



การศึกษาการคืนตัวแบบดึงของคอนกรีต

A Study on Tensile Creep of Concrete



นายสุโพ

นายนิกร

นายธีระวัฒน์

เก่งใจໄໄ

สถานอุ่น

ใจนา

รหัส 51382945

รหัส 51284959

รหัส 51384437

ปริญญา ni พนธน์ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาชีวกรรมโยธา ภาควิชาชีวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2554

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์	ปี ๐ ก.ค. 2555
วันที่รับ.....	
เลขทะเบียน.....	๑๕๙๗๖๗๘๙.....
เลขเรียกหนังสือ.....	ผู้.....
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๘๓๓ ว	

2554



ใบรับรองปริญญาบัตร

ชื่อหัวข้อโครงการ

การศึกษาการคึบตัวแบบคึ่งของคอนกรีต

ผู้ดำเนินโครงการ

นายสุโพ	เก่ง ไถ	รหัส 51382945
นายธีระวัฒน์	ใจนา	รหัส 51384437
นายนิกร	สถานอุ่น	รหัส 51284959

ที่ปรึกษาโครงการ

ผศ.ดร. สรัณกร เหมะวิญญ์

สาขาวิชา

คร.สันธยา ทองอรุณศรี

ภาควิชา

วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา

วิศวกรรมโยธา

2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

..... มีวันที่ที่ปรึกษาโครงการ

(ผศ.ดร. สรัณกร เหมะวิญญ์)

..... กรรมการ

(ดร.สันธยา ทองอรุณศรี)

..... กรรมการ

(ผศ.ดร.สสิกรณ์ เหลืองวิชชเจริญ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ กั๊กพงศ์ หอมเนียม)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การศึกษาการคืนตัวแบบดึงของคอนกรีต		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายสุโพ เก่งไถ	รหัส	51382945
	นายธีระวัฒน์ ใจนาน	รหัส	51384437
	นายนิกร สถานอุ่น	รหัส	51284959
ที่ปรึกษาโครงการ	พศ.ดร. สรัณกร เหนชะวิญกุล คร.สันธยา ทองอยุธยา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
ปีการศึกษา	2554		

บทคัดย่อ

ปัญหาการแตกร้าวของอาคารและโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นปัญหาที่พบมากในปัจจุบัน การแตกร้าวของคอนกรีตเกิดจากหลายสาเหตุ การหดตัวเป็นสาเหตุหนึ่งที่สำคัญของการแตกร้าว โดยการหดตัวของคอนกรีตชนิดปูนซิ格ม่าที่เกี่ยวข้องมากนัย เช่น อุณหภูมิ สัมประสิทธิ์การขยายตัว การหดตัวแบบอิสระ (Free Shrinkage) อัตราการหดตัว (Shrinkage Rate) การคืนตัวแบบดึง (Tensile Creep) ในคุณสมบัติเดียวกัน เปอร์เซ็นต์การขยายตัว และความสามารถในการด้านทานการแตกร้าว (Tensile Strain Capacity) ของคอนกรีต ปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการออกแบบและการคำนวณการแตกร้าวที่เกิดขึ้นเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต ปัจจัยที่สำคัญและยังมีข้อมูลอยู่น้อยมาก ได้แก่ การคืนตัวแบบดึงของคอนกรีตเนื่องจากการทดสอบนั้นทำยาก ดังนั้น โครงการนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อจะศึกษาการคืนตัวแบบดึงของคอนกรีต และพัฒนาชุดทดสอบการคืนตัวแบบดึง ให้ง่ายและมีความถูกต้องแม่นยำ โดยจะกำหนดหน่วยแรงดึงที่ใช้ทดสอบการคืนตัวแบบดึงเท่ากับร้อยละ 20 ของกำลังดึงของคอนกรีต ส่วนผสมที่ใช้ในการทดสอบมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประมาณเท่ากับ 0.55 ปริมาตรเพสต์ต่อปริมาตรซ่องว่างของมวลรวมเท่ากับ 1.4 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 จากการทดสอบชุดทดสอบการคืนตัวแบบดึงพบว่าชุดทดสอบดังกล่าว จำเป็นต้องมีการปรับปรุงโดยได้มีการเพิ่มค้ำยัน เพื่อให้แนวแรงกระทำอยู่ในแนวแกนของก้อนหัวอย่าง การพัฒนาอุปกรณ์ยึดก้อนหัวอย่างเพื่อรับแรงดึง ผลการทดสอบที่ได้พบว่าชุดทดสอบการคืนตัวแบบดึงสามารถทำงานได้ดี

คำสำคัญ : การคืนตัวแบบดึง ชุดทดสอบการคืนตัวแบบดึง การทดสอบกำลังดึง

Project title	A Study on Tensile Creep of Concrete		
Name	Mr.Supho	Kengchailai	ID. 51382945
	Mr.Teerawat	Chainan	ID. 51384437
	Mr.Nikorn	Satanoun	ID. 51284959
Project advisor	Asst. Prof. Dr. Saranagon Hemavibool		
	Dr. Sontaya tongaroonsri		
Major	Civil Engineering		
Department	Civil Engineering		
Academic year	2011		

Abstract

Surface cracking in concrete structures are currently the most common problems. There are several causes of concrete cracking. One of the important factors that contribute to the cracks in concrete structures is due to shrinkage. There are many factors affecting concrete shrinkage such as temperature, coefficient of thermal expansion, free shrinkage, shrinkage rate, tensile creep, modulus of elasticity, degree of restraint, and tensile strain capacity of concrete. Among these factors, tensile creep is markedly influences the shrinkage cracking. However, the current data on the tensile creep are very scarce. The majority of the past research work on this area has been concerned with the compression creep of concrete. Therefore, the objective of this project is to study the tensile creep behavior of concrete. The experiments started with the test for the ability to work of the creep frame. The test result has shown that the creep frame works very well. However, a slight modification was done to make the applied force concentric with the specimen axis.

Keyword: Tensile creep, Creep frame, Direct Tensile Test

กิจกรรมประจำปี

บริษัทฯ ได้ดำเนินการจัดทำโครงการฯ ที่มุ่งเน้นการพัฒนาศักยภาพของบุคลากร ให้สามารถรับใช้ภาระหน้าที่อย่างมีประสิทธิภาพ อาทิ การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ หลักสูตรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับภาระงาน อาทิ การบริหารจัดการ คุณภาพ ความปลอดภัย และสุขาภิบาล ฯลฯ ตลอดจนการพัฒนาทักษะด้านภาษาต่างประเทศ ให้สามารถ溝通 ทำงานในสากล ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่สำคัญยิ่ง ในการสนับสนุนให้บุคลากรสามารถรับใช้ภาระหน้าที่อย่างมีประสิทธิภาพ ให้กับองค์กร นำไปสู่ความสำเร็จในระยะยาว

ขอขอบพระคุณครูช่างทุกท่าน ที่ให้ข้อมูลเชิงลึก ในการฝึกอบรม ที่มีประโยชน์มาก ทางสถาบันฯ ขอขอบพระคุณครูช่างทุกท่าน ที่ให้ความรู้ ความเข้าใจ แก่บุคลากร ในการทำงาน ให้สามารถรับใช้ภาระหน้าที่อย่างมีประสิทธิภาพ ให้กับองค์กร นำไปสู่ความสำเร็จในระยะยาว

ขอขอบคุณห้องสมุดมหาวิทยาลัยนเรศวร ให้การสนับสนุน ในการจัดทำโครงการฯ อย่างเต็มที่ ในการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ ให้สามารถรับใช้ภาระหน้าที่อย่างมีประสิทธิภาพ ให้กับบุคลากร นำไปสู่ความสำเร็จในระยะยาว

ขอขอบคุณรุ่นพี่บริษัทฯ ที่ให้ความรู้ ความเข้าใจ แก่บุคลากร ในการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ ให้สามารถรับใช้ภาระหน้าที่อย่างมีประสิทธิภาพ ให้กับองค์กร นำไปสู่ความสำเร็จในระยะยาว

ขอขอบคุณท่านผู้อำนวยการ ที่ให้การสนับสนุน ในการจัดทำโครงการฯ อย่างเต็มที่ ในการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ ให้สามารถรับใช้ภาระหน้าที่อย่างมีประสิทธิภาพ ให้กับบุคลากร นำไปสู่ความสำเร็จในระยะยาว

คณะกรรมการวิศวกรรม

นายสุโพ เก่งไกด์

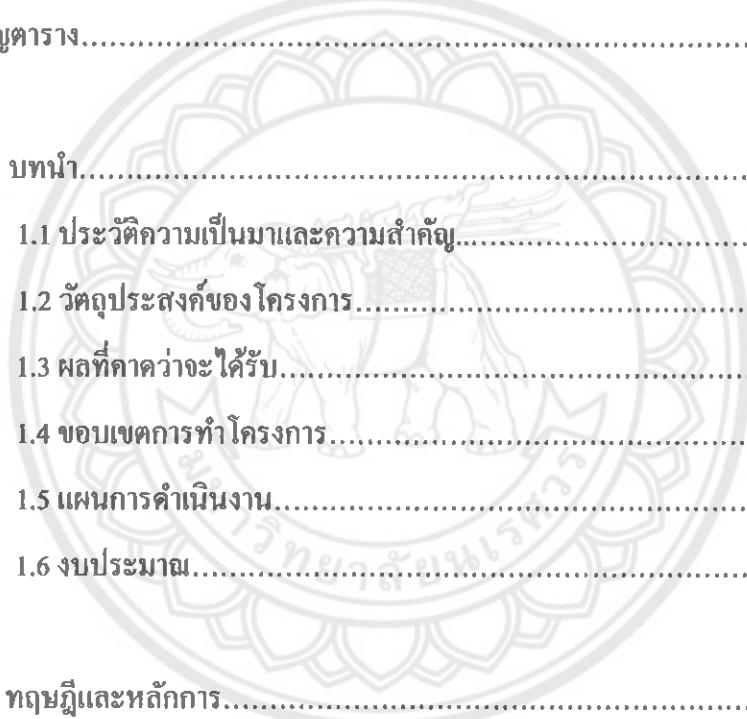
นายนิกร สถานอุ่น

นายธีระวัฒน์ ใจนาน

เมษายน 2555

สารบัญ

หน้า

๑)	ในรับรองโครงการวิจัย.....	๗
	บทคัดย่อภาษาไทย.....	๘
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	๙
	กิตติกรรมประกาศ.....	๙
	สารบัญ.....	๑๐
	สารบัญรูป.....	๑๔
	สารบัญตาราง.....	๑๕
		
๒)	บทที่ 1 บทนำ.....	๑
	1.1 ประวัติความเป็นมาและความสำคัญ.....	๑
	1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	๒
	1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	๒
	1.4 ขอบเขตการทำงาน.....	๒
	1.5 แผนการดำเนินงาน.....	๒
	1.6 งบประมาณ.....	๓
๓)	บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	๔
	2.1 การหาตัวของคอนกรีต.....	๔
	2.2 การทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต.....	๗
	2.3 การคืนตัวของคอนกรีต.....	๙
	2.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการคืนตัวของคอนกรีต.....	๑๓
	2.5 การหาค่าการคืนตัว.....	๑๕
	2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	๑๕

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วัสดุและขั้นตอนการทดสอบ.....	19
3.1 บทนำ.....	19
3.2 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในโกร่งงาน.....	19
3.2.1 วัสดุที่ใช้ในโกร่งงาน.....	19
3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ.....	21
3.3 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต.....	24
3.3.1 การเตรียมพื้น.....	24
3.3.2 การเตรียมทราย.....	25
3.3.3 ส่วนผสมที่ใช้ในการทดสอบ.....	26
3.3.4 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบคอนกรีต.....	27
1) วิธีการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต.....	28
2) วิธีการทดสอบการหดตัวของคอนกรีต.....	29
3) วิธีการทดสอบการคีบตัวของคอนกรีต.....	31
3.4 การพัฒนาการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต.....	33
3.4.1 การออกแบบหัวยึดคอนกรีต	34
3.4.2 วิธีการทดสอบกำลังดึง.....	37
3.5 การพัฒนาการทดสอบการคีบตัวแบบดึง.....	40
3.5.1 การพัฒนาอุปกรณ์แขวนตัวอย่างคอนกรีต.....	40
3.5.2 การพัฒนาอุปกรณ์คีบขันแนวตั้ง.....	43
3.5.3 การพัฒนาอุปกรณ์ยึดสำหรับความเครียดของคอนกรีต.....	44
3.5.4 วิธีการทดสอบการคีบตัว	50

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดสอบ.....	54
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ.....	54
4.2 ผลการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีตคั่งหัวเข็มแบบต่างๆ.....	55
4.2.1 ผลการทดสอบกำลังดึงคั่งหัวเข็มแบบที่ 1.....	56
4.2.2 ผลการทดสอบกำลังดึงคั่งหัวเข็มแบบที่ 2.....	57
4.2.3 ผลการทดสอบกำลังดึงคั่งหัวเข็มแบบที่ 3	58
4.2.4 ผลการทดสอบกำลังดึงคั่งหัวเข็มแบบที่ 4.....	59
4.3 ผลการทดสอบการพัฒนาการทดสอบการคีบตัวแบบดึง.....	60
4.3.1 การพัฒนาอุปกรณ์แขวนตัวอย่างคอนกรีต.....	60
4.3.2 การพัฒนาอุปกรณ์ค้ำขันแนวตั้ง.....	61
4.3.3 การพัฒนาอุปกรณ์ยึดสำหรับความเครียดของคอนกรีต.....	62
4.4 ผลการทดสอบการทดสอบตัว.....	64
4.4 ผลการทดสอบการคีบตัว	64
 บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ.....	67
5.1 ผลการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีตคั่งหัวเข็มแบบต่างๆ.....	67
5.2 ผลการทดสอบการพัฒนาการทดสอบการคีบตัวแบบดึง.....	67
5.3 ผลการทดสอบการคีบตัว.....	68
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	69
 เอกสารข้างต้น.....	70
 ประวัติย่อผู้วิจัย.....	72

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	แสดงการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีตด้วยวิธี Flexural Test.....	8
รูปที่ 2.2	แสดงการทดสอบกำลังดึงหักวิธี Splitting	9
รูปที่ 2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างคอนกรีตภายในตัวอย่างกับความเสื่อมอัดตามแนวแรงคงที่กับเวลา.....	10
รูปที่ 2.4	โครงทดสอบการคีบตัวแบบแรงดึงที่โครงงานได้นำมาเป็นแบบอย่างในการปรับปรุงและเพิ่มส่วนประกอบ.....	11
รูปที่ 2.5	โครงทดสอบการคีบตัวแบบแรงดึงที่โครงงานได้นำมาเป็นแบบอย่างในการทำปรับปรุงและเพิ่มส่วนประกอบ	11
รูปที่ 2.6	ชุดทดสอบการคีบตัวแบบแรงดึงที่มีการควบคุมอุณหภูมิหรือมีการทดสอบการคีบตัวแบบ Basic Creep	12
รูปที่ 2.7	ชุดทดสอบการคีบตัวแบบแรงอัด	12
รูปที่ 2.8	ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการคีบและการเปลี่ยนรูปคีบ	13
รูปที่ 3.1	บุนชีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราช้าง	20
รูปที่ 3.2	กราฟแม่น้ำ.....	20
รูปที่ 3.3	หินปูนขนาดโถสูดเท่ากับ % น้ำ.....	21
รูปที่ 3.4	เครื่อง UTM.....	21
รูปที่ 3.5	เครื่องบันทึกและแปลงสัญญาณ.....	22
รูปที่ 3.6	ถักขยะของอุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบและการติดตั้งเข้ากับก้อนคอนกรีตตัวอย่าง.....	22
รูปที่ 3.7	สายวัดความเครียด และอุปกรณ์การติด สายวัดความเครียด	23
รูปที่ 3.8	ขนาดและลักษณะการใส่หัวเข็คภายในก้อนคอนกรีต.....	23
รูปที่ 3.9	ชุดทดสอบการคีบตัวแบบแรงดึง	24
รูปที่ 3.10	ขั้นตอนการเตรียมหิน	25
รูปที่ 3.11	ขั้นตอนการเตรียมราย.....	26
รูปที่ 3.12	แบบหล่อคอนกรีตตัวอย่าง.....	27
รูปที่ 3.13	การเจาะเข้าคอนกรีต.....	27

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.14 การป้องกันการสูญเสียความชื้นของคอนกรีต.....	28
รูปที่ 3.15 ลักษณะการดึงก้อนหัวอย่างคอนกรีตของเครื่อง UTM.....	28
รูปที่ 3.16 การเตรียมแบบหล่อคอนกรีต.....	29
รูปที่ 3.17 การป้องกันการสูญเสียความชื้นของคอนกรีต.....	29
รูปที่ 3.18 คอนกรีตที่มีการแข็งตัว	30
รูปที่ 3.19 การตั้งค่าให้ได้ 0.000 มิลลิเมตร.....	30
รูปที่ 3.20 การวัดค่าการหดตัวของคอนกรีต.....	30
รูปที่ 3.21 ลักษณะการดึงก้อนคอนกรีตเพื่อหากำลังดึง หัวเครื่อง UTM.....	31
รูปที่ 3.22 การหาระยะเบนของไมเนนต์เพื่อเป็นจุดไส้แรง.....	31
รูปที่ 3.23 ลักษณะการติดตั้งก้อนคอนกรีตที่พร้อมทดสอบการเปลี่ยนแปลงความยาว.....	32
รูปที่ 3.24 การเชื่อมเครื่องบันทึกข้อมูลเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์.....	32
รูปที่ 3.25 การใส่น้ำหนักจากจุดที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 3.2.....	33
รูปที่ 3.26 แสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์ที่พร้อมใช้งาน	33
รูปที่ 3.27 แสดงอุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบ	34
รูปที่ 3.28 ลักษณะหัวขีดที่ฝังในก้อนคอนกรีตทั้ง 4 หัวขีด	34
รูปที่ 3.29 ลักษณะหัวขีดก้อนคอนกรีตแบบที่ 1.....	35
รูปที่ 3.30 หัวขีดแบบที่ 2	36
รูปที่ 3.31 หัวขีดแบบที่ 3	36
รูปที่ 3.32 หัวขีดแบบที่ 4	37
รูปที่ 3.33 แสดงก้อนหัวอย่างคอนกรีตที่จะนำไปทดสอบกำลังดึง.....	38
รูปที่ 3.34 การติดอุปกรณ์เสริม.....	38
รูปที่ 3.35 เครื่อง UTM และการติดตั้งก้อนคอนกรีตเข้ากับเครื่อง UTM.....	39
รูปที่ 3.36 รอยแตกของก้อนคอนกรีตหัวอย่าง.....	39
รูปที่ 3.37 เกลี่ยวเร่ง (Turnbuckles).....	40
รูปที่ 3.38 แสดงการทดสอบเกลี่ยวเร่ง (Turnbuckles).....	41
รูปที่ 3.39 สดงที่ใช้ในการทดสอบ.....	41

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.40	แสดงรูปการทดสอบสติง.....	42
รูปที่ 3.41	ใช่ที่ใช้ทดสอบ.....	42
รูปที่ 3.42	การทดสอบใช่.....	43
รูปที่ 3.43	อุปกรณ์ค้ำขันแนวตั้ง.....	43
รูปที่ 3.44	ตำแหน่งค้ำขันแนวตั้ง.....	44
รูปที่ 3.45	อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบ (LVDT).....	45
รูปที่ 3.46	อุปกรณ์ชิด อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบ (LVDT).....	45
รูปที่ 3.47	การติดตั้ง อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบ (LVDT).....	46
รูปที่ 3.48	สายวัดความเครียดและอุปกรณ์ติด สายวัดความเครียด.....	47
รูปที่ 3.49	การปรับผิว ก้อนคอนกรีตตัวอย่าง.....	47
รูปที่ 3.50	การติดเทปกาว.....	47
รูปที่ 3.51	การเทกาวลงตามพื้นพลาสติก.....	48
รูปที่ 3.52	การทดสอบน้ำยาเร่งปฏิกิริยาของกาว.....	48
รูปที่ 3.53	คนกาวให้เข้ากันกับน้ำยาเร่งปฏิกิริยา.....	48
รูปที่ 3.54	การติดแผ่นปรับผิว กาว.....	49
รูปที่ 3.55	ลักษณะกาวที่แห้งแล้วพร้อมสำหรับการติดสายวัดความเครียด.....	49
รูปที่ 3.56	การทำกาวบนสายวัดความเครียด	49
รูปที่ 3.57	การกดทันแผ่นสายวัดความเครียด	50
รูปที่ 3.58	การเชื่อมต่อสายไฟฟ้าเข้ากับสายไฟสายวัดความเครียด	50
รูปที่ 3.59	การเตรียม สายวัดความเครียด.....	51
รูปที่ 3.60	การเขียนก้อนคอนกรีตตัวอย่างพร้อมตรวจสอบแนวแรงให้อยู่ในแนวตั้ง.....	52
รูปที่ 3.61	การเตรียมเครื่องบันทึกการเปลี่ยนแปลงของก้อนกรีตตัวอย่าง.....	52
รูปที่ 3.62	น้ำหนักที่ใช้เป็นแรงในการทดสอบการคีบตัว.....	53
รูปที่ 4.1	ร้อยแตงของก้อนกรีตคีบหัวบีบแบบที่ 1.....	56
รูปที่ 4.2	ร้อยแตงของก้อนกรีตคีบหัวบีบแบบที่ 2.....	57

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.3 รอยแตกของคอนกรีตด้วยหัวเข็มแบบที่ 3.....	58
รูปที่ 4.4 รอยแตกของคอนกรีตด้วยหัวเข็มแบบที่ 4.....	59
รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบการยึดตัวของอุปกรณ์เบวนคอนกรีต.....	60
รูปที่ 4.6 การติดตั้งอุปกรณ์ค้ำขันในแนวตั้ง.....	61
รูปที่ 4.7 แนวเร่งและตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ค้ำขัน.....	62
รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบอุปกรณ์ชี้ดัก อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบ (LVDT).....	63
รูปที่ 4.9 ผลการเปลี่ยนแปลงความยาวของก้อนคอนกรีตตัวอย่าง.....	65



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แผนการทำโครงการศึกษาพฤติกรรมการคืนตัวแบบดึงของคอนกรีต.....	2
ตารางที่ 3.1 ปริมาณของส่วนผสมคอนกรีต.....	26
ตารางที่ 3.2 จำนวนหัวอย่างคอนกรีตที่ทดสอบ.....	26
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต.....	55
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการยึดตัวของอุปกรณ์แขวนหัวอย่างคอนกรีต.....	60
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบของคอนกรีต.....	64



บทที่ 1

บทนำ

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในปัจจุบันพบว่ามักจะมีปัญหาเกี่ยวกับการแตกร้าว ซึ่งการแตกร้าวที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากหลายสาเหตุ และการแตกร้าวนี้่องมากจากการขาดตัวของคอนกรีตที่เป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่สำคัญที่พบมากในปัจจุบัน การแตกร้าวส่งผลต่อปัญหาด้านความคงทนของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทำให้มีอิทธิพลต่อการใช้งานลดลง จึงต้องมีการบำรุงรักษาและซ่อมแซม ทำให้เสียค่าใช้จ่ายและเสียเวลาในการบำรุงรักษาและซ่อมแซม ดังนั้น วิศวกรหรือนักวิจัยจึงเริ่มให้ความสำคัญของปัญหาดังกล่าวมากขึ้นในปัจจุบัน

