สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูป โครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

THE STUDY OF FORCING ABILITY OF JOINT IN THE PREFABRICATION OF BAN UER-ATORN PROJECT; NATIONAL HOUSING AUTHORITY

โดย

นายนัฏพล วัฒนมั่นคง

นายสุชาติ ว่องวีรวุฒิ

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....62734

วัน,เดือน,ปี.....21 ส.ค. 2549

.b.....

.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

THE STUDY OF FORCING ABILITY OF JOINT IN THE PREFABRICATION OF BAN UER-ATORN PROJECT; NATIONAL HOUSING AUTHORITY

MR.NUTTAPON WATTANAMONKONG

MR.SUCHART WONGVEERAWUT

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2005

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ	ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูป โครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ	
นักศึกษา	นายนัฏพล วัฒนมั่นคง	รหัสประจำตัว 45010390
	นายสุชาติ ว่องวีรวุฒิ	รหัสประจำตัว 45010846
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สกุล ห่อวโนทยาน	

คณะกรรมการสอบหัวข้อโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
รศ. ศิริวัฒน์ ไชยชนะ รศ.ดร.ศรีกริช หิรัญมาศ อ. ศิลป์ชัย จานสุวรรณ ผศ.ดร.สกุล ห่อวโนทยาน	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุพจน์ ศรีนิล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 31 เดือน มีนาคม พ.ศ.2549

หัวข้อโครงงานพิเศษ	ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูป โครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ THE STUDY OF FORCING ABILITY OF JOINT IN THE PREFABRICATION OF BAN UER-ATORN PROJECT; NATIONAL HOUSING AUTHORITY
นักศึกษา	นายนัฏพล วัฒนมั่นคง นายสุชาติ ว่องวีรวุฒิ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สกุล ห่อวโนทยาน
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2548

บทคัดย่อ

การเคหะแห่งชาติได้นำเทคโนโลยีการก่อสร้างระบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปมาใช้ในการดำเนินการก่อสร้างโครงการบ้านเอื้ออาทร ซึ่งจุดรอยต่อเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการก่อสร้างระบบนี้ การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความเหมาะสมและประสิทธิภาพการรับแรงของจุดรอยต่อในการก่อสร้างของจุดรอยต่อระบบแบบเปียก

ในการศึกษางานวิจัยประกอบด้วย ขนาดของจุดรอยต่อ และ วัสดุประสาน โดยจะทำการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของแบบท่อที่จุดรอยต่อและทำการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุประสาน 2 ชนิด คือ ซีเมนต์เพสท์และซีเมนต์มอร์ต้ามาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของสารnonshirnk ผลจากการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ระยะเวลาในการถอดแบบที่จุดรอยต่อเป็นเวลา $2\frac{1}{2}$ ชั่วโมง
2. จุดรอยต่อควรจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มม.
3. วัสดุประสานที่มีความเหมาะสมในการนำไปเกร๊าท์ที่จุดรอยต่อ คือ ซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธีผสม double mixing (ผสมซ้ำ) ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%

Title	:	THE STUDY OF FORCING ABILITY OF JOINT IN THE PREFABRICATION OF BAN UER-ATORN PROJECT; NATIONAL HOUSING AUTHORITY
Name	:	MR.NUTTAPON WATTANAMONKONG MR.SUCHART WONGVEERAWUT
Field	:	CIVIL ENGINEERING
Department	:	CIVIL ENGINEERING
Faculty	:	ENGINEERING
Advisor	:	ASSISTANT PROFESSOR DR. SAKUL HORVANOTAYAN

ABSTRACT

The National Housing Authority (NHA) choose a prefabricated concrete system for constructing Ban Uer-atorn Project. Thc joint of a prefabricated concrete system is very important. This research project was carried out to the study appropriate joint which require suitability and efficiency in construction as the wet joint.

The study consist of grout tube and grouting materials. The diameter and depth of grout tube were varied. And the test of two materials, cement mortar and cement paste, compare with nonshrink cement mortar. The results were concluded as follows :

1. The setting time of grout tube is two and half hour.
2. The grout tube should be 40 mm. as diameter.
3. The appropriate grouting material is the cement mortar from double mixing method using water cement ratio 44%

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้จะสำเร็จมิได้เลยหากขาดบุคคลผู้หนึ่งผู้ใดที่จะกล่าวถึงดังต่อไปนี้ ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สกุล ห่อวโนทยาน ที่ได้ให้คำแนะนำแนวทางในการศึกษาโครงงานพิเศษให้เกิดประโยชน์ สามารถนำโครงงานพิเศษไปใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขอขอบคุณ ดร. คมสัน มาลีสี ที่ได้สละเวลาในการให้คำปรึกษาและได้ให้คำชี้แนะและคำสั่งสอนที่มีประโยชน์อย่างมากมายในทุกๆ เรื่อง และ ขอขอบคุณคณะอาจารย์สถาปัตยกรรมศาสตร์ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลทางสถาปัตย์

ขอขอบคุณ นายทัศไนย เชาวลิดประพันธ์ นายจรัญ รักพันธ์ นายบัญชา อุกทยารักษ์ และเพื่อนๆ ทุกคน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านแรงงานในช่วงของการหล่อตัวอย่างทดสอบ และทดสอบตัวอย่างทดสอบ

สุดท้ายนี้จะขาดเสียมิได้สำหรับคำขอบพระคุณแด่บุพการีของผู้จัดทำโครงงาน ตั้งแต่การสั่งสอน การเลี้ยงดู ทำให้มีทุกวันนี้ได้ จนถึงความช่วยเหลือที่ท่านมีในระหว่างทำโครงงานทั้งเป็นกำลังใจและกำลังทุนทรัพย์ รวมทั้งความรักที่มีให้แก่บุตรเสมอมา

นายนัฏพล วัฒนบั่นคง
นายสุชาติ ว่องวีรวุฒิ
ผู้ประพันธ์

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน(ภาษาไทย)	ก
	ปกใน(ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ฐ
	สารบัญรูป	ค
1	บทนำ	1
	1.1 กล่าวนำ	1
	1.2 ที่มาของการศึกษา	2
	1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
	1.4 ขอบเขตของการศึกษา	3
	1.5 วิธีการศึกษา	3
	1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2	วรรณกรรมปริทัศน์	6
	2.1 ความหมายของการก่อสร้างระบบสำเร็จรูป	6
	2.2 สรุปวิวัฒนาการความเป็นมาของการก่อสร้างอาคารด้วยระบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป	6
	2.3 ระบบชิ้นส่วนประกอบอาคารสำเร็จรูป	8
	2.4 การพิจารณารูปแบบจุดรอยต่อของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป	10

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.5 หลักเกณฑ์การพิจารณาการออกแบบอาคารสำเร็จรูป	11
	2.6 หลักเกณฑ์การพิจารณาความมั่นคงแข็งแรงของอาคาร	11
	2.7 ทฤษฎี	13
	2.7.1. หน่วยแรงยึดเหนี่ยว	13
	2.7.2 โมเมนต์คัด	13
	2.7.3 โครงสร้างที่ไม่มีการเซ	14
	2.7.4 โครงสร้างที่มีการเซ	15
	2.7.5 หน่วยแรงเค้น	16
	2.7.6 หน่วยแรงเฉือน	17
3	**ขั้นตอนทดสอบ**	19
	3.1 วิธีการทดสอบวัสดุประสาน	19
	3.1.1 ทดสอบหากำลังรับแรงอัดของวัสดุประสาน	19
	3.1.1.1 ทดสอบหากำลังรับแรงอัดของวัสดุประสาน ของซีเมนต์มอร์ต้า	19
	3.1.1.2 ทดสอบหากำลังรับแรงอัดของวัสดุประสาน ของซีเมนต์เพสท์	23
	3.1.1.3 ทดสอบหากำลังรับแรงอัดของวัสดุประสาน ของสารไม่หดตัว	25
	3.1.2 ทดสอบหาการทดสอบอัตราการคายน้ำของวัสดุประสาน	27
	3.1.3. ทดสอบหาคุณสมบัติการไหลของวัสดุประสาน	28
	3.2 วิธีการทดสอบความแข็งแรงของจุดรอยต่อโครงสร้าง	29
	3.2.1 ทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตสำเร็จรูป	29
	3.2.1.1 การทดสอบคุณสมบัติของมวลรวม	29

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	3.2.1.1.1 ทดสอบหาปริมาณความชื้นของมวลรวม	29
	3.2.1.1.2 ทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ	30
	3.2.1.1.3 ทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวม	33
	3.2.1.1.3.1 ทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมละเอียด	33
	3.2.1.1.3.2 ทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบ	34
	3.2.1.1.4 ทดสอบหาส่วนขนาดคละของมวลรวมละเอียด	36
	3.2.1.2 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต	37
	3.2.1.3 ทดสอบการรับกำลังแรงอัดของคอนกรีต	38
	3.2.2 ทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของจุดรอยต่อ	40
	3.2.3 ทดสอบกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของจุดรอยต่อ	41
	3.2.4 ทดสอบกำลังรับโมเมนต์ดัดของจุดรอยต่อ	42
	3.2.4.1 ทดสอบกำลังรับโมเมนต์ดัดของจุดรอยต่อแบบแรงกระทำสองจุด	43
	3.2.4.2 ทดสอบกำลังรับโมเมนต์ดัดของจุดรอยต่อแบบแรงกระทำจุดเดียวที่กึ่งกลาง	44
	3.2.5 ทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของจุดรอยต่อ	46
4	**ผลการทดสอบ**	48
	4.1 การทดสอบวัสดุประสานของจุดรอยต่อ	48
	4.1.1 ซีเมนต์เพสท์	48
	4.1.1.1 ซีเมนต์เพสท์โดยวิธีsingle mixing(ผสมครั้งเดียว) ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40%	48

สารบัญ

บทที่ เรื่อง	หน้า
4.1.1.2 ซีเมนต์เพสท์โดยวิธีsingle mixing(ผสมครั้งเดียว) ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%	49
4.1.1.3 ซีเมนต์เพสท์โดยวิธีdouble mixing(ผสมซ้ำ) ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40%	51
4.1.1.4 ซีเมนต์เพสท์โดยวิธีdouble mixing(ผสมซ้ำ) ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%	52
4.1.2 ซีเมนต์มอร์ต้า	54
4.1.2.1 ซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธีsingle mixing(ผสมครั้งเดียว) ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40%	54
4.1.2.2 ซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธีsingle mixing(ผสมครั้งเดียว) ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%	56
4.1.2.3 ซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธีdouble mixing(ผสมซ้ำ) ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์40%	57
4.1.2.4 ซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธีdouble mixing(ผสมซ้ำ) ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%	59
4.1.3 สารที่ไม่หดตัว	60
4.1.3.1 สารที่ไม่หดตัวโดยวิธีsingle mixing(ผสมครั้งเดียว) ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40%	60
4.2 ความแข็งแรงที่จุดรอยต่อโครงสร้าง	61
4.2.1ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป	61
4.2.1.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต	61
4.2.1.2 การทดสอบระยะการก่อตัวของจุดรอยต่อ	62
4.2.2 ความแข็งแรงที่จุดรอยต่อโครงสร้างแบบเสาต่อเสา	67
4.2.2.1 การทดสอบกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของจุดรอยต่อ	67
4.2.2.2 การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของจุดรอยต่อ	67

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	4.2.2.3 การทดสอบกำลังรับโมเมนต์ดัดของจุดรอยต่อแบบแรงกระทำสองจุด	68
	4.2.3 ความแข็งแรงที่จุดรอยต่อโครงสร้างแบบเสาต่อคาน	71
	4.2.3.1 การทดสอบกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของจุดรอยต่อ	71
	4.2.4 ความแข็งแรงที่จุดรอยต่อโครงสร้างแบบเสาต่อคานต่อเสา	72
	4.2.4.1 การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของจุดรอยต่อ	72
	4.2.4.2 การทดสอบกำลังรับโมเมนต์ดัดของจุดรอยต่อแบบแรงกระทำจุดเดียวที่กึ่งกลาง	73
5	**วิเคราะห์ผลการทดสอบ**	76
	5.1 วิเคราะห์ผลการทดสอบวัสดุประสานของจุดรอยต่อ	76
	5.1.1 วิเคราะห์คุณสมบัติซีเมนต์เพสท์	76
	5.1.2 วิเคราะห์คุณสมบัติซีเมนต์มอร์ต้า	78
	5.1.3 วิเคราะห์คุณสมบัติวัสดุประสานที่นำมาใช้ที่จุดรอยต่อ	80
	5.2 วิเคราะห์ความแข็งแรงของจุดรอยต่อโครงสร้าง	82
	5.2.1 วิเคราะห์ผลการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของคอนกรีต	82
	5.2.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบระยะการก่อตัวของจุดรอยต่อ	83
	5.2.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบความแข็งแรงที่จุดรอยต่อโครงสร้างแบบเสาต่อเสา	83
	5.2.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบความแข็งแรงที่จุดรอยต่อโครงสร้างแบบเสาต่อคาน	85
	5.2.5 วิเคราะห์ผลการทดสอบความแข็งแรงที่จุดรอยต่อโครงสร้างแบบเสาต่อคานต่อเสา	86

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
6	**สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ**	89
	6.1 สรุปผลการศึกษา	89
	6.2 ข้อเสนอแนะ	89
	บรรณานุกรม	90
	ภาคผนวก ก. ตารางแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติมวลรวม และ ตารางแสดงผลการทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีต	ผก1
	ภาคผนวก ข. ตารางแสดงผลการทดสอบวัสดุประสาน	ผข1
	ภาคผนวก ค. ตารางแสดงผลการทดสอบการรับแรงของจุดรอยต่อ	ผค1
	ภาคผนวก ง. รูปแสดงการทดสอบ	ผง1
	ภาคผนวก จ. รูปแสดงผลการคำนวณด้วยโปรแกรม	ผจ1

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
3.1	แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของอายุตัวอย่างทดสอบที่ยอมให้	23
3.2	แสดงค่าหน่วยน้ำหนักของน้ำ	31
3.3	แสดงค่าแฟคเตอร์ปรับแก้ชิ้นส่วนทดสอบ	40
3.4	แสดงประเภทการทดสอบแรงยึดเหนี่ยวของจุดรอยต่อแบบเสาต่อเสา	42
3.5	แสดงประเภทการทดสอบแรงยึดเหนี่ยวของจุดรอยต่อแบบเสาต่อคาน	42
ผ.ก.1.	แสดงผลการทดสอบการหาส่วนขนาดคละของมวลรวมละเอียด	ผก2
ผ.ก.2.	แสดงผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมละเอียด	ผก3
ผ.ก.3.	แสดงผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบ	ผก4
ผ.ก.4.	แสดงผลการทดสอบปริมาณความชื้นของมวลรวมละเอียด	ผก5
ผ.ก.5.	แสดงผลการทดสอบปริมาณความชื้นของมวลรวมหยาบ	ผก6
ผ.ก.6.	แสดงผลการทดสอบหน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ	ผก7
ผ.ก.7.	แสดงผลการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของคอนกรีต	ผก8
ผ.ข.1.	แสดงผลการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ โดยวิธี single mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40%	ผข2
ผ.ข.2.	แสดงผลการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ โดยวิธี single mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%	ผข3
ผ.ข.3.	แสดงผลการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ โดยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40%	ผข4
ผ.ข.4.	แสดงผลการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ โดยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%	ผข5
ผ.ข.5.	แสดงผลการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า โดยวิธี single mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40%	ผข6
ผ.ข.6.	แสดงผลการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า โดยวิธี single mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%	ผข7

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ผ.ข.7.	แสดงผลการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า โดยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์40%	ผข8
ผ.ข.8.	แสดงผลการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า โดยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%	ผข9
ผ.ข.9.	แสดงผลการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของสารที่ไม่หดตัว โดยวิธี single mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40%	ผข10
ผ.ข.10.	แสดงผลการทดสอบอัตราการคายน้ำของซีเมนต์เพสท์ โดยวิธี single mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40%	ผข11
ผ.ข.11.	แสดงผลการทดสอบอัตราการคายน้ำของซีเมนต์เพสท์ โดยวิธี single mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%	ผข12
ผ.ข.12.	แสดงผลการทดสอบอัตราการคายน้ำของซีเมนต์เพสท์ โดยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40%	ผข13
ผ.ข.13.	แสดงผลการทดสอบอัตราการคายน้ำของซีเมนต์เพสท์ โดยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%	ผข14
ผ.ข.14.	แสดงผลการทดสอบอัตราการคายน้ำของซีเมนต์มอร์ต้า โดยวิธี single mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40%	ผข15
ผ.ข.15.	แสดงผลการทดสอบอัตราการคายน้ำของซีเมนต์มอร์ต้า โดยวิธี single mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%	ผข16
ผ.ข.16.	แสดงผลการทดสอบอัตราการคายน้ำของซีเมนต์มอร์ต้า โดยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40%	ผข17
ผ.ข.17.	แสดงผลการทดสอบอัตราการคายน้ำของซีเมนต์มอร์ต้า โดยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%	ผข18
ผ.ข.18.	แสดงผลการทดสอบการไหลของซีเมนต์เพสท์ โดยวิธี single mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40%	ผข19

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ผ.ข.19.	แสดงผลการทดสอบการไหลของซีเมนต์เพสท์ โดยวิธี single mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%	ผข20
ผ.ข.20.	แสดงผลการทดสอบการไหลของซีเมนต์เพสท์ โดยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40%	ผข21
ผ.ข.21.	แสดงผลการทดสอบการไหลของซีเมนต์เพสท์ โดยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%	ผข22
ผ.ข.22.	แสดงผลการทดสอบการไหลของซีเมนต์มอร์ต้า โดยวิธี single mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%	ผข23
ผ.ข.23.	แสดงผลการทดสอบการไหลของซีเมนต์มอร์ต้า โดยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%	ผข24
ผ.ข.24.	แสดงผลการทดสอบการไหลของสารที่ไม่หดตัว โดยวิธี single mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40%	ผข25
ผ.ค.1.	แสดงผลการทดสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยวของ ขนาดท่อ ø 40 mm. Dowel Bar 12 mm. ยาว 200 mm.	ผค2
ผ.ค.2.	แสดงผลการทดสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยวของ ขนาดท่อ ø 30 mm. Dowel Bar 12 mm. ยาว 200 mm.	ผค3
ผ.ค.3.	แสดงผลการทดสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยวของ ขนาดท่อ ø 40 mm. Dowel Bar 16 mm .ยาว 200 mm.	ผค4
ผ.ค.4.	แสดงผลการทดสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยวของ ขนาดท่อ ø 40 mm. Dowel Bar 12 mm. ยาว 300 mm.	ผค5
ผ.ค.5.	แสดงผลการทดสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยวของ ขนาดท่อ ø 30 mm. Dowel Bar 12 mm. ยาว 300 mm.	ผค6
ผ.ค.6.	แสดงผลการทดสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยวของ ขนาดท่อ ø 40 mm. Dowel Bar 16 mm. ยาว 300 mm.	ผค7

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ผ.ค.7.	แสดงผลการทดสอบหน่วยแรงยืดเหนี่ยวของขนาดท่อ ø 40 mm. Dowel Bar 12 mm. ยาว 250 mm.	ผค8
ผ.ค.8.	แสดงผลการทดสอบการรับกำลังโมเมนต์ดัดแบบแรงกระทำสองจุด	ผค9
ผ.ค.9.	แสดงผลการทดสอบการรับกำลังโมเมนต์ดัดแบบแรงกระทำจุดเดียวที่กึ่งกลาง	ผค10
ผ.ค.10.	แสดงผลการทดสอบการรับกำลังแรงเฉือนของ shear key	ผค11

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
1.1	แสดงวิธีการดำเนินการวิจัย	5
2.1	แสดงรูปแบบการติดตั้งชิ้นส่วนมาตรฐานตอม่อ คาน และเสาชั้นล่าง	8
2.2	แสดงรูปแบบการติดตั้งชิ้นส่วนมาตรฐานเสาชั้นล่าง คาน และเสาชั้นบน	9
2.3	แสดงรูปแบบการติดตั้งชิ้นส่วนมาตรฐานพื้นห้องน้ำ	9
2.4	แสดงรูปแบบโครงสร้างแบบเสา-คาน บ้านเดี่ยว 2 ชั้น	10
2.5	แสดงเสาสั้นรับแรงเยื้องศูนย์	14
2.6	แสดงFrame without sidesway	15
2.7	แสดงFrame sidesway	15
2.8	แสดงหน่วยแรงเค้นดึง	16
2.9	แสดงหน่วยแรงเค้นอัด	17
2.10	แสดงหน่วยแรงเฉือน	18
3.1	แสดงแบบหล่อลูกบาศก์ขนาด 5 x 5 x 5 ซม.^{3}	20
3.2	แสดงการวัดค่าBleeding ของน้ำที่ผิวหน้าของชิ้นส่วน	27
3.3	แสดงอุปกรณ์การทดลอง JSCE-F 531- 199	28
3.4	แสดงรายละเอียดแรงกระทำสองจุดตรงตามตำแหน่ง	43
3.5	แสดงรายละเอียดแรงกระทำที่จุดกึ่งกลางตรงตามตำแหน่ง	45
4.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเวลา ของ cement paste single mixing w/c 0.40	48
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำกับเวลา ของ cement paste single mixing w/c 0.40	49
4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเวลา ของ cement paste single mixing w/c 0.44	50
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำกับเวลา ของ cement paste single mixing w/c 0.44	50

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเวลา ของ cement paste double mixing w/c 0.40	51
4.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำกับเวลา ของ cement paste double mixing w/c 0.40	52
4.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเวลา ของ cement paste double mixing w/c 0.44	53
4.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำกับเวลา ของ cement paste double mixing w/c 0.44	53
4.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเวลา ของ cement mortar single mixing w/c 0.40	54
4.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำกับเวลา ของ cement mortar single mixing w/c 0.40	55
4.11	แสดงการทดสอบการไหลของ cement mortar single mixing w/c 0.40	55
4.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเวลา ของ cement mortar single mixing w/c 0.44	56
4.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำกับเวลา ของ cement mortar single mixing w/c 0.44	57
4.14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเวลา ของ cement mortar double mixing w/c 0.40	58
4.15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำกับเวลา ของ cement mortar double mixing w/c 0.40	58
4.16	แสดงการทดสอบการไหลของ cement mortar double mixing w/c 0.40	59
4.17	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเวลา ของ cement mortar double mixing w/c 0.44	59

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.18	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำกับเวลา ของ cement mortar double mixing w/c 0.44	60
4.19	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด กับเวลา ของ nonshrink single mixing w/c 0.40	61
4.20	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเวลาของคอนกรีต	62
4.21	แสดงรอยต่อแบบเปียกของระบบบ้านสำเร็จรูป	62
4.22	แสดงลักษณะของรอยต่อ เมื่อดึงแบบออกที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง	63
4.23	แสดงลักษณะของรอยต่อ เมื่อดึงแบบออกที่ระยะเวลา $1\frac{1}{2}$ ชั่วโมง	63
4.24	แสดงลักษณะของรอยต่อ เมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 24 ชั่วโมง ที่ระยะเวลาดึงแบบ $1\frac{1}{2}$ ชั่วโมง	64
4.25	แสดงลักษณะของรอยต่อ เมื่อดึงแบบออกที่ระยะเวลา 2 ชั่วโมง	64
4.26	แสดงลักษณะของรอยต่อ เมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 24 ชั่วโมง ที่ระยะเวลาดึงแบบ 2 ชั่วโมง	65
4.27	แสดงลักษณะของรอยต่อ เมื่อดึงแบบออกที่ระยะเวลา $2\frac{1}{2}$ ชั่วโมง	65
4.28	แสดงลักษณะของรอยต่อ เมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 24 ชั่วโมง ที่ระยะเวลาดึงแบบ $2\frac{1}{2}$ ชั่วโมง	66
4.29	แสดงลักษณะของรอยต่อ เมื่อดึงแบบออกที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง	66
4.30	แสดงลักษณะของรอยต่อ เมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 24 ชั่วโมง ที่ระยะเวลาดึงแบบ 3 ชั่วโมง	66
4.31	แสดง Load Diagram, Shear Force Diagramและ Bending Moment Diagram ของการทดสอบเสา-เสา เมื่อวัสดุประสานมีอายุ 1 วัน	69

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.32	แสดง Load Diagram, Shear Force Diagram และ Bending Moment Diagram ของการทดสอบเสา-เสา เมื่อวัสดุประสานมีอายุ 3 วัน	70
4.33	แสดง Load Diagram, Shear Force Diagram และ Bending Moment Diagram การทดสอบเสา-เสา เมื่อวัสดุประสานมีอายุ 28 วัน	71
4.34	แสดง Load Diagram, Shear Force Diagram และ Bending Moment Diagram ของการทดสอบเสา-คาน-เสา เมื่อวัสดุประสานมีอายุ 1 วัน	73
4.35	แสดง Load Diagram, Shear Force Diagram และ Bending Moment Diagram ของการทดสอบเสา-คาน-เสา เมื่อวัสดุประสานมีอายุ 3 วัน	74
4.36	แสดง Load Diagram, Shear Force Diagram และ Bending Moment Diagram ของการทดสอบเสา-คาน-เสา เมื่อวัสดุประสานมีอายุ 28 วัน	75
5.1	แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเวลาของซีเมนต์เพสท์	76
5.2	แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำกับเวลาของซีเมนต์เพสท์	77
5.3	แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลาการไหลตัวของซีเมนต์เพสท์	77
5.4	แสดงการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างๆ	78
5.5	แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเวลาของซีเมนต์มอร์ต้า	79
5.6	แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำกับเวลาของซีเมนต์มอร์ต้า	79

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.7	แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลาการไหลตัวของซีเมนต์มอร์ต้า	80
5.8	แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเวลาของวัสดุประสาน	81
5.9	แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำกับเวลาของวัสดุประสาน	81
5.10	แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลาการไหลตัวของวัสดุประสาน	82
5.11	แสดงการวัดค่าการยุบตัวของคอนกรีต	83
5.12	แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบการรับกำลังแรงดึงของจุดรอยต่อแบบเสาต่อเสา	84
5.13	แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบการรับกำลังแรงดึงของจุดรอยต่อแบบเสาต่อคาน	86
5.14	แสดงลักษณะจุดรอยต่อของโครงสร้าง	87
5.15	แสดงลักษณะของคานพาดเดี่ยว	88
ผ.ง.1.	แสดงการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของวัสดุประสาน	ผง2
ผ.ง.2.	แสดงการทดสอบการไหลของซีเมนต์เพสต์ด้วยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%	ผง2
ผ.ง.3.	แสดงการทดสอบการไหลของซีเมนต์มอร์ต้าด้วยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%	ผง3
ผ.ง.4.	แสดงแท่งชิ้นส่วนคอนกรีต	ผง3
ผ.ง.5.	แสดงการการวิบัติของคอนกรีตหลังการทดสอบกำลังรับแรงอัด	ผง4
ผ.ง.6.	แสดงการหล่อชิ้นส่วนของการทดสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยว	ผง4
ผ.ง.7.	แสดงการบ่มชิ้นส่วนของการทดสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยว	ผง5
ผ.ง.8.	แสดงการเตรียมชิ้นส่วนเพื่อที่จะเทวัสดุประสานของการทดสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยว	ผง5

สารบัญรูป

รูปที่ ชื่อรูป	หน้า
ผ.ง.9. แสดงการเทสาร ซีเมนต์มอร์ต้าด้วยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%ขนาดท่อ 40มม.	ผง6
ผ.ง.10. แสดงการเทสาร ซีเมนต์มอร์ต้าด้วยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%ขนาดท่อ 30มม.	ผง6
ผ.ง.11. แสดงการทดสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยว	ผง7
ผ.ง.12. แสดงการวิบัติของจุดรอยต่อหลังการทดสอบ หน่วยแรงยึดเหนี่ยวของซีเมนต์มอร์ต้าด้วยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%ขนาดท่อ 30มม. DB12 มม. ยาว 200 มม.	ผง7
ผ.ง.13. แสดงการวิบัติของจุดรอยต่อหลังการทดสอบ หน่วยแรงยึดเหนี่ยวของซีเมนต์มอร์ต้าด้วยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%ขนาดท่อ 40มม. DB12 มม. ยาว 200 มม.	ผง8
ผ.ง.14. แสดงแบบหล่อของเสาสำเร็จรูป	ผง8
ผ.ง.15. แสดงชิ้นส่วนของเสาสำเร็จรูป	ผง9
ผ.ง.16. แสดงการทดสอบโมเมนต์ดัดแบบแรงกระทำสองจุด ของโครงสร้างแบบเสาต่อเสา	ผง9
ผ.ง.17. แสดงแบบหล่อของคานสำเร็จรูป	ผง10
ผ.ง.18. แสดงชิ้นส่วนของคานสำเร็จรูป	ผง10
ผ.ง.19. แสดงการทดสอบโมเมนต์ดัดแบบแรงกระทำจุดเดียวที่กึ่งกลาง ของโครงสร้างแบบเสาต่อคานต่อเสา	ผง11
ผ.ง.20. แสดงแบบหล่อของคานสำเร็จรูป	ผง11
ผ.ง.21. แสดงการทดสอบการรับแรงเฉือน แบบ double shear ของ shear key	ผง12
ผ.ง.22. แสดงการวิบัติของการทดสอบการรับแรงเฉือน แบบ double shear ของ shear key	ผง12
ผ.จ.1. แสดงโครงสร้างหลังจากประกอบได้ 1 วัน	ผจ3

สารบัญรูป

รูปที่ ชื่อรูป **หน้า**

ผ.จ.2. แสดง Bending Diagram ของโครงสร้าง เสาต่อเสา หลังจากประกอบได้ 1 วัน ผจ4

ผ.จ.3. แสดง Bending Diagram ของโครงสร้าง เสาต่อคานต่อเสา หลังจากประกอบได้ 1 วัน ผจ4

ผ.จ.4. แสดง Load Diagram ของโครงสร้าง หลังจากประกอบได้ 3 วัน ผจ5

ผ.จ.5. แสดง Bending Moment Diagram ของโครงสร้าง เสาต่อเสา หลังจากประกอบได้ 3 วัน ผจ6

ผ.จ.6. แสดง Bending Moment Diagram ของโครงสร้าง เสาต่อคานต่อเสา หลังจากประกอบได้ 3 วัน ผจ6

ผ.จ.7. แสดง Load Diagram ของโครงสร้าง หลังจากประกอบได้ 28 วัน ผจ7

ผ.จ.8. แสดง Bending Moment Diagram ของโครงสร้าง เสาต่อเสา หลังจากประกอบได้ 28 วัน ผจ8

ผ.จ.9. แสดง Bending Moment Diagram ของโครงสร้าง เสาต่อคานต่อเสา หลังจากประกอบได้ 28 วัน ผจ8

บทที่ 1
บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ระบบการก่อสร้างบ้านพักอาศัยได้มีวิวัฒนาการมาอย่างต่อเนื่อง โดยทั่วไประบบที่เป็นที่คุ้นเคยและได้รับความนิยม คือการก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างเสาและคาน (Skeleton Structure) หรือระบบโครงสร้างผนังรับน้ำหนัก (Wall Bearing Structure) วัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นไม้ อิฐ หิน ปูน เพราะเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น เทคนิควิธีการก่อสร้างไม่ยุ่งยาก และมีเวลาในการก่อสร้างไม่จำกัด ต่อมาเมื่อมีความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในด้านต่างๆ รวมทั้งทางด้านการก่อสร้าง มีการพัฒนาวัสดุขึ้นมาใหม่ มีการใช้เหล็กและคอนกรีต แทนไม้ และวัสดุดั้งเดิม หากพิจารณาทบทวนถึงสภาวการณ์ปัจจุบัน ระบบการก่อสร้างบ้านพักอาศัยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ระบบหลัก ตามสถานการณ์และกรรมวิธีในการก่อสร้าง คือ

1) ระบบการก่อสร้างแบบหล่อในที่ (Site-Built, Conventional Systcm)

เป็นระบบการก่อสร้างอาคารที่ทำกันมาแต่ดั้งเดิม เป็นการก่อสร้างในหน่วยงานก่อสร้างหรือพื้นที่โครงการ (On-Site) ตั้งแต่งานฐานราก งานไม้แบบ งานเทคอนกรีต งานก่อผนัง งานไม้ และงานหลังคา โดยจะมีการผลิตส่วนต่างๆของอาคารในสถานที่ก่อสร้างนั้นเลย ทำให้สามารถสร้างสรรค์รูปแบบที่มีความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวได้ แต่เมื่อมีความต้องการก่อสร้างจำนวนมากขึ้น การก่อสร้างก็มีแนวโน้มที่จะปรับตัวเข้าสู่ระบบอุตสาหกรรม

2) ระบบการก่อสร้างหรือผลิตเชิงอุตสาหกรรม (Factory-Built, Industrialization Building System)

เป็นระบบการก่อสร้างอาคารหรือผลิตชิ้นส่วนในเชิงอุตสาหกรรม โดยมีการนำเทคโนโลยีและกรรมวิธีที่ทันสมัยมาประยุกต์ใช้เพื่อตอบสนองกระบวนการก่อสร้าง สอดคล้องกับความต้องการครอบคลุมขั้นตอนตั้งแต่การออกแบบการผลิตและการก่อสร้าง โดยเป็นการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Prefabrication) ที่เป็นส่วนประกอบต่างๆของอาคารจากโรงงานอุตสาหกรรม และนำมาประกอบหรือติดตั้งในหน่วยงานก่อสร้าง โดยสรุปแล้วหลักเกณฑ์ที่สำคัญสำหรับระบบนี้คือ เป็นกระบวนการผลิตคราวละมากๆ โดยมีมาตรฐานของผลผลิตในขั้นตอนสุดท้าย ใช้เครื่องจักรในกระบวนการผลิต สามารถควบคุมมาตรฐานในการดำเนินงานทุกขั้นตอนได้ตั้งแต่การออกแบบ การตลาด การจัดซื้อ จนถึงการผลิต และใช้แรงงานที่มีความชำนาญเฉพาะ

1.2 ที่มาของการศึกษา

ด้วยนโยบายแห่งรัฐในการแก้ไขปัญหาความยากจน และสนับสนุนให้ผู้ด้อยโอกาสและผู้มีรายได้น้อยทั่วประเทศ มีที่อยู่อาศัยเป็นของตนเอง เพื่อเสริมสร้างความมั่นคงในการอยู่อาศัยและยกระดับคุณภาพชีวิต รัฐบาลได้มอบหมายให้การเคหะแห่งชาติดำเนินโครงการบ้านเอื้ออาทรโดยการจัดสร้างที่อยู่อาศัยที่ได้มาตรฐานในชุมชนที่มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม พร้อมระบบสาธารณูปโภคที่จำเป็นในระดับราคาที่สามารถรับภาระได้ โดยการเช่าซื้อที่อยู่อาศัยเป็นของตนเอง ซึ่งการจัดทำโครงการมีระยะเวลาก่อสร้างตั้งแต่ ปี 2546 – 2550 รวมทั้งสิ้น 5 ปี และมีเป้าหมายในการก่อสร้างประมาณ 601,727 หน่วยใช้เงินลงทุนทั้งสิ้น 293,932,460 ล้านบาท เนื่องจากการดำเนินงานโครงการดังกล่าว จำเป็นต้องดำเนินการก่อสร้างให้แล้วเสร็จตามระยะเวลาที่กำหนด จึงทำให้ผู้รับจ้างเลือกใช้การก่อสร้างอาคารด้วยระบบอุตสาหกรรม (ระบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป) เป็นส่วนใหญ่ เพื่อสอดคล้องกับสภาวะความต้องการของการเคหะแห่งชาติ และเนื่องจากการเคหะแห่งชาติยังไม่มีแบบมาตรฐานอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบอุตสาหกรรม จึงจำเป็นต้องมีงานวิจัยโครงการจัดทำแบบอาคารมาตรฐาน 2 ชั้น ก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนคอนกรีดสำเร็จรูป หรือระบบสำเร็จรูปอื่นๆ ที่เหมาะสม โดยนำผลจากการศึกษาประเมินผลการก่อสร้าง โครงการฯเอื้ออาทรปี 2547 มาร่วมเป็นแนวทางในการกำหนดรูปแบบวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมสำหรับโครงการก่อสร้างของการเคหะแห่งชาติเพื่อให้บรรลุตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ อีกทั้งเพื่อให้ผู้รับจ้างนำไปใช้เป็นต้นแบบในการทำงาน และเพื่อใช้เป็นแบบมาตรฐานในการคิดคำนวณราคาต้นทุน และราคากลางของการเคหะแห่งชาติต่อไป

จากการศึกษาข้อมูลจากแบบมาตรฐานอาคาร 2 ชั้นของโครงการบ้านเอื้ออาทร ของการจัดทำแบบมาตรฐานในระบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป โครงการบ้านเอื้ออาทรได้ดำเนินการก่อสร้างมาแล้วตั้งแต่ต้นปี 2546 ซึ่งโครงการวิจัยเพื่อจัดทำแบบมาตรฐาน ระบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปได้ดำเนินการขึ้นภายหลังจากโครงการได้ดำเนินการทางสัญญากับลูกค้าและผู้รับเหมาบางรายไปแล้ว ทำให้การปรับแก้ไขขนาดของตัวอาคาร หรือระยะต่างๆ ตลอดจนรายละเอียดในส่วนหลักของอาคารกระทำได้ยาก

จากเหตุผลดังกล่าว การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ทางผู้วิจัยจึงได้เน้นการศึกษาวิจัยแบบมาตรฐาน ภายใต้ข้อกำหนดในด้านขนาด วัสดุ ให้เป็นไปตามหลักการเดิมมากที่สุด โดยแนวคิดที่จะนำเข้ามาใช้ในการจัดทำแบบมาตรฐานในครั้งนี้จะเน้นไปที่ระบบชิ้นส่วนประกอบ (Components) ทั้งนี้เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะทางกายภาพของข้อกำหนดในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นความสะดวกในการก่อสร้างในพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทยที่ไม่มีเทคโนโลยีขั้นสูงและแรงงานที่มีคุณภาพในการก่อสร้าง รวมทั้งการจัดหาวัสดุในการก่อสร้าง การขนส่ง และความแข็งแรงของอาคาร เป็นต้น โดยระบบชิ้นส่วนประกอบจะเน้นไปที่โครงสร้างหลักของอาคาร เช่น เสา คาน พื้น ผนังภายนอก เป็นต้น เพราะเมื่อพิจารณาจากต้นทุนในการก่อสร้างในระบบเดิมที่เป็นแบบปกติทั่วไปในปัจจุบัน (Conventional

Construction System) ต้นทุนในการก่อสร้างในส่วนองค์ประกอบหลักของอาคารที่กล่าวมาแล้วสูงถึง 40-50% และเป็นส่วนที่ใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างมากถึง 2 ใน 3 ของระยะเวลาการก่อสร้างทั้งหมด ในการดำเนินการในระบบสำเร็จรูป และเป็นการสร้างงานให้กับแรงงานในท้องถิ่นที่โครงการได้ทำการดำเนินการอีกด้วย ทั้งนี้เพื่อไม่ให้ระบบก่อสร้างของโครงการในภาพรวมเน้นการทำงานโดยหันไปพึ่งพาระบบอุตสาหกรรมทั้งหมด ซึ่งเป็นการจำกัดโอกาสให้กับผู้รับเหมารายย่อยหรือช่างฝีมือแรงงาน จุดมุ่งหมายที่สำคัญที่ต้องการให้เกิดขึ้นคือการรักษาดุลย์กันระหว่างเทคโนโลยีการก่อสร้างที่เน้นการใช้แรงงานกับการใช้ระบบอุตสาหกรรม ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความเหมาะสมและสอดคล้องกับสภาวการณ์ในการพัฒนาประเทศ และมีความเป็นไปได้ในการนำเข้าสู่กระบวนการทำงานที่ได้คุณภาพ สร้างมาตรฐานให้กับงานก่อสร้างให้กับการเคหะแห่งชาติ สะดวกต่อการควบคุมคุณภาพไม่ว่าจะดำเนินการโดยผู้รับเหมารายใด หรือก่อสร้าง ณ ที่แห่งใดก็ตาม

1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.3.1 ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุประสานที่นำมาเกร๊าท์ (Grout)

1.3.2 ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงกระทำชนิดต่างๆที่จุดรอยต่อ (Joint)

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 ศึกษาจุดรอยต่อของส่วนประกอบโครงสร้างอาคารระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป 2 ชั้น

1.4.2 ทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก (Load Test) เพื่อประเมินความแข็งแรงของจุดรอยต่อ

1.5 วิธีการศึกษา

วิธีการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย

1.5.1 ศึกษาแบบก่อสร้างของการแบบมาตรฐานโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ อาคารบ้านเดี่ยว 2 ชั้น

1.5.2 ศึกษาทบทวน ผลงาน งานวิจัย เอกสาร บทความ มาตรฐานการทดสอบและแนวความคิดต่างๆ ของผู้ทรงคุณวุฒิ เพื่อนำผลการศึกษามาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้

1.5.3 ศึกษาเทคนิคในการดำเนินการก่อสร้าง เช่น

1) การผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป

2) การติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูป

3) การประกอบจุดรอยต่อชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

1.5.4 ทำการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุประสานที่นำมาเกร๊าท์โดยวิธีการทดสอบ ได้แก่

1) กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength)

2) อัตราการคายน้ำ (Bleeding)

3) คุณสมบัติการไหลตัว

1.5.5 ทำการทดสอบพฤติกรรมการรับแรงต่างๆ ณ จุดรอยต่อของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป โดยวิธีการทดสอบ ได้แก่

1) แรงยึดเหนี่ยว (Bonding Strength)

2) โมเมนต์ดัด (Moment)

3) แรงเฉือน (Shearing Strength)

1.5.6 รวบรวมผลการทดสอบ

1.5.7 นำผลมาวิเคราะห์ เปรียบเทียบการออกแบบจุดรอยต่อของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

1.5.8 สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ

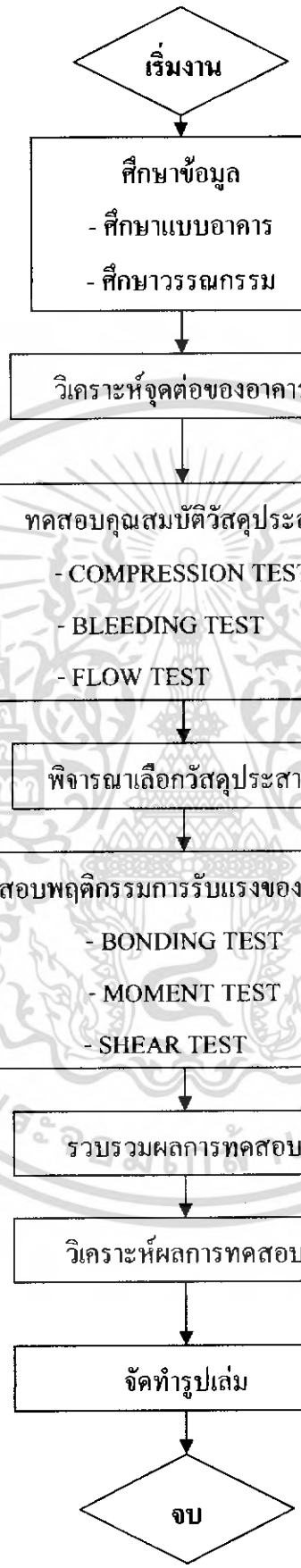
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ส่งเสริมและพัฒนาระบบการก่อสร้างอาคารสำเร็จรูป ให้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการก่อสร้างอาคาร

