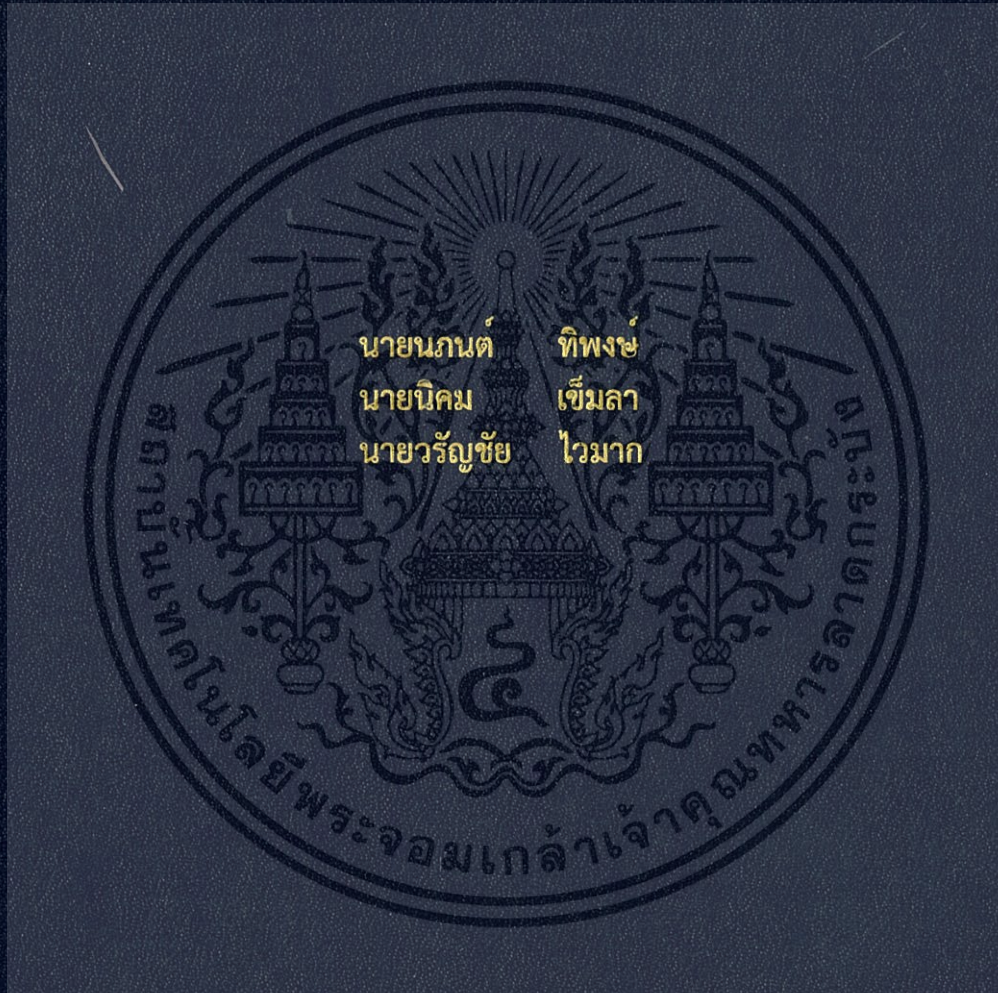


การทดสอบความแข็งแรงของสลักเกลียวยึดหลังการซ่อมบำรุง
Strength Test of Anchor Bolt After Maintenance



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การทดสอบความแข็งแรงของสลักเกลียวยึดหลังการซ่อมบำรุง
Strength Test of Anchor Bolt After Maintenance



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Strength Test of Anchor Bolt After Maintenance



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2560

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การทดสอบความแข็งแรงของสลักยึดหลังการซ่อมบำรุง
Strength Test of Anchor Bolt After Maintenance

ผู้จัดทำ

1. นายณนนต์ ทิพงษ์ รหัสประจำตัว 57010655
2. นายนิคม เข้มลา รหัสประจำตัว 57010684
3. นายวรวิชัย ไวมาก รหัสประจำตัว 57011115



[Handwritten Signature]

(ผศ.ดร.อนันต์ พิณโสภณ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแข็งแรงของสลักเกลียวยึดหลังการซ่อมบำรุง

นายณนนต์	ทิพงษ์	57010655
นายนิคม	เข้มลา	57010684
นายวรัญชัย	ไวมาก	57011115
ผศ.ดร.อนุรัตน์	พินโสภณ	อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร.จิตราภรณ์	วงศางาม	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
		ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

สลักเกลียวยึด (Anchor Bolt) และพุกพลาสติก (Plastics Dowel) ที่ยึดแผ่นรองรางกับหมอนคอนกรีต (Concrete Sleeper) ของทางรถไฟของบริษัทรถไฟฟ้า ร.ฟ.ท. จำกัด เกิดการคลอนตัวของสลักเกลียวยึดและพุกพลาสติกหลังจากการใช้งานเป็นเวลาหนึ่ง บริษัทได้ซ่อมบำรุงหมอนคอนกรีตด้วยวิธีการเจาะคว้าน (Coring) เพื่อนำเอาพุกพลาสติกและสลักเกลียวยึดเก่าออกมา พุกพลาสติกและสลักเกลียวยึดใหม่ถูกใส่แทนที่และรูเจาะถูกเทใส่ด้วยอีพ็อกซีเกร้าท์ (Epoxy Grout) งานวิจัยนี้ศึกษาความแข็งแรงหลังการซ่อมบำรุงของสลักเกลียวยึดและพุกพลาสติกที่ฝังในหมอนคอนกรีตด้วยกระบวนการการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึด (Fastening Insert Test) ตามมาตรฐาน AREMA 2000 ของ American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association ร่วมกับการทดสอบกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงของอีพ็อกซีเกร้าท์ที่ใช้ในการซ่อมบำรุงนี้ตามมาตรฐาน ASTM-C579 และ ASTM-C307 ตามลำดับ จากการทดสอบพบว่าค่ากำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงที่ 14 วันของ อีพ็อกซีเกร้าท์เท่ากับ 69.85 MPa และ 9.39 MPa ตามลำดับ แตกต่างจากค่าที่ระบุไว้โดยผู้ผลิตเท่ากับ 0.2% และ 37.87% ตามลำดับ สลักเกลียวยึดและพุกพลาสติกถูกทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึดหลังจากการบ่มอีพ็อกซีเกร้าท์เป็นเวลา 1 วันและ 2 วัน จากการทดสอบทั้ง 2 กรณีพบว่าพุกพลาสติกและสลักเกลียวยึดผ่านการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึดตามมาตรฐาน AREMA 2000 สามารถทนแรงดึง 53.4 kN และสามารถทนแรงดึงเป็นเวลา 3 นาทีได้ตามที่มาตรฐานกำหนดไว้โดยไม่มีการแตกร้าวของอีพ็อกซีเกร้าท์และไม่มีการเคลื่อนตัวของพุกพลาสติกที่ฝังในหมอนคอนกรีต

คำสำคัญ : พุกพลาสติก, สลักเกลียวยึด, อีพ็อกซีเกร้าท์, เจาะคว้าน, การทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Strength test of Anchor bolt after maintenance

Napon	Thipong	57010655
Nikhom	Khemla	57010684
Warunchai	Waimark	57011115
Asst.Prof.Dr.Unnat	Pinsopon	Advisor
Dr.Jitraporn	Wongsa-Ngam	Co. Advisor
		Year 2017

Abstract

Concrete sleeper fastening on Airport rail link tracks could be damaged from loosening anchor bolt and plastic dowel after a period of train operation. State Railway of Thailand Electric Train Company provides maintenance of concrete sleeper by removing damaged dowel with coring process. New dowel would be replaced, and the cored hole would be filled with epoxy grout. This project presents the study of the strength of anchor bolt and plastic dowel on concrete sleeper after maintenance. Compressive and tensile strengths of epoxy grout were tested according to the standards ASTM-C579 and ASTM-C307. After 14 days of epoxy grout curing, the compressive and tensile strengths were found to be 69.85 MPa and 9.39 MPa, which are 0.2% and 37.87% different from the stated specification, respectively. In addition to grout strength test, fastening insert tests (or pull-out test) according to standard of the American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association (AREMA 2000) were also conducted. Fastening insert tests were conducted in 2 cases: 1-day curing and 2-day curing of epoxy grout. Both epoxy grout curing cases passed the AREMA 2000 fastening insert test. Anchor bolts and plastic dowels could resist 53.4 kN pull-out force and could hold the pull-out force for 3 minutes without crack on epoxy grout and dowel slip.

Keywords : Plastic Dowel, Anchor Bolt, Epoxy Grout, Coring, Fastening Insert Test

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีจากการร่วมมือและความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาจารย์อุจน์นัต พินโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้ความใส่ใจ ความเมตตา และความรักแก่คณะผู้จัดทำเป็นอย่างมาก รวมทั้งให้คำปรึกษา คำแนะนำที่เปี่ยมไปด้วยความรู้และประสบการณ์ ทำให้คณะผู้จัดทำซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์จิตราภรณ์ วงศางาม อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ร่วม ซึ่งท่านให้ความรู้เพิ่มเติมและคำแนะนำมีประโยชน์รวมถึงแนวทางการทำปริญญาานิพนธ์ให้แก่พวกเราคณะผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณ ดร.อรรถพล เก่าประเสริฐ อาจารย์ วีระยุทธ โพธิ์ใหญ่และอาจารย์พิชญพลกายนุวัตร อาจารย์ผู้สอนวิชาวิศวกรรมรางรถไฟที่ให้คำแนะนำในการทำปริญญาานิพนธ์และข้อมูลต่างๆเกี่ยวกับงานทดสอบด้านวิศวกรรมโยธาในระบบรางแก่พวกเราคณะผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณทีมงานแผนกรางและระบบจ่ายไฟ ของบริษัท รถไฟฟ้า ร.ฟ.ท. จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุและเครื่องมือในการทำงานซ่อมบำรุงที่มีประโยชน์แก่ปริญญาานิพนธ์แก่พวกเราคณะผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณ นายวีระพงษ์ จันทรบัว ที่ให้ความรู้และคำแนะนำเกี่ยวกับระบบไฮดรอลิกและการใช้โปรแกรม LabVIEW ที่มีประโยชน์แก่ปริญญาานิพนธ์แก่พวกเราคณะผู้จัดทำ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและทีมงานห้องปฏิบัติการที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการสำหรับการทดสอบแก่พวกเราคณะผู้จัดทำ

ท้ายสุดนี้ขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ก็คือ บิดาและมารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่งซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนทั้งหมดมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมาในทุกๆด้าน ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสูงสุดประมาณและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายณนต์ ทิพงษ์

นายนิคม เข้มลา

นายวรวิชัย ไวมาก

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 สมมติฐาน	2
1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย	2
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการวิจัย	3
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 ระบบยึดเหนี่ยวรวง (Fastening System)	4
2.3 คุณสมบัติของระบบยึดเหนี่ยวรวงหมอนคอนกรีต	6
2.3.1 คุณสมบัติของวัสดุ	6
2.3.2 คุณสมบัติของระบบยึดเหนี่ยวเมื่อประกอบกับหมอนคอนกรีต	6
2.4 การซ่อมบำรุงหมอนคอนกรีต	8
2.4.1 การซ่อมบำรุงหมอนคอนกรีตด้วยวิธีเจาะคว้าน	8
2.4.2 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อให้เกิดแรงกระทำบนรวง	10
2.4.3 อีพ็อกซีเรซิน (Epoxy resin)	10
2.4.4 อีพ็อกซีเกร้าท์	11
2.5 ข้อมูลการทดสอบ	12
2.5.1 ทฤษฎีสำหรับการทดสอบแรงดึงของอีพ็อกซีเกร้าท์ ตามมาตรฐาน ASTM 307	12
2.5.2 ทฤษฎีสำหรับการทดสอบกำลังอัดของอีพ็อกซีเกร้าท์ ตามมาตรฐาน ASTM C579	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.5.3 การทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึด (Pull-out test) ตามมาตรฐาน AREMA 2000	13
บทที่ 3 การทดลองและวิธีการทดลอง	
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	14
3.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัด (Test for Compressive Strength)	18
3.3 การทดสอบกำลังรับแรงดึง (Test for Tensile Strength)	21
3.4 การออกแบบและสร้างชุดทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึด	22
3.4.1 การออกแบบชุดทดสอบ	22
3.4.2 การวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์	23
3.4.3 ผลจากการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์	26
3.4.4 การออกแบบระบบไฮดรอลิกที่ใช้ทดสอบ	27
3.5 การทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึด (Fastening Insert Test)	28
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด (Test for Compressive Strength)	32
4.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึง (Test for Tensile Strength)	33
4.3 ผลการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึด (Fastening Insert Test)	35
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	39
5.2 วิเคราะห์ปัญหาจากการศึกษา	40
5.3 ข้อเสนอแนะ	40
เอกสารอ้างอิง	41
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	43
ภาคผนวก ข	47
ภาคผนวก ค	50