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

จุดประสงค์

ปัญหาการแตกร้าวนี้่องจากการขาดตัวของคอนกรีตของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก การแตกร้าวของคอนกรีตที่เกิดจากการขาดตัวของคอนกรีตทำให้เกิดหน่วยแรงคงภายในคอนกรีต หากหน่วยแรงคงที่เกิดขึ้นนั้นมีค่ามากกว่าความสามารถรับแรงคงของคอนกรีต ก็จะทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าว การคืนตัวของคอนกรีตจะทำให้หน่วยแรงคงที่เกิดเนื่องจากการขาดตัวมีค่าลดลง การคืนตัวของคอนกรีตมีทั้งการคืนตัวแบบอัดและการคืนตัวแบบดึง การคืนตัวแบบอัดมีผู้ที่สนใจในการทำการวิจัยมากเมื่อเทียบกับการคืนตัวแบบดึง การคืนตัวแบบดึงมีผู้ศึกษาและวิจัยน้อยมาก ในประเทศไทย เนื่องจากการทดสอบการคืนตัวแบบดึงทำได้ยากที่จะทำให้หน่วยแรงคงที่เกิดขึ้นมีการกระจายที่สม่ำเสมอจึงยังมีผู้ศึกษาไม่นัก ถ้าสามารถพัฒนาเทคนิคที่ใช้ในการทดสอบการคืนแบบดึงให้ง่ายต่อการใช้งานและสามารถใช้ได้จริง ก็จะทำให้มีการศึกษาการคืนตัวแบบดึงเพิ่มมากขึ้น และมีข้อมูลที่จะเอามาใช้ในการออกแบบโครงสร้างไม่ได้ สาเหตุหนึ่งก็เพราะมีข้อมูลการคืนตัวไม่เพียงพอ เนื่องจากต้องนำข้อมูลการคืนตัวแบบดึงไปใช้ในการทำงานของการทดสอบของคอนกรีต โครงงานนี้จึงจะเน้นการศึกษาการคืนตัวเนื่องจากแรงคงและพัฒนาเครื่องมือการทดสอบให้มีความถูกต้องและแม่นยำ

การทดสอบการคืนตัวแบบดึงได้มีการพัฒนาการทดสอบมาจากวิทยานิพนธ์ต่างประเทศ ชื่อ Tensile and Compressive Creep of Early Age Concrete: Testing and Modelling ผู้เขียนชื่อ Atrushi [1] ได้มีการปรับปรุงการทดสอบให้ดีขึ้น โดยปรับเพิ่มค่าขันเพื่อให้ก่อนหัวข่างอยู่ใน

แนวคิดง่อมองการทดสอบ และปรับปรุงหัวข้อคณกรีตเพื่อที่จะให้การกระจายของแรงในก้อนคณกรีตที่ทดสอบมีความสม่ำเสมอ กันทั้งหน้าตัด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

- 1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการคืนตัวแบบดึงของคอนกรีต
 - 1.2.2 เพื่อพัฒนาชุดทดสอบการคืนตัวแบบดึงของคอนกรีต

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ทราบถึงพฤติกรรมการคืบแนบดึงของคนกรีด
 - 1.3.2 ได้ชุดทดสอบการคืบตัวแบบแรงดึงของคนกรีด

1.4 ขอบเขตการทำโครงการ

โครงการนี้เป็นการทดสอบการตัวแบบดึง เนื่องจากแรงภายนอกโดยกำหนดหน่วยแรงดึงที่ใช้เท่ากับ 20% ของกำลังดึงของคอนกรีต ส่วนผสมที่ใช้ในการทดสอบมี อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55 ปริมาตรเพสต์ต่อปริมาตรซ่องว่างของมวลรวมเท่ากับ 1.4 และใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ทแลนด์ประเภทที่ 1 ทดสอบหัวเข็คคอนกรีตแบบต่างๆ จำนวน 4 แบบ

1.5 ໂລກນໍາ

ตารางที่ 1.1 แผนการทำโครงการศึกษาพุทธกรรมการคืบตัวแบบดึงของคอนกรีต

1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

1. ค่าวัสดุสำนักงาน	1,000 บาท
2. ค่าวัสดุในห้องปฏิบัติการ	1,000 บาท
3. ค่าถ่ายเอกสารและเข้ารูปเล่น	1,000 บาท
รวมเป็นเงิน	3,000 บาท (สามพันบาทถ้วน)

หมายเหตุ ด้วยผลลัพธุ์จากการ



บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในโครงการนี้ ผู้ศึกษาสนใจศึกษาการคืนตัวแบบดึงของคอนกรีตที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระทำภายนอก เนื่องจากการคืนตัวของคอนกรีตเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการแแทกร้าวของคอนกรีต การคืนตัวของคอนกรีตที่เกิดขึ้นจะไปช่วยลดหน่วงแรงดึงที่เกิดเนื่องมาจากการหดตัวของคอนกรีต ได้ ด้านคอนกรีตเกิดการคืนตัวแบบดึงมากขึ้นจะทำให้การแแทกร้าวของคอนกรีตลดลง ด้วยเหตุผลนี้ จึงมีการศึกษาพฤติกรรมการคืนตัวของคอนกรีตเพื่อนำไปปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตให้ดีขึ้น และนำคุณสมบัตินี้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านการแก้ไขปัญหาการแแทกร้าวของโครงสร้าง คอนกรีตเสริมเหล็กต่อไป

2.1 การหดตัวของคอนกรีต

การหดตัวของคอนกรีตจะเกิดขึ้นในส่วนของซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) เกิดขึ้นจากสาเหตุหลายประการและเกิดในช่วงเวลาที่ต่างกัน การหดตัวสามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิดคือ

- การหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Chemical Shrinkage หรือ Hydration Shrinkage)
- การหดตัวแบบออโตจีนัส (Autogenous Shrinkage)
- การหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage)
- การหดตัวเนื่องจากคาร์บอนেชั่น (Carbonation Shrinkage)

2.1.1 การหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

การหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในช่วงก่อนการก่อตัว มักไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อกองกรีตที่แข็งตัวแล้ว เมื่อจากเกิดมากในช่วงเวลาเริ่มแรกก่อนเวลาหดตัวสุดท้ายของคอนกรีต ซึ่งกองกรีตสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้โดยไม่เกิดหน่วงแรง และลักษณะของการหดตัวจะเป็นการสร้างช่องว่างในเจล (Gel Pores) จึงไม่ค่อยมีผลต่อปริมาตรของคอนกรีตโดยรวม ดังนั้นการหดตัวประเภทนี้ในช่วงก่อนการก่อตัวจะไม่ได้รับความสนใจมากนัก แต่ส่วนที่หดตัวหลังจากที่กองกรีตหดตัวสุดท้ายแล้ว จะเป็นปัญหาและจะคิดรวมอยู่ในการหดตัวแบบออโตจีนัส

2.1.2 การหดตัวแบบออโอลิจีนัส

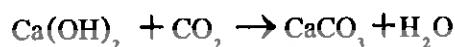
การหดตัวแบบออโอลิจีนัสเป็นการหดตัวที่ส่วนหนึ่งเป็นการหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาไไซเดรชั่น ที่เกิดหลังจากการก่อตัวขึ้นสุดท้ายของคอนกรีต รวมกับอีกส่วนหนึ่งที่เกิดจาก การสูญเสียความชื้น ในช่องว่างกะปิลารี (Capillary Pores) เมื่อongจากความชื้นบางส่วนถูกใช้ไปในปฏิกิริยาระหว่างวัสดุประสานกับน้ำ ทำให้เกิด Capillary Suction ขึ้นในช่องว่างกะปิลารี มีผลให้ คอนกรีตหดตัวจากแรง Capillary Suction นี้ ซึ่งปรากฏการณ์เรียกว่า “Self-desiccation” การหดตัวแบบออโอลิจีนัสแตกต่างจากการหดตัวแบบแห้งหงอยที่ไม่ได้มีการสูญเสียความชื้นในคอนกรีตไปสู่สิ่งแวดล้อม แต่เป็นการสูญเสียความชื้นภายในคอนกรีตเอง การหดตัวแบบออโอลิจีนัสเกิดขึ้น ทันทีหลังจากที่ผสานคอนกรีตเสร็จ แต่ในทางปฏิบัติจะมีผลต่อปริมาตรหลังจากที่หดตัวแล้ว แล้ว เนื่องจากการหดตัวในช่วงก่อนการเทคอนกรีตจะไม่มีผลต่อปริมาตรของโครงสร้างที่จะเห็น และจะมีผลในทางโครงสร้างหลังจากที่หดตัวแล้ว เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรก่อน การก่อตัวจะไม่ทำให้เกิดหน่วยแรงในคอนกรีต ดังนั้นจึงนิยมวัดค่าการหดตัวแบบออโอลิจีนัสโดย เริ่มต้นจากระยะเวลา ก่อตัวเริ่มต้น

2.1.3 การหดตัวแบบแห้ง

การหดตัวแบบแห้งเกิดจากการที่หดตัวอยู่ในภาวะอากาศที่มีความชื้นต่ำ ทำให้ คอนกรีตบริเวณผิวที่สัมผัสถกับอากาศสูญเสียน้ำ และเกิดการหดตัว โดยที่การหดตัวที่เกิดขึ้นนั้น บางส่วนไม่อาจกลับคืนสู่สภาพเดิมได้แม้ว่าจะทำให้หดตัวเป็นครั้งขึ้นมาใหม่ การหดตัวแบบ แห้งและการแตกร้าวนี้เนื่องจากการหดตัวแบบแห้งเกิดขึ้นในคอนกรีตบริเวณผิวที่สัมผัสถกับอากาศ มี ความชื้นต่ำกว่าความชื้นในช่องว่างกะปิลารีมาก เนื่องจากสูญเสียน้ำอิสระไปสู่อากาศได้ด้วยการ ระเหย ทำให้เกิดแรงดึงดันในช่องว่างกะปิลารีประกอบกับปริมาตรของคอนกรีตลดลงหรือหดตัว ลงจากการสูญเสียน้ำ ถ้าการหดตัวนี้ถูกขัดรัง ไม่ว่าด้วยโครงสร้างที่อยู่รอบข้างหรือด้วยเนื้อคอนกรีต ภายในที่ไม่มีการสูญเสียความชื้น รอยแตกร้าวที่อาจเกิดขึ้นได้ถ้าการขัดรังนี้ก่อให้เกิดหน่วยแรงขีด รังที่มีค่าสูงกว่ากำลังแรงดึงของคอนกรีตในขณะนั้น การแตกร้าวที่เกิดจากการหดตัวแบบแห้งจะ แตกต่างกับการแตกร้าวแบบพลาสติกตรงที่ช่วงเวลาการเกิดการแตกร้าวแบบพลาสติก จะเกิด ในช่วงที่หดตัวอยู่ในช่วงพลาสติก และสามารถแก้ไขได้ง่ายโดยการหดตัวที่หดตัวเนื่องจากที่หดตัว แต่ที่หดตัวแบบแห้งคือ ส่วนการแตกร้าวที่เกิดจากการหดตัวแบบแห้งจะเกิดหลังจากที่หดตัวแล้ว ซึ่งไม่สามารถจะหดตัวได้แล้ว

๒.๑.๔ การหดตัวเนื่องจากcarbonation

การบ่อนเนชั่นเป็นขบวนการที่เปลี่ยนผลิตผลทางชนิดของปูนซิลิกาไสเครทชั่น ซึ่งโดยปกติมักจะเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) และแคลเซียมซิลิกेट (C-S-H) ให้เป็นผลิตภัณฑ์การบอนเนต โดยปูนซิลิกาจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อต้องมีความชื้นและกําชการบอนไดออกไซด์ กลไกการเกิดการบอนเนชั่นสามารถอธิบายได้โดยการบ่อนเนชั่นเกิดจากการที่กําชการบอนไดออกไซด์ในอากาศ ทำปูนซิลิกากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ หรือแคลเซียมซิลิกेटไสเครท บริเวณผิวน้ำหรือใกล้ผิวน้ำของคอนกรีต ตามสมการของปูนซิลิกาดังต่อไปนี้



หรือ



ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะเป็นปูนซิลิกา (1) มากกว่า (2) และในความเป็นจริงแล้ว ทั้งสองปูนซิลิกาที่ต้องการน้ำในการทำปูนซิลิกาด้วย เมื่อจากปูนซิลิกาการบอนเนชั่นเป็นปูนซิลิกาที่เกิดในสภาพของสารละลาย คอนกรีตที่ถูกการบอนเนตไปแล้วจะมีความพรุนน้อยลงเนื่องจากแคลเซียมการบอนเนตซึ่งเป็นผลิตผลจากปูนซิลิกาการบอนเนชั่นจะช่วยอุดช่องว่างส่วนหนึ่งในคอนกรีต ลักษณะของการทำปูนซิลิกาจะเกิดในบริเวณใกล้ผิวน้ำของคอนกรีตที่มีโอกาสสัมผัสกับกําชการบอนไดออกไซด์ในอากาศ และกําชการบอนไดออกไซด์จะซึมผ่านเข้าไปในคอนกรีตได้โดยผ่านทางช่องว่างที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated Pores) เข้าไปทำปูนซิลิกาในบริเวณใกล้ผิวน้ำของคอนกรีตได้ ดังนั้นการบอนเนชั่นจะค่อยๆ คืนหน้าเข้าไปในเนื้อคอนกรีตด้วยอัตราที่ช้าลงเรื่อยๆ เพราะกําชการบอนไดออกไซด์ต้องแพร่ผ่านโครงสร้างช่องว่าง ของคอนกรีตและผ่านส่วนที่ถูกการบอนเนตไปแล้วซึ่งจะมีความพรุนน้อยลง ทำให้ซึมผ่านเข้าไปได้ยากขึ้น การทำให้เกิดการหดตัวเป็นผลมาจากการที่กําชการบอนไดออกไซด์ทำปูนซิลิกากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ภายใต้หน่วงแรงอัดที่เกิดจากการหดตัวแบบแห้งหรือจากการที่ทำให้แคลเซียมซิลิกेटไสเครทเกิดเสียน้ำ (Dehydrate) ซึ่งส่งผลให้เกิดการหดตัว

2.2 การทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต

วันที่ ๗ มกราคม พ.ศ.๒๕๖๑

โดยทั่วไปคอนกรีตถูกออกแบบมาให้รับแรงอัดแต่สำหรับกำลังดึงของคอนกรีตที่เป็นสิ่งสำคัญที่ควรศึกษา เพราะการทราบค่ากำลังดึงที่ได้นั้นจะเป็นข้อมูลที่ประเมินและควบคุมการตรวจสอบของคอนกรีตได้ กำลังดึงของคอนกรีตโดยทั่วไปมีค่าประมาณ 10 เบอร์เซ็นต์ของกำลังอัดของคอนกรีต และค่ากำลังดึงของคอนกรีตสามารถทำการทดสอบได้ 3 วิธีดังนี้

1) **Direct Tensile Test** การทดสอบหาค่ากำลังดึงของคอนกรีตด้วยวิธีนี้เป็นการให้แรงกระทำโดยตรงกับคอนกรีต โดยปกติแล้วการให้แรงดึงโดยตรงกับก้อนหินด้วยหัวจ่ายคอนกรีตทำได้ยาก เพราะมักเกิดความคลาดเคลื่อนของผลทดสอบเนื่องจาก เกิดการเยื่องคุณบูรณาการหินหัวจ่าย ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญมากและมีหน่วยแรงอื่น Darren เก็บเข้ามานามากหัวจ่ายมีค่าเดียวกันหน่วยแรงเฉพาะที่ และในที่สุดจะเกิดการแตก ณ บริเวณนี้ จากนี้จะแพร่ขยายไปยังรวดเร็ว กำลังดึงที่ได้จะเป็นของบริเวณที่มีกำลังต่ำสุด ซึ่งไม่ตรงกับค่ากำลังของเนื้อคอนกรีตจริง จากเหตุผลทั้ง 2 นี้ ผลจากการทดลองจึงมีความเชื่อมั่นค่า ทำให้ยังไม่มีการกำหนดมาตรฐานวิธีทดสอบแบบนี้ขึ้น

2) **Flexural Tensile Test** เมื่อจากการหาค่ากำลังดึงของคอนกรีตโดยตรงทำได้ยาก จึงมีการนิยมในการหาค่ากำลังดึงของคอนกรีตจากการทดสอบความคงทนภัยทางใต้แรงดึงแทน โดยค่าหน่วยแรงดึงจะเกิดสูงสุดที่บริเวณท้องคานที่เรียกว่า โมดูลัสการแตกร้าว (Modulus of Rupture) ซึ่งหาได้ตามสมการที่ 1

(1)

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

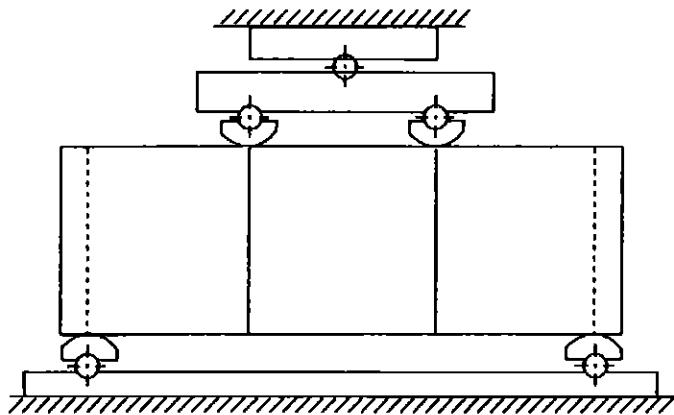
R = โมดูลัสการแตกร้าว (กก./ตร.ซม.)

P = น้ำหนักกดสูงสุด (กก.)

L = ความยาวของคาน (ซม.)

b = ความกว้างเฉลี่ยของคาน (ซม.)

d = ความสูงเฉลี่ยของคาน (ซม.)



รูปที่ 2.1 แสดงการทดสอบกำลังคึ่งของคอนกรีตด้วยวิธี Flexural Test

กำลังคึ่งของคอนกรีตที่ดำเนินผลด้วยวิธีนี้จะมีค่ามากกว่ากำลังโดยรวมของคอนกรีต 50 – 100 % จากผลกระทำของ Strain Gradient เมื่อจากหน่วยการบีดหดตัวในคอนกรีตที่เกิดขึ้นอยู่ ในลักษณะส่วนโถงนี้ใช้การบีดหดในลักษณะเส้นตรงอย่างที่สมมุติ ซึ่งทำให้ไม่คุ้ดสของ การแตกร้าวมีค่าแตกต่างกันไปตามขนาดความลึกของความทดสอบ นอกจากนั้นในการผิวทดสอบกำลังคึ่งโดยรวม ปริมาตรทั้งหมดของคอนกรีตจะได้รับหน่วยแรงคึ่งที่กระทำ แต่การทดสอบการคัดน้ำ บริเวณของคอนกรีตส่วนนื้อบริเวณท้องคานเท่านั้นที่ได้รับหน่วยแรงคึ่ง แต่อย่างไรก็ตามค่า กำลังคัดน้ำที่ประทับน้ำหัวงานควบคุมคุณภาพคอนกรีตในงานถนนและพื้นสนามบิน เพราะ คอนกรีตคั้งกล่าวต้องรับน้ำหนักในรูปลักษณะของแรงคัด

3) Splitting Test การทดสอบด้วยวิธีนี้เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ทดสอบกำลังคึ่งของ คอนกรีตโดยใช้ก้อนตัวอย่างทรงกระบอกมาตรฐาน วางให้แนบตามยาวอยู่ในแนวอนบนเครื่อง ทดสอบแรงอัด ก้อนตัวอย่างจะแตกในแนวคึ่งตามเส้นผ่านศูนย์กลาง จึงสามารถคำนวณกำลัง ต้านทานแรงคึ่งบนฐานะแตกร้าวได้ตามสมการที่ 2

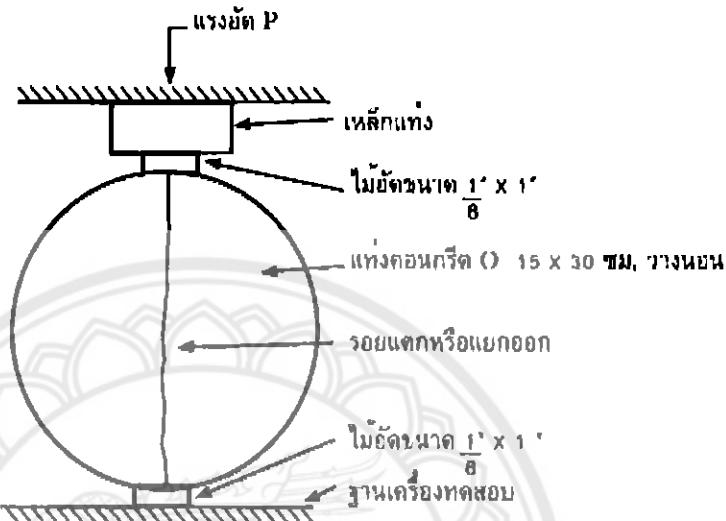
$$f_s = \frac{2P}{\pi dL} \quad (2)$$

f_s = Splitting Strength

P = น้ำหนักกดสูงสุด (กก.)

L = ความยาวของก้อนตัวอย่างทรงกระบอก (ซม.)

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนตัวอย่าง (ซม.)