1.6.2 ส่งเสริมและพัฒนาระบบการก่อสร้างอุตสาหกรรมที่อยู่อาศัยระดับผู้มีรายได้น้อยให้เป็นนวัตกรรมการผลิตที่เกิดขึ้นในประเทศได้เอง ตามความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานและข้อจำกัดที่เกิดขึ้น ซึ่งมีการควบคุมด้านคุณภาพ และด้านความมั่นคงแข็งแรง

1.6.3 ได้รูปแบบ (Model) การวางแผนงานการก่อสร้างอาคารระบบสำเร็จรูป ที่มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับการทำงานของเจ้าของโครงการ ผู้บริหารโครงการ ผู้รับเหมางานก่อสร้าง และผู้เกี่ยวข้อง

1.6.4 ทำให้ทราบถึงปัญหา อุปสรรค และข้อดีข้อเสีย ของระบบการก่อสร้างอาคารสำเร็จรูป การแก้ปัญหาและอุปสรรคของโครงการที่ทำการศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์กับผู้ที่จะนำระบบสำเร็จรูปไปใช้ในการก่อสร้าง



รูปที่ 1.1 แสดงวิธีการดำเนินการวิจัย

บทที่ 2
วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 ความหมายของการก่อสร้างระบบสำเร็จรูป

" พรีคาสต์คอนกรีต (Precast Concrete) " คือการหล่อชิ้นส่วนคอนกรีตในสถานที่ใดๆ (เช่น โรงงาน บริเวณที่ก่อสร้าง) ก่อนแล้วนำไปประกอบกันเป็นโครงสร้าง (Sheppard David . A, and William R. Phillips, 1989)

" พรีแฟ่บบริเคชั่น (Prefabrication) " คืออุตสาหกรรมการก่อสร้างอันเป็นวิธีการผลิตส่วนประกอบจำนวนมาก (Mass Produced Components) เพื่อก่อสร้างโดยอาศัย เครื่องมือ เครื่องจักร หรืออุปกรณ์ยก สำหรับปฏิบัติงาน (GmbH,Bauverlag,Wiesbaden and Berlin,1968)

"ระบบก่อสร้างแบบหล่อในที่ (Site-Built, Conventional System)" คือ ระบบการก่อสร้างอาคารที่ทำกันมาแต่ดั้งเดิม เป็นการก่อสร้างในหน่วยงานก่อสร้างหรือพื้นที่โครงการ (On-Site) ตั้งแต่งานฐานราก งานไม้แบบ งานเทคอนกรีต งานก่อผนัง งานไม้ และงานหลังคา โดยจะมีการผลิตส่วนต่างๆของอาคารในสถานที่ก่อสร้างนั้นเลย ทำให้สามารถสร้างสรรค์รูปแบบที่มีความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวได้

2.2 สรุปวิวัฒนาการความเป็นมาของการก่อสร้างอาคารด้วยระบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

การก่อสร้างอาคารคอนกรีตระบบสำเร็จรูป ได้เริ่มจากการใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปในการสร้างของอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบหล่อในที่และพัฒนาเป็นระบบอุตสาหกรรม โดยสามารถสรุปข่อลำดับความเป็นมาได้ ดังนี้

ในปี ค.ศ.1891 ได้เริ่มมีการใช้คานคอนกรีตสำเร็จรูปกับอาคารคาสิโน ที่ Biarritz ประเทศฝรั่งเศส โดยบริษัท Ed. Coignet, Paris จำกัด เป็นครั้งแรก

ในปี ค.ศ.1900 ที่นิวยอร์ก ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้จัดทำพื้นหลังคาคอนกรีตสำเร็จรูป ขนาดกว้าง 1.20 เมตร ยาว 5.10 เมตร และหนา 5 เซนติเมตร ติดตั้งบนคานเหล็กที่สานกันเป็นตาราง (Lattice Steel Framework)

ในปี ค.ศ.1905 ที่เพนซิลวาเนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ก่อสร้างอาคาร 4 ชั้น โดยใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

ในปี ค.ศ.1906 บริษัท Waycss & Freytag จำกัด ประเทศเยอรมัน ได้ก่อตั้งโรงงานผลิตเสาเข็มคอนกรีตสำเร็จรูปขึ้น

ในปี ค.ศ.1907 บริษัท Edison Portland Cement จำกัด ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ก่อตั้งโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปของอาคารและในปีเดียวกันก็ได้มีวิวัฒนาการการก่อสร้างที่เรียกว่า "Tilt-up" เกิดขึ้น

ในปี ค.ศ.1912 มีการก่อสร้างอาคารสำเร็จรูปหลายชั้น โดยใช้เสา ผนัง และพื้นสำเร็จรูป และถือเป็นลิขสิทธิ์ระบบการก่อสร้างของ John E. Conzelman

ในปี ค.ศ.1942 บริษัท Philipp Holzman AG จำกัด ได้ก่อสร้างอาคารคอนกรีตชั้นเดียวที่มีช่วงคานยาว 7.00 เมตร และ 9.00 เมตร โดยใช้คานและเสาคอนกรีตสำเร็จรูป และจุดรอยต่อของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปใช้ Bolt & Nut

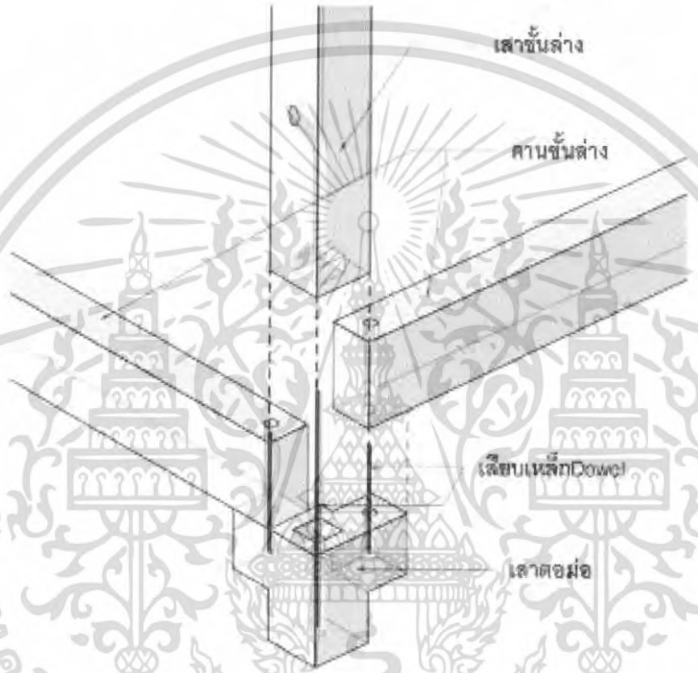
สำหรับในทวีปยุโรป การก่อสร้างอาคารโดยใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป ได้เริ่มขึ้นหลังจากสงครามโลกครั้งที่ 1

สำหรับในทวีปอเมริกา การก่อสร้างอาคารโดยใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป ได้ประสบความสำเร็จอย่างแพร่หลายประมาณปี ค.ศ.1919

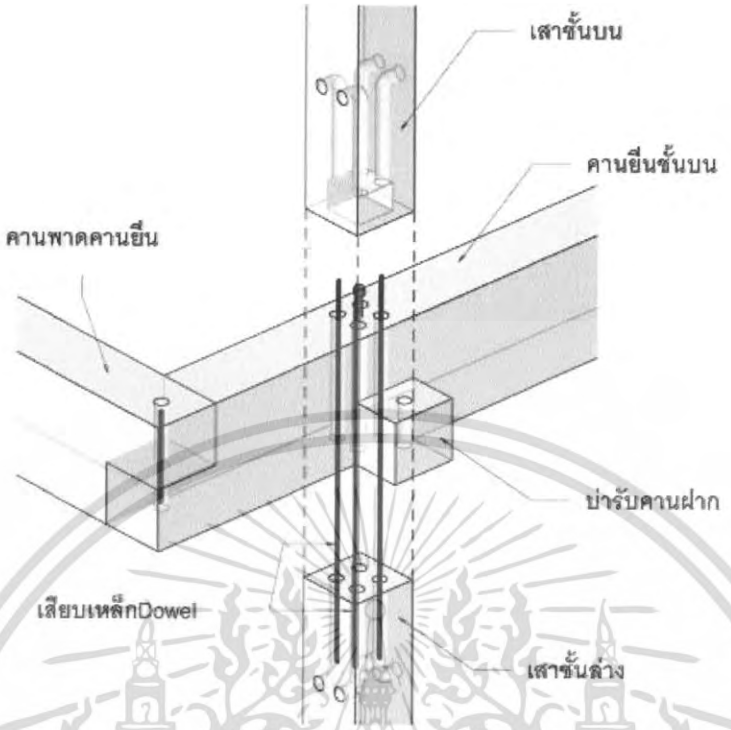
สำหรับในประเทศไทย ระบบการก่อสร้างโดยใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป ได้มีการนำมาใช้เป็นระยะเวลาประมาณ 40 ปี แต่ปริมาณงานยังน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณงานก่อสร้างทั้งหมด ระบบการก่อสร้างนี้ เริ่มเป็นที่รู้จักในประเทศไทยมากขึ้น ตั้งแต่ที่บริษัทซีคอน จำกัด นำคานและพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปมาใช้ในการก่อสร้างอาคาร และเมื่อประมาณ 10 กว่าปีที่ผ่านมา บริษัทบางกอกแลนด์ จำกัด ได้นำระบบการก่อสร้างนี้มาใช้กับคอนโดมิเนียมอุตสาหกรรม ในโครงการเมืองทองธานี ถนนแจ้งวัฒนะ และเริ่มได้รับความนิยมมากขึ้นเมื่อโครงการบ้านสวนธนได้นำระบบการก่อสร้างนี้มาใช้สร้างคอนโดมิเนียม จนกระทั่งในปี พ.ศ.2547 รัฐบาลมีโครงการบ้านเอื้ออาทร ดำเนินการโดยการเคหะแห่งชาติ (กคช.) ซึ่งเป็นโครงการจัดหาที่อยู่อาศัยราคาถูกให้กับประชาชน ในโครงการนี้ บริษัทอิตาเลียนไทย ดีเวลลอปเมนต์ (มหาชน) จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทรับเหมาก่อสร้างรายใหญ่ ได้นำระบบการก่อสร้างนี้มาใช้ในโครงการที่ประมูลได้ โดยส่วนใหญ่แล้วเป็นโครงการประเภทอาคารชุด 5 ชั้น นอกจากนี้ ยังมีโครงการของบริษัท พฤกษา เรียลเอสเตท จำกัด ก็ได้นำเทคโนโลยีนี้เข้ามาใช้กับการก่อสร้างบ้านแถว (ทาวเฮาส์) และบ้านเดี่ยวในโครงการ และมีการตั้งโรงงานผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปขึ้นที่จังหวัดปทุมธานีด้วย ซึ่งนับไว้ว่าเป็นก้าวใหม่ของวงการอุตสาหกรรมก่อสร้างสำหรับประเทศไทยที่มีการสร้างโรงงานผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ทันสมัยตามมาตรฐานสากลโดยเป็นการนำเข้าเทคโนโลยีจากประเทศเยอรมนีมาประยุกต์ใช้กับการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

2.3 ระบบชิ้นส่วนประกอบอาคารสำเร็จรูป (Prefabrication Building Component)

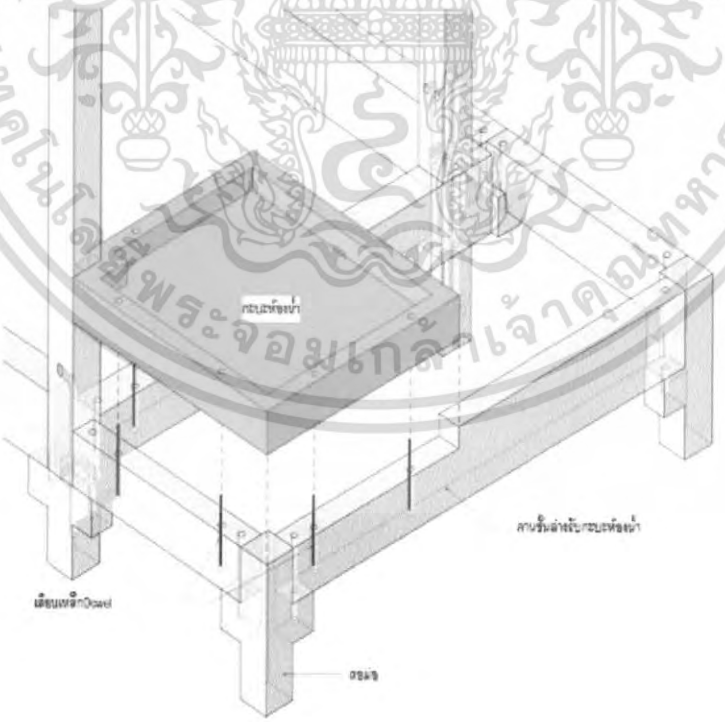
การศึกษาระบบชิ้นส่วนประกอบของงานคอนกรีตสำเร็จรูป จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ รูปแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป และการเชื่อมต่อ โดยที่รูปแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปจะหมายถึงองค์ประกอบต่างๆ ของอาคารที่ผลิตขึ้นเป็นวัสดุสำเร็จรูป อาทิ เสา คาน พื้น ผนัง และการเชื่อมต่อจะหมายถึงลักษณะการเชื่อมต่อของแต่ละชิ้นส่วนสำเร็จรูปในการนำมาประกอบเข้าด้วยกัน



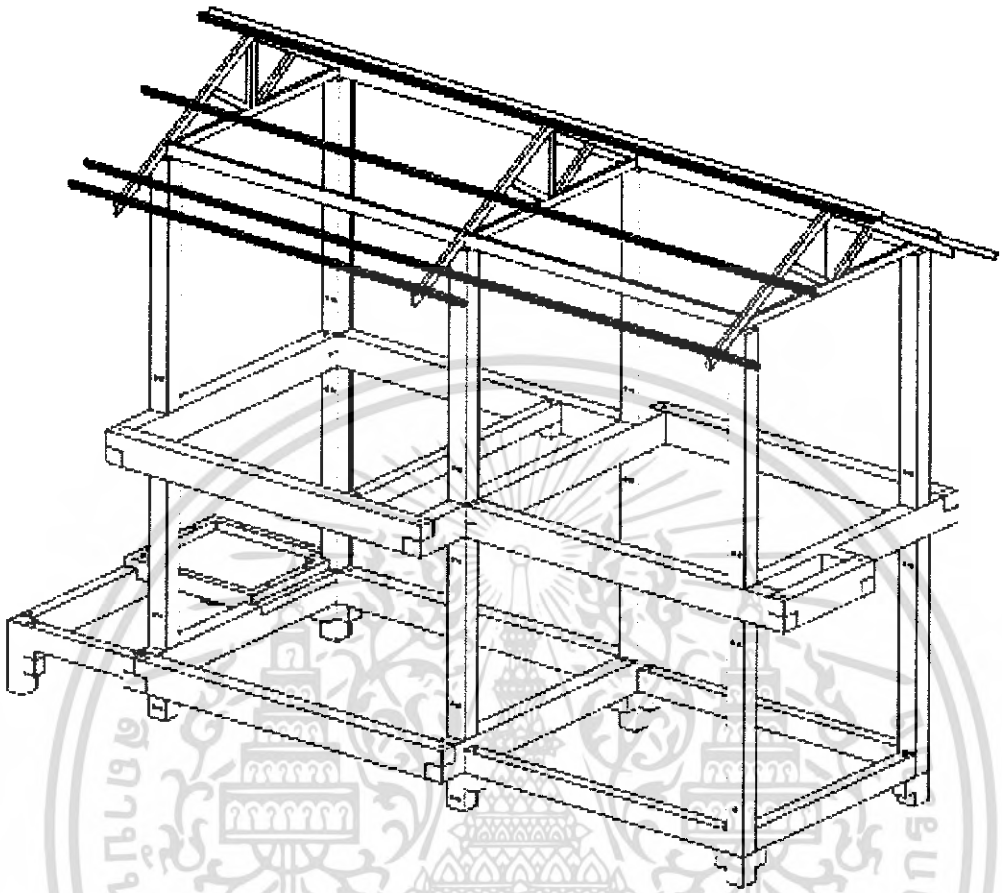
รูปที่ 2.1 แสดงรูปแบบการติดตั้งชิ้นส่วนมาตรฐานตอม่อ คาน และเสาชั้นล่าง



รูปที่ 2.2 แสดงรูปแบบการติดตั้งชิ้นส่วนมาตรฐานเสาชั้นล่าง คาน และเสาชั้นบน



รูปที่ 2.3 แสดงรูปแบบการติดตั้งชิ้นส่วนมาตรฐานพื้นห้องน้ำ



รูปที่ 2.4 แสดงรูปแบบโครงสร้างแบบเสา-คาน บ้านเดี่ยว 2 ชั้น

2.4 การพิจารณารูปแบบจุดรอยต่อของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

จุดรอยต่อของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป มีความสำคัญมากต่อความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้าง รูปแบบจุดรอยต่อที่ได้พิจารณานำมาใช้ แบ่งเป็น 2 ประเภท

1) จุดรอยต่อแบบเปียก (Wet Joint)

จุดรอยต่อแบบเปียก เป็นจุดรอยต่อที่เกิดจากการเกร๊าท์ (Grout) จุดรอยต่อแบบนี้จะไม่สามารถรับแรงต่างๆ ได้ทันที ต้องรอจนกว่าวัสดุมีความแข็งแรงตามข้อกำหนด จุดรอยต่อแบบนี้ได้แก่ จุดรอยต่อแบบการใช้เหล็กโดเวล (Dowel) เกร๊าท์

2) จุดรอยต่อแบบแห้ง (Dry Joint)

จุดรอยต่อแบบแห้ง เป็นจุดรอยต่อที่เกิดจากการเชื่อมต่อวัสดุที่สามารถรับแรงต่างๆ ได้ทันที จุดรอยต่อแบบนี้ได้แก่ จุดรอยต่อแบบการใช้โบลท์ (Bolting), แบบการเชื่อม (Welding) จุด

รอยต่อแบบนี้ หลังจากทำงานเสร็จแล้ว จะทำการปิดจุดรอยต่อด้วยมอร์ต้า (Mortar) อีพอกซี่ (Epoxy) วัสดุกันซึม วัสดุกันสนิม อย่างใดอย่างหนึ่ง ขึ้นอยู่กับการออกแบบ

2.5 หลักเกณฑ์การพิจารณาการออกแบบอาคารสำเร็จรูป

หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบและการเลือกรูปแบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป มีข้อกำหนดในการออกแบบ[1] ดังนี้

น้ำหนักบรรทุก ต้องพิจารณาและกำหนดให้ชัดเจนว่า การออกแบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปจะต้องรับแรงกระทำชนิดต่างๆ เท่าใด โดยน้ำหนักและแรงกระทำที่จะต้องคำนึงถึงได้แก่

1) น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) ซึ่งมีน้ำหนักของชิ้นส่วนคอนกรีตเอง และน้ำหนักโครงสร้างอื่นๆ ที่ชิ้นส่วนนั้นรองรับอยู่
2) น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) ทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง ซึ่งเป็นน้ำหนักที่เกิดจากใช้งาน
3) แรงอันเนื่องมาจากลม (Wind Load) ซึ่งมีทั้งในรูปแบบแรงกระทำในแนวราบและแนวดิ่ง นอกจากนี้ลมอาจจะทำให้เกิดการสั่น การแกว่งหรือการโยกตัวของโครงสร้างอาคารได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาคารที่มีชั้นความสูงมากๆ
4) แรงอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหว (Earthquake) ปัจจุบันสถาปนิกและวิศวกรไทยส่วนมากยังไม่คำนึงถึงแรงจากแผ่นดินไหว แต่ในอนาคตอันใกล้จะมีกฎกระทรวงบังคับให้อาคารสามารถรับแรงจากแผ่นดินไหวด้วย โดยเฉพาะในเขตพื้นที่ที่มีความเสี่ยง ได้แก่จังหวัด กาญจนบุรี เชียงราย แม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ พะเยา ลำพูน ตาก น่าน แพร่ ลำปาง
5) แรงจากการสั่นสะเทือนเนื่องจากอุบัติเหตุ หรือแรงจากสิ่งที่ไม่คาดคิด (Vibration, Accident, Unforseen) ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปควรออกแบบให้มีส่วนเผื่อเหลือเผื่อรับแรงที่ไม่คาดคิด หรือแรงจากอุบัติเหตุทั้งขณะก่อสร้างและภายหลังการก่อสร้าง ตัวอย่างเช่น แก๊สระเบิด รถชนชั้นล่างของอาคาร เครื่องบินชนอาคาร เป็นต้น

2.6 หลักเกณฑ์การพิจารณาความมั่นคงแข็งแรงของอาคาร

1) รูปแบบความมั่นคงแข็งแรงของอาคาร[2] ความแข็งแรงและความปลอดภัยเป็นเรื่องสำคัญมากในการออกแบบอาคารสำหรับการก่อสร้างอาคารระบบสำเร็จรูป ดังนั้น

---

[1] จิรวัฒน์ ดำริอนันต์. 2536. การประยุกต์ใช้ระบบการก่อสร้างสำเร็จรูปสำหรับอาคารสูงในกรุงเทพฯ (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย). หน้า 59-63

การออกแบบอาคารคอนกรีตสำเร็จรูปให้แข็งแรงปลอดภัย ลักษณะสำคัญขึ้นอยู่กับการออกแบบบริเวณจุดรอยต่อของแต่ละชิ้นส่วน การทำจุดรอยต่อของแต่ละชิ้นส่วนหลังจากก่อสร้างเสร็จแล้ว จะต้องมีคุณสมบัติแบบเดียวกันกับโครงสร้างที่ก่อสร้างด้วยระบบหล่อในที่ (จุดรอยต่อระบบสำเร็จรูปต้องมีความแข็งแรงไม่น้อยกว่าจุดรอยต่อของระบบหล่อในที่) รูปแบบความมั่นคงแข็งแรงของอาคารที่นำมาใช้ในการออกแบบ มีดังนี้

2) โครงสร้างเสารับโมเมนต์ (Columns Fixed to the Foundations) ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับเสาที่ยึดติดกับฐานราก คานที่ยึดติดกับเสาจะมีลักษณะเป็นจุดหมุน (Hinge)

3) โครงสร้างเฟรมรับโมเมนต์ (Frames with Moment Connections) ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างจะขึ้นอยู่กับความแข็งรงของจุดต่อของเสาและคาน ซึ่งมีความสามารถรับโมเมนต์ด้วย ข้อเสียคือ มีความซับซ้อนในการผลิตและขนส่งและการติดตั้งกระทำได้ยาก

4) โครงสร้างผนังและคอร์รับแรง (Shear Walls and Cores) ความมั่นคงแข็งแรงของระบบนี้จะมีคอร์หรือแผ่นผนังเป็นตัวที่ทำให้ระบบนี้มีความมั่นคงแข็งแรง ซึ่งสามารถใช้กับอาคารสูงได้ระดับหนึ่ง จุดรอยต่อระหว่าง คาน-คาน เสา-เสา และคาน-เสา การออกแบบจะเป็นจุดรอยต่อแบบหมุน (Hinge) หลักการออกแบบก่อสร้างสำหรับอาคารลักษณะนี้ ส่วนคอร์มักจะดำเนินการหล่อในที่ ส่วน คาน, เสา และพื้น หรือพื้นและผนัง จะเป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูป

5) โครงสร้างผนังรับแรงรอบอาคาร (Load Bearing Facades and Façade Tube) ความมั่นคงแข็งแรงขึ้นอยู่กับการประสานกันเป็นกล่องของโครงสร้าง โดยให้แรงในแนวดิ่งมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าแรงในแนวนอน

6) โครงสร้างผนังรับแรง (Bearing Wall Structures) ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างขึ้นอยู่กับน้ำหนักของโครงสร้าง โดยให้โครงสร้างรับน้ำหนักในแนวดิ่งอย่างเดียว ไม่รับแรงดึงในแนวนอน

7) ไดอะแกรมพื้นและหลังคา (Floor and Roof Diagrams) เป็นระบบที่ใช้กันแพร่หลายในประเทศไทย โดยการใช้พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป เช่น ระบบพื้นแพล็งค์ (Plank) ระบบพื้นฮอลโลว์ คอร์ (Hollow Core) การใช้โครงสร้างระบบนี้จะสามารถสร้างพื้นได้อย่างรวดเร็ว

---

[2] จาตุรนต์ วัฒนผาสุข. 2548. **รายงานการวิจัยเรื่องอาคารในประเทศ : ระบบการก่อสร้างโดยวิธี Prefabrication ใน กทม.**. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 84-88.

8) โครงสร้างแบบเซลล์ (Cell Structures) เป็นการออกแบบโครงสร้างผนังและพื้นรวมกันเป็นห้องแล้วนำมาประกอบติดตั้ง โครงสร้างแบบเซลล์อาจเป็นการทำงานสถาปัตยกรรมที่รวมการติดตั้งระบบไฟฟ้าและประปามาเรียบร้อยแล้ว ความมั่นคงแข็งแรงจะอยู่ในรูปของระบบ Shear Wall ลักษณะของ Cell Structures ที่ทำการผลิต ได้แก่ ระฆังแบบคว่ำ (Bell Type) แบบตัวยู (U Type) แบบตัวซี (C Type)

2.7 ทฤษฎี

2.7.1. หน่วยแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยต่อหน่วยความยาวของเหล็กเสริม

กำลังในการยึดเหนี่ยว (Bond Strength) เกิดจากการยึดติด (Adhesion) และแรงเสียดทาน (Friction) ของเหล็กเสริมกับวัสดุประสานที่แข็งตัวแล้ว แต่มีความยากในการวัดค่าที่แท้จริง ทั้งนี้เพราะมีปัจจัยหลายประการที่เกี่ยวข้อง เช่น ขณะที่คอนกรีตได้รับการบ่มและแข็งตัว จะเกิดการหดตัว ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเหล็กเสริมและคอนกรีตลดลง ส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวลดลง ถ้าคอนกรีตมีการแตกร้าวหรือน้ำซึมผ่านได้ง่ายจะทำให้เกิดการกัดกร่อนของเหล็กเสริมภายใน ซึ่งจะส่งผลต่อแรงยึดเหนี่ยวเช่นกัน นอกจากคุณสมบัติของเนื้อคอนกรีตเองแล้วยังมีปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องด้วย คือ ขนาดของเหล็กเสริม ชนิดของเหล็กเสริม ตำแหน่งของเหล็กเสริมในคอนกรีต (ทำหน้าที่รับแรงดึง แรงอัด หรือแรงดัด) การจี้เขย่าบริเวณเหล็กเสริม ช่องว่างอากาศใต้เหล็กเสริมที่เกิดจากการเยิ้ม คอนกรีตต้องอยู่ในสภาวะเปียกและแห้งสลับกันหรือไม่ และคอนกรีตต้องอยู่ในสภาพอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงที่จุดเยือกแข็งหรือไม่

$$U = u \cdot \sum O \tag{2.1}$$

โดยที่

U = แรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยต่อหน่วยความยาวของเหล็กเสริม หน่วยเป็น กก/ซม.

u = หน่วยแรงยึดเหนี่ยว หน่วยเป็น กก./ซม.^{2}

$\sum O$ = เป็นผลรวมของเส้นรอบรูปของเหล็กเสริม หน่วยเป็น ซม.

2.7.2 โมเมนต์ดัด

หากพิจารณาเสามีหูช้าง หรือแรงกระทำเยื้องศูนย์กลาง ซึ่งล้วนทำให้เสามีพฤติกรรมคล้ายคานคือ ต้องรับโมเมนต์ดัด ดังรูปที่ 2.5

จาก

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{Pey}{I} \tag{2.2}$$

โดยที่

σ = ความเค้น หน่วยเป็น กิโลกรัม ต่อ ตารางเซ็นติเมตร

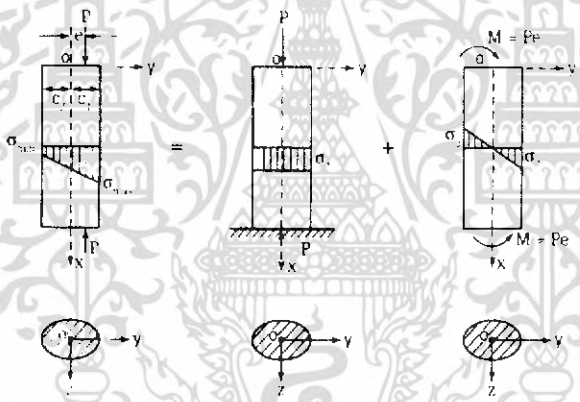
P = แรงที่มากระทำ หน่วยเป็น กิโลกรัม

A = พื้นที่หน้าตัด หน่วยเป็น ตารางเซ็นติเมตร

e = ระยะที่แรงกระทำเยื้องศูนย์กลาง หน่วยเป็น เซ็นติเมตร

y = ระยะห่างจากแกนสะเทิน หน่วยเป็น เซ็นติเมตร

I = โมเมนต์อินนิเชียร์ หน่วยเป็น เซ็นติเมตร^4



รูปที่ 2.5 แสดงเสาสั้นรับแรงเยื้องศูนย์

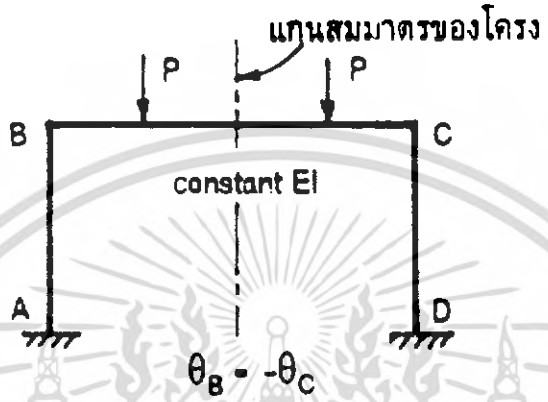
2.7.3 โครงสร้างที่ไม่มีการเซ

เมื่อ Frames มีค้ำยันที่ เพียงพอที่จะรับน้ำหนักบรรทุก Frame ก็จะไม่เกิดการเซหรือเอียงเทไปข้างใดข้างหนึ่ง เพราะฉะนั้น การสมสมดิของ Frame จะไม่มีการยืดหรือหดตัวตามแนวแกนของชิ้นส่วน ดังนั้นการวิเคราะห์ โครงสร้างจะวิเคราะห์โดยวิธี Slope Deflection Equation ซึ่งจะมีเพียงทีรอยต่อ (joint) ที่เกิดการหมุนที่เป็นตัวมีรู้ค่า และสามารถหาสมการสมดุลทางโมเมนต์ที่เรียกว่า Joint Equation

$$M_{AB} = \frac{2EI}{L}\left(2\theta_A + \theta_B - \frac{3\Delta}{L}\right) + FEM_{AB} \tag{2.3}$$

$$M_{BA} = \frac{2EI}{L}\left(2\theta_B + \theta_A - \frac{3\Delta}{L}\right) + FEM_{BA} \qquad (2.4)$$

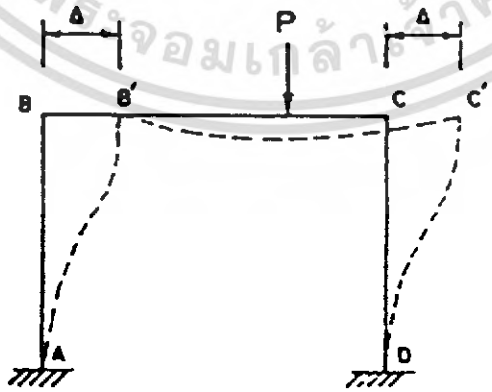
Fig. $\frac{3\Delta}{L} = 0$



รูปที่ 2.6 แสดงFrame without sidesway

2.7.4 โครงสร้างที่มีการเซ

โครงข้อแข็งไม่มีการยึดรั้งทางด้านข้างไว้อย่างเพียงพอ หรือมีน้ำหนักบรรทุกกระทำต่อโครงสร้างไม่สมมาตร ซึ่งทำให้เกิดการเซในแนวราบ ซึ่งค่าโมเมนต์ดัดที่จุดต่อหาได้จากสมการที่ 2.3 และ 2.4 โดยที่ $\frac{3\Delta}{L} \neq 0$



รูปที่ 2.7 แสดงFrame sidesway

การเซแสดงการเซไปด้านข้างด้านขวา แสดงด้วยเส้นโค้งอิลาสติก จะเห็นการเคลื่อนจาก B และ C เป็น B'และ C' เป็นระยะ Δ ในแนวราบ การเซดังกล่าว ถ้าอยู่ในช่วงอิลาสติกถือว่ามีค่าน้อยมาก ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงความยาวจากแรงตามแกนก็จะมีค่าน้อยมากเช่นกัน ฉะนั้น ทำการเซของจุด B และ C เท่ากัน และการเคลื่อนที่ของจุดทั้งสองในแนวดิ่งไม่ได้เกิดขึ้น เพราะฉะนั้น สมการ Slope Deflection ที่กล่าวข้างต้นก็สามารถนำมาวิเคราะห์ ได้เป็นอย่างดีเช่นกัน

2.7.5 หน่วยแรงเค้น (stress)

แรงภายนอกกระทำผ่านแนวแกนที่ผ่านจุดเซ็นทรอยด์ของพื้นที่หน้าตัด วัตถุการกระจายของแรงภายในที่ต้านแรงภายนอกก็จะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นที่หน้าตัด เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดที่มีแรงเค้นเกิดขึ้นมีทิศทางตั้งฉากกับแรงภายนอก จึงเรียกแรงเค้นตั้งฉาก (normal stress) ดังรูปที่ 2.8 และ 2.9

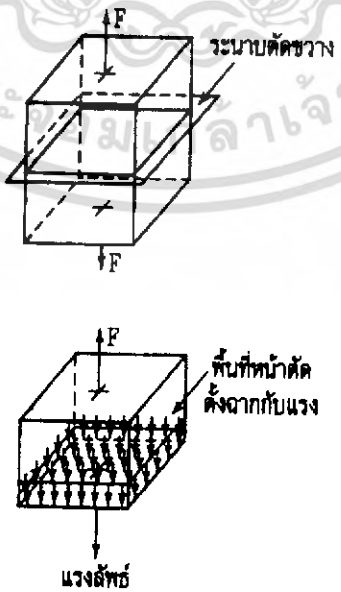
$$\sigma = \frac{P}{A} \tag{2.5}$$

โดยที่

σ = หน่วยแรงเค้น หน่วยเป็น กิโลกรัม ต่อ ตารางเซ็นติเมตร

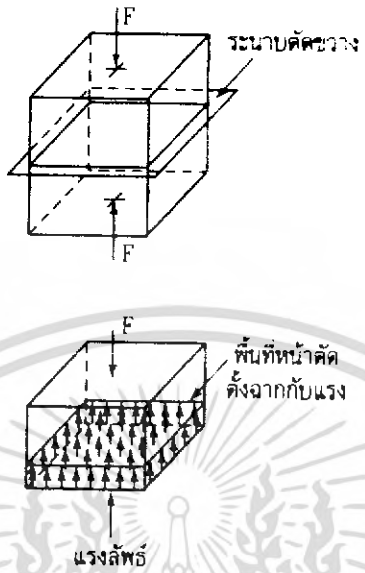
P = แรงที่มากระทำ หน่วยเป็น กิโลกรัม

A = พื้นที่หน้าตัดตั้งฉากกับแนวแรง หน่วยเป็น ตารางเซ็นติเมตร



รูปที่ 2.8 แสดงหน่วยแรงเค้นดึง

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.9 แสดงหน่วยแรงเค้นอัด

2.7.6 หน่วยแรงเฉือน (shear stress)

เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำต่อวัตถุโดยพยายามให้วัสดุขาดออกจากกันตามแนวระนาบที่ขนานทิศทางของแรง จะเกิดแรงภายในต้านทานแรงภายนอกบนระนาบนั้น เราเรียกแรงนี้ว่า แรงเฉือน (shear force) ถ้าแรงเฉือนหารพื้นที่หน้าตัด เรียกว่า ความเค้นเฉือน (shear stress) ดังรูปที่ 2.10

$$\tau = \frac{P}{A} \tag{2.6}$$

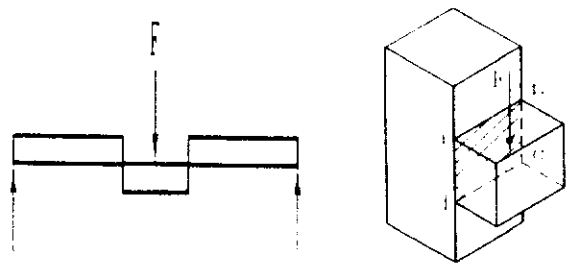
โดยที่

τ = หน่วยแรงเฉือน หน่วยเป็น กิโลกรัม ต่อ ตารางเซ็นติเมตร

P = แรงที่มากระทำ หน่วยเป็น กิโลกรัม

A = พื้นที่หน้าตัดขนานกับแนวแรง หน่วยเป็น ตารางเซ็นติเมตร

62734



รูปที่ 2.10 แสดงหน่วยแรงเฉือน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทที่ 3
ขั้นตอนการทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึง การทดสอบความแข็งแรงของจุดรอยต่อโครงสร้าง ซึ่งในระบบโครงสร้างอาคารระบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป ความแข็งแรงของโครงสร้างขึ้นอยู่กับจุดรอยต่อที่ทำหน้าที่เสมือนจุดรอยต่อโครงสร้างระบบหล่อในที่

3.1 วิธีการทดสอบวัสดุประสาน (Test for Grouting Materials)

การทดสอบวัสดุประสาน จะทำการทดสอบ 3 ประเด็นหลัก คือ

1) ทดสอบกำลังรับแรงอัด

2) ทดสอบอัตราการคายน้ำ

3) ทดสอบคุณสมบัติการไหล

3.1.1 ทดสอบหากำลังรับแรงอัดของวัสดุประสาน (Test for Compressive Strength of Cement Materials)

3.1.1.1 ทดสอบหากำลังรับแรงอัดของวัสดุประสานของซีเมนต์มอร์ต้า (Test for Compressive Strength of Cement Mortar)

1) วัตถุประสงค์:เพื่อทดสอบหากำลังรับแรงอัดของวัสดุประสาน โดยการหล่อก้อนทดสอบรูปลูกบาศก์ขนาด $5\times5\times5$ซม.^{3} เปรียบเทียบความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้น หรือที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากปริมาณของน้ำผสม วิธีการผสม และระยะเวลาของการบ่ม

2) มาตรฐานที่ใช้ : ASTM: C 109-92

3) วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

(1) ปูนซีเมนต์

(2) น้ำ

(3) ทราย

(4) เครื่องชั่งแบบ Electronic Balance

(5) ที่ตัก (Scoop)

(6) เครื่องผสม (Mixer)

(7) นาฬิกาจับเวลา (Stop Watch)

(8) แบบหล่อลูกบาศก์ขนาด 5 x 5 x 5 ซม.^{3}

(9) น้ำมันทาแบบหล่อ

(10) เกรียงปาด (Trowel)

(11) ไม้กระทุ้ง

(12) เครื่องทดสอบกำลังอัด Universal Testing Machine (UTM)

รูปที่ 3.1 แสดงแบบหล่อลูกบาศก์ขนาด 5 x 5 x 5 ซม.^{3}

4) วิธีการทดสอบ

(1) ตรวจสอบการเรียงขนาดของเม็ดทราย โดยใช้วิธีการร่อนทรายผ่านตะแกรง 4 ขนาด คือ เบอร์ 100 , 50 , 30 และ 16 โดยจะต้องมีเปอร์เซ็นต์ค้างบนตะแกรงประมาณ 98±2 , 75±5, 2±2 และ 0 ตามลำดับ หลังจากนั้นให้นำตัวอย่างมาทำการแบ่งสี่ (Quartering) เพื่อให้ได้ตัวอย่างตามต้องการ

(2) การเตรียมอัตราส่วนของซีเมนต์และทรายมาตรฐาน โดยใช้อัตราส่วน 1 : 1และ ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40% และ 44 % การหาน้ำหนักทรายมาตรฐานที่จะนำมาทำการผสมมีอยู่ 2 แบบ คือ

- นำทรายที่มีการอิ่มตัวแล้วมาผสม
- นำทรายชื้นมาคำนวณให้เป็นทรายอิ่มตัวก่อน

สูตรการคำนวณ

$(1- A) \times W_1 = W_2$ (3.1)

$(A-B) \times W_2 = W_3$ (3.2)

$W-W_3 = W_4$ (3.3)

โดยที่

A=ความชื้นของทราย

B=ค่าการดูดซับ

W=ปริมาณน้ำที่ได้จากอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c)

W_1=น้ำหนักของทราย

W_2=น้ำหนักของทรายแห้ง

W_3=ปริมาณน้ำส่วนเกิน

W_4=ปริมาณน้ำที่ใช้ (สุทธิ)

(3) ผสมซีเมนต์มอร์ต้าด้วยเครื่องผสม โดยมีวิธีการผสม 2 แบบ คือ

(3.1) วิธีการผสมครั้งเดียว (Single Mixing)

(3.1.1) เทน้ำทั้งหมดลงในหม้อผสม

(3.1.2) เทซีเมนต์ตามลงไป แล้วเปิดสวิตช์เดินเครื่องด้วยความเร็วต่ำ (140±5 rpm) เป็นเวลา 30 วินาที

(3.1.3) เติมทรายที่เตรียมไว้ลงไปในหม้อผสมซ้ำๆ โดยที่ยังคงเดินเครื่องด้วยความเร็วเท่าเดิม เททรายให้ภายใน 30 วินาที

(3.1.4) หยุดเครื่อง และเปลี่ยนเป็นความเร็วปานกลาง (285±10rpm) เดินเครื่องทิ้งไว้ 1 นาที

(3.1.5) หยุดเครื่องอีก เพื่อพักมอร์ต้าไว้ 90 วินาที โดยที่ภายใน 15 วินาทีแรกให้รีบปาดส่วนที่เลอะข้างๆหม้อ ผสมลงให้หมด แล้วปิดฝา

(3.1.6) เมื่อครบเวลาพัก จึงเดินเครื่องต่อด้วยความเร็วปานกลางเท่าเดิมต่อไปอีก 30 วินาที เป็นอันจบกระบวนการผสมมอร์ต้า

(3.2) วิธีการผสมซ้ำ (Double Mixing)

(3.2.1) เทน้ำส่วนที่หนึ่งลงในหม้อผสม

(3.2.2) เทซีเมนต์ตามลงไป แล้วเปิดสวิตช์เดินเครื่องด้วยความเร็วต่ำ (140±5 rpm) เป็นเวลา 30 วินาที

(3.2.3) เทน้ำส่วนที่เหลือลงในหม้อผสม

(3.2.4) เปิดสวิตช์เดินเครื่องด้วยความเร็วปานกลาง (285±10rpm) เป็นเวลา 60 วินาที

(3.2.5) เติมทรายที่เตรียมไว้ลงไปในหม้อผสมซ้ำๆ โดยที่ยังคงเดินเครื่อความเร็วเท่าเดิม เททรายให้ภายใน 120 วินาที

(3.2.6) หยุดเครื่อง และเปลี่ยนเป็นความเร็วปานกลาง (285±10rpm) เดินเครื่องทิ้งไว้ 1 นาที

(3.2.7) หยุดเครื่องอีก เพื่อพักมอร์ต้าไว้ 90 วินาที โดยที่ภายใน 15 วินาทีแรกให้รีบปาดส่วนที่เลอะข้างๆหม้อผสมลงให้หมด แล้วปิดฝา

(3.2.8) เมื่อครบเวลาพัก จึงเดินเครื่องต่อด้วยความเร็วปานกลางเท่าเดิมต่อไปอีก 30 วินาที เป็นอันจบกระบวนการผสมมอร์ต้า

(4) เสร็จแล้วนำซีเมนต์มอร์ต้าบรรจุในแบบหล่อ หลังจากชโลมน้ำมันในช่องแบบจนทั่ว แล้วจึงใส่ซีเมนต์ลงประมาณครึ่งหนึ่งของความสูงของแบบหล่อ (1") ระยะเวลาเสร็จสิ้นถึงจุดนี้ ควรใช้เวลาไม่เกิน $2\frac{1}{2}$ นาที แล้วใช้แท่งกระทุ้งมาตรฐาน กระทุ้งให้ได้ 32 ครั้งภายใน 10 วินาที โดยแบ่งการกระทุ้งเป็น 4 รอบ

(5) จากนั้นใส่ซีเมนต์มอร์ต้าลงในแบบที่เหลือจนเต็ม และกระทุ้งอีก 32 ครั้งภายใน 10 วินาที โดยแบ่งเป็น 4 รอบเช่นเดียวกัน เสร็จแล้วปาดผิวหน้าให้เรียบ ใช้ผ้าชุบน้ำพอหมาดๆคลุม และตั้งทิ้งไว้เฉยๆ เป็นเวลา 24 ชม. จึงแกะแบบนำแท่งตัวอย่างไปบ่มในน้ำที่มีอุณหภูมิประมาณ 23±1.7 ^{o}C

(6) ทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างที่อายุ 24 ชม. , 3 วัน, 7 วัน และ 28 วัน ตามลำดับการนำแท่งตัวอย่างขึ้นจากน้ำ หากนำมาก่อนเวลาทดสอบ 24 ชม.ให้คลุมด้วยผ้าหมาดไว้จนถึงเวลาทดสอบ เช็ดผิวตัวอย่างให้แห้ง ก่อนนำตัวอย่างเข้าทดสอบให้วัดขนาดหน้าตัด ความสูง และชั่งน้ำหนักของตัวอย่างแต่ละก้อน แล้วบันทึกไว้

(7) การทดสอบแท่งตัวอย่าง ให้เดินเครื่องทดสอบเพิ่มแรงอัดอย่างสม่ำเสมอกระทั่งแท่งตัวอย่างแตก เวลาที่นับจากการเริ่มให้แรงอัดแท่งตัวอย่างจนกระทั่งแตกจะต้องอยู่ในช่วงเวลา 20 – 80 วินาที

(8) การนำตัวอย่างเข้าทำการทดสอบตามข้อ (7) ตัวอย่างทดสอบจะต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนของอายุที่ยอมให้ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของอายุตัวอย่างทดสอบที่ยอมให้

อายุตัวอย่างทดสอบ	ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้
1 วัน	± 1/2 ชั่วโมง
3วัน	± 1 ชั่วโมง
7 วัน	± 3 ชั่วโมง
28 วัน	± 12 ชั่วโมง

ที่มา : ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี รศ.ศิริวัฒน์ ไชยชนะ หน้าที่ 59

(9) ค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ซีเมนต์มอร์ต้าหาได้จากสมการ

$$f_c = \frac{P}{A} \qquad (3.4)$$

โดยที่

f_c =กำลังรับแรงอัดประลัย มีหน่วยเป็น กก. /ตร.ซม. หรือ ปอนด์ /ตร.นิ้ว.