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงตัวอย่างเกณฑ์การทดสอบคุณสมบัติของระบบยึดเหนี่ยวเมื่อประกอบกับหมอนคอนกรีต ของ รฟท.	7
ตารางที่ 3.1	แสดงคุณสมบัติเชิงกลของเหล็ก ASTM A36	23
ตารางที่ 4.1	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของอีพ็อกซีเกร้าท์	32
ตารางที่ 4.2	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของอีพ็อกซีเกร้าท์	34
ตารางที่ 4.3	ผลการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึด	35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 Spring Clip –II Type indirect Fastening System	5
รูปที่ 2.2 Spring Clip –II Type indirect Fastening System	5
รูปที่ 2.3 แสดงความเสียหายของพุกพลาสติกและสลักเกลียวยึด	8
รูปที่ 2.4 แสดงการถอดชุดยึดเหนี่ยววาง	8
รูปที่ 2.5 แสดงการเจาะคว้านหมอนคอนกรีต	9
รูปที่ 2.6 แสดงการผสมอีพ็อกซีเกร้าท์	9
รูปที่ 2.7 แสดงการเทอีพ็อกซีเกร้าท์	9
รูปที่ 2.8 แสดงการใส่พุกพลาสติก	10
รูปที่ 2.9 แสดงการประกอบชุดยึดเหนี่ยววาง	10
รูปที่ 2.10 แสดงมาตรฐานการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึด	13
รูปที่ 3.1 วัสดุที่ใช้ซ่อมบำรุงชนิดอีพ็อกซีเกร้าท์	14
รูปที่ 3.2 แบบหล่อลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 เซนติเมตร	15
รูปที่ 3.3 Briquet Gang Molds	15
รูปที่ 3.4 เครื่องผสม mortar ต่ำตามมาตรฐาน	15
รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบกำลังอัด	16
รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบกำลังดึง	16
รูปที่ 3.7 NI USB-6008	16
รูปที่ 3.8 เซนเซอร์วัดความดัน	17
รูปที่ 3.9 ปัมป์ไฮดรอลิกมือโยก	17
รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึด	17
รูปที่ 3.11 หมอนคอนกรีตสำหรับการทดสอบ	18
รูปที่ 3.12 แสดงการผสมส่วนประกอบ A และ B ของอีพ็อกซีเกร้าท์	18
รูปที่ 3.13 แสดงการผสมส่วนประกอบ A B และ C ของอีพ็อกซีเกร้าท์	19
รูปที่ 3.14 การบรรจุอีพ็อกซีเกร้าท์ลงในแบบหล่อชิ้นงานทดสอบ	19
รูปที่ 3.15 บรรจุอีพ็อกซีเกร้าท์ลงในแบบหล่อชิ้นงานทดสอบเสร็จ	19
รูปที่ 3.16 ชิ้นงานทดสอบกำลังรับแรงอัด	20
รูปที่ 3.17 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด	20
รูปที่ 3.18 ชิ้นงานทดสอบกำลังรับแรงดึง	21
รูปที่ 3.19 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงดึง	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.20 แสดงแบบของชุดทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึด	22
รูปที่ 3.21 แสดงการสร้างโมเดลชิ้นงานเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์	24
รูปที่ 3.22 แสดงการเลือกชนิดวัสดุที่ใช้กับโมเดลคาน	24
รูปที่ 3.23 แสดงการเลือกเงื่อนไขการจับยึดผิวหน้าชิ้นงาน	25
รูปที่ 3.24 แสดงการกำหนดทิศทางและขนาดของแรงที่กระทำ	25
รูปที่ 3.25 แสดงการเลือกขนาด และการแบ่งเอลิเมนต์	26
รูปที่ 3.26 แสดงบริเวณที่เกิดการเคลื่อนตัวสูงสุด	26
รูปที่ 3.27 แสดงบริเวณที่ค่าความเค้น von Mises สูงสุด	27
รูปที่ 3.28 แสดงวงจรรีโตรอลิคของชุดทดสอบแรงดึงวัตถุฝังยึด	28
รูปที่ 3.29 แสดงชุดทดลองในการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึด	29
รูปที่ 3.30 แสดงหน้าแสดงผลขณะทำการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึด	29
รูปที่ 3.31 แสดงการติดตั้งชุดทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึด	29
รูปที่ 3.32 แสดงการซ่อมบำรุงหมอนคอนกรีตด้วยวิธีการเจาะคว้าน	30
รูปที่ 3.33 แสดงการเทอิพ็อกซีเกร้าท์	30
รูปที่ 3.34 แสดงการเปลี่ยนพุกพลาสติก	30
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับเวลา	33
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงกับเวลา	35
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงถอนวัตถุฝังยึดกับเวลาก่อนการซ่อมบำรุง	36
รูปที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึดก่อนการซ่อมบำรุงหมอนคอนกรีต	36
รูปที่ 4.5 แสดงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงถอนวัตถุฝังยึดกับเวลาหลังการซ่อมบำรุง 1 วัน	37
รูปที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึดหลังการซ่อมบำรุงหมอนคอนกรีต 1 วัน	37
รูปที่ 4.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงถอนวัตถุฝังยึดกับเวลา หลังการซ่อมบำรุง 2 วัน	38
รูปที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึดหลังการซ่อมบำรุงหมอนคอนกรีต 2 วัน	38

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ปัจจุบันมีโครงการก่อสร้างทางรถไฟมากขึ้น และในการก่อสร้างจะต้องมีการวางโครงสร้างทางและรางรถไฟ ในการยึดรางรถไฟกับโครงสร้างทางจะมีการยึดด้วยชุดยึดเหนี่ยวราง (Fastener) ซึ่งแต่ละชนิดจะมีลักษณะแตกต่างกันซึ่งมีหลายปัจจัยแล้วแต่โครงการนั้นๆจะเลือกใช้ ซึ่งชิ้นส่วนขององค์ประกอบเหล่านี้ของชุดยึดเหนี่ยวรางจะทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวรางให้อยู่ในแนวเดิม และช่วยกระจายแรงลงไปยังหมอนและรักษาเสถียรภาพของรางให้วางบนหมอนให้มั่นคงทุกสภาวะที่รถไฟนั้นเคลื่อนที่ผ่าน อย่างไรก็ตามเมื่อรถไฟแล่นผ่านก็จะเกิดการส่งผ่านแรงจากชุดยึดเหนี่ยวรางไปยังหมอนรองราง มีผลทำให้สลักเกลียวยึด พุกพลาสติกและหมอนคอนกรีตได้รับผลกระทบทำให้สลักเกลียวยึดเกิดการคลอน จึงต้องทำการซ่อมบำรุงโดยการเจาะเอาคอนกรีตซึ่งติดกับพุกพลาสติกออกโดยการเจาะคว้านเพื่อที่จะเปลี่ยน โดยการใช้วัสดุซ่อมบำรุงชนิดใหม่ซึ่งเรียกโดยทั่วไปว่าอีพ็อกซีเกร้าท์และใส่พุกพลาสติกชิ้นใหม่เข้าไปแทน เนื่องจากมีการใช้วัสดุซ่อมบำรุงเข้าไปแทนที่เนื้อของหมอนคอนกรีตเดิมทำให้คุณสมบัติของหมอนคอนกรีตเปลี่ยนไป

ซึ่งจากงานวิจัยนี้เพื่อตรวจสอบปูนสำเร็จที่มีส่วนผสมของสารที่ให้กำลังสูงและไม่เกิดการหดตัวหรืออีพ็อกซีเกร้าท์ที่ใช้ในการซ่อมบำรุงหมอนคอนกรีตสามารถใช้ในการซ่อมบำรุงทดแทนได้โดยศึกษาอีพ็อกซีเกร้าท์ที่นำมาซ่อมบำรุงว่าดีเทียบเท่าหรือดีกว่าหมอนคอนกรีตเดิม โดยการทดสอบวัสดุซ่อมบำรุงชนิดอีพ็อกซีเกร้าท์ และศึกษาระยะเวลาการบ่มของวัสดุซ่อมบำรุงเพื่อรองรับกับการใช้งาน อีกทั้งทดสอบว่าหมอนคอนกรีตหลังใช้วัสดุซ่อมบำรุงสามารถใช้งานได้ตามมาตรฐานการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึดในหมอนคอนกรีต AREMA 2000 เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการซ่อมบำรุงชุดยึดเหนี่ยวรางบริเวณสลักเกลียวยึดให้กับผู้ปฏิบัติงาน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ออกแบบชุดทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึด (Fastening Insert Test)
2. ทดสอบหมอนคอนกรีตประกอบเสร็จ (Assembly Test) ที่ผ่านการซ่อมบำรุง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ออกแบบชุดทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึดตามมาตรฐาน AREMA 2000
2. การทดสอบความแข็งแรงของหมอนคอนกรีตหลังการซ่อมบำรุงจะแบ่งการทดสอบเป็นการทดสอบคุณสมบัติกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงของอีพ็อกซีเกร้าท์และการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึด
3. งานวิจัยใช้อีพ็อกซีเกร้าท์ยี่ห้อ Sikadur 42-TH ตามที่บริษัทรถไฟฟ้า ร.ฟ.ท. จำกัดใช้ในการซ่อมบำรุงหมอนคอนกรีต โดยเป็นผลิตภัณฑ์ที่ให้กำลังอัดสูงพิเศษและไม่หดตัวชนิด 3 ส่วนผสม

1.4 สมมติฐาน

1. วัสดุอีพ็อกซีเกร้าท์ที่นำมาใช้ในการซ่อมบำรุงมีคุณสมบัติทางกลตามที่ผู้ผลิตได้บอกไว้
2. วัสดุอีพ็อกซีเกร้าท์มีคุณสมบัติทางกลที่สามารถนำมาใช้ซ่อมบำรุงชุดยึดเหนี่ยวรางที่เกิดความเสียหายบริเวณสลักเกลียวยึด พุกพลาสติกและหมอนคอนกรีตได้
3. ระยะเวลาของวัสดุอีพ็อกซีเกร้าท์หลังจากใช้ซ่อมบำรุงภายใน 1 วันมีกำลังทางกลพอที่จะสามารถรองรับการใช้งานได้

1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาชนิดและวิธีการซ่อมบำรุงของชุดยึดเหนี่ยวราง
2. ศึกษาวัสดุที่ใช้ซ่อมบำรุงชนิดอีพ็อกซีเกร้าท์
3. ศึกษามาตรฐานการทดสอบกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงของอีพ็อกซีเกร้าท์ที่ใช้ซ่อมบำรุงหมอนคอนกรีต และมาตรฐานการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึด
4. วางแผนการทดสอบกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงของอีพ็อกซีเกร้าท์ที่ใช้ซ่อมบำรุงหมอนคอนกรีตและการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึด
5. ออกแบบและสร้างชุดทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึดตามมาตรฐาน AREMA
6. ทดสอบทดสอบกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงของอีพ็อกซีเกร้าท์
7. ทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึดของหมอนคอนกรีตก่อนและหลังซ่อมบำรุง
8. วิเคราะห์ผลการทดลอง
9. สรุปผลและจัดทำรายงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการวิจัย

1. ทราบคุณสมบัติกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงของวัสดุซีเมนต์ที่นำมาใช้ในการซ่อมบำรุงว่าเป็นไปตามที่ผู้ผลิตได้กำหนดไว้ และสามารถใช้ร่วมกับหมอนคอนกรีตได้
2. ทราบว่าหมอนคอนกรีตหลังใช้วัสดุซ่อมบำรุงสามารถใช้งานได้
3. สามารถเป็นข้อมูลและแนวทางสำหรับการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการเจาะคว้านของชุดยึดเหนี่ยวรางบริเวณสลักเกลียวยึดและพุกพลาสติกที่ถูกฝังในหมอนคอนกรีต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการซ่อมบำรุงชุดยึดเหนี่ยวรางด้วยวิธีการเจาะคว้าน และการใช้อีพ็อกซีเกร้าท์ กับ ความเสียหายของชุดยึดเหนี่ยวราง บริเวณสลักเกลียวยึด พุกพลาสติก และหมอนคอนกรีต จะ ประกอบด้วย งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และองค์ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องอาทิเช่น องค์ประกอบของชุดยึดเหนี่ยวราง การซ่อมบำรุงหมอนคอนกรีต ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อให้เกิดแรงกระทำบนราง คุณสมบัติของชุดยึดเหนี่ยวราง คุณสมบัติของอีพ็อกซีเกร้าท์ที่ใช้ในการซ่อมบำรุง มาตรฐานในการทดสอบกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงของอีพ็อกซีเกร้าท์ และมาตรฐานการทดสอบวัตถุฝังยึดในหมอนคอนกรีต ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปริญญา จุตะกานนท์และชลนิตดา สลิตีสังวร ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ได้ทำการศึกษากำลังรับแรงดึงของสมอยึดที่ใช้เคมีประสานโดยฝังในคอนกรีต โดยทำการทดสอบ Pull-out ด้วยการใช้สลักเกลียวที่ขนาดเดียวกัน ได้ผลการทดสอบเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ต่อการ Pull-out สรุปได้ว่าเมื่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่สูงขึ้น สลักเกลียว (Bolt) จะมีกำลังรับแรงดึงโตมากขึ้น [1]

ในปี ค.ศ. 2014 ; Ahmed M. et al. ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของกำลังการยึดเกาะ (Bond strength) และกำลังรับแรงอัด (Compressive strength) ของคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตกำลังสูง ซึ่งได้อธิบายผลจากการศึกษาไว้ว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีผลต่อกำลังการยึดเกาะ โดยการเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงอัดจะช่วยเพิ่มกำลังการยึดเกาะให้กับคอนกรีต [2]

2.2 ระบบยึดเหนี่ยวราง (Fastening System)

ชุดยึดเหนี่ยวรางเป็นองค์ประกอบสำคัญของทางรถไฟทำหน้าที่ยึดรางรถไฟไว้กับหมอนซึ่งชุดยึดเหนี่ยวรางมีหลายแบบหลายชนิดขึ้นอยู่กับกรออกแบบและการใช้งานกับมาตรฐานทางแต่ละชนิด เป็นต้น ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบยึดเหนี่ยวประกอบด้วย คลิป (Clip) แผ่นรองราง (Rail pad หรือ Baseplate) สลักเกลียว (Bolt) แผ่นฉนวน (Insulator) สลักเกลียวยึด (Anchor bolt) และพุกพลาสติก (Plastics dowel) เป็นต้น ซึ่งหน้าที่หลักของชุดยึดเหนี่ยวราง ได้แก่ ยึดรางไว้กับหมอน

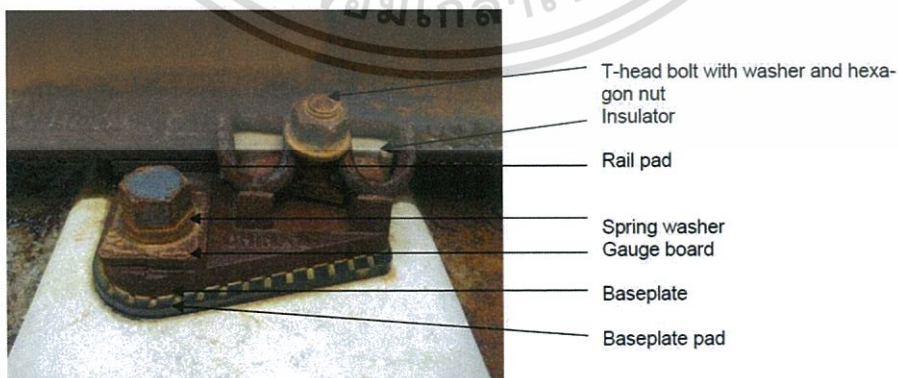
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ป้องกันรางพลิก เพื่อรักษาระยะความกว้างของราง (Track gauge) และด้านการเคลื่อนที่ตามแนว ยาว ปัจจุบันระบบชุดยึดเหนี่ยวรางที่ใช้ระบบโครงสร้างแบบไม่ใช้หินโรยทาง (non-ballasted track) มีหลากหลายระบบ เช่น Vossloh300, Fastclip fastening system, Chinese rail fastening system