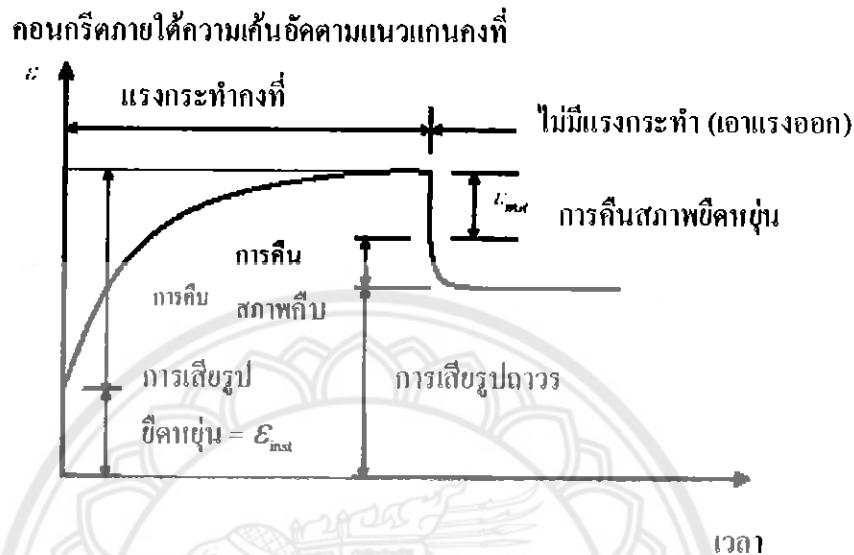
รูปที่ 2.2 แสดงการทดสอบกำลังคั่วบริช Splitting

กำลังคั่งที่ได้จากบริชนี้จะสูงกว่ากำลังคั่งจริง ประมาณ 5 – 12 % แต่ถือว่าเป็นค่าที่ใกล้เคียง กว่าค่าที่ได้จากการคั่งดัด และข้อดีของบริชนี้ คือ ก้อนตัวอย่างสามารถใช้ทดสอบได้ทั้งกำลังอัด และกำลังคั่ง

2.3 การคีบตัวของคอนกรีต

การคีบตัวที่เกิดขึ้นภายในก้อนตัวอย่างคอนกรีตคือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือการเสียรูปของคอนกรีตนั้นเอง เมื่อไส้แรงกระทำให้กับก้อนคอนกรีตตัวอย่างจะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบอีลาสติก (Elastic –Deformation) การเสียรูปแบบอีลาสติกนี้จะเกิดขึ้นแบบทันทีทันใด และเมื่อเราไส้แรงกระทำคงที่ถ้าไส้แรงนี้อยู่ต่อเนื่องนานไปก็จะเกิดการเปลี่ยนรูป และการเปลี่ยนรูปนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลา การเปลี่ยนรูปดังกล่าวเรียกว่า “การคีบตัว (Creep deformation)” ดังรูปที่ 2.1 และ 2.2 การคีบแบบออกตามลักษณะของแรงที่มากจะทำคีบ ถ้าแรงกระทำเป็นแรงอัดการคีบตัวที่เกิดขึ้นก็จะเป็นการคีบตัวแบบแรงอัด แต่ถ้าแรงที่มากจะทำคีบเป็นแรงดึงการคีบตัวที่เกิดขึ้นก็จะเป็นการคีบตัวแบบแรงดึง นอกจากในพฤติกรรมการคีบตัวข้างสามารถแบ่งการคีบตัวได้เป็น 2 ประเภทคือ ถ้าไม่มีการสูญเสียความชื้นของคอนกรีตไปสู่สิ่งแวดล้อมในระหว่างทดสอบเราจะเรียกว่า “การคีบตัว

พื้นฐาน (Basic Creep)" แต่ถ้ายอมให้ก้อนคอนกรีตตัวอย่างสูญเสียความชื้นไปสู่สิ่งแวดล้อมเราจะเรียกว่า "การคีบตัวแห้ง (Drying Creep)"



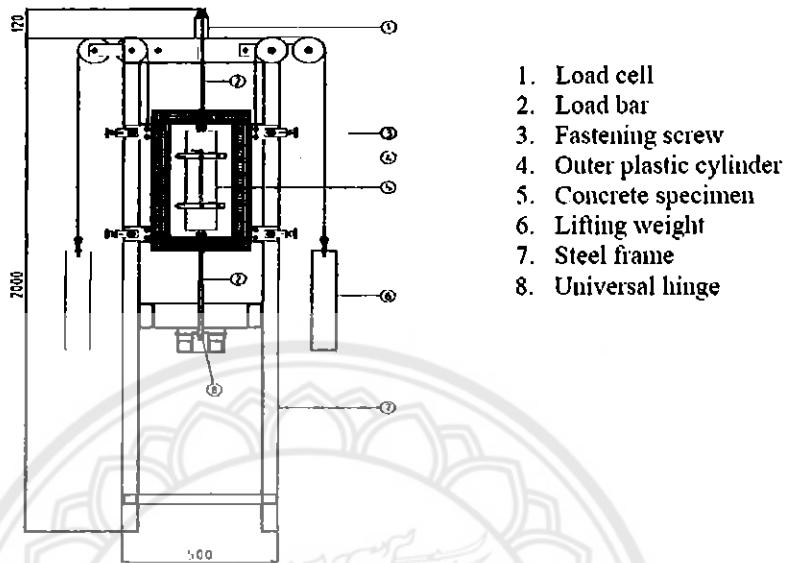
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างคอนกรีตภายในอัคคาม
แนวแรงคงที่กับเวลา [จาก Atrushi,2003][1]

2.3.1 การคีบตัวแบบดึง

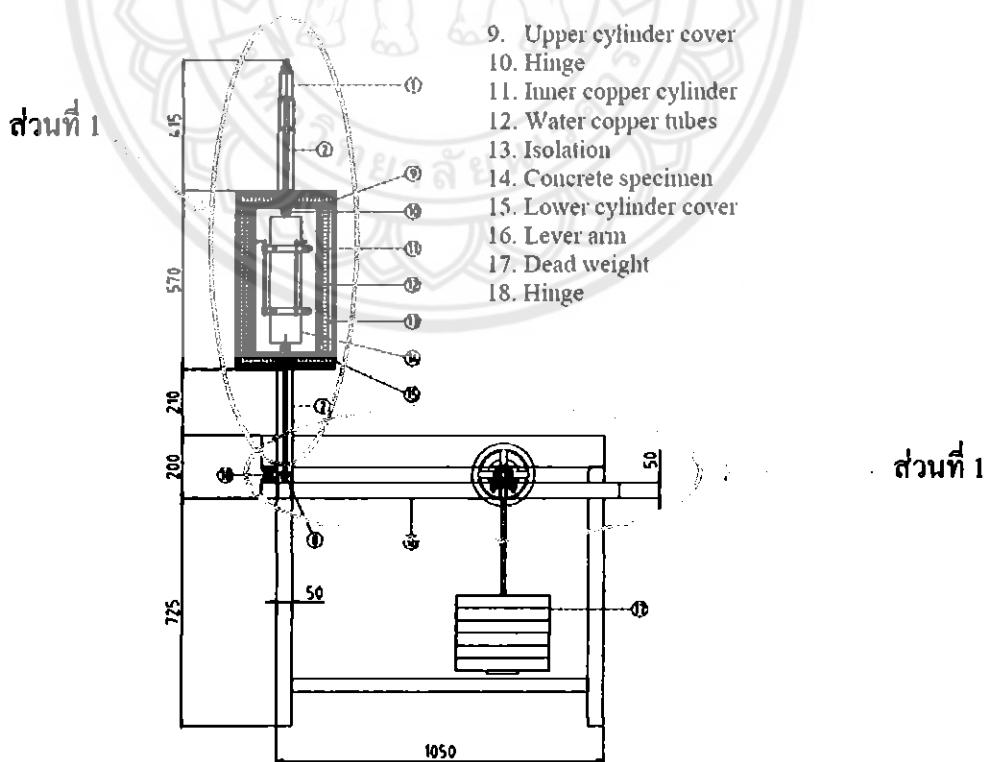
การทดสอบการคีบตัวของคอนกรีตจะคล้ายกับการให้แรงกระทำกับคอนกรีตโดยตรง เช่นเดียวกับการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีตแบบ Direct Tensile Test ซึ่งการให้แรงกระทำโดยตรงกับคอนกรีตนั้นถึงที่เป็นอุปสรรคคือการที่จะทำให้หน่วยแรงงานในก้อนคอนกรีตเกิดขึ้นกระชาบอย่างสม่ำเสมอ

การทดสอบการคีบตัวแบบแรงดึงหลาบริช วิธีที่ใช้ในโครงการนี้ เป็นวิธีที่นำมากจาก วิทยานิพนธ์ต่างประเทศ ชื่อ Tensile and Compressive Creep of Early Age Concrete: Testing and Modelling โดยการทดสอบการคีบตัวของคอนกรีตด้วยวิธีนี้ได้ออกแบบหัวเข็มคอนกรีต เพื่อแก้ไขปัญหารံองการเมืองศูนย์ของแนวแรงทำให้หน่วยแรงที่เกิดขึ้นมีการกระจายไม่สม่ำเสมอดังรูปที่ 2.4 หัวเข็มแบบที่ 1 และได้ออกแบบโครงการทดสอบการคีบตัวของคอนกรีต โดยโครงการทดสอบการคีบตัวนี้จะแบบออกแบบเป็นสองส่วนคือ โครงในแนวอนกับโครงในแนวตั้ง โครงในแนวตั้งมีไว้สำหรับแขวนก้อนคอนกรีตและโครงในแนวอนมีไว้สำหรับการให้แรงที่มากระทำกับก้อนตัวอย่าง คอนกรีตดังรูปที่ 2.5

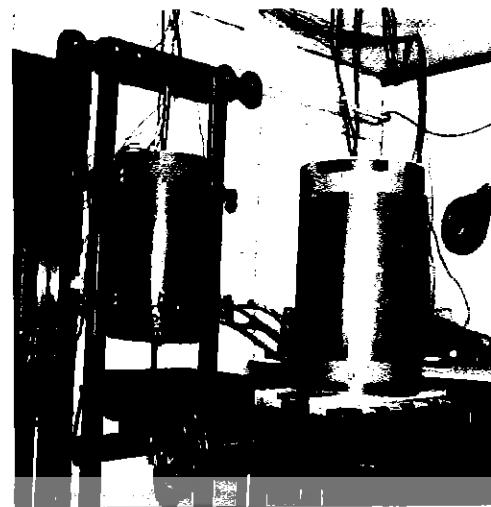
การให้แรงกระทำกับก้อนคอนกรีตนั้นให้ผ่านโครงในส่วนที่ 2 คือโครงในแนวนอน โครงในแนวนอนนั้นมีน้ำหนักที่คงที่แนวนิ่ว และสามารถเดื่อนน้ำหนักที่แนวนิ่วได้ การเดื่อนไปมาของศูนย์น้ำหนักนั้นจะถ่ายแรงผ่านโครงส่วนที่ 2 และ 1 ดังรูปที่ 2.5 ไปยังก้อนคอนกรีตทดสอบ



รูปที่ 2.4 โครงทดสอบการคืนตัวแบบแรงดึงที่โครงงานได้นำมาเป็นแบบอย่างในการทำปรับปรุงและเพิ่มส่วนประกอบจาก [Atrushi ,2003][1]



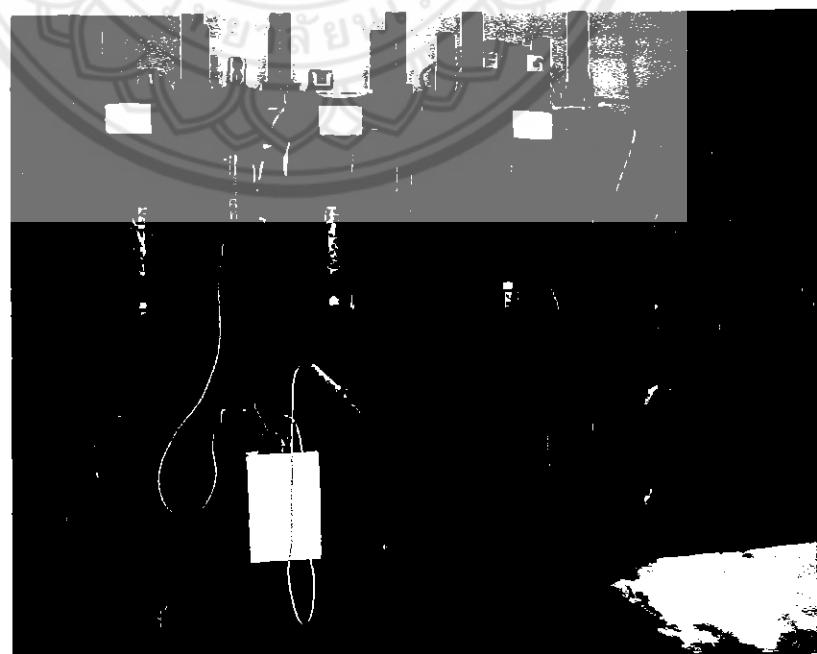
รูปที่ 2.5 โครงทดสอบการคืนตัวแบบแรงดึงที่โครงงานได้นำมาเป็นแบบอย่างในการทำปรับปรุงและเพิ่มส่วนประกอบจาก [Atrushi ,2003][1]



รูปที่ 2.6 ชุดทดสอบการคีบตัวแบบแรงดึงที่มีการควบคุมอุณหภูมิหรือไม่การทดสอบการคีบตัวแบบ Basic Creep [จาก Atrushi ,2003][1]

2.3.2 การคีบตัวแบบอัด

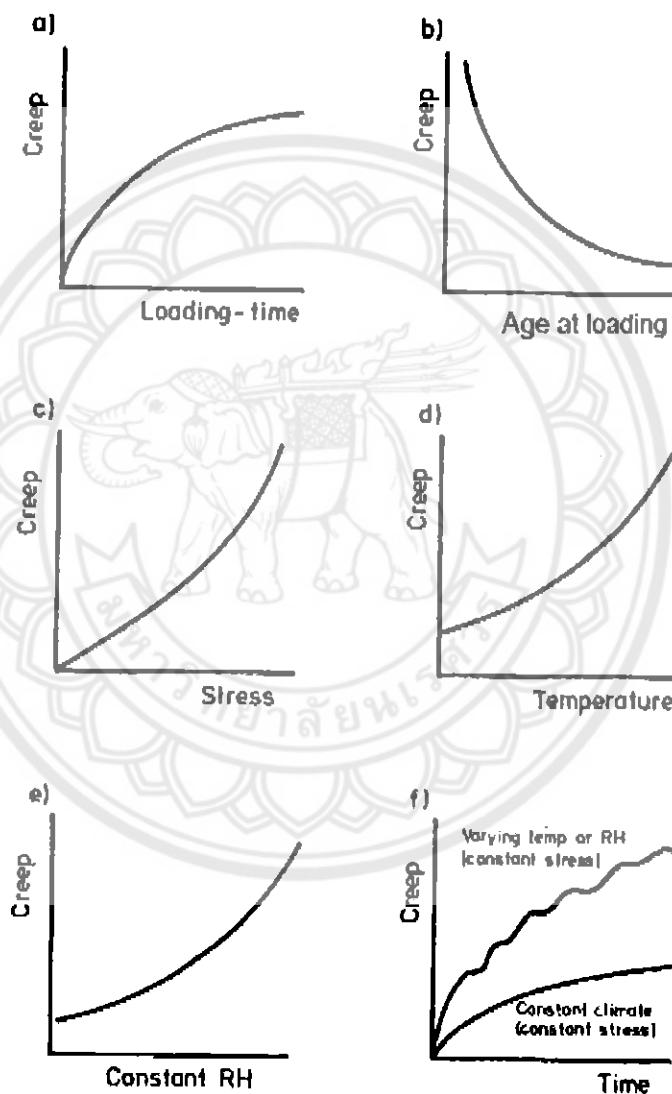
การทดสอบการคีบตัวแบบแรงดึงอัดมีความกันหลาภวิธี แต่ยกตัวอย่างวิธีที่นิยมมากจากวิทยานิพนธ์ต่างประเทศ ซึ่ง Tensile and Compressive Creep of Early Age Concrete: Testing and Modelling ทดสอบโดยการให้แรงกระทำกับก้อนคอนกรีตเหมือนกับการทดสอบกำลังอัด และจะวัดค่าการคีบตัวของคอนกรีตด้วย strain gauge ที่ติดกับคอนกรีต ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.7 ชุดทดสอบการคีบตัวแบบแรงอัด [จาก Atrushi ,2003][1]

2.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการคีบตัวของคอนกรีต

ปัจจัยที่มีผลต่อการคีบตัวของคอนกรีต ได้มีผู้ที่เคยศึกษามานักแล้ว จากการศึกษาพบว่า มี หลากหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อการคีบตัวของคอนกรีต เช่น ผลของอายุของคอนกรีต ผลของอุณหภูมิ และผล ของกำลังของคอนกรีต เป็นต้น และจะนำเสนอปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการคีบตัวของคอนกรีตดังนี้



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการคีบ และการเปลี่ยนรูปดื้ิน [จาก Byfors, 1980][3]

1) ระยะเวลาที่แรงกระทำ

จากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการคีบตัวที่เกิดขึ้นกับระยะเวลาที่ให้แรงกับตัวอย่างคอนกรีตตามรูปที่ 2.3 (a) จะเห็นว่าถ้าให้แรงกับก้อนหินอย่างคอนกรีตเป็นเวลานาน การคีบตัวก็จะเกิดขึ้นมากแต่ถ้าให้แรงกับตัวอย่างในเวลาเร็วการคีบตัวก็จะเกิดขึ้นน้อย จะเห็นอีกว่าในช่วงเวลาแรกของราฟอัตราการคีบตัวของคอนกรีตนั้นจะมีอัตราการเกิดที่สูงกว่าช่วงท้ายของราฟ ในช่วงท้ายจะเห็นว่าอัตราการเกิดการคีบตัวนั้นเกิดขึ้นในอัตราที่น้อยมาก แสดงว่าอัตราการเกิดการคีบตัวของคอนกรีตลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น

2) อายุของคอนกรีต

จากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการคีบตัวที่เกิดขึ้นกับอายุของคอนกรีตตามรูปที่ 2.3 (b) จะเห็นว่าหากมีการทดสอบคอนกรีตที่มีอายุน้อยจะมีอัตราการคีบตัวของคอนกรีตที่มากกว่าการเริ่มทดสอบคอนกรีตที่มีอายุมากแล้ว

3) อุณหภูมิ

จากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการคีบตัวที่เกิดขึ้นกับอุณหภูมิตามรูปที่ 2.3 (d) จะเห็นว่าอุณหภูมนี้ผลต่อการคีบตัวของคอนกรีต ถ้าอุณหภูมิต่ำการคีบตัวจะเกิดขึ้นน้อย แต่ถ้าเพิ่มอุณหภูมิขึ้น การคีบตัวก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย แสดงว่าถ้าคอนกรีตที่อยู่ในอุณหภูมิสูงจะเกิดการคีบตัวได้มากกว่าคอนกรีตที่อยู่ในอุณหภูมิต่ำ

4) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประسان

ถ้าใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์สูงจะทำให้มีการคีบตัวมากกว่าคอนกรีตที่ใช้อัตราน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำ

5) ปูนซีเมนต์และซิลิกาฟูน

ชนิดของปูนซีเมนต์มีผลต่อการพัฒนาความแข็งแรงของคอนกรีต ซึ่งส่งผลต่อการคีบที่จะเกิดขึ้นกับคอนกรีต รวมถึงรูปแบบปูนซีเมนต์และสารผสมเพิ่มต่างๆ มีการรวมตัวกับน้ำที่ไม่เหมือนกัน ทำให้คอนกรีตมีความซุ่มซึ้นที่ต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อค่าการคีบตัวของคอนกรีต

6) ขนาดของตัวอย่าง

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างขนาดชิ้นงานใหญ่กับขนาดชิ้นงานที่เล็ก การรับน้ำหนักของขนาดชิ้นงานที่ใหญ่นั้นจะรับน้ำหนักได้มากกว่าชิ้นงานเล็ก เช่นเดียวกันเมื่อกำลังรับแรงของคอนกรีตภายในตัวที่แรงกระทำที่เท่ากันจะส่งผลทำให้คอนกรีตที่มีขนาดใหญ่กว่าแก็คการเปลี่ยนแปลงการคีบตัวน้อยกว่าขนาดชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก ด้วยเหตุนี้ขนาดชิ้นงานจึงเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าการคีบตัว

2.5 การหาค่าการคีบตัว

คอนกรีตมีพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปตามลักษณะแรงที่นากระทำ คือจะเกิดการยุบตัวเมื่อมีแรงกดและเกิดการขยายเมื่อมีแรงดึงมากระทำ เมื่อได้รับแรงกระทำคงที่มาระยะห่าง อันดับแรกจะเกิดการเปลี่ยนรูปในช่วงปีคหบุรุ่น (Elastic deformation , ε_{load}) หลังจากนั้น เมื่อเวลาผ่านไป การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเกิดจาก การคีบตัวของคอนกรีต (Creep deformation , ε_{creep}) พร้อมกันนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจาก การหดตัวของคอนกรีตตัวบีบ(shrinkage , $\varepsilon_{shrinkage}$) ซึ่งการหาค่าการคีบตัวนั้นสามารถหาได้จากการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดที่เกิดขึ้นหักลบด้วยค่าการเปลี่ยนแปลงช่วงปีคหบุรุ่นและการหดตัวอิสระของคอนกรีตภายในตัวที่อุณหภูมิกองที่ดังสมการที่ (3)

$$\varepsilon_{creep} = \varepsilon_{total} - \varepsilon_{load} - \varepsilon_{shrinkage} \quad (3)$$

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาการคีบตัวแบบดึงของคอนกรีตทั้งที่เกิดจากการซีดรั้งการหดตัวของคอนกรีตและการคีบตัวที่เกิดจากแรงกระทำจากภายนอก ดังนั้นในการทบทวนเอกสาร จึงต้องทำการศึกษาทั้งข้อมูลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวและการคีบตัวของคอนกรีต จากการสืบค้นงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศได้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวและการคีบตัว ดังนี้

ในส่วนของการทดสอบของคอนกรีตมีนักวิจัยจำนวนมากพยาบานศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องโดย Tazawa and Miyazawa ,1993 [5] ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการทดสอบแบบออโตจีนสหของคอนกรีต จากผลการศึกษาพบว่าองค์ประกอบของทางเคมีของปูนซีเมนต์และอัตราส่วนการเกิดปฏิกิริยาไฮเครชัน มีผลต่อการทดสอบแบบออโตจีนส์ โดยเฉพาะอย่างเช่น C_3A และ C_4AF เป็นองค์ประกอบที่มีผลต่อการทดสอบแบบออโตจีนสหอย่างมาก Mak และคณะ, 1998 [6] พบว่าปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดและปริมาณ C_3S สูง จะทำให้การทดสอบของคอนกรีตในช่วงต้น (Early-Age Shrinkage) มีค่าสูง นอกจากนี้การทดสอบนี้จะมาจากปฏิกิริยาไฮเครชัน ที่เกิดจากผลของปฏิกิริยาของ C_3A มีค่ามากกว่าผลที่เกิดจาก C_3S ประมาณ 5 เท่า Bissonnette และคณะ, 1999 [7] รายงานว่า การทดสอบเพสท์มีความสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์ ขนาดของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ ($50 \times 50 \times 400$ มม. และ $4 \times 8 \times 32$ มม.) พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ไม่มีผลต่อการทดสอบสูงสุดของตัวอย่าง จากอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในช่วงที่ใช้ทดสอบ ($0.35-0.50$) พบว่า มีความสัมพันธ์เพียงเล็กน้อยกับการทดสอบ ในขณะที่ปริมาณเพสท์ มีผลอย่างมากต่อการทดสอบ Al-Salen และ Al-Zaid, 2006 [8] ศึกษาผลของสภาพแวดล้อมขนาดของตัวอย่างและสารผสมเพื่อต่อการทดสอบของคอนกรีต สภาพแวดล้อมที่ใช้แบ่งได้ 2 กรณีคือ สภาวะรุนแรง มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 5 เปอร์เซ็นต์ และสภาพไม่รุนแรง มีอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์ จากการทดสอบพบว่า ปริมาณน้ำและซีเมนต์มีผลอย่างมากต่อการทดสอบ ขนาดของตัวอย่างจะมีผลอย่างชัดเจนเมื่ออยู่ในสภาวะรุนแรง แต่ในสภาวะไม่รุนแรงขนาดของตัวอย่างมีผลไม่นักนัก