P =แรงอัด มีหน่วยเป็น กก.หรือปอนด์

A =พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่าง มีหน่วยเป็น ตร.ซม.หรือ ตร.นิ้ว

โดยให้คิดจากขนาดเดิมคือ 5 × 5 ซม.^{2} แต่หากหน้าตัดของตัวอย่างทดสอบจริงคาดเคลื่อนเกินกว่า 1.5% ให้ใช้พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่างทดสอบ

3.1.1.2 ทดสอบหากำลังรับแรงอัดของวัสดุประสานของซีเมนต์เพสท์ (Test for Compressive Strength of Cement Paste)

1) วัตถุประสงค์:เพื่อทดสอบหากำลังรับแรงอัดของวัสดุประสานโดยการหล่อก้อนคอนกรีตทดสอบรูปลูกบาศก์ขนาด 5×5×5 ซม.^{3} เปรียบเทียบความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นหรือที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากปริมาณของน้ำผสม วิธีการผสม และระยะเวลาของการบ่ม

2) วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

(1) ปูนซีเมนต์

(2) น้ำ

(3) เครื่องชั่งแบบ Electronic Balance

(4) ที่ตัก (Scoop)

(5) เครื่องผสม (Mixer)

(6) นาฬิกาจับเวลา (Stop Watch)

(7) แบบหล่อลูกบาศก์ขนาด 5 x 5 x 5 ซม.^{3}

(8) น้ำมันทาแบบหล่อ

(9) เกรียงปาด (Trowel)

(10)ไม้กระทุ้ง

(11) เครื่องทดสอบกำลังอัด Universal Testing Machine (UTM)

3) วิธีการทดสอบ

(1) ผสมซีเมนต์เพสท์ด้วยเครื่องผสมใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์40% และ 44 % โดยมีวิธีการผสม 2 แบบ คือ

(1.1) วิธีการผสมครั้งเดียว (Single Mixing)

(1.1.1) เทน้ำทั้งหมดลงในหม้อผสม

(1.1.2) เทซีเมนต์ตามลงไป แล้วเปิดสวิตช์ด้วยความเร็วต่ำ (140±5rpm) เป็นเวลา 30 วินาที

(1.1.3) หยุดเครื่อง และเปลี่ยนเป็นความเร็วปานกลาง (285±10rpmเดินเครื่องทิ้งไว้ 3 นาที 30 วินาที

(1.2) วิธีการผสมซ้ำ (Double Mixing)

(1.2.1) เทน้ำส่วนที่หนึ่งลงในหม้อผสม

(1.2.2) เทซีเมนต์ตามลงไป แล้วเปิดสวิตช์เดินเครื่องด้วยความเร็วต่ำ (140±5 rpm) เป็นเวลา 30 วินาที

(1.2.3) เทน้ำส่วนที่เหลือลงในหม้อผสม

(1.2.4) เปิดสวิตช์เดินเครื่องด้วยความเร็วปานกลาง(285±10rpm) เป็นเวลา 60 วินาที

(1.2.5) หยุดเครื่องและเปลี่ยนเป็นความเร็วปานกลาง(285±10rpm) เดินเครื่องทิ้งไว้ 1 นาที

(1.2.6) หยุดเครื่องอีก เพื่อพักซีเมนต์เพสท์ไว้ 90 วินาที โดยที่ภายใน 15 วินาทีแรกให้รีบปาดส่วนที่เลอะข้างๆหม้อผสมลงให้หมด แล้วปิดฝา

(1.2.7) เมื่อครบเวลาพัก จึงเดินเครื่องต่อด้วยความเร็วปานกลางเท่าเดิมต่อไปอีก 30 วินาที เป็นอันจบกระบวนการผสมซีเมนต์เพสท์

(2) เสร็จแล้วนำซีเมนต์เพสท์บรรจุในแบบหล่อ หลังจากชโลมน้ำมันในช่องแบบจนทั่ว แล้วจึงใส่ซีเมนต์ลงประมาณครึ่งหนึ่งของความสูงของแบบหล่อ (1˝) ระยะเวลา

เสร็จสิ้นถึงจุดนี้ ควรใช้เวลาไม่เกิน $2\frac{1}{2}$ นาที แล้วใช้แท่งกระทุ้งมาตรฐาน กระทุ้งให้ได้ 32 ครั้งภายใน 10 วินาที โดยแบ่งการกระทุ้งเป็น 4 รอบ

(3) จากนั้นใส่ซีเมนต์เพสท์ลงในแบบที่เหลือจนเต็ม และกระทุ้งอีก 32 ครั้งภายใน 10 วินาที โดยแบ่งเป็น 4 รอบเช่นเดียวกัน เสร็จแล้วปาดผิวหน้าให้เรียบ ใช้ผ้าชุบน้ำพอหมาดๆคลุม และตั้งทิ้งไว้เฉยๆ เป็นเวลา 24 ชม. จึงแกะแบบนำแท่งตัวอย่างไปบ่มในน้ำที่มีอุณหภูมิประมาณ 23±1.7°C

(4) ทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างที่อายุ 24 ชม. , 3 วัน, 7 วัน และ 28 วัน ตามลำดับการนำแท่งตัวอย่างขึ้นจากน้ำ หากนำมาก่อนเวลาทดสอบ 24 ชม.ให้คลุมด้วยผ้าหมาดไว้จนถึงเวลาทดสอบ เช็ดผิวตัวอย่างให้แห้ง ก่อนนำตัวอย่างเข้าทดสอบให้วัดขนาดหน้าตัด ความสูง และชั่งน้ำหนักของตัวอย่างแต่ละก้อน แล้วบันทึกไว้

(5) การทดสอบแท่งตัวอย่าง ให้เดินเครื่องทดสอบเพิ่มแรงอัดอย่างสม่ำเสมอจนกระทั่งแท่งตัวอย่างแตก เวลาที่นับจากการเริ่มให้แรงอัดแท่งตัวอย่างจนกระทั่งแตกจะต้องอยู่ในช่วงเวลา 20 – 80 วินาที

(6) การนำตัวอย่างเข้าทำการทดสอบตามข้อ(5)ตัวอย่างทดสอบจะต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนของอายุที่ยอมให้

(7) ค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ซีเมนต์เพสท์ หาได้จากสมการที่ 3.4

3.1.1.3 ทดสอบหากำลังรับแรงอัดของวัสดุประสานของสารไม่หดตัว (Test for Compressive Strength of Nonshrink)

1) วัตถุประสงค์ :เพื่อทดสอบหากำลังรับแรงอัดของวัสดุประสาน โดยการหล่อก้อนคอนกรีตทดสอบรูปลูกบาศก์ขนาด $5\times5\times5$ซม.^{3} เปรียบเทียบความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นหรือที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากปริมาณของน้ำผสม วิธีการผสม และระยะเวลาของการบ่ม

2) วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

(1) สาร Nonshrink

(2) น้ำ

(3) เครื่องชั่งแบบ Electronic Balance)

(4) ที่ตัก (Scoop)

(5) เครื่องผสม (Mixer)

(6) นาฬิกาจับเวลา (Stop Watch)

(7) แบบหล่อลูกบาศก์ขนาด 5 x 5 x 5 ซม.^{3}

(8) น้ำมันทาแบบหล่อ

(9) เกรียงปาด (Trowel)

(10)ไม้กระทุ้ง

(11) เครื่องทดสอบกำลังอัด Universal Testing Machine (UTM)

3) วิธีการทดสอบ

(1) ผสมสารไม่หดตัว ด้วยเครื่องผสมโดยวิธีการผสมครั้งเดียว (Single Mixing)ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์40%

(1.1) เทน้ำทั้งหมดลงในหม้อผสม

(1.2) เทซีเมนต์ตามลงไป แล้วเปิดสวิตช์ด้วยความเร็วต่ำ (140±5 rpm) เป็นเวลา 30 วินาที

(1.3) หยุดเครื่อง และเปลี่ยนเป็นความเร็วปานกลาง (285±10 rpm) เดินเครื่องทิ้งไว้ 3 นาที 30 วินาที

(2) เสร็จแล้วนำสารไม่หดตัว บรรจุในแบบหล่อ หลังจากชโลมน้ำมันในช่องแบบจนทั่วแล้วจึงใส่สารไม่หดตัวลงประมาณครึ่งหนึ่งของความสูงของแบบหล่อ(1") ระยะเวลาเสร็จสิ้นถึงจุดนี้ควรใช้เวลาไม่เกิน $2\frac{1}{2}$ นาที แล้วใช้แท่งกระทุ้งมาตรฐานกระทุ้งให้ได้ 32 ครั้งภายใน 10 วินาที โดยแบ่งการกระทุ้งเป็น 4 รอบ

(3) จากนั้นใส่สารไม่หดตัว ลงในแบบที่เหลือจนเต็ม และกระทุ้งอีก 32 ครั้งภายใน 10 วินาที โดยแบ่งเป็น 4 รอบเช่นเดียวกัน เสร็จแล้วปาดผิวหน้าให้เรียบ ใช้ผ้าชุบน้ำพอหมาดๆคลุม และตั้งทิ้งไว้เฉยๆ เป็นเวลา 24 ชม. จึงแกะแบบนำแท่งตัวอย่างไปบ่มในน้ำที่มีอุณหภูมิประมาณ 23±1.7 $^{\circ}$C

(4) ทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างที่อายุ 24 ชม. , 3 วัน, 7 วัน และ 28 วัน ตามลำดับการนำแท่งตัวอย่างขึ้นจากน้ำ หากนำมาก่อนเวลาทดสอบ 24 ชม.ให้คลุมด้วยผ้าหมาดไว้จนถึงเวลาทดสอบ เช็ดผิวตัวอย่างให้แห้ง ก่อนนำตัวอย่างเข้าทดสอบให้วัดขนาดหน้าตัด ความสูง และชั่งน้ำหนักของตัวอย่างแต่ละก้อน แล้วบันทึกไว้

(5) การทดสอบแท่งตัวอย่าง ให้เดินเครื่องทดสอบเพิ่มแรงอัดอย่างสม่ำเสมอจนกระทั่งแท่งตัวอย่างแตก เวลาที่นับจากการเริ่มให้แรงอัดแท่งตัวอย่างจนกระทั่งแตกจะต้องอยู่ในช่วงเวลา 20 - 80 วินาที

(6) การนำตัวอย่างเข้าทำการทดสอบตามข้อ(5)ตัวอย่างทดสอบจะต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนของอายุที่ยอมให้

(7) ค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) สารไม่หดตัว หาได้จากสมการที่ 3.4

3.1.2 ทดสอบหาอัตราการคายน้ำของวัสดุประสาน (Test for Bleeding of Materail)

1) วัตถุประสงค์: เพื่อทดสอบอัตราการคายน้ำของวัสดุประสาน

2) มาตรฐานที่ใช้ : ASTM : C 323-92

3) วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

(1) วัสดุประสานที่เตรียมไว้

(2) ถุงพลาสติกทรงกระบอกที่มีเส้นบอกระดับ

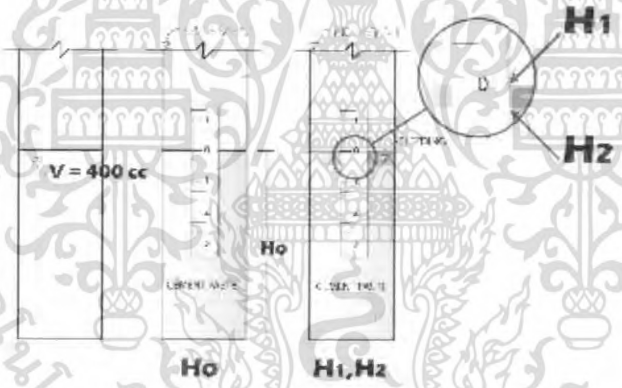
(3) เชือกมัดสำหรับแขวนถุงพลาสติก

(4) Beaker สำหรับเทวัสดุประสานใส่ถุงพลาสติก

(5)นาฬิกาจับเวลา (Stop Watch)

4) วิธีการทดสอบ

นำตัวอย่างที่เตรียมตามวิธีการดังข้างต้น ทำการเทลงในชุดทดสอบการ Bleeding ที่ได้เตรียมไว้ ดังในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงการวัดค่าBleeding ของน้ำที่ผิวหน้าของชิ้นส่วน

ในขั้นตอนการเตรียมจะทำเครื่องหมายไว้ที่ชุดทดสอบ ซึ่งระยะที่ทำเครื่องหมายในชุดทดสอบ Bleeding จะอยู่ที่ระดับปริมาตรของวัสดุประสานประมาณ 400 มล. หลังจากที่เทเสร็จให้นำแผ่น Scale ที่มีความละเอียดถึง 1 มม. ติดที่ผิวภายนอกของชุดทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยให้ค่า 0 อยู่ที่ผิวบนของซีเมนต์ หลังจากนั้นทำการแขวนชุดทดสอบ bleeding ทิ้งไว้ แล้วทำการจดบันทึกค่าทุกๆ 30 นาที จนกระทั่งไม่มีการเยิ้มของน้ำเพิ่มขึ้น หรือเวลาผ่านไปอย่างน้อย 3 ชั่วโมง ซึ่งในการบันทึกค่าให้อ่านค่าระดับ 2 ตำแหน่ง คือที่ระดับบนของผิวน้ำที่เยิ้มและที่ระดับผิวหน้าของวัสดุประสานแล้วจึงบันทึกค่าให้เป็น H_1 และ H_2 ตามลำดับ ซึ่งค่าที่จดบันทึกได้ จะนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเกิด bleeding ดังสมการข้างล่าง

$$\text{Bleeding (\%)} = \frac{H_1 - H_2}{H_0} \times 100 \qquad (3.5)$$

โดยที่

H_0 = ความสูงของวัสดุประสานที่ปริมาตร 400 มล.

H_1 = ความสูงที่ระดับผิวน้ำของตัวอย่างทดสอบ

H_2= ความสูงที่ระดับผิวของวัสดุประสาน

3.1.3. ทดสอบหาคุณสมบัติการไหลของวัสดุประสาน (Test for Flow of Materail)

1) วัตถุประสงค์:เพื่อทดสอบหาการทดสอบหาคุณสมบัติการไหลของวัสดุประสาน

2) มาตรฐานที่ใช้ : JSCE-F 531- 199

3) วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

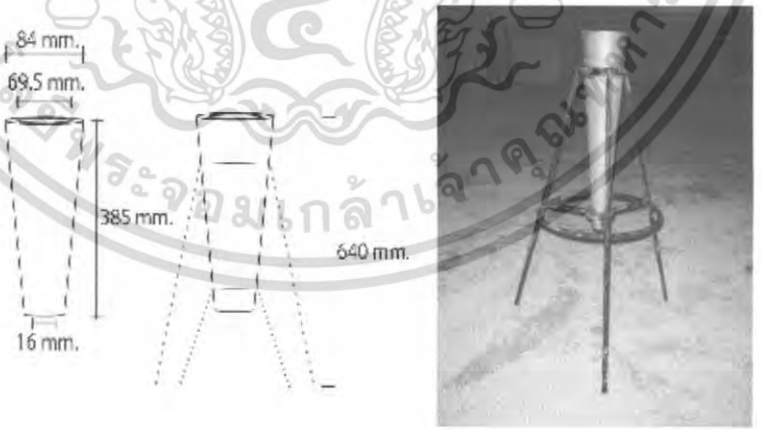
(1) วัสดุประสานที่เตรียมไว้

(2) ชุดทดสอบการไหลเป็นกรวยเหล็กสูง 385 มม.

(3) เกรียงปาด (Trowel)

(4) Beaker สำหรับเทวัสดุประสานใส่ถุงพลาสติก

(5) นาฬิกาจับเวลา (Stop Watch)



รูปที่ 3.3 แสดงอุปกรณ์การทดลอง JSCE-F 531- 199

4) วิธีการทดสอบ

(1) เตรียมสารตัวอย่าง ซีเมนต์เพสต์, ซีเมนต์มอร์ต้า

(2) ติดตั้งเครื่องมือ Flow Cone ให้ได้ระดับ แล้วทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด

(3) เริ่มทดสอบโดยนำมืออุดรูด้านล่างของ Flow Cone เทสารตัวอย่างจนเต็ม Flow Cone แล้วปาดหน้าให้เรียบ

(4) ทำการจับเวลาการไหลของสาร ตั้งแต่เริ่มปล่อยมือ จนสารไหลออกมาจนหมด(ลักษณะออกมาเป็นสายจนกระทั่งขาดตอน)

(5) บันทึกเวลา แล้วทำเช่นซ้ำอีก 2-3 ครั้ง

3.2 วิธีการทดสอบความแข็งแรงของจุดรอยต่อโครงสร้าง

การทดสอบความแข็งแรงของจุดรอยต่อโครงสร้าง จะทำการทดสอบ 5 ประเด็นหลัก คือ

1) ทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตสำเร็จรูป(Test for Compressive Strength)

2) ทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของจุดรอยต่อ (Test for Setting Time of Joint)

3) ทดสอบกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของจุดรอยต่อ (Test for Bonding Strength of Joint)

4) ทดสอบกำลังรับโมเมนต์ดัดของจุดรอยต่อ (Test for Flexural Strength of Joint)

5) ทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของจุดรอยต่อ (Test for Shear Strength of Joint)

3.2.1 ทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตสำเร็จรูป(Test for Compressive Strength)

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตสำเร็จรูปจะต้องทำการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตซึ่งการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตจะต้องทำการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมที่จะนำมาคำนวณหาอัตราส่วนผสมของคอนกรีต

3.2.1.1 การทดสอบคุณสมบัติของมวลรวม

3.2.1.1.1 ทดสอบหาปริมาณความชื้นของมวลรวม (Test for Total Moisture Content of Aggregate by Drying)

1) วัตถุประสงค์: เพื่อทดสอบหาอัตราของความชื้นทั้งหมดที่มีอยู่ในมวลรวม โดยการทำให้มวลรวมแห้งด้วยการเผา ซึ่งจะทำให้ได้น้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมสำหรับชั่งผสมคอนกรีต

2) มาตรฐานที่ใช้ : ASTM: C 566 – 89

3) วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

(1) มวลรวม ใช้ประมาณ 2-6 กก. สำหรับมวลรวมหยาบ และประมาณ 0.5-1.5 กก. สำหรับมวลรวมละเอียด

(2) ตาชั่ง ที่วัดละเอียดถึง 0.1 %

(3) ตู้อบ

(4) ภาชนะบรรจุตัวอย่าง เช่น ปี๊ป

(5) แท่งเหล็กสำหรับคนมวลรวม

4) วิธีการทดสอบ

(1) ชั่งน้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมชื้นที่จะนำมาทดสอบ แล้วเทลงภาชนะวางบนเตาเผา ใช้แท่งเหล็กคนให้ทั่ว

(2) เมื่อมวลรวมแห้งสนิทดีแล้ว นำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง

(3) ปริมาณความชื้นที่อยู่ในมวลรวมจะหาได้จากสูตร

$$P = \frac{100(W - D)}{D} \qquad (3.6)$$

โดยที่

P =ปริมาณความชื้น

W=น้ำหนักมวลรวมก่อนเผา

D =น้ำหนักมวลรวมหลังเผา

3.2.1.1.2 ทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ(Test for Unit Weight and Voids in Coarse Aggregate)

1) วัตถุประสงค์ : เพื่อทดสอบหาน้ำหนักของมวลรวมต่อหน่วยปริมาตร ทั้งในสภาพที่อัดตัวแน่นและหลวมตัวไม่ว่าจะเป็นทราย หิน หรือมวลรวมผสมก็ตาม ทั้งนี้เพื่อนำไปเป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

2) มาตรฐานที่ใช้ : ASTM: C 29M – 91a

3) วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

(1) มวลรวม เตรียมไว้ประมาณ 125 - 200% ของจำนวนที่ต้องการนำไปอบเตาอบภายใต้อุณหภูมิ 110 ± 5°C

(2) ตาชั่ง ความละเอียด 0.1%

(3) เหล็กกระทุ้ง เป็นเหล็กกลม ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. ยาวประมาณ 60 ซม. มีปลายกระทุ้งมนเป็นลักษณะครึ่งวงกลม

(4) ภาชนะสำหรับวัดหน่วยน้ำหนัก

4) วิธีการทดสอบ

4.1) การหาหน่วยน้ำหนักของน้ำ

(1)เตรียมน้ำใส่ภาชนะให้เต็มและทำให้ไม่มีฟองอากาศอยู่เลย พร้อมปิดฝาด้วยแผ่นกระจกใส

(2)วัดอุณหภูมิของน้ำเพื่อนำไปคำนวณหาหน่วยน้ำหนักโดยเทียบจากตารางที่ 3.2

(3)หาค่าแฟคเตอร์ (ความจุ) ของภาชนะ โดยการหารหน่วยน้ำหนักของน้ำในภาชนะด้วยหน่วยน้ำหนักน้ำ

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าหน่วยน้ำหนักของน้ำ

อุณหภูมิ		กก./ลบ.ม.	ปอนด์/ลบ.ฟ.
°F	°C		
60.0	15.6	99.01	62.366
65.0	18.3	998.53	62.336
70.0	21.1	997.97	62.301
73.4	23.0	997.53	62.274
75.0	23.9	997.32	62.261
80.0	26.7	996.60	62.216
85.0	29.4	995.80	62.166

ที่มา : ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี รศ.ศิริวัฒน์ ไชยชนะ หน้าที่ 91

4.2) การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักเมื่อมวลรวมอัดตัวแน่น

(1) โดยวิธีใช้เหล็กกระทุ้ง (Rodding procedure) วิธีนี้เหมาะสำหรับมวลรวมที่มีขนาดโตสุดไม่เกิน 37.5 มม. (1 1/2")

(1.1) เทมวลรวมที่จะทดสอบลงในภาชนะที่ชั่งน้ำหนักเรียบร้อยแล้ว แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ให้แต่ละส่วนหนาประมาณ 1/3 ของความสูงของภาชนะ เกลี่ยผิวหน้าให้เรียบและใช้เหล็กกระทุ้งๆให้เกือบถึงด้านล่าง โดยแผ่กระจายให้ทั่วผิวหน้ารวม 25 ครั้ง จากนั้นเติมมวลรวมลงไปอีกเป็นชั้นที่สอง ทำการกระทุ้งเช่นเดียวกันและเติมลงไปอีกเป็นชั้นสุดท้ายกระทุ้งอีก 25 ครั้ง เสร็จแล้วให้ปาดผิวหน้าของมวลรวมให้เรียบเสมอกับแนวอบบนของภาชนะอย่าให้บุ๋มหรือโปนเป็นอันขาด

(1.2) ชั่งน้ำหนักภาชนะที่บรรจุมวลรวมดังกล่าว เพื่อคำนวณหาน้ำหนักเฉพาะของมวลรวมโดยแท้ โดยชั่งให้ได้ความละเอียดถึง 0.1 % แล้วคูณด้วยแฟคเตอร์ที่หาได้ในข้อ 3 ของข้อ ก) จะได้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมเมื่ออัดตัวแน่น

(2) โดยวิธีกระแทกภาชนะ (Jigging procedure) วิธีนี้เหมาะสำหรับมวลรวมที่มีขนาดโตเกินกว่า 37.5 มม. แต่ไม่เกิน 150 มม. (6")

(2.1) แบ่งเทมวลรวมใส่ภาชนะเป็น 3 ชั้น เช่นเดียวกับวิธีใช้เหล็กกระทุ้งแต่วิธีนี้ภาชนะควรถูกนำมาวางบนพื้นที่แข็ง เช่น พื้นคอนกรีต เป็นต้น ทั้งนี้เพราะเมื่อเทมวลรวมแต่ละชั้นแล้วเอียงภาชนะ เพื่อให้ด้านตรงข้ามสูงขึ้นจากพื้นประมาณ 50 มม. และปล่อยให้ตกลงกระแทกพื้น เป็นจำนวน 25 ครั้ง เสร็จแล้วเอียงกลับมาอีกด้านหนึ่งเพื่อให้ด้านที่ติดพื้นตอนแรกนั้นยกลอยขึ้นมา 50 มม.บ้าง และปล่อยให้ตกกระทบพื้นอีก 25 ครั้ง เช่นเดียวกัน ทำเช่นนี้ทั้ง 3 ชั้น จึงปาดผิวหน้ามวลรวมให้เรียบไม่ให้ปูดหรือบุ๋มแล้วนำไปชั่ง

(2.2) เมื่อได้น้ำหนักที่แท้ของมวลรวมแล้ว คูณด้วยแฟคเตอร์ที่หาได้ในข้อ 4.1) ก็จะได้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมเมื่ออัดตัวแน่นเช่นเดียวกัน

4.3) การหาค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวม

(1) แฟคเตอร์หรือความจุของภาชนะ หาได้จากสมการ

$$V = \frac{W_w}{R_w} \qquad (3.7)$$

โดยที่

V = ความจุภาชนะ, ลบ.ม.

W_w = น้ำหนักของน้ำในภาชนะ, กก./ลบ.ม.

R_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน, กก./ลบ.ม.

(2)หน่วยน้ำหนักของมวลรวม หาได้จากสมการ

$$R_a = \frac{W_a}{V} \qquad (3.8)$$

โดยที่

R_a = หน่วยน้ำหนักของมวลรวม, กก./ลบ.ม.

W_a = น้ำหนักสุทธิของมวลรวม, กก.

V = ความจุของภาชนะ, ลบ.ม.

4.4) การหาค่าปริมาณช่องว่าง (Void Content) โดยอาศัยค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมที่คำนวณได้จากข้อ 4.3) และนำมาหาค่าปริมาณช่องว่างได้จากสมการ

$$\%voidcontent = \frac{100[(S \times R_w) - R_a]}{(S \times R_w)} \qquad (3.9)$$

โดยที่

S = ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม (ขณะวัสดุแห้งสนิท)

R_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำที่อุณหภูมิ 18.3 ° C

= 998 กก. /ลบ.ม.

R_a = หน่วยน้ำหนักของมวลรวม, กก. /ลบ.ม.

3.2.1.1.3 ทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวม(Test for Specific Gravity and Absorbtion of Aggregate)

3.2.1.1.3.1 ทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมละเอียด(Test for Specific Gravity and Absorbtion of Fine Aggregate)

1) วัตถุประสงค์: เพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียด เช่น ทราย ภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

2) มาตรฐานที่ใช้ : ASTM: C 127 – 93

3) วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

(1) ทรายที่อยู่ในสภาวะอิ่มตัว

(2) พิคโนมิเตอร์

(3) ตาชั่ง ที่วัดละเอียดถึง 0.1 %

(4) เครื่องวัดอุณหภูมิ

(5) เตาอบ

(6) โถแก้วกันความชื้น

4) วิธีการทดสอบ

(1) แบ่งทรายที่เตรียมไว้เป็นสองส่วนเท่าๆกัน ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า แทนด้วย B

(2) นำทรายอีกส่วนหนึ่งเข้าเตาอบให้แห้งสนิทประมาณ 1 ชม. แล้วใส่โถกันความชื้น ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า แทนด้วย A

(3) เทน้ำที่ทราบอุณหภูมิลงขวดพิคโนมิเตอร์ให้สูงประมาณ ¾ ของขวด นำทรายส่วน B ลงไป คนให้ทั่วจากนั้นจึงเติมน้ำลงไปให้เต็ม แล้วจึงปิดฝา ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า แทนด้วย W

(4) จากนั้นจึงนำค่าต่างๆ มาคำนวณหาตามวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ(เมื่อวัสดุแห้งสนิท)} = \frac{A}{W_c + B - W} \qquad (3.10)$$

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ(ภายใต้สภาวะอิ่มตัวแห้ง)} = \frac{B}{W_c + B - W} \qquad (3.11)$$

$$\text{อัตราการดูดซึม} = \frac{B - A}{A} \times 100\% \qquad (3.12)$$

โดยที่

A =น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งหลังจากผ่านการอบแห้งสนิท

B =น้ำหนักมวลรวมภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

W_c=น้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำชนิดเดียวกับที่ใช้ทดสอบเต็มปากขวด

W =น้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำและมวลรวม

3.2.1.1.3.2 ทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบ(Test for Specific Gravity and Absorbtion of Coarse Aggregate)

1) วัตถุประสงค์: เพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ เพื่อใช้ออกแบบอัตราส่วนผสมของคอนกรีต วิธีนี้ เรียกว่า Suspension Method

2) มาตรฐานที่ใช้ : ASTM: C 127 – 93

3) วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

(1) ทรายที่อยู่ในสภาวะอิ่มตัว

(2) ตะกร้าลวดตาข่าย เส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. สูงประมาณ60ซม.

(3) ตาชั่ง ขนาดใหญ่

(4) ถังบรรจุน้ำสะอาด

(5) เตาอบ

(6) โถแก้วกันความชื้น

4) วิธีการทดสอบ

(1) เตรียมวัสดุที่จะนำมาทำการทดสอบ ด้วยการล้างให้ทั่วถึงเพื่อให้ฝุ่นผงหลุดออกจนหมด และนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 110±5°

(2) จากนั้นให้แช่วัสดุในน้ำสะอาดเป็นเวลาประมาณ 24±4 ชั่วโมง

(3) นำวัสดุขึ้นจากน้ำ เทลงบนผ้าผืนใหญ่ที่ดูดน้ำได้เพื่อให้ผ้าซับน้ำจนสังเกตด้วยตาเปล่าไม่เห็นที่ผิววัสดุ

(4) วัสดุที่จบขั้นตอนที่ 3 นี้เรียกว่าอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface dry) ให้นำตัวอย่างวัสดุนี้ชั่งน้ำหนักเพื่อบันทึกไว้ แทนด้วย B แล้วรีบใส่ลงตะกร้าลวดและทำการชั่งวัสดุนี้ในน้ำทันทีบันทึกค่า แทนด้วย C

(5) หลังจากนั้นนำวัสดุเข้าเตาอบด้วยอุณหภูมิประมาณ 110±5° ประมาณ 1 ชม. แล้วจึงนำมาใส่ในโถแก้วกันความชื้นอีก 1-3 ชม. ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า แทนด้วย A

(6) จากนั้นให้นำค่าต่างๆมาคำนวณหาตามวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

ความถ่วงจำเพาะ(เมื่อวัสดุสภาวะแห้ง) $= \frac{A}{B-C}$ (3.13)

ความถ่วงจำเพาะ(ภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง) $= \frac{B}{B-C}$ (3.14)

ความถ่วงจำเพาะ(เมื่อวัสดุแห้งสนิท) $= \frac{A}{A-C}$ (3.15)

อัตราการดูดซึม $= \frac{B-A}{A} \times 100\%$ (3.16)

โดยที่

A =น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในอากาศหลังจากผ่านการอบแห้งสนิทแล้ว

B =น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในอากาศภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

C =น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในน้ำ

3.2.1.1.4 ทดสอบหาส่วนขนาดคละของมวลรวมละเอียด(Test for Sieve Analysis of Fine Aggregate)

1) วัตถุประสงค์: เพื่อทดสอบหาขนาดของมวลรวมคละ โดยใช้ตะแกรงมาตรฐานสำหรับหาค่าพิกัดความละเอียด (Fineness modulus) ซึ่งเป็นดัชนีที่เป็นปฏิภาคโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของอนุภาคในมวลรวมที่กำหนดให้ นั่นคือ มวลรวมยิ่งหยาบค่าพิกัดความละเอียดก็ยิ่งสูงขึ้น

2) มาตรฐานที่ใช้ : ASTM: C 136 – 93

3) วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

(1) มวลรวมละเอียด (ควรเป็นน้ำหนักของทรายแห้ง) ปริมาณมวลรวมละเอียดที่ใช้ในการทดลอง

(1.1) ทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 มากกว่า 95% จำนวน 100 กรัม

(1.2) ทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่า 85% และค้างบนตะแกรงเบอร์ 8 ไม่ต่ำกว่า 5% จำนวน 500 กรัม

(2) ตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 4 หรือ 3/16", 8", 16", 30, 50 และ 100 สำหรับทราย

(3) เครื่องเขย่าตะแกรง ชนิดมอเตอร์ สำหรับหินหรือทราย

(4) ตาชั่งขนาดใหญ่ วัดได้ละเอียดถึง 0.1%

(5) เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้

4) วิธีการทดสอบ

(1) เตรียมทรายสำหรับทดสอบตรวจดูก่อนว่าชื้นหรือไม่ ปรกติควรเป็นทรายที่แห้ง หากชื้นเกินไปควรอบเสียก่อน

(2) เตรียมชุดของตะแกรงด้วยการทำความสะอาด ไม่ให้มีเศษฝุ่นผงค้างอยู่ภายในช่องชั่งน้ำหนักตะแกรงทุกขนาดและบันทึกไว้ พร้อมกับจัดเรียงซ้อนตามลำดับพร้อมถาดรองอยู่ล่างสุด

(3) ค่อยๆเททรายที่เตรียมพร้อมไว้แล้วลงในชุดตะแกรง ปิดฝาให้สนิทแล้วนำไปเข้าเครื่องเขย่า จับเวลาประมาณ 10 นาที

(4) ถึงขณะนี้ทรายที่มีเม็ดขนาดต่างๆ จะถูกแยกแยะไปอยู่ในตะแกรงขนาดต่างๆเช่นกัน ให้นำตะแกรงที่มีทรายค้างอยู่นั้นไปชั่งและจดบันทึกไว้อีกครั้งหนึ่ง แล้วคำนวณหาค่าพิกัดความละเอียด

$$(Sand)F.M. = \frac{Cumulative\%retained}{100} \qquad (3.17)$$

3.2.1.2 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต(Concrete Mixed Design)

จากการที่บ้านสำเร็จรูปของโครงการบ้านเอื้ออาทรได้ออกแบบโครงสร้างกำลังอัดประลัย 210 กก./ตร.ซม. ดังนั้นจึงต้องออกแบบส่วนผสมคอนกรีตให้ได้กำลังอัดประลัย 210 กก./ตร.ซม. เพื่อที่จะเวลาหล่อชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป ที่จะนำไปทดสอบวัสดุประสานโดยวิธี LOAD TEST จะได้พฤติกรรมการวิบัติของรอยต่อชิ้นส่วนโครงสร้างให้ใกล้เคียงกับหน้างานมากที่สุด

ขั้นตอนการออกแบบ

1) กำลังอัดประลัย 210 กก./ตร.ซม.

2) ค่าการยุบตัว 8-10 ซม.

3) มวลรวมหยาบ

3.1) หน่วยน้ำหนัก 1640 กก./ ม.^{3}

3.2) ขนาดโตสุด $\frac{3}{4}$ นิ้ว

3.3) ความถ่วงจำเพาะ 2.75 และ อัตราการดูดซึม 0.63

3.4) ความชื้น 0.33 %

4) มวลรวมละเอียด

4.1) Fineness Modulus เท่ากับ 3.00

4.2) ความถ่วงจำเพาะ 2.67 และ อัตราการดูดซึม 1.67

4.3) ความชื้น 3.76 %

5) กำลังอัดประลัย 210 กก./ตร.ซม.และค่าการยุบตัว 8-10 ซม.จะได้ปริมาณน้ำ 200 กก./ ม.^{3}

6) ค่า WCR จากกำลังอัดประลัย 210 กก./ตร.ซม. เท่ากับ 0.684

7) จากค่าในขั้นตอนที่ 3 และ ขั้นตอนที่ 4 จะได้ปริมาณซีเมนต์ $\frac{200}{0.684}$ = 292.40 กก./ ม.^{3}

8) ปริมาณมวลรวมหยาบ จากตารางที่4 สำหรับมวลรวมละเอียดมีค่า F.M. 3.00 และขนาดโตสุด $\frac{3}{4}$ นิ้ว ของมวลรวมหยาบ จะได้ค่า 0.60 ม.^{3} ดังนั้น น้ำหนักมวลรวมหยาบ 0.60 × 1640 = 984กก./ ม.^{3}

9) ปริมาณมวลรวมละเอียด โดยวิธีน้ำหนัก น้ำหนักของคอนกรีต 2355 กก.

น้ำหนัก น้ำ(สุทธิ)	200.00 กก. / ม.^{3}
น้ำหนัก ซีเมนต์	292.40 กก. / ม.^{3}
น้ำหนัก มวลรวมหยาบ	984.00 กก. / ม.^{3}
น้ำหนัก รวม	1476.40 กก. / ม.^{3}

ดังนั้น น้ำหนักทราย 2355-1476.40 = 878.60 กก./ ม.^{3}

10) ปรับแก้ความชื้น

มวลรวมหยาบ (ชื้น) 984.00× (1.0033) = 987.25 กก./ ม.^{3}

มวลรวมละเอียด (ชื้น) 878.60 × (1.0376) = 911.64 กก./ ม.^{3}

ปรับแก้อัตราการดูดซึม

น้ำ (ที่ต้องใส่)200- (878.60× (0.0209)) – (984.00× (-0.003)) = 184.60 กก./ ม.^{3}

11) สรุป

น้ำหนัก น้ำ(ที่ต้องใส่)	184.60 กก. / ม.^{3}
น้ำหนัก ซีเมนต์	292.40 กก. / ม.^{3}
น้ำหนัก มวลรวมหยาบ	987.25 กก. / ม.^{3}
น้ำหนัก มวลรวมละเอียด	911.64 กก. / ม.^{3}

3.2.1.3 ทดสอบการรับกำลังแรงอัดของคอนกรีต(Test for Compressive tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens)

1) วัตถุประสงค์: เพื่อทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุต่างๆกัน โดยการใส่แรงอัดโดยตรงกับแบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอกตามมาตรฐาน ASTM

2) มาตรฐานที่ใช้ : ASTM: C 39 – 93a

3) วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

(1) คอนกรีตรูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6"และสูง12"

(2) เครื่องมือทดสอบกำลังอัด(UTM)

(3) เครื่องชั่งขนาดใหญ่

(4) เครื่องมือวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง

(5) เครื่องหล่อหมวก(Capped) หัวท้ายของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง

4) วิธีการทดสอบ

4.1) การเตรียมแบบหล่อ

(1) ทำความสะอาดแบบ ทาน้ำมันด้านผิวในที่คอนกรีตสัมผัสกับแบบให้ทั่ว

(2) ตรวจสอบสกรูสำหรับรัดแบบทุกตัวให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ ด้วยการประกอบแบบให้แน่น ทั้งนี้เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยกหรือแบบหลุด ขณะเทคอนกรีตหรือกระทุ้งให้คอนกรีตแน่น

4.2) การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

(1) สำหรับคอนกรีตที่ใช้เครื่องผสม พยายามเลือกเอาคอนกรีตที่อยู่ตอนกลางที่เทออกมาจากเครื่องผสมใหม่ๆ

(2) เทคอนกรีตดังกล่าวลงในแบบส่วนหนึ่ง ให้สูง 1 ใน 3 ของแบบ และใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง จากนั้นกระทำเช่นเดียวกันอีก 2 ชั้น เมื่อคอนกรีตเต็มจึงปาดผิวให้เรียบ

(3) ทิ้งแบบที่บรรจุคอนกรีตแล้ว ประมาณ 24 ชั่วโมง จึงถอดแบบออก นำแท่งคอนกรีตไปบ่มแช่น้ำจนถึงอายุที่ต้องการทดสอบ และควรทดสอบก่อนตัวอย่างจะแห้งสนิท ตัวอย่างคอนกรีตที่จะนำมาทดสอบ 1 ชุด ควรมีอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง

4.3) การทดสอบกำลังอัด

การทดสอบกำลังอัดของแท่งคอนกรีตให้ทดสอบโดยเร็วที่สุด หลังจากนำขึ้นจากน้ำเมื่อครบอายุ ก่อนการทดสอบควรตรวจสอบระนาบหัวท้ายของแท่งคอนกรีตว่าแบนราบหรือไม่ระนาบดังกล่าวไม่ควรเอียงมากกว่า 0.5 ° (หรือประมาณ 3มม. ใน 300 มม. หากไม่อยู่ภายในขอบเขตดังกล่าวให้ทำการหล่อหมวกหัวท้ายเสียก่อน โดยปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM C 617-84 สำหรับระยะเส้นผ่านศูนย์กลางที่จะนำมาใช้คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดให้ใช้ค่าเฉลี่ย จากการวัดสองแนวตั้งฉากซึ่งกันและกัน ที่ตำแหน่งกึ่งกลางแท่งทดสอบ

4.4) การคำนวณกำลังรับแรงอัดประลัยของแท่งคอนกรีต จะหาได้จากสูตร

$$f_c = \frac{P}{A} \qquad (3.18)$$

โดยที่

f_c = กำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีต, กก. /ซม^2.