งานวิจัยนี้จะสนใจศึกษาระบบชุดยึดเหนี่ยวรางที่ใช้สำหรับระบบโครงสร้างแบบไม่ใช้หินโรยทาง (non-ballasted track) ก็คือ Spring Clip –II Type indirect Fastening System หนึ่งในระบบของ ชุดยึดเหนี่ยวรางของระบบ Chinese rail fastening system ที่ใช้ในทางรถไฟของบริษัทรถไฟฟ้ า ร.ฟ.ท. จำกัด ซึ่งเป็นระบบยึดเหนี่ยวรางที่ใช้สลักเกลียวเป็นตัวยึดซึ่งสามารถถอดประกอบได้ ใช้ สำหรับยึดเหนี่ยวรางบริเวณทางโค้ง รางถูกยึดไว้กับแผ่นรองรางด้วยคลิปและขันให้แน่นด้วย สลัก เกลียวรูปตัวที (T-head Bolt) และน็อต แผ่นรองรางถูกยึดไว้กับโครงสร้างทางหรือหมอนคอนกรีต ด้วยสลักเกลียวยึดสองอันขันยึดไว้กับบุคพลาสติคที่ฝังไว้ในหมอนคอนกรีต ดังแสดงใน รูปที่ 2.1 และ รูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 Spring Clip –II Type indirect Fastening System



รูปที่ 2.2 Spring Clip –II Type indirect Fastening System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 คุณสมบัติของระบบยึดเหนี่ยวรางหมอนคอนกรีต

2.3.1 คุณสมบัติของวัสดุ

คุณสมบัติวัสดุของชุดยึดเหนี่ยวรางจะต้องมีองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกลที่เหมาะสมต่อการใช้งาน เช่น คลิปเป็นเหล็กเหนียวที่มีกำลังสูงและสปริงตัวดี เป็นต้น ซึ่งชุดยึดเหนี่ยวรางแต่ละประเภทก็จะมีรูปแบบในรูปร่างและองค์ประกอบต่างๆที่แตกต่างกันด้วยส่งผลให้ความแข็งแรง ความทนทานและอายุการใช้งานก็แตกต่างกันด้วยปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ก็จะขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิต

2.3.2 คุณสมบัติของชุดยึดเหนี่ยวรางเมื่อประกอบกับหมอนคอนกรีต ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ต้องได้รับการทดสอบด้วยมาตรฐาน AREMA ก่อนการนำมาใช้งานจริงประกอบด้วย

- แรงจับยึดฐานราง (Clamping Force)
- ความสามารถในการต้านทานการถอนของวัตถุฝังยึด (Pullout Resistance)
- ความสามารถในการต้านทานการยกของระบบยึดเหนี่ยว (Fastener Uplift)
- ความสามารถในการต้านทานการล้าของระบบยึดเหนี่ยว (Fatigue Resistance)
- ความสามารถในการต้านทานการเคลื่อนตัวตามยาวของราง (Creep Resistance)
- ความสามารถในการต้านทานการขยับตัวด้านข้างของราง (Lateral Resistance)
- ความต้านทานไฟฟ้าของระบบยึดเหนี่ยว (Electrical Resistance)
- การควบคุมขนาดทาง (Control of Track Gauge)

เกณฑ์การทดสอบชุดยึดเหนี่ยวรางเมื่อประกอบกับหมอนคอนกรีตที่ทาง ร.ฟ.ท. ใช้ในการทดสอบหมอนคอนกรีตก่อนการใช้งาน แสดงดังตารางที่ 2.1

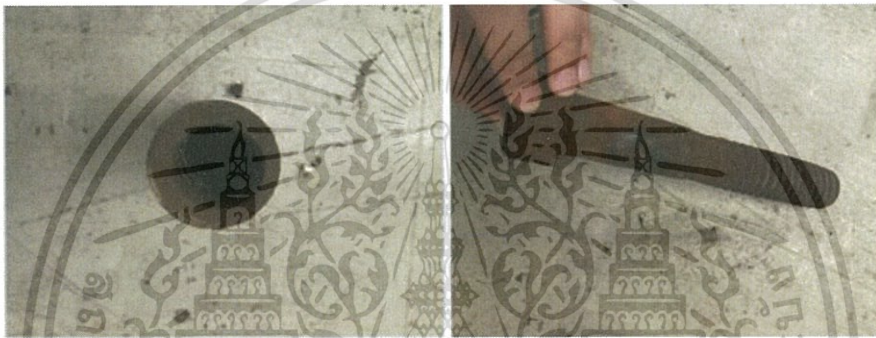
ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างเกณฑ์การทดสอบคุณสมบัติของระบบยึดเหนี่ยวเมื่อประกอบกับหมอนคอนกรีต ของ รฟท. [3]

รายการ	เกณฑ์กำหนด
1. Static loading test - Rail seat (Positive moment) - Rail seat (Negative moment) - Mid span (Positive moment) - Mid span (Negative moment)	- หมอนคอนกรีต ไม่เกิดรอยร้าวแตกหัก ที่ค่า test load 168 kN - หมอนคอนกรีต ไม่เกิดรอยร้าวแตกหัก ที่ค่า test load 109 kN - หมอนคอนกรีต ไม่เกิดรอยร้าวแตกหัก ที่ค่า test load 85 kN - หมอนคอนกรีต ไม่เกิดรอยร้าวแตกหัก ที่ค่า test load 81 kN
2. Repeated load test	ไม่เห็นรอยร้าวแตกหักของหมอนคอนกรีต เมื่อหมอนฯ รับแรงกระทำซ้ำความถี่ไม่เกิน 600 รอบ/นาทีจนครบ 3 ลานรอบโดยแรงกระทำแต่ละรอบเพิ่มสม่ำเสมอ 15 – 193 kN
3. Bond Development	โหดแรง 1.5 เท่าของแรงกระทำบนพื้นที่รองรับรางที่ไซในการออกแบบ(ประมาณ 250 kN) การเคลื่อนไหลของเส้นลวดตอ้งไม่เกิน 0.025 มม.
4. Clamping Force	โหดแรงยกจนเครื่องยึดเหนี่ยวยกตัว พอที่จะสอดลิ้นหนา 0.1 mm ค่าแรงที่ไดตองอยู่ระหว่าง 17 – 19 kN
5. Fastener insert resistant	โหดแรงดึงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึง 55 kN และค้างไว้ 3 นาที Shoulder เคลื่อนตัวไม่เกิน 0.05 มม. และหมอนคอนกรีตไม่แตกร้าว
6. Fastener Uplift	เครื่องยึดเหนี่ยวไม่ถอนหลุด และหมอนคอนกรีตไม่แตกเสียหาย ที่แรง 1.5 เท่าของ Clamping Force แต่ตองไม่เกิน 50 kN
7. Fatigue resistance test	ไม่พบการชำรุดของเครื่องยึดเหนี่ยวและหมอนคอนกรีตแตกร้าว เมื่อหมอนฯรับแรงกระทำซ้ำ 300 รอบ / นาที มากกว่า 3 ลานรอบโดยแรงกระทำลาง 135 kN + 0.6 เท่าของค่า Uplift, และแรงกระทำขึ้น 0.6 เท่าของค่า Uplift (16.2 kN)
8. Creep resistance	โหดแรงไม่นอยกว่า 20 kN ค่าการเคลื่อนตัวของราง3 นาทีแรก รางเคลื่อนตัว < 5 มม. 15 นาทีตมา รางเคลื่อนตัว < 0.5 มม
9. Lateral resistance	โหดแรงกระทำ 90 kN ทำมุม 30oแล้วคลายแรง ตั้งค่าเครื่องอ่านโหดศูนย์แล้วโหดแรงกระทำในอัตราไม่เกิน 22 kN /นาทีจนถึง 155 kNฐานรางเคลื่อนตามแนวราบได้ไม่เกิน 3 มม.
10. Electrical resistance	จ่ายไฟ AC. 10 โวลตค่าความตานทานไฟฟ้าสูงกว่า 4,000 โอหม
11. Control of Track gauge	ประกอบรางกับทอนหมอน ยาว 6 เมตรวัดขนาดทางที่ตำแหน่งทอนหมอน คาขนาดทางไม่เกิน ± 2 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การซ่อมบำรุงหมอนคอนกรีต

เนื่องด้วยทางรถไฟของบริษัทรถไฟ ร.ฟ.ท. จำกัด มีความถี่ในการให้บริการที่สูงและจากการใช้งานอย่างต่อเนื่องส่งผลให้เกิดแรงกระทำซ้ำๆบนรางทำให้ชุดยึดเหนี่ยวรางได้รับผลกระทบและเกิดความเสียหายขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณพุกพลาสติกที่ฝังในหมอนคอนกรีตและสลักเกลียวยึดที่ยึดแผ่นรองรางไว้กับหมอนคอนกรีต เกิดความเสียหายของเกลียวพุกพลาสติกและสลักเกลียวยึดแสดงดังรูป 2.3 จนทำให้เกิดการคลอนตัวของสลักเกลียวยึด ดังนั้นทางบริษัทรถไฟ ร.ฟ.ท. จำกัด จึงมีการซ่อมบำรุงหมอนคอนกรีตด้วยวิธีการเจาะคว้านพุกพลาสติกเก่าออกและเปลี่ยนพุกพลาสติกใหม่โดยใช้ส้อมเหล็กเก็ทในการซ่อมรูเจาะ



รูปที่ 2.3 แสดงความเสียหายของพุกพลาสติกและสลักเกลียวยึด

2.4.1 การซ่อมบำรุงหมอนคอนกรีตด้วยวิธีเจาะคว้าน ของบริษัทรถไฟ ร.ฟ.ท. จำกัด แสดงดังต่อไปนี้

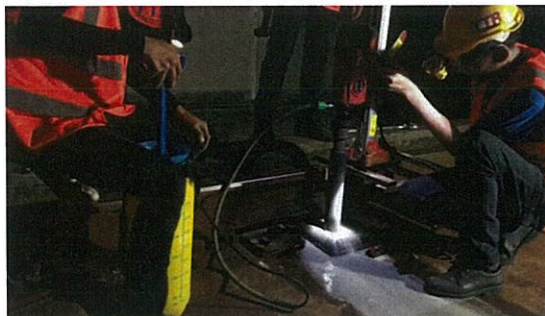
1. ถอดชุดยึดเหนี่ยวรางของบริเวณที่มีความเสียหาย แสดงดังรูป 2.3



รูปที่ 2.4 แสดงการถอดชุดยึดเหนี่ยวราง

2. เจาะคว้านหมอนคอนกรีตเพื่อนำพุกพลาสติกที่เสียหายออก ด้วยเครื่องเจาะคว้าน โดยมีการหล่อเย็นขณะทำการเจาะ แสดงดังรูป 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงการเจาะคว้านหมอนคอนกรีต

3. ผสมอิฐฟ็อกซีเกอร์้าท์เพื่อเตรียมทำการเทลงรูเจาะและเปลี่ยนพุกพลาสติก แสดงดัง

รูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการผสมอิฐฟ็อกซีเกอร์้าท์

4. เทอิฐฟ็อกซีเกอร์้าท์ที่เตรียมไว้ลงรูเจาะที่เจาะไว้ แสดงดังรูป 2.6



รูปที่ 2.7 แสดงการเทอิฐฟ็อกซีเกอร์้าท์

5. ใส่พุกพลาสติกใหม่ และระมัดระวังไม่ให้อิฐฟ็อกซีเกอร์้าท์หรือสิ่งแปลกปลอมเข้าไปในพุกพลาสติก แสดงดังรูป 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงการใส่พุกพลาสติก

6. ประกอบชุดยึดเหนี่ยวราง โดยที่ทำการขันสลักเกลียวยึดเพียงน้อย แสดงดังรูป 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงการประกอบชุดยึดเหนี่ยวราง

2.4.2 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบให้เกิดแรงกระทำบนราง

ปัจจัยส่งผลให้เกิดแรงกระทำบนรางซึ่งจะเป็นส่งผลไปยังชิ้นส่วนต่างๆในระบบ เช่นราง ชุดยึดเหนี่ยวราง และหมอนคอนกรีต ซึ่งประกอบด้วย แรงแนวตั้ง เป็นผลอันเนื่องมาจากน้ำหนักของรถ แรงด้านข้าง เป็นผลอันเนื่องมาจากการส่ายตัวของรถ การยกโค้ง ชนิดและสภาพของหมอนและในกรณีของการใช้หินโรยทางก็จะมีผลมาจากปริมาณหินโรยทาง และแรงตามยาว เป็นผลอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของรถ การเร่ง การเบรก สภาพผิวรางและอุณหภูมิ

2.4.3 อีพ็อกซีเรซิน (Epoxy Resin)

อีพ็อกซีเรซินเป็นวัสดุเทอร์โมเซตติงชนิดหนึ่งซึ่งต้องได้รับอิทธิพลจากตัวแปรสิ่งแวดล้อมภายนอกเพื่อจะเปลี่ยนแปลงเป็นมวลของแข็งที่มีเสถียรภาพ อีพ็อกซีเรซินถูกค้นพบในช่วงปี ค.ศ. 1930-1940 โดย Pierre Castan นักเคมีชาวสวิตเซอร์แลนด์ อีพ็อกซีเรซินได้ถูกนำมาใช้งานในหลากหลายสาขา เช่น ด้านไฟฟ้า, ด้านวิศวกรรมโยธา และด้านพันธุเคมี อันเนื่องมาจากอีพ็อกซีเรซินมีคุณสมบัติพันธะที่ดีเยี่ยมหลังจากการบ่มจะมีความแข็งแรงทางกล ด้านทานสารเคมี เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉนวนไฟฟ้าและนอกจากนี้เรซินอีพ็อกซีสามารถมีความแตกต่างทางกายภาพกันได้ด้วยการบ่มและการเติมสารประกอบที่แตกต่างกัน [4]

การเลือกใช้เรซินขึ้นอยู่กับการใช้งาน ค่าใช้จ่าย คุณสมบัติที่ต้องการและการประยุกต์ใช้เรซินชนิดของเรซินที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ อีพ็อกซีเรซินและเรซินโพลีเอสเตอร์เพราะมีความสามารถในการยึดเกาะ เคลือบผิว แข็งแรงและความทนทานต่อการเสื่อมสภาพจากสารเคมี เป็นต้น

2.4.4 อีพ็อกซีเกร้าท์

อีพ็อกซีเกร้าท์ เป็นอีพ็อกซีผสมที่มีส่วนผสมของอีพ็อกซีเรซิน ซึ่งจะใช้งานทางด้านโยธาและการซ่อมบำรุง เช่น แผ่นฐานสำหรับรองรับคานสะพาน ฐานรองรับเครื่องจักรกล ใช้เป็นตัวยึดสลักเกลียวต่าง ๆ ใช้ยึดรางเลื่อนของเครนยกของหนัก ใช้เป็นตัวเสริมความแข็งแรง (Reinforcement) ใช้สำหรับการอุดรูโพรงในเนื้อคอนกรีต ในงานวิจัยนี้เป็นการนำมาใช้เป็นวัสดุในการซ่อมบำรุงชุดยึดเหนี่ยวราง ที่เกิดความเสียหายบริเวณสลักเกลียวยึด พุกพลาสติก และหมอนคอนกรีต