ในส่วนของการคีบตัวผู้วิจัยจะนำเสนอผลจากการศึกษาที่นักวิจัยในส่วนของการคีบตัวแบบดึงเท่านั้น โดย Stergaard และคณะ, 2001 [9] ศึกษาพฤติกรรมเกี่ยวกับ Basic Creep แบบดึงในช่วงอายุต้นของคอนกรีตกำลังสูง และกำลังปานกลาง (Normal-strength Concrete) ภายใต้น้ำหนักกระทำคงที่ การทดสอบการคีบตัวแบบดึงใช้ตัวอย่างรูปกระดูก (Dog Bone-shaped concrete) ที่มีการบีบคั้งการทดสอบ 100% จำนวน 2 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่หนึ่งจะไม่มีการให้น้ำหนัก ในขณะที่ตัวอย่างที่สองจะมีน้ำหนักกระทำ จากการทดสอบพบว่า คอนกรีตมีค่าการคีบตัวแบบดึงสูงเมื่อน้ำหนักกระทำที่อายุน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 วัน และเมื่อมีการให้น้ำหนักกระทำที่อายุ 1 วัน ค่าการคีบตัวจะไม่เป็นสัดส่วนกับหน่วยแรงที่กระทำ Altoubat และ Lange, 2001 [10] ศึกษาการคีบตัว และการทดสอบของคอนกรีตที่มีการหุ้มผิว กับคอนกรีตที่มีการบ่มในน้ำ เพื่อหาค่า Basic Creep แบบ

ดึง ในช่วงวันแรกหลังจากหล่อตัวอย่าง จากผลการทดสอบพบว่า ค่า Basic Creep แบบดึงของคอนกรีตจะมีค่าสูงขึ้นตามอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ลดลง ซึ่งผลการทดสอบนี้บัดיחับกับผลการทดสอบในคอนกรีตที่มีอายุมากที่มีรายงานในบทความทั่วไป แสดงให้เห็นว่า พฤติกรรมการคืนตัวแบบดึงของคอนกรีตที่มีอายุน้อยจะแตกต่างกับในคอนกรีตอายุมาก นอกจากรายงาน Altoubat และ Lange, 2001 [11] ยังได้ทำการศึกษาเพิ่มเติม โดยหาค่า Basic Creep แบบดึง ในช่วงวันแรกหลังจากหล่อตัวอย่าง ข้อมูลที่รวมรวมได้จากการทดสอบได้แก่ การทดสอบ การคืนตัวแบบดึง หน่วยแรงที่เกิดจากการยืดรั้งและหน่วยแรงที่ลดลงเนื่องจากการคืนตัวแบบดึง (Creep Relaxation) ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ ผลของเส้นใยเหล็ก (Steel Fibers) อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เจือนในการแห้งและการบ่ม โดยทำการศึกษาในคอนกรีตกำลังสูงและคอนกรีตกำลังปอกตื้นที่มีการยืดรั้ง จากผลการทดสอบพบว่า การคืนตัวแบบดึงสามารถลดหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากการทดสอบได้ถึง 50% และมีค่าเป็นสองเท่าของความเครียดที่คอนกรีตรับได้ก่อนแตกร้าว (Failure Strain Capacity) ขนาดและลักษณะการเพิ่มขึ้นของหน่วยแรงที่เกิดจากการทดสอบตัวมีผลต่อระยะเวลาที่คอนกรีตเกิดการแตกร้าวจากการศึกษานี้พบว่าค่าคอนกรีตแตกที่ 80% ของกำลังดึงของคอนกรีต เส้นใยเหล็กช่วยทำให้การแตกร้าวนี้องจากการทดสอบเกิดขึ้นแต่ไม่มีผลต่อหน่วยแรงในการแตกร้าว การหุ้มที่ผิวของคอนกรีตไม่สามารถกำจัดการทดสอบในช่วงอายุต้นของคอนกรีตได้และการบ่มค้างน้ำสามารถลดหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากการทดสอบได้ Atrushi, 2003 [1] ได้รวมรวมผลของปัจจัยต่างๆ และสรุปได้ดังรูปที่ 2.6 โดยพบว่าการคืนตัวในช่วงแรกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเมื่อเวลาผ่านไปจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง ดังรูปที่ 2.6a อายุที่เริ่มให้น้ำหนักกระทำจะให้ผลดังรูปที่ 2.6b คือ การให้น้ำหนักกระทำในช่วงอายุน้อยจะมีการคืนตัวมากกว่าเมื่อให้น้ำหนักกระทำที่อายุมากกว่า เนื่องจากสิ่งเนื่องของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้น จึงทำให้การคืนตัวเกิดได้น้อยลง ส่วนผลของหน่วยแรงที่กระทำต่อคอนกรีตแสดงดังรูปที่ 2.6c โดยการคืนตัวจะสูงขึ้นเมื่อใช้หน่วยแรงที่สูงขึ้นมากกระทำต่อคอนกรีต รูปที่ 2.6d และแสดงให้เห็นว่าการทดสอบที่อุณหภูมิสูงให้การคืนตัวสูงกว่าการทดสอบที่อุณหภูมิต่ำ และรูปที่ 2.6f และแสดงให้เห็นว่าทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อการคืนตัวของคอนกรีต การศึกษาของ Tao และ Weizu, 2006 [12] เป็นการศึกษาการคืนตัวแบบดึงในช่วงอายุต้นของคอนกรีตกำลังสูง ที่มีการผสมซิลิกาฟูน และถ้าลองโดยใช้การทดสอบที่มีการยืดรั้งเนื่องจากการทดสอบค่าของคอนกรีต และมีการควบคุมอุณหภูมิ เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการคืนตัวแบบดึงของคอนกรีตที่อายุน้อย นอกจากรายงานนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการยืดรั้งที่ 50, 75 และ 100% จากการทดสอบพบว่า การเปลี่ยนแปลงความยาวเนื่องจากอุณหภูมิจะทำให้การคืนตัวเกิดขึ้นและมี

แนวโน้มทำให้การคืนตัวลดลงในช่วงอายุต้น คอนกรีตที่ใช้ซิลิกาฟูนมีค่าการคืนตัวแบบดึงมากกว่าคอนกรีตที่ไม่มีซิลิกาฟูน เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากัน ในขณะที่คอนกรีตผสมถ้าโดยจะให้ผลในทางตรงกันข้าม และเปอร์เซ็นต์การยึดรังมีผลต่อการคืนตัวของคอนกรีต

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา พบว่าการศึกษาการคืนตัวแบบดึงสามารถกระทำได้ใน 2 ลักษณะคือ หนึ่ง การใช้น้ำหนักคงที่กระทำบนคอนกรีต ซึ่งเป็นการศึกษาการคืนตัวที่เกิดจากน้ำหนักกระทำจากภายนอก และสอง การศึกษาการคืนตัวโดยใช้ตัวอย่างที่ถูกยึดรังการทดสอบน้ำหน่ายแรงที่เกิดขึ้นเป็นหน่วยแรงที่เกิดจากการยึดรังการทดสอบ ซึ่งใช้สำหรับศึกษาการแตกร้าวนื้องจากการทดสอบของคอนกรีต ปัจจัยส่วนใหญ่ที่ทำการศึกษาได้แก่ กำลังอัดของคอนกรีต อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ อายุ การบ่ม และเปอร์เซ็นต์การยึดรัง อย่างไรก็ตามยังพบว่ามีจำนวนบทความที่ศึกษาในแต่ละปัจจัยน้อยมากและยังมีข้อมูลไม่เพียงพอสำหรับนำมารวเคราะห์การแตกร้าวอย่างละเอียด นอกจากนี้การศึกษาทั้งหมดนี้กระทำในต่างประเทศ ซึ่งใช้วัสดุและสภาพภูมิอากาศตามประเทศไทยที่ทำการศึกษา ลั่นน้ำเงินจำเป็นต้องมีการศึกษาการคืนตัวแบบดึง โดยใช้วัสดุและสภาพแวดล้อมของประเทศไทยเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบสำหรับประเทศไทยโดยเฉพาะ

บทที่ 3

วัสดุและขั้นตอนการทดสอบ

3.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดและขั้นตอนในการทดสอบการคีบแบบดึงที่เกิดจากแรงดึงภายนอก ซึ่งได้มีการเตรียมวัสดุต่างๆ เพื่อนำไปทดสอบหาสมบัติของวัสดุ การทดสอบสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการคีบแบบแรงดึง การทดสอบความแข็งแรงของชุดทดสอบรวมไปถึงการออกแบบอุปกรณ์เพื่อความเหมาะสมในการนำไปใช้กับชุดเครื่องมือที่ทดสอบการคีบตัวของคอนกรีต ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

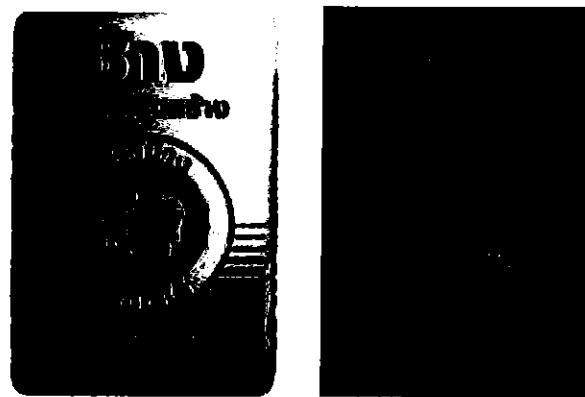
- 1) ทดสอบสมบัติของวัสดุที่ใช้ในโครงงาน
- 2) ออกแบบหัวขีดเพื่อทดสอบหากำลังดึงและการกระจายแรง
- 3) ออกแบบและทดสอบอุปกรณ์ทดสอบการคีบตัวแบบดึง
- 4) ทดสอบกำลังดึงและการคีบตัวแบบดึงของคอนกรีต
- 5) วิเคราะห์และสรุปผล

3.2 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในโครงงาน

การศึกษาการคีบตัวแบบดึงของคอนกรีตมีการทดสอบต่างๆ เช่น ทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต ทดสอบการทดสอบตัวของคอนกรีต รวมถึงทดสอบการคีบตัว ในการทดสอบเหล่านี้ ต้องอาศัยวัสดุและเครื่องมือในการทดสอบ ดังนี้ ในหัวข้อนี้จะกล่าวว่าวัสดุและเครื่องมือที่ใช้ทดสอบต่างๆ

3.2.1 วัสดุที่ใช้ในโครงงาน

- 1) ปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ตราช้าง) ผลิตโดยบริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (สำปารา) ดังรูปที่ 3.1 ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม 15-2532 ขนาดบรรจุ 50 กก./ถุง ให้ทำการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์เพื่อใช้การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต โดยขั้นตอนการทดสอบ และรายละเอียดอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C188 [7]



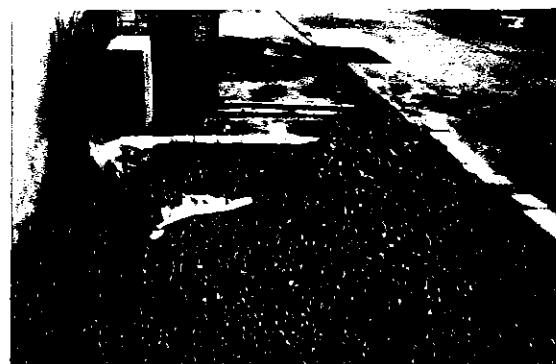
รูปที่ 3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราช้าง

2) ทราย ทรายที่ใช้ในการทดสอบเป็นทรายแม่น้ำ จาก江表เกอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก แสดงคั่งรูปที่ 3.2 ให้ทำการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ หน่วยน้ำหนักของมวลรวม และขนาดคละของมวลรวมละเอียด โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C128 [14] มาตรฐาน ASTM C136 [15] และมาตรฐาน ASTM C29 [12]



รูปที่ 3.2 ทรายแม่น้ำ

3) หิน หินที่ใช้ในการทดสอบนี้เป็นหินปูน (Limestone) พลิขจากอินโดเมือง จังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งมีขนาดใหญ่สุดของหินที่ใช้เท่ากับ % นิ้ว คั่งรูปที่ 3.3 โดยหินที่ใช้ในการทดสอบการคีบตัวของกองกรีดนี้ ให้ทำการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ และหน่วยน้ำหนัก โดยอ้างอิง มาตรฐาน ASTM C127 [14] และ มาตรฐาน ASTM C29 [12] ตามลำดับ



รูปที่ 3.3 หินปูนขนาดใหญ่สูดเท่ากับ ¼ นิ้ว

3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1) เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) ดังรูปที่ 3.4 เป็นเครื่องทดสอบการที่ใช้ทดสอบหากำลังดึงของคอนกรีต



รูปที่ 3.4 เครื่อง UTM

2) เครื่องบันทึกและแปลงข้อมูล (Data logger) เป็นอุปกรณ์ประมวลผลที่อ่านได้จากอุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบ และสาขวัดความเครียด ที่ติดกับก้อนคอนกรีตตัวอย่างที่นำมา

ทดสอบ ข้อมูลจะถูกส่งไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยจะบันทึกเวลาของและการเปลี่ยนแปลงของ ค่าองค์กรที่ทดสอบดังรูปที่ 3.5



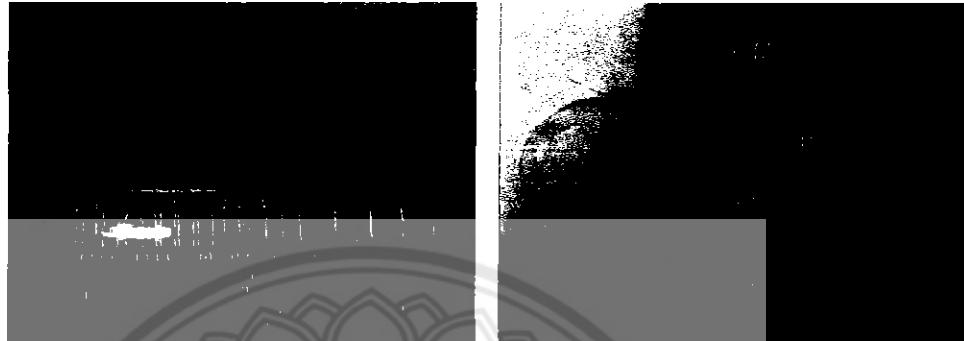
รูปที่ 3.5 เครื่องบันทึกและแปลงสัญญาณ

3) อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบ (Linear Variable Differential Transformer, LVDT) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงความยาวขององค์กร ในระหว่างทำการทดสอบการ กีบตัวขององค์กร ซึ่งอุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบที่ใช้ทดสอบนี้สามารถดูดการ เปลี่ยนแปลงได้สูงสุด 5 เซนติเมตร และจะติดกับองค์กรด้วยอุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อติด อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบกับก้อนองค์กรดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ลักษณะของอุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบและการติดตั้งเข้ากับก้อนองค์กรด้วยบांบ

4) สายวัดความเครียด (Strain gauge) ก็จะ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดแรงตึงเครียด (Strain) ของคอนกรีต สายวัดความเครียดชนิดนี้มีขนาด 90×5 มิลลิเมตร ติดเข้าโดยตรงกับก้อนคอนกรีตตามตำแหน่งที่ต้องการวัดค่าความเครียดด้วยการเฉพาะในการติดสายวัดความเครียด ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.7



ก รูปร่างลักษณะของสายวัดความเครียด ข อุปกรณ์ที่ใช้ติดสายวัดความเครียด

รูปที่ 3.7 สายวัดความเครียด และอุปกรณ์การติด สายวัดความเครียด

5) แบบหล่อ เป็นแบบหล่อที่ใช้ในการหล่อก้อนคอนกรีตสำหรับทดสอบกำลังศีบและทดสอบการกีบตัวของคอนกรีต ซึ่งมีขนาดเท่ากัน $10 \times 10 \times 34$ เซนติเมตรดังรูปที่ 3.8(ก) ส่วนแบบหล่อที่ใช้ในการทดสอบการหดตัวมีขนาด $7.5 \times 7.5 \times 28.5$ เซนติเมตรดังรูปที่ 3.8(ข) แบบหล่อนี้ เป็นแบบหล่อที่สามารถดัดแปลงรูปได้ง่าย ในแบบหล่อที่ใช้ทดสอบกำลังศีบและการกีบตัว ของคอนกรีตมีการนำหัวเข็มมาติดกับแบบหล่อก้อนที่จะทำการหล่อคอนกรีต



ก แบบหล่อ $10 \times 10 \times 34$ เซนติเมตร ข แบบหล่อ $7.5 \times 7.5 \times 28.5$ เซนติเมตร

รูปที่ 3.8 ขนาดและลักษณะการใส่หัวเข็มภายในก้อนคอนกรีต

๖) ชุดทดสอบการคีบตัวแบบแรงดึงของคอนกรีต ชุดทดสอบนี้ได้มีการพัฒนาชุดทดสอบ การคีบตัวแบบแรงดึงของคอนกรีตขึ้นจากวิทยานิพนธ์ต่างประเทศ [Aitroshi, 2003] ซึ่งในโครงการนี้มีการปรับปรุงและเสริมแต่งส่วนประกอบบางชิ้นส่วน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของชุดทดสอบนี้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ชุดทดสอบการคีบตัวแบบแรงดึง

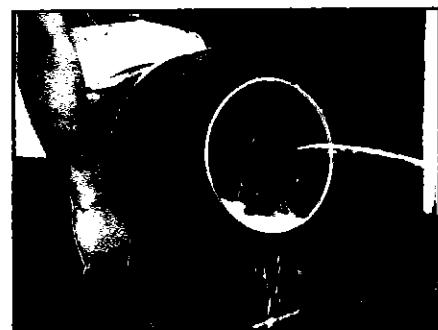
3.3 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

3.3.1 การเตรียมหิน

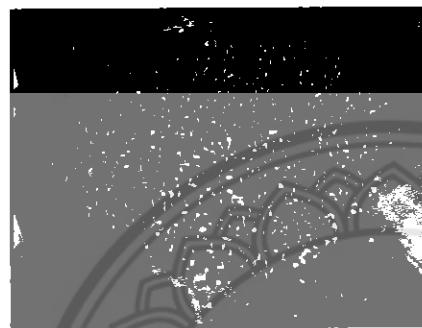
ในการเตรียมหินที่ใช้ในการทดสอบต้องทำการแซะหินไว้ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่องจากหินที่ได้มาจากการแหน่งผลิตอยู่ในสภาพแห้ง จึงจำเป็นต้องมีการแซ่น้ำเพื่อให้หินอ่อนตัวด้วยน้ำ จากนั้นก่อนนำหินเข้าห้องทดลองต้องล้างหินให้สะอาด แล้วก็นำมาฝังลงเพื่อให้อ่ายในสภาพอ่อนตัวผิวแห้ง เมื่อหินที่เตรียมนั้นสภาพอ่อนตัวผิวแห้งนำไปเก็บไว้ในถังพลาสติกพร้อมทั้งกลุ่มหินกระดาษชุ่มน้ำและปิดฝ่าเพื่อป้องกันฝุ่นและการสูญเสียความชื้นดังรูปที่ 3.10



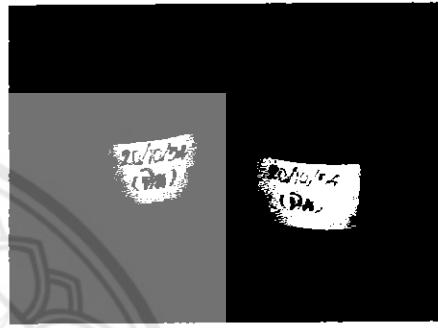
ก หินที่แร่ไวรันถังน้ำ 24 ชั่วโมง



ข การถางหินเพื่อขัดสีสกปรกออก



ค เตรียมหินให้อุ่นในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง

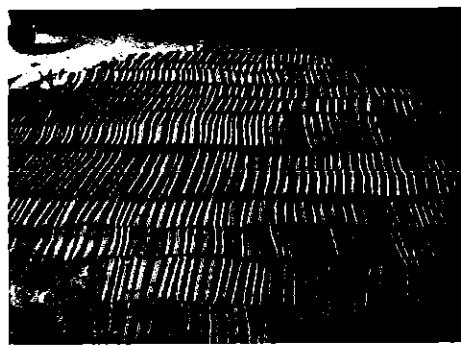


ง จัดเก็บหินในภาชนะให้มิดชิด

รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการเตรียมหิน

3.3.2 การเตรียมทราย

โดยขั้นตอนในการเตรียมทรายที่ใช้ในการทดสอบ ก็คือ นำทรายเป็นมาสีงในร่มเพื่อให้ทรายอุ่นในภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง จากนั้นเก็บทรายไว้ในถังพลาสติก ใช้กระดาษซุ้มน้ำปอกครุน ด้านบนปิดฝาให้สนิท เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นดังรูปที่ 3.11



ก นำทรายมาสีงให้อุ่นในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง



ข กลูกเคล้าทรายเพื่อให้มีความชื้นสม่ำเสมอ

๑๖๙๗๖๔๘๙

ผ.