P = แรงกระทำสูงสุดต่อแท่งตัวอย่าง, กก.

A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่างที่วัดตั้งฉากกับแรงกระทำ

$= \frac{\pi D^2}{4}$, ซม^2.

หากปรากฏว่าอัตราส่วนระหว่างความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างทดสอบต่ำกว่า 1.8 ค่าที่ได้จากการทดสอบจะต้องคูณแฟคเตอร์เผื่อแก้ค่าให้ถูกต้องเสียก่อน จากตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าแฟคเตอร์ปรับแก้ชิ้นส่วนทดสอบ

L/D	1.75	1.50	1.25	1.00
แฟคเตอร์แก้ค่า	0.98	0.96	0.93	0.87

ที่มา : ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี รศ.ศิริวัฒน์ ไชยชนะ หน้าที่ 144

3.2.2 ทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของจุดรอยต่อ (Test Setting Time of Joint)

1) วัตถุประสงค์ : เพื่อทดสอบการก่อตัวของรูดอนกรีตของจุดรอยต่อให้ได้ขนาด

2) วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

(1) คอนกรีต

(2) แบบหล่อและขนาดท่อขนาดø 40 มม. ,ø 30 มม.

(3) เหล็กกระทุ้ง

(4) นาฬิกาจับเวลา

3) วิธีการทดสอบ

(1) เตรียมแบบและวัดขนาดของรูดอนกรีตที่จะทำเป็นจุดรอยต่อ

(2) ทำการผสมคอนกรีต เทคอนกรีตลงแบบหนึ่งประมาณให้ได้ความสูง 1 ใน 3 ของแบบ และใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง จากนั้นกระทำเช่นเดียวกันอีก 2 ชั้น เมื่อคอนกรีตเต็มแบบแล้วจึงปาดผิวหน้าให้เรียบ

(3) ทำการหาค่าการก่อตัวของจุดรอยต่อโดยการทำการดึงรูดอนกรีตต้นแบบออก ที่เวลา 1 ชม., 1 $\frac{1}{2}$ ชม., 2 ชม, 2 $\frac{1}{2}$ ชม. และ 3 ชม.

(4) รอจนคอนกรีตแห้งแล้วทำการวัดขนาดของรูดอนกรีตที่จุดรอยต่อ แล้วทำการเปรียบเทียบ

3.2.3 ทดสอบกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของจุดรอยต่อ (Test for Bonding Strength of Joint)

1) วัตถุประสงค์: เพื่อทดสอบแรงยึดเหนี่ยวสูงสุดของเหล็กเสริมชนิดกลมและชนิดข้ออ้อยที่ฝังในก้อนคอนกรีตตัวอย่างด้วยวิธีการดึง (Pull-out Test) ทั้งนี้เพราะโครงสร้างคอนกรีตทั่วไปส่วนใหญ่มักมีการเสริมเหล็กเพื่อช่วยในการรับแรง ไม่ว่าจะเป็นการเสริมเหล็กธรรมดาหรือลวดเหล็กก็ตาม ดังนั้นกำลังในการยึดเหนี่ยว (Bond Strength) ของคอนกรีตกับเหล็กเสริมที่เพียงพอจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณา เพื่อให้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถรับแรงได้เต็มประสิทธิภาพตามที่ออกแบบไว้

2) มาตรฐานที่ใช้ : ASTM C 234 (Standard Test Method for Comparing Concrete on the Basis of the Bond Developed with Reinforcing Steel)

3) วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

(1) Dial Gauges

(2) เครื่องมือทดสอบกำลังอัด(UTM)

(3) แท่งคอนกรีตทรงกระบอกมีเหล็กเสียบยึดค้ำด้วยวัสดุประสาน

4) วิธีการทดสอบ

(1) หล่อก้อนคอนกรีตตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 x 15 ซม.^{3} แล้วฝังเหล็กข้ออ้อยหรือเหล็กกลมที่ต้องการทดสอบลงไป เมื่อก้อนตัวอย่างแข็งตัวแล้วในระยะเวลา 24 ชั่วโมง จึงถอดแบบและบ่มภายในห้องบ่ม เพื่อรอระยะการทดสอบที่ 1 , 3 และ 28 วันต่อไป

(2) วัดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมโดย Micrometer และระยะที่ฝังเหล็กลงไปในก้อนตัวอย่างคอนกรีตด้วยไม้บรรทัดเหล็ก

(3) ติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบแรงยึดเหนี่ยวเข้ากับก้อนคอนกรีตตัวอย่าง

(4) ติดตั้งก้อนคอนกรีตตัวอย่างเข้ากับหัวจับเครื่องทดสอบกำลังดึง และ Dial Micrometer เพื่อวัดระยะเลื่อนของเหล็กเสริม

(5) เปิดเครื่องเพื่อดึงเหล็กเสริม โดยควบคุมแรงดึงให้ไม่เกิน 5.78 กก./ตร.ซม./วินาที

(6) บันทึกแรงดึงและระยะเลื่อนของเหล็กเสริมทุก 1.00 มม.

(7) ทำการทดสอบจนกว่าแรงที่ใช้ดึงเหล็กเสริมถึงจุดสูงสุด หรือเมื่อคอนกรีตเริ่มชำรุดแยกออกจากกันหรือระยะเลื่อนมีค่ามากกว่า 2.5 มม.

(8) เขียนกราฟระหว่างแรงยึดเหนี่ยวกับระยะเลื่อนไถลและคำนวณหากำลังยึดเหนี่ยวสูงสุด (Maximum Bond Stress)

$$\text{หน่วยแรงเหนี่ยวสูงสุด} = \frac{\text{แรงดึงสูงสุด}}{\text{พื้นที่เหล็กเสริมที่สัมผัสกับคอนกรีต}} \qquad (3.19)$$

(9) ทำการทดสอบเปรียบเทียบผลระหว่างเหล็กข้ออ้อยขนาดต่างๆ

(10) ตัวอย่างการทดสอบ ได้แก่

(10.1) ตัวอย่างจุดรอยต่อระหว่างเสา-เสา ประกอบด้วย

ตารางที่ 3.4 แสดงประเภทการทดสอบแรงยึดเหนี่ยวของจุดรอยต่อแบบเสาต่อเสา

เหล็กข้ออ้อย.	ความยาว (mm.)	เส้นผ่าศูนย์กลางช่องท่อ (Grout Tube) (mm.)
DB 12 mm.	300	40
DB 12 mm	250	40
DB 12 mm	300	30
DB 16 mm	300	40

(10.2) ตัวอย่างจุดรอยต่อระหว่างเสา-คาน ประกอบด้วย

ตารางที่ 3.5 แสดงประเภทการทดสอบแรงยึดเหนี่ยวของจุดรอยต่อแบบเสาต่อคาน

เหล็กข้ออ้อย.	ความยาว (mm.)	เส้นผ่าศูนย์กลางช่องท่อ (Grout Tube) (mm.)
DB 12 mm.	200	40
DB 12 mm	200	30
DB 12 mm	250	40
DB 16 mm	200	40

3.2.4 ทดสอบกำลังรับโมเมนต์ดัดของจุดรอยต่อ (Test for Flexural Strength of Joint)

ทดสอบกำลังรับโมเมนต์ดัดของจุดรอยต่อจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบ คือ

1) ทดสอบกำลังรับโมเมนต์ดัดของจุดรอยต่อแบบแรงกระทำสองจุด(Test for Flexural Strength of Joint ; Using Simple Beam with Third – Point Loading)

2) ทดสอบกำลังรับโมเมนต์ดัดของจุดรอยต่อแบบแรงกระทำจุดเดียวที่กึ่งกลาง(Test for Flexural Strength of Joint ; Using Simple Beam with Center – Point Loading)

3.2.4.1 ทดสอบกำลังรับโมเมนต์ดัดของจุดรอยต่อแบบแรงกระทำสองจุด(Test for Flexural Strength of Joint ; Using Simple Beam with Third – Point Loading)

1) วัตถุประสงค์: เพื่อทดสอบกำลังรับโมเมนต์ดัดของรอยต่อของโครงสร้างแบบเสาต่อเสา สำหรับหาค่าโมดูลัสแตกร้าว ซึ่งเป็นอีกวิธีหนึ่งของการหากำลังดึงของคอนกรีตโดยอ้อม

2) มาตรฐานที่ใช้ : ASTM: C 78 – 94

3) วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

(1) แท่งคอนกรีตทรงกระบอกมีเหล็กเสียบยึดด้วยวัสดุประสาน ขนาด0.2×0.2×0.5 ม.^{3} จำนวน 2 ท่อน

(2) เครื่องมือทดสอบกำลังอัด(UTM)

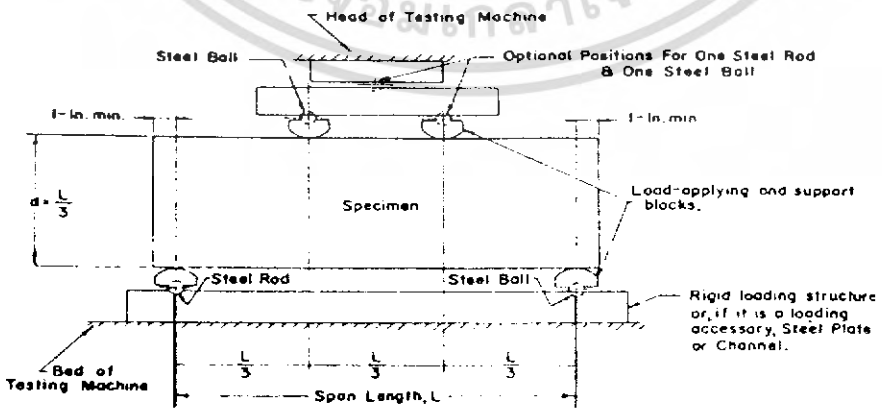
(3) แบบหล่อแท่งคอนกรีต

(4) อุปกรณ์ทดสอบโมเมนต์ดัดประกอบด้วย แท่นยาวที่มีฐานรองแท่งคอนกรีตทดสอบ พร้อมหัวกดมาตรฐาน

4) วิธีการทดสอบ

(1) เตรียมแบบหล่อ และเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

(2) การทดสอบกำลังรับโมเมนต์ดัด ให้จัดตัวอย่างคานที่จะทดสอบ วางบนจุดที่รองรับและแรงกระทำผ่านบล็อกสองจุดตรงตามตำแหน่ง ดังแสดงในรูป 3.4 จากนั้นจึงเดินเครื่องทดสอบเพิ่มแรงกระทำบนคานอย่างสม่ำเสมอภายในช่วง 0.86 ถึง 1.21 MPa/min จนกระทั่งคานทดสอบหัก โดยขนาดของบล็อกสำหรับรองรับและถ่ายทอดแรงจะมีความหนาไม่เกิน $2\frac{1}{2}$ " โดยวัดจากขอบสัมผัสถึงแกนบล็อก



รูปที่ 3.4 แสดงรายละเอียดแรงกระทำสองจุดตรงตามตำแหน่ง

(3) การวัดหน้าตัด ให้คิดเฉลี่ยจากการวัดสามค่า คือที่ปลายทั้งสองและที่กึ่งกลางของแท่งคานทดสอบ

(4) การคำนวณ

(4.1)ถ้าจุดเริ่มรอยหักที่ผิวรับแรงดึง เกิดภายในช่วงกลางคาน (Middle Third) ซึ่งเป็นช่วงที่เกิด การดัดสุทธิ (Pure Bending) จะได้ค่าโมดูลัสแตกร้าว (Modulus of Rupture) ดังนี้

$$R = \frac{PL}{bd^2} \qquad (3.20)$$

(4.2) ถ้ารอยหักที่ผิวรับแรงดึงเกิดอยู่นอกช่วงกลางแต่ไม่เบี่ยงเบนไปเกินกว่า 5 % ของความยาวช่วงคาน จะหาค่าโมดูลัสแตกร้าวได้จาก

$$R = \frac{3Pa}{bd^2} \qquad (3.21)$$

โดยที่

R =โมดูลัสแตกร้าว ;กก./ตร.ซม.

P =แรงกดสูงสุด; กก.

L =ความยาวช่วงของคานระหว่างที่รองรับ ;ซม.

a =ระยะเฉลี่ยของรอยหักที่วัดตรงผิวแรงดึงถึงจุดรองรับด้านใกล้ ;ซม.

b =ความยาวเฉลี่ยของคานที่จุดแตกหัก ;ซม.

d =ความลึกเฉลี่ยของคานที่จุดแตกหัก ;ซม.

3.2.4.2 ทดสอบกำลังรับโมเมนต์ดัดของจุดรอยต่อแบบแรงกระทำจุดเดียวที่กึ่งกลาง(Test for Flexural Strength of Joint ; Using Simple Beam with Center – Point Loading)

1) วัตถุประสงค์ : เพื่อทดสอบกำลังรับโมเมนต์ดัดของรอยต่อของโครงสร้างแบบเสาต่อคานต่อเสา สำหรับหาค่าโมดูลัสแตกร้าว ซึ่งเป็นอีกวิธีหนึ่งของการหากำลังดึงของคอนกรีตโดยอ้อม

2) มาตรฐานที่ใช้ : ASTM: C 293 – 94

3) วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

(1) แท่งคอนกรีตทรงกระบอกมีเหล็กเสียบยึดด้วยวัสดุประสาน ขนาด0.2×0.2×0.5 ม.^{3} จำนวน 2 ท่อน และ 0.2×0.35×0.5 ม.^{3} จำนวน 1 ท่อน

(2) เครื่องมือทดสอบกำลังอัด(UTM)

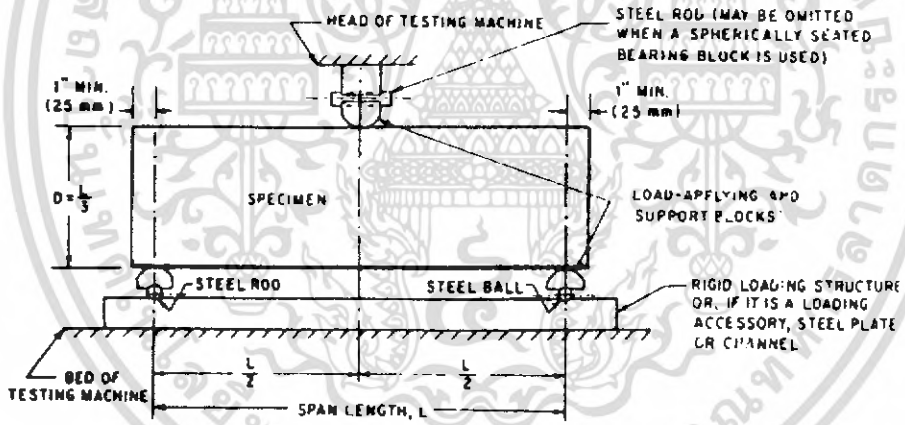
(3) แบบหล่อแท่งคอนกรีต

(4) อุปกรณ์ทดสอบโมเมนต์ดัดประกอบด้วย แท่นยาวที่มีฐานรองแท่งคอนกรีตทดสอบ พร้อมหัวกดมาตรฐาน

4) วิธีการทดสอบ

(1) เตรียมแบบหล่อ และเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

(2) การทดสอบกำลังรับโมเมนต์ดัด ให้จัดตัวอย่างคานที่จะทดสอบ วางบนจุดที่รองรับและแรงกระทำที่กึ่งกลาง ดังแสดงในรูป 3.5 จากนั้นจึงเดินเครื่องทดสอบเพิ่มแรงกระทำบนคานอย่างสม่ำเสมอภายในช่วง 0.86 ถึง 1.21 MPa/min จนกระทั่งคานทดสอบหัก



รูปที่ 3.5 แสดงรายละเอียดแรงกระทำที่จุดกึ่งกลางตรงตามตำแหน่ง

(3) การวัดหน้าตัดให้คิดเฉลี่ยจากการวัดสามค่า คือที่ปลายทั้งสองและที่กึ่งกลางของแท่งคานทดสอบ

(4) กำลังดัดของคาน หาได้ในรูปโมดูลัสแตกร้าวได้จาก

$$R = \frac{3PL}{2bd^2} \qquad (3.22)$$

โดยที่

R =โมดูลัสแตกร้าว ;กก./ ตร.ซม.

P =แรงกดสูงสุด; กก.

L =ความยาวช่วงของคานระหว่างที่รองรับ ; ซม.

b =ความยาวเฉลี่ยของคานที่จุดแตกหัก ; ซม.

d =ความลึกเฉลี่ยของคานที่จุดแตกหัก ; ซม.

3.2.5 ทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของจุดรอยต่อ (Test for Shear Strength of Joint)

1) วัตถุประสงค์: เพื่อทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของ Shear Key

2) วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

(1) อุปกรณ์สำหรับทดสอบกำลังดัด ซึ่งประกอบด้วยแท่นยาวที่มีฐานรองรับคานทดสอบ พร้อมหัวกดมาตรฐาน

(2) เครื่องมือทดสอบกำลังอัด (UTM)

(3) แท่งคอนกรีตหล่อขนาด 0.20 x 0.20 x 0.30 ม.^{3} จำนวน 3 ท่อน

3) วิธีการทดสอบ

(1) เตรียมแบบหล่อ และเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

(2) การทดสอบกำลังรับแรงเฉือน ให้จัดตัวอย่างคานที่จะทดสอบ วางบนจุดที่รองรับ และแรงกระทำผ่านแผ่นเหล็กตรงตามตำแหน่ง จากนั้นจึงเดินเครื่องทดสอบเพิ่มแรงกระทำบนคานอย่างสม่ำเสมอ จนกระทั่งคานทดสอบวิบัติ

(3) สูตรการคำนวณ

(3.1) Single Shear

$$f_h = \frac{P}{A_s} \qquad (3.22)$$

(3.2) Double Shear

$$f_h = \frac{P}{2A_s} \qquad (3.23)$$

โดยที่

f_c =หน่วยแรงเฉือนประลัย มีหน่วยเป็น กก. /ตร.ซม.

P =แรงอัด มีหน่วยเป็น กก.

A_c =พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่างที่ขนานกับแรง มีหน่วยเป็น ตร.ซม.

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ได้แก่ การทดสอบวัสดุประสานของจุดรอยต่อ และ การทดสอบความแข็งแรงของจุดรอยต่อโครงสร้าง

4.1 การทดสอบวัสดุประสานของจุดรอยต่อ

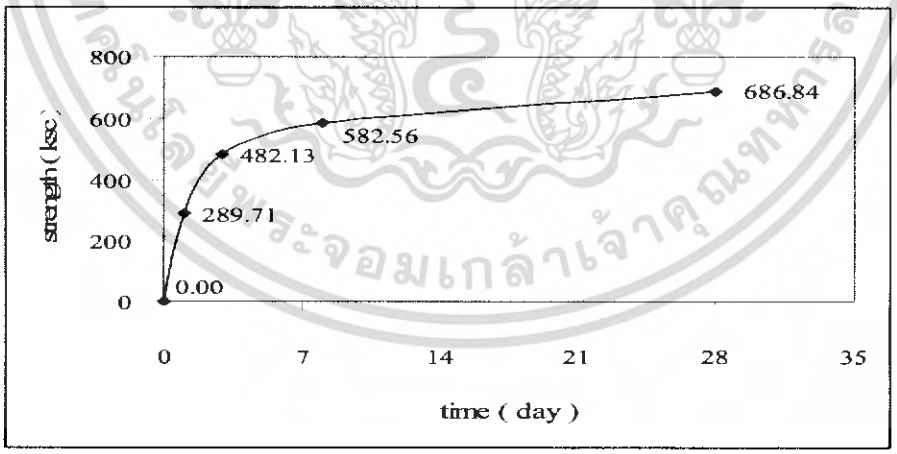
สำหรับผลการทดสอบวัสดุประสานของจุดรอยต่อสามารถแบ่งเป็นหัวข้อดังนี้

4.1.1 ซีเมนต์เพสท์ (Cement Paste)

4.1.1.1 ซีเมนต์เพสท์โดยวิธีผสมครั้งเดียวด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40% (Cement Paste Single Mixing w/c 0.40)

1) การทดสอบกำลังรับแรงอัด (Test for Compressive Strength)

ผลการทดสอบซีเมนต์เพสท์โดยวิธีการผสมครั้งเดียวด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40% ซึ่งมีขนาดชิ้นทดสอบ $5\times5\times5$ ซม.^{3} สามารถรับกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 289.71, 482.13, 582.56, 686.84 กก./ตร.ซม. ตามระยะเวลาการบ่มที่ 1, 3, 8, 28 วัน ตามลำดับ

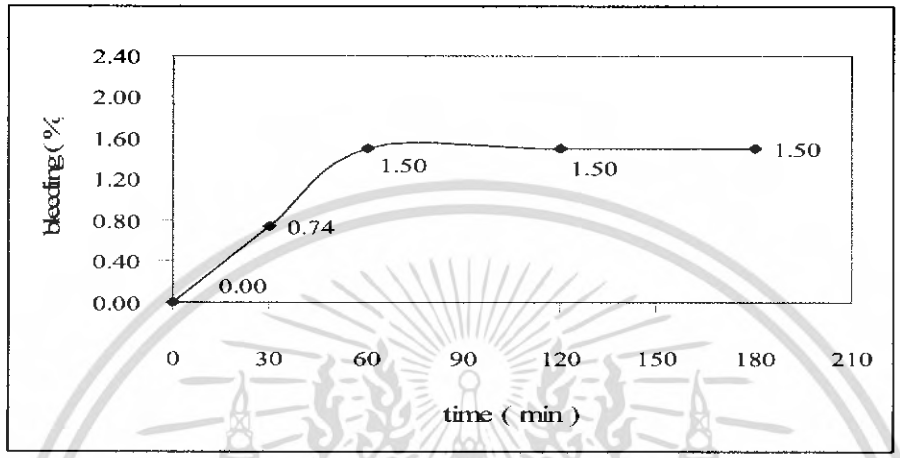


รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเวลา

ของ cement paste single mixing w/c 0.40

2) การทดสอบอัตราการคายน้ำ (Test for Bleeding)

ผลการทดสอบซีเมนต์เพสท์โดยวิธีการผสมครั้งเดียวด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40% สามารถทำให้เกิดอัตราการคายน้ำเฉลี่ย 0.74 , 1.50, 1.50, 1.50 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลา 30, 60, 120, 180 นาทีตามลำดับ ในสภาวะอุณหภูมิ 29 °C



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำกับเวลา ของ cement paste single mixing w/c 0.40

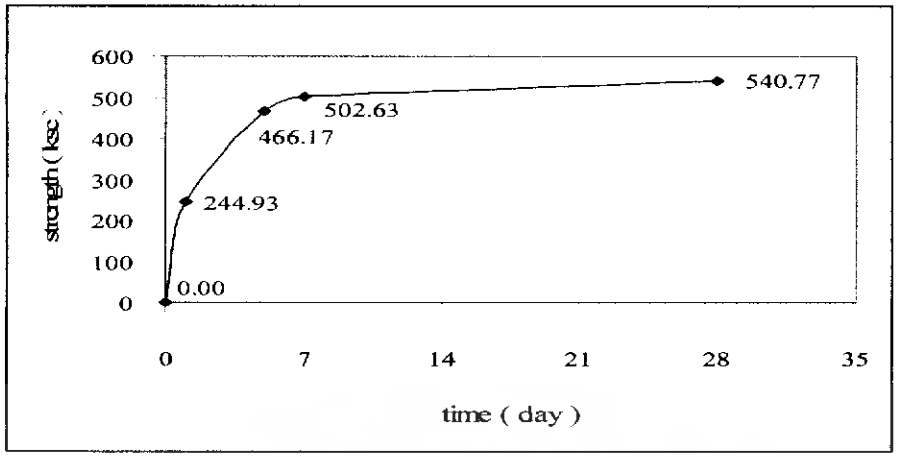
3) การทดสอบการไหลตัว (Test for Flow)

ผลการทดสอบซีเมนต์เพสท์โดยวิธีการผสมครั้งเดียวด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์40% สามารถทำให้ระยะเวลาการไหลตัวของซีเมนต์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.06 วินาที

4.1.1.2 ซีเมนต์เพสท์โดยวิธีผสมครั้งเดียวด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44% (Cement Paste Single Mixing w/c 0.44)

1) การทดสอบกำลังรับแรงอัด(Test for Compressive Strength)

ผลการทดสอบซีเมนต์เพสท์โดยวิธีการผสมครั้งเดียวด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44% ซึ่งมีขนาดชิ้นทดสอบ 5×5×5 ซม.^{3} สามารถรับกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 244.93, 466.17, 502.63, 540.77 กก./ตร.ซม. ตามระยะเวลาการบ่มที่ 1, 5, 7, 28 วัน ตามลำดับ

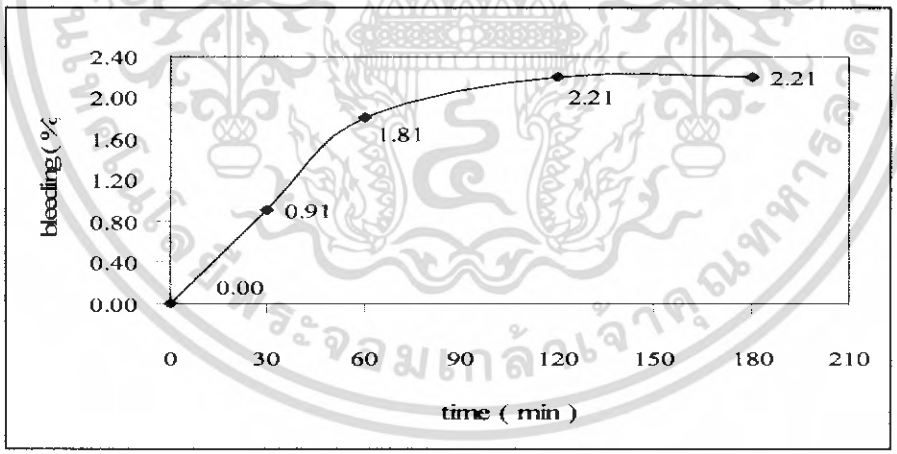


รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเวลา

ของ cement paste single mixing w/c 0.44

2) การทดสอบอัตราการคายน้ำ(Test for Bleeding)

ผลการทดสอบซีเมนต์เพสท์โดยวิธีการผสมครั้งเดียวด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44% สามารถทำให้เกิดอัตราการคายน้ำเฉลี่ย 0.91 , 1.81, 2.21, 2.21 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลา 30, 60, 120, 180 นาทีตามลำดับ ในสภาวะอุณหภูมิ 22 °C



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำกับเวลา

ของ cement paste single mixing w/c 0.44

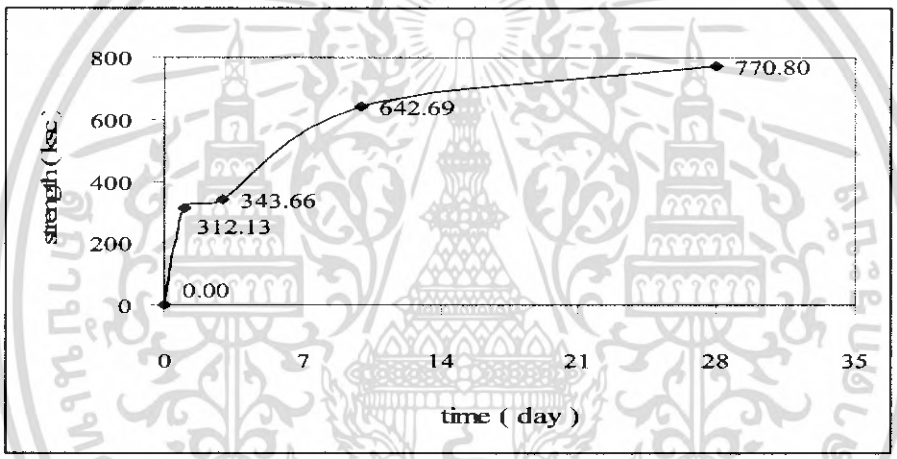
3) การทดสอบการไหลตัว(Test for Flow)

ผลการทดสอบซีเมนต์เพสท์โดยวิธีการผสมครั้งเดียวด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์44% สามารถทำให้ระยะเวลาการไหลตัวของซีเมนต์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.22 วินาที

4.1.1.3 ซีเมนต์เพสท์โดยวิธีผสมซ้ำด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40% (Cement Paste Double Mixing w/c 0.40)

1) การทดสอบกำลังรับแรงอัด(Test for Compressive Strength)

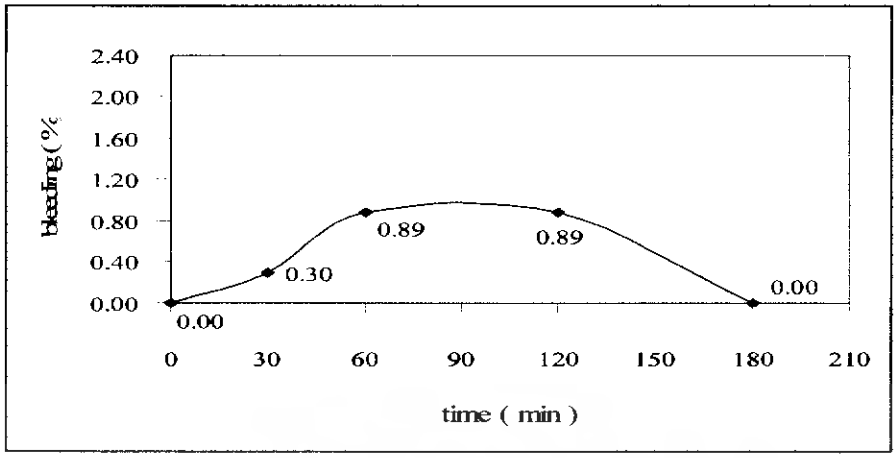
ผลการทดสอบซีเมนต์เพสท์โดยวิธีผสมซ้ำด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์40%ซึ่งมีขนาดชิ้นทดสอบ 5×5×5 ซม.^{3} สามารถรับกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 312.13, 343.66, 642.69, 770.80 กก./ตร.ซม. ตามระยะเวลาการบ่มที่ 1, 3, 10, 28 วัน ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเวลา ของ cement paste double mixing w/c 0.40

2) การทดสอบอัตราการคายน้ำ(Test for Bleeding)

ผลการทดสอบซีเมนต์เพสท์โดยวิธีผสมซ้ำด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์40%สามารถทำให้เกิดอัตราการคายน้ำเฉลี่ย 0.30 , 0.89, 0.89, 0.00 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลา 30, 60, 120, 180 นาที ตามลำดับ ในสภาวะอุณหภูมิ 30.50 °C



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำกับเวลา
ของ cement paste double mixing w/c 0.40

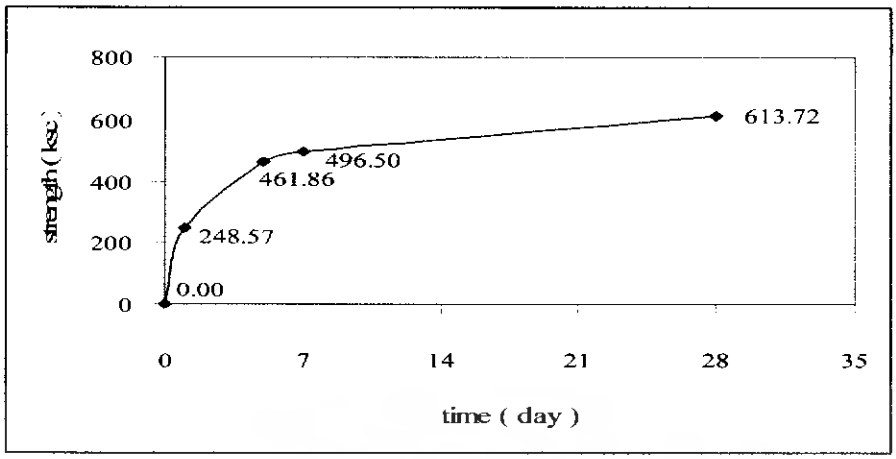
3) การทดสอบการไหลตัว(Test for Flow)

ผลการทดสอบซีเมนต์เพสท์โดยวิธีผสมซ้ำด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์40%สามารถทำให้ระยะเวลาการไหลตัวของซีเมนต์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.90 วินาที

4.1.1.4 ซีเมนต์เพสท์โดยวิธีผสมซ้ำด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44% (Cement Paste Double - Mixing w/c 0.44)

1) การทดสอบกำลังรับแรงอัด(Test for Compressive Strength)

ผลการทดสอบซีเมนต์เพสท์โดยวิธีผสมซ้ำด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์44%ซึ่งมีขนาดชิ้นทดสอบ 5×5×5 ซม.^{3} สามารถรับกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 248.57, 461.86, 496.50, 613.72 กก./ตร.ซม. ตามระยะเวลาการบ่มที่ 1, 5, 7, 28 วัน ตามลำดับ

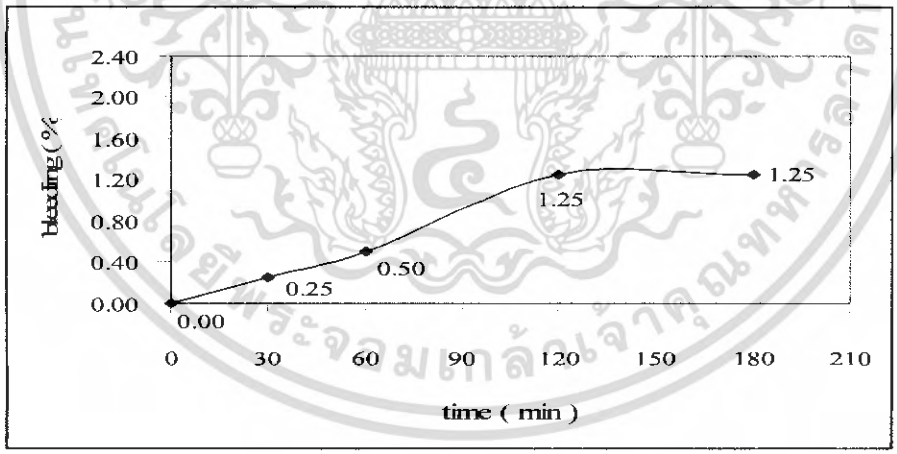


รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเวลา

ของ cement paste double mixing w/c 0.44

2) การทดสอบอัตราการคายน้ำ(Test for Bleeding)

ผลการทดสอบซีเมนต์เพสท์โดยวิธีผสมซ้ำด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์44%สามารถทำให้เกิดอัตราการคายน้ำเฉลี่ย 0.25 , 0.50, 1.25, 1.25 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลา 30, 60, 120, 180 นาที ตามลำดับ ในสภาวะอุณหภูมิ 22 °C



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำกับเวลา

ของ cement paste double mixing w/c 0.44

3) การทดสอบการไหลตัว(Test for Flow)

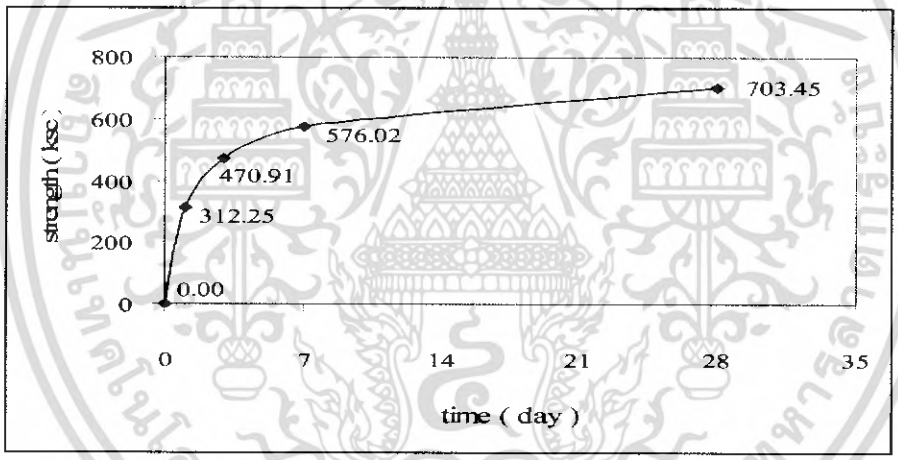
ผลการทดสอบซีเมนต์เพสท์โดยวิธีผสมซ้ำด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44% สามารถทำให้ระยะเวลาการไหลตัวของซีเมนต์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.42 วินาที

4.1.2 ซีเมนต์มอร์ต้า (Cement Mortar)

4.1.2.1 ซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธีผสมครั้งเดียวด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40% (Cement Mortar Single Mixing w/c 0.40)

1) การทดสอบกำลังรับแรงอัด(Test for Compressive Strength)

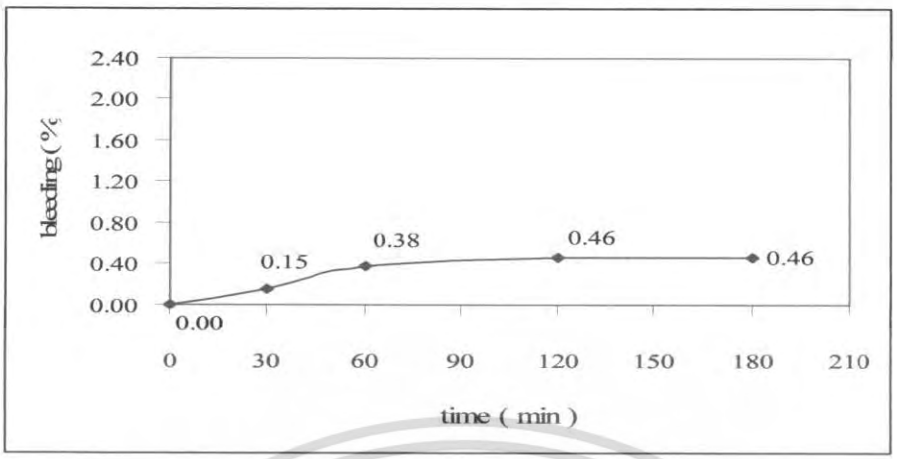
ผลการทดสอบซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธีการผสมครั้งเดียวอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40% ซึ่งมีขนาดชิ้นทดสอบ $5 \times 5 \times 5$ ซม.^{3} สามารถรับกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 312.25, 470.91, 576.02, 703.45 กก./ตร.ซม. ตามระยะเวลาการบ่มที่ 1, 3, 7, 28 วัน ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเวลา
ของ cement mortar single mixing w/c 0.40

2) การทดสอบอัตราการคายน้ำ(Test for Bleeding)

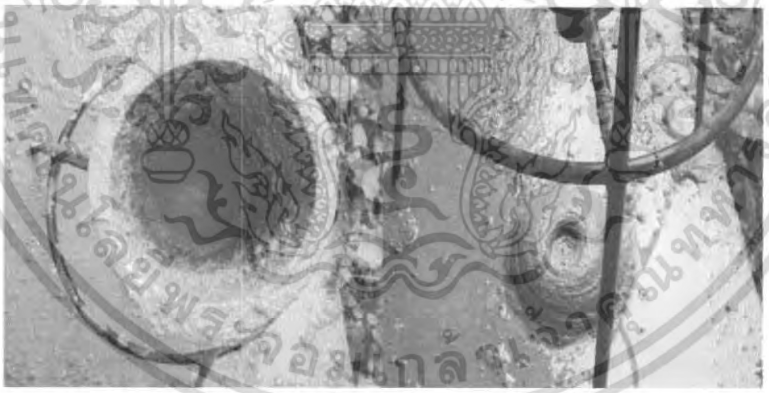
ผลการทดสอบซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธีการผสมครั้งเดียวด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40% สามารถทำให้เกิดอัตราการคายน้ำเฉลี่ย 0.15 , 0.38, 0.46, 0.46 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลา 30, 60, 120, 180 นาทีตามลำดับ ในสภาวะอุณหภูมิ 29 °C



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำกับเวลา
ของ cement mortar single mixing w/c 0.40

3) การทดสอบการไหลตัว(Test for Flow)

ผลการทดสอบซีเมนต์เพสท์โดยวิธีการผสมครั้งเดียวด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40% ไม่เกิดการไหลตัว

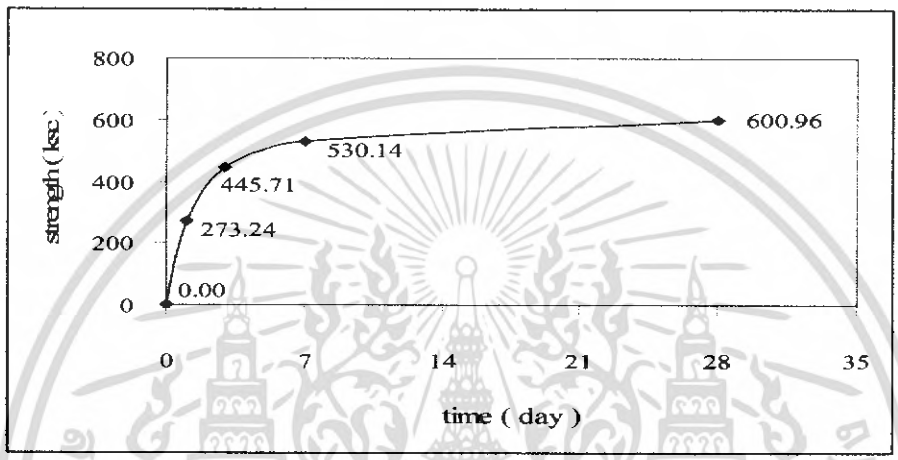


รูปที่ 4.11 แสดงการทดสอบการไหลของ cement mortar single mixing w/c 0.40

4.1.2.2 ซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธีผสมครั้งเดียวด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%(Cement Mortar Single Mixing w/c 0.44)

1) การทดสอบกำลังรับแรงอัด(Test for Compressive Strength)

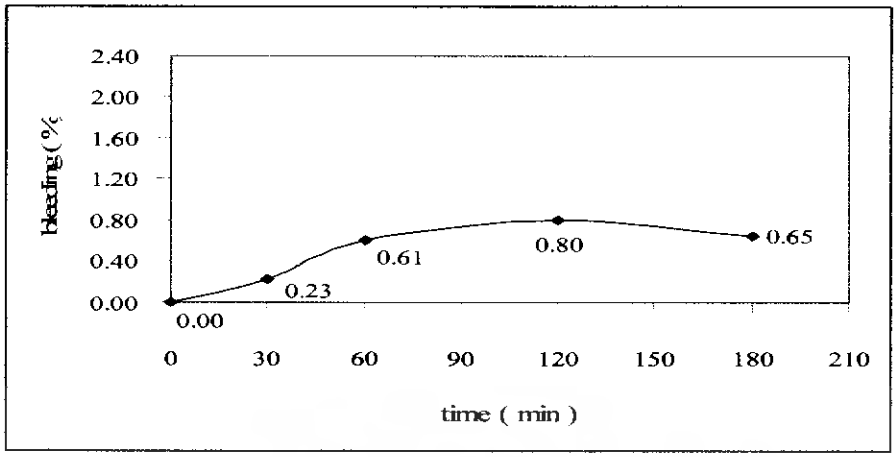
ผลการทดสอบซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธีการผสมครั้งเดียวด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44% ซึ่งมีขนาดชิ้นทดสอบ 5×5×5 ซม.^{3}สามารถรับกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 273.24, 445.71, 530.14, 600.96 กก./ตร.ซม. ตามระยะเวลาการบ่มที่ 1, 3, 7, 28 วัน ตามลำดับ



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเวลา ของ cement mortar single mixing w/c 0.44

2) การทดสอบอัตราการคายน้ำ(Test for Bleeding)

ผลการทดสอบซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธีการผสมครั้งเดียวด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44% สามารถทำให้เกิดอัตราการคายน้ำเฉลี่ย 0.23 , 0.61, 0.80, 0.65 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลา 30, 60, 120, 180 นาทีตามลำดับ ในสภาวะอุณหภูมิ 29.50 °C



รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำกับเวลา
ของ cement mortar single mixing w/c 0.44

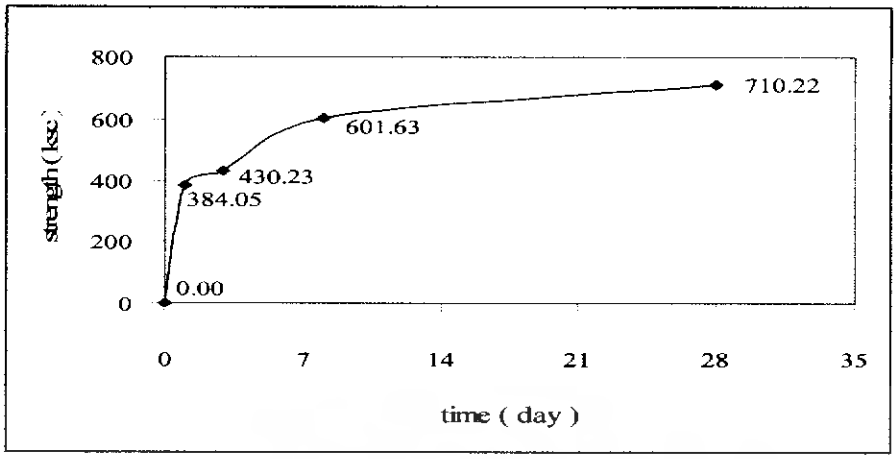
3) การทดสอบการไหลตัว(Test for Flow)

ผลการทดสอบซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธีการผสมครั้งเดียวด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44% สามารถทำให้ระยะเวลาการไหลตัวของซีเมนต์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.15 วินาที

4.1.2.3 ซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธีผสมซ้ำด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40%(Cement Mortar Double Mixing w/c 0.40)

1) การทดสอบกำลังรับแรงอัด(Test for Compressive Strength)

ผลการทดสอบซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธีผสมซ้ำด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40% ซึ่งมีขนาดชิ้นทดสอบ $5\times5\times5$ ซม.^{3} สามารถรับกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 384.05, 430.23, 601.693, 710.22 กก./ตร.ซม. ตามระยะเวลาการบ่มที่ 1, 3, 8, 28 วัน ตามลำดับ

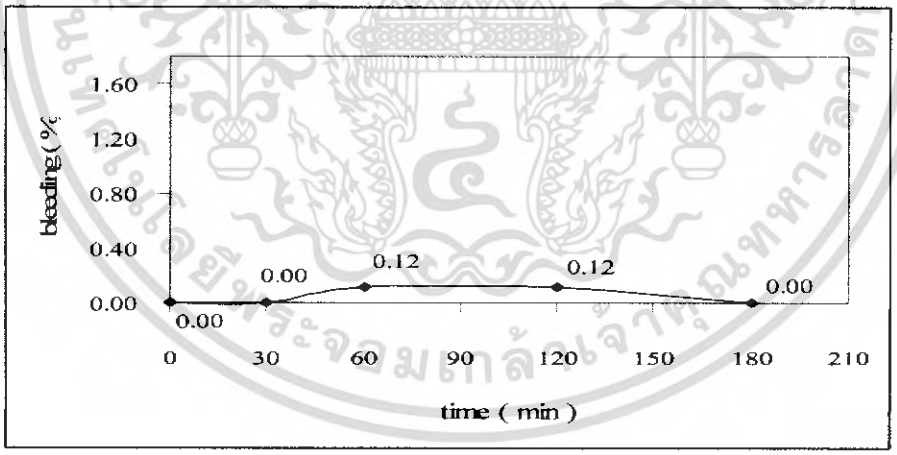


รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเวลา

ของ cement mortar double mixing w/c 0.40

2) การทดสอบอัตราการคายน้ำ(Test for Bleeding)

ผลการทดสอบซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธีผสมซ้ำด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40% สามารถทำให้เกิดอัตราการคายน้ำเฉลี่ย 0.00 , 0.12, 0.12, 0.00 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลา 30, 60, 120, 180 นาที ตามลำดับ ในสภาวะอุณหภูมิ 30.50 °C

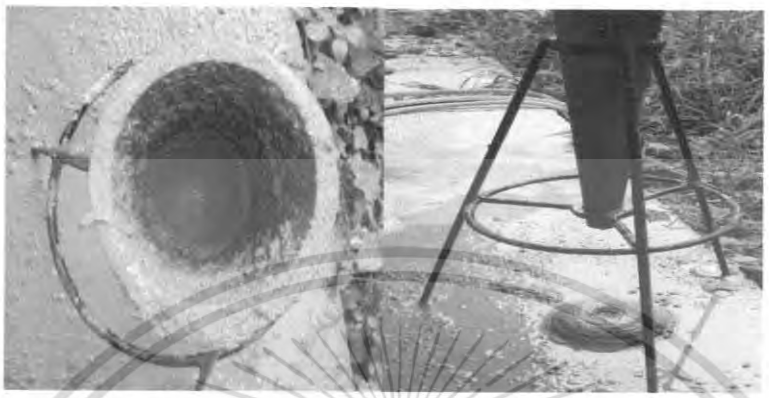


รูปที่4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำกับเวลา

ของ cement mortar double mixing w/c 0.40

3) การทดสอบการไหลตัว(Test for Flow)

ผลการทดสอบซีเมนต์เพสท์โดยวิธีผสมซ้ำด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40% ไม่เกิดการไหลตัว

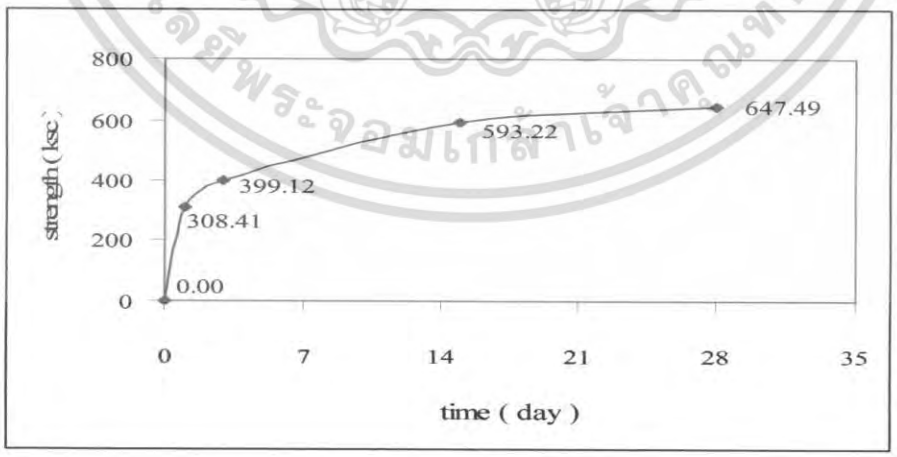


รูปที่ 4.16 แสดงการทดสอบการไหลของ cement mortar double mixing w/c 0.40

4.1.2.4 ซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธีผสมซ้ำด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44% (Cement Mortar Double Mixing w/c 0.44)

1) การทดสอบกำลังรับแรงอัด(Test for Compressive Strength)

ผลการทดสอบซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธีผสมซ้ำด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44% ซึ่งมีขนาดชิ้นทดสอบ 5×5×5 ซม.^{3} สามารถรับกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 308.41, 399.12, 593.22, 647.49 กก./ตร.ซม. ตามระยะเวลาการบ่มที่ 1, 3, 15, 28 วัน ตามลำดับ

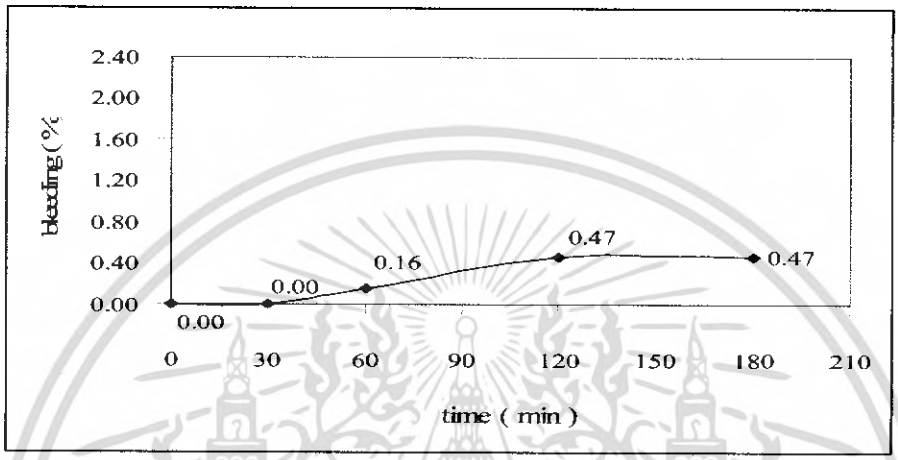


รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเวลา

ของcement mortar double mixing w/c 0.44

2) การทดสอบอัตราการคายน้ำ(Test for Bleeding)

ผลการทดสอบซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธีผสมซ้ำด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44% สามารถทำให้เกิดอัตราการคายน้ำเฉลี่ย 0.00, 0.16, 0.47, 0.47 เปอร์เซ็นต์ ตามระยะเวลา 30, 60, 120, 180 นาที ตามลำดับ ในสภาวะอุณหภูมิ 29 °C



รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำกับเวลา ของ cement mortar double mixing w/c0.44

3) การทดสอบการไหลตัว(Test for Flow)

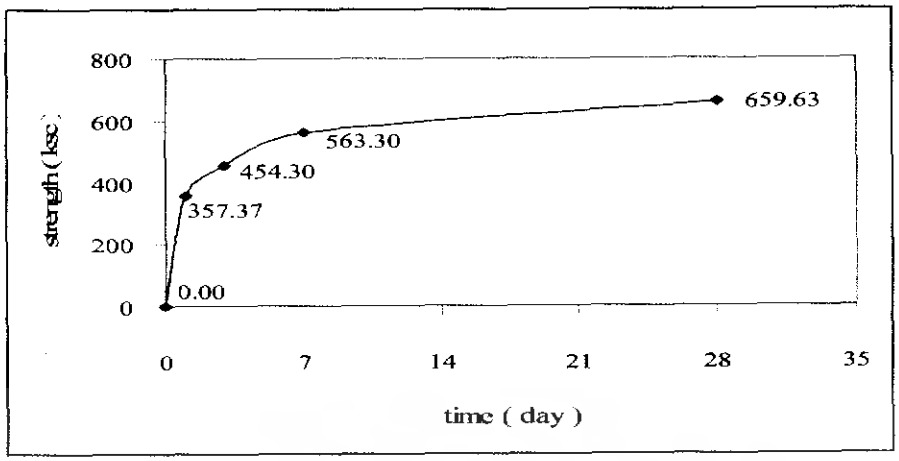
ผลการทดสอบซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธีผสมซ้ำด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44% สามารถทำให้ระยะเวลาการไหลตัวของซีเมนต์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.75 วินาที

4.1.3 สารที่ไม่หดตัว (Nonshrink)

4.1.3.1 สารที่ไม่หดตัวโดยวิธีผสมครั้งเดียวด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40% (Nonshrink Single Mixing w/c 0.40)

1) การทดสอบกำลังรับแรงอัด(Test for Compressive Strength)

ผลการทดสอบสารที่ไม่หดตัวโดยวิธีการผสมครั้งเดียวส่วนด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40% ซึ่งมีขนาดชิ้นทดสอบ5×5×5 ซม.^{3}สามารถรับกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 357.37, 454.30, 563.30, 659.63 กก./ตร.ซม. ตามระยะเวลาการบ่มที่ 1, 3, 7, 28 วัน ตามลำดับ



รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด กับเวลา
ของ nonshrink single mixing w/c 0.40

2) การทดสอบการไหลตัว(Test for Flow)

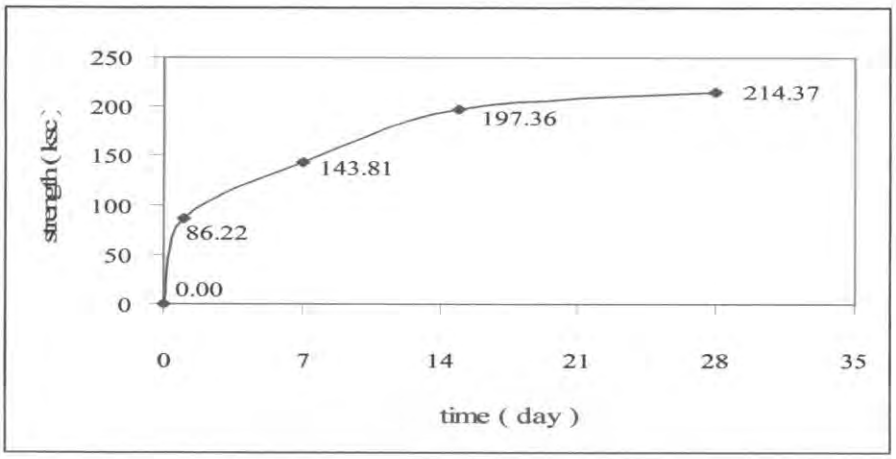
ผลการทดสอบซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธีผสมซ้ำด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44% สามารถทำให้ระยะเวลาการไหลตัวของซีเมนต์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.89 วินาที

4.2 ความแข็งแรงที่จุดรอยต่อโครงสร้าง

4.2.1 ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

4.2.1.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Test for Compressive Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens)

ผลการทดสอบการรับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตสำเร็จรูปสามารรับแรงเฉลี่ยเท่ากับ 86.22, 143.81, 197.36, 214.37 กก./ตร.ซม.ตามระยะเวลาการบ่มที่ 1, 7, 15, 28 วัน ตามลำดับ



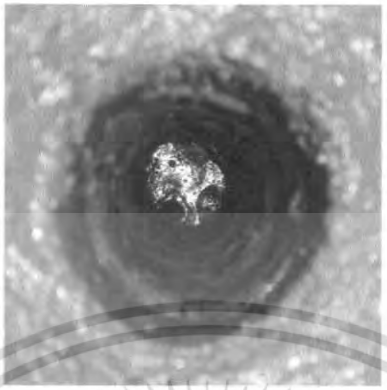
รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเวลาของคอนกรีต

4.2.1.2 การทดสอบระยะการก่อตัวของจุดรอยต่อ (Test for Setting Time of Joint)

เนื่องจากรอยต่อของระบบบ้านสำเร็จรูปเป็นระบบแบบเปียก ซึ่งจำเป็นต้องมีรูดอนกรีตของรอยต่อ และจะต้องทำการดึงแบบออกให้มีลักษณะเป็นรูปรอยต่อ ดังแสดงในรูปที่ 4.21 และจะต้องไม่ทำให้รอยต่อมีการเสียรูปแบบจึงจำเป็นจะต้องมีการหาระยะเวลาที่เหมาะสมที่คอนกรีตมีการก่อตัว ซึ่งจากการทดสอบสามารถสรุปผลตามระยะเวลาต่างๆ ได้ดังนี้

รูปที่ 4.21 แสดงรอยต่อแบบเปียกของระบบบ้านสำเร็จรูป

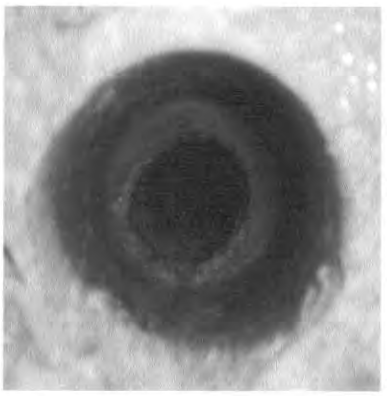
1) ระยะเวลา 1 ชั่วโมง จะเห็นว่าจะมีลักษณะของรอยต่อที่มีการเสียรูปค่อนข้างมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 แสดงลักษณะของรอยต่อ เมื่อดึงแบบออกที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง

2) ระยะเวลา $1\frac{1}{2}$ ชั่วโมง จะมีลักษณะของรอยต่อที่มีการเสียรูปอยู่บ้าง แต่เมื่อมีการแข็งตัวแล้วรอยต่อจะเสียรูปอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 4.23 และรูปที่ 4.24

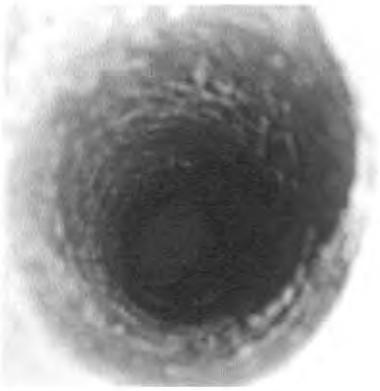
รูปที่ 4.23 แสดงลักษณะของรอยต่อ เมื่อดึงแบบออกที่ระยะเวลา $1\frac{1}{2}$ ชั่วโมง



รูปที่ 4.24 แสดงลักษณะของรอยต่อ เมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 24 ชั่วโมง ที่ระยะเวลาดึงแบบ $1\frac{1}{2}$ ชั่วโมง

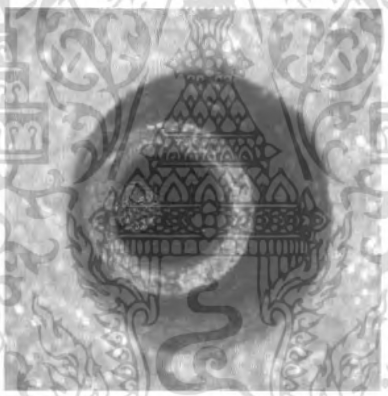
3) ระยะเวลา 2 ชั่วโมง จะมีลักษณะของรอยต่อสภาพที่ดี แต่ที่ก้นจะมีการเยิ้มของน้ำทำให้ระยะความลึกจะไม่ได้ตามที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 4.25 และรูปที่ 4.26

รูปที่ 4.25 แสดงลักษณะของรอยต่อ เมื่อดึงแบบออกที่ระยะเวลา 2 ชั่วโมง

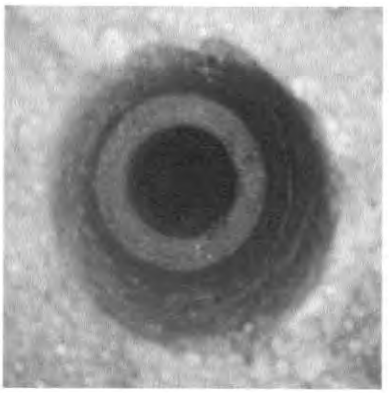


รูปที่ 4.26 แสดงลักษณะของรอยต่อ เมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 24 ชั่วโมง ที่ระยะเวลาดึงแบบ 2 ชั่วโมง

4) ระยะเวลา $2\frac{1}{2}$ ชั่วโมง จะมีลักษณะของรอยต่อสภาพที่ดี และไม่มีการเยิ้มของน้ำ และเมื่อมีการแข็งตัวระยะความลึกจะได้ตามที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 4.27 และรูปที่ 4.28



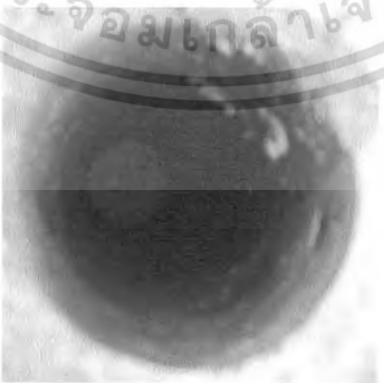
รูปที่ 4.27 แสดงลักษณะของรอยต่อ เมื่อดึงแบบออกที่ระยะเวลา $2\frac{1}{2}$ ชั่วโมง



รูปที่ 4.28 แสดงลักษณะของรอยต่อ เมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 24 ชั่วโมง ที่ระยะเวลาดึงแบบ $2\frac{1}{2}$ ชั่วโมง

5) ระยะเวลา 3 ชั่วโมง จะมีลักษณะเหมือนกับระยะเวลา $2\frac{1}{2}$ ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4.29 และรูปที่ 4.30

รูปที่ 4.29 แสดงลักษณะของรอยต่อ เมื่อดึงแบบออกที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง



รูปที่ 4.30 แสดงลักษณะของรอยต่อ เมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 24 ชั่วโมง ที่ระยะเวลาดึงแบบ 3 ชั่วโมง

4.2.2 ความแข็งแรงที่จุดรอยต่อโครงสร้างแบบเสาต่อเสา

4.2.2.1 การทดสอบกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของจุดรอยต่อ (Test for Bonding of Joint)

1) ขนาดท่อ(Grout Tube) ø 40 mm Dowel Bar 12 mm ยาว 300 mm.

ผลการทดสอบโดยการใช้เหล็กข้ออ้อย ขนาด 12 มม. ยาว 300 มม. ใส่ลงในท่อ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มม. แล้วอุดด้วยวัสดุประสาน ผลจากการทดสอบโดยเครื่อง UTM มีความสามารถรับแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 5897.50, 6157.33, 6414.00 กก. คิดเป็นหน่วยแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยเท่ากับ 54.40, 54.44, 56.71 กก./ตร.ซม. ที่อายุวัสดุประสาน 1, 3, 28 วัน ตามลำดับ

2) ขนาดท่อ(Grout Tube) ø 40 mm Dowel Bar 12 mm ยาว 250 mm.

ผลการทดสอบโดยการใช้เหล็กข้ออ้อย ขนาด 12 มม. ยาว 250 มม. ใส่ลงในท่อ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มม. แล้วอุดด้วยวัสดุประสาน ผลจากการทดสอบโดยเครื่อง UTM มีความสามารถรับแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 5534.00, 5507.33, 5797.00 กก. คิดเป็นหน่วยแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยเท่ากับ 61.57, 59.83, 64.52 กก./ตร.ซม. ที่อายุวัสดุประสาน 1, 3, 28 วัน ตามลำดับ

3) ขนาดท่อ(Grout Tube) ø 30 mm Dowel Bar 12 mm ยาว 300 mm.

ผลการทดสอบโดยการใช้เหล็กข้ออ้อย ขนาด 12 มม. ยาว 300 มม. ใส่ลงในท่อ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มม. แล้วอุดด้วยวัสดุประสาน ผลจากการทดสอบโดยเครื่อง UTM มีความสามารถรับแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 4541.00, 4634.33, 4810.50 กก. คิดเป็นหน่วยแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยเท่ากับ 41.52, 40.97, 42.54 กก./ตร.ซม. ที่อายุวัสดุประสาน 1, 3, 28 วัน ตามลำดับ

4) ขนาดท่อ(Grout Tube) ø 40 mm Dowel Bar 16 mm ยาว 300 mm.

ผลการทดสอบโดยการใช้เหล็กข้ออ้อย ขนาด 16 มม. ยาว 300 มม. ใส่ลงในท่อ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มม. แล้วอุดด้วยวัสดุประสาน ผลจากการทดสอบโดยเครื่อง UTM มีความสามารถรับแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 7459.67, 8262.00, 9901.00 กก. คิดเป็นหน่วยแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยเท่ากับ 52.68, 54.78, 65.65 กก./ตร.ซม. ที่อายุวัสดุประสาน 1, 3, 28 วัน ตามลำดับ

4.2.2.2 การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของจุดรอยต่อ (Test for Shear of Joint)

การทดสอบเพื่อศึกษาความต้านทานแรงเฉือนของวัสดุประสาน โดยใช้แบบจำลองมาตราส่วน 1:1 ซึ่งมีขนาดพื้นที่ 10×10 ซม.^{2} โดยทำการทดสอบด้วยวิธี double shear เพื่อที่จะได้ค่ากำลังรับแรงเฉือนของจุดรอยต่อที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

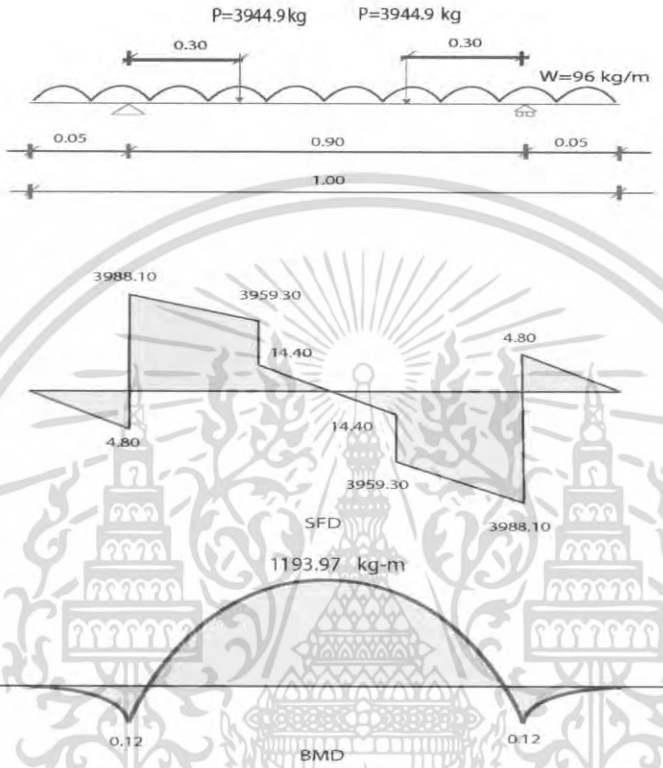
ผลการทดสอบโดยเครื่อง UTM สามารถรับแรงกระทำเฉลี่ยเท่ากับ 2239.43, 2990.37, 4243.70 กก. คิดเป็นกำลังรับแรงเฉือนเฉลี่ยเท่ากับ 11.19, 14.95, 21.22 กก./ตร.ซม. ที่อายุวัสดุประสาน 1, 3, 28 วัน ตามลำดับ

4.2.2.3 การทดสอบกำลังรับโมเมนต์ดัดของจุดรอยต่อ(โดยการทดสอบแรงกระทำสองจุด) (Test for Flexural Strength of Concrete Using Simple Beam with Third-Point Loading)

การทดสอบกำลังรับโมเมนต์ดัดของจุดรอยต่อที่ใส่ Dowel Bar 4 DB 12 mm โดยใช้แบบจำลองมาตราส่วน 1:1 โดยศึกษาเสมือนพฤติกรรมของโครงสร้างที่รับน้ำหนักบรรทุก รับแรงกระทำด้านข้าง และแรงเยื้องศูนย์ ผลทดสอบสรุปได้ดังนี้

1) อายุวัสดุประสาน 1 วัน

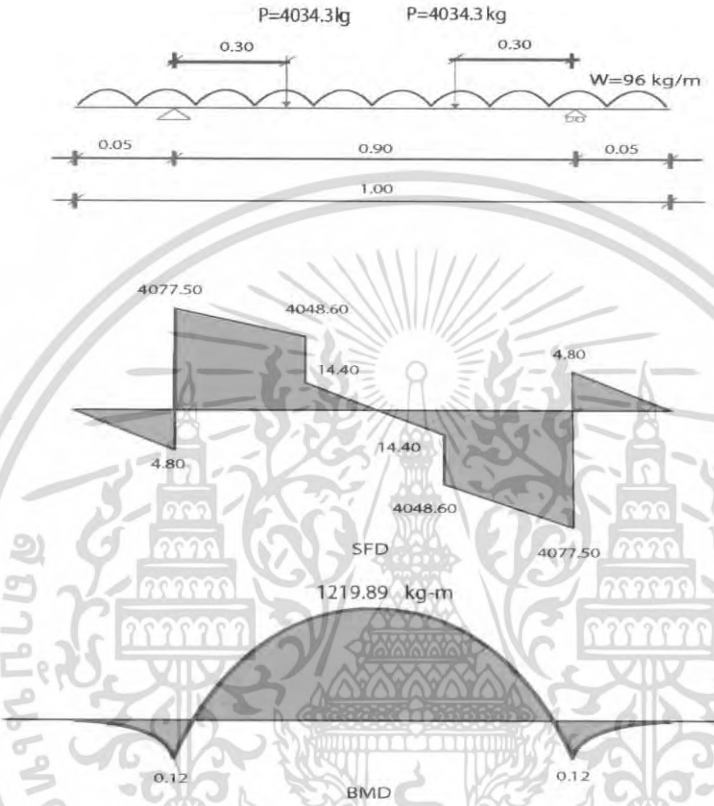
ผลการทดสอบโดยเครื่อง UTM ซึ่งแรงกระทำตั้งฉากกับชิ้นงาน สามารถรับแรงกระทำสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 7889.77กก.และสามารถรับกำลังโมเมนต์ดัดสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 1193.07กก.-ม.



รูปที่ 4.31 แสดง Load Diagram, Shear Force Diagram และ Bending Moment Diagram ของการทดสอบเสา-เสา เมื่อวัสดุประสานมีอายุ 1 วัน

2) อายุวัสดุประสาน 3 วัน

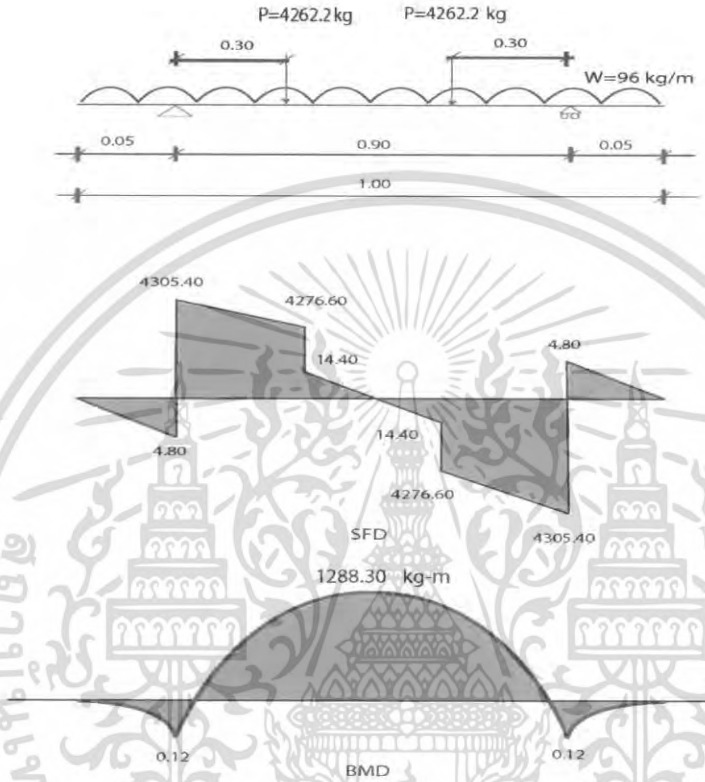
ผลการทดสอบโดยเครื่อง UTM ซึ่งแรงกระทำตั้งฉากกับชิ้นงาน สามารถรับแรงกระทำสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 8068.60กก.และสามารถรับกำลังโมเมนต์ดัดสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 1219.89กก.-ม.



รูปที่ 4.32 แสดง Load Diagram, Shear Force Diagram และ Bending Moment Diagram ของการทดสอบเสา-เสา เมื่อวัสดุประสานมีอายุ 3 วัน

3) อายุวัสดุประสาน 28 วัน

ผลการทดสอบโดยเครื่อง UTM ซึ่งแรงกระทำตั้งฉากกับชิ้นงาน สามารถรับแรงกระทำสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 8524.33กก.และสามารถรับกำลังโมเมนต์ดัดสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 1288.30กก.-ม.



รูปที่ 4.33 แสดง Load Diagram, Shear Force Diagram และ Bending Moment Diagram ของการทดสอบเสา-เสา เมื่อวัสดุประสานมีอายุ 28 วัน

4.2.3 ความแข็งแรงที่จุดรอยต่อโครงสร้างแบบเสาต่อคาน

4.2.3.1 การทดสอบกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของจุดรอยต่อ(Test for Bonding of Joint)

1) ขนาดท่อ(Grout Tube) ø 40 mm Dowel Bar 12 mm ยาว 200 mm.

ผลการทดสอบโดยการใช้เหล็กข้ออ้อย ขนาด 12 มม. ยาว 200 มม. ใส่ลงในท่อ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มม. แล้วอุดด้วยวัสดุประสาน ผลจากการทดสอบโดยเครื่อง UTM มีความสามารถรับ

แรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 3761.00, 4451.00, 5085.33 กก. คิดเป็นหน่วยแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยเท่ากับ 56.88, 65.71, 75.52 กก./ตร.ซม.^{2} ที่อายุวัสดุประสาน1, 3, 28 วัน ตามลำดับ

2) ขนาดท่อ(Grout Tube) ø 40 mm Dowel Bar 12 mm ยาว 250 mm.

ผลการทดสอบโดยการใช้เหล็กข้ออ้อย ขนาด 12 มม. ยาว 250 มม. ใส่ลงในท่อ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มม. แล้วอุดด้วยวัสดุประสาน ผลจากการทดสอบโดยเครื่อง UTM มีความสามารถรับแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 5534.00, 5507.33, 5797.00 กก. คิดเป็นหน่วยแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยเท่ากับ 61.57, 59.83, 64.52 กก./ตร.ซม.^{2} ที่อายุวัสดุประสาน1, 3, 28 วัน ตามลำดับ

3) ขนาดท่อ(Grout Tube) ø 30 mm Dowel Bar 12 mm ยาว 200 mm.

ผลการทดสอบโดยการใช้เหล็กข้ออ้อย ขนาด 12 มม. ยาว 200 มม. ใส่ลงในท่อ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มม. แล้วอุดด้วยวัสดุประสาน ผลจากการทดสอบโดยเครื่อง UTM มีความสามารถรับแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 2953.50, 3522.50, 4049.33 กก. คิดเป็นหน่วยแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยเท่ากับ 41.22, 50.07, 66.95 กก./ตร.ซม.^{2} ที่อายุวัสดุประสาน1, 3, 28 วัน ตามลำดับ

4) ขนาดท่อ(Grout Tube) ø 40 mm Dowel Bar 16 mm ยาว 200 mm.

ผลการทดสอบโดยการใช้เหล็กข้ออ้อย ขนาด 16 มม. ยาว 200 มม. ใส่ลงในท่อ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มม. แล้วอุดด้วยวัสดุประสาน ผลจากการทดสอบโดยเครื่อง UTM มีความสามารถรับแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 6013.33, 7186.50, 7693.67 กก. คิดเป็นหน่วยแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยเท่ากับ 61.49, 74.04, 82.58 กก./ตร.ซม.^{2} ที่อายุวัสดุประสาน1, 3, 28 วัน ตามลำดับ

4.2.4 ความแข็งแรงที่จุดรอยต่อโครงสร้างแบบเสาต่อคานต่อเสา

4.2.4.1 การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของจุดรอยต่อ (Test for Shear of Joint)

การทดสอบเพื่อศึกษาความด้านทานแรงเฉือนของวัสดุประสาน โดยใช้แบบจำลองมาตราส่วน 1:1 ซึ่งมีขนาดพื้นที่ 10×10 ซม.^{2} โดยทำการทดสอบด้วยวิธี double shear เพื่อที่จะได้ค่ากำลังรับแรงเฉือนของจุดรอยต่อที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

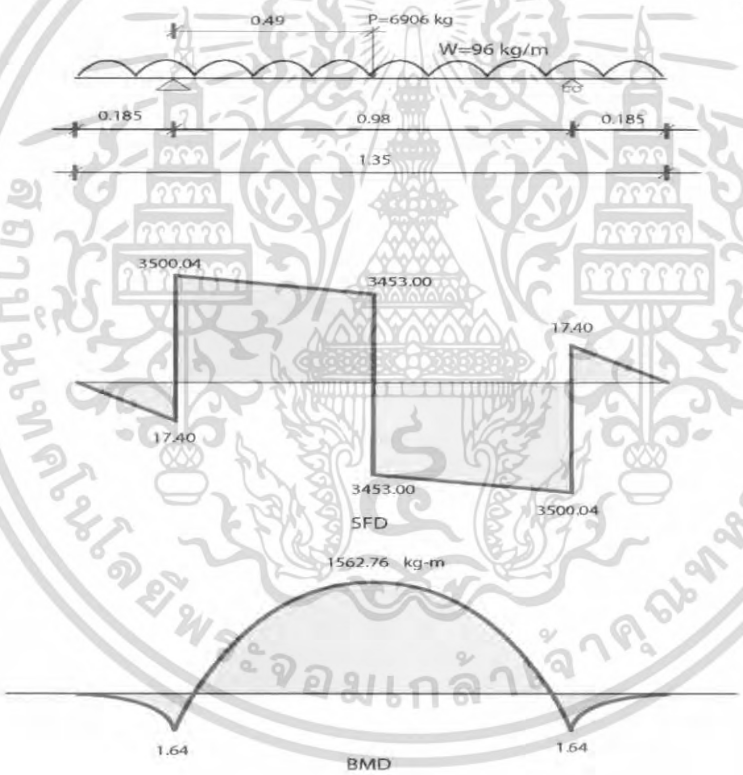
ผลการทดสอบโดยเครื่อง UTM สามารถรับแรงกระทำเฉลี่ยเท่ากับ 2239.43, 2990.37, 4243.70 กก. คิดเป็นกำลังรับแรงเฉือนเฉลี่ยเท่ากับ 11.19, 14.95, 21.22 กก./ตร.ซม. ที่อายุวัสดุประสาน 1, 3, 28 วัน ตามลำดับ

4.2.4.2 การทดสอบกำลังรับโมเมนต์ดัดของจุดรอยต่อ(โดยการทดสอบแรงกระทำจุดเดียวที่กึ่งกลาง) (Test for Flexural Strength of Concrete Using Simple Beam with Center-Point Loading)

การทดสอบกำลังรับโมเมนต์ดัดของจุดรอยต่อที่ใส่ Dowel Bar 4 DB 12 mm โดยใช้แบบจำลองมาตราส่วน 1:1 โดยศึกษาเสมือนพฤติกรรมของโครงสร้างที่รับน้ำหนักบรรทุก รับแรงกระทำด้านข้าง แรงกระทำเนื่องจากคานยื่น และแรงเยื้องศูนย์ ผลทดสอบสรุปได้ดังนี้

1) อายุวัสดุประสาน 1 วัน

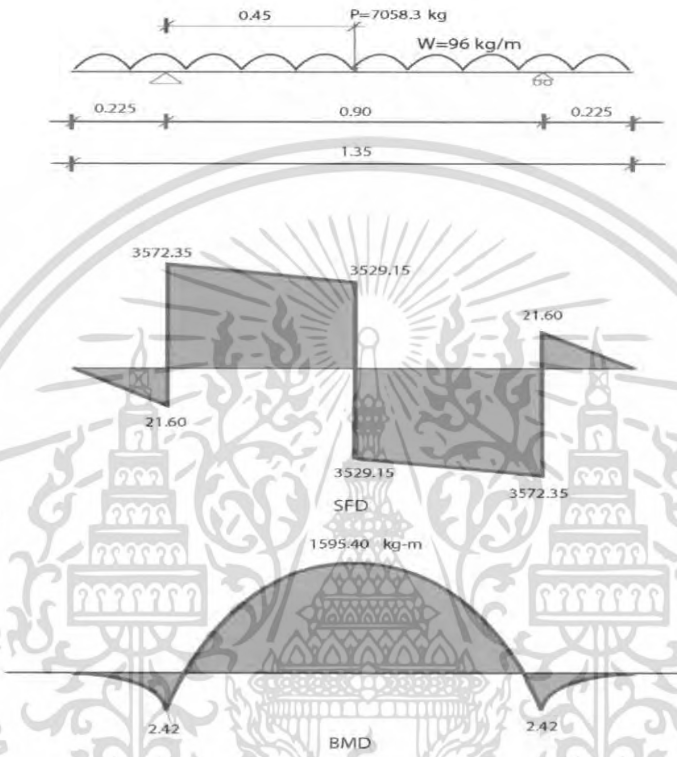
ผลการทดสอบโดยเครื่อง UTM ซึ่งแรงกระทำตั้งฉากกับชิ้นงานสามารถรับแรงกระทำสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 6855.60กก.และสามารถรับกำลังโมเมนต์ดัดสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 1562.76กก.-ม.



รูปที่ 4.34 แสดง Load Diagram, Shear Force Diagram และ Bending Moment Diagram ของการทดสอบเสา-คาน-เสา เมื่อวัสดุประสานมีอายุ 1 วัน

2) อายุวัสดุประสาน 3 วัน

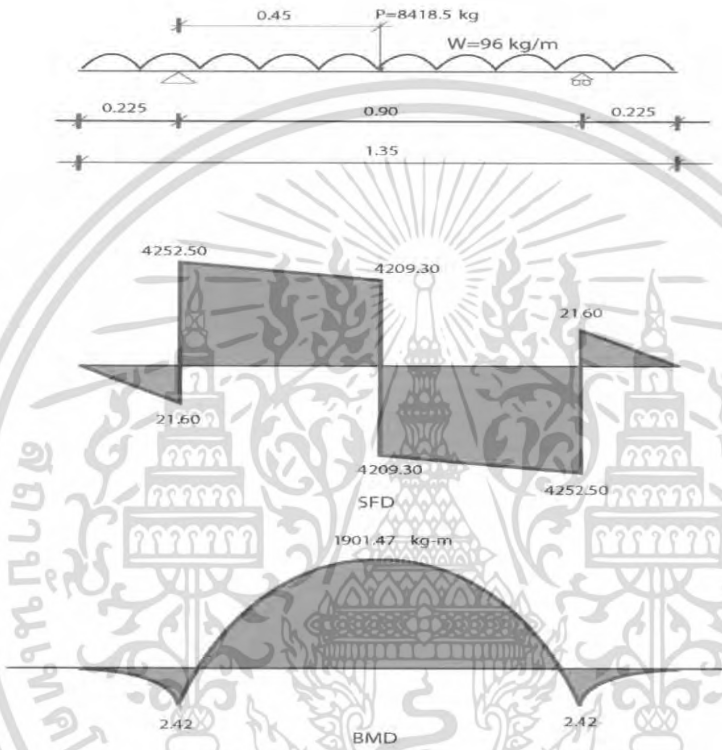
ผลการทดสอบโดยเครื่อง UTM ซึ่งแรงกระทำตั้งฉากกับชิ้นงาน สามารถรับแรงกระทำสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 7029.50กก.และสามารถรับกำลังโมเมนต์ดัดสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 1595.40กก.-ม.



รูปที่ 4.35 แสดง Load Diagram, Shear Force Diagram และ Bending Moment Diagram ของการทดสอบเสา-คาน-เสา เมื่อวัสดุประสานมีอายุ 3 วัน

3) อายุวัสดุประสาน 28 วัน

ผลการทดสอบโดยเครื่อง UTM ซึ่งแรงกระทำตั้งฉากกับชิ้นงาน สามารถรับแรงกระทำสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 8368.15กก.และสามารถรับกำลังโมเมนต์ดัดสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 1901.47กก.-ม.