คุณสมบัติของอีพ็อกซีเกร้าท์ซึ่งเป็นวัสดุผสมที่มีความเหลวและมีความสามารถในการไหลตัวได้ดี มีส่วนผสมของอีพ็อกซีเรซิน ให้คาร์บอเนตสูง ประกอบด้วยส่วนผสมสามส่วนที่ไม่มีผสมของตัวทำละลาย เมื่อผสมส่วนผสมทั้งสามส่วนเข้าด้วยกันจะได้มอร์ต้าที่มีความข้นเหลวเหมาะสมสำหรับงานประเภทเกร้าท์

พ็อตไลฟ์ (Potlife) ค่าพ็อตไลฟ์ของอีพ็อกซีเป็นค่าที่กำหนดขึ้นเพื่อแสดงถึงเวลาของความหนืดของของผสมที่จะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าหลังจากผสม ตัวอย่างเช่น สารผสมชนิดหนึ่งมีค่าอายุพ็อตไลฟ์ (Potlife) คือ 30 นาที ถ้าผสมสารผสมที่มีความหนืดเริ่มแรก 10,000 mPa·s ความหนืดจะเพิ่มขึ้นเป็น 20,000 mPa·s หลังจาก 30 นาที ในบางกรณีถ้าค่าความหนืดเริ่มต้นต่ำมากเช่น 500 mPa·s หรือต่ำกว่า 1000 mPa·s อายุพ็อตไลฟ์ของสารผสมอาจหมายถึงเวลาที่ความหนืดเพิ่มขึ้น 4 หรือ 5 เท่า ปัจจัยเวลาสำหรับพ็อตไลฟ์ (Potlife) จะแสดงให้เห็นถึงความเร็วของการบ่ม (การเปลี่ยนจากสถานะของเหลวไปเป็นของแข็ง) ส่วนเวลาการทำงาน (Working life) ของอีพ็อกซีนั้นคือระยะเวลาที่อีพ็อกซียังมีความหนืดต่ำพอสำหรับการนำมาใช้งานกับส่วนของสารตั้งต้นอื่น ด้วยเหตุผลนี้ เวลาทำงาน (Working life) จะสามารถเปลี่ยนแปลงตามส่วนผสมในการใช้งานนั้นๆ

2.5 ข้อมูลการทดสอบ

การทดสอบความแข็งแรงหลังจากการซ่อมบำรุง ประกอบด้วย การทดสอบคุณสมบัติกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงของอีพ็อกซีเกร้าท์ เพื่อเป็นการตรวจสอบคุณสมบัติก่อนการใช้งานและเปรียบเทียบคุณสมบัติกำลังรับแรงอัดกับหมอนคอนกรีตซึ่งต้องการค่ากำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 40 MPa และ การทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึด ตามมาตรฐาน AREMA 2000 เพื่อยืนยันว่าหลังจากการซ่อมบำรุงแล้วความพร้อมในการใช้งานเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่ ซึ่งข้อมูลการทดสอบแสดงดังต่อไปนี้

2.5.1 ทฤษฎีสำหรับการทดสอบการรับแรงดึงของ Chemical-Resistant Mortars, Grouts, Monolithic Surfacing และ Polymer Concretes ตามมาตรฐาน ASTM C307 [5]

การทดสอบกำลังรับแรงดึงของ Chemical-Resistant Mortars, Grouts, Monolithic Surfacing และ Polymer Concretes (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ค ข้อ 1) เป็นการทดสอบความเครียดสูงสุดที่ที่สามารถทนได้โดยที่เนื้อวัสดุไม่เกิดการวิบัติ หรือเสียหาย เมื่อมีการดึงหรือยืดวัสดุออกตามแนวแกน กำลังรับแรงดึงของวัสดุทดสอบชนิดพิเศษที่กล่าวมาข้างต้นสามารถคำนวณได้ดังสมการ 2.1

$$S = P/bd \quad (2.1)$$

โดยที่ S = stress in the specimen at the waist, psi (MPa)
 P = load at the moment of crack or break, lbf (N)
 b = width at the waist of the briquet tested, in. (mm)
 d = depth of briquet tested, in. (mm)

2.5.2 ทฤษฎีสำหรับการทดสอบกำลังอัดของ Chemical-Resistant Mortars, Grouts, Monolithic Surfacing และ Polymer Concretes ตามมาตรฐาน ASTM C579 [6]

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของ Chemical-Resistant Mortars, Grouts, Monolithic Surfacing และ Polymer Concretes (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ค ข้อ 2) เป็นการทดสอบความเครียดสูงสุดที่ที่สามารถทนได้โดยที่เนื้อวัสดุไม่เกิดการวิบัติ หรือเสียหาย เมื่อมีการกดหรืออัดวัสดุตามแนวแกน กำลังรับแรงอัดของวัสดุทดสอบชนิดพิเศษที่กล่าวมาข้างต้นมีการคำนวณได้ดังสมการที่ 2.2

$$S = (W)/(L_1 \times L_2) \quad (2.2)$$

โดยที่ S = compressive strength, psi (MPa),

W = maximum load, lb (N)

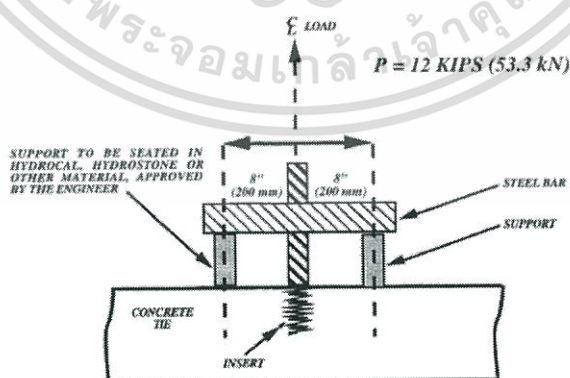
L_1 and L_2 = cross-section dimensions of cube measured, in. (mm)

2.5.3 การทดสอบแรงถอนวัสดุฝังยึด (Fastening Insert Test : Pull out) ตามมาตรฐาน AREMA 2000 [7]

การทดสอบแรงถอนวัสดุฝังยึดเป็นหนึ่งในกระบวนการทดสอบหมอนคอนกรีตเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการใช้งาน โดยจะทดสอบวัสดุฝังยึดในคอนกรีตซึ่งก็คือฟุกพลาสติกเพื่อเป็นการยืนยันว่าฟุกพลาสติกในคอนกรีตนั้นรับแรงได้ตามที่ออกแบบไว้ การทดสอบจะมีหลายมาตรฐานตามที่เลือกใช้ ซึ่งในการทดสอบของงานวิจัยนี้ใช้ มาตรฐาน AREMA (American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association)

มาตรฐาน AREMA 2000 Chapter 30 Part 12 (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ค ข้อ 3) วัสดุฝังยึดต้องผ่านการทดสอบการดึง (Pull-out test) โดยการทดสอบจะต้องทำต่อวัสดุฝังยึดในแต่ละครั้งที่จะทำการทดสอบแสดงดังรูป 2.10 และต้องใช้แรงดึงตามแนวแกน 53.4 kN และต้องดึงคงอยู่ไม่น้อยกว่า 3 นาที และในช่วงเวลาดังกล่าวเราต้องสังเกตและตรวจสอบว่ามีการเคลื่อนตัวของวัสดุฝังยึด หรือการแตกร้าวของคอนกรีตหรือไม่

หมายเหตุ : การแตกตัวของปูนในบริเวณรอบๆวัสดุฝังยึด จะไม่ใช่สาเหตุของความเสียหาย ถ้าความเสียหายเกิดขึ้นที่ปูน ข้อกำหนดของการทดสอบนี้จะไม่สามารถตอบสนองได้ ความสามารถในการต้านทานของวัสดุฝังยึด ต้องต้านทานแรง 53.4 kN โดยปราศจากการเสียรูปอย่างถาวรซึ่งจะเป็นส่งผลให้การทดสอบนี้ล้มเหลว และกำหนดให้แรงดึงตามมาตรฐานต้องไม่เกิน 22 kN/min



รูปที่ 2.10 แสดงมาตรฐานการทดสอบแรงถอนวัสดุฝังยึด [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลองและวิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้จะประกอบด้วย 2 การศึกษา ลำดับแรกคือการศึกษาคุณสมบัติทางกลของวัสดุซ่อมบำรุงชนิดอีพ็อกซีเกร้าท์ ที่ใช้ในการซ่อมบำรุงชุดยึดเหนี่ยววาง เพื่อศึกษาพฤติกรรมและคุณลักษณะของอีพ็อกซีเกร้าท์ด้วยการทดสอบการทดสอบกำลังรับแรงอัด (Test for Compressive Strength) ของอีพ็อกซีเกร้าท์ และการทดสอบกำลังรับแรงดึง (Test for Tensile Strength) ของอีพ็อกซีเกร้าท์ ลำดับที่สองเป็นการศึกษาหมอนคอนกรีตหลังการซ่อมบำรุงด้วยอีพ็อกซีเกร้าท์ เพื่อเป็นการศึกษาความสามารถของหมอนคอนกรีตเกี่ยวกับคุณสมบัติการต้านทานการถอนของตัวพุกพลาสติกที่ฝังในหมอนคอนกรีต ด้วยการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึด (Fastening Insert Test : Pull out test)

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. อีพ็อกซีเกร้าท์ที่ใช้ในซ่อมบำรุงหมอนคอนกรีตของบริษัทไฟฟ้า ร.ฟ.ท จำกัด ซึ่งใช้ผลิตภัณฑ์ Sikadur-42TH (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ข) มีองค์ประกอบ 3 ส่วน คือ A , B และ C แสดงดังรูป 3.1



(ก.)



(ข.)



(ค.)

รูปที่ 3.1 วัสดุที่ใช้ซ่อมบำรุงชนิดอีพ็อกซีเกร้าท์ ก. Component A ข. Component B และ ค. Component C

2. แบบหล่อลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 เซนติเมตร ทำด้วยวัสดุที่ซีเมนต์ไม่ยึดเกาะ สำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัด ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาวิศวกรรมโยธา แสดงดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แบบหล่อลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 เซนติเมตร

3. Briquet Gang Molds คือแบบหล่อแท่งตัวอย่างทำด้วยวัสดุที่ซีเมนต์ไม่ยึดเกาะ เช่น ทองเหลือง ภายในมีช่องสำหรับบรรจุซีเมนต์มอร์ต้ารูปโค้งรีคอดเล็กตรงกลาง ใช้สำหรับการทดสอบ กำลังรับแรงดึง ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาวิศวกรรมโยธา แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 Briquet Gang Molds

4. เครื่องผสมมอร์ต้า ที่สามารถใช้ความเร็วรอบต่ำได้ ความเร็วไม่เกิน 400 รอบต่อนาที



รูปที่ 3.4 เครื่องผสมมอร์ต้าตามมาตรฐาน

6. เครื่องทดสอบกำลังอัด ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาวิศวกรรมโยธา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด

7. เครื่องทดสอบกำลังดึง ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาวิศวกรรมโยธา



รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงดึง

8. National Instruments I/O module (NI-DAQ) รุ่น NI USB-6008 8 input, 12 bit, 10 kS/s สำหรับเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความดัน



รูปที่ 3.7 NI USB-6008

9. เซนเซอร์วัดความดัน ที่ใช้คือ WIKA รุ่น A-10 สามารถวัดความดัน ในช่วง 0 – 10,000 psi และส่งแรงดันสัญญาณไฟฟ้า 0-10 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



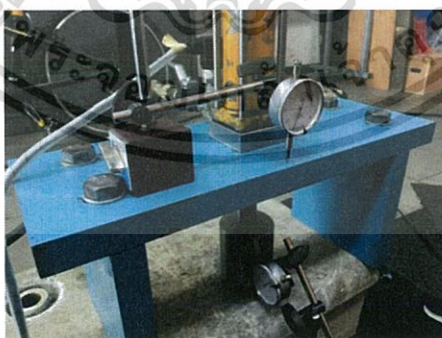
รูปที่ 3.8 เซนเซอร์วัดความดัน

10. ปัมไฮดรอลิกมือโยก สำหรับสร้างแรงดันให้กระบอกไฮดรอลิก ที่ใช้สามารถสร้างดันสูงสุด 700 บาร์



รูปที่ 3.9 ปัมไฮดรอลิกมือโยก

11. เครื่องทดสอบได้ถูกออกแบบ สำหรับการทดสอบแรงถอนวัสดุฝังยึด ประกอบไปด้วย แท่นฐานรองรับ ชุดต้นกำลัง หัวจับสลักยึด และ นาฬิกาวัด (Dial gauge)



รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบแรงถอนวัสดุฝังยึด

12. หมอนคอนกรีตของบริษัทรถไฟฟ้ามหานคร จำกัด ได้รับการยอมรับให้ใช้สำหรับการทดสอบแรงถอนวัสดุฝัง ประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ 1. หมอนคอนกรีต 2. พุกพลาสติก 3. สลักเกลียวยึด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 มอนคอนกรีตสำหรับทำการทดสอบ

3.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัด (Test for Compressive Strength)

การทดสอบกำลังรับแรงอัดอิพ็อกซีเกร้าท์ จะทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C579 ที่ใช้ทดสอบกำลังรับแรงอัดสำหรับ Chemical-Resistant Mortars, Grouts, Monolithic Surfacing และ Polymer Concretes

ขั้นตอนการทดสอบอิพ็อกซีเกร้าท์

1. เตรียมส่วนประกอบอิพ็อกซีเกร้าท์ด้วยอัตราส่วน A : B : C = 2 : 1 : 15 ตามที่ผู้ผลิตแนะนำ
2. ผสมส่วนประกอบ A และ B ทั้งสองเข้าด้วยกัน แสดงดังรูปที่ 3.12 ด้วยเครื่องผสมโดยใช้ความเร็วรอบต่ำ (ไม่เกิน 400 รอบต่อนาที) เป็นเวลาอย่างน้อย 1 นาทีจนได้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นค่อยๆ เทส่วนผสม C ลงไปในขณะที่กำลังผสมอยู่ จนได้มอร์ต้าที่มีเนื้อสีเดียวกันสม่ำเสมอ แสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.12 แสดงการผสมส่วนประกอบ A และ B ของอิพ็อกซีเกร้าท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงการผสมส่วนประกอบ A B และ C ของอีพ็อกซีเกร้าท์

3. บรรจุลงในแบบหล่อจำนวน 15 ตัวอย่าง หลังชโลมน้ำมันในช่องแบบจนทั่วแล้ว จึงใส่อีพ็อกซีเกร้าท์ ลงไปประมาณครึ่งหนึ่งของความสูงแบบหล่อ ซึ่งสูงประมาณ 1 นิ้ว แล้วใช้แท่งกระทู้มาตรฐานกระทู้เป็น 4 รอบรอบละ 8 ครั้งรวมได้ 32 ครั้งภายในเวลา 10 วินาที แสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การบรรจุอีพ็อกซีเกร้าท์ลงในแบบหล่อขึ้นงานทดสอบ

4. จากนั้นใส่อีพ็อกซีในแบบที่เหลือจนเต็ม และกระทู้อีก 32 ครั้ง ภายในเวลา 10 วินาที โดยแบ่งเป็น 4 รอบเช่นเดียวกัน เสร็จแล้วให้ปาดผิวหน้าให้เรียบ และตั้งทิ้งไว้เฉยๆ เป็น 24 ชั่วโมง แล้วจึงแกะแบบนำแท่งตัวอย่างไปไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิ ประมาณ 23 ± 1.7 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 3.15

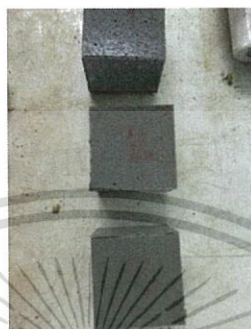


รูปที่ 3.15 บรรจุอีพ็อกซีเกร้าท์ลงในแบบหล่อขึ้นงานทดสอบเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างที่อายุ 24 ชั่วโมง 2 วัน 5 วัน 7 วัน และ 14 วันตามลำดับ

6. ปิดสะเก็ดที่ผิวด้านออก ข้อควรระวังก็คือจะต้องให้ผิวหน้าเรียบจริงๆ หากโค้งหรือไม่สม่ำเสมอเพียงเล็กน้อย ให้ฝนให้เรียบด้วยกระดาษทรายเบอร์ละเอียด ถ้าโค้งหรือขรุขระมากเกินไปกว่า 0.08 มิลลิเมตร ให้ทิ้งไปไม่นำมาทดสอบ ก่อนนำตัวอย่างเข้าทดสอบให้วัดขนาดหน้าตัด ความสูง และ ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างแต่ละก้อน แล้วบันทึกไว้



รูปที่ 3.16 ชิ้นงานทดสอบกำลังรับแรงอัด

7. การทดสอบแท่งตัวอย่าง ให้เดินเครื่องทดสอบเพิ่มแรงอัดอย่างสม่ำเสมอจนกระทั่งตัวอย่างแตก เวลาที่นับจากการเริ่มให้แรงอัดในแท่งตัวอย่างจนกระทั่งแตกจะต้องอยู่ภายในช่วงเวลา 20 – 80 วินาที แสดงดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด

8. ค่ากำลังรับแรงอัด (Compression Strength) ของอีพ็อกซีเกร้าท์ สามารถหาได้จากสมการคำนวณกำลังรับแรงอัดจากสมการ 2.1 บทที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดสอบกำลังรับแรงดึง (Test for Tensile Strength)

การทดสอบกำลังรับแรงดึงของอีพ็อกซีเกร้าท์ จะทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 307 ที่ใช้ทดสอบกำลังรับแรงดึงสำหรับ Chemical-Resistant Mortars, Grouts, Monolithic Surfacing และ Polymer Concretes

ขั้นตอนการทดสอบขั้นตอนการทดสอบอีพ็อกซีเกร้าท์

1. เตรียมส่วนผสมอีพ็อกซีเกร้าท์ด้วยอัตราส่วน A : B : C = 2 : 1 : 15 ตามที่ผู้ผลิตแนะนำ
2. ผสมส่วนผสม A และ B ทั้งสองเข้าด้วยกัน ด้วยเครื่องผสมโดยใช้ความเร็วรอบต่ำ (ไม่เกิน 400 รอบต่อนาที) เป็นเวลาอย่างน้อย 1 นาทีจนได้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นค่อยๆ เท ส่วนผสม C ลงไปในขณะที่กำลังผสมอยู่ จนได้มอร์ต้าที่มีเนื้อสีเดียวกันสม่ำเสมอ
3. บรรจุลงในแบบหล่อจำนวน 15 ตัวอย่าง โดยก่อนหน้านั้นให้ชโลมน้ำมันพืชบางๆ ในช่องแบบจนทั่วแล้ว จึงใส่อีพ็อกซีเกร้าท์ ลงไปโดยไม่ต้องออกแรงกดใดๆ เมื่อเต็มแล้วจึงใช้หัวแม่มือกดโดยออกแรงประมาณ 6 – 9 กิโลกรัม จำนวนสิบสองครั้งต่อช่องแบบ ซีเมนต์จะล้นออกมาเล็กน้อย ให้ใช้เกรียงปาดแต่งเรียบเบาๆ ด้วยแรงกดไม่เกิน 2 กิโลกรัม
4. นำแผ่นโลหะที่ทำน้ำมันพืชแล้วหรือแผ่นกระจกฟิล์มมาปิดประกบปากแบบไว้ แล้วพลิกด้านล่างขึ้น และอัดซีเมนต์มอร์ต้าด้วยวิธีเดียวกับขั้นตอนที่ 4
5. ทิ้งไว้ 20-24 ชั่วโมง แล้วจึงแกะแบบนำตัวอย่างไปไว้ในที่มีอุณหภูมิ ประมาณ 23 ± 1.7 องศาเซลเซียส

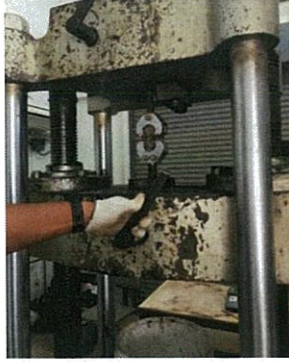


รูปที่ 3.18 ชิ้นงานทดสอบกำลังรับแรงดึง

6. เมื่อตัวอย่างทดสอบอายุครบตามต้องการที่ 24 ชั่วโมง 2 วัน 5 วัน 7 วัน และ 14 วัน ตามลำดับ แล้วจึงนำตัวอย่างไปเข้าเครื่องทดสอบ

7. ดึงตัวอย่างทดสอบด้วยความเร็ว 5 ถึง 6.4 mm/min แสดงดังรูปที่ 3.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



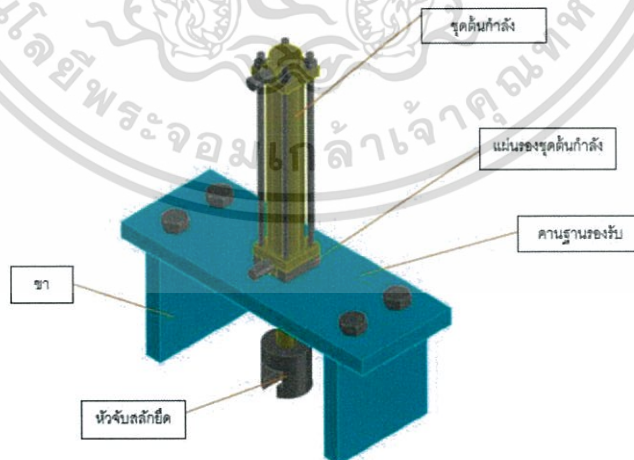
รูปที่ 3.19 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงดึง

8. ค่ากำลังรับแรงดึง (Tensile Strength) ของอีพ็อกซีเกร้าท์ สามารถหาได้จาก
สมการ 2.2 จากบทที่ 2

3.4 การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบแรงถอนวัสดุฝังยึด

ชุดทดสอบแรงถอนวัสดุฝังยึด ประกอบด้วยส่วนประกอบสองส่วนใหญ่ๆ คือแท่นฐานรองรับ
และส่วนต้นกำลัง ชั้นแรกผู้วิจัยได้ศึกษามาตรฐานของชุดทดสอบ ชั้นที่สองผู้วิจัยได้ทำการออกแบบ
แท่นรองรับตามข้อมูลของมาตรฐาน AREMA 2000 ชั้นที่สามผู้วิจัยได้วิเคราะห์แรงที่กระทำกับแท่น
รองรับด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และชั้นที่สี่ทำการออกแบบระบบไฮดรอลิกสำหรับใช้ทดสอบ

3.4.1 การออกแบบชุดทดสอบ



รูปที่ 3.20 แสดงแบบของชุดทดสอบแรงถอนวัสดุฝังยึด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบชุดทดสอบซึ่งเป็นแท่นฐานรองรับที่รองรับส่วนต้นกำลัง (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก) ซึ่งมีหลักเกณฑ์ตามมาตรฐาน AREMA 2000 ที่ได้มีการกำหนดมาแล้วก็คือ มีขาที่เป็นจตุรรองรับ และอยู่ห่างจากจุดกึ่งกลางแรงกระทำ ข้างละ 200 มิลลิเมตร ซึ่งแรงกระทำเป็นแรงดึงที่มาจากส่วนต้นกำลังต้องมีค่าเท่ากับ 53.4 kN โดยชุดทดสอบประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ คานฐานรองรับ ขา แผ่นรองชุดต้นกำลัง แสดงดังรูปที่ 3.20 ทำจากเหล็กกล้า ASTM A36 โดยมีคุณสมบัติแสดงดังตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของเหล็ก ASTM A36 [8]

คุณสมบัติเชิงกล	หน่วยเมตริก	หมายเหตุ
แรงต้านแรงดึง,สูงสุด	400-550 MPa	
แรงต้านแรงดึง,วิกฤต	250 MPa	
การยืดตัว ณ จุดขาด	20%	ที่ 200 mm
	23%	ที่ 50 mm
มอดูลัสสภาพยืดหยุ่น	200GPa	
มอดูลัสแรงบีบอัด	140GPa	
อัตราส่วนปัวซอง	0.26	
มอดูลัสเฉือน	79.3GPa	

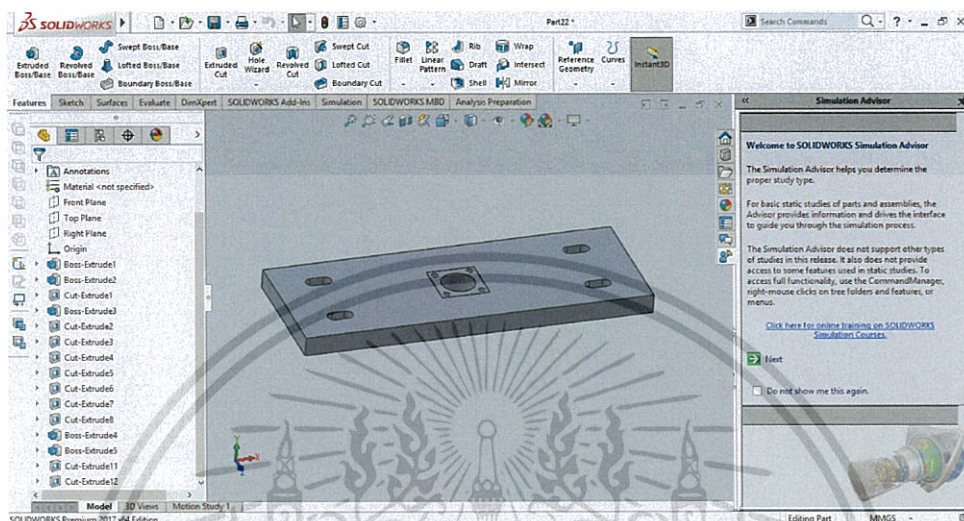
3.4.2 การวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์

เนื่องจากแท่นฐานรองรับประกอบด้วยชิ้นส่วนหลายชิ้น จากการศึกษาการละทิ้งส่วนที่ไม่จำเป็นจะช่วยให้ขนาดของปัญหาในการทำไฟไนต์เอลิเมนต์ลดลง ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์คานส่วนที่เป็นฐานรับโดยตรง โดยไม่พิจารณาส่วนที่เป็นขาของแท่นรองรับ

เริ่มจากการเขียนโมเดลคานที่รองรับแรงกดจากชุดต้นกำลัง ด้วยโปรแกรม AutoCAD แล้วจึงนำมาวิเคราะห์ด้วยกระบวนการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม SolidWorks เพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรง รูปแบบความเค้นความเครียด และระยะการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นในคาน ซึ่งขณะทดสอบจะรองรับแรงปฏิกิริยาจากการดึงของชุดต้นกำลัง ที่จะมีส่วนที่กดลงบนกึ่งกลางคาน โดยจะมีขาของแท่นฐานทดสอบเป็นตัวรองรับคาน โดยระยะของขาทั้งสองจะห่างกัน 400 มิลลิเมตร

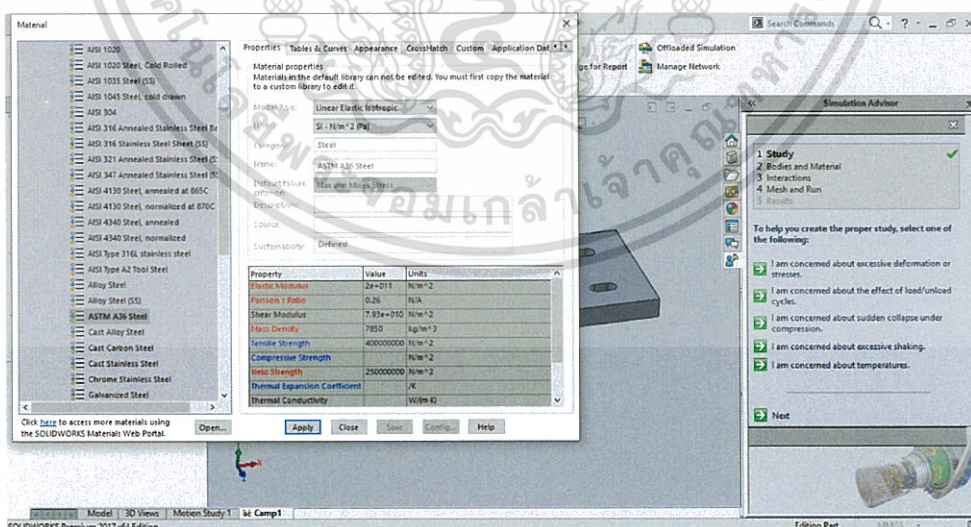
การกำหนดค่า

1. สร้างชิ้นส่วนคานตามที่ออกแบบมา ซึ่งมีขนาดความยาว 540 มิลลิเมตร กว้าง 200 มิลลิเมตร และหนา 30 มิลลิเมตร เลือกการจำลองแบบสถิต (Static) สำหรับการศึกษาค่าผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของวัสดุโดยแรงแบบสถิต แสดงดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 แสดงการสร้างโมเดลชิ้นงานเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ที่ไฟไนต์เอลิเมนต์