๙๘๓๓๙
๒๕๕๔



ค กีบทราบไส่ถังพลาสติกเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น

รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการเตรียมทราบ

3.3.3 ส่วนผสมที่ใช้ในการทดสอบ

สัดส่วนผสมที่ออกแบบในการทดสอบการคืนตัวแบบดึง ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประมาณ 0.55 และปริมาตรเพสต์ที่ใช้เท่ากับ 1.4 ของปริมาตรของช่วงว่างมวลรวม โดยออกแบบส่วนผสมโดยน้ำหนัก และจำนวนสัดส่วนผสมต่อ 1 ลูกบาศก์เมตรดังตารางที่ 3.1 ซึ่งการทดสอบได้มีการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต ทดสอบการหดตัว และทดสอบการคืนตัวของคอนกรีตซึ่งมีจำนวนตัวอย่างทดสอบดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ปริมาณของส่วนผสมคอนกรีต

วัสดุ	ปริมาณของวัสดุ (กิโลกรัม)
ซีเมนต์	358.24
น้ำ	197.03
หิน	1052.87
ทราบ	682.34

ตารางที่ 3.2 จำนวนตัวอย่างคอนกรีตที่ทดสอบ

การทดสอบ	จำนวนคอนกรีต (ก้อน)	
	แบบหล่อขนาด 7.5x7.5x28.5 (cm)	แบบหล่อขนาด 10x10x34 (cm)
กำลังดึง	-	2
การหดตัว+การคืนตัว	4	2

3.3.4 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบคอนกรีต

การทดสอบคอนกรีตในโครงการนี้ต้องอาศัยก้อนตัวอย่างคอนกรีต ก้อนตัวอย่างคอนกรีตนั้นต้องมีการเตรียมเพื่อป้องกันและลดปัจจัยต่างๆที่คาดว่ามีผลต่อค่าคุณภาพต่อไปนี้

การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

การทดสอบคอนกรีตในโครงการนี้มีการใช้ก้อนตัวอย่างคอนกรีต 2 ขนาด คือ ขนาด $10 \times 10 \times 34$ เซนติเมตรดังรูปที่ 3.12 (ก) เพื่อใช้ในการทดสอบการคีบตัว และขนาด $7.5 \times 7.5 \times 28.5$ เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.12(ข) เพื่อใช้ในการทดสอบการทดสอบการทดสอบคอนกรีต ซึ่งในการเตรียมตัวอย่างในการทดสอบแต่ละครั้งมีการเตรียมตัวอย่างเหมือนกัน ดังนี้

1) ทำความสะอาดแบบหล่อให้สะอาดพร้อมใส่หัวขีดแบบต่างๆให้เรียบร้อย ตรวจสอบหัวขีดทั้งสองข้างให้ตรงกัน เพื่อป้องกันการเสื่อมสูญโดยการให้ปลายหัวขีดเข้ากับรูของแผ่นเหล็กพอดีดังรูปที่ 3.12



ก แบบหล่อขนาด $10 \times 10 \times 34$ เซนติเมตร



ข แบบหล่อขนาด $7.5 \times 7.5 \times 28.5$ เซนติเมตร

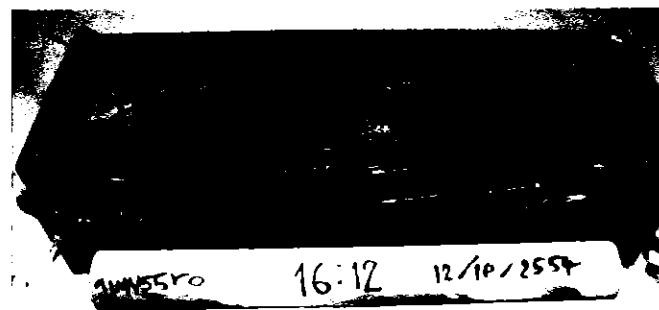
รูปที่ 3.12 แบบหล่อคอนกรีตตัวอย่าง

2) ผสานคอนกรีตตามอัตราส่วนผสมที่กำหนดตามตารางที่ 3.1 แล้วนำมาเทใส่แบบหล่อ โดยแบ่งการเทคอนกรีตเป็น 2 ชั้น ชั้นแรกเทประมาณครึ่งหนึ่งของแบบหล่อ ทำการเจาะเย็บตัวยเครื่องเข้าคอนกรีต และเทส่วนที่เหลือให้เต็มแล้วจึงเข้าอีกครึ่ง ปรับผิวน้ำคอนกรีตให้เรียบ ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การเจาะเย็บคอนกรีต

3) นำพลาสติกมาคลุมเพื่อป้องกันความชื้นระเหยออกจากคอนกรีตดังรูปที่ 3.14 ทำการจดบันทึกวันที่และเวลาที่ทำการทดสอบทั้งไว้ 1 วันแล้วแกะแบบ ทิ้งไว้อีก 2 วันแล้วนำไปทดสอบ



รูปที่ 3.14 การป้องกันการสูญเสียความชื้นของคอนกรีต

1) วิธีการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต

การทดสอบการคืนตัวแบบแรงดึงของคอนกรีตมีการทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบยานกประสงค์ (UTM) ดังรูปที่ 3.15 ดึงก้อนคอนกรีตให้ขาดศักยภาพความเร็ว 0.007 มิลลิเมตร/วินาที ทำการลังรับแรงดึงของก้อนคอนกรีตตัวอย่าง เพื่อนำแรง 40% ของกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตไปใช้ในการทดสอบการคืนตัวของคอนกรีต ซึ่งได้มีการทดสอบด้วยหัวยีด 4 ลักษณะ ดังหัวข้อดังไป (หัวข้อที่ 3.4.1) ที่คอนกรีตมีอายุ 1, 2 และ 3 วัน หัวยีดมีหน้าที่ยึดรั้งและถ่ายแรงให้กับคอนกรีต ขนาดของก้อนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบมีขนาด $10 \times 10 \times 34$ เซนติเมตร (รูปที่ 3.12 (ก)) และจะมีการพิจารณาอย่างที่เกิดขึ้นจากก้อนคอนกรีตตัวอย่าง เพื่อพิจารณาหาหัวยีดที่ผ่านภายในคอนกรีตที่ดีที่สุด โดยไม่มีการเยื่องยุบ และมีการกระจายแรงดึงอย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 3.15 ลักษณะการดึงก้อนตัวอย่างคอนกรีตของเครื่อง UTM

2) วิธีการทดสอบการหดตัวของคอนกรีต

การทดสอบการหดตัวมีการใช้คอนกรีตที่มีส่วนผสมเดียวกันกับการทดสอบการหดตัวของคอนกรีต มีการใส่แบบหล่อ 2 แบบ คือแบบหล่อที่ 1 ขนาด $10 \times 10 \times 34$ เซนติเมตร และแบบหล่อที่ 2 ขนาด $7.5 \times 7.5 \times 28.5$ เซนติเมตรดังรูปที่ 3.16 ก และ ข ตามลำดับ แบบหล่อที่ 1 ใส่หัวเข็มเพื่อนำไปทดสอบการหดตัวและแบบที่ 2 ฝังนิลตัวไว้เพื่อนำไปทดสอบหาค่าการหดตัว ซึ่งทั้งสองตัวอย่างนี้จะอยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน และมีอายุ 3 วันเท่ากัน ในส่วนของการหดตัวของคอนกรีตจะมีวิธีการทดสอบดังนี้

2.1) เครื่ยมแบบหล่อคอนกรีต 2 แบบดังรูปที่ 3.16 แบบหล่อที่มีหัวเข็มหดตัวเดียวกันภายในแบบหล่อนำไปทดสอบหาค่าการหดตัวแบบอิสระของคอนกรีต ส่วนแบบหล่อที่มีหัวเข็มหดตัวเดียวกันนำไปทดสอบหาค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว เพื่อหาค่าการหดตัวต่อไป



ก แบบหล่อขนาด $7.5 \times 7.5 \times 28.5$ เซนติเมตร

ข แบบหล่อขนาด $10 \times 10 \times 34$ เซนติเมตร

รูปที่ 3.16 การเครื่ยมแบบหล่อคอนกรีต

2.2) ผสมคอนกรีตตามสัดส่วนที่กำหนดดังตารางที่ 3.1 เทคอนกรีตลงในแบบหล่อทำการอัดแน่นด้วยเครื่องจีบเข้า แล้วป้องกันความชื้นด้วยพลาสติกปิดหน้าแบบหล่อดังรูปที่ 3.17 ทิ้งไว้ 1 วันแล้วแกะแบบทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องให้อยู่ในสภาพจะเดียวกับก้อนตัวอย่างคอนกรีต ที่นำไปทดสอบการหดตัวแบบดึง และต้องมีการทดสอบในช่วงเวลาเดียวกัน



รูปที่ 3.17 การป้องกันการสูญเสียความชื้นของคอนกรีต

2.3) เตรียมคอนกรีตตัวอย่างหลังจากคอนกรีตมีอายุได้ 3 วัน ทำการจดบันทึกซึ่งของคอนกรีตแต่ละก้อนดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 คอนกรีตที่มีการแข็งตัว

2.4) ทำการตั้งค่าเครื่องวัดให้มีค่าเท่ากัน 0.000 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 การตั้งค่าให้ได้ 0.000 มิลลิเมตร

2.5) ทำการซั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีตบันทึกค่าแล้ววัดค่าการทดสอบของก้อนคอนกรีตตัวอย่างดังรูปที่ 3.20 พร้อมจดบันทึกค่า



รูปที่ 3.20 การวัดค่าการทดสอบของก้อนคอนกรีต

3) วิธีการทดสอบการคืนตัวของคอนกรีต

3.1) ทดสอบกำลังดึงของก้อนคอนกรีต โดยใช้เครื่อง UTM โดยทำการศึกษาการคืนตัวแบบแรงดึงที่ 0.4 ของกำลังดึงสูงสุดของก้อนคอนกรีตดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 ถ้าขั้นตอนการคืนตัวของคอนกรีตเพื่อหากำลังดึง ด้วยเครื่อง UTM

3.2) คำนวณหาแรงดึงที่จะใช้ในการทดสอบดึงก้อนคอนกรีตโดยการพิจารณาแบบของไมemenต่างกันเป็นดังรูปที่ 3.22 ซึ่งใช้แรงที่จะใช้ศึกษาจากข้อที่ 1 มาคำนวณ ซึ่งคำนวณได้ 550 kg



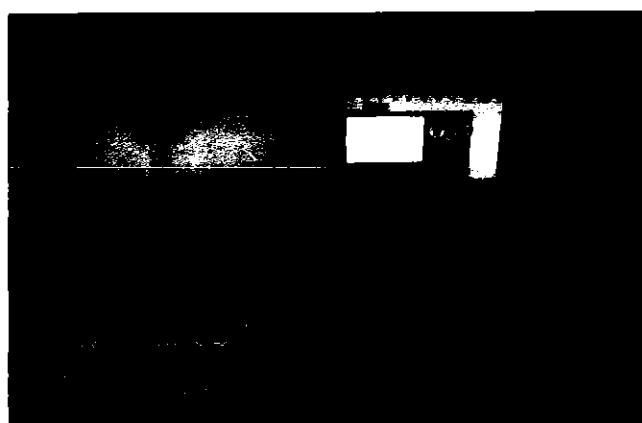
รูปที่ 3.22 การหาระยะเหยนของไมemenเพื่อเป็นจุดใส่แรง

3.3) แขนกันคอนกรีตที่ทำการติดตั้ง อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบ (LVDT) กับ สายวัดความเครียด เป็นที่เรียบร้อยแล้วเข้ากับเฟรม โดยใช้เกลียวเร่ง 1 ตัวเป็นอุปกรณ์ถ่ายแรงดึง และทำการเช็คแนวของแรงดึงในแนวตั้ง ด้วยสูกตึง เพื่อให้แรงดึงที่กระทำกับกันคอนกรีต ไม่ให้เกิดการเบี้ยวศูนย์ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 ลักษณะการติดตั้งกันคอนกรีตที่พร้อมทดสอบการเปลี่ยนแปลงความขวาง

3.4) ต่อวงจรของอุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบ (LVDT) กับ สายวัดความเครียด เข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล โดยทำการบันทึกข้อมูลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 การเชื่อมเครื่องบันทึกข้อมูลเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์

3.5) ใส่น้ำหนักที่คำนวณได้จากข้อที่ 2 ตามระบบที่ได้คำนวณไว้



รูปที่ 3.25 การใส่น้ำหนักจากจุดที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 3.2

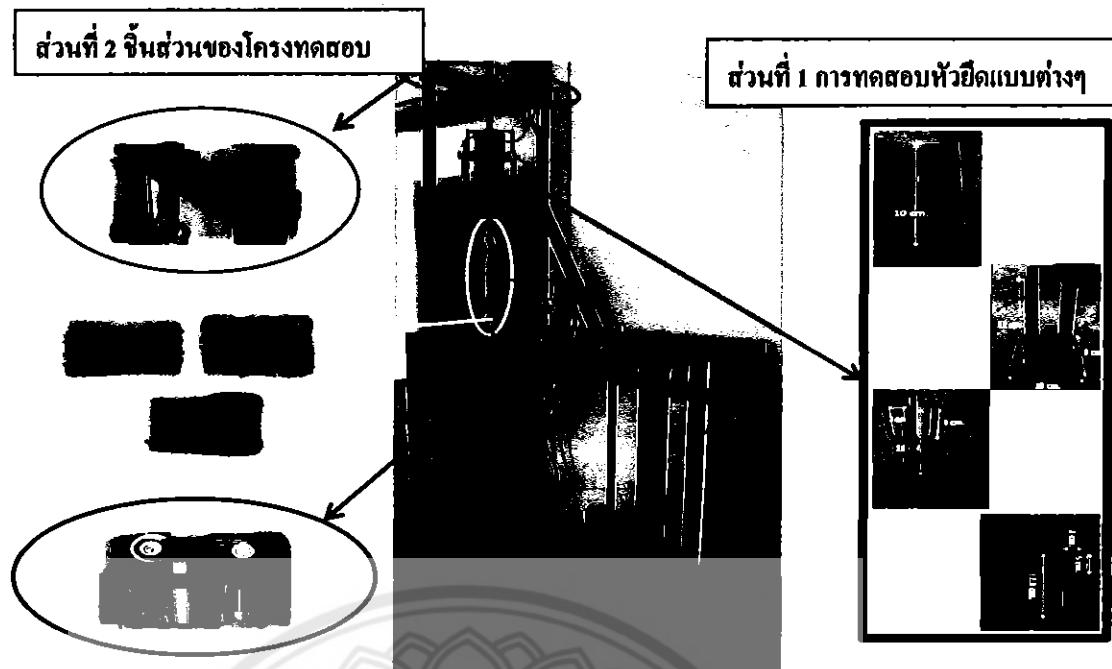
3.6) หลังจากใส่น้ำหนักแล้วให้มีการปรับ สาบวัดความเครียด ห้างสองข้างให้เข้ากันกับศูนย์เดียวจึงเริ่มบันทึกข้อมูลการคืนตัวลงในคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.26 แสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์ที่พร้อมใช้งาน

3.4 การพัฒนาการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต

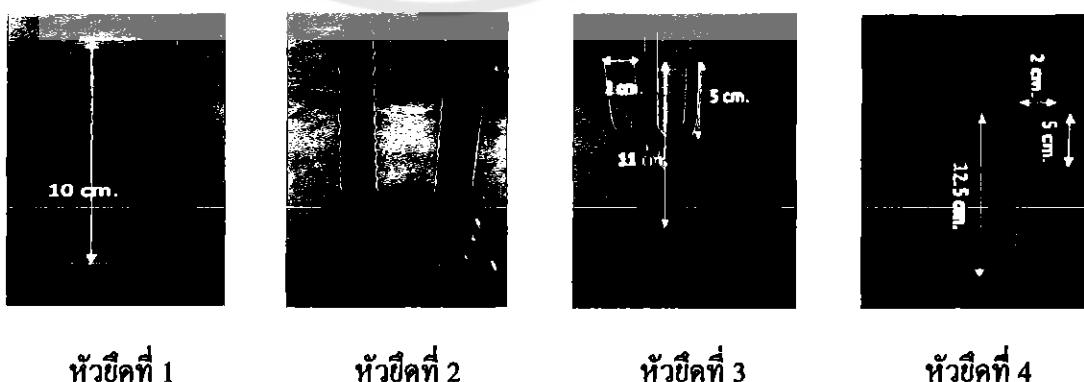
การทดสอบการคืนตัวแบบแรงดึงของคอนกรีตจำเป็นต้องอาศัยแรงที่มากระทำกับก้อนคอนกรีตตัวอย่าง เพื่อให้ได้ซึ่งการคืนตัวของคอนกรีต ดังนี้จึงต้องมีการหาค่าดังนี้รับแรงดึงสูงสุดของคอนกรีตที่อาบุต่างๆ เพื่อนำมาคำนวณในการคำนวณแรงที่ใช้ในการทดสอบ อีกทั้งยังต้องมีการทดสอบในส่วนของชุดเครื่องมือในการคืนตัวของคอนกรีต ซึ่งชุดเครื่องมือนี้มีอุปกรณ์หลักชนิดที่ต้องมีการนำมาทดสอบเพื่อไม่ให้มีผลกระทบหรือเป็นปัจจัยต่อการคืนตัวของคอนกรีต



รูปที่ 3.27 แสดงอุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบ

3.4.1 การออกแบบหัวเข็มคอนกรีต

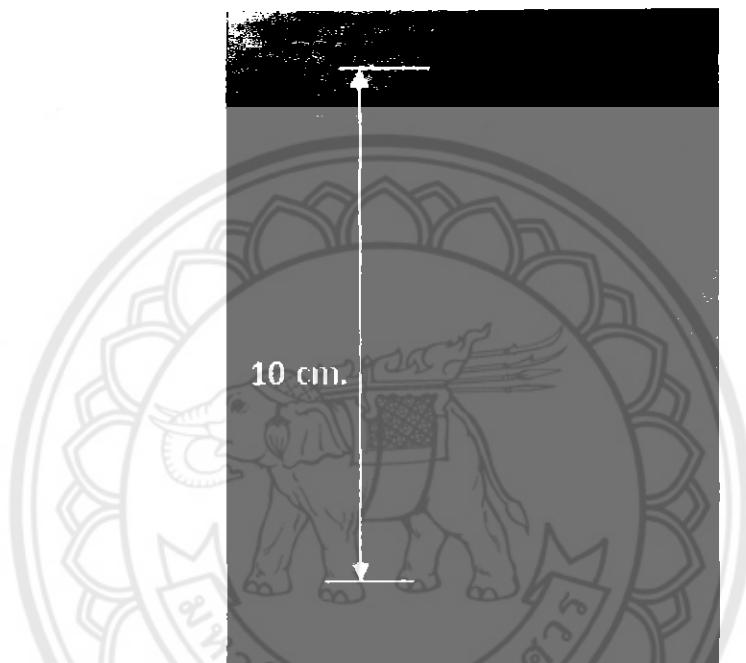
หัวเข็มที่อยู่ภายในก้อนคอนกรีตมีหน้าที่บีบรัดและถ่ายแรงให้กับคอนกรีต การศึกษาหัวเข็มคอนกรีตนี้มีการพิจารณาอย่างแตกต่างจากก้อนคอนกรีตตัวอย่าง เพื่อพิจารณาหัวเข็มที่ผังภายในคอนกรีตที่เหมาะสม โดยไม่มีการเยื่องศูนย์ และมีการกระจายแรงคงอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งได้มีการออกแบบหัวเข็ม 4 ลักษณะดังรูปที่ 3.28 รายละเอียดของหัวเข็มนี้ดังนี้



รูปที่ 3.28 ลักษณะหัวเข็มที่ผังในก้อนคอนกรีตทั้ง 4 หัวเข็ม

หัวยีดแบบที่ 1

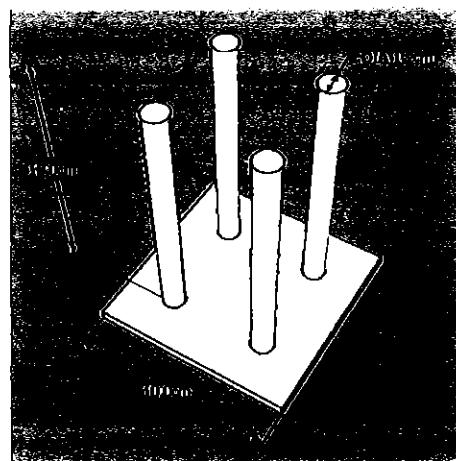
มีลักษณะเป็นรูปทรงกรวยหัวตัดส่วนฐานกรวยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 2 เซนติเมตรและกรวยส่วนปลายมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 0.5 เซนติเมตร ที่พิจจะเป็นเกลียวตลอดความยาว มีความยาว 10 เซนติเมตร ตรงปลายมีการกลึงเกลียวสำหรับขัดกับแบบหล่อค่อนกรีดและใช้ปั๊มเพื่อทดสอบการหากำลังดึงรวมถึงการนำไปทดสอบการคืนตัวด้วย มีลักษณะดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 ลักษณะหัวขัดก้อนค่อนกรีดแบบที่ 1

หัวยีดแบบที่ 2

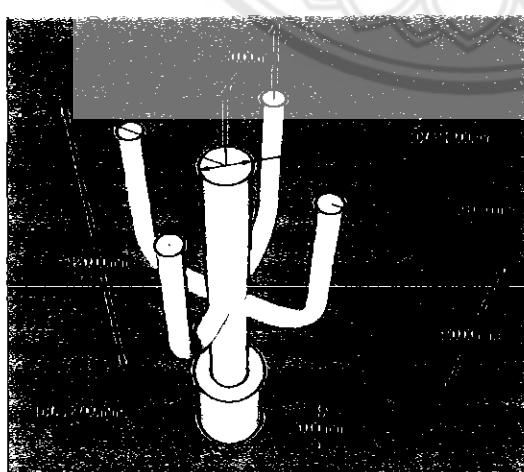
หัวยีดก้อนค่อนกรีดแบบที่ 2 จะใช้เหล็กข้ออ้อขานาค 12 มิลลิเมตร ความยาว 120 มิลลิเมตรจำนวน 4 แท่งเชื่อมติดกันແผ่นเหล็กขานาค กว้าง 100 x 100 x 2 มิลลิเมตร โดยเหล็กที่ใช้เป็นเหล็กข้ออ้อขานาค 12 มิลลิเมตร ทึ่งสี่แท่งจะถูกจัดวางในตำแหน่งที่สมดุลกันทุกด้าน ตรงกลางแผ่นเหล็กมีเกลียวสำหรับขัดกับแบบหล่อค่อนกรีดดังรูปที่ 3.30



ก ลักษณะการออกแบบหัวขีดแบบที่ 2 ข ลักษณะหัวขีดแบบที่ 2 ที่ทำขึ้นจริง
รูปที่ 3.30 หัวขีดแบบที่ 2

หัวขีดแบบที่ 3

หัวขีดก้อนคอนกรีตแบบที่ 3 มีความยาวทั้งหมด 120 มิลลิเมตร ทำด้วยเหล็กสันกอนขนาด 6 มิลลิเมตร มีลักษณะเป็นกิ่งแยกออกจากแกนหลัก 4 ทิศทางเท่าๆกันห่างจากแกนกลาง 20 มิลลิเมตร แต่ละกิ่งมีความยาว 50 มิลลิเมตร แกนกลางมีขนาด 12 มิลลิเมตร มีลักษณะเป็นเกลียวตลอดความยาว ส่วนฐานมีลักษณะเป็นแท่งเหล็กที่มีขนาด 22 มิลลิเมตรเป็นเกลียว มีการเจาะรูทำเป็นเกลียวเพื่อขัดกับแบบหล่อและเป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์เข่วนก้อนคอนกรีตหัวข้อย่างซึ่งสังเกตได้ดังรูปที่ 3.31



ก ลักษณะการออกแบบหัวขีดแบบที่ 3 ข ลักษณะหัวขีดแบบที่ 3 ที่ทำขึ้นจริง
รูปที่ 3.31 หัวขีดแบบที่ 3

หัวข้อแบบที่ 4

หัวข้อก้อนคอนกรีตแบบที่ 4 เป็นแท่งเหล็กมีขนาด 12 มิลลิเมตร ยาว 125 มิลลิเมตร คัดแปลงมาจากหัวข้อแบบที่ 3 แต่จะมีความแตกต่างตรงที่แกนหลัก จะเห็นได้ว่าหัวข้อแบบที่ 3 มีฐานใหญ่กว่าแกนหลัก แต่หัวข้อแบบที่ 4 นั้น แกนหลักจะมีขนาดเท่ากันตลอดความยาว มีช่องว่างระหว่างกึ่งกับแกนหลัก 25 มิลลิเมตร ตัวกึ่งนี้มีความยาวขนาด 50 มิลลิเมตรแกนกลางเป็นแท่งเหล็กขนาดเดียว มีการทำเกลี้ยงลดความดังรูปที่ 3.32



ก ลักษณะการออกแบบหัวข้อแบบที่ 4

ข ลักษณะหัวข้อแบบที่ 4 ที่กำเนิดจริง

รูปที่ 3.32 หัวข้อแบบที่ 4

3.4.2 วิธีการทดสอบกำลังดึง

ในการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีตต้องพิจารณากำลังที่คอนกรีตรับได้ เพื่อนำไปคำนวณ แรงดึงที่ใช้ในการทดสอบการคีบตัว แรงดึงที่ใช้ในการทดสอบนั้นจะมีการใช้เพียง 40 % ของกำลังดึงสูงสุดที่คอนกรีตอายุ 3 วัน ซึ่งในการทดสอบกำลังดึงนี้ต้องมีการพิจารณาหัวข้อที่ผังในก้อนคอนกรีตจากการอยთแอกที่เกิดขึ้น หากหัวข้อมีกระยะจากแรงที่ดึง ระยะแตกที่เกิดขึ้นจะอยู่ในระนาบเดียวกัน แต่หากหัวข้อมีการกระยะแรงที่ไม่ดึง ระยะแตกที่เกิดขึ้นอาจมีลักษณะที่ไม่เป็นระนาบเดียวกัน ในการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีตมีวิธีการทดสอบดังนี้

- 1) เตรียมก้อนคอนกรีตตัวอย่างตามวิธีการเตรียมตัวอย่างในหัวข้อ 3.3.4



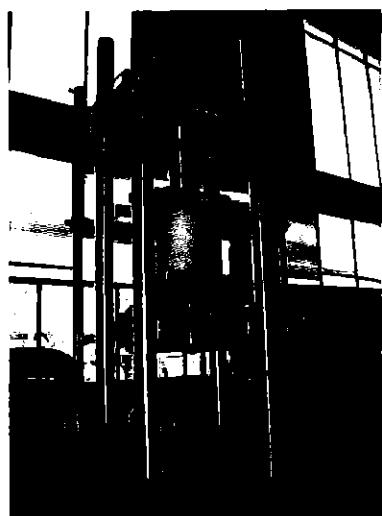
รูปที่ 3.33 แสดงก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่จะนำไปทดสอบกำลังคึ่ง

- 2) นำก้อนคอนกรีตตัวอย่างที่ได้มาต่อเข้ากับอุปกรณ์เสริมซึ่งเป็นแท่งเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ยาว 50 เซนติเมตร ทำหน้าที่เป็นแขนของคอนกรีตตัวอย่างเพื่อให้เครื่อง UTM สามารถจับแล้วคึ่งໄคิดังรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 การติดอุปกรณ์เสริม

- 3) นำก้อนคอนกรีตตัวอย่างที่พร้อมดึงใส่กับเครื่อง UTM แล้วทำการคึ่งด้วยความเร็วคงที่ 0.007 มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งมีลักษณะการคึ่งดังรูปที่ 3.35



ก) ลักษณะของเครื่อง UTM

ข) การติดตั้งก้อนคอนกรีตตัวอย่างเข้ากับเครื่อง UTM

รูปที่ 3.35 เครื่อง UTM และการติดตั้งก้อนคอนกรีตเข้ากับเครื่อง UTM

4) ทำการจดบันทึกผลกำลังของก้อนคอนกรีตที่ได้ และพิจารณาอย่างที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.36 รูปแบบของก้อนคอนกรีตตัวอย่าง

3.5 การพัฒนาการทดสอบการคีบตัวแบบดึง

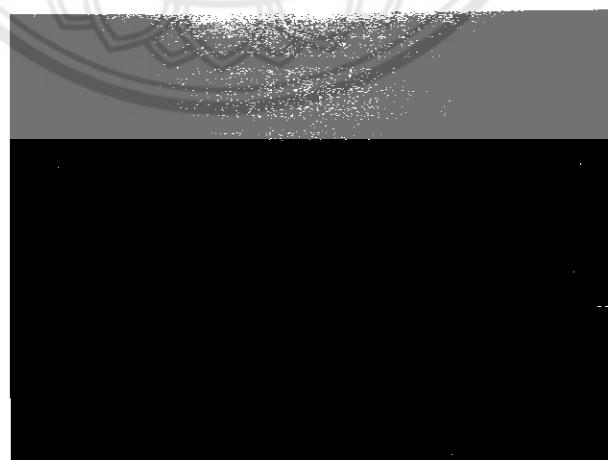
ชุดเครื่องมือทดสอบการคีบตัวแบบแรงดึงที่นำมาใช้ในโครงการนี้ ได้มีการพัฒนาปรับปรุงและดัดแปลงมาจากวิทยานิพนธ์ของ [Atrushi, 2003] ได้มีการปรับปรุงการทดสอบส่วนประกอบบางส่วน เพื่อให้สามารถใช้ได้กับโครงการ โดยเพิ่มค้ำยันเพื่อให้ก้อนตัวอย่างอยู่ในแนวดึงตลอดการทดสอบ ปรับปรุงหัวขีดค่อนกรีดเพื่อให้การกระจำของแรงในก้อนค่อนกรีดที่ทดสอบมีความสม่ำเสมอ กันทั้งหน้าตัด รวมถึงมีการเลือกอุปกรณ์เบวน์ที่ส่งผลต่อการทดสอบน้อยที่สุด ซึ่งอุปกรณ์เบวน์ที่นำมาทดสอบและศึกษามีดังนี้

3.5.1 การพัฒนาอุปกรณ์เบวน์ตัวอย่างค่อนกรีด

ในการทดสอบการคีบแบบแรงดึงจะต้องมีการถ่ายแรงไปยังก้อนค่อนกรีดตัวอย่าง เพื่อให้ได้ซึ่งอุปกรณ์ที่มีความแข็งแรงที่สุด โดยไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการคีบตัวของค่อนกรีดหรือกระทบนำบที่สุด จึงได้มีการนำอุปกรณ์มาทดสอบสามชนิดด้วยกันคือ เกลี่ยวเร่ง ไช และสลิง ซึ่งการทดสอบมีดังนี้

1) เกลี่ยวเร่ง

เกลี่ยวเร่ง (Tumbuckles) มีลักษณะที่เหมาะสมสำหรับที่จะนำมาใช้ร่วมในการทดสอบ และมีความแข็งแรง จึงได้นำมาทำการทดสอบการยึดตัว เพื่อหาอุปกรณ์ที่มีความเหมาะสมต่อโครงสร้างของชุดทดสอบ ทดสอบความทนทานต่อการดึงเพื่อที่จะนำมาเป็นอุปกรณ์ในการทดสอบการคีบตัวต่อไป



รูปที่ 3.37 เกลี่ยวเร่ง (Tumbuckles)

ขั้นตอนการทดสอบเกลียวเร่ง

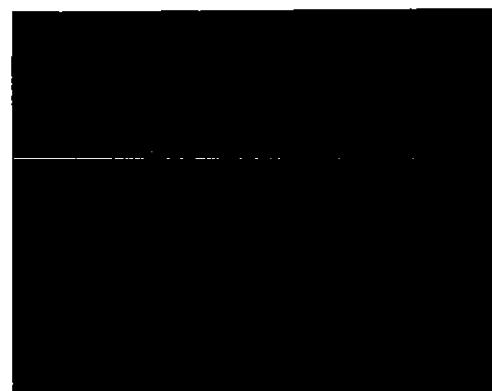
แขนงเกลียวเร่ง (Turnbuckles) ต่อกัน 2 ตัวเข้ากับเฟรม ดังรูปที่ 3.38 ติดตั้ง Dial Gage ไว้ กับเกลียวเร่งแล้วใส่ในหน้ากกระทำลงไปปล่อยให้เวลาผ่านไปแล้วหลังจากนั้นอ่านค่าการปีดตัวของ เกลียวเร่งจาก Dial Gage เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาเดือกใช้อุปกรณ์ที่ดีที่สุดมาใช้ในการ แขนงก้อนคอนกรีตเพื่อหาค่าการคีบตัวต่อไป



รูปที่ 3.38 แสดงการทดสอบเกลียวเร่ง (Turnbuckles)

2) สลิง

สลิง มีลักษณะที่เหมาะสมสำหรับที่จะนำมาใช้ร่วมในการทดสอบดังรูปที่ 3.39 และเห็น ว่ามีความแข็งแรง จึงได้นำมาทดสอบการปีดตัว เพื่อหาอุปกรณ์ที่มีความเหมาะสมต่อโครงสร้างของ ชุดทดสอบ และมีการทดสอบความทนทานต่อการดึงเพื่อนำมาเป็นอุปกรณ์ในการทดสอบการคีบ ตัวต่อไป



รูปที่ 3.39 สลิงที่ใช้ในการทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบสลิง

แนะนำสลิงกับเพรน การติดตั้งสลิงกับเพรนนี้จะต้องติดให้แน่น โดยใช้ตัวบีดแล้วขันน็อตให้แน่นแล้วติดตั้ง Dial Gage ไว้กับสลิง ดังรูปที่ 3.40 แล้วใส่สำ้าหนักกระทำลงไป ปล่อยให้เวลาผ่านไปแล้วอ่านค่าการบีดตัวของสลิงจาก Dial Gage เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการนำมาพิจารณาเพื่อเลือกใช้อุปกรณ์ในการทดสอบที่ดีที่สุดและไม่ส่งผลกระทบต่อการทดสอบคัวชั้งรูปที่ 3.40



รูปที่ 3.40 แสดงรูปการทดสอบสลิง

3) ไช

ไช มีลักษณะที่เหมาะสมสำหรับที่จะนำมาใช้ร่วมในการทดสอบดังรูปที่ 3.41 และมีความแข็งแรง จึงได้นำมาทดสอบการบีดตัว เพื่อหาอุปกรณ์ที่มีความเหมาะสมต่อโครงสร้างของชุดทดสอบ ทดสอบความทนทานต่อการดึงเพื่อที่จะนำมาเป็นอุปกรณ์ในการทดสอบการบีบตัว



รูปที่ 3.41 ไชที่ใช้ทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบโซ่ฯ

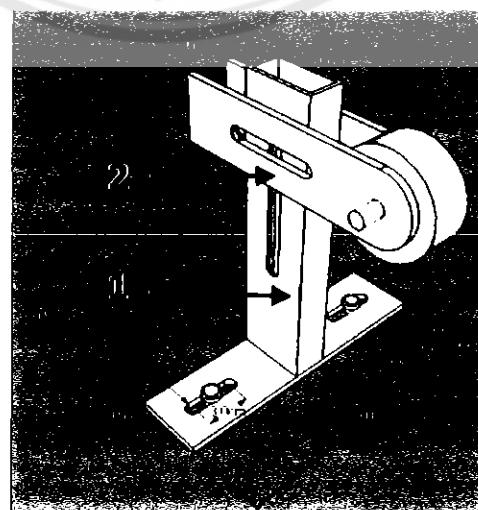
แขนโซ่ฯ กับเฟรมแล้วติดตั้ง Dial Gage ไว้กับโซ่ดังรูปที่ 3.42 ใส่น้ำหนักกระทำ ปล่อยให้เวลาผ่านไปแล้วอ่อนค่าการยืดตัวของโซ่ฯ จาก Dial Gage เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการนำมารวิเคราะห์เพื่อเลือกใช้อุปกรณ์ในการทดสอบที่ดีที่สุดและไม่ส่งผลกระทบต่อการทดสอบ



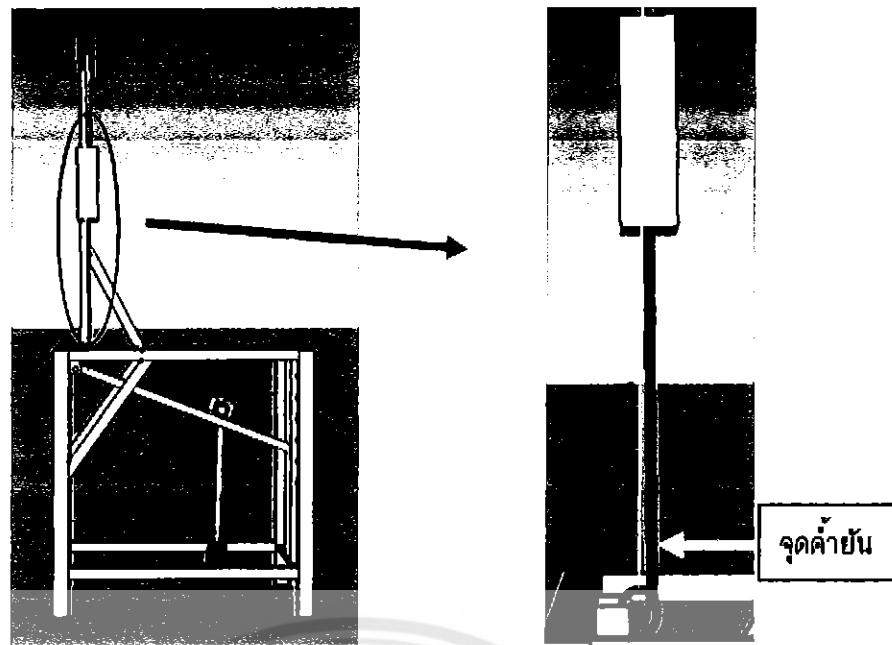
รูปที่ 3.42 การทดสอบโซ่ฯ

3.5.2 การพัฒนาอุปกรณ์ค้าขันแนวคั่ง

อุปกรณ์ค้าขันนี้มีหน้าที่ค้าขันแนวเร่ง จากการตรวจสอบหน่วยแรงมีการถ่ายแรงจากถูกตันน้ำหนัก บนของคนยืน เกลี่ยวเร่ง และเข้าสู่ก้อนคอนกรีตตามลำดับ ซึ่งจากการตรวจสอบนี้ได้สังเกตเห็นความแนวเร่งที่ไม่ถูกในแนวคั่งดังรูปที่ 3.44 จึงได้มีการออกแบบอุปกรณ์ค้าขันแนวคั่งบีบีนซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.43



รูปที่ 3.43 อุปกรณ์ค้าขันแนวคั่ง



รูปที่ 3.44 ตำแหน่งค้าขันแนวตั้ง

ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ค้าขันแนวตั้ง

เมื่อทำการทดสอบแนวตั้งค้าขันจะถูกดึงเป็นที่เรียบร้อยแล้วจึงนำอุปกรณ์ค้าขันในแนวตั้งที่ออกแบบไว้ไปติดกับเฟรม ขั้นตอนนี้อุปกรณ์ค้าขันจะถูกติดกับเฟรมทุกด้าน ส่วนที่ (1) สามารถปรับเข็มลงดังรูปที่ 3.43 เลื่อนหาตำแหน่งที่จะใช้ค้าขันได้ สำหรับส่วนที่ (2) นั้น สำหรับปรับแนวตั้งในแนวตั้ง ใช้สำหรับดันแนวการดึงให้ตรงกับลูกศักดิ้ง เมื่อปรับส่วนที่ (1) และ (2) ได้ตรงตามแนวเดียวกับขั้นตอนที่ (1) ให้แน่น เพื่อในเวลาที่ทำการทดสอบแนวตั้งจะได้ตรงตามที่ได้กำหนดไว้

3.5.3 การพัฒนาอุปกรณ์ยึดสำหรับความเครียดของคอนกรีต

การทดสอบการคืนตัวแบบแรงดึงนั้นต้องอาศัยอุปกรณ์ชนิดพิเศษในการวัดการเปลี่ยนความยาวของก้อนคอนกรีตตัวอย่างที่เกิดจากหน่วยแรงดึง เพื่อตรวจสอบว่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับก้อนคอนกรีตตัวอย่างมีการกระจายแรงสนับสนุนอยู่ใน ณ ที่นี่ได้มีการใช้อุปกรณ์ในการวัดอยู่ 2 ชนิดคือ ก้อน ก็อ

1) อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบ (LVDT)

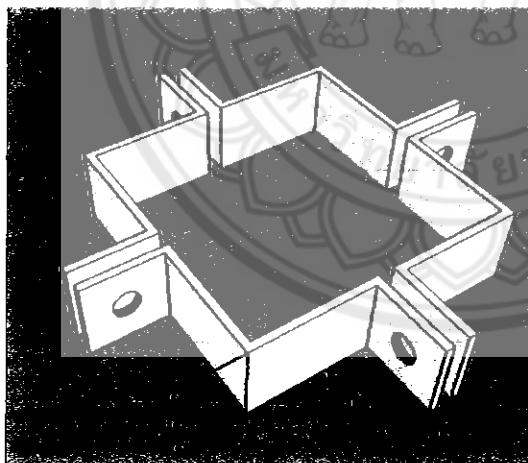
อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบ (Linear Variable Differential Transformer, LVDT) ก็อ อุปกรณ์วัดการเปลี่ยนแปลงของระยะทางแบบพลวัตร (dynamic deflection) การ

ทดสอบการสั่นของวัสดุ และการทดสอบแรงดึงบนไฟเบอร์หรือวัสดุอื่นที่มีความยืดหยุ่นสูง ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.45

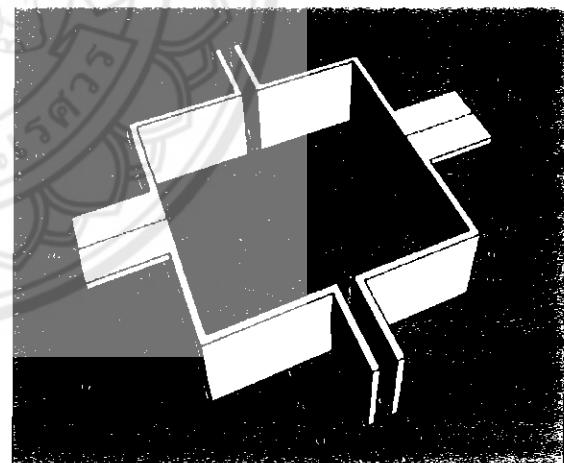


รูปที่ 3.45 อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบ (LVDT)

อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบ (LVDT) เป็นอุปกรณ์ที่ต้องติดตั้งเข้ากับก้อนคอนกรีต แต่ไม่สามารถติดได้โดยตรง จึงต้องมีการออกแบบอุปกรณ์ชุดอุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบ (LVDT) เข้ากับก้อนคอนกรีตตัวอย่างซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.46



ก ส่วนที่ 1



ข ส่วนที่ 2

รูปที่ 3.46 อุปกรณ์ชุด อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบ (LVDT)

วิธีการใช้และการติดตั้ง

การติดตั้งการติดตั้งอุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบ (LVDT) กับก้อนคอนกรีตทดสอบ ทำได้โดยการทำเครื่องหมายและวัดระยะตำแหน่งการติดตั้งให้ตรงศูนย์กลางของก้อนคอนกรีต หลังจากนั้นก็ทำการปิดด้วยสกรูให้แน่นเพื่อป้องกันการยับเมื่อเวลาที่ทำการทดสอบ ติดตั้ง อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบ (LVDT) กับเหล็กชิ้น โดยกดหัวเครื่อง อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ ในแนวราบ (LVDT) ลงไปประมาณ 2 ซม. ดังรูปที่ 3.47 เพื่อหาค่าการคืนตัวของก้อนคอนกรีตจากแรงคึ่ง ต่อวงจร อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบ (LVDT) เข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูลเพื่อทำการบันทึกค่า การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

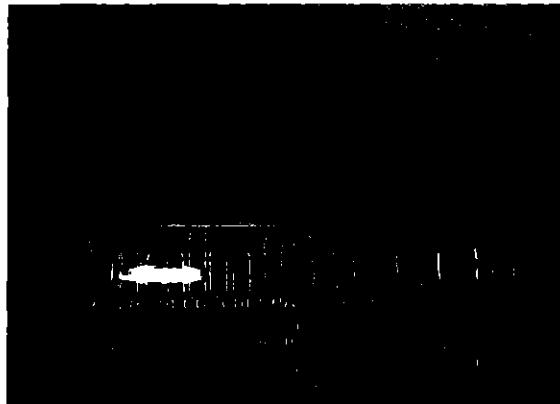


รูปที่ 3.47 การติดตั้ง อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบ (LVDT)

2) สายวัดความเครียด

สายวัดความเครียด คือ เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดแรงดึงเครียด (Strain) ของวัสดุ ส่วนใหญ่สายวัดความเครียดจะทำจากเส้นลวด โลหะขนาดเล็กขนาดเป็นรูปปรางค์ต่างๆ อยู่บนแผ่น ชนวน นอกจากนั้นยังมีสายวัดความเครียด แบบอุปกรณ์กึ่งตัวนำด้วย ซึ่งมีความไวสูงกว่าและขนาด เล็กกว่าแบบลวดโลหะ สายวัดความเครียดชนิดนี้มีขนาด 90×5 มิลลิเมตร มีลักษณะดังรูปที่ 3.48 (ก) อุปกรณ์ในการติดสายวัดความเครียดมีดังนี้ การรองพื้น P-2, น้ำยาเร่งปฏิกิริยา, การติดสายวัด ความเครียด และงานทดสอบ ดังรูปที่ 3.48 (ข)

หลักการของสายวัดความเครียด คือ เมื่อสายวัดความเครียดถูกแรงกระทำ จะทำให้เกิด การเปลี่ยนแปลงรูปร่างไป (บีด หด บีบ งอ) ทำให้ความต้านทานของวัสดุนั้นเปลี่ยนไปตามแรงที่ กระทำ



ก ใช้ห้อสายวัดความเครียด

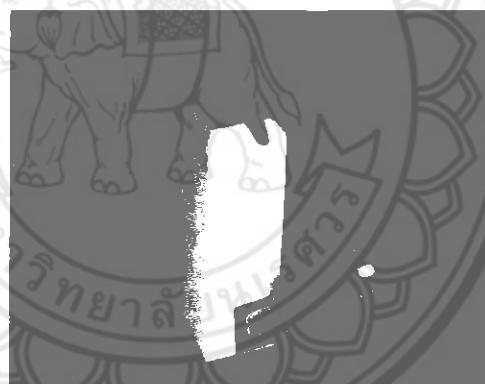


ข การและสารผสมเพิ่มในการติด

รูปที่ 3.48 สายวัดความเครียดและอุปกรณ์ติด สายวัดความเครียด

ขั้นตอนการติดตั้งสายวัดความเครียด

1. ขัดผิวชิ้นงานให้เรียบ โดยใช้กระดาษทราย



รูปที่ 3.49 การปรับผิวเก็บอนกอนกรีดตัวบ่า

2. ติดเทปปางร่วนชิ้นงาน เพื่อป้องกันการเย็นของเวลาที่ทำการ P-2 ลงไป



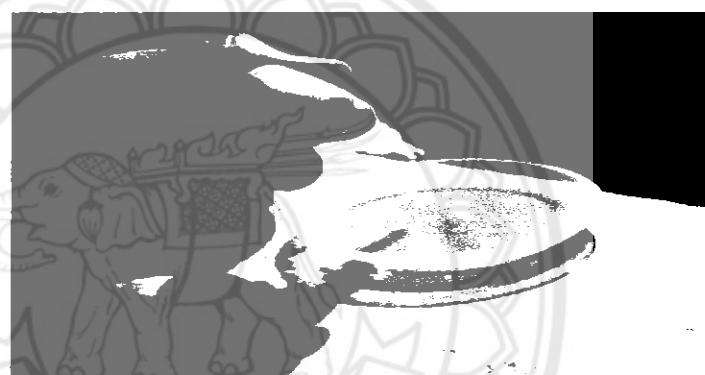
รูปที่ 3.50 การติดเทปปาง

3. เทกาว P-2 ลงในถ้วยประมาณ $\frac{1}{2}$ ถ้วย



รูปที่ 3.51 การเทกาวลงถ้วยประมาณ $\frac{1}{2}$ ถ้วย

4. แก้วผสมน้ำยาเร่งการทำปฏิกิริยาลงไปประมาณ 15 หยด



รูปที่ 3.52 การผสมน้ำยาเร่งปฏิกิริยาของกาว

5. คนส่วนผสมให้เข้ากันจนมีสีเป็นคล้ำ จากนั้นก็นำไปทาในตำแหน่งที่ต้องการติดสาขัวด้วยความเครียดบนผิวของชิ้นงาน



รูปที่ 3.53 คนกาวให้เข้ากันกับน้ำยาเร่งปฏิกิริยา

6. ท่าการลงตำแหน่งที่ติดสายวัดความเครียดหลังจากนั้นนำแผ่นใสติดลงไปดังรูปที่ 3.54 โดยระวังอย่าให้มีฟองอากาศเกิดขึ้น ทิ้งไว้ประมาณ 30-40 นาที



รูปที่ 3.54 การติดแผ่นปรับพิવากา

7. เมื่อกาวแห้งแล้วจึงแกะเทปที่ติดไว้ออกตัวความระมัดระวังดังรูปที่ 3.55



รูปที่ 3.55 ลักษณะการที่แห้งแล้วพร้อมสำหรับการติดสายวัดความเครียด

8. ท่าการ CN ให้ทัวสายวัดความเครียดเพื่อติดตั้งกับก้อนคอนกรีตทดสอบดังรูปที่ 3.56



รูปที่ 3.56 การท่ากาวนสายวัดความเครียด

9. ติดตั้งเครื่องสายวัดความเครียด โดยติดให้ตรงศูนย์กลางของชิ้นงานที่ได้ทำเครื่องหมายตำแหน่ง เอาไว้แล้วก็ไว้ประมาณ 1 นาทีคังรูปที่ 3.57



รูปที่ 3.57 การกตัญญากันสายวัดความเครียด

10. ต่อสายไฟฟ้าเข้ากับเครื่องบันทึกโดยการบักกริสายวัดความเครียดกับสายไฟดังรูปที่ 3.58



รูปที่ 3.58 การเชื่อมต่อสายไฟฟ้าเข้ากับสายไฟสายวัดความเครียด

3.5.4 วิธีการทดสอบการคีบตัว

การทดสอบการคีบตัวของคอนกรีตแบบแรงดึงมีองค์ประกอบหลักอย่างที่ต้องนำมาพิจารณาไม่ว่าจะเป็นวัสดุ เครื่องมือที่ใช้ กำลังดึงของคอนกรีต รวมทั้งชุดทดสอบการการคีบตัวแบบแรงดึงของคอนกรีตตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ต่อไปเป็นวิธีการทดสอบการคีบตัวแบบแรงดึงของคอนกรีตซึ่งมีปัจจัยในการศึกษาดังนี้

ปัจจัยในการทดสอบการคีบตัว

- 1) ใช้อัตราส่วนผสม ตามตารางที่ 3.1
- 2) ใช้แรงดึง 40 % ของกำลังดึงสูงสุดที่ได้จากทดสอบกำลังดึงที่อาบุ 3 วัน ของหัวเข็มแบบที่ 1 ซึ่งมีกำลังดึงเท่ากับ 31.4 ksc ดังนั้นแรงที่ใช้สำหรับการทดสอบการคีบตัวเท่ากับ 12.56 ksc
- 3) มีการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของก้อนกรีดตัวบ สายวัดความเครียด
- 4) ใช้เวลาในการทำการทดสอบ 42 ชั่วโมง ในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 35 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50 % RH

วิธีการทดสอบการคีบตัว

- 1) ผสมก้อนกรีดตามอัตราส่วนผสมที่กำหนดเพื่อให้ได้ก้อนก้อนกรีดตัวอย่าง ทำความสะอาดก้อนก้อนกรีดตัวอย่างแล้วติดสายวัดความเครียดเข้ากับก้อนก้อนกรีด พร้อมทั้ง เชื่อมต่อสายไฟให้เรียบร้อยดังรูปที่ 3.59



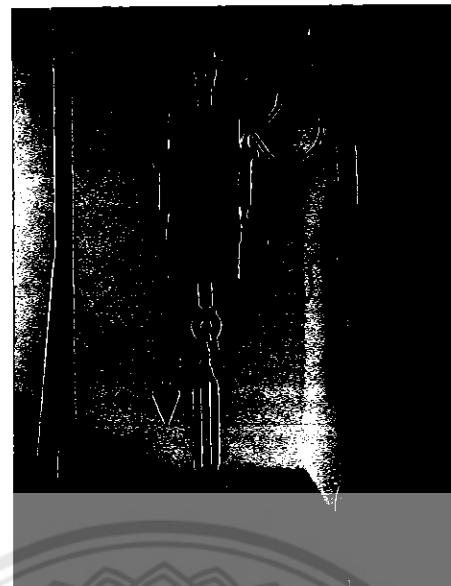
ก เตรียมก้อนก้อนกรีดตัวอย่างที่ติดสายวัดความเครียด



ข การต่อสายไฟ

รูปที่ 3.59 การเตรียม สายวัดความเครียด

- 2) นำก้อนก้อนกรีดตัวอย่างเบวน ไว้กับกับชุดทดสอบการคีบตัวแบบแรงดึงและต่อสายไฟเข้ากับเครื่องบันทึกดังรูปที่ 3.60 และแปลงข้อมูลพร้อมทั้งเปิดเครื่อง

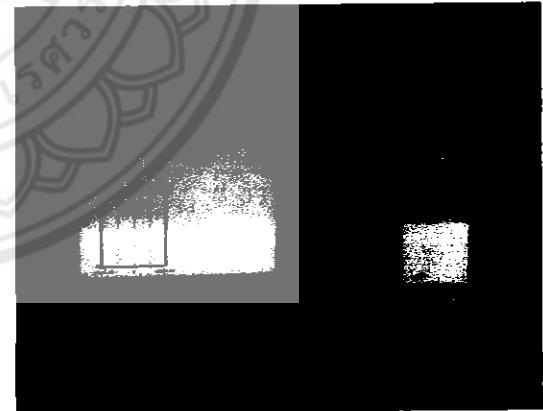


รูปที่ 3.60 การเบวนก้อนคอนกรีตตัวอย่างพร้อมตรวจสอบแนวแรงให้อยู่ในแนวดิ่ง

3) ต่อสายไฟเข้าเครื่องบันทึกและแปลงข้อมูลพร้อมทั้งตรวจสอบโปรแกรมบันทึกในคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 3.61



ก การต่อสายไฟเข้ากับเครื่องบันทึก



ข ดูความพร้อมของโปรแกรมที่จะบันทึกค่า
การเปลี่ยนแปลง

รูปที่ 3.61 การเตรียมเครื่องบันทึกการเปลี่ยนแปลงของคอนกรีตตัวอย่าง

- 4) ใส่น้ำหนักกระทำที่คานรับไม้แนวต์เท่าที่กำหนดดังรูปที่ 3.61 พร้อมกับบันทึกค่าใน
คอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.62 น้ำหนักที่ใช้เป็นแรงในการทดสอบการคีบตัว

บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิเคราะห์

การทดสอบการคีบตัวแบบแรงดึงของคอนกรีตมีความจำเป็นต้องทราบสมบัติต่างๆของวัสดุเพื่อเอาไปคำนวณหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตและเพื่อให้ตามมาตรฐาน ดังนี้นั่นจึงต้องทำการทดสอบวัสดุเบื้องต้นของคอนกรีตทั้ง ปูนซีเมนต์ มวลรวมของ และมวลรวมละเอียด นอกจากจะทดสอบสมบัติของวัสดุแล้ว ต้องทดสอบชุดเครื่องมือที่ใช้ทดสอบการคีบตัวของคอนกรีตด้วย เมื่อจากทำการทดสอบการคีบตัวของคอนกรีตดังกล่าวยังไม่มีมาตรฐานที่จะรองรับ จึงต้องมีการตรวจสอบปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อการคีบตัวของคอนกรีต เช่น การเมืองศูนย์ของแนวแรง การแย่งคัวของโครงทดสอบการคีบตัว เป็นต้น

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ

สมบัติเบื้องต้นของวัสดุมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการทดสอบ เนื่องจากการคำนวณอัตราส่วนผสมต้องอาศัยสมบัติของวัสดุเบื้องต้น จากการทดสอบในบทที่ 3 ได้สมบัติเบื้องต้นดังนี้

1) ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราช้าง มีค่าความถ่วงจำเพาะปะกานภูเท่ากับ 3.15

2) มวลรวม

การหาค่าความถ่วงจำเพาะและการคูคูซึ่งของมวลรวมของ ตามมาตรฐาน ASTM C127 [7] โดยปกติในการคำนวณปฏิกิริยาส่วนผสมของคอนกรีตจะใช้ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry) ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมทั่วไปมีค่าระหว่าง 2.4–3 และตามมาตรฐาน ASTM C29 [8] หน่วยน้ำหนักของมวลรวมที่ใช้กันอยู่ทั่วๆไปในประเทศไทยค่าเท่ากับ 1,400 – 1,600 กก./ลบ.เมตร

ทราย

จากการทดสอบได้ค่าความถ่วงจำเพาะที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งของทรายเท่ากับ 2.53 ได้ค่าหน่วยน้ำหนักของทรายเท่ากับ 1,580.48 กก./ลบ.ม. ร้อยละการคูซึ่งของน้ำในทรายเท่ากับ 0.93

พิน

จากการทดสอบได้ค่าความถ่วงจำเพาะที่สภาวะอื่นคัวผิวแห้งของพินเท่ากับ 2.84 ได้ค่าหน่วยวัสดุหนักของพินเท่ากับ 1,521.97 กก./ลบ.ม. และร้อยละการดูดซึมน้ำในพินเท่ากับ 0.50

4.2 ผลการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีตด้วยหัวยืดแบบต่างๆ

ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของก้อนตัวอย่างคอนกรีตโดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ โดยใช้ความเร็วในการทดสอบเท่ากับ 0.007 มิลลิเมตร/วินาที เพื่อหากำลังดึงสูงสุดของคอนกรีตที่อายุ 3 วัน ในการทดสอบคอนกรีตเพื่อหากำลังดึงนี้ใช้อัตราส่วนผสมเดียวกันตามตารางที่ 3.1 แต่การทดสอบกำลังดึงนี้จะมีการทดสอบหัวยืดคอนกรีตพร้อมกันไปด้วย โดยใช้หัวยืดคอนกรีตในแต่ละแบบที่แตกต่างกัน เพื่อทดสอบพฤติกรรมการกระเจิงของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นภายในหน้าตัดของคอนกรีตว่าเกิดขึ้นสม่ำเสมอทั้งหน้าตัดหรือไม่ โดยการสังเกตรอยแตกหรือรอยขาดของคอนกรีตที่เกิดขึ้นหลังทำการดึงคอนกรีตตัวอย่างด้วยเครื่อง UTM การทดสอบนี้จึงเป็นการทดสอบการดึงคอนกรีตเพื่อประเมินความสม่ำเสมอของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นภายในคอนกรีตจากอย่างของการดึง จึงเป็นการประเมินค่าคงที่ของตัวอย่างที่ได้มาเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกหัวยืดคอนกรีต และนำหัวยืดที่ได้ไปใช้ชุดคอนกรีตที่จะทดสอบการดึงคุณภาพแบบต่อไปซึ่งได้ผลการทดสอบกำลังดึงและผลของรอยแตกที่ได้จากการทดสอบโดยใช้อุปกรณ์การขีดคอนกรีตแบบต่างๆดังนี้

สรุปผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต

หัวยืด	กำลังดึงที่อายุต้นของคอนกรีต (ksc)		
	1 (วัน)	2 (วัน)	3 (วัน)
แบบที่ 1	11.1	22.4	31.4
แบบที่ 2	12.9	23.6	31.1
แบบที่ 3	13.4	24.8	32.8
แบบที่ 4	13.6	24.9	33.0

วิเคราะห์ผลการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต

กำลังดึงที่ได้ดังตารางที่ 4.1 เป็นผลกำลังดึงเฉลี่ยที่ได้มีการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตตามจำนวนดังตารางที่ 3.2 จากผลการทดสอบพบว่า กำลังดึงของแต่ละหัวขีดมีความแตกต่างกันไม่น่าก แล้วค่ากำลังดึงมีค่าเพิ่มขึ้นจากหัวขีดแบบที่ 1 มีค่านากกว่าหัวขีดแบบที่ 2 , 3 และหัวขีดแบบที่ 4 ตามลำดับ และค่ากำลังดึงของคอนกรีตที่อายุ 1 วันมีค่าน้อยกว่าค่ากำลังดึงของคอนกรีตที่อายุ 2 และ 3 วันตามลำดับ หัวขีดคอนกรีตแบบที่ 3 และหัวขีดคอนกรีตแบบที่ 4 จะมีค่ากำลังดึงที่ใกล้เคียง กัน ซึ่งสุดท้ายแล้วได้นำหัวขีดแบบได้นำหัวขีดแบบที่ 4 มาใช้ในการทดสอบหาค่าการถีบตัวแบบ ดึง

4.2.1 ผลการทดสอบกำลังดึงด้วยหัวขีดแบบที่ 1

ผลการทดสอบหัวขีดคอนกรีตแบบที่ 1 (รูปที่ 3.40) ลักษณะรอยแตกของก้อนคอนกรีต เกิดขึ้นบริเวณด้านล่างของก้อนคอนกรีตดังรูปที่ 4.1 พบว่าหัวขีดคอนกรีตหลุดออกจากพื้น กับหัวขีดของคอนกรีต การแตกในลักษณะนี้อาจเป็นพาระแรงขีดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับหัวขีด อาจจะไม่เพียงพอ ก่อให้เกิดการลื่นไถลของหัวขีดออกจากก้อนคอนกรีต และค่ากำลังดึงที่ได้คาด ว่าจะไม่ใช่กำลังดึงที่แท้จริงของคอนกรีต



ก การใส่หัวขีดแบบที่ 1

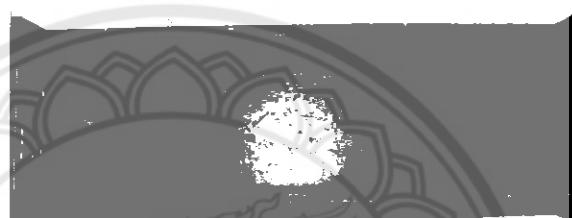
ข รอยแตกของคอนกรีตด้านที่ 1

ค รอยแตกของคอนกรีตด้านที่ 2

รูปที่ 4.1 รอยแตกของคอนกรีตด้วยหัวขีดแบบที่ 1

4.2.2 ผลการทดสอบทำสังดิ่งด้วยหัวเข็มแบบที่ 2

ผลการทดสอบหัวเข็มตอนกรีดแบบที่ 2 (รูปที่ 3.41) พบว่าลักษณะรอยแตกของตอนกรีดที่เกิดขึ้นเป็นรอยแตกที่น่าจะเกิดจากกระบวนการกระจายหน่วยแรงที่ไม่สม่ำเสมอ สังเกตได้จากรูปที่ 4.2 ซึ่งรอยแตกที่เกิดขึ้นนั้นอาจจะมีผลมาจากการหัวเข็มทั้งสองข้างเกิดการเยื่องศูนย์ ซึ่งหัวเข็มตอนกรีดที่มีลักษณะแบบนี้การควบคุมไม่ให้เยื่องศูนย์ค่อนข้างยาก เนื่องจากการเชื่อมเหล็กข้ออ้อยขนาด 9 มิลลิเมตรติดกับแผ่นเหล็กทำได้ยาก จะมีการเหล็กข้ออ้อยอึบอืดและไม่ได้ระดับอยู่เสมอ ด้วยเหตุนี้จึงเป็นสาเหตุทำให้มีรอยแตกดังรูป 4.2 (ข)



ก. ลักษณะการใส่หัวเข็มแบบที่ 3 ในแบบหล่อ



ข. ลักษณะรอยแตกของตอนกรีดด้านที่ 1

ก. ลักษณะรอยแตกของตอนกรีดด้านที่ 2



ง. ลักษณะรอยแตกของตอนกรีดด้านที่ 3



ง. ลักษณะรอยแตกของตอนกรีดด้านที่ 4

รูปที่ 4.2 รอยแตกของตอนกรีดด้านหัวเข็มแบบที่ 2

4.2.3 ผลการทดสอบกำลังดึงด้วยหัวเข็มแบบที่ 3

รอยแตกของคอนกรีตด้วยหัวเข็มแบบที่ 3 (รูปที่ 3.42 (ก)) จะแยกบริเวณ 1/3 ทางด้านบน ของก้อนคอนกรีตเป็นบริเวณที่ใกล้เคียงกับส่วนปลายของหัวเข็มพอตี ซึ่งรอยแตกนี้มีลักษณะ เป็นเส้นตรงมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับหัวเข็มแบบที่ 2 สาเหตุการแตกอาจเกิดจากคอนกรีตยังมีการ เยื่องศูนย์อยู่ นอกจาระรอยแตกของคอนกรีตที่เกิดขึ้นทั้งสี่ด้านแล้ว ยังมีรอยร้าวบริเวณส่วนหัวใกล้ กับจุดเชื่อมต่อหัวเข็มดังรูปที่ 4.3 (ก)



ก ลักษณะการใส่หัวเข็มแบบที่ 3 ในแบบหล่อ



ข ลักษณะรอยแตกของคอนกรีตด้านที่ 1



ค ลักษณะรอยแตกของคอนกรีตด้านที่ 2



ง ลักษณะรอยแตกของคอนกรีตด้านที่ 3



จ ลักษณะรอยแตกของคอนกรีตด้านที่ 4



ฉ รอยแตกของคอนกรีตด้านหัวท้ายของคอนกรีต

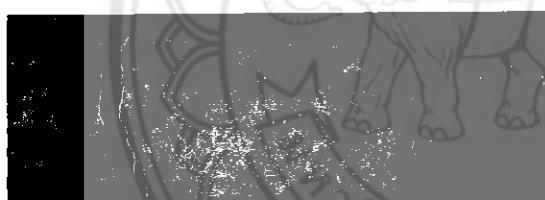
รูปที่ 4.3 รอยแตกของคอนกรีตด้วยหัวเข็มแบบที่ 3

4.2.4 ผลการทดสอบกำลังดึงด้วยหัวเข็มแบบที่ 4

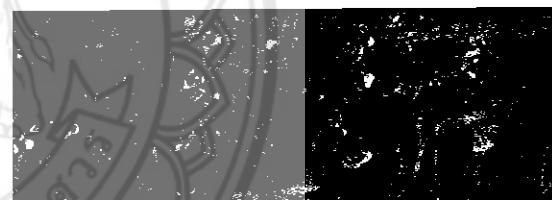
ลักษณะรอยแตกของคอนกรีตด้วยหัวเข็มแบบที่ 4 มีลักษณะเหมือนรอยแตกของหัวที่ 2 และ 3 ซึ่งจะแตกบริเวณ 1/3 จากหัวหรือท้ายก้อนคอนกรีต ดังรูปที่ 4.4 รอยแตกแบบนี้สันนิษฐานว่าเกิดจากการเยื่องสูญญ์ของหัวเข็ม แต่เนื่องจากมีความจำถูกทางด้านเวลาจึงไม่สามารถทำการทดสอบต่อไปได้



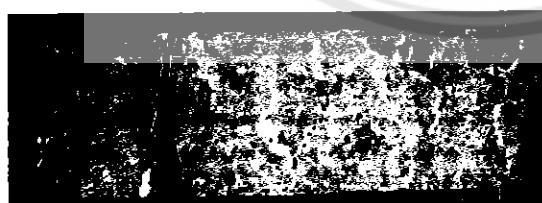
ก ลักษณะการไส้หัวเข็มแบบที่ 4 ในแบบหล่อ



ข ลักษณะรอยแตกของคอนกรีตด้านที่ 1



ค ลักษณะรอยแตกของคอนกรีตด้านที่ 2



ง ลักษณะรอยแตกของคอนกรีตด้านที่ 3



จ ลักษณะรอยแตกของคอนกรีตด้านที่ 4

รูปที่ 4.4 รอยแตกของคอนกรีตด้วยหัวเข็มแบบที่ 4

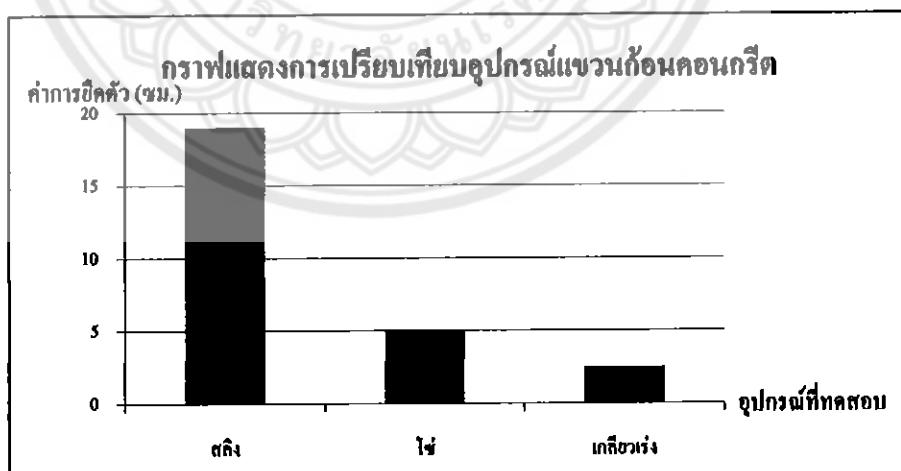
4.3 ผลการทดสอบการพัฒนาการทดสอบการคีบตัวแบบดึง

อุปกรณ์สำหรับการดึงเป็นอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อระหว่างก้อนคอนกรีตตัวอย่างกับเครื่องรับน้ำหนักและแขนน้ำหนักของคาน โดยมีการทดสอบอุปกรณ์ 3 ชนิดคือ สดิง, ไช่, และเกลีขาวร่อง หาอุปกรณ์ที่รับแรงดึงมากที่สุดและมีการยึดตัวของอุปกรณ์น้อยที่สุด เพื่อจะนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ทดสอบการคีบตัวของคอนกรีตแบบดึง โดยใช้แรงดึงขนาด 3,000 kg เท่ากันทั้งสามชนิด ซึ่งได้ผลการทดสอบดังนี้

4.3.1 การพัฒนาอุปกรณ์แบบตัวอย่างคอนกรีต

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการยึดตัวของอุปกรณ์แบบตัวอย่างคอนกรีต

หัวยึด	ค่าการยึดตัว (มิลลิเมตร)
สดิง	19
ไช่	5
เกลีขาวร่อง	2.5



รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบการยึดตัวของอุปกรณ์แบบตัวอย่างคอนกรีต

วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากการทดสอบฉบับปรับทั้ง 3 ชนิดจะเห็นได้ว่ามีระดับปีคของ สลิง โซ่ และเกลียวร่อง เท่ากัน 19 , 5 และ 2.5 มิลลิเมตรตามลำดับ สลิงเป็นอุปกรณ์ที่มีระดับปีคมากที่สุด เมื่อจากสลิงเป็น อุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นเหล็กเส้นขนาดเล็กพันกันเป็นเกลียวแกนกลางเป็นสำคัญ ส่วนโซ่เป็นอุปกรณ์ ที่ปีครองลงมาจากสลิง เป็นเพราะโซ่ทำจากเหล็กเส้นมีการรองให้บรรจบกันเป็นวงรีต่อ กันเป็นเส้น ขาว ด้วยเหตุนี้ทำให้เหล็กแต่ละวงยึดคงกัน รวมกันแล้วจึงมีระดับปีคต่ำที่เห็น และเกลียว ร่อง เป็นแท่งเหล็กที่สามารถบิดให้ขยายเข้า ออกตามแนวยาวได้ซึ่งมีลักษณะเป็นเกลียว สามเหตุที่ เกิดการปีคตัวอาจเกิดจากเกลียวขนาดเล็กที่มีการปีคตัว ดังนั้นจึงเลือกแบบเกลียวร่องไปใช้ในการ ทดสอบการปีคตัวแบบดึงเพราะมีการปีคตัวน้อยที่สุด

4.3.2 การพัฒนาอุปกรณ์ค้ำยันแนวตั้ง

เมื่อจากเมื่อนำมาแขวนก่อนก่อนกรีดแล้ว เกิดมุมเอียงของก่อนก่อนกรีดในขณะใส่ น้ำหนัก ทำให้ก่อนก่อนกรีดไม่อยู่ในแนวตั้งส่งผลให้ก่อนก่อนกรีดเกิดการปีคตัวที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงมีการออกแบบอุปกรณ์ค้ำยันแนวตั้ง เพื่อค้ำยันให้ก่อนก่อนกรีดอยู่ในแนวตั้ง ดังรูปที่ 4.6



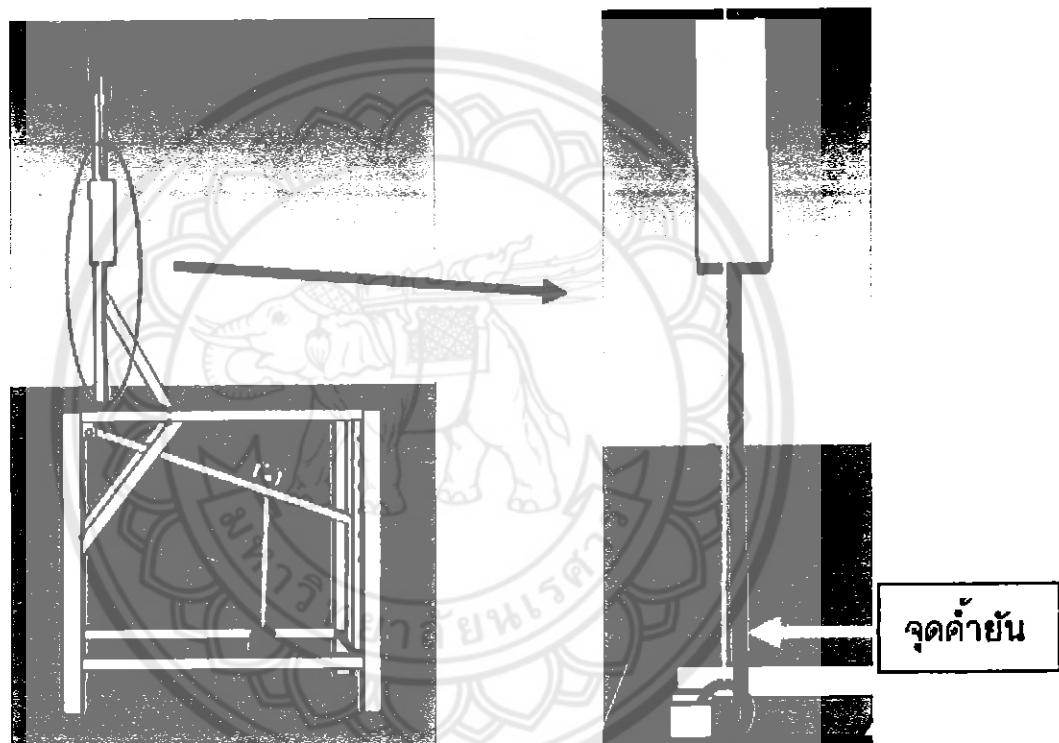
ก ตรวจสอบแนวเร่ง



ข ตำแหน่งการติดตั้งของอุปกรณ์ค้ำยันแนวตั้ง

รูปที่ 4.6 การติดตั้งอุปกรณ์ค้ำยันในแนวตั้ง

ผลการทดสอบอุปกรณ์ค้ำยันแนวตั้ง สามารถใช้งานได้ตามความประسังที่ออกแบบดังรูปที่ 4.7 แต่อุปกรณ์ชิ้นนี้ยังมีความแข็งแรงไม่น่าพอใจที่จะรับแรงดันจากแขนของก้อนคอนกรีต (เกรลีบัวเร่ง) ดังนั้นอุปกรณ์ชิ้นนี้ต้องมีการออกแบบใหม่มีความแข็งแรงมากขึ้น สาเหตุที่อุปกรณ์ชนิดนี้มีความแข็งแรงไม่น่าพอใจคือ อุปกรณ์นี้เนื่องจากที่ฐานเพียง 2 ตัว ดังรูปที่ 4.7 จึงทำให้มีการรับแรงในแนวค้ำยันได้ไม่มาก หากต้องการให้มีความแข็งแรงมากขึ้นต้องเพิ่มนอตที่ฐานของอุปกรณ์ชนิดนี้



ก การเขียงศูนย์ของก้อนคอนกรีตเมื่อมีการใส่น้ำหนัก

ข ตำแหน่งค้ำยันอุปกรณ์

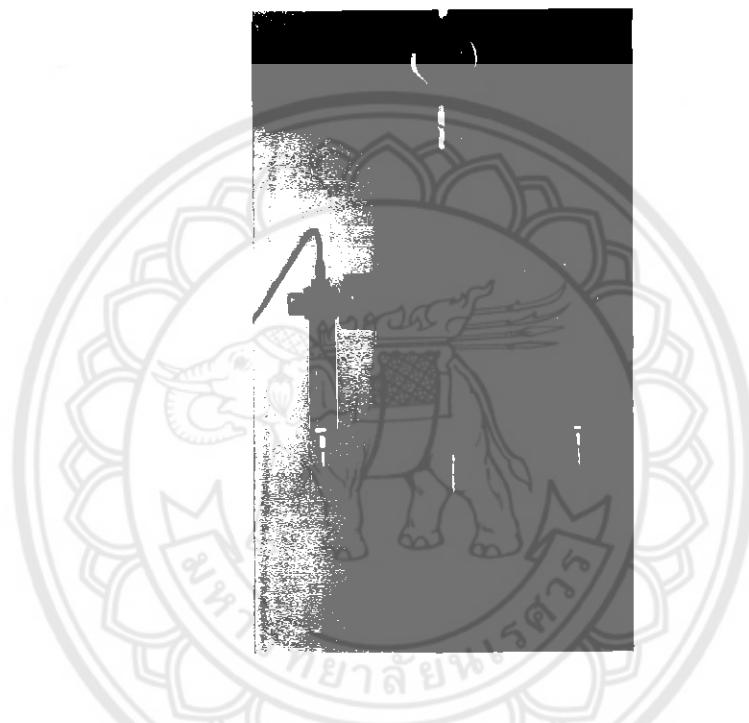
รูปที่ 4.7 แนวแรงและตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ค้ำยัน

4.3.3 การพัฒนาอุปกรณ์ยึดสำหรับความเครียดของคอนกรีต

การทดสอบการคีบตัวแบบแรงดึงนื้นต้องอาศัยอุปกรณ์ชนิดพิเศษในการวัดการเปลี่ยนความขาวของก้อนคอนกรีตตัวอย่าง ในที่นี้มีการใช้อุปกรณ์ในการวัดอุปกรณ์ที่ติดตั้ง LVDT กับ Strain Gage ซึ่งต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ทั้งสองชนิดนี้เข้ากับก้อนคอนกรีตตัวอย่าง Strain Gage สามารถติดเข้ากับก้อนคอนกรีตตัวอย่างได้

โดยตรง แต่ถ้าอุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบนั้นไม่สามารถติดได้โดยตรง จะนั้นจึงต้องมีการออกแบบอุปกรณ์ชิ้น อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบเข้ากับก้อนคอนกรีตตัวอย่าง ซึ่งได้มีการออกแบบไว้ในบทที่ 3 ซึ่งมีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

หลังจากที่มีการออกแบบอุปกรณ์ชิ้น อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบ ดังหัวข้อที่ 3.3.1 อุปกรณ์ชิ้นนี้ได้มีการทดสอบโดยการติดตั้งเข้ากับก้อนคอนกรีตตัวอย่างพร้อมกับติดตั้ง อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบ (LVDT) เข้าด้วยกัน และได้มีผลการทดสอบดังนี้



รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบอุปกรณ์ชิ้น อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบ (LVDT)

ผลการทดสอบอุปกรณ์ชิ้น อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบ สามารถติดตั้งอุปกรณ์วัดการเคลื่อนของก้อนคอนกรีต (อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบ (LVDT)) ได้ตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบ คือสามารถติดกับอุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบได้และยังสามารถยึดติดกับก้อนคอนกรีต ได้เป็นอย่างดี โดยอุปกรณ์ชิ้นนี้ไม่มีการเคลื่อนในขณะทำการทดสอบการติดตัวแบบแรงดึงดูด ก้อนกรีตตั้งรูปที่ 4.8

4.4 ผลการทดสอบการหดตัว

การหดตัวของคอนกรีต โดยทำการทดสอบหลังจากคอนกรีตมีอายุได้ 3 วัน ทำการวัดค่าการหดตัวของตัวอย่างทั้งหมด 4 ก้อนตัวอย่าง ผลการทดสอบค่าการหดตัวของคอนกรีตดังตารางที่ 4.3 เป็นค่าที่ทำการวัดได้ 2 วัน เนื่องด้วยมีความจำเพาะด้วยเวลา ค่าการหดตัวของคอนกรีตที่ได้โดยทำการเฉลี่ยทั้ง 4 ก้อนตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 133 ในครอน

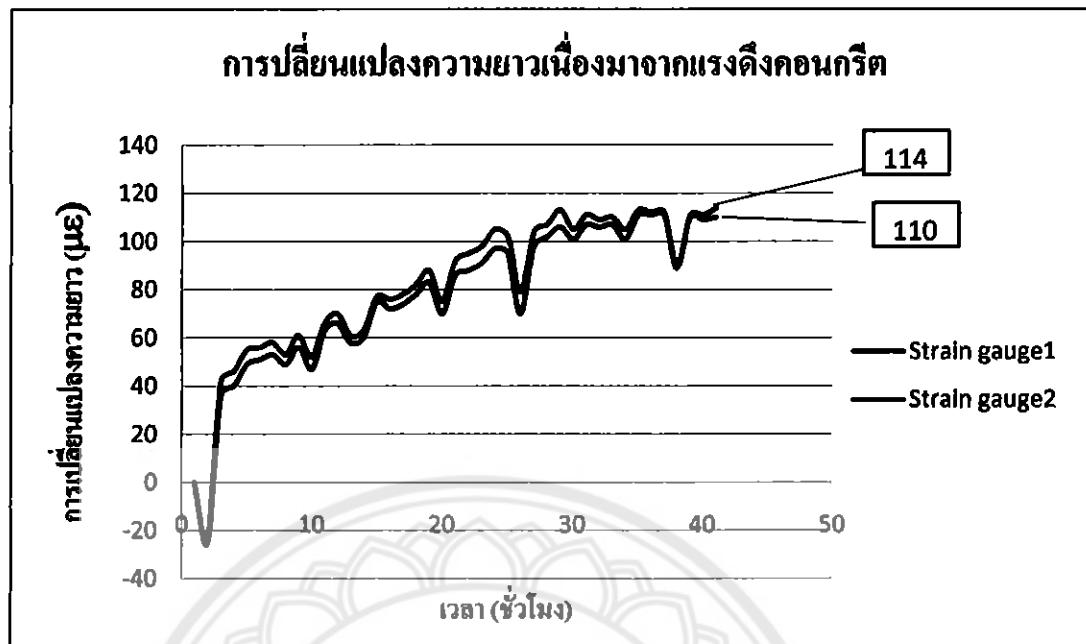
ตารางที่ 4.3 ผลการหดตัวของคอนกรีต

อายุ (วัน)	การหดตัวทั้งหมด				
	ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	ก้อนที่ 3	ก้อนที่ 4	เฉลี่ย
	με	με	με	με	με
3	0	0	0	0	0
4	136	140	132	124	133

4.5 ผลการทดสอบการคีบตัว

ในการทดสอบการคีบตัวแบบแรงดึงของคอนกรีตมีการทดสอบโดยใช้อุปกรณ์ทดสอบการคีบตัวแบบแรงดึง 2 ชนิดคือ อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ในแนวราบ (LVDT) และ Strain Gauge แต่เนื่องจากมีความจำเพาะทางด้านเวลาจึงมีการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงตัวชี้ Strain Gauge เพียงอย่างเดียว จะมีการวัดค่าการเปลี่ยนแปลง 2 ด้านตรงข้ามกัน เพื่อสังเกตพฤติกรรมการการเปลี่ยนแปลงความยาวที่เกิดขึ้นทั้ง 2 ด้าน ซึ่งตัวอย่างคอนกรีตที่นำมาทดสอบนั้นใช้หัวปีกหัวแบบที่ 1 โดยที่ตัวอย่างคอนกรีตมีอายุ 3 วัน ใช้เวลาในการทดสอบ 42 ชั่วโมง ตัวข้างแรงดึงเท่ากับ 20 % ของความสามารถในการรับแรงดึงสูงสุดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบกำลังรับแรงดึงในหัวข้อ 4.2 ซึ่งได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.9

ผลการทดสอบการคีบตัว



รูปที่ 4.9 ผลการเปลี่ยนแปลงความยาวของก้อนคอนกรีตตัวอย่าง

ผลการทดสอบการคีบตัว

จากผลการทดสอบสามารถคำนวณค่าการคีบตัวได้ดังนี้

$$\varepsilon_{creep} = \varepsilon_{total} - \varepsilon_{load} - \varepsilon_{freeshrinkage}$$

$$\varepsilon_{total} = 112 \mu\epsilon$$

$$\varepsilon_{load} =$$

$$\varepsilon_{freeshrinkage} = 133 \mu\epsilon$$

วิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงความขาว

จากการพจจะเห็นได้ว่าค่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีทั้งความเครียดที่เกิดจากแรงกระทำภายนอก ความเครียดที่เกิดจากการหาดตัวแบบอิสระ และความเครียดที่เกิดจากการคืนตัวแบบดึงซึ่งในช่วงแรกมีค่าติดลบและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 2-3 ชั่วโมงแรกและค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงช่วงในวันที่ 42 แต่ในช่วงระหว่างชั่วโมงที่ 4 – 42 จะสังเกตเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีพฤติกรรมยืดหยุ่น ซึ่งการยืดหยุ่นก่อนตอนกรีฑาหัวย่างที่เกิดนั้น สันนิษฐานว่าเกิดจากความไม่สงบของอุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการทดสอบ พั้งนี้ผลการทดสอบที่เกิดขึ้นถือว่ามีแนวโน้มที่ดี เพราะตอนกรีฑามีการเปลี่ยนแปลงความขาวทั้งสองค้านไปกลับกันมาก และสันนิษฐานว่าอีกสองค้านที่เหลือก็มีการเปลี่ยนแปลงความขาวที่คล้ายกับผลการทดสอบเช่นเดียวกัน



บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การทดสอบการคีบตัวแบบแรงดึงของคอนกรีต มีการทดสอบห้องสมนับตีเบื้องต้นของวัสดุ ทดสอบกำลังรับแรงดึงของก้อนคอนกรีต และทดสอบการคีบตัวของคอนกรีต ซึ่งมีวิธีการขึ้นตอน และผลการทดสอบต่างๆตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมา ในส่วนนี้จะมีการสรุปผลการทดสอบต่างๆ รวมถึงข้อเสนอแนะซึ่งได้กล่าวไว้ดังต่อไปนี้

5.1 ผลการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีตด้วยหัวเข็มแบบต่างๆ

จากผลการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีตในบทที่ผ่านจะเห็นว่าแบบหัวเข็มคอนกรีตในแต่ละแบบมีกำลังดึงที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อสังเกตจากรอยแตกของคอนกรีตจะเห็นว่าแบบ 4 มีแนวโน้มการกระชากของหน่วยแรงดึงที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับหัวเข็มแบบอื่นๆ จึงนำแบบที่ 4 ไปทดสอบแบบละเอียดคุณภาพสนับสนุนของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นภายในคอนกรีต พบว่าการเปลี่ยนแปลงความยาวห้อง 2 ข้างของคอนกรีตมิค่าไม่เท่ากันแสดงว่าการกระษากของหน่วยแรงเกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นหัวเข็มแบบที่ 4 จึงเชื่อถือไม่ได้ ต่อมาได้ลองทดสอบหัวเข็มคอนกรีตแบบที่ 1 โดยทดสอบแบบละเอียดพบว่าการเปลี่ยนแปลงความยาวห้อง 2 ข้างของคอนกรีตเกิดขึ้นเท่ากันแสดงว่าการกระษากของหน่วยแรงเกิดขึ้นสม่ำเสมอ จึงได้นำหัวเข็มแบบที่ 1 ไปใช้ในการทดสอบหาค่าการคีบตัวของคอนกรีตต่อไป

5.2 ผลการทดสอบการพัฒนาการทดสอบการคีบตัวแบบดึง

5.2.1 การพัฒนาอุปกรณ์แขวนตัวอย่างคอนกรีต

จากการทดสอบการคีบตัวของอุปกรณ์แขวนทั้ง 3 อย่างพบว่าเกลียวร่องมีค่าการคีบตัวที่น้อยที่สุด จึงเลือกใช้เกลียวร่องเป็นอุปกรณ์แขวนตัวอย่างคอนกรีตในการทดสอบการคีบตัวแบบดึง

5.2.2 การพัฒนาอุปกรณ์ค้าขันแนวตั้ง

อุปกรณ์ค้าขันแนวตั้งเป็นอุปกรณ์ที่บังคับแนวแรงให้ได้แนวตั้งหล่อคลาสการทดสอบการคีบตัว จากการทดสอบอุปกรณ์ค้าขันนี้พบว่าค้าขันแนวตั้งยังไม่สามารถบังคับแนวแรงให้อยู่ในแนวตั้งตามต้องการได้ เนื่องจากไม่มีความแข็งมากพอ

5.2.3 การพัฒนาอุปกรณ์ชี้ด้าหารับความเครียดของคอนกรีต

อุปกรณ์ชี้ด้า LVDT สามารถใช้งานได้ตามเป้าหมายที่วางไว้ คือ สามารถชี้ด้าทางตัวอย่างคอนกรีตและสามารถติดตั้ง LVDT ได้อย่างเป็นอย่างดี แต่ผลการทดสอบโดยติด LVDT ทั้ง 2 ด้านของก้อนคอนกรีตพบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของก้อนคอนกรีตทั้ง 2 ข้างมีค่าไม่เท่ากัน ด้วยมีความจำากัดด้านเวลาจึงไม่สามารถทำการทดสอบต่อได้

5.3 ผลการทดสอบการคีบตัว

จากการทดสอบการคีบตัวแบบดึงของคอนกรีต โดยอุปกรณ์แนวเป็นเกลียวเร่งและใช้หัวชี้ด้าคอนกรีตแบบที่ 1 ซึ่งใช้สายวัดความเครียดติดกับตัวอย่างทั้ง 2 ด้าน จากการทดสอบพบว่า ค่าการคีบตัวทั้งสองด้านมีค่าเท่ากัน ถือว่าชุดอุปกรณ์ทดสอบการคีบตัวแบบดึงของคอนกรีตมีประสิทธิภาพดีและเชื่อถือได้

ข้อเสนอแนะ

1. การเตรียมทราบและหินให้อยู่ในสภาวะอื่นตัวผิวแห้งควรมีการตากทราบในที่ร่ม เพราะจะทำให้ทราบหรือหินค่อยๆคลายน้ำออก และอยู่สภาวะอื่นตัวผิวแห้งอย่างถาวรสิ่ง การเก็บรักษา ควรมีการเก็บรักษาในภาชนะที่มีคิดเห็นควรใช้กระดาษชุบน้ำกุณทราบหรือหินไว้เพื่อป้องกัน การระเหยของน้ำ ก่อนทำการปิดผ้าอย่างสนิท
2. การติดหัวเข็มควรมีการติดให้แน่เพื่อไม่ให้หัวเข็มมีการขยับขณะมีการเขย่าก่อนกรีด เพราะหากหัวเข็มมีการขยับอาจส่งผลต่อการกระจายแรงในการทดสอบการคีบตัว
3. การหั้งอุปกรณ์วัดการคีบ เช่น strain gauge ควรมีการติด牢固ให้แน่น และติดตัว strain gauge ให้สัมผัสนับกาวให้สนิท
4. การใส่ก้อนน้ำหนักควรใส่อย่างระมัดระวังเพื่อให้น้ำหนักค่อยเพิ่มขึ้นหากใส่น้ำ กะทันหันอาจมีผลทำให้ก่อนกรีดเกิดรอยแตกเล็กๆในก่อนกรีดเป็นได้

ເອກສາຮອ້າງອີງ

- [1] Atrushi, D.S., Tensile and compressive creep of early age concrete: Testing and Modeling. Doctoral Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Norway, 2003, 29-73
- [2] ກອນກົດຕະກຳໃນໄລຍື, ຊ້ວາດ ເສຣມຫຼຸບຕາ (CPAC) , 2537.
- [3] Prediction of concrete setting, Byfors, 1980, 2-12.
- [4] Autogenous Shrinkage of Concrete, Tazawa and Miyazawa, 1993, 11-52.
- [5] Mak, S. L., Ritchie, D., Taylor, A., and Diggins, R. 1998. Temperature Effects on Early Age Autogenous Shrinkage in High Performance Concretes. Proceeding of the International Workshop organized by JCI (Japan Concrete Institute) on Autogenous Shrinkage of Concrete, Hiroshima, Japan, 155-166.
- [6] Bissonnette, B., Pierre, P., and Pigeon, M. 1999. Influence of key parameters on drying shrinkage of cementitious material, Cement and Concrete Research, 29, 1655-1662.
- [7] Al-Saleh, S. A. and Al-Zaid, R.Z. 2006. Effect of drying condition, admixtures and specimen size on shrinkage strains, Cement and Concrete Research, 36, 1985-1991.
- [8] Stergaard, L., Lange, D.A., Altoubat, S.A., and Stang, H., 2001. Tensile basic creep of early-age concrete under constant load. Cement and Concrete Research 31: 1895-1899.
- [9] Altoubat, S.A., and Lange, D.A., 2001. Tensile basic creep: measurements and behavior at early age. ACI Material Journal 98(5): 386-393.
- [10] Altoubat, S.A., and Lange, D.A., 2001. Creep, shrinkage, and cracking of restrained concrete at early age. ACI Material Journal 98 (4): 323-331.
- [11] Tao, Z., and Weizu, Q., 2006. Tensile creep due to restraining stresses in high-strength concrete at early ages. Cement and concrete Research 36: 584-591.
- [12] American Society for Testing and materials, ASTM C29/C29-M97a: Standard Test Method

for Unit Weight and Voids in Aggregates, Annual Book of ASTM Standards, 2001

Vol. 04.02, Philadelphia, 1-4.

- [13] American Society for Testing and materials, ASTM C33-01: Standard Specification for Concrete Aggregates, Annual Book of ASTM Standards, 1997, Vol. 04.02, Philadelphia, 10-17.

- [14] American Society for Testing and materials, ASTM C128-97: Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregates, Annual Book of ASTM Standards, 2001, Vol. 04.02, Philadelphia, 69-73.

- [15] American Society for Testing and materials, ASTM C136-96a: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, Annual Book of ASTM Standards, 2001, Vol. 04.02, Philadelphia, 78-82.

- [16] American Society for Testing and materials, ASTM C188-95: Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement, Annual Book of ASTM Standards, 2001, Vol. 04.01, Philadelphia, 179-180.