รูปที่ 4.36 แสดง Load Diagram, Shear Force Diagram และ Bending Moment Diagram ของการทดสอบเสา-คาน-เสา เมื่อวัสดุประสานมีอายุ 28 วัน

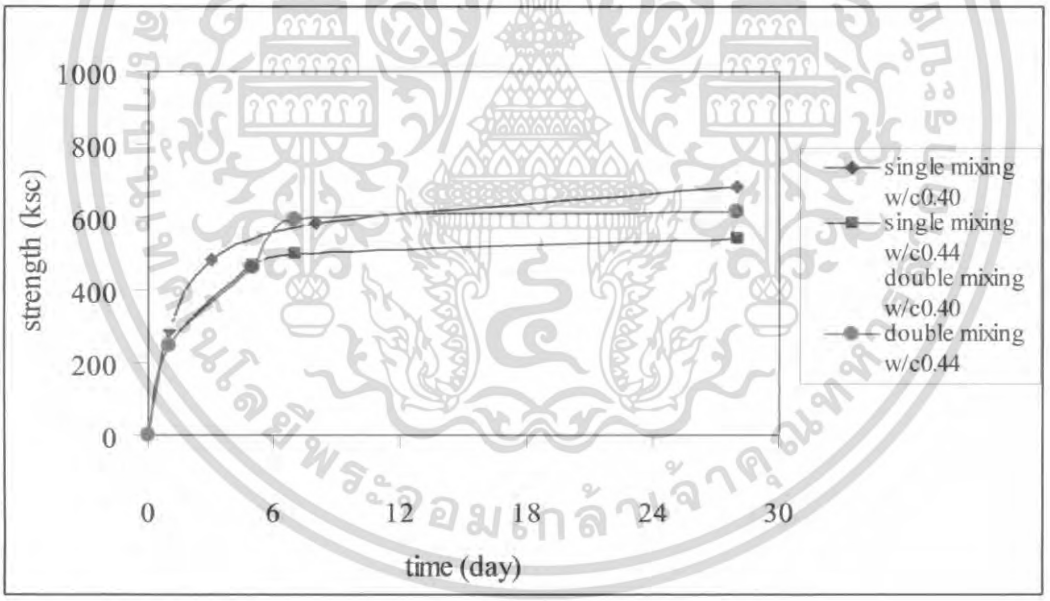
บทที่ 5
วิเคราะห์ผลการทดสอบ

5.1 วิเคราะห์ผลการทดสอบวัสดุประสานของจุดรอยต่อ

5.1.1 วิเคราะห์คุณสมบัติซีเมนต์เพสท์

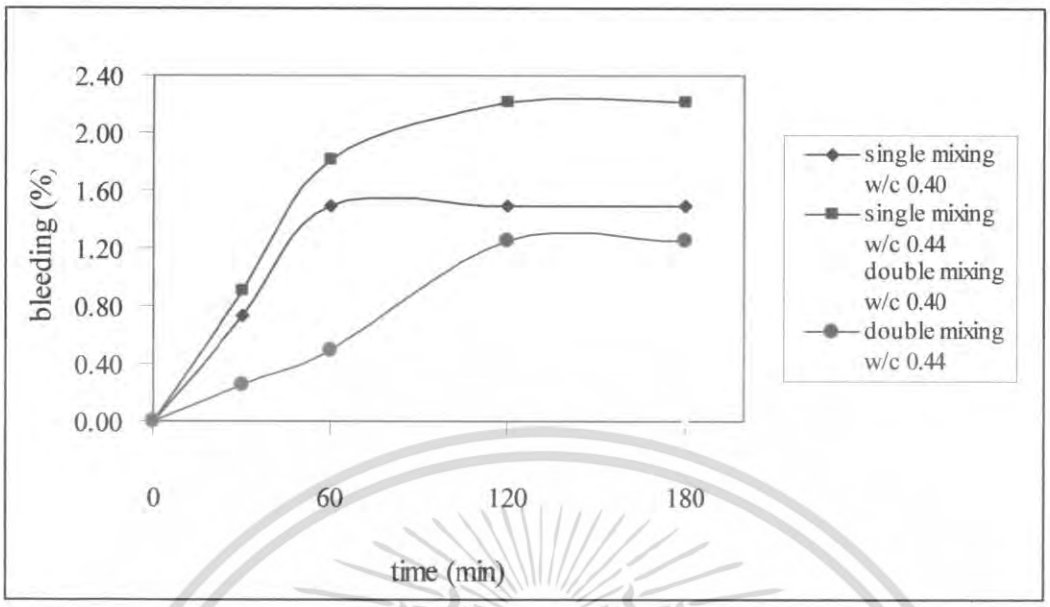
จากผลการทดสอบโดยวิธีผสม single mixing (ครั้งเดียว)และวิธี double mixing (ผสมซ้ำ) โดยการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40% และ 44%

1) การรับกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ ที่มีค่าสูงสุดคือ double mixing w/c 0.40 รองลงมา คือ single mixing w/c 0.40 ; double mixing w/c 0.44 ; single mixing w/c 0.44 ตามลำดับ



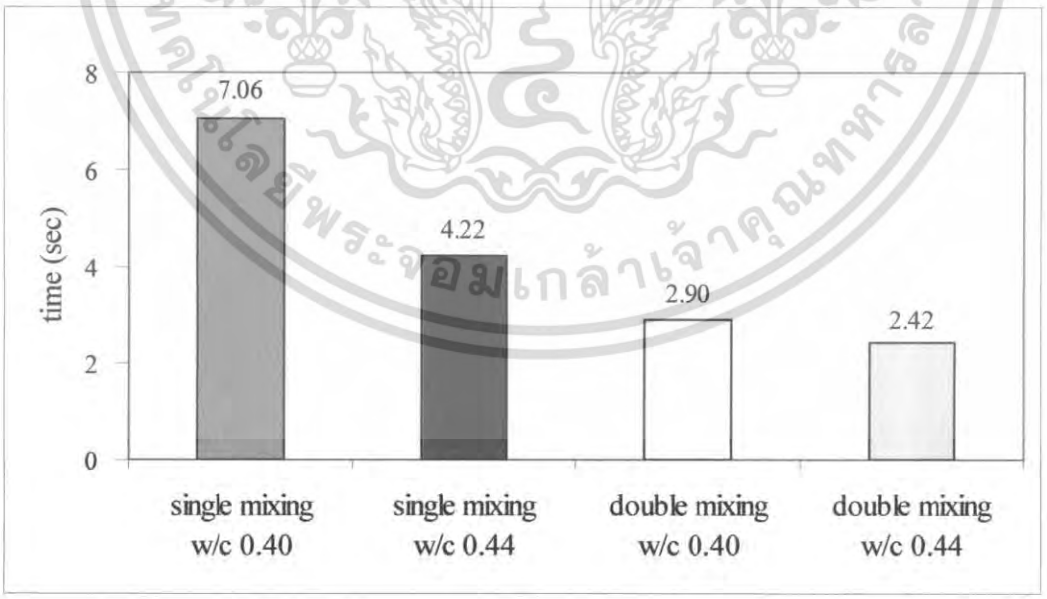
รูปที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเวลาของซีเมนต์เพสท์

2) อัตราการคายน้ำของซีเมนต์เพสท์ ที่ให้ค่าน้อยที่สุดคือ double mixing w/c 0.40 รองลงมาคือ double mixing w/c 0.44 ; single mixing w/c 0.40 ; single mixing w/c 0.44 ตามลำดับ



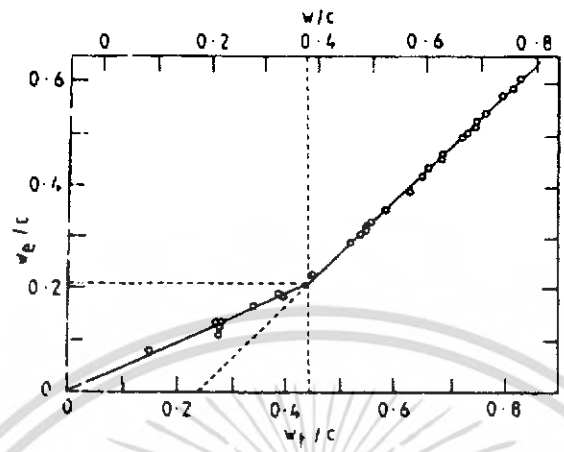
รูปที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำกับเวลาของซีเมนต์เพสท์

3) การไหลของซีเมนต์เพสท์ ที่มีระยะเวลาน้อยที่สุดคือ double mixing w/c 0.44 รองลงมาคือ double mixing w/c 0.40 ; single mixing w/c 0.44 ; single mixing w/c 0.40 ตามลำดับ



รูปที่ 5.3 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลาการไหลตัวของซีเมนต์เพสท์

4) ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44% จะทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นได้ดีที่สุด ดังรูปที่ 5.4



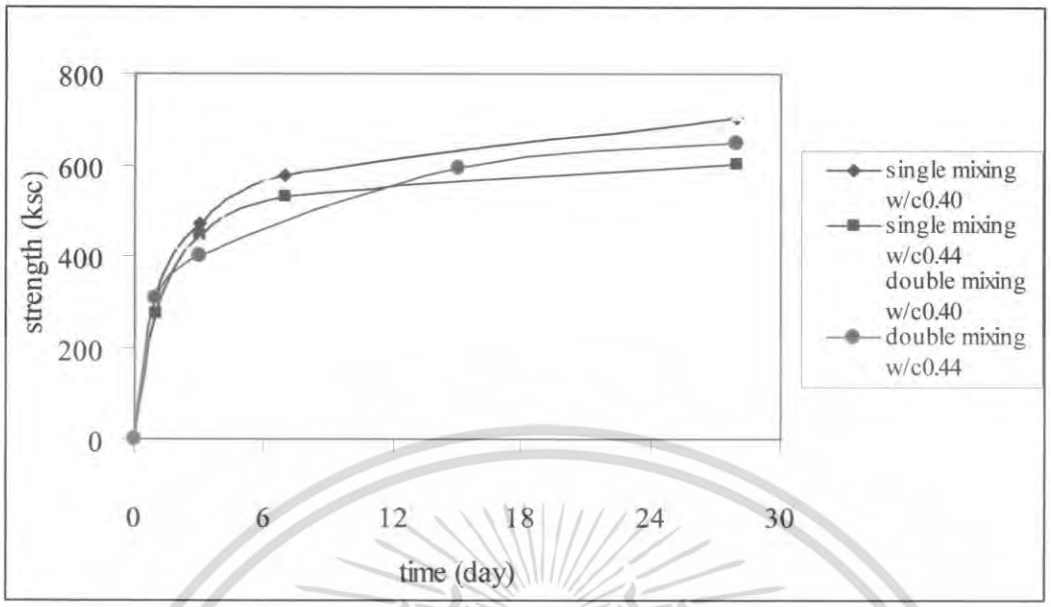
รูปที่ 5.4 แสดงการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างๆ

จากผลการวิเคราะห์ ข้อ 1) ถึง ข้อ 3) ซีเมนต์เพสท์ที่มีคุณสมบัติดีที่สุดคือ การผสมโดยวิธี double mixing w/c 0.40 รองลงมาคือ double mixing w/c 0.44 ซึ่งจากข้อ 4) การทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%เพราะฉะนั้นวัสดุประสานซีเมนต์เพสท์ที่มีความเหมาะสมที่สุดคือ cement paste double mixing w/c 0.44

5.1.2 วิเคราะห์คุณสมบัติซีเมนต์มอร์ต้า

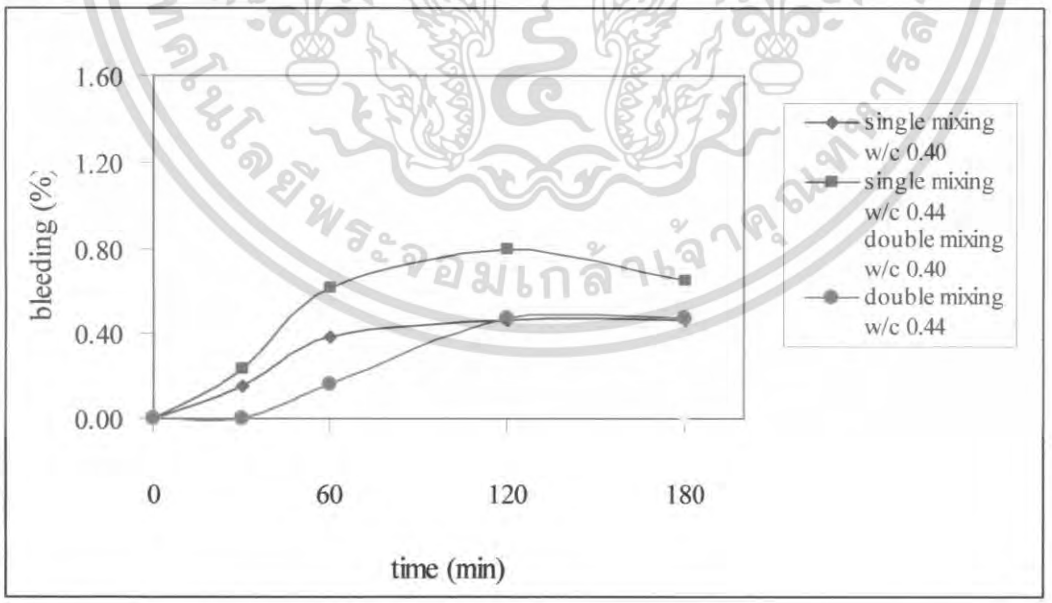
จากผลการทดสอบอัตราส่วนปูนซีเมนต์กับทรายคือ 1:1 โดยวิธี single mixing (ครั้งเดียว)และวิธี double mixing (ผสมซ้ำ) โดยการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40% และ 44%

1) การรับกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า ที่มีค่าสูงสุดคือ double mixing w/c 0.40 รองลงมาคือ single mixing w/c 0.40 ; double mixing w/c 0.44 ; single mixing w/c 0.44 ตามลำดับ



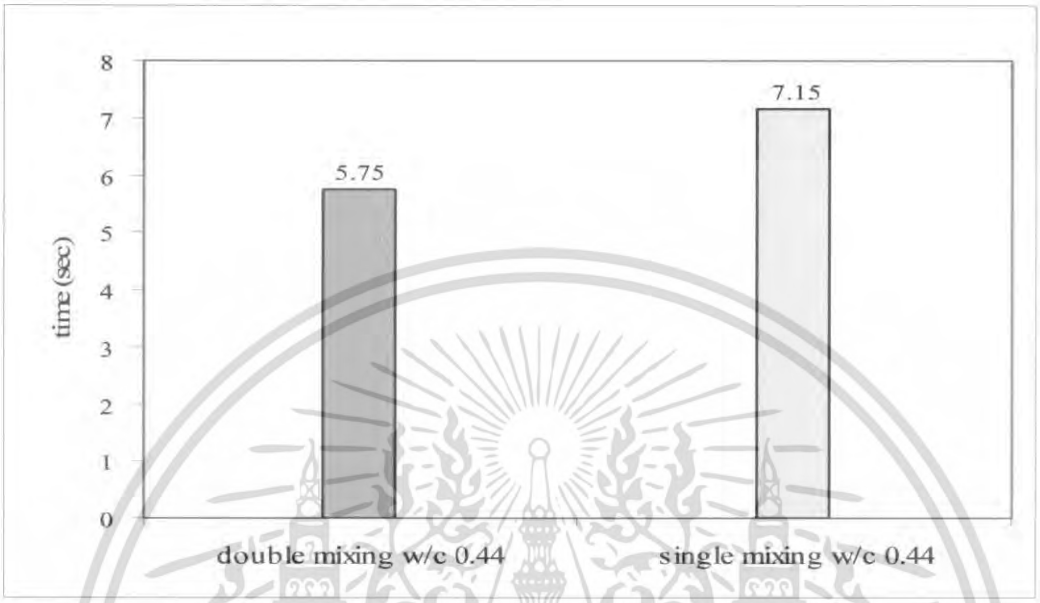
รูปที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเวลาของซีเมนต์มอร์ต้า

2) อัตราการคายน้ำของซีเมนต์มอร์ต้า ที่ให้ค่าน้อยที่สุดคือ double mixing w/c 0.40 รองลงมาคือ single mixing w/c 0.40 ; double mixing w/c 0.44 ; single mixing w/c 0.44 ตามลำดับ



รูปที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำกับเวลาของซีเมนต์มอร์ต้า

3) การไหลของซีเมนต์มอร์ต้า ที่มีระยะเวลาน้อยที่สุดคือ double mixing w/c 0.44รองลงมา คือ double mixing w/c 0.40 ตามลำดับ



รูปที่ 5.7 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลาการไหลตัวของซีเมนต์มอร์ต้า

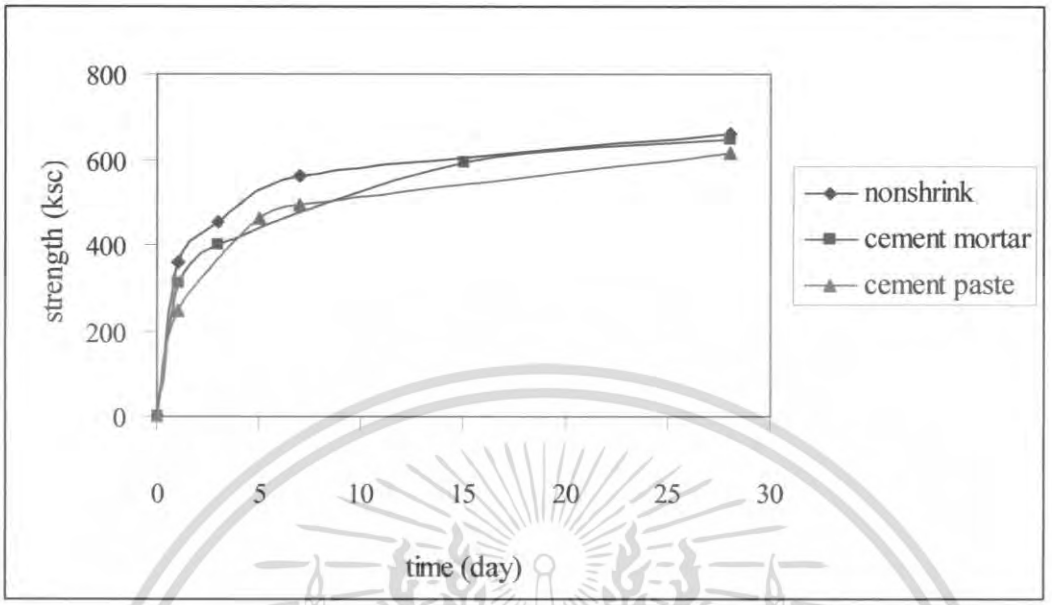
4) ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44% จะทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นได้ดีที่สุด ดังรูปที่ 5.4

จากผลการวิเคราะห์ ข้อ 1) ถึง ข้อ 4) ซีเมนต์มอร์ต้าที่มีคุณสมบัติดีที่สุดคือ การผสมโดยวิธี double mixing w/c 0.44 รองลงมาคือ double mixing w/c 0.40 เพราะฉะนั้น วัสดุประสานซีเมนต์มอร์ต้าที่มีความเหมาะสมที่สุดคือ cement mortar double mixing w/c 0.44

5.1.3 วิเคราะห์คุณสมบัติวัสดุประสานที่นำมาใช้ที่จุดรอยต่อ

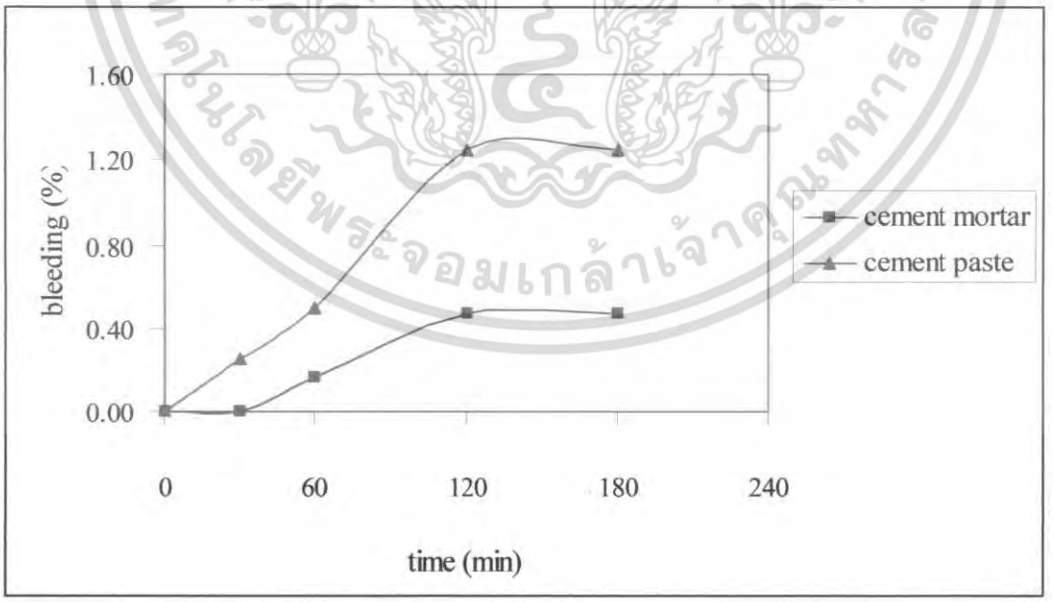
จากการวิเคราะห์คุณสมบัติซีเมนต์เพสท์และคุณสมบัติซีเมนต์มอร์ต้า ซึ่งได้ค่าคุณสมบัติวัสดุประสานที่เหมาะสม คือ cement paste double mixing w/c 0.44 และ cement mortar double mixing w/c 0.44 มาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติสารที่ไม่หดตัว (nonshrink) ดังนี้

1) จากการเปรียบเทียบสารที่มีคุณสมบัติการรับกำลังแรงอัดที่ระยะเวลา1 วัน โครงสร้างจะรับน้ำหนักของตัวเอง ที่ระยะเวลา 3 วัน โครงสร้างจะรับน้ำหนักของแผ่นพื้น และที่ระยะเวลา 28 วัน โครงสร้างจะรับน้ำหนักทั้งหมด คุณสมบัติของวัสดุประสานทั้ง 2 ชนิดที่ใกล้เคียงกับสาร nonshrink มากที่สุด คือ cement mortar double mixing - w/c 0.44



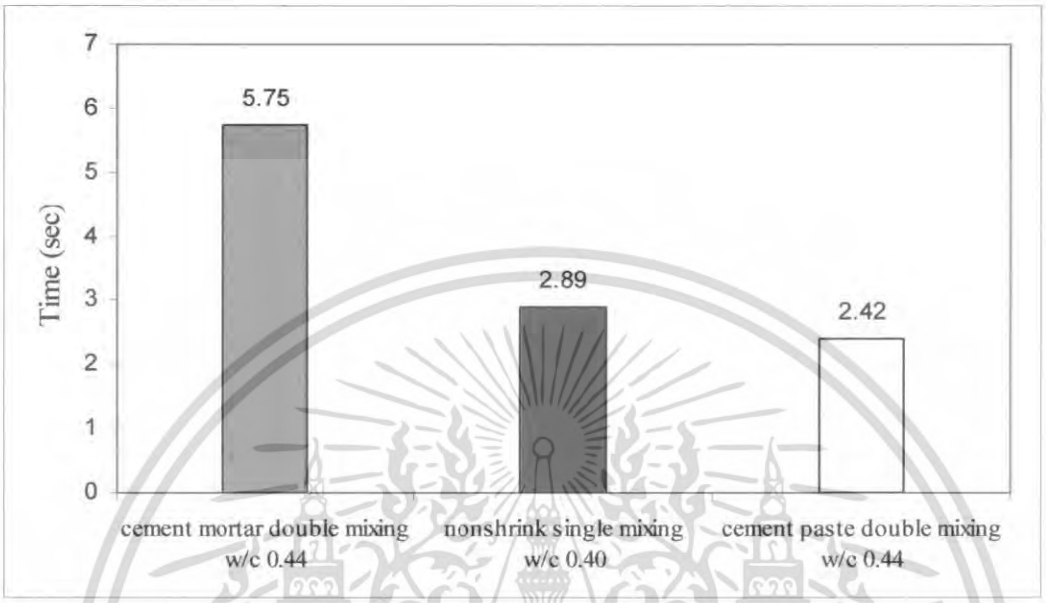
รูปที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเวลาของวัสดุประสาน

2) จากการเปรียบเทียบสารที่มีคุณสมบัติอัตราการคายน้ำน้อยที่สุดคือ cement mortar double mixing w/c 0.44



รูปที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำกับเวลาของวัสดุประสาน

3) จากการเปรียบเทียบสารที่มีคุณสมบัติการไหลดีที่สุดคือcement paste double mixing w/c 0.44



รูปที่ 5.10 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลาการไหลตัวของวัสดุประสาน

4) นอกจากการเปรียบเทียบสารคุณสมบัติของวัสดุประสานแล้ว ปัจจัยอีกอย่างหนึ่งคือ ต้นทุนการผลิต ซึ่งวัสดุประสานที่มีต้นทุนน้อยที่สุดคือ cement mortar double mixing w/c 0.44

จากผลการวิเคราะห์ข้อ 1) ถึง ข้อ 4) วัสดุประสานที่จะนำมาใช้เกร๊าท์ที่จุดรอยต่อ คือ cement mortar double mixing w/c 0.44

5.2 วิเคราะห์ความแข็งแรงของจุดรอยต่อโครงสร้าง

5.2.1 วิเคราะห์ผลการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของคอนกรีต

เนื่องจากผู้ออกแบบโครงสร้าง ได้ออกแบบค่ากำลังรับแรงอัดประลัย (fc') เท่ากับ 210 กก./ ตร.ซม. และ ค่าการยุบตัว (slump) เท่ากับ 8-10 ซม. ผู้ทดสอบจำเป็นต้องออกแบบส่วนผสมคอนกรีต(Concrete Mixed Design) ให้ได้ตามที่กำหนดเพราะว่าค่ากำลังรับแรงอัดประลัย (fc') จะมีผลต่อการทดสอบความแข็งแรงของจุดรอยต่อโครงสร้าง

จากผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้มีค่าเท่ากับ 214.37 กก./ ตร.ซม.ที่อายุ 28 วัน และได้ค่า slump เท่ากับ 9.5 ซม. ดังรูป ซึ่งได้ค่าตามที่ผู้ออกแบบโครงสร้างกำหนด

รูปที่ 5.11 แสดงการวัดค่าการยุบตัวของคอนกรีต

5.2.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบระยะการก่อตัวของจุดรอยต่อ

จากผลการทดสอบในช่วงระยะเวลาการถอดแบบที่ทำให้จุดรอยของโครงสร้างไม่เกิดการเสียรูปและได้ขนาดตามที่ต้องการ ระยะเวลาที่เหมาะสมในการถอดแบบคือ $2\frac{1}{2}$ - 3 ชั่วโมง

5.2.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบความแข็งแรงที่จุดรอยต่อโครงสร้างแบบเสาต่อเสา

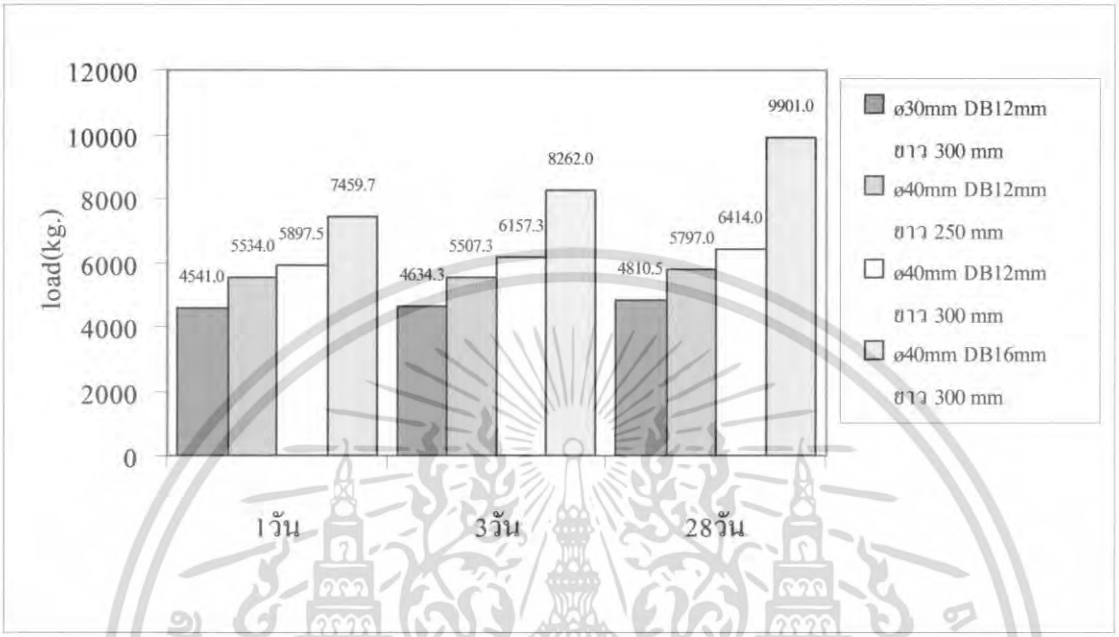
เกณฑ์ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงที่จุดรอยต่อโครงสร้างแบบเสาต่อเสาจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การพิจารณาขนาดท่อ(Grout Tube) ขนาดเหล็ก ความลึก ของจุดรอยต่อที่เหมาะสม และ การพิจารณาพฤติกรรมโครงสร้างที่รับน้ำหนักบรรทุก

1) การพิจารณาขนาดท่อ (Grout Tube) ขนาดเหล็ก ความลึก ของจุดรอยต่อที่เหมาะสม

จากผลการทดสอบแรงยึดเหนี่ยว การรับแรงกระทำที่มีค่าสูงสุดคือ ø 40 mm Dowel Bar 16 mm ยาว 300 mm. รองลงมา ø 40 mm Dowel Bar 12 mm ยาว 300 mm.; ø 40 mm Dowel Bar 12 mm ยาว 250 mm.; ø 30 mm Dowel Bar 12 mm ยาว 300 mm. ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าขนาดท่อ ขนาดเหล็ก ความลึก มีผลต่อการรับกำลังของจุดรอยต่อทั้งหมด

การพิจารณาขนาดท่อ(Grout Tube) ขนาดเหล็ก ความลึก ของจุดรอยต่อที่เหมาะสม จะพิจารณาการรับแรงกระทำ และ การดำเนินการก่อสร้าง โดยในด้านการก่อสร้างเหล็กที่เสริมคอนกรีตในคาน และ เสา ใช้เหล็กขนาด Dowel Bar 12 mm. เพียงอย่างเดียว จึงพิจารณาเลือกขนาดท่อ(Grout

Tube) ø 40 mm. Dowel Bar 12 mm. ยาว 300 mm. ในการทดสอบพฤติกรรมโครงสร้าง และ สะดวกในการดำเนินการก่อสร้าง



รูปที่ 5.12 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบการรับกำลังแรงดึงของจุดรอยต่อแบบเสาต่อเสา

2) การพิจารณาพฤติกรรมโครงสร้างที่รับน้ำหนักบรรทุก

การวิเคราะห์โครงสร้างที่จุดรอยต่อแบบเสาต่อเสา จะทำการวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้โปรแกรม STAAD.PRO. 2004 เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและแม่นยำ โดยจะทำการวิเคราะห์โครงสร้างตามระยะเวลาดังนี้

2.1) อายุวัสดุประสาน 1 วัน

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้าง คือน้ำหนักบรรทุกที่ของโครงสร้างคาน หลังจากการถอดการค้ำยันที่ 1 วัน โมเมนต์ดัดสูงสุดที่กระทำเท่ากับ 99.77 กก.-ม. ซึ่งจากผลการทดสอบโมเมนต์ดัดสูงสุดเท่ากับ 1193.07 กก.- ม.

2.2) อายุวัสดุประสาน 3 วัน

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้าง คือน้ำหนักบรรทุกที่ของโครงสร้างคาน และแผ่นสำเร็จรูปหลังจากประกอบโครงสร้างได้ 3 วัน โมเมนต์ดัดสูงสุดที่กระทำเท่ากับ 305.45 กก.-ม. ซึ่งจากผลการทดสอบโมเมนต์ดัดสูงสุดเท่ากับ 1193.07 กก.-ม.

2.3) อายุวัสดุประสาน 28 วัน

โครงสร้างประกอบได้ระยะเวลา 28 วัน โดยโครงสร้างได้ดำเนินการก่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างคือ น้ำหนักของโครงสร้าง (น้ำหนักบรรทุกคงที่) และมีการทำกิจกรรมของผู้อยู่อาศัย(น้ำหนักบรรทุกจร)โมเมนต์ดัดสูงสุดที่กระทำ เท่ากับ 494.10 กก.-ม. ซึ่งจากผลการทดสอบโมเมนต์ดัดสูงสุดเท่ากับ 1288.30 กก.-ม.

5.2.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบความแข็งแรงที่จุดรอยต่อโครงสร้างแบบเสาต่อคาน

เกณฑ์ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงที่จุดรอยต่อโครงสร้างแบบเสาต่อคานจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การพิจารณาพฤติกรรมโครงสร้างที่รับน้ำหนักบรรทุกและการพิจารณาขนาดท่อ (Grout Tube) ขนาดเหล็ก ความลึก ของจุดรอยต่อที่เหมาะสม

1) การพิจารณาพฤติกรรมโครงสร้างที่รับน้ำหนักบรรทุก

โครงสร้างแบบเสาต่อคาน ที่จุดรอยต่อระหว่างคานกับเสาเป็นลักษณะ คานพาดเดี่ยว (Simple Beam) ซึ่งพฤติกรรมของโครงสร้างจะต้องรับแรงดึงหรือแรงถอนที่จุดรอยต่อ การวิเคราะห์โครงสร้างจะทำการหาค่าการโก่งตัวที่จุดรอยต่อ เพื่อที่จะหาแรงดึงสูงสุดที่กระทำต่อจุดรอยต่อ

1.1) อายุวัสดุประสาน 1 วัน

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้าง คือ น้ำหนักบรรทุกคงที่ของโครงสร้างคาน หลังจากโครงสร้างประกอบได้ระยะเวลา 1 วัน การโก่งตัวที่จุดรอยต่อเท่ากับ 0.013 มม. แรงดึงกระทำสูงสุดที่จดรอยต่อเท่ากับ 25.20 กก.

1.2) อายุวัสดุประสาน 3 วัน

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้าง คือ น้ำหนักบรรทุกคงที่ของโครงสร้างคาน หลังจากโครงสร้างประกอบได้ระยะเวลา 3 วัน การโก่งตัวที่จุดรอยต่อเท่ากับ 0.042 มม. แรงดึงกระทำสูงสุดที่จดรอยต่อเท่ากับ 80.60 กก.

1.3)อายุวัสดุประสาน 28 วัน

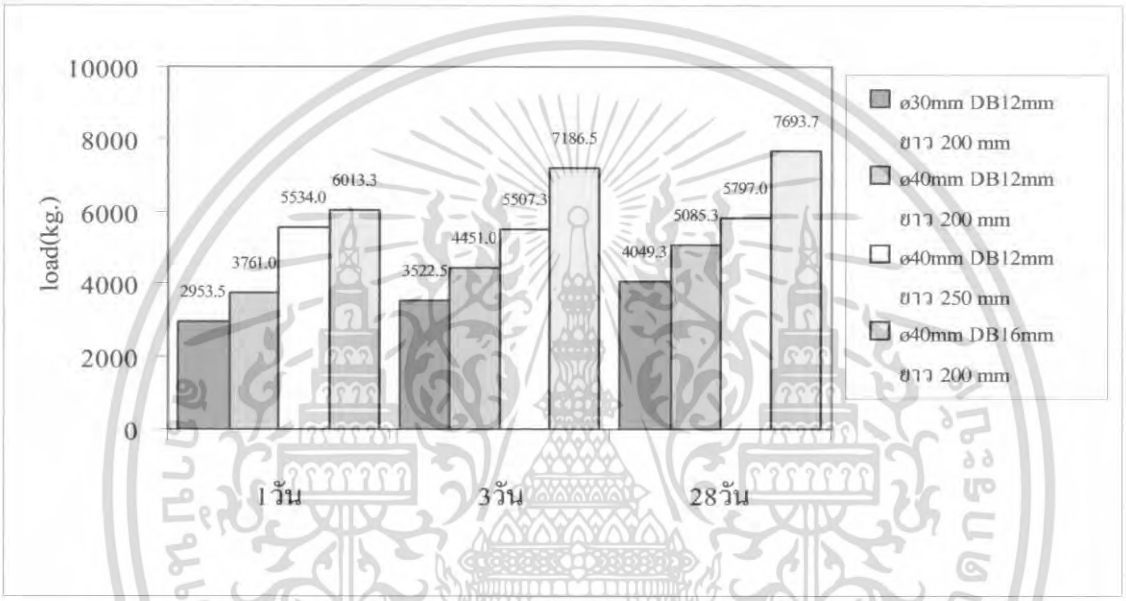
น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้าง คือ น้ำหนักของโครงสร้างทั้งหมด(น้ำหนักบรรทุกคงที่)และมีการทำกิจกรรมของผู้อยู่อาศัย(น้ำหนักบรรทุกจร)หลังจากโครงสร้างประกอบได้ระยะเวลา 28 วัน การโก่งตัวที่จุดรอยต่อเท่ากับ 0.078 มม. แรงดึงกระทำสูงสุดที่จดรอยต่อเท่ากับ 150.43 กก.

2) การพิจารณาขนาดท่อ (Grout Tube) ขนาดเหล็ก ความลึก ของจุดรอยต่อที่เหมาะสม

จากผลการทดสอบแรงยึดเหนี่ยว การรับแรงกระทำที่มีค่าสูงสุดคือ ø 40 mm Dowel Bar 16 mm ยาว 200 mm. รองลงมา ø 40 mm Dowel Bar 12 mm ยาว 250 mm.; ø 40 mm Dowel Bar

12 mm ยาว 200 mm.; ø 30 mm Dowel Bar 12 mm ยาว 200 mm. ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าขนาดท่อขนาดเหล็ก ความลึก มีผลต่อการรับกำลังของจุดรอยต่อทั้งหมด

หลังจากทำการวิเคราะห์โครงสร้างการรับน้ำหนักบรรทุกที่อายุวัสดุประสาน 1 ,3 , 28 วัน แรงดึงที่กระทำต่อจุดรอยต่อมีค่าน้อยมาก ซึ่งผลการทดสอบมีค่ามากทำให้การพิจารณาขนาดท่อ (Grout Tube) ขนาดเหล็ก ความลึก ที่เหมาะสม คือ ø 40 mm Dowel Bar 12 mm ยาว 200 mm. เพราะว่าขนาดท่อ ø 30 mm. มีขนาดเล็กเกินไปจึงไม่เหมาะสมในการทำงาน



รูปที่ 5.13 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบการรับกำลังแรงดึงของจุดรอยต่อแบบเสาต่อคาน

5.2.5 วิเคราะห์ผลการทดสอบความแข็งแรงที่จุดรอยต่อโครงสร้างแบบเสาต่อคานต่อเสา

การพิจารณาพฤติกรรม โครงสร้างที่รับน้ำหนักบรรทุก การวิเคราะห์โครงสร้างที่จุดรอยต่อแบบเสาต่อคานต่อเสา จะทำการวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้โปรแกรม STAAD.PRO.2004 เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง และ แม่นยำ โดยจะทำการวิเคราะห์โครงสร้างตามระยะเวลาดังนี้

1) อายุวัสดุประสาน 1 วัน

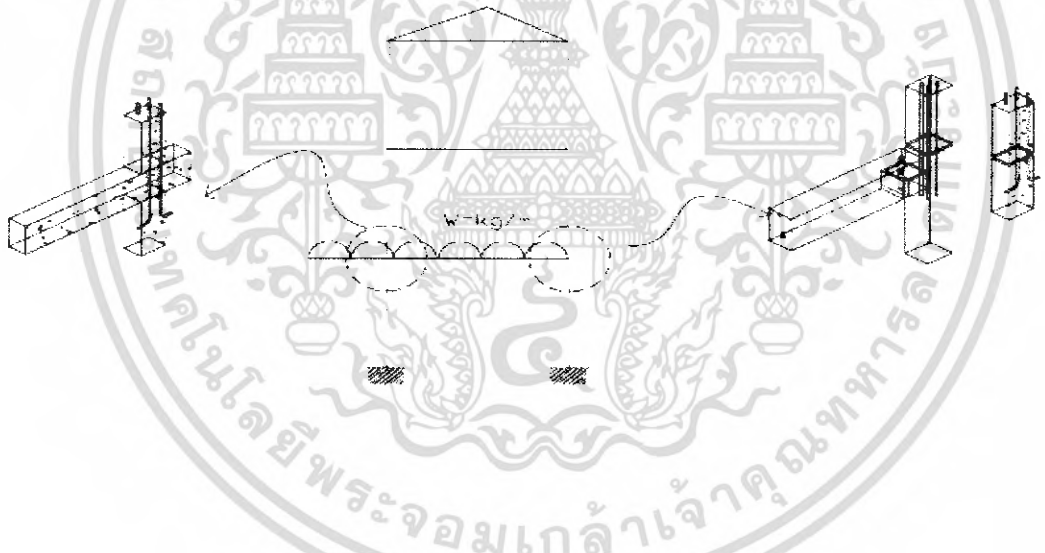
น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้าง คือน้ำหนักบรรทุกที่ของโครงสร้างคาน หลังจากการถอดการค้ำยันที่1วัน โมเมนต์ดัดสูงสุดที่กระทำ เท่ากับ 70.31 กก.-ม. ซึ่งจากผลการทดสอบโมเมนต์ดัดสูงสุดเท่ากับ 1562.76 กก.-ม.

2) อายุวัสดุประสาน 3 วัน

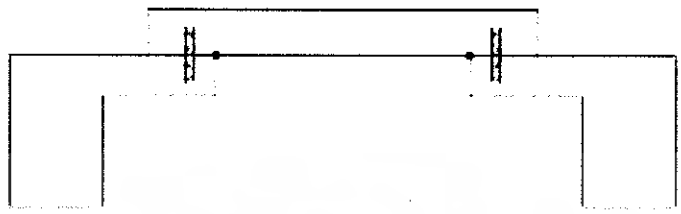
น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้าง คือน้ำหนักบรรทุกที่ของโครงสร้างคาน และแผ่นพื้นสำเร็จรูปหลังจากประกอบโครงสร้างได้ 3 วัน โมเมนต์ดัดสูงสุดที่กระทำ เท่ากับ 263.61 กก.-ม. ซึ่งจากผลการทดสอบโมเมนต์ดัดสูงสุดเท่ากับ1595.70 กก.-ม.

3) อายุวัสดุประสาน 28 วัน

โครงสร้างประกอบได้ระยะเวลา 28วัน โดยโครงสร้างได้ดำเนินการก่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างคือน้ำหนักของโครงสร้าง (น้ำหนักบรรทุกคงที่)และมีการทำกิจกรรมของผู้อยู่อาศัย (น้ำหนักบรรทุกจร) โมเมนต์ดัดสูงสุดที่กระทำ เท่ากับ 393.53 กก.-ม. ซึ่งจากผลการทดสอบโมเมนต์ดัดสูงสุดเท่ากับ 1901.47 กก.-ม.



รูปที่ 5.14 แสดงลักษณะจุดรอยต่อของโครงสร้าง



รูปที่ 5.15 แสดงลักษณะของคานพาดเดี่ยว (Simple Beam)

บทที่ 6
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุประสาน ได้แก่ ซีเมนต์เพสต์ และ ซีเมนต์มอร์ต้า โดยพิจารณาวัสดุประสานที่เหมาะสมแต่ละประเภท โดยมีการเปลี่ยนแปลงวิธีการผสมคือ single mixing และ double mixing และเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คือ 40 % และ 44 % ซึ่งจะได้วัสดุประสานที่เหมาะสมแต่ละประเภทคือ cement paste double mixing w/c 0.44 และ cement mortar double mixing w/c 0.44

หลังจากนั้นนำวัสดุประสานทั้ง 2 ชนิดมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของ nonshrink single mixing w/c 0.40 ซึ่งจะได้ว่าความสามารถในการรับกำลังแรงอัดใกล้เคียงกัน ความสามารถในการไหลของวัสดุประสานไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ราคาต้นทุนของวัสดุประสานของซีเมนต์มอร์ต้า มีราคาถูกกว่า ซีเมนต์เพสต์ และ nonshrink จึงทำให้ได้วัสดุประสานที่มีความเหมาะสมคือ cement mortar double mixing w/c 0.44

เมื่อนำวัสดุประสานคือ cement mortar double mixing w/c 0.44 มาเกร๊าท์ที่จุดรอยต่อของโครงสร้างเพื่อนำมาทดสอบพฤติกรรมของจุดรอยต่อโครงสร้างได้แก่ หน่วยแรงยึดเหนี่ยวโมเมนต์-ดัด หน่วยแรงเฉือน โดยวิธี Load Test จากผลการทดสอบของจุดรอยต่อสามารถรับกำลังได้

จึงสรุปได้ว่าการใช้ cement mortar double mixing w/c 0.44 มาเกร๊าท์ที่จุดรอยต่อซึ่งโครงสร้างมีลักษณะเป็นระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปโดยลักษณะจุดรอยต่อเป็นแบบเปียก สามารถนำไปดำเนินการก่อสร้างได้อย่างปลอดภัย

6.2 ข้อเสนอแนะ

1) ในการทดสอบพฤติกรรมโครงสร้างที่จุดรอยต่อจะนำเพียงแค่สาร เพียงอย่างเดียว ซึ่งอาจจะนำวัสดุประสานชนิดอื่นมาทดสอบพฤติกรรมของโครงสร้างเพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน
2) แรงที่กระทำของโครงสร้างนอกจาก ยังมีโมเมนต์บิดที่สามารถเกิดขึ้นได้ในโครงสร้าง ซึ่งเนื่องจากเครื่องทดสอบอยู่ซ่อมบำรุงทำให้ต้องยกเลิกในขณะทำการศึกษา

บรรณานุกรม

1. กิตติพงศ์ หมื่นราช และคณะ , 2543. การศึกษาและเปรียบเทียบระบบก่อสร้างบ้านคอนกรีตสำเร็จรูปในประเทศไทย. ปริญญานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
2. ศิริวัฒน์ ไชยชนะ, 2539 . วิเคราะห์โครงสร้าง . พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ เอส.เอส. บุ๊คส์เฮ้าส์.
3. ศิริวัฒน์ ไชยชนะ, 2542 . ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี .1000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ เอส.เอส. บุ๊คส์เฮ้าส์.
4. สิริศักดิ์ ปโยธรสิริ, 2544. กลศาตร์วัสดุ. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ ว. เพ็ชรสกุล.
5. อภิชาติ หวังคุณธรรม และคณะ , 2538. ข้อต่อระหว่างคานและเสาคอนกรีตสำเร็จรูป. ปริญญานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต , มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
6. วินิต ช่อวิเชียร , 2544. ทฤษฎีโครงสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ ป. สัมพันธ์พาณิชย์.
7. Ei-ichi Tazawa and Tetsurou Kasai, 1989."Double Mixing Effects of Fresh Cement Paste",Concrete Library of No.JSCE 13.

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติมวลรวม และ ตารางแสดงผลการทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีต

ตารางที่ ผ.ก.1. แสดงผลการทดสอบการหาส่วนขนาดคละของมวลรวมละเอียด

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

SIEVE ANALYSIS

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูป
โครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Concrete
SAMPLE : Strength 210 ksc.

SIEVE NO.	WT.SIEVE (g.)	WT.SIEVE SAMPLE (g.)	WT.SIEVE+ RETAINED (g.)	PERCENT RETAINED	CUMULATIVE PERCENT RETAINED	PERCENT FINER OF PASSING
1 1/2"	-	-	-	-	-	-
1"	-	-	-	-	-	-
3/4"	-	-	-	-	-	-
1/2"	-	-	-	-	-	-
3/8"	-	-	-	-	-	-
No.4	458.07	471.71	13.64	1.37	1.37	98.63
No.8	699.66	806.27	106.61	10.68	12.05	87.95
No.16	655.58	874.87	219.29	21.97	34.02	65.98
No.30	601.81	935.44	333.63	33.43	67.45	32.55
No.50	540.11	779.6	239.49	23.99	91.44	8.56
No.100	523.09	593.58	70.49	7.06	98.5	1.5
Pan	378.32	393.28	14.96	1.5	-	-

ERROR (ORIGINAL WT.- TOTAL WT. RETAINED) = 1.89 g.
PERCENT ERROR = 0.19%
FINENESS MODULUS = 3.00

ตารางที่ ผ.ก.2. แสดงผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมละเอียด

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

SPECIFIC GRAVITY AND ABSORPTION OF FINE AGGREGATE

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูป
โครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Concrete
SAMPLE : Strength 210 ksc.

น้ำหนักอิ่มตัวผิวแห้ง (B)	g.	495.20
น้ำหนักในน้ำ (W_c)	g.	690.70
น้ำหนักอบแห้ง (A)	g.	490.00
น้ำหนักทราย+ขวดชมพู่+น้ำ (W)	g.	997.20
น้ำหนักขวดชมพู่	g.	187.70
ถ่วงจำเพาะสภาพแห้ง A / (W_c+B-W)		2.60
ถ่วงจำเพาะอิ่มตัวผิวแห้ง B / (W_c+B-W)		2.62
ถ่วงจำเพาะแท้จริง A / (W_c+A-B)		2.67
อัตราดูดซึม	%	1.67

ตารางที่ ผ.ก.3. แสดงผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบ

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

SPECIFIC GRAVITY AND ABSORPTION OF COARSE AGGREGATE

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูป
โครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Concrete
SAMPLE : Strength 210 ksc.

น้ำหนักอิ่มตัวผิวแห้ง (B)	g.	2726.00
น้ำหนักในน้ำ (C)	g.	1725.00
น้ำหนักอบแห้ง (A)	g.	2709.00
ถ่วงจำเพาะสภาพแห้ง A / (B-C)		2.71
ถ่วงจำเพาะอิ่มตัวผิวแห้ง B / (B-C)		2.72
ถ่วงจำเพาะแท้จริง A / (A-C)		2.75
อัตราดูดซึม	%	0.63

ตารางที่ ผ.ก.4. แสดงผลการทดสอบปริมาณความชื้นของมวลรวมละเอียด

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG

MOISTURE CONTENT OF FINE AGGREGATE

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูป
โครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Concrete
SAMPLE : Strength 210 ksc.

TRAIL NO.		1	2	3
W_t. OF SAMPLE BEFORE DRYING	(g.)	109.33	110.89	114.27
W_t. OF SAMPLE AFTER DRYING	(g.)	106.07	107.05	109.23
MOISTURE CONTENT	%	3.07	3.59	4.61
AVERAGE MOISTURE CONTENT	%		3.76	

ตารางที่ ผ.ก.5. แสดงผลการทดสอบปริมาณความชื้นของมวลรวมหยาบ

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG

MOISTURE CONTENT OF COARSE AGGREGATE

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูป
โครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Concrete
SAMPLE : Strength 210 ksc.

TRAIL NO.		1	2	3
W_t. OF SAMPLE BEFORE DRYING	(g.)	133.05	139.44	178.99
W_t. OF SAMPLE AFTER DRYING	(g.)	132.70	138.84	178.42
MOISTURE CONTENT	%	0.26	0.42	0.32
AVERAGE MOISTURE CONTENT	%		0.33	

ตารางที่ ผ.ก.6. แสดงผลการทดสอบหน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG

UNIT WEIGHT OF COARSE AGGREGATE

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูป
โครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Concrete
SAMPLE : Strength 210 ksc.

TRAIL NO.			1	2	RMKS
VOLUME OF CONTAINER	(m.')	, V	0.003	0.003	
W_t. OF SAMPLE + CONTAINER (kg.)			7.738	7.896	
W_t. OF CONTAINER	(kg.)		2.899	2.899	
W_t. OF SAMPLE	(kg.)	,W_s	4.839	4.997	
UNIT WEIGHT	(kg./m.')	,R_s	1613.00	1665.67	
AVERAGE UNIT WEIGHT	(kg./m.')		1640		

ตารางที่ ผ.ก.7. แสดงผลการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของคอนกรีต

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKLABANG

COMPRESSIVE

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Concrete
SAMPLE : Strength 210 ksc.
SIZE : Cylinder

No.	DIAMETER	CROSS SEC AREA	HIEGHT	WEIGHT	CASTING	TESTING	AGES	LOAD	STRENGTH	AVEG.	REMARKS
	cm.	$cm.^2$	cm.	kg.	date	date	day	KN.	ksc.	ksc.	
1	14.775	171.45	30.00	12.32	7/11/2005	7/12/2005	1	145.00	86.21		slump 9.5 cm.
2	14.772	171.38	30.01	12.18	7/11/2005	7/12/2005	1	131.60	78.28	**86.22**	
3	14.772	171.38	30.00	12.25	7/11/2005	7/12/2005	1	158.30	94.16		
4	14.750	170.87	29.80	12.22	7/11/2005	18/7/2005	7	244.60	145.92		
5	14.782	171.62	29.70	12.17	7/11/2005	18/7/2005	7	215.30	127.88	**143.81**	
6	14.830	172.73	29.60	12.31	7/11/2005	18/7/2005	7	267.20	157.64		
7	14.758	171.05	29.10	12.29	7/11/2005	26/7/2005	15	307.90	183.49		
8	14.770	171.34	30.01	12.39	7/11/2005	26/7/2005	15	343.90	204.60	**197.36**	
9	14.802	172.09	29.50	12.33	7/11/2005	26/7/2005	15	344.40	204.00		
10	14.818	172.44	29.00	12.56	7/11/2005	8/8/2005	28	350.50	207.20		
11	14.835	172.85	29.00	12.51	7/11/2005	8/8/2005	28	366.40	216.08	**214.37**	
12	14.885	174.02	30.00	12.83	7/11/2005	8/8/2005	28	360.20	211.00		

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงผลการทดสอบวัสดุประสาน

ตารางที่ ผ.ข.1.แสดงผลการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของซีเมนต์เพสท์โดยวิธี single mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40%

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKLABANG

COMPRESSIVE

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Grout
SAMPLE : cement paste single mixing w/c 0.40
SIZE : cube 5×5×5 cm.^{3}

No.	CROSS SEC AREA cm.^{2}	HIEGHT cm.	WEIGHT kg.	CASTING date	TESTING date	AGES day	LOAD KN.	STRENGTH ksc.	AVEG. ksc.	REMARKS
1	5.08×5.14	5.11	0.250	22/7/2005	23/7/2005	1	77.00	300.60		
2	5.08×5.08	5.01	0.240	22/7/2005	23/7/2005	1	70.90	280.06	**289.71**	
3	5.05×5.08	5.05	0.250	22/7/2005	23/7/2005	1	72.60	288.48		
4	5.00×5.06	5.05	0.252	22/7/2005	25/7/2005	3	120.20	484.30		
5	5.02×5.00	5.05	0.252	22/7/2005	25/7/2005	3	98.90	401.66	**482.13**	
6	5.04×5.04	4.99	0.248	22/7/2005	25/7/2005	3	119.60	479.96		
7	5.09×5.02	5.03	0.251	22/7/2005	29/7/2005	7	118.50	472.75		
8	5.07×5.05	4.99	0.255	22/7/2005	29/7/2005	7	129.90	517.18	**562.56**	
9	5.11×5.10	5.00	0.253	22/7/2005	29/7/2005	7	152.70	607.95		
10	5.11×4.77	5.07	0.265	22/7/2005	19/8/2005	28	136.80	572.11		
11	5.07×5.04	5.08	0.260	22/7/2005	19/8/2005	28	172.90	689.74	**686.84**	
12	5.01×5.05	4.99	0.262	22/7/2005	19/8/2005	28	170.50	686.95		

ตารางที่ ผ.ข.2. แสดงผลการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของซีเมนต์เพสท์โดยวิธี single mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKLABANG

COMPRESSIVE

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Grout

SAMPLE : cement paste single mixing w/c 0.44

SIZE : cube 5×5×5 $cm.^3$

No.	CROSS SEC AREA	HIEGHT	WEIGHT	CASTING	TESTING	AGES	LOAD	STRENGTH	AVEG.	REMARKS
	$cm.^2$	cm.	kg.	date	date	day	KN.	ksc.	ksc.	
1	5.02×4.96	5.00	0.237	8/8/2005	9/8/2005	1	70.50	288.63		
2	5.02×4.96	4.98	0.232	8/8/2005	9/8/2005	1	53.50	219.03	**244.93**	
3	5.04×4.96	4.98	0.232	8/8/2005	9/8/2005	1	55.70	227.13		
4	5.03×4.99	5.01	0.242	8/8/2005	13/8/2005	5	110.20	447.65		
5	5.00×4.93	5.02	0.235	8/8/2005	13/8/2005	5	103.30	427.06	**466.17**	
6	5.01×4.95	5.00	0.244	8/8/2005	13/8/2005	5	127.40	523.80		
7	4.99×4.94	5.00	0.239	8/8/2005	15/8/2005	7	107.10	443.03		
8	4.81×5.01	5.01	0.236	8/8/2005	15/8/2005	7	122.30	517.51	**502.63**	
9	4.95×5.01	4.97	0.240	8/8/2005	15/8/2005	7	118.70	487.75		
10	5.03×4.95	4.96	0.242	8/8/2005	5/9/2005	28	125.10	512.17		
11	4.97×5.00	4.99	0.239	8/8/2005	5/9/2005	28	138.80	569.37	**540.77**	
12	5.05×4.96	5.04	0.244	8/8/2005	5/9/2005	28	117.30	477.37		

ตารางที่ ผ.ข.3. แสดงผลการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของซีเมนต์เพสท์โดยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40%

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKLABANG

COMPRESSIVE

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Grout

SAMPLE : cement paste double mixing w/c 0.40

SIZE : cube 5×5×5 $cm.^3$

No.	CROSS SEC AREA	HIEGHT	WEIGHT	CASTING	TESTING	AGES	LOAD	STRENGTH	AVEG.	REMARKS
	$cm.^2$	cm.	kg.	date	date	day	KN.	ksc.	ksc.	
1	5.03×5.07	5.01	0.250	12/7/2005	13/7/2005	1	80.70	322.57		
2	5.03×5.01	5.09	0.250	12/7/2005	13/7/2005	1	76.30	308.64	312.13	
3	5.10×5.03	5.03	0.250	12/7/2005	13/7/2005	1	76.80	305.18		
4	5.04×5.07	5.10	0.255	12/7/2005	15/7/2005	3	70.80	282.89		
5	5.04×5.04	5.14	0.252	12/7/2005	15/7/2005	3	80.80	324.12	343.66	
6	5.03×5.08	5.10	0.259	12/7/2005	15/7/2005	3	90.80	363.20		
7	5.03×5.00	5.00	0.245	22/7/2005	1/8/2005	10	153.80	623.38		
8	5.04×5.05	5.03	0.249	22/7/2005	1/8/2005	10	153.10	613.17	642.69	
9	5.03×4.90	5.03	0.246	22/7/2005	1/8/2005	10	167.20	691.52		
10	5.03×5.01	5.02	0.255	22/7/2005	19/8/2005	28	198.40	802.54		
11	5.02×5.01	5.00	0.255	22/7/2005	19/8/2005	28	184.10	746.18	770.80	
12	4.92×5.00	5.09	0.255	22/7/2005	19/8/2005	28	184.30	763.69		

ตารางที่ ผ.ข.4. แสดงผลการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของซีเมนต์เพสท์โดยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKLABANG

COMPRESSIVE

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Grout

SAMPLE : cement paste double mixing w/c 0.44

SIZE : cube 5×5×5 $cm.^3$

No.	CROSS SEC AREA	HIEGHT	WEIGHT	CASTING	TESTING	AGES	LOAD	STRENGTH	AVEG.	REMARKS
	$cm.^2$	cm.	kg.	date	date	day	KN.	ksc.	ksc.	
1	4.96×5.05	5.04	0.240	14/7/2005	14/7/2005	1	61.20	249.06		
2	5.03×5.03	5.03	0.240	14/7/2005	14/7/2005	1	58.40	235.29	**248.57**	
3	4.86×5.04	5.02	0.230	14/7/2005	14/7/2005	1	62.80	261.35		
4	4.90×5.02	4.98	0.234	14/7/2005	18/7/2005	5	109.20	452.54		
5	5.00×5.01	5.04	0.243	14/7/2005	18/7/2005	5	114.80	467.16	**461.86**	
6	5.01×5.04	5.03	0.237	14/7/2005	18/7/2005	5	115.40	465.87		
7	4.94×5.05	5.03	0.240	22/7/2005	29/7/2005	7	121.80	497.69		
8	4.90×5.05	5.08	0.240	22/7/2005	29/7/2005	7	117.60	444.82	**496.50**	
9	4.84×5.06	5.04	0.241	22/7/2005	29/7/2005	7	119.00	495.32		
10	4.60×5.04	5.17	0.230	22/7/2005	19/8/2005	28	101.70	447.16		
11	5.05×5.07	5.04	0.245	22/7/2005	19/8/2005	28	155.80	620.30	**613.72**	
12	4.85×5.03	5.13	0.245	22/7/2005	19/8/2005	28	145.30	607.14		

ตารางที่ ผ.ข.5. แสดงผลการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธี single mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์40%

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKLABANG

COMPRESSIVE

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Grout

SAMPLE : cement mortar single mixing w/c 0.40

SIZE : cube 5×5×5 cm.^{3}

No.	CROSS SEC AREA	HIEGHT	WEIGHT	CASTING	TESTING	AGES	LOAD	STRENGTH	AVEG.	REMARKS
	cm.^{2}	cm.	kg.	date	date	day	KN.	ksc.	ksc.	
1	5.13×5.15	5.00	0.283	25/7/2005	26/7/2005	1	81.30	313.69		
2	5.15×5.18	5.03	0.288	25/7/2005	26/7/2005	1	85.00	324.80	**312.25**	
3	5.09×5.15	5.14	0.283	25/7/2005	26/7/2005	1	76.70	298.26		
4	5.14×5.15	5.03	0.284	25/7/2005	28/7/2005	3	119.70	460.95		
5	5.07×5.08	5.04	0.279	25/7/2005	28/7/2005	3	123.60	489.19	**470.91**	
6	5.10×5.12	5.08	0.285	25/7/2005	28/7/2005	3	118.50	462.60		
7	5.10×5.17	5.13	0.293	25/7/2005	1/8/2005	7	155.10	599.63		
8	5.04×5.12	5.16	0.293	25/7/2005	1/8/2005	7	137.50	543.17	**576.02**	
9	5.05×5.17	5.13	0.288	25/7/2005	1/8/2005	7	149.90	585.26		
10	5.09×5.13	5.01	0.289	25/7/2005	22/8/2005	28	192.40	751.11		
11	5.10×5.16	5.03	0.289	25/7/2005	22/8/2005	28	183.40	710.41	**703.45**	
12	5.02×5.02	5.03	0.281	25/7/2005	22/8/2005	28	160.40	648.83		

ตารางที่ ผ.ช.6. แสดงผลการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธี single mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKLABANG

COMPRESSIVE

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Grout

SAMPLE : cement mortar single mixing w/c 0.44

SIZE : cube 5×5×5 $cm.^3$

No.	CROSS SEC AREA	HIEGHT	WEIGHT	CASTING	TESTING	AGES	LOAD	STRENGTH	AVEG.	REMARKS
	$cm.^2$	cm.	kg.	date	date	day	KN.	ksc.	ksc.	
1	5.01×5.06	5.00	0.265	8/8/2005	9/8/2005	1	66.60	267.80		
2	5.01×5.04	4.98	0.263	8/8/2005	9/8/2005	1	68.40	276.13	273.24	
3	4.96×5.00	5.06	0.261	8/8/2005	9/8/2005	1	67.10	275.80		
4	5.06×5.16	5.01	0.278	25/8/2005	28/7/2005	3	113.20	441.95		
5	5.12×5.04	5.03	0.276	25/8/2005	28/7/2005	3	117.60	464.56	445.71	
6	5.18×5.10	5.14	0.284	25/8/2005	28/7/2005	3	111.60	430.62		
7	5.06×5.14	5.08	0.282	25/8/2005	1/8/2005	7	141.10	553.02		
8	5.16×5.05	5.00	0.274	25/8/2005	1/8/2005	7	136.80	535.15	530.14	
9	5.06×5.07	5.07	0.282	25/8/2005	1/8/2005	7	126.40	502.25		
10	5.06×5.04	5.00	0.271	8/8/2005	5/9/2005	28	111.90	447.28		
11	5.02×5.04	5.00	0.269	8/8/2005	5/9/2005	28	153.00	616.44	600.96	
12	4.99×5.00	5.00	0.268	8/8/2005	5/9/2005	28	143.30	585.47		

หน้า 7

ตารางที่ ผ.ข.7. แสดงผลการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์40%

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKLABANG

COMPRESSIVE

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Grout

SAMPLE : cement mortar double mixing w/c 0.40

SIZE : cube 5×5×5 cm.^{3}

No.	CROSS SEC AREA	HIEGHT	WEIGHT	CASTING	TESTING	AGES	LOAD	STRENGTH	AVEG.	REMARKS
	cm.^{2}	cm.	kg.	date	date	day	KN.	ksc.	ksc.	
1	5.14×5.08	5.06	0.284	24/7/2005	25/7/2005	1	97.50	380.64		
2	5.22×5.02	5.05	0.284	24/7/2005	25/7/2005	1	95.80	372.67	**384.05**	
3	5.01×5.02	5.01	0.276	24/7/2005	25/7/2005	1	98.40	398.83		
4	5.06×5.26	5.02	0.285	24/7/2005	27/7/2005	3	104.20	399.08		
5	5.02×5.04	5.06	0.285	24/7/2005	27/7/2005	3	108.20	435.94	**430.23**	
6	5.03×5.11	5.09	0.283	24/7/2005	27/7/2005	3	114.90	455.68		
7	5.12×5.03	5.01	0.285	24/7/2005	1/8/2005	8	146.90	581.45		
8	5.03×5.07	5.04	0.284	24/7/2005	1/8/2005	8	163.80	654.74	**601.63**	
9	5.04×5.10	5.12	0.288	24/7/2005	1/8/2005	8	143.40	568.70		
10	5.04×5.05	5.03	0.286	24/7/2005	21/8/2005	28	183.80	736.13		
11	5.14×5.00	5.04	0.289	24/7/2005	21/8/2005	28	169.60	672.70	**710.22**	
12	5.09×5.03	5.01	0.286	24/7/2005	21/8/2005	28	181.30	721.84		

ตารางที่ ผ.ข.8. แสดงผลการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKLABANG

COMPRESSIVE

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Grout

SAMPLE : cement mortar double mixing w/c 0.44

SIZE : cube 5×5×5 cm.^{3}

No.	CROSS SEC AREA	HIEGHT	WEIGHT	CASTING	TESTING	AGES	LOAD	STRENGTH	AVEG.	REMARKS
	cm.^{2}	cm.	kg.	date	date	day	KN.	ksc.	ksc.	
1	5.08×5.12	5.02	0.278	24/7/2005	25/7/2005	1	79.90	313.14		
2	5.03×5.16	5.00	0.275	24/7/2005	25/7/2005	1	79.30	311.45	**308.41**	
3	5.03×5.17	5.07	0.28	24/7/2005	25/7/2005	1	76.70	300.65		
4	5.04×5.09	5.04	0.284	24/7/2005	27/7/2005	3	99.80	396.56		
5	5.07×5.10	5.01	0.279	24/7/2005	27/7/2005	3	98.60	388.71	**399.12**	
6	5.04×5.07	5.04	0.277	24/7/2005	27/7/2005	3	103.30	412.09		
7	5.10×5.22	5.12	0.293	24/7/2005	8/8/2005	15	152.60	584.31		
8	5.14×5.04	5.04	0.285	24/7/2005	8/8/2005	15	144.00	566.63	**593.22**	
9	5.12×5.13	5.00	0.283	24/7/2005	8/8/2005	15	162.00	628.72		
10	5.09×5.00	4.99	0.282	24/7/2005	21/8/2005	28	165.00	660.89		
11	5.03×5.27	5.05	0.286	24/7/2005	21/8/2005	28	168.70	648.74	**647.49**	
12	5.12×5.15	5.09	0.285	24/7/2005	21/8/2005	28	163.70	632.85		

ตารางที่ ผ.ข.9. แสดงผลการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของสารที่ไม่หดตัวโดยวิธี single mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์40%

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKLABANG

COMPRESSIVE

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Grout

SAMPLE : nonshrink single mixing w/c 0.40

SIZE : cube 5×5×5 cm.^{3}

No.	CROSS SEC AREA	HIEGHT	WEIGHT	CASTING	TESTING	AGES	LOAD	STRENGTH	AVEG.	REMARKS
	cm.^{2}	cm.	kg.	date	date	day	KN.	ksc.	ksc.	
1	5.11×5.03	5.02	0.276	8/8/2005	9/8/2005	1	93.20	369.33		
2	5.07×5.11	5.14	0.273	8/8/2005	9/8/2005	1	89.80	353.33	**357.37**	
3	5.00×5.00	5.11	0.275	8/8/2005	9/8/2005	1	85.70	349.44		
4	5.01×5.09	5.09	0.282	25/8/2005	28/7/2005	3	114.60	458.10		
5	5.09×5.09	5.09	0.283	25/8/2005	28/7/2005	3	114.50	450.51	**454.3**	
6	5.05×5.11	5.11	0.283	25/8/2005	28/7/2005	3	104.00	410.82		
7	5.02×5.04	5.05	0.284	25/8/2005	1/8/2005	7	137.70	554.79		
8	5.07×5.09	5.01	0.281	25/8/2005	1/8/2005	7	154.50	610.29	**563.27**	
9	5.00×5.01	5.07	0.283	25/8/2005	1/8/2005	7	140.50	571.74		
10	5.00×5.00	5.2	0.282	8/8/2005	5/9/2005	28	154.60	630.38		
11	5.00×5.04	5.03	0.285	8/8/2005	5/9/2005	28	164.30	664.61	**659.63**	
12	5.00×5.02	5.06	0.279	8/8/2005	5/9/2005	28	168.40	683.91		

ตารางที่ ผ.ข.10. แสดงผลการทดสอบอัตราการคายน้ำของซีเมนต์เพสท์โดยวิธี single mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40%

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

BLEEDING OF FRESH CEMENT PASTE TEST

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Grout

SAMPLE : cement paste single mixing w/c 0.40

TEMPERATURE : 29.0 °C

DATA :

Type of mixing water : SM

W/C Ratio(%) : 40

Mixing Time(min.) : 4

W_1 of Cement(g.) : 2000

V_w (cc.) : 400

W_1 of Water, W(g.) : 800

Time	1				2				3				% AVEG.
	V_c =	840	V_o =	440	V_c =	830	V_o =	430	V_c =	-	V_o =	-	
	V_1	V_2	V_2-V_1	%	V_1	V_2	V_2-V_1	%	V_1	V_2	V_2-V_1	%	
30	835	840	5	1.49	830	830	0	0.00	-	-	-	-	**0.74**
60	835	840	5	1.49	825	830	5	1.51	-	-	-	-	**1.50**
120	835	840	5	1.49	825	830	5	1.51	-	-	-	-	**1.50**
180	835	840	5	1.49	825	830	5	1.51	-	-	-	-	**1.50**

ตารางที่ ผ.ข.11.แสดงผลการทดสอบอัตราการคายน้ำของซีเมนต์เพสท์โดยวิธี single mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

BLEEDING OF FRESH CEMENT PASTE TEST

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Grout

SAMPLE : cement paste single mixing w/c 0.44

TEMPERATURE : 22.0 ℃

DATA :

Type of mixing water : SM

W/C Ratio(%) : 44

Mixing Time(min.) : 4

W_t of Cement(g.) : 1500

V_w (cc.) : 400

W_t of Water, W(g.) : 660

Time	1				2				3				% AVEG.
	V_c =	780	V_o =	380	V_c =	792	V_o =	392	V_c =	-	V_o =	-	
	V_1	V_2	V_2-V_1	%	V_1	V_2	V_2-V_1	%	V_1	V_2	V_2-V_1	%	
30	782	778	4	1.05	792	789	3	0.77	-	-	-	-	**0.91**
60	782	775	7	1.84	792	785	7	1.79	-	-	-	-	**1.81**
120	782	772	10	2.63	792	785	7	1.79	-	-	-	-	**2.21**
180	782	772	10	2.63	792	785	7	1.79	-	-	-	-	**2.21**

ผ 12

ตารางที่ ผ.ข.12. แสดงผลการทดสอบอัตราการคายน้ำของซีเมนต์เพสท์โดยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40%

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

BLEEDING OF FRESH CEMENT PASTE TEST

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Grout SAMPLE :cement paste double mixing w/c 0.40

TEMPERATURE : 30.5 °C

DATA :

Type of mixing water(SM or DM) : DM Mixing Time(min.) : 4

W/C Ratio(%) : 40 t_1(min.) : 1.5

W_1/C Ratio(%) : 25 t_2(min.) : 2

W_t of Cement(g.) : 2000 V_w (cc.) : 400

W_t of Water, W_1(g.) : 500

Time	1				2				3				% AVEG.
	V_c =	845	V_o =	445	V_c =	840	V_o =	440	V_c =	-	V_o =	-	
	V_1	V_2	V_2-V_1	%	V_1	V_2	V_2-V_1	%	V_1	V_2	V_2-V_1	%	
30	842	842	0	0.00	838	840	2	0.60	-	-	-	-	**0.30**
60	840	842	2	0.59	836	840	4	1.19	-	-	-	-	**0.89**
120	840	842	2	0.59	836	840	4	1.19	-	-	-	-	**0.89**
180	840	840	0	0.00	838	838	0	0.00	-	-	-	-	**0.00**

ตารางที่ ผ.ข.13. แสดงผลการทดสอบอัตราการคายน้ำของซีเมนต์เพสท์โดยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

BLEEDING OF FRESH CEMENT PASTE TEST

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Grout

SAMPLE :cement paste double mixing w/c 0.44

TEMPERATURE : 22.0 °C

DATA :

Type of mixing water(SM or DM) : DM

W/C Ratio(%) : 44

W_1/C Ratio(%) : 25

W_t of Cement(g.) : 1500

W_t of Water, W_1(g.) : 375

Mixing Time(min.) : 4

t_1(min.) : 1.5

t_2(min.) : 2

V_w (cc.) : 400

Time	1				2				3				% AVEG.
	V_c =	800	V_o =	400	V_c =	800	V_o =	400	V_c =	-	V_o =	-	
	V_1	V_2	V_2-V_1	%	V_1	V_2	V_2-V_1	%	V_1	V_2	V_2-V_1	%	
30	800	799	1	0.25	800	799	1	0.25	-	-	-	-	**0.25**
60	800	798	2	0.50	800	798	2	0.50	-	-	-	-	**0.50**
120	800	795	5	1.25	800	795	5	1.25	-	-	-	-	**1.25**
180	800	795	5	1.25	800	795	5	1.25	-	-	-	-	**1.25**

ตารางที่ ผ.ข.14. แสดงผลการทดสอบอัตราการคายน้ำของซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธี single mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40%

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

BLEEDING OF FRESH CEMENT MORTAR TEST

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Grout

SAMPLE : cement mortar single mixing w/c 0.40

TEMPERATURE : 29.0 °C

DATA :

Type of mixing water : SM

W/C Ratio(%) : 40

Mixing Time(min.) : 4

W_t of Cement(g.) : 2000

V_w (cc.) : 400

W_t of Water, W(g.) : 800

Time	1				2				3				% AVEG.
	V_c =	835	V_o =	435	V_c =	830	V_o =	430	V_c =	830	V_o =	430	
	V_1	V_2	V_2-V_1	%	V_1	V_2	V_2-V_1	%	V_1	V_2	V_2-V_1	%	
30	836	835	1	0.23	831	830	1	0.23	830	830	0	0.00	**0.15**
60	837	835	2	0.46	837	835	2	0.46	831	830	1	0.23	**0.38**
120	837	835	2	0.46	837	835	2	0.46	837	835	2	0.46	**0.46**
180	837	835	2	0.46	842	840	2	0.46	837	835	2	0.46	**0.46**

ตารางที่ ผ.ข.15. แสดงผลการทดสอบอัตราการคายน้ำของซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธี single mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

BLEEDING OF FRESH CEMENT MORTAR TEST

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Grout

SAMPLE : cement mortar single mixing w/c 0.44

TEMPERATURE : 29.5 °C

DATA :

Type of mixing water : SM

W/C Ratio(%) : 44

Mixing Time(min.) : 4

W_t of Cement(g.) : 1500

V_w (cc.) : 400

W_t of Water, W(g.) : 660

Time	1				2				3				% AVEG.
	V_c =	888	V_o =	488	V_c =	858	V_o =	458	V_c =	860	V_o =	460	
	V_1	V_2	V_2-V_1	%	V_1	V_2	V_2-V_1	%	V_1	V_2	V_2-V_1	%	
30	866	888	2	0.23	856	858	2	0.23	858	860	2	0.23	**0.23**
60	880	888	8	0.90	854	858	4	0.47	856	860	4	0.47	**0.61**
120	880	890	10	1.13	852	858	6	0.70	855	860	5	0.58	**0.80**
180	880	886	6	0.68	850	855	5	0.58	852	858	6	0.70	**0.65**

ผน 16

ตารางที่ ผ.ข.16. แสดงผลการทดสอบอัตราการคายน้ำของซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40%

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

BLEEDING OF FRESH CEMENT MORTAR TEST

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Grout

SAMPLE :cement mortar double mixing w/c 0.40

TEMPERATURE : 30.5 °C

DATA :

Type of mixing water(SM or DM) : DM

W/C Ratio(%) : 40

W_1/C Ratio(%) : 25

W_t of Cement(g.) : 2000

W_t of Water, W_1(g.) : 500

Mixing Time(min.) : 4

t_1(min.) : 1.5

t_2(min.) : 2

V_w (cc.) : 400

Time	1				2				3				% AVEG.
	V_c =	835	V_o =	435	V_c =	838	V_o =	438	V_c =	-	V_o =	-	
	V_1	V_2	V_2-V_1	%	V_1	V_2	V_2-V_1	%	V_1	V_2	V_2-V_1	%	
30	835	835	0	0.00	838	838	0	0.00	-	-	-	-	**0.00**
60	835.5	835	0.5	0.12	838.5	838	0.5	0.12	-	-	-	-	**0.12**
120	835.5	835	0.5	0.12	836.5	836	0.5	0.12	-	-	-	-	**0.12**
180	834	834	0	0.00	836	836	0	0.00	-	-	-	-	**0.00**

ตารางที่ ผ.ข.17. แสดงผลการทดสอบอัตราการคายน้ำของซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

BLEEDING OF FRESH CEMENT MORTAR TEST

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Grout

SAMPLE :cement mortar double mixing w/c 0.44

TEMPERATURE : 29.5 °C

DATA :

Type of mixing water(SM or DM) : DM

W/C Ratio(%) : 44

W_1/C Ratio(%) : 25

W_t of Cement(g.) : 1500

W_t of Water, W_1(g.) : 375

Mixing Time(min.) : 4

t_1(min.) : 1.5

t_2(min.) : 2

V_w (cc.) : 400

Time	1				2				3				% AVEG.
	V_c =	860	V_o =	460	V_c =	865	V_o =	465	V_c =	854	V_o =	454	
	V_1	V_2	V_2-V_1	%	V_1	V_2	V_2-V_1	%	V_1	V_2	V_2-V_1	%	
30	858	858	0	0.00	862	862	0	0.00	854	854	0	0.00	**0.00**
60	854	856	2	0.23	860	861	1	0.12	851	852	1	0.12	**0.16**
120	854	858	4	0.47	860	862	2	0.23	852	856	4	0.47	**0.39**
180	854	856	2	0.23	859	861	2	0.23	850	854	4	0.47	**0.31**

ตารางที่ ผ.ข.18. แสดงผลการทดสอบการไหลของซีเมนต์เพสท์โดยวิธี single mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40%

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

FLOW OF GROUT (FLOW CONE METHOD)
JSCE - F531 - 1993

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Grout

SAMPLE : cement paste single mixing w/c 0.40

Test No.	W/C Ratio	Observed Time (minutes)	J14-Funnel Flow time (second)	REMARKS
1	0.40	0	7.09	
2	0.40	0	7.11	
3	0.40	0	6.99	
			7.06	

ตารางที่ ผ.ข.19. แสดงผลการทดสอบการไหลของซีเมนต์เพสท์โดยวิธี single mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

FLOW OF GROUT (FLOW CONE METHOD)
JSCE - F531 - 1993

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Grout

SAMPLE : cement paste single mixing w/c 0.44

Test No.	W/C Ratio	Observed Time (minutes)	J14-Funnel Flow time (second)	REMARKS
1	0.44	0	3.95	
2	0.44	0	4.02	
3	0.44	0	4.68	
			4.22	

ตารางที่ ผ.ข.20. แสดงผลการทดสอบการไหลของซีเมนต์เพสท์โดยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 40%

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

FLOW OF GROUT (FLOW CONE METHOD)
JSCE - F531 - 1993

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Grout

SAMPLE : cement paste double mixing w/c 0.40

Test No.	W/C Ratio	Observed Time (minutes)	J14-Funnel Flow time (second)	REMARKS
1	0.40	0	2.82	
2	0.40	0	2.98	
3	0.40	0	2.89	
			2.90	

ตารางที่ ผ.ข.21. แสดงผลการทดสอบการไหลของซีเมนต์เพสท์โดยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

FLOW OF GROUT (FLOW CONE METHOD)
JSCE - F531 - 1993

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Grout

SAMPLE : cement paste double mixing w/c 0.44

Test No.	W/C Ratio	Observed Time (minutes)	J14-Funnel Flow time (second)	REMARKS
1	0.44	0	2.38	
2	0.44	0	2.45	
3	0.44	0	2.43	
			2.42	

ตารางที่ ผ.ข.22. แสดงผลการทดสอบการไหลของซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธี single mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

FLOW OF GROUT (FLOW CONE METHOD)
JSCE - F531 - 1993

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Grout

SAMPLE : cement mortar single mixing w/c 0.44

Test No.	W/C Ratio	Observed Time (minutes)	J14-Funnel Flow time (second)	REMARKS
1	0.44	0	6.49	
2	0.44	0	7.58	
3	0.44	0	7.37	
			7.15	

ตารางที่ ผ.ข.23. แสดงผลการทดสอบการไหลของซีเมนต์มอร์ต้าโดยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

FLOW OF GROUT (FLOW CONE METHOD)
JSCE - F531 - 1993

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Grout

SAMPLE : cement mortar double mixing w/c 0.44

Test No.	W/C Ratio	Observed Time (minutes)	J14-Funnel Flow time (second)	REMARKS
1	0.44	0	5.62	
2	0.44	0	6.32	
3	0.44	0	5.32	
			5.75	

ตารางที่ ผ.ข.24. แสดงผลการทดสอบการไหลของสารที่ไม่หดตัวโดยวิธี single mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์40%

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

FLOW OF GROUT (FLOW CONE METHOD)
JSCE - F531 - 1993

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของฐุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : Grout

SAMPLE : nonshrink single mixing w/c 0.40

Test No.	W/C Ratio	Observed Time (minutes)	J14-Funnel Flow time (second)	REMARKS
1	0.40	0	2.81	
2	0.40	0	2.95	
3	0.40	0	2.92	
			2.89	

ภาคผนวก ค

ตารางแสดงผลการทดสอบการรับแรงของจุดรอยต่อ

ตารางที่ ผ.ค.1. แสดงผลการทดสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยวของขนาดท่อ ø 40 mm. Dowel Bar 12 mm. ยาว 200 mm.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKLABANG

BONDING

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : JOINT เสา - คาน

SAMPLE : cement mortar double mixing w/c 0.44

SIZE : DB 12 mm. ø 40 mm.

ผค 2

NO.	LENGTH mm.	GAUGES mm.	CASTING date	TESTING date	AGES day	LOAD kg.	BONDING ksc.	AVEG. ksc.	REMARKS
1	195	49	23/9/2005	24/9/2005	1	5653	76.87		
2	180	14	23/9/2005	24/9/2005	1	3821	56.29	**56.88**	
3	180	9	23/9/2005	24/9/2005	1	3901	57.47		
4	190	30	23/9/2005	26/9/2005	3	5088	71.03		
5	150	10	23/9/2005	26/9/2005	3	3730	65.95	**65.71**	
6	200	20	23/9/2005	26/9/2005	3	4535	60.15		
7	180	44	23/9/2005	21/10/2005	28	5191	76.5		
8	175	54	23/9/2005	21/10/2005	28	5435	77.83	**75.52**	
9	170	33	23/9/2005	21/10/2005	28	4630	72.24		

ตารางที่ ผ.ค.2. แสดงผลการทดสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยวของขนาดท่อ ø 30 mm. Dowel Bar 12 mm. ยาว 200 mm.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKLABANG

BONDING

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : JOINT เสา - คาน

SAMPLE : cement mortar double mixing w/c 0.44

SIZE : DB 12 mm. ø 30 mm.

ผค 3

NO.	LENGTH mm.	GAUGES mm.	CASTING date	TESTING date	AGES day	LOAD kg.	BONDING ksc.	AVEG. ksc.	REMARKS
1	200	15	23/9/2005	24/9/2005	1	4692	62.21		
2	190	5	23/9/2005	24/9/2005	1	2859	39.90	41.22	
3	190	5	23/9/2005	24/9/2005	1	3048	42.54		
4	195	6	23/9/2005	26/9/2005	3	3244	44.13		
5	180	5	23/9/2005	26/9/2005	3	3801	56.01	50.07	
6	170	3	23/9/2005	26/9/2005	3	1809	28.22		
7	170	78	23/9/2005	21/10/2005	28	4634	72.30		
8	150	74	23/9/2005	21/10/2005	28	3607	63.78	66.95	
9	160	13	23/9/2005	21/10/2005	28	3907	64.77		

ตารางที่ ผ.ค.3. แสดงผลการทดสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยวของขนาดท่อ ø 40 mm. Dowel Bar 16 mm .ยาว 200 mm.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKLABANG

BONDING

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : JOINT เสา - คาน

SAMPLE : cement mortar double mixing w/c 0.44

SIZE : DB 16 mm. ø 40 mm.

NO.	LENGTH mm.	GAUGES mm.	CASTING date	TESTING date	AGES day	LOAD kg.	BONDING ksc.	AVEG. ksc.	REMARKS
1	193	9	26/9/2005	27/9/2005	1	4916	50.67		
2	210	10	26/9/2005	27/9/2005	1	6615	62.66	61.49	
3	182	8	26/9/2005	27/9/2005	1	6509	71.14		
4	135	8	26/9/2005	29/9/2005	3	2510	36.99		
5	185	11	26/9/2005	29/9/2005	3	6335	79.95	74.04	
6	200	20	26/9/2005	29/9/2005	3	8038	62.66		
7	194	9	26/9/2005	24/10/2005	28	6111	62.66		
8	180	10	26/9/2005	24/10/2005	28	8775	96.97	82.58	
9	185	9	26/9/2005	24/10/2005	28	8195	88.12		

ตารางที่ ผ.ค.4. แสดงผลการทดสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยวของขนาดท่อ ø 40 mm. Dowel Bar 12 mm. ยาว 300 mm.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKLABANG

BONDING

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : JOINT เสา - เสา

SAMPLE : cement mortar double mixing w/c 0.44

SIZE : DB 12 mm. ø 40 mm.

NO.	LENGTH mm.	GAUGES mm.	CASTING date	TESTING date	AGES day	LOAD kg.	BONDING ksc.	AVEG. ksc.	REMARKS
1	280	28	23/10/2005	24/10/2005	1	4782	45.30		
2	285	32	23/10/2005	24/10/2005	1	5878	54.71	54.40	
3	290	36	23/10/2005	24/10/2005	1	5917	54.12		
4	300	47	12/4/2005	12/7/2006	3	6123	54.14		
5	300	48	12/4/2005	12/7/2006	3	6148	54.36	54.44	
6	300	50	12/4/2005	12/7/2006	3	6201	54.83		
7	300	64	12/4/2005	1/1/2006	28	6481	57.30		
8	300	61	12/4/2005	1/1/2006	28	6417	56.74	56.71	
9	300	58	12/4/2005	1/1/2006	28	6344	56.09		

หน้า

ตารางที่ ผ.ค.5. แสดงผลการทดสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยวของขนาดท่อ ø 30 mm. Dowel Bar 12 mm. ยาว 300 mm.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKLABANG

BONDING

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : JOINT เสา - เสา

SAMPLE : cement mortar double mixing w/c 0.44

SIZE : DB 12 mm. ø 30 mm.

ผค 6

NO.	LENGTH mm.	GAUGES mm.	CASTING date	TESTING date	AGES day	LOAD kg.	BONDING ksc.	AVEG. ksc.	REMARKS
1	295	23	23/10/2005	24/10/2005	1	4528	41.40		
2	290	22	23/10/2005	24/10/2005	1	4554	41.64	41.52	
3	295	32	23/10/2005	24/10/2005	1	5096	46.60		
4	300	36	12/4/2005	12/7/2006	3	4805	42.48		
5	300	20	12/4/2005	12/7/2006	3	4521	39.97	40.97	
6	300	21	12/4/2005	12/7/2006	3	4577	40.47		
7	300	29	12/4/2005	1/1/2006	28	4770	42.18		
8	300	7	12/4/2005	1/1/2006	28	1130	9.99	42.54	
9	300	37	12/4/2005	1/1/2006	28	4851	42.89		

ตารางที่ ผ.ค.6. แสดงผลการทดสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยวของขนาดท่อ ø 40 mm. Dowel Bar 16 mm. ยาว 300 mm.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKLABANG

BONDING

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : JOINT เสา - เสา

SAMPLE : cement mortar double mixing w/c 0.44

SIZE : DB 16 mm. ø 40 mm.

NO.	LENGTH mm.	GAUGES mm.	CASTING date	TESTING date	AGES day	LOAD kg.	BONDING ksc.	AVEG. ksc.	REMARKS
1	285	7	23/9/2005	24/9/2005	1	7517	52.47		
2	280	7	23/9/2005	24/9/2005	1	7645	54.31	**52.68**	
3	280	6	23/9/2005	24/9/2005	1	7217	51.27		
4	300	15	12/4/2005	12/7/2006	3	9544	63.28		
5	300	17	12/4/2005	12/7/2006	3	7017	46.53	**54.78**	
6	300	14	12/4/2005	12/7/2006	3	8225	54.54		
7	300	30	12/4/2005	1/1/2006	28	9185	60.90		
8	300	34	12/4/2005	1/1/2006	28	9727	64.50	**65.65**	
9	300	47	12/4/2005	1/1/2006	28	10791	71.55		

ตารางที่ ผ.ค.7. แสดงผลการทดสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยวของขนาดท่อ ø 40 mm. Dowel Bar 12 mm. ยาว 250 mm.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKLABANG

BONDING

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : JOINT เสา - เสา ; เสา - คาน

SAMPLE : cement mortar double mixing w/c 0.44

SIZE : DB 12 mm. ø 40 mm.

NO.	LENGTH mm.	GAUGES mm.	CASTING date	TESTING date	AGES day	LOAD kg.	BONDING ksc.	AVEG. ksc.	REMARKS
1	245	52	23/9/2005	24/9/2005	1	5739	62.13		
2	240	46	23/9/2005	24/9/2005	1	5586	61.73	61.57	
3	230	33	23/9/2005	24/9/2005	1	5277	60.85		
4	230	35	23/9/2005	26/9/2005	3	5367	61.89		
5	250	62	23/9/2005	26/9/2005	3	5375	57.03	59.83	
6	250	78	23/9/2005	26/9/2005	3	5780	60.56		
7	240	83	23/9/2005	21/10/2005	28	5798	64.08		
8	235	68	23/9/2005	21/10/2005	28	5806	65.53	64.52	
9	240	82	23/9/2005	21/10/2005	28	5787	63.96		

หน 8

ตารางที่ ผ.ค.8. แสดงผลการทดสอบการรับกำลังโมเมนต์ดัดแบบแรงกระทำสองจุด

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKLABANG

MOMENT

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : JOINT เสา - เสา

SAMPLE : cement mortar double mixing w/c 0.44

SIZE : 4DB 12 mm. ø 40 mm.

ผค 9

NO.	CASTING date	TESTING date	AGES day	LOAD kg.	AVEG. kg.	MOMENT kg-m	REMARKS
1	1/7/2006	1/8/2006	1	7852.5	7889.77	1193.07	
2	1/7/2006	1/8/2006	1	7999.1			
3	1/7/2006	1/8/2006	1	7817.7			
4	2/1/2005	2/4/2006	3	7507.9	8068.60	1219.89	
5	2/1/2005	2/4/2006	3	8551.1			
6	2/1/2005	2/4/2006	3	8146.8			
7	12/12/2005	1/9/2006	28	8082.9	8524.33	1288.3	
8	12/12/2005	1/9/2006	28	8842.5			
9	12/12/2005	1/9/2006	28	8647.6			

ตารางที่ ผ.ค.9. แสดงผลการทดสอบการรับกำลังโมเมนต์ดัดแบบแรงกระทำจุดเดียวที่กึ่งกลาง

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKLABANG

MOMENT

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

TYPE : JOINT เสา -คาน- เสา

SAMPLE : cement mortar double mixing w/c 0.44

SIZE : 4DB 12 mm. ø 40 mm.

NO.	CASTING date	TESTING date	AGES day	LOAD kg.	AVEG. kg.	MOMENT kg-m	REMARKS
1	23/10/2005	24/10/2005	1	6813.8	6855.60	1562.76	
2	23/10/2005	24/10/2005	1	6897.4			
3	2/01/2006	2/4/2006	3	7053.7	7029.50	1595.4	
4	2/01/2006	2/4/2006	3	7005.3			
5	12/12/2005	1/9/2006	28	8695.9	8368.15	1901.47	
6	12/12/2005	1/9/2006	28	8040.4			

ผค 10

ตารางที่ ผ.ค.10. แสดงผลการทดสอบการรับกำลังแรงเฉือนของ shear key

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKLABANG

SHEAR

PROJECT : ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของจุดรอยต่อโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จรูปโครงการบ้านเอื้ออาทรของการเคหะแห่งชาติ

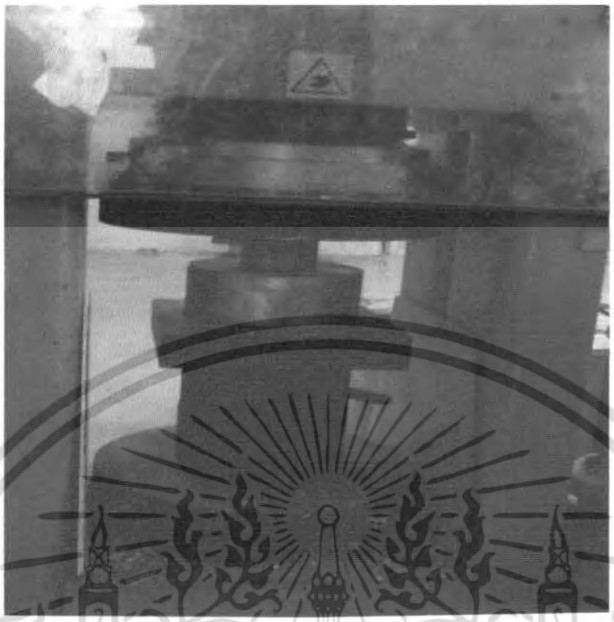
TYPE : JOINT เสา - เสา

SAMPLE : cement mortar double mixing w/c 0.44

NO.	AREA cm. × cm.	CASTING date	TESTING date	AGES day	LOAD kg.	SHEAR ksc.	AVEG. ksc.	REMARKS
1	10×10	20/10/2005	21/10/2005	1	1863.8	9.32		
2	10×10	20/10/2005	21/10/2005	1	2314.7	11.57	11.19	
3	10×10	20/10/2005	21/10/2005	1	2536.8	12.68		
4	10×10	2/1/2006	2/4/2006	3	3330.0	16.65		
5	10×10	2/1/2006	2/4/2006	3	2789.4	13.95	14.95	
6	10×10	2/1/2006	2/4/2006	3	2851.7	14.26		
7	10×10	12/12/2005	1/9/2006	28	1872.5	9.36		
8	10×10	12/12/2005	1/9/2006	28	4215.0	21.08	21.22	
9	10×10	12/12/2005	1/9/2006	28	4272.4	21.36		

ภาคผนวก ง

รูปแสดงผลการทดสอบ



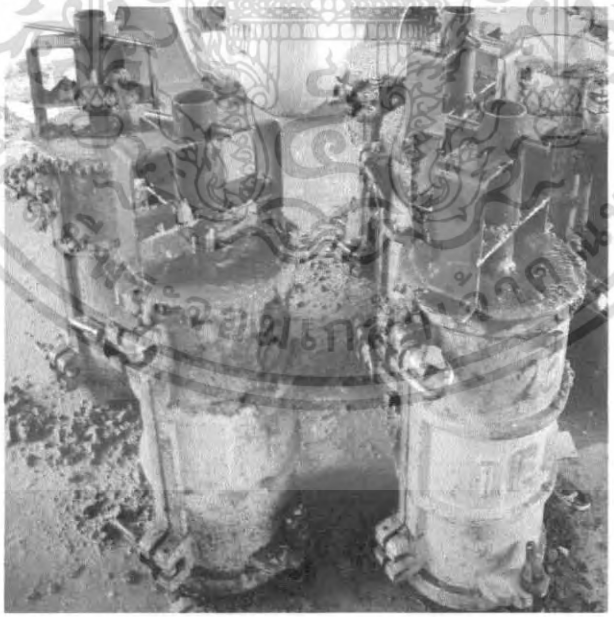
รูปที่ ผ.ง.1. แสดงการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของวัสดุประสาน

รูปที่ ผ.ง.2. แสดงการทดสอบการไหลของซีเมนต์เพสต์ด้วยวิธี double mixing
ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%

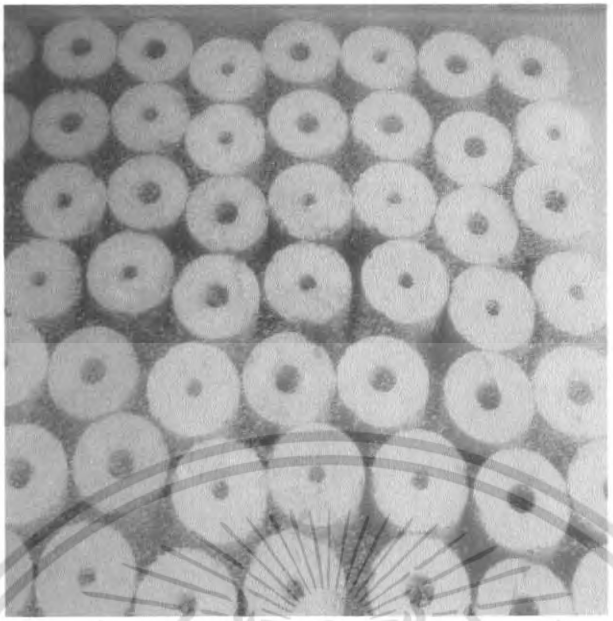
รูปที่ ผ.ง.3. แสดงการทดสอบการไหลของซีเมนต์มอร์ต้าด้วยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44%

รูปที่ ผ.ง.4. แสดงแท่งชิ้นส่วนคอนกรีต

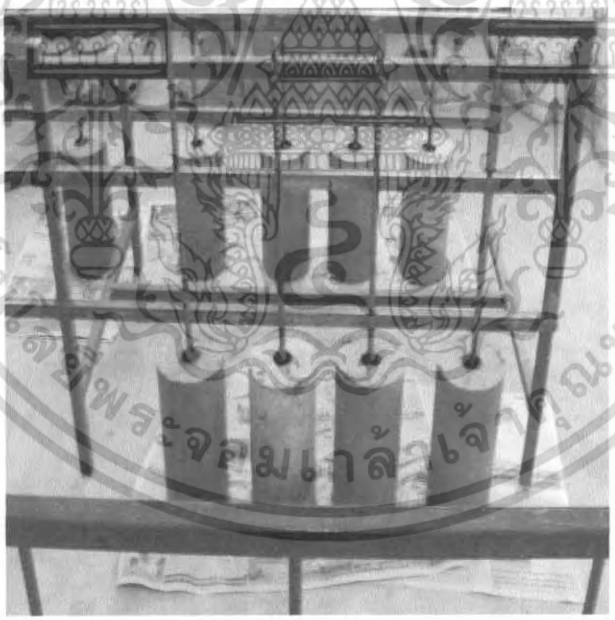
รูปที่ ผ.ง.5. แสดงการการวิบัติของคอนกรีตหลังการทดสอบกำลังรับแรงอัด



รูปที่ ผ.ง.6. แสดงการหล่อชิ้นส่วนของการทดสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยว



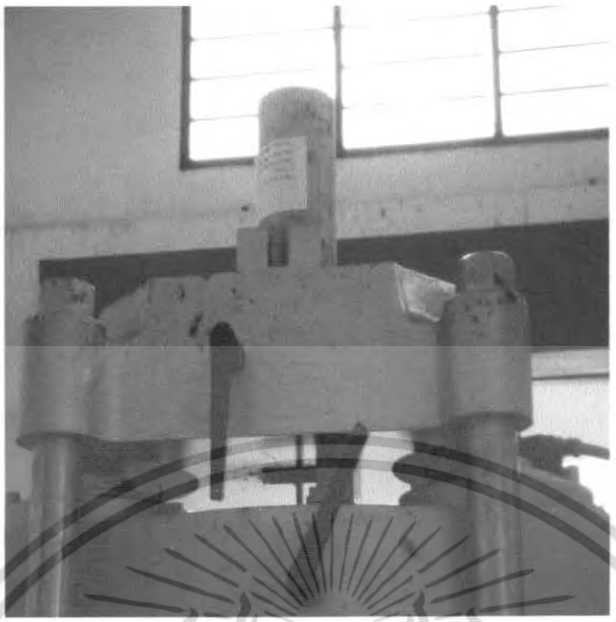
รูปที่ ผ.ง.7. แสดงการบ่มชิ้นส่วนของการทดสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยว



รูปที่ ผ.ง.8. แสดงการเตรียมชิ้นส่วนเพื่อที่จะเทวัสดุประสานของการทดสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยว

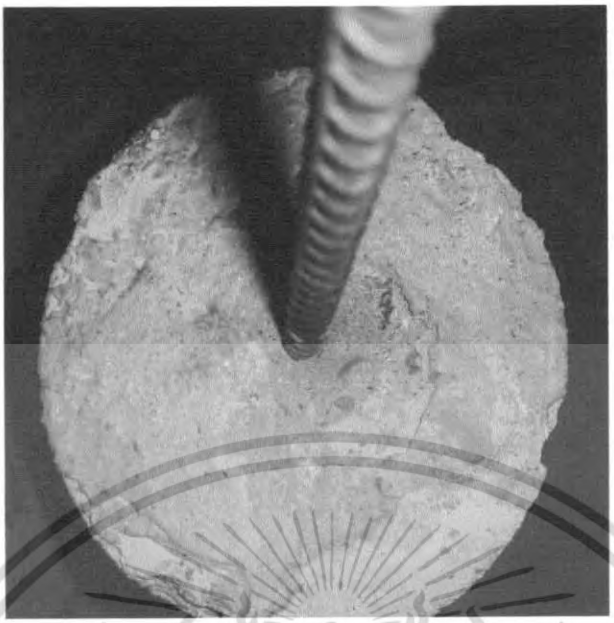
รูปที่ ผ.ง.9. แสดงการเทสารซีเมนต์มอร์ต้าด้วยวิธี double mixing
ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44% ขนาดท่อ 40มม.

รูปที่ ผ.ง.10. แสดงการเทสารซีเมนต์มอร์ต้าด้วยวิธี double mixing
ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44% ขนาดท่อ 30มม.

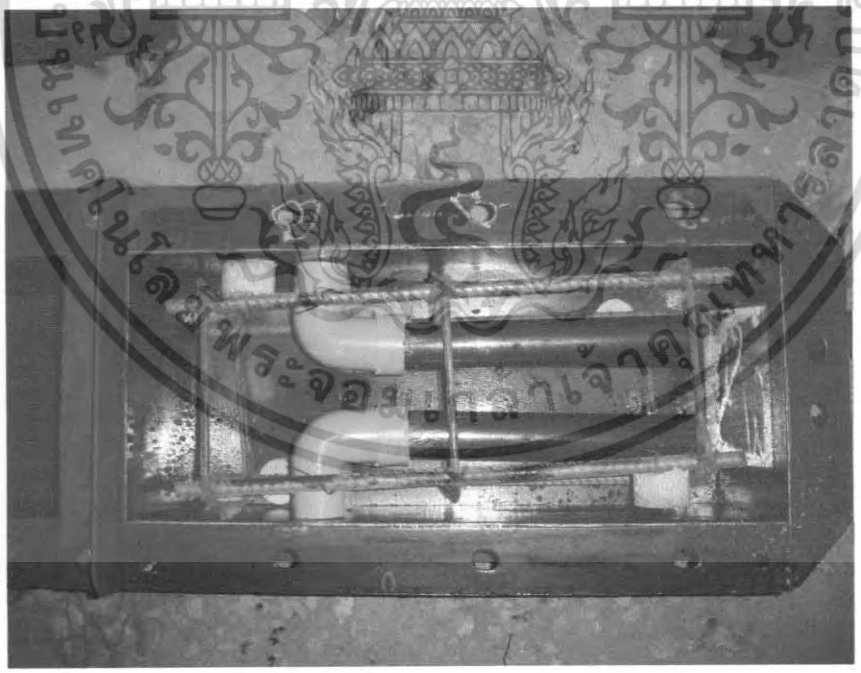


รูปที่ ผ.ง.11. แสดงการทดสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยว

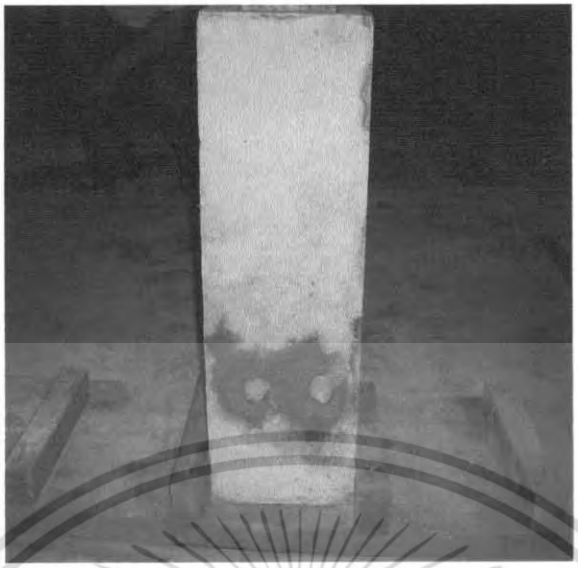
รูปที่ ผ.ง.12. แสดงการวิบัติของจุดรอยต่อหลังการทดสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยวของซีเมนต์มอร์ต้าด้วยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44% ขนาดท่อ 30มม. DB12 มม. ยาว 200 มม.



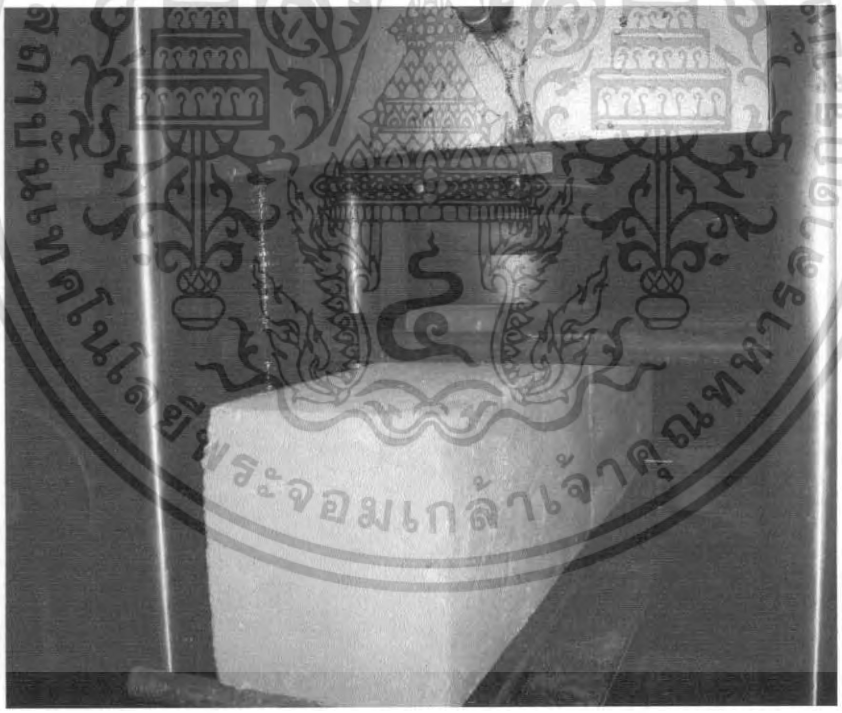
รูปที่ ผ.ง.13. แสดงการวิบัติของจุดรอยต่อหลังการทดสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยวของซีเมนต์มอร์ต้าด้วยวิธี double mixing ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 44% ขนาดท่อ 40มม. DB12 มม. ยาว 200 มม.



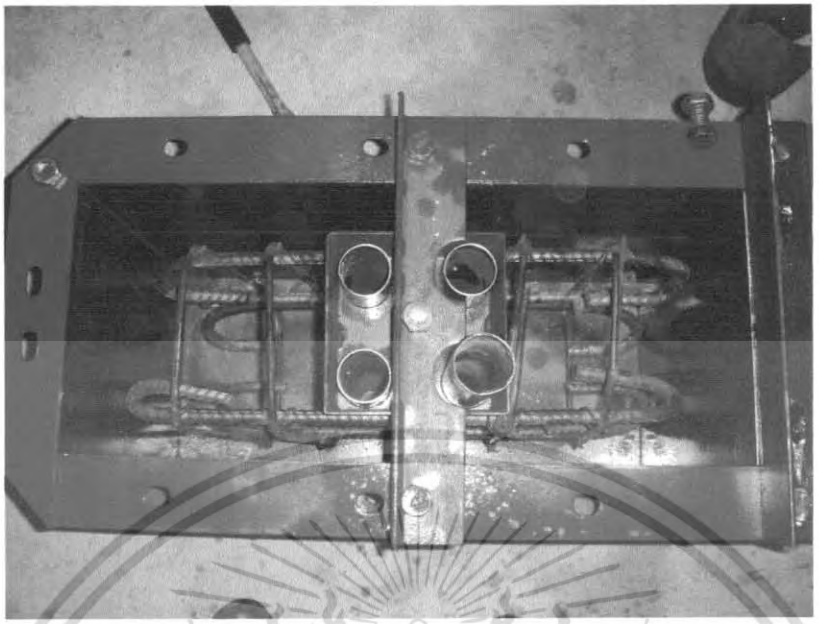
รูปที่ ผ.ง.14. แสดงแบบหล่อของเสาสำเร็จรูป



รูปที่ ผ.ง.15. แสดงชิ้นส่วนของเสาสำเร็จรูป

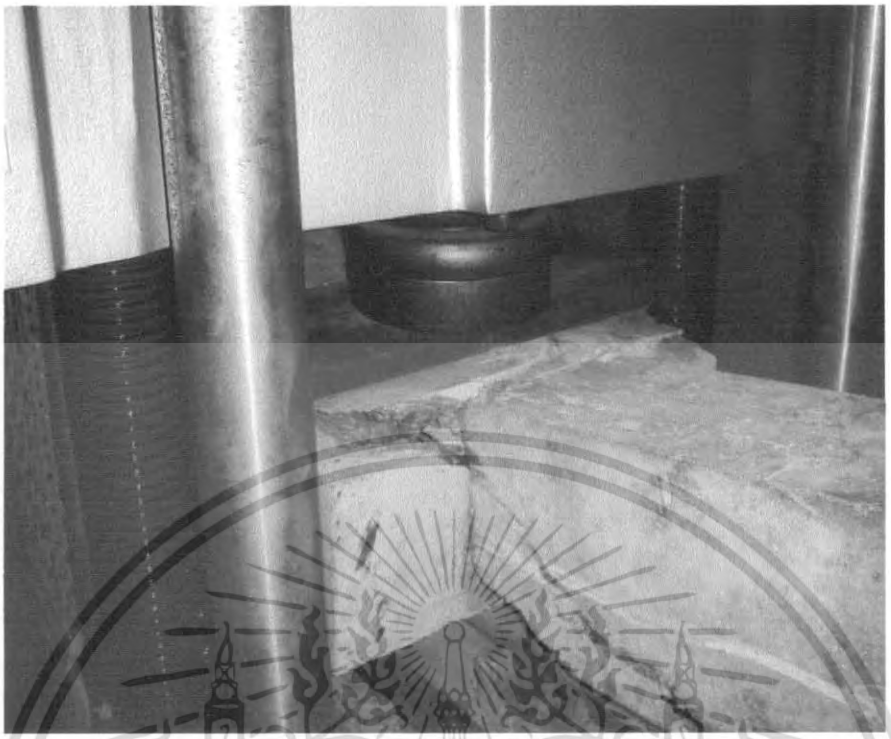


รูปที่ ผ.ง.16. แสดงการทดสอบโมเมนต์ดัดแบบแรงกระทำสองจุดของโครงสร้างแบบเสาต่อเสา

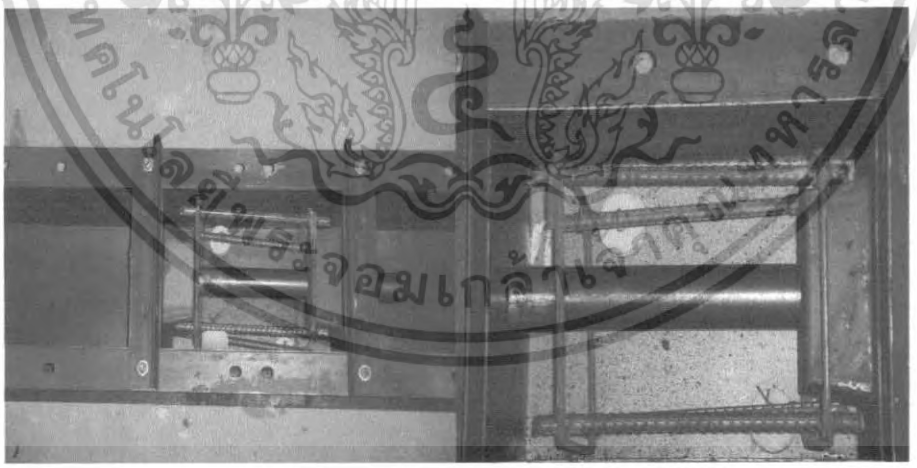


รูปที่ ผ.ง.17. แสดงแบบหล่อของคานสำเร็จรูป

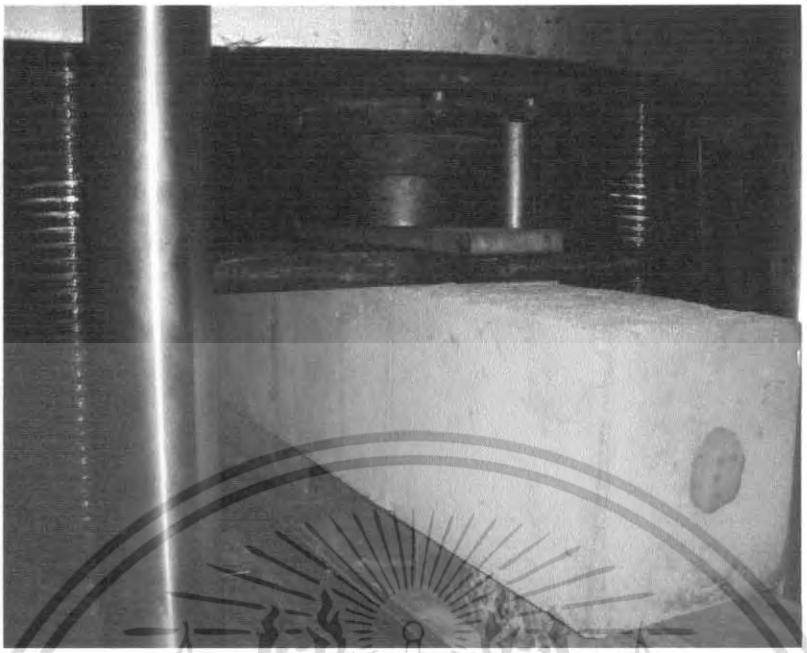
รูปที่ ผ.ง.18. แสดงชิ้นส่วนของคานสำเร็จรูป



รูปที่ ผ.ง.19. แสดงการทดสอบโมเมนต์ดัดแบบแรงกระทำจุดเดียวที่กึ่งกลาง
ของโครงสร้างแบบเสาต่อคานต่อเสา



รูปที่ ผ.ง.20. แสดงแบบหล่อของคานสำเร็จรูป



รูปที่ ผ.ง.21. แสดงการทดสอบการรับแรงเฉือนแบบ double shear ของ shear key

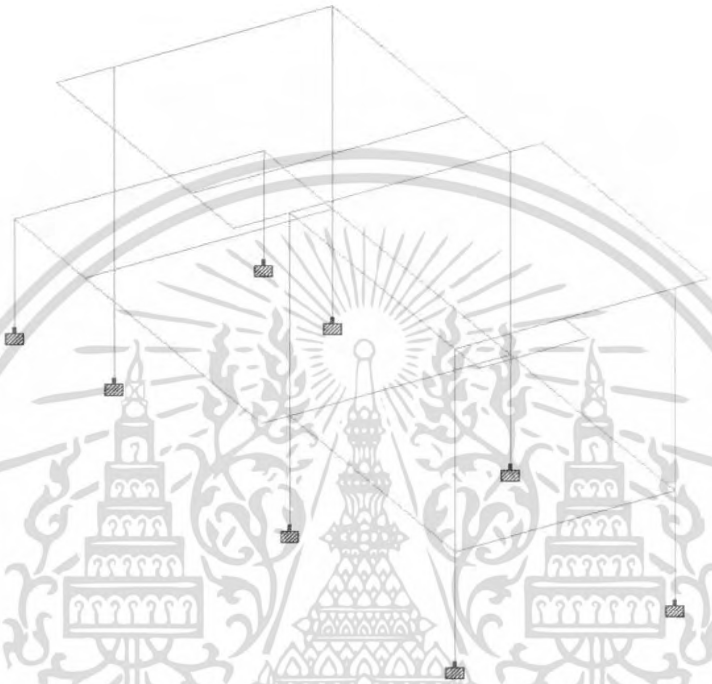
รูปที่ ผ.ง.22. แสดงการวิบัติของการทดสอบการรับแรงเฉือนแบบ double shear ของ shear key

ภาคผนวก จ

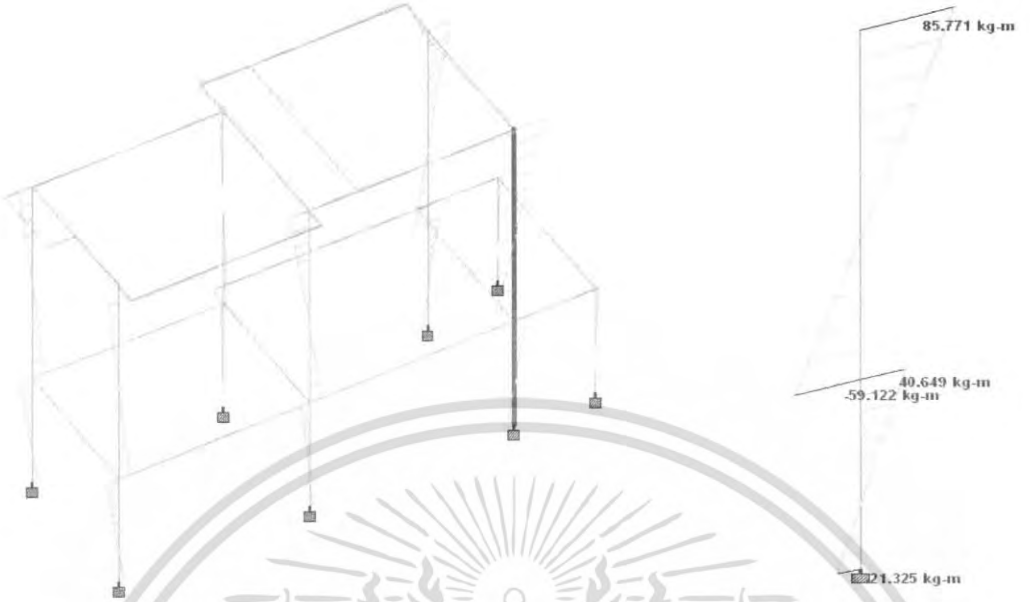
รูปแสดงผลการคำนวณด้วยโปรแกรม

ข้อกำหนดหน่วยน้ำหนัก

คอนกรีต	2400	กก./ม.^{3}
เหล็ก	7850	กก./ม.^{3}
ผนังยิปซัม	800	กก./ม.^{3}
น้ำหนักจรทั่วไป	150	กก./ม.^{2}
น้ำหนักจรหลังคา	50	กก./ม.^{2}

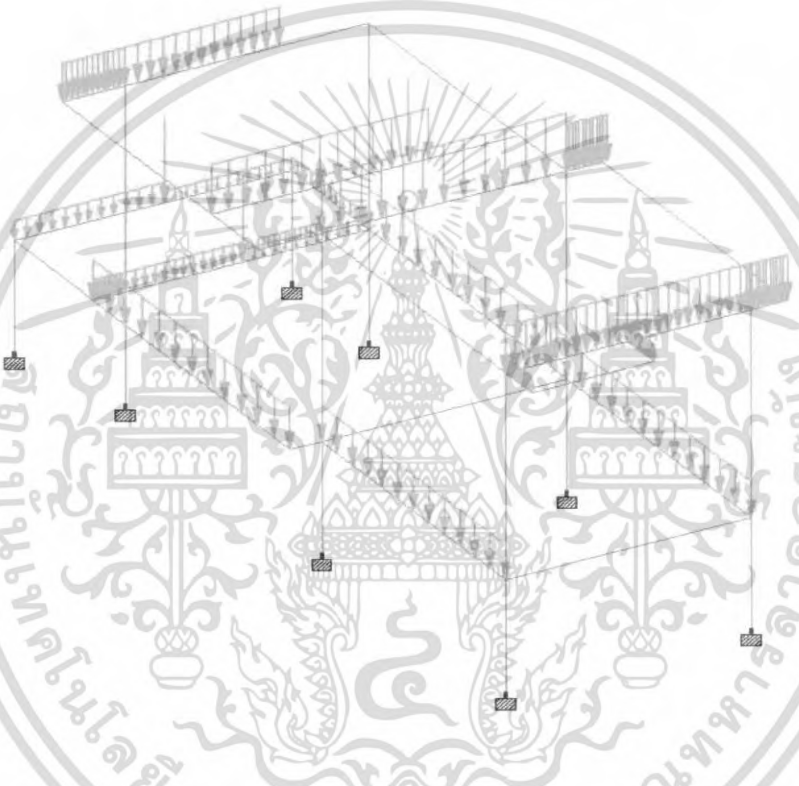


รูปที่ ผ.จ.1. แสดงโครงสร้างหลังจากประกอบได้ 1 วัน

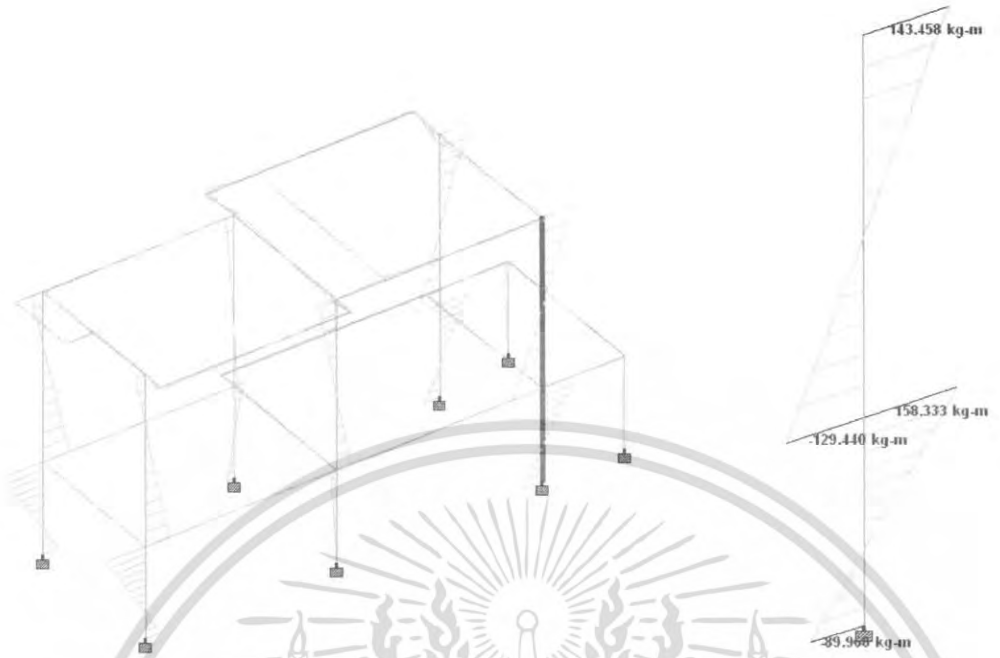


รูปที่ ผ.จ.2. แสดง Bending Moment Diagram ของโครงสร้าง เสาต่อเสา หลังจากประกอบได้ 1 วัน

รูปที่ ผ.จ.3. แสดง Bending Moment Diagram ของโครงสร้าง
เสาต่อคานต่อเสา หลังจากประกอบได้ 1 วัน

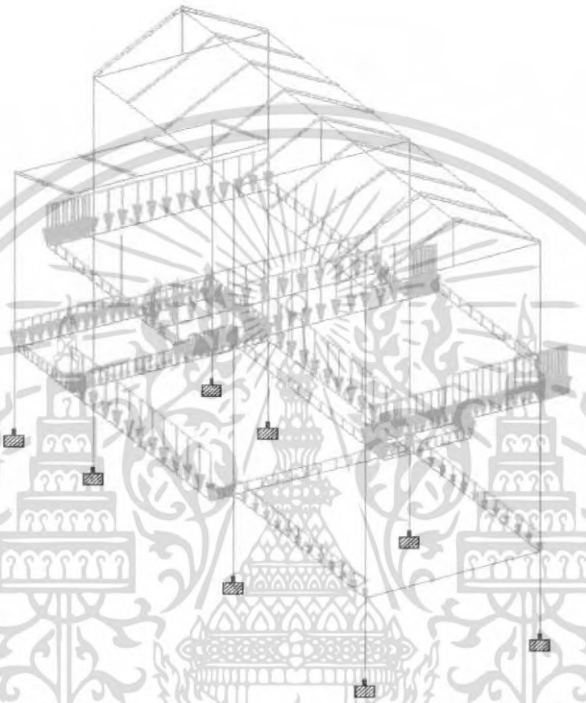


รูปที่ ผ.จ.4. แสดง Load Diagram ของโครงสร้าง หลังจากประกอบได้ 3 วัน

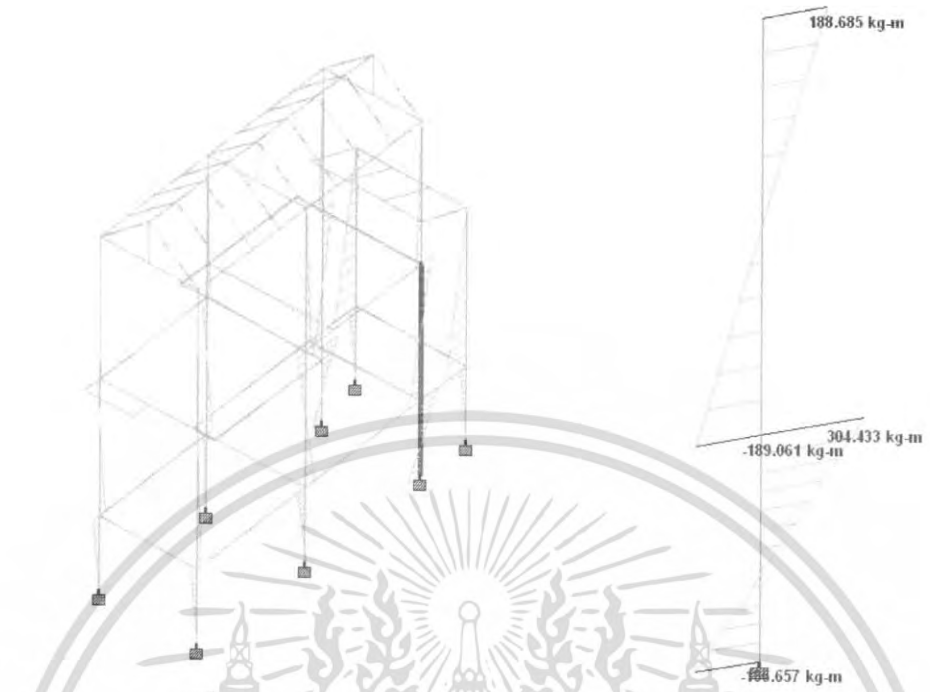


รูปที่ ผ.จ.5. แสดง Bending Moment Diagram ของโครงสร้าง เสาต่อเสา หลังจากประกอบได้ 3 วัน

รูปที่ ผ.จ.6. แสดง Bending Moment Diagram ของโครงสร้าง
เสาต่อคานต่อเสา หลังจากประกอบได้ 3 วัน



รูปที่ ผ.จ.7. แสดง Load Diagram ของโครงสร้าง หลังจากประกอบได้ 28 วัน



รูปที่ ผ.จ.8. แสดง Bending Moment Diagram ของโครงสร้าง เสาต่อเสา หลังจากประกอบได้ 28 วัน

รูปที่ ผ.จ.9. แสดง Bending Moment Diagram ของโครงสร้าง
เสาต่อคานต่อเสา หลังจากประกอบได้ 28 วัน