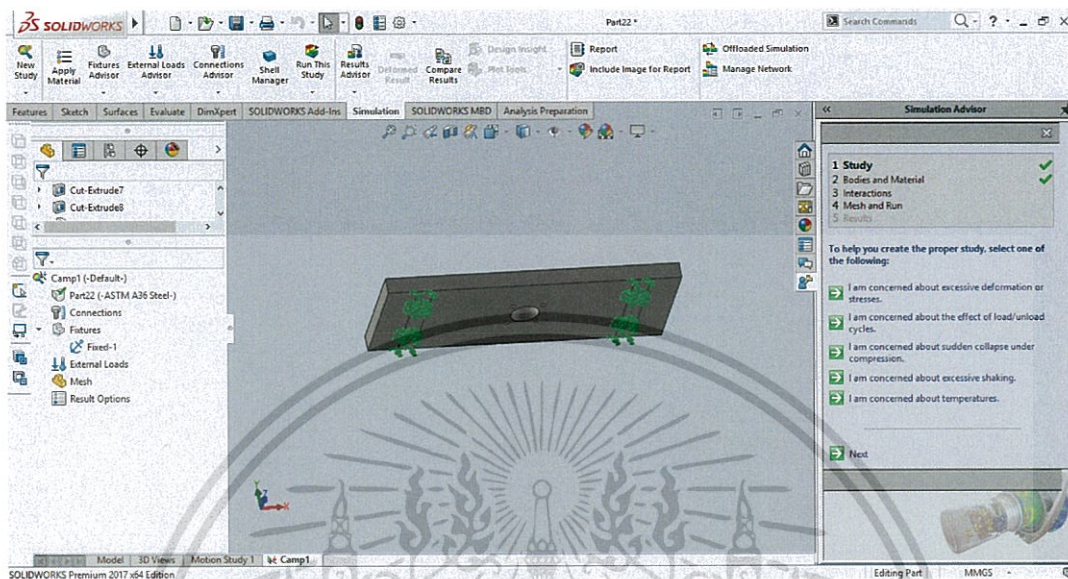
2. กำหนดชนิดวัสดุที่ใช้ ซึ่งในที่นี้เลือกเป็น ASTM A36 Steel ดังแสดงในรูปที่ 3.22 โดยจะมีคุณสมบัติทางกลดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.22 แสดงการเลือกชนิดวัสดุที่ใช้กับโมเดลคาน

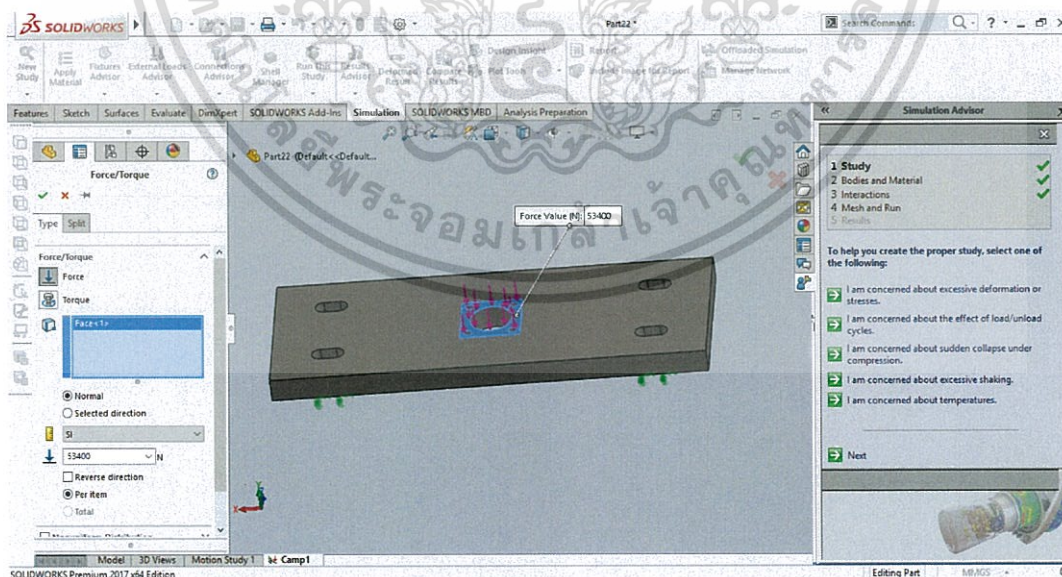
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการกำหนดเงื่อนไขการจับยึด สำหรับการวิเคราะห์แบบสถิต ต้องกำหนดการจับยึดให้ครบถ้วน ซึ่งในที่นี้จะกำหนดเงื่อนไขการยึดไว้บริเวณที่เป็นขาของแท่นฐานรองรับ ดังแสดงในรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 แสดงการเลือกเงื่อนไขการจับยึดผิวหน้าชิ้นงาน

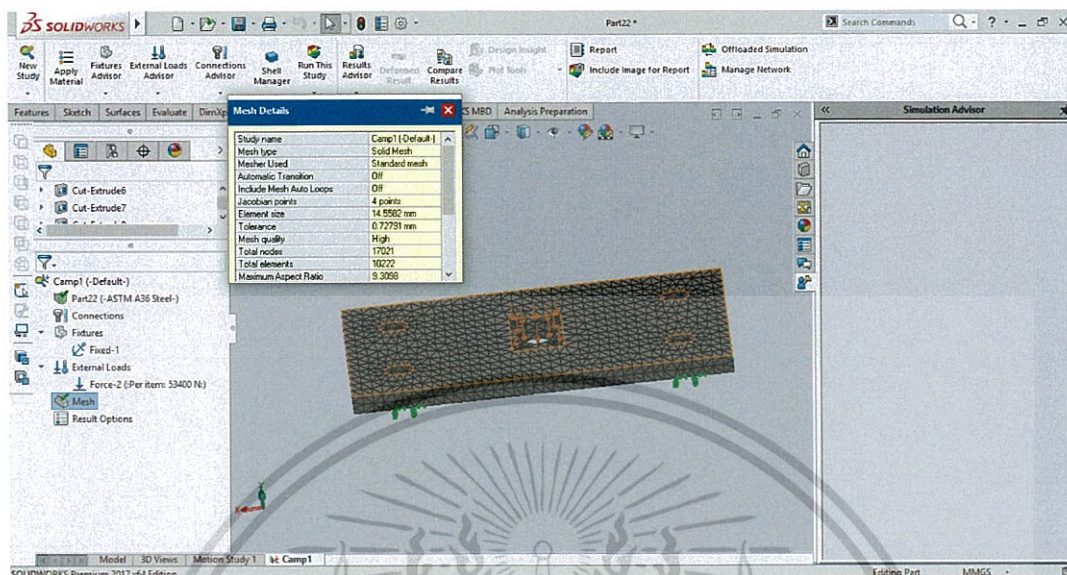
4. ใส่แรงแบบสถิตบริเวณที่คานจะถูกกดด้วยแรงปฏิกิริยาจากการดึง ซึ่งดึงด้วยแรง 53.4 kN ดังนั้นจึงใส่แรงที่กระทำต่อคาน 53.4 kN ดังแสดงในรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 แสดงการกำหนดทิศทางและขนาดของแรงที่กระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

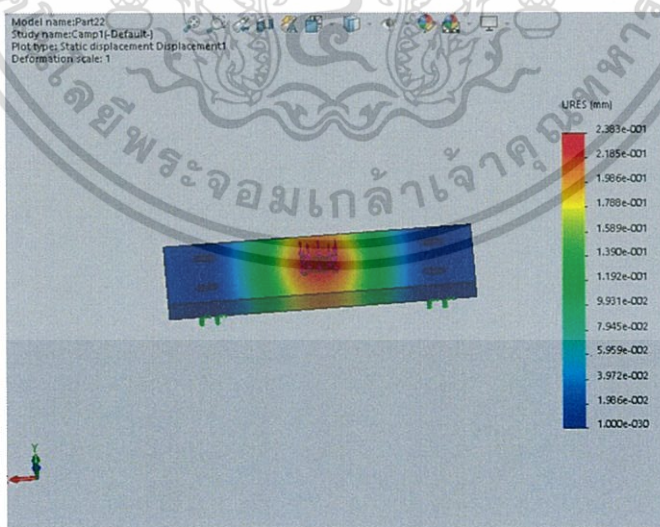
5. ตั้งค่าการแบ่งเอลิเมนต์สำหรับการวิเคราะห์แก้ปัญหาเชิงตัวเลข โดยจะได้ จำนวนโหนด 17,021 โหนด และเอลิเมนต์ 10,222 เอลิเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 แสดงการเลือกขนาด และการแบ่งเอลิเมนต์

6. ทำการ Run analysis โปรแกรมจะทำการประมวลผลหลังจากการแบ่งเอลิเมนต์เสร็จสิ้น และรอผลจากการวิเคราะห์

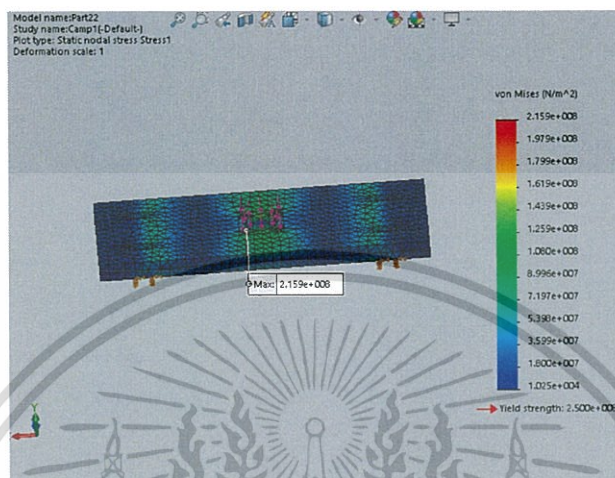
3.4.3 ผลจากการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 3.26 แสดงบริเวณที่เกิดการเคลื่อนตัวสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.26 แสดงผลการเคลื่อนตัวสูงสุดที่เกิดขึ้นจากแรงกดที่บริเวณใต้แผ่นรองชุดต้นกำลังด้วยแรง 53.4 kN เห็นได้ว่า บริเวณกึ่งกลางของคานเกิดการเคลื่อนตัวสูงสุดที่ 0.238 mm และผลของความเค้น von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นซึ่งมีค่าเท่ากับ 215.9 MPa ดังแสดงในรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 แสดงบริเวณที่ค่าความเค้น von Mises สูงสุด

จากนั้นหาค่าความปลอดภัยจากสมการที่ 3.1

$$\text{ค่าความปลอดภัย (S.F.)} = \frac{\text{yield strength}}{\text{von Mises stress}} \quad (3.1)$$

ผลจากการคำนวณค่าความปลอดภัยของคานที่รองรับแรงกระทำจากกระบอกไฮดรอลิกมีค่าเท่ากับ 1.2 จากการวิเคราะห์ชุดทดสอบนี้จะใช้ทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึดที่ค่าแรงดึงไม่เกิน 55 kN จากผลของค่าความปลอดภัยนั้นแสดงให้เห็นว่ามีค่าเพียงพอสำหรับการใช้ทดสอบ

ดังนั้นสรุปได้ว่าการออกแบบคานฐานรองรับสามารถรับแรงใช้งานได้โดยไม่เสียหาย ในช่วงความยืดหยุ่นเชิงเส้น (Linear Elastic)

3.4.4 การออกแบบระบบไฮดรอลิกที่ใช้ทดสอบ

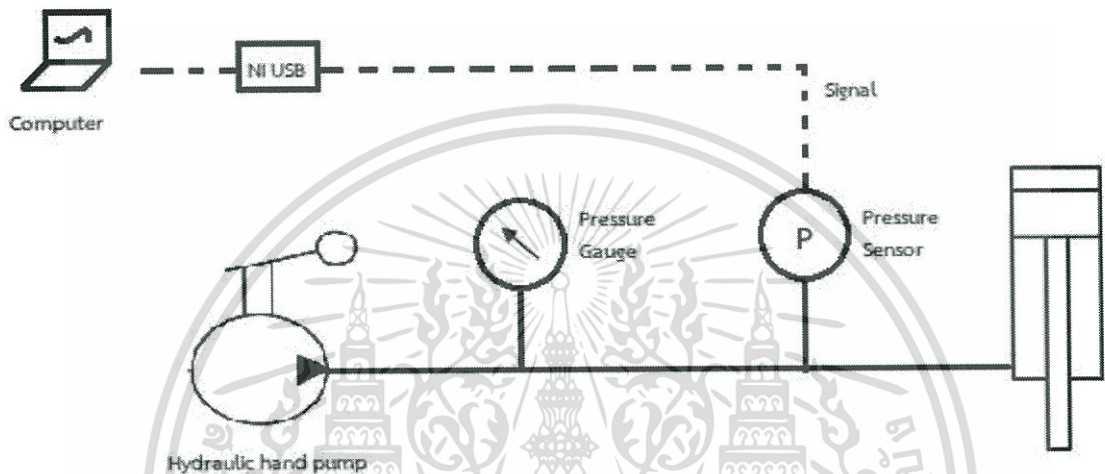
การออกแบบชุดทดสอบแรงดึงวัตถุฝังยึด โดยมีกระบอกไฮดรอลิก และปั๊มไฮดรอลิกแบบมือโยกเป็นชุดต้นกำลัง ทำให้สามารถควบคุมความดันที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งมีแผนภาพแสดงวงจรระบบไฮดรอลิกแสดงดังรูปที่ 3.28 และรายละเอียดการออกแบบดังนี้

1. กระบอกไฮดรอลิก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกไฮดรอลิกเท่ากับ 52.5 mm และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของก้านสูบเท่ากับ 28.6 mm จะได้พื้นที่หน้าตัดด้านก้านสูบเท่ากับ 1520 mm²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จากความสัมพันธ์ $F = PA$ ถ้าสมมติให้ไม่มีแรงเสียดทานของซีลและไม่คิดน้ำหนักของก้านสูบ เนื่องจากมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับแรงที่ต้องการ ซึ่งแรงต้องการที่ออกจากก้านสูบเพื่อดึงทดสอบที่แรงสูงสุดเท่ากับ 53.4 kN ดังนั้นความดันสูงสุดจะใช้ทำการทดสอบเท่ากับ 35.1 MPa (351 bar)

3. ติดตั้งเซนเซอร์วัดความดัน โดยรับสัญญาณแรงดันผ่าน NI USB ผ่านโปรแกรม LabVIEW แปลงเป็นค่าแรงดึงทดสอบและแสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ขณะทำการทดสอบ เพื่อใช้ในการควบคุมแรงดันต่อและบันทึกผลการทดสอบ



รูปที่ 3.28 แสดงวงจรไฮดรอลิกของชุดทดสอบแรงดึงวัสดุฝังยึด

3.5 การทดสอบแรงถอนวัสดุฝังยึด (Fastening Insert Test)

การทดสอบแรงถอนวัสดุฝังยึด จะทดสอบตามมาตรฐาน AREMA 2000 ซึ่งเป็นการตรวจสอบวัสดุฝังยึดในคอนกรีต เพื่อเป็นการยืนยันว่าวัสดุฝังยึดในคอนกรีตนั้นรับแรงได้ตามที่ออกแบบไว้

ขั้นตอนการทดสอบแรงถอนวัสดุฝังยึด

1. เตรียมชุดทดสอบแรงถอนวัสดุฝังยึด ประกอบด้วยกระบอกไฮดรอลิก บี้มไฮดรอลิกมือโยก เพื่อสร้างแรงดันให้กับกระบอกไฮดรอลิก แสดงดังรูปที่ 3.29 แล้วติดตั้งเซนเซอร์วัดความดัน เชื่อมต่อกับ NI USB และคอมพิวเตอร์สำหรับอ่านค่าความดันและค่าแรงดึง แสดงผลค่าความดันและแรงดึงที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ แสดงดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.29 แสดงชุดทดลองในการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยัด



รูปที่ 3.30 แสดงหน้าแสดงผลขณะทำการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยัด

2. นำหมอนคอนกรีตก่อนการซ่อม ชั้นสลักเกลียวยัดใส่ที่รูพุกพลาสติก
3. ติดตั้งชุดทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยัด โดยให้หัวจับสลักยึดสอดเข้าพอดีกับสลักเกลียวยัดที่ถูกขันใส่รูพุก ติดตั้งนาฬิกาวัดบริเวณขอบพุกพลาสติกเพื่อดูการเคลื่อนตัว แสดงดังรูปที่ 3.31 แล้วทำการดึงสลักเกลียวยัดโดยมีการควบคุมขณะทำการทดสอบโดยควบคุมให้ความดันต้องไม่เกิน 12 bar ต่อ 5 วินาที หรือแรงดึง 1.8 kN ต่อ 5 วินาที ผ่านหน้าจอบคอมพิวเตอร์ เนื่องจากตามมาตรฐานกำหนดแรงดึงการทดสอบต้องไม่เกิน 22 kN/min จนถึง 53.4 kN แล้วดึงค้างไว้เป็นเวลา 3 นาที ในระหว่างการทดสอบให้ตรวจสอบว่ามีการแตกร้าวของอีพ็อกซีเกร้าท์หรือการเคลื่อนตัวของพุกพลาสติกหรือไม่ แล้วบันทึกผล



รูปที่ 3.31 แสดงการติดตั้งชุดทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการเจาะคว้าน ซุดหมอนคอนกรีตเดิมจากข้อ 2 เพื่อเอาพุกพลาสติกเดิมออกด้วยหัวเจาะ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 มม. โดยทำการเจาะคว้านเอาพุกพลาสติกเดิมทั้งสองออก แสดงดังรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 แสดงการซ่อมบำรุงหมอนคอนกรีตด้วยวิธีการเจาะคว้าน

5. ใช้ฮีฟ็อกซีเกร้าท์ในการซ่อมและเปลี่ยนพุกพลาสติกอันใหม่ โดยเทฮีฟ็อกซีเกร้าท์ลงไปในเรื่องที่ถูกระบายคว้าน ดังแสดงในรูป 3.33 ทำการเปลี่ยนพุกพลาสติกโดยให้พอดีกับฮีฟ็อกซีเกร้าท์ที่เทลงไปในเรื่อง ดังแสดงในรูป 3.34 และระมัดระวังอย่าให้ฮีฟ็อกซีเกร้าท์เข้าไปในรูของพุกพลาสติก



รูปที่ 3.33 แสดงการเทฮีฟ็อกซีเกร้าท์



รูปที่ 3.34 แสดงการเปลี่ยนพุกพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. บ่มอิพ็อกซีเกร้าท์ไว้ที่ 1 วัน และ 2 วัน ตามลำดับ
7. ทำการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึดที่ 1 วัน และ 2 วัน ตามลำดับ ทำการทดสอบเช่นเดียวกับข้อ 3 และบันทึกผล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ผลการทดสอบ ประกอบด้วยผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของอีพ็อกซีเกร้าท์ และผลการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึด ของหมอนคอนกรีตที่ผ่านการซ่อมบำรุง

4.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด (Test for Compressive Strength)

โดยผลการทดสอบนี้ เพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive strength, s) โดยคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ พื้นที่หน้าตัดรับแรง (Cross section area, A_c หรือ $L_1 \times L_2$) และค่าโหลดทดสอบ (Ultimate load, W) โดยคำนวณค่ากำลังรับแรงอัดจากความสัมพันธ์ $S = (W)/(L_1 \times L_2)$ แสดงผลการทดสอบและค่ากำลังรับแรงอัด ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบและค่ากำลังรับแรงอัดของอีพ็อกซีเกร้าท์

Specimen No.	Cross section area (mm ²)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (kN)	Compressive strength (MPa)	Average Compressive strength (MPa)
1	50.20x50.20	265.92	1	148.51	58.93	58.35
2	50.40x50.20	266.65		146.35	57.84	
3	50.40x50.10	264.28		147.16	58.28	
1	50.04x49.82	260.20	2	148.79	59.68	58.17
2	50.10x50.50	267.12		138.61	54.78	
3	50.10x50.12	268.07		153.82	60.06	
1	50.18x49.80	260.30	5	150.85	60.36	60.92
2	48.84x49.94	257.16		153.56	62.96	
3	49.82x50.20	259.16		148.63	59.43	
1	50.00x50.06	263.29	7	172.20	68.80	67.70
2	49.42x50.00	258.83		164.33	66.50	
3	49.90x50.40	260.89		170.48	67.79	
1	49.62x50.40	260.87	14	178.76	71.48	69.85
2	50.10x50.40	264.51		174.67	69.18	
3	50.36x50.32	261.51		174.58	68.89	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางการทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐที่ก่อขึ้นที่ค่ากำลังรับอัดที่น้อยที่สุดและมากที่สุดจากการทดสอบเท่ากับ 58.35 และ 69.85 MPa ซึ่งเกิดขึ้นที่ 1 และ 14 วันตามลำดับ เมื่อนำค่าการทดสอบในตารางที่ 4.1 มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเวลาบ่ม จะเห็นว่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มมีค่าเพิ่มขึ้นที่เวลาการบ่มต่างๆ ในลักษณะเชิงเส้นตรง แสดงดังกราฟ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับเวลา

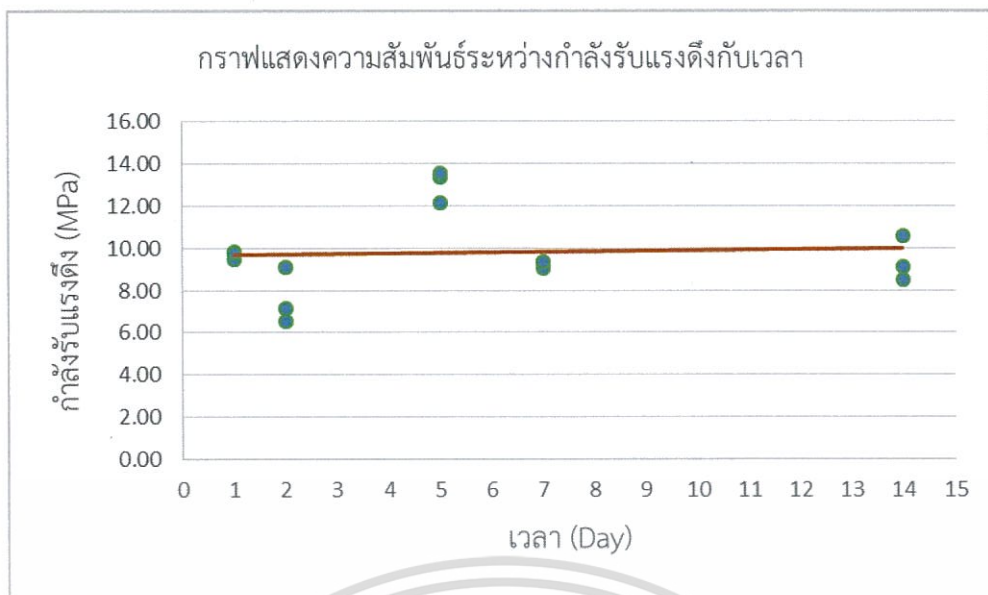
4.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึง (Tensile Strength)

โดยผลการทดสอบนี้ เพื่อหาค่ากำลังรับแรงดึง (Tensile strength, S) โดยคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ พื้นที่หน้าตัดรับแรง (Cross section area, A_c หรือค่า bd) และค่าโหดทดสอบ (Ultimate load, P) โดยคำนวณค่ากำลังรับแรงอัดประลัยจากความสัมพันธ์ $S = P/bd$ แสดงผลการทดสอบและค่ากำลังรับแรงดึง ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของอีพ็อกซีเกร้าท์

specimen No.	Cross section area (mm ²)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (kN)	Tensile strength (MPa)	Average Tensile strength (MPa)
1	25.00x26.24	150.55	1	6.19	9.44	9.69
2	25.10x26.38	147.88		6.51	9.84	
3	25.10x25.54	148.10		6.27	9.78	
1	25.50x25.40	149.47	2	4.24	6.55	7.58
2	25.60x25.70	151.61		4.69	7.13	
3	25.30x25.84	152.84		5.93	9.07	
1	25.50x25.60	152.69	5	8.72	13.36	13.04
2	26.00x26.60	142.05		8.42	12.18	
3	24.92x26.38	150.82		8.92	13.57	
1	25.40x25.70	147.13	7	6.11	9.36	9.26
2	24.74x25.48	146.00		5.70	9.05	
3	24.62x26.10	151.08		6.01	9.36	
1	25.06x25.24	144.72	14	6.69	10.58	9.39
2	25.32x25.96	151.70		5.97	9.09	
3	25.26x25.42	145.02		5.46	8.51	

จากตารางการทดสอบกำลังรับแรงดึงของอีพ็อกซีเกร้าท์ค่ากำลังรับแรงดึงที่น้อยที่สุดและมากที่สุดที่เท่ากับ 7.58 และ 13.04 MPa ซึ่งเกิดขึ้นที่ 2 และ 5 วันตามลำดับ เมื่อนำค่าการทดสอบจากตารางที่ 4.2 มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงกับเวลาบ่มจะได้เห็นว่ากำลังรับแรงดึงมีการแกว่งตัวขึ้นลง และแรงดึงโดยเฉลี่ยทั้ง 14 วันประมาณ 10 MPa ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากเครื่องมือในการจับชิ้นงานทดสอบมีขนาดที่ไม่เหมาะสมกับการจับชิ้นงานส่งผลให้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงกับเวลาบ่มมีค่ากำลังรับแรงดึงบางตัวผิดพลาดจากแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของกราฟ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงกับเวลา

4.3 ผลการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึด (Fastening Insert Test)

การทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึดทำการทดสอบโดยใช้แรงดึง 53.4 kN ดึงสลักเกลียวยึดที่ขันแน่นกับพุกพลาสติกที่ฝังอยู่ในหมอนคอนกรีต ซึ่งการทดสอบแบ่งเป็น 3 กรณี แสดงดังตารางที่ 4.3

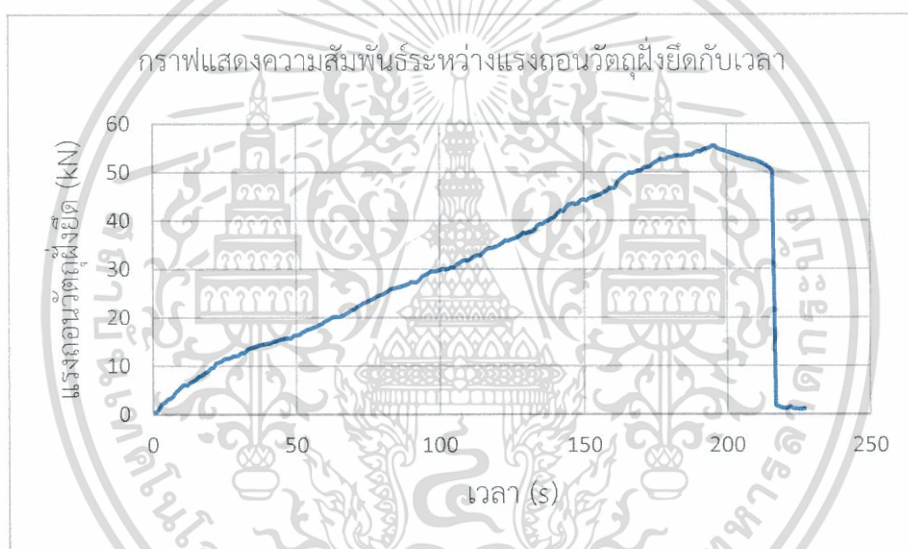
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึด

Age (Days)	Load (kN)	Test result				Status		Remark
		Crack	Not crack	Slip	Not slip	Pass	Not pass	
Pre-maintenance	53.4						/	failure on dowel
	55.0	-	-	-	-	-	-	-
1	53.4		/		/	/		remain 3 minute
	55.0		/		/	/		
2	53.4		/		/	/		remain 3 minute
	55.0		/		/	/		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยัดนี้ได้ใช้ปั๊มไฮดรอลิกมือโยกเป็นต้นกำลัง โดยทำการดึงสลักเกลียวยัดโดยมีการควบคุมขณะทำการทดสอบโดยควบคุมให้ความดันต้งไม่เกิน 12 bar ต่อ 5 วินาที หรือแรงดึง 1.8 kN ต่อ 5 วินาที ผ่านหน้าจอบคอมพิวเตอร์ เนื่องจากตามมาตรฐานกำหนดแรงดึงการทดสอบต้องไม่เกิน 22 kN/min จนถึง 53.4 kN ดึงแล้วค้างไว้เป็นเวลา 3 นาที ผลจากการทดสอบและเก็บข้อมูลการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยัด ทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงถอนวัตถุฝังยัดกับเวลา 3 กรณี ดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 ก่อนการซ่อมบำรุงหมอนคอนกรีต โดยออกแรงดึงกับสลักเกลียวยัดที่ขันแน่นกับฟูกพลาสติกที่ฝังในหมอนคอนกรีต จากรูปที่ 4.3 แรงดึงทดสอบจริงต่อเวลาเท่ากับ 16.77 kN/min ซึ่งไม่เกินที่มาตรฐานกำหนด และการทดสอบเกิดความเสียหายขึ้นที่ฟูกพลาสติก แสดงดังรูป 4.4 เนื่องจากหมอนคอนกรีตไม่ได้รับการเก็บรักษาที่ดี ทำให้มีความชื้นเข้าไปในฟูกพลาสติกจนเสื่อมสภาพ



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงถอนวัตถุฝังยัดกับเวลา ก่อนการซ่อมบำรุง

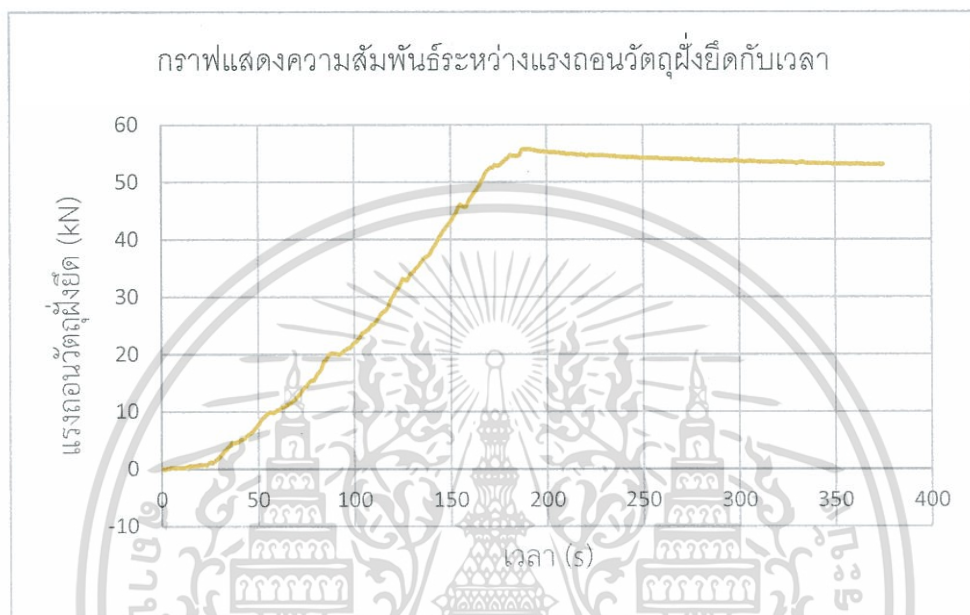


ฟูกพลาสติก
เสียหายจาก
การฉีกขาด
ของเกลียว

รูปที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยัดก่อนการซ่อมบำรุงหมอนคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 2 หลังการซ่อมบำรุงหมอนคอนกรีต 1 วัน ที่โดยออกแรงดึงกับสลักเกลียวยึดที่ชั้นแน่นกับพุกพลาสติกที่ฝังในหมอนคอนกรีต จากรูปที่ 4.5 แรงดึงทดสอบจริงต่อเวลาเท่ากับ 17.3 kN/min ซึ่งไม่เกินที่มาตรฐานกำหนด จากการทดสอบพบว่าพุกพลาสติกสามารถทนแรงดึง 53.4 kN และสามารถคงแรงดึงไว้เป็นเวลา 3 นาที โดยปราศจากการแตกร้าวของอีพ็อกซีเกร้าท์และไม่มีการเคลื่อนตัวพุกพลาสติก แสดงดังรูป 4.6

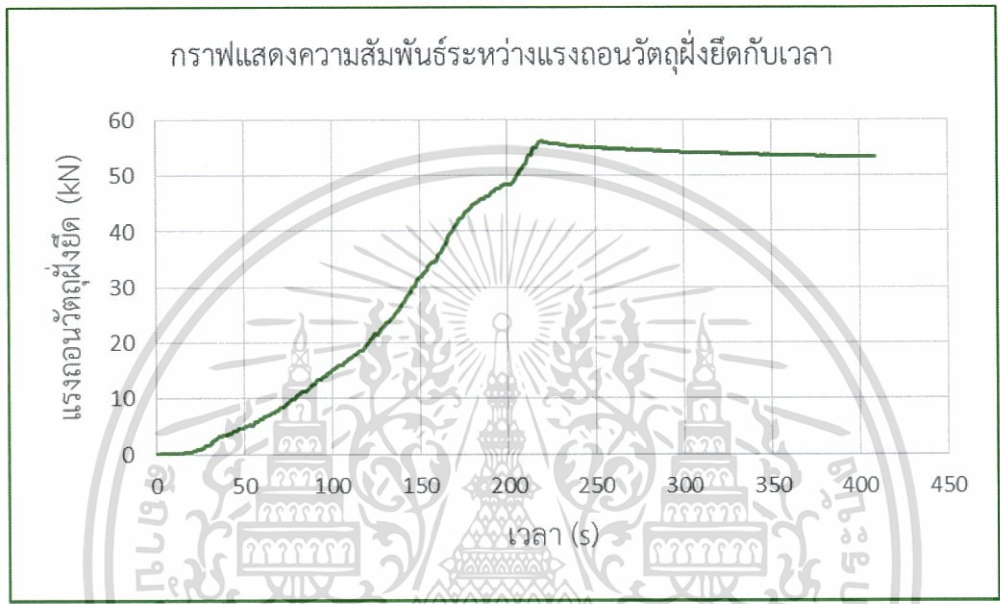


รูปที่ 4.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงถอนวัตถุฝังยึดกับเวลา หลังการซ่อมบำรุง 1 วัน



รูปที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึดหลังการซ่อมบำรุงหมอนคอนกรีต 1 วัน

กรณีที่ 3 หลังการซ่อมบำรุงหมอนคอนกรีต 2 วัน โดยออกแรงดิ่งกับสลักเกลียวยึดที่ชันแน่นกับพุกพลาสติกที่ฝังในหมอนคอนกรีต จากรูปที่ 4.7 แรงดิ่งทดสอบจริงต่อเวลาเท่ากับ 14.9 kN/min ซึ่งไม่เกินที่มาตรฐานกำหนด จากการทดสอบพบว่าพุกพลาสติกสามารถทนแรงดิ่ง 53.4 kN และสามารถคงแรงดิ่งไว้เป็นเวลา 3 นาที โดยปราศจากการแตกร้าวของอีพ็อกซีเกร้าท์และไม่มีการเคลื่อนตัวของพุกพลาสติกเช่นเดียวกับผลการทดสอบ 1 วัน แสดงดังรูป 4.8 เนื่องจากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่เพิ่มที่เวลาบ่มต่างๆส่งผลให้แรงยึดเกาะมีแนวโน้มดีขึ้นด้วย



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงถอนวัตถุฝังยึดกับเวลา หลังการซ่อมบำรุง 2 วัน



รูปที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึดหลังการซ่อมบำรุงหมอนคอนกรีต 2 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

เมื่อทำการทดสอบคุณสมบัติของอีพ็อกซีเกร้าท์ แล้วนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการทดสอบจากผู้ผลิต และการวิเคราะห์ผลการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึด ทำให้ผู้ทำการทดสอบได้ทราบถึงปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างทำการทดสอบ ซึ่งจะกล่าวในบทนี้ รวมถึงความผิดพลาดต่างๆและข้อเสนอแนะจากการเพื่อนำไปพัฒนาชุดทดสอบและการทดสอบที่ดีขึ้นในลำดับต่อไป

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. การทดสอบคุณสมบัติกำลังรับแรงอัดของอีพ็อกซีเกร้าท์ ถ้าพิจารณา ที่ 14 วันเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกับคุณสมบัติที่ผู้ผลิตกำหนดไว้และเป็นขั้นตอนแรกสำหรับการตรวจสอบความแข็งแรงของวัสดุอีพ็อกซีเกร้าท์ก่อนการนำไปใช้ พบว่า ค่าต่ำสุดของกำลังรับแรงอัด ผู้ผลิตกำหนดค่าต่ำสุดที่ควรจะได้ ที่ 14 วันเท่ากับ 70 MPa จากการนำอีพ็อกซีเกร้าท์ไปทดสอบก่อนการนำไปใช้ในการซ่อมหมอนคอนกรีต ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ย ที่ 14 วัน เท่ากับ 69.85 MPa ซึ่งผิดพลาดไปประมาณ 0.21 %
2. การทดสอบคุณสมบัติกำลังรับแรงดึงของอีพ็อกซีเกร้าท์ ถ้าพิจารณา ที่ 14 วันเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกับคุณสมบัติที่ผู้ผลิตกำหนดไว้และเป็นขั้นตอนแรกสำหรับการตรวจสอบความแข็งแรงของวัสดุอีพ็อกซีเกร้าท์ก่อนการนำไปใช้ พบว่า ค่าต่ำสุดของกำลังรับแรงดึง ผู้ผลิตกำหนดค่าต่ำสุดที่ควรจะได้ ที่ 14 วันเท่ากับ 15 MPa จากการนำอีพ็อกซีเกร้าท์ไปทดสอบก่อนการนำไปใช้ในการซ่อมหมอนคอนกรีต ค่ากำลังรับแรงดึงเฉลี่ย ที่ 14 วัน เท่ากับ 9.39 MPa ซึ่งผิดพลาดไปประมาณ 37.4 %
3. การซ่อมบำรุงในระบบรถไฟฟ้านั้นต้องการความพร้อมในการใช้งานที่รวดเร็วและมีความน่าเชื่อถือ ซึ่งจากข้อกำหนดคุณสมบัติของหมอนคอนกรีตที่ใช้ในทางรถไฟ ที่กำหนดไว้ให้กำลังรับแรงอัดที่ 28 วันต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 40 MPa ซึ่งจากการทดลองที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าที่ 1 วัน กำลังรับแรงอัดมีค่าเพียงพอต่อการใช้งาน จึงสรุปได้ว่า คุณสมบัติของอีพ็อกซีเกร้าท์มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน
4. การทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึด ผู้ทำการทดสอบแบ่ง กรณีพิจารณาเป็น 3 กรณีจากการทำงานจริงบนทางรถไฟฟ้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ก่อนการซ่อมบำรุงหมอนคอนกรีต พบว่าเมื่อทำการทดสอบเกลียวพุกพลาสติกเก่าเกิดความเสียหายก่อน ทำให้ผลการทดสอบนี้ไม่สามารถบอกความแข็งแรงของคอนกรีตเดิมได้แต่สามารถสรุปได้ว่าหมอนคอนกรีตนั้นไม่พร้อมนำไปใช้งาน เนื่องจากไม่สามารถทำตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 2.5.3

2. หลังจากการซ่อมบำรุงด้วยอีพ็อกซีเกร้าท์เป็นเวลา 1 วันและทำการเปลี่ยนพุกพลาสติกใหม่ พบว่าหมอนคอนกรีตเมื่อนำไปทดสอบแล้วเป็นไปตามมาตรฐาน AREMA กำหนดไว้

3. หลังจากการซ่อมบำรุงด้วยอีพ็อกซีเกร้าท์เป็นเวลา 2 วันพบว่าหมอนคอนกรีตเมื่อนำไปทดสอบแล้วเป็นไปตามมาตรฐาน AREMA กำหนดไว้ เช่นเดียวกันกับผลการทดสอบในข้อที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกัน เนื่องจากเป็นไปตามคุณลักษณะของอีพ็อกซีเกร้าท์ตามการทดสอบที่ 4.1 และ 4.2

5.2 วิเคราะห์ปัญหาจากการศึกษา

1. การทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุอีพ็อกซีเกร้าท์ จากผลการทดสอบพบปัญหาที่ผิดพลาดมาก ที่การทดสอบกำลังรับแรงดึง เนื่องมาจากชุดจับชิ้นงานทดสอบที่มีขนาดไม่เหมาะสม ทำให้การจับชิ้นงานไม่ดี ส่งผลให้แรงที่กระทำต่อชิ้นงานผิดพลาดไป

2. เครื่องเจาะคว้านเกิดเสียหาย ทำให้ตัวอย่างหมอนคอนกรีตที่จะนำมาทดสอบน้อยกว่าที่คาดการณ์ทำให้การสรุปผลไม่ชัดเจนเท่าที่ควร

3. ชุดทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึดที่สร้างขึ้นในการทดสอบนี้ ใช้ปั๊มไฮดรอลิกมือโยกเป็นต้นกำลัง ทำให้การควบคุมการบีบแรงดันค่อนข้างยาก ซึ่งทำให้อัตราการเพิ่มของแรงดึงค่อนข้างไม่สม่ำเสมอ

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรปรับปรุงชุดทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึดให้สามารถวัดแรงดึงได้ละเอียดขึ้น

2. ระบบต้นกำลังของชุดทดสอบนี้ใช้ระบบไฮดรอลิก โดยที่ใช้ปั๊มไฮดรอลิกแบบมือโยก สำหรับกระบอกไฮดรอลิกแบบทางเดียวเป็นต้นกำลังทำให้การดันกลับของกระบอกไฮดรอลิกต้องใช้มวลถ่วงหรือใช้การกดลงด้วยแรงคนทำให้ลำบากในการใช้งาน ซึ่งควรจะใช้ปั๊มไฮดรอลิกแบบมือโยกสำหรับกระบอกไฮดรอลิกแบบสองทาง

3. ควรจะมีตัวอย่างการทดสอบในงานวิจัยนี้มากขึ้น เพื่อให้ผลการทดสอบสรุปได้ชัดเจนและถูกต้องมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

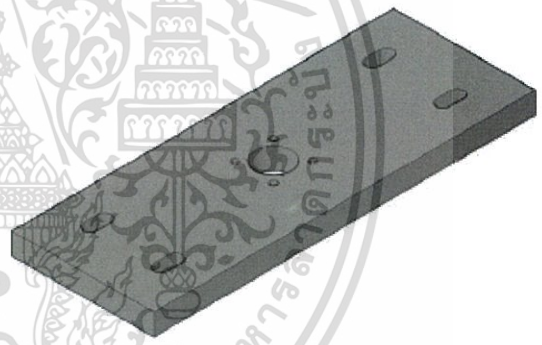
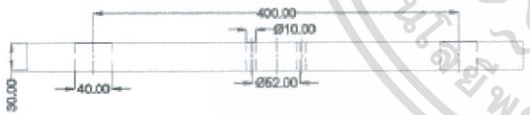
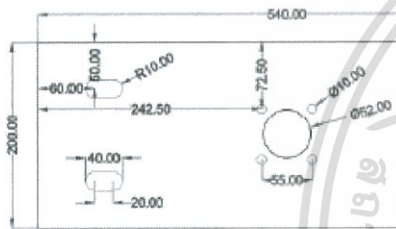
เอกสารอ้างอิง

- [1] ปริญญา จุตะกานนท์, ชลนัตตา สถิติสังวร. “การศึกษากำลังรับแรงดึงของสมอยึดที่ใช้เคมีประสานโดยฝังในคอนกรีต.” ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยบูรพา. 2010
- [2] Ahmed M. et al. “Bond behavior and assessment of design ultimate bond stress of normal and high strength concrete.” Faculty of Engineering Alexandria University. 2014
- [3] นายยุทธกิจ ครุฑาโรจน์. “คู่มือการผลิต & การทดสอบ หมอมคอนกรีตอัดแรง.” ฝ่ายการช่างโยธา การรถไฟแห่งประเทศไทย. 2557
- [4] Maureen A. Boyle, Cary J. Martin, and John D. Neune. “Epoxy Resins” Composites ASM Handbook Volume 21. pp.78~89
- [5] ASTM. “ASTM C 307-03 Tensile Strength of Chemical-Resistant Mortar Grout Monolithic.” ASTM INTERNATIONAL
- [6] ASTM. “ASTM C 579-01 Compressive Strength of Chemical-Resistant Mortar Grout Monolithic.” ASTM INTERNATIONAL
- [7] AREMA. “Chapter 30 Part 12 Concrete Ties.” American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association. 2000
- [8] MatWeb, 2017, ASTM A36 Steel bