกรีต ด้านนอกในแกน y

### 3.2.3 Bleeding Test (ASTM C232/C232 M-14)

วัตถุประสงค์ คือ หาปริมาณการเยิ้มของคอนกรีต

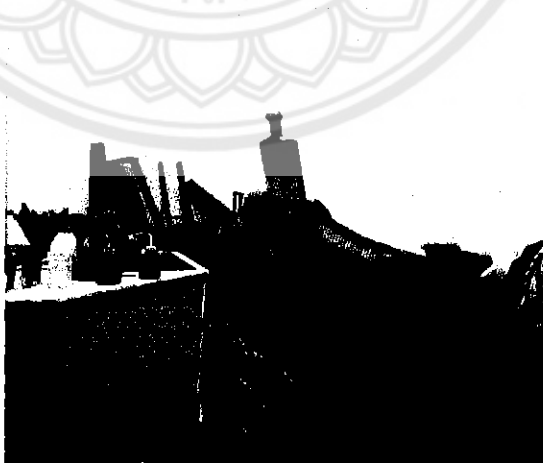
#### ขั้นตอนการทดสอบ

1. นำคอนกรีตที่ผสมเสร็จแล้วใส่ลงภาชนะ
2. ปรับระดับผิวโดยใช้เกรียงปาด
3. หลังจากปาดหน้าเรียบแล้วเริ่มจับเวลา
4. ใช้สลิค์ดูดน้ำออกเมื่อเวลาครบ 15 นาที จนกระทั่งไม่มีการเยิ้มดังรูปที่ 3.19 และรูปที่

3.20



รูปที่ 3.19 คอนกรีตที่ถูกดูดน้ำที่เกิดจากการเยิ้มบริเวณผิวด้านบนออก



รูปที่ 3.20 ปริมาณน้ำที่ได้จากการดูดออกจากผิวหน้าคอนกรีตที่เกิดการเยิ้ม

### วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณการเยิ้มของคอนกรีต} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่เยิ้มออกจากคอนกรีต}}{\text{พื้นที่ผิวหน้าของคอนกรีต}}$$

### 3.2.4 Column segregation Test (ASTM C1610/C1610 M)





รูปที่ 3.22 ประกอบท่อ PVC และวางบนถาดที่วางบนพื้นราบ

3. เทคอนกรีตลงในท่อ PVC โดยไม่ทำการกระทุ้งดังรูปที่ 3.23 และใช้เกรียงปาดหน้าให้เรียบดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.23 เทคอนกรีตลงในท่อ PVC จนเต็ม



รูปที่ 3.24 ใช้เกรียงปาดให้เรียบ

4. รอให้คอนกรีตหยุดนิ่งเป็นเวลา 15 นาทีดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 ทิ้งคอนกรีตไว้เป็นเวลา 15 นาที

5. ผลักคอนกรีตด้านบนออกจากท่อ PVC โดยให้เก็บวัสดุที่อยู่ในคอนกรีตไว้ด้วยดังรูปที่

3.26

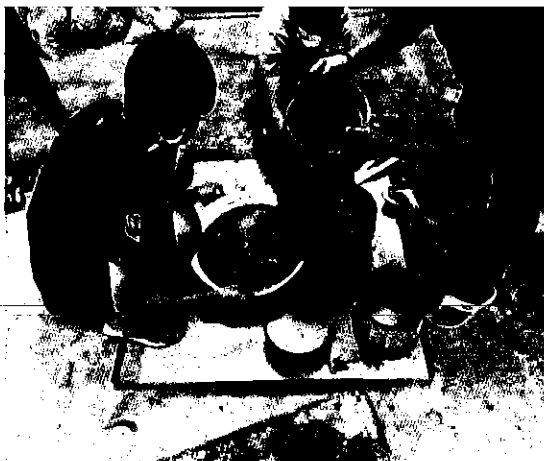


รูปที่ 3.26 แกะตัวล๊อคออก และทำการผลักคอนกรีตออก

6. เก็บคอนกรีตที่ด้านบนดังรูปที่ 3.27 และด้านล่างไว้ดังรูปที่ 3.29 ส่วนตรงกลางให้ทิ้งไปดังรูปที่ 3.28 นำคอนกรีตที่เก็บไปล้างเอาซีเมนต์เพส และมวลรวมละเอียดออก เหลือไว้แต่มวลรวมหยาบ จากนั้นนำไปร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.27 ผลักด้านบนออกและเก็บไว้



รูปที่ 3.28 ผลักชั้นกลางออกแล้วนำไปทิ้ง



รูปที่ 3.29 ทำความสะอาดบริเวณรอบๆ และเก็บชั้นสุดท้ายไว้ทำการทดสอบ



รูปที่ 3.30 ถังเพสและซีเมนต์ออกจากมวลรวมหยาบที่เก็บได้



7. นำมวลรวมหยาบที่ได้มาทำให้ก้อนตัวผิวแห้ง และชั่งน้ำหนัก

วิธีการคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การแยกตัว} = 2 \times \left( \frac{M_{\text{Bottom}} - M_{\text{Top}}}{M_{\text{Bottom}} + M_{\text{Top}}} \right) \times 100 \text{ ถ้า } M_{\text{Bottom}} > M_{\text{Top}}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การแยกตัว} = 0 \text{ ถ้า } M_{\text{Top}} > M_{\text{Bottom}}$$

โดยที่  $M_{\text{Bottom}}$  คือ น้ำหนักมวลรวมหยาบที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 จากท่อด้านล่าง

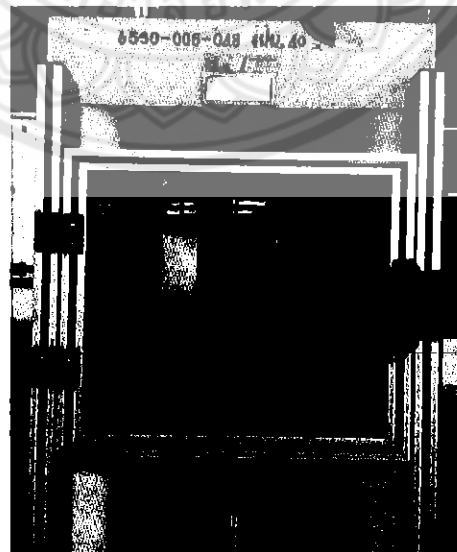
$M_{\text{Top}}$  คือ น้ำหนักมวลรวมหยาบที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 จากท่อด้านบน

### 3.2.5 Compressive Strength (ASTM C31/C31 M)

วัตถุประสงค์ คือ หาค่ากำลังอัดของคอนกรีต

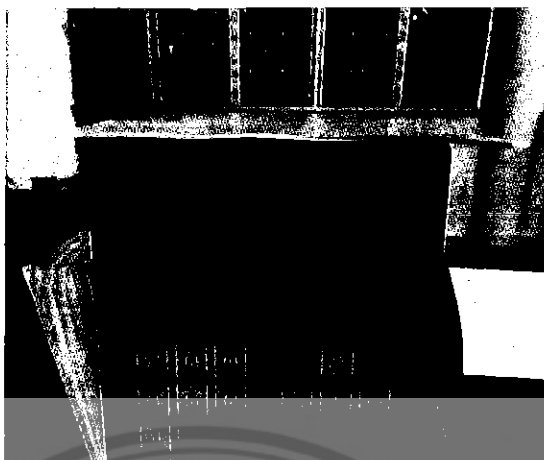
ขั้นตอนการทดสอบ

1. นำคอนกรีตที่ทำการบ่มด้วยน้ำเป็นเวลา 28 วัน เข้าเครื่องกดคอนกรีต



รูปที่ 3.31 นำคอนกรีตที่ผ่านการบ่มเป็นเวลา 28 วันใส่เครื่องกดคอนกรีต

## 2. ทำการกดจนคอนกรีตเกิดการประลัย



รูปที่ 3.32 บันทึกค่ากำลังที่ได้จากเครื่อง

วิธีการคำนวณ

$$\text{Compressive Strength} = \frac{\text{กำลังอัดประลัย}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของก้อนคอนกรีต}}$$



## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์

บทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบคอนกรีตที่มีส่วนผสมที่แตกต่างกันทั้ง 7 ตัวอย่าง โดยทำการเปรียบเทียบในด้านความสามารถในการทำงานได้ และด้านกำลัง ด้านความสามารถในการทำงานได้ประกอบด้วย ผลการทดสอบ-Slump Flow, ผลการทดสอบ-J-Ring, ผลการทดสอบ-Bleeding และผลการทดสอบ Static Column test ด้านกำลังประกอบด้วย ผลการทดสอบ Compressive strength ซึ่งผลการทดสอบเป็นดังนี้

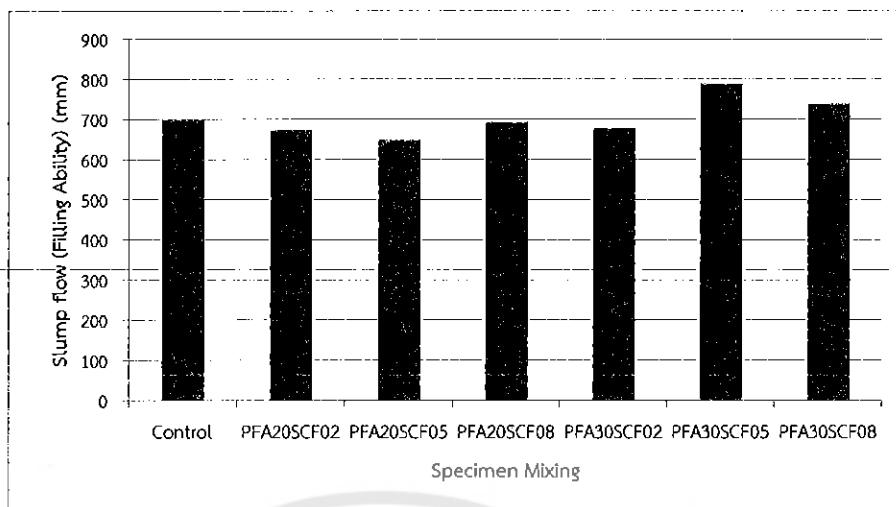
#### 4.1 ผลการทดลอง

##### 4.1.1 การทดสอบ Slump Flow

แสดงผลการทดสอบค่าการไหลของคอนกรีต SCC จำนวน 7 ตัวอย่าง ที่มีอัตราส่วนผสม Fly ash, Silica Fume, PCE ต่างกัน โดยควบคุมค่า Slump Flow ให้อยู่ในช่วง 650-800 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลค่าการไหลของคอนกรีต SCC

Specimen Code	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	Slump flow (mm)	T50
				sec.
Control	690	710	700	3
PFA20SCF02	690	660	675	2
PFA20SCF05	630	670	650	2
PFA20SCF08	720	670	695	2
PFA30SCF02	690	670	680	2
PFA30SCF05	790	790	790	2
PFA30SCF08	750	730	740	2



รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบผลการทดสอบ Slump Flow

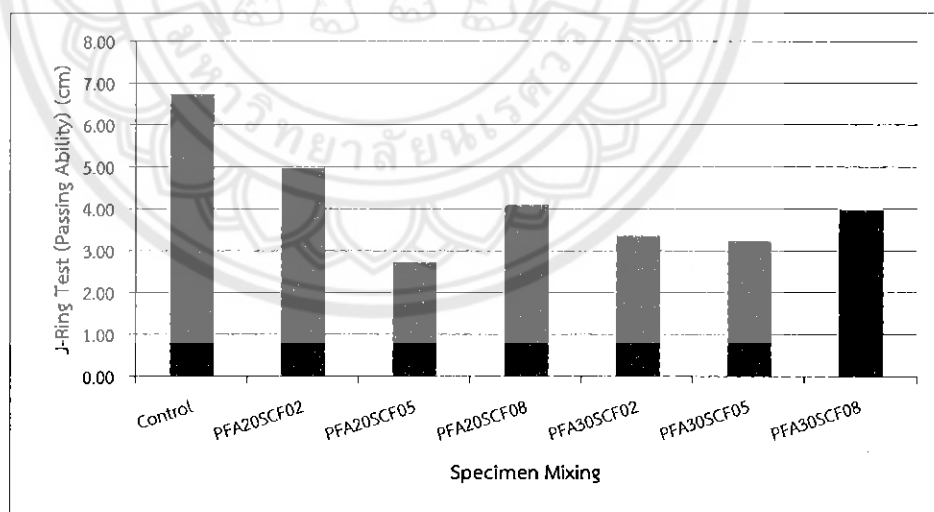
จากผลการทดสอบการไหลของคอนกรีต SCC ดังรูปที่ 4.1 มีผลการทดสอบดังนี้ คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าลอย ร้อยละ 20 และซิลิกาฟูมร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีค่าการไหล 675 มิลลิเมตร คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าลอย ร้อยละ 20 และซิลิกาฟูมร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีค่าการไหล 650 มิลลิเมตร (มีค่าการไหลต่ำที่สุด) คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าลอย ร้อยละ 20 และซิลิกาฟูมร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก มีค่าการไหล 695 มิลลิเมตร คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าลอย ร้อยละ 30 และซิลิกาฟูมร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีค่าการไหล 680 มิลลิเมตร คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าลอย ร้อยละ 30 และซิลิกาฟูมร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีการไหล 790 มิลลิเมตร (มีค่าการไหลสูงที่สุด) คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าลอย ร้อยละ 30 และซิลิกาฟูมร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก มีค่าการไหล 740 มิลลิเมตร ตามลำดับ

#### 4.1.2 การทดสอบ J-Ring

แสดงผลการทดสอบค่าความสามารถในการไหลผ่านของคอนกรีต SCC จำนวน 7 ตัวอย่าง ที่มีอัตราส่วนผสม Fly ash, Silica Fume, PCE ต่างกัน โดยเปรียบเทียบผลต่างความสูงระหว่างด้านในกับด้านนอก ( $\Delta h$ ) ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลค่าการไหลผ่านของคอนกรีต SCC

No.	Specimen Code	Admixture % by binder	h(cm)					d(cm)			$\Delta h$ (cm)
			0	$x_1$	$x_2$	$y_1$	$y_2$	1	2	X	
1	Control	1.30	5	12	11	12	12	-	-	-	6.75
2	PFA20SCF02	0.90	7	12	12	12	12	740	630	685	5.00
3	PFA20SCF05	1.00	8.5	11	11.5	11	11.5	650	570	610	2.75
4	PFA20SCF08	1.10	6.5	10.5	10	11	11	560	540	550	4.13
5	PFA30SCF02	0.90	8	11.5	11.5	12	10.5	490	500	495	3.38
6	PFA30SCF05	0.95	8.5	12	11.5	11.5	12	620	700	660	3.25
7	PFA30SCF08	1.00	8	13	12	11.5	11.5	680	650	665	4.00



รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าการไหลผ่าน

จากผลการทดสอบการไหลผ่านของคอนกรีต SCC ดังรูปที่ 4.2 มีผลการทดสอบดังนี้ คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าลอย ร้อยละ 20 และซิลิกาฟูมร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีค่าผลต่าง ความสูงระหว่างด้านในกับด้านนอก 5 เซนติเมตร(มีค่าผลต่างความสูงมากที่สุด) คอนกรีตแทนที่ ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าลอย ร้อยละ 20 และซิลิกาฟูมร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีค่าผลต่างความสูงระหว่าง ด้านในกับด้านนอก 2.75 เซนติเมตร(มีค่าผลต่างความสูงน้อยที่สุด) คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าลอย ร้อยละ 20 และซิลิกาฟูมร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก มีค่าผลต่างความสูงระหว่างด้านในกับด้าน นอก 4.13 เซนติเมตร คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าลอย ร้อยละ 30 และซิลิกาฟูมร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีค่าผลต่างความสูงระหว่างด้านในกับด้านนอก 3.38 เซนติเมตร คอนกรีตแทนที่ ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าลอย ร้อยละ 30 และซิลิกาฟูมร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีค่าผลต่างความสูงระหว่าง ด้านในกับด้านนอก 3.25 เซนติเมตร คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าลอย ร้อยละ 30 และซิลิกา ฟูมร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก มีค่าผลต่างความสูงระหว่างด้านในกับด้านนอก 4 เซนติเมตร ตามลำดับ

#### 4.1.3 การทดสอบ Bleeding

แสดงผลการทดสอบค่าการเยิ้มของคอนกรีต SCC จำนวน 7 ตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสม Fly ash, Silica Fume, PCE ต่างกัน ดังตารางที่ 4.3.1, 4.3.2 และตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3.1 แสดงผลการทดสอบการเยิ้มของแบบทดสอบที่ 1

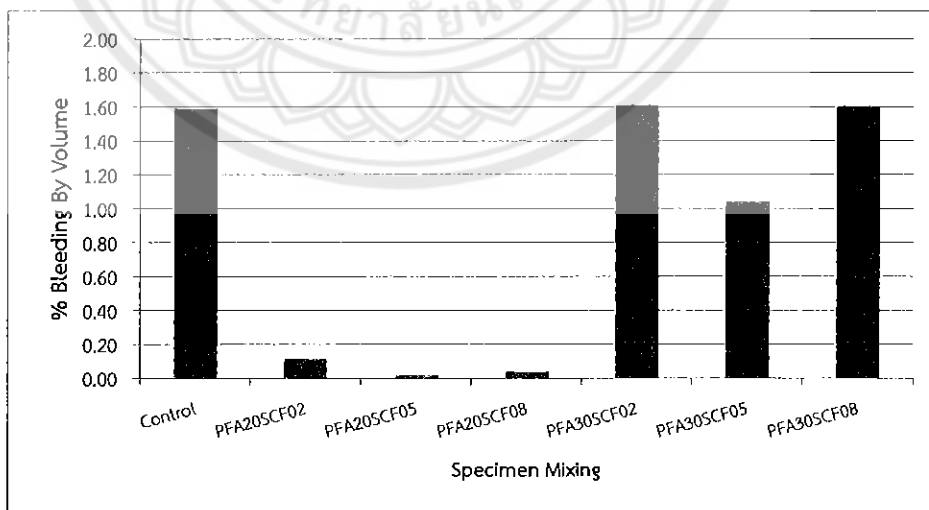
No.	Specimen Code	Admixture % by binder	Mole 1							
			15 min	30 min	45 min	60 min	75 min	90 min	105 min	120 min
1	Control	1.30	32	7	0.4	0	0	0	0	0
2	PFA20SCF02	0.90	1	2	1	0.2	0	0	0	0
3	PFA20SCF05	1.00	0.5	0.2	0	0	0	0	0	0
4	PFA20SCF08	1.10	0.8	0.2	0.1	0	0	0	0	0
5	PFA30SCF02	0.90	26	15	10	2	0	0	0	0
6	PFA30SCF05	0.95	30	5	0.4	0.2	0	0	0	0
7	PFA30SCF08	1.00	35	15	9	0.4	0.1	0	0	0

ตารางที่ 4.3.2 แสดงผลการทดสอบการซึมของแบบทดสอบที่ 2

No.	Specimen Code	Admixture % by binder	Mole 2							
			15 min	30 min	45 min	60 min	75 min	90 min	105 min	120 min
1	Control	1.30	62	6	0.2	0	0	0	0	0
2	PFA20SCF02	0.90	1	1.5	1	0.4	0	0	0	0
3	PFA20SCF05	1.00	0.5	0.2	0	0	0	0	0	0
4	PFA20SCF08	1.10	1	0.5	0.2	0.1	0	0	0	0
5	PFA30SCF02	0.90	26	16	12	2	0	0	0	0
6	PFA30SCF05	0.95	30	3	1.4	0.6	0	0	0	0
7	PFA30SCF08	1.00	30	12	6	1	0.1	0	0	0

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบค่าการซึมโดยเฉลี่ยของแบบทดสอบที่ 1 และ 2

No.	Specimen Code	Admixture % by binder	Summation		Average	% by Volume
			Mole1	Mole2		
1	Control	1.30	39.4	68.2	53.8	1.59
2	PFA20SCF02	0.90	4.2	3.9	4.05	0.12
3	PFA20SCF05	1.00	0.7	0.7	0.7	0.02
4	PFA20SCF08	1.10	1.1	1.8	1.45	0.04
5	PFA30SCF02	0.90	53	56	54.3	1.61
6	PFA30SCF05	0.95	35.6	35	35.5	1.05
7	PFA30SCF08	1.00	59.5	49.1	54.3	1.61



รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าการซึม

จากผลการทดสอบการเยิ้มของคอนกรีต SCC ดังรูปที่ 4.3 มีผลการทดสอบดังนี้ คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าลอย ร้อยละ 20 และซิลิกาฟุ่มร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีค่าการเยิ้ม 0.12 เปอร์เซ็นต์ คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าลอย ร้อยละ 20 และ ซิลิกาฟุ่มร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีค่าการเยิ้ม 0.02 เปอร์เซ็นต์(มีค่าการเยิ้มต่ำที่สุด) คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าลอย ร้อยละ 20 และซิลิกาฟุ่มร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก มีค่าการเยิ้ม 0.04 เปอร์เซ็นต์ คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าลอย ร้อยละ 30 และ ซิลิกาฟุ่มร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีค่าการเยิ้ม 1.61 เปอร์เซ็นต์(มีค่าการเยิ้มสูงที่สุด) คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าลอย ร้อยละ 30 และซิลิกาฟุ่มร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีค่าการเยิ้ม 1.05 เปอร์เซ็นต์ คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าลอย ร้อยละ 30และซิลิกาฟุ่มร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก มีค่าการเยิ้ม 1.61 เปอร์เซ็นต์(มีค่าการเยิ้มสูงที่สุด) ตามลำดับ

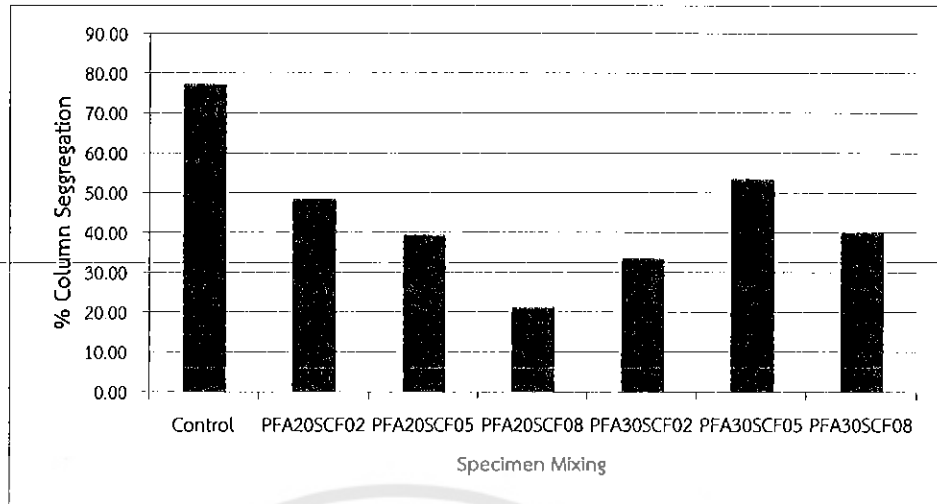
#### 4.1.4 การทดสอบ Column Test

แสดงผลการทดสอบค่าการแยกตัวของคอนกรีต SCC จำนวน 7 ตัวอย่าง มีอัตราส่วนผสม Fly ash, Silica Fume, PCE ต่างกัน ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงผลค่าการแยกตัวของคอนกรีต

No.	Specimen Code	Admixture % by binder	อิมตัวบน	อิมตัวล่าง	Static segregation (%)
1	Control	1.30	3.235	7.315	77.35
2	RHA20SCF02	0.90	4.295	7.050	48.57
3	RHA20SCF05	1.00	5.035	7.515	39.52
4	RHA20SCF08	1.10	5.200	6.450	21.46
5	RHA30SCF02	0.90	4.660	6.550	33.72
6	RHA30SCF05	0.95	4.180	7.240	53.59
7	RHA30SCF08	1.00	4.610	6.945	40.42





รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลการทดสอบ Column test

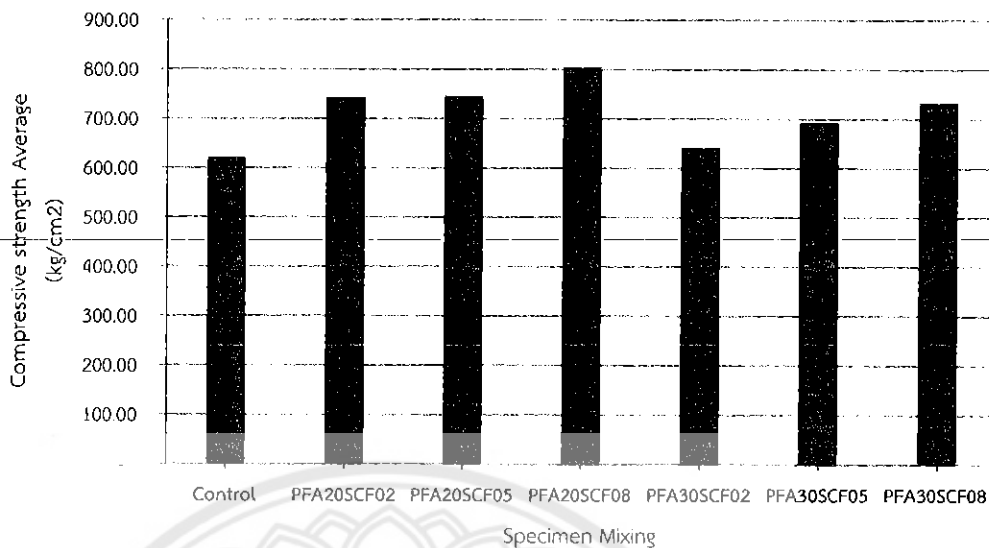
จากผลการทดสอบการแยกตัวของคอนกรีต SCC ดังรูปที่ 4.4 มีผลการทดสอบดังนี้ คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าลอย ร้อยละ 20 และซิลิกาฟุ่มร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีค่าการแยกตัว 48.57 เปอร์เซ็นต์ คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าลอย ร้อยละ 20 และซิลิกาฟุ่มร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีค่าการแยกตัว 39.52 เปอร์เซ็นต์ คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าลอย ร้อยละ 20 และซิลิกาฟุ่มร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก มีค่าการแยกตัว 21.46 เปอร์เซ็นต์ (มีค่าการแยกตัวต่ำที่สุด) คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าลอย ร้อยละ 30 และซิลิกาฟุ่มร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีค่าการแยกตัว 33.72 เปอร์เซ็นต์ คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าลอย ร้อยละ 30 และซิลิกาฟุ่มร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีค่าการแยกตัว 53.59 เปอร์เซ็นต์ (มีค่าการแยกตัวสูงที่สุด) คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าลอย ร้อยละ 30 และซิลิกาฟุ่มร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก มีค่าการแยกตัว 40.42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

#### 4.1.5 การทดสอบ Compressive strength

แสดงผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต อายุที่ 28 วัน ทั้ง 7 ตัวอย่าง ที่มีอัตราส่วนผสม Fly ash, Silica Fume, PCE ต่างกัน ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด

No.	Specimen Code	Mole	Weight (kg)	width (cm)	long (cm)	high (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Force (kN)	Compressive strength		Compressive strength Average(kg/cm <sup>2</sup> )
									(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>3</sup> )	
1.00	Control	C1	8.31	15.00	15.20	15.20	228.00	1,308.00	584.80	38.47	619.08
		C2	8.29	15.00	15.00	15.20	225.00	1,349.00	611.17	40.21	
		C3	7.71	15.00	14.10	15.00	211.50	1,372.00	661.26	44.08	
2.00	PFA20SCF02	C1	8.28	15.20	15.10	15.10	229.52	1,627.00	722.60	47.85	741.29
		C2	8.22	15.10	15.30	15.20	231.03	1,649.00	727.58	47.87	
		C3	8.21	15.10	15.20	15.00	229.52	1,742.00	773.68	51.58	
3.00	PFA20SCF05	C1	8.22	15.20	15.20	15.20	231.04	1,665.00	734.61	48.33	743.83
		C2	8.23	15.00	15.10	15.20	226.50	1,679.00	755.64	49.71	
		C3	8.21	15.00	15.10	15.10	226.50	1,647.00	741.24	49.09	
4.00	PFA20SCF08	C1	8.17	15.00	15.10	15.10	226.50	1,760.00	792.09	52.46	803.28
		C2	8.14	14.90	15.00	15.00	223.50	1,752.00	799.08	53.27	
		C3	8.07	15.00	15.00	15.00	225.00	1,807.00	818.67	54.58	
5.00	PFA30SCF02	C1	8.02	14.40	15.10	15.10	217.44	1,364.00	639.45	42.35	640.45
		C2	8.12	15.00	15.00	15.00	225.00	1,413.00	640.16	42.68	
		C3	8.12	15.00	14.90	15.10	223.50	1,407.00	641.72	42.50	
6.00	PFA30SCF05	C1	8.11	15.00	15.00	15.10	225.00	1,538.00	696.79	46.15	691.77
		C2	8.10	15.00	15.10	15.00	226.50	1,514.00	681.38	45.43	
		C3	8.08	15.00	15.10	15.10	226.50	1,549.00	697.13	46.17	
7.00	PFA30SCF08	C1	8.11	15.00	15.00	15.00	225.00	1,661.00	752.52	50.17	731.58
		C2	8.09	15.00	15.00	15.00	225.00	1,631.00	738.93	49.26	
		C3	8.16	14.90	15.00	15.20	223.50	1,542.00	703.30	46.27	



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีต SCC ดังรูปที่ 4.5 มีผลการทดสอบดังนี้ คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย ถ้ำลอย ร้อยละ 20 และซิลิกาฟุ่มร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีค่ากำลังรับแรงอัด 741.29 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย ถ้ำลอย ร้อยละ 20 และ ซิลิกาฟุ่มร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีค่ากำลังรับแรงอัด 743.83 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย ถ้ำลอย ร้อยละ 20 และซิลิกาฟุ่มร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก มีค่ากำลังรับแรงอัด 803.28 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร(มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด) คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย ถ้ำลอย ร้อยละ 30 และซิลิกาฟุ่มร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีค่ากำลังรับแรงอัด 640.45 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร(มีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำที่สุด) คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย ถ้ำลอย ร้อยละ 30 และซิลิกาฟุ่มร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีค่ากำลังรับแรงอัด 691.77กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย ถ้ำลอย ร้อยละ 30 และซิลิกาฟุ่มร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก มีค่ากำลังรับแรงอัด 731.58 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

## บทที่ 5

### สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

#### 5.1 ผลการทดสอบ

##### 5.1.1 คอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย Fly Ash, Silica Fume และการเติมสารผสมเพิ่ม

ช่วยเพิ่มความสามารถในการทำงานได้ดังนี้

- ผลการทดสอบ Slump Flow ของคอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย Fly Ash 20-30 % และ Silica Fume 2-8 % โดยน้ำหนัก และเติมสารผสมเพิ่ม PCEs จะเพิ่มความสามารถในการไหล (Filling Ability) ของคอนกรีตได้ถึง 13 % เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุม

- ผลการทดสอบ J-Ring ของคอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย Fly Ash 20-30 % และ Silica Fume 2-8 % โดยน้ำหนัก และเติมสารผสมเพิ่ม PCEs จะเพิ่มความสามารถในการไหลผ่าน (Passing Ability) ของคอนกรีตได้ถึง 60 % เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุม

- ผลการทดสอบการเยิ้ม (Bleeding) ของคอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย Fly Ash 20 % และ Silica Fume 2-8 % โดยน้ำหนัก และเติมสารผสมเพิ่ม PCEs จะสามารถลดการเยิ้มของคอนกรีตได้ถึง 90 % เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุม

- ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์การแยกตัวของคอนกรีต (Static Column Technique) ของคอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย Fly Ash 20 % และ Silica Fume 2-8 % โดยน้ำหนัก และเติมสารผสมเพิ่ม PCEs จะสามารถต้านทานการแยกตัว (Segregation Resistance) ของคอนกรีตได้ถึง 70 % เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุม

5.1.2 คอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย Fly Ash, Silica Fume และการเติมสารผสมเพิ่ม ช่วยเพิ่มความสามารถด้านกำลังได้ดังนี้

- ผลการทดสอบด้านกำลัง (Compressive Strength) ของคอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย Fly Ash 20-30 % และ Silica Fume 2-8 % โดยน้ำหนัก และเติมสารผสมเพิ่ม PCEs จะสามารถเพิ่มค่ากำลังอัดของคอนกรีตได้

5.1.3 เปรียบเทียบศึกษาและเปรียบเทียบส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสมในการใช้ในงานเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ทั้งด้านความสามารถในการทำงานได้ และด้านความทนทาน (กำลังอัด)

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงความสามารถในการทำงานได้ และกำลัง ของตัวอย่างคอนกรีต

No.	Specimen Code	Slump Flow (mm)	J-Ring (cm)	Bleeding (% by Volume)	Colum test (%)	Compressive strength (kg/cm <sup>2</sup> )
1	Control	700.00	6.75	1.59	77.35	619.08
2	PFA20SCF02	675.00	5.00	0.12	48.57	741.29
3	PFA20SCF05	650.00	2.75	0.02	39.52	743.83
4	PFA20SCF08	695.00	4.13	0.04	21.46	803.28
5	PFA30SCF02	680.00	3.38	1.61	33.72	640.45
6	PFA30SCF05	790.00	3.25	1.05	53.59	691.77
7	PFA30SCF08	740.00	4.00	1.61	40.42	731.58

จากตารางที่ 5.1 คอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย Fla Ash 20 %, Silica Fume 8 % และเติมสารผสมเพิ่ม มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปใช้ในงานเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ เนื่องจากมีผลการทดสอบด้านความสามารถในการทำงานได้ และด้านกำลังอัด ที่สามารถนำไปใช้งานกับเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ได้

## เอกสารอ้างอิง

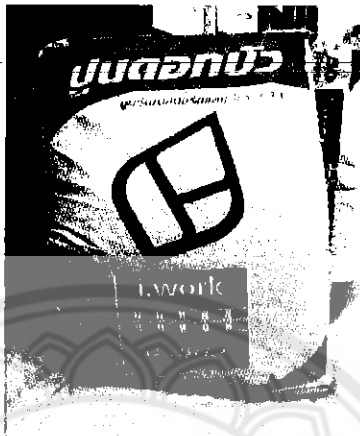
1. the Engineering Institute of Thailand Narong Thasnanipan, Zaw Zaw Aye, Thayanan Boonyarak, Phongpat Kitpayuck, Nutthapon Thasnanipan  
บริษัท ซีพีโก้ จำกัด (มหาชน), Geotechnical Seminar on Foundation 2012

---

2. ดร.เฉลิมชัย วัฒนล้ำเลิศ และ ศ.ดร.สมนึก ตั้งเต็มศิริกุล เรื่อง Self-compacting concrete และการใช้งานในอุตสาหกรรมการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป precast concrete
3. Concrete Technology Revised Edition 1982 By M.S. Shetty
4. Amr A. Essawy,S. Abd El.Aleem, Physico-mechanical properties, potent adsorptive and photocatalytic efficacies of sulfate resisting cement blends containing micro silica and nano-TiO<sub>2</sub>, 2013
5. Javier Puentes, Gonzalo Barluenga , Irene Palomar, Effect of silica-based nano and micro additions on SCC at early age and on hardened porosity and permeability ,2015
6. วารสารคอนกรีต ศ.ดร.ชัย จาตุรพิทักษ์กุล เรื่อง ซิลิกาฟุ้ง ปี พ.ศ.2550
7. Gritsada Sua-lam, Natt Makul ,Elsevier Ltd, Utilization of coal- and biomass-fired ash in the production of self-consolidating concrete: a literature review, 2015
8. Ph.D.Micheal Thomas, University of New Brunswisk : Optimizing the Used Fly Ash in Concrete Since 2007
9. ประจักษ์ หลอกสิกร, วีรชาติ ตั้งจิรภัทร, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, Strength and Chloride resistance of Recycled Aggregate Concrete containing ground Rice Husk Ash
10. Burak Felekoğlua, Hasan Sarikahyab, Effect of chemical structure of poly carboxylate-based superplasticizers on workability retention of self-compacting concrete, 2007

## ภาคผนวก ก.

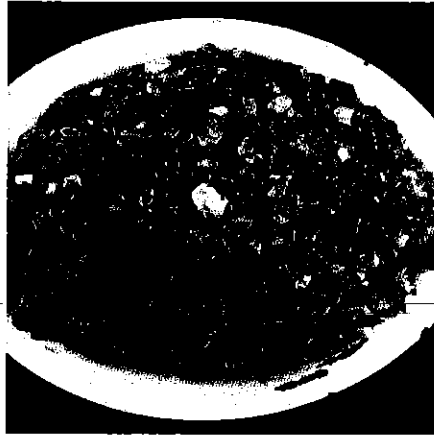
## วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ



รูปที่ ก1. ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราดอกบัว



รูปที่ ก2. ทรายหยาบที่ล้าง แล้วอบให้แห้ง



รูปที่ ก3. หินที่มีขนาดโตสุด 20 มิลลิเมตร



รูปที่ ก4. น้ำที่ผสมกับสารผสมเพิ่ม PCEs

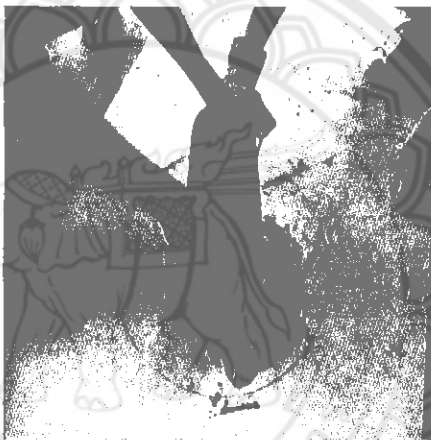


รูปที่ ก5. การเตรียมแบบ เพื่อหาการเยิ้ม น้ำและกำลังของคอนกรีต

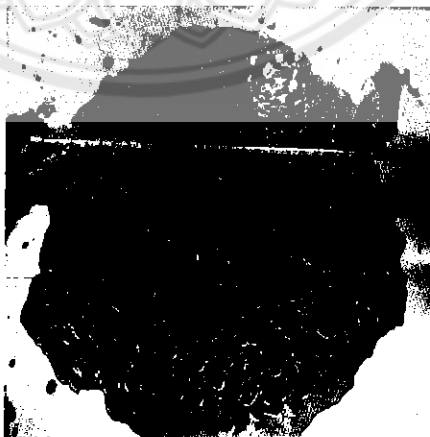




รูปที่ ก6. การเขี่ยน้ำของคอนกรีต



รูปที่ ก7. การทดสอบ Slump Flow



รูปที่ ก8. การวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง Slump Flow Test



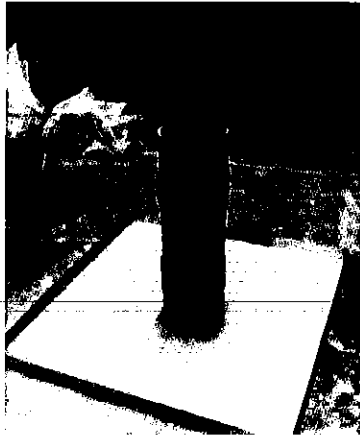
รูปที่ ก9. การเตรียมอุปกรณ์ J-Ring Test



รูปที่ ก10. การวัดความสูง J-Ring Test



รูปที่ ก11. การทดสอบการเข้มน้ำของคอนกรีต



รูปที่ ก12. การเตรียมอุปกรณ์การทดสอบ Static Column Technique



รูปที่ ก13. การทดสอบ Static Column Technique

## ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ นาย พงदनัย หวันท็อก  
 ภูมิลำเนา 99 หมู่ 2 ต.หมอเมือง อ.หมอเมือง จ.น่าน 55170

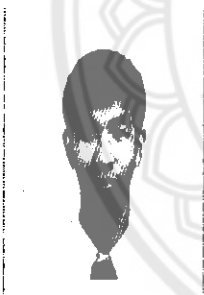
## ประวัติการศึกษา

- จบมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียน สตรีน่าน จ.น่าน
- ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: pongdanai\_26th@hotmail.com



ชื่อ นาย ดิรวัดน์ บุญมาปะ  
 ภูมิลำเนา 92 หมู่ 2 ต.ริม อ.ท่าวังผา จ.น่าน 55140

## ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียน ท่าวังผาพิทยาคม  
 จ.น่าน

- ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: Bunmapa@hotmail.com



ชื่อ นางสาว มณฑิตา กะณะศิริ

ภูมิลำเนา 115 หมู่ 1 ต.แม่กลอง อ.อัมพาง จ.ตาก 63170

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียน อัมพางวิทยาكم

จ.ตาก

- ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: [montita.kanasiri@gmail.com](mailto:montita.kanasiri@gmail.com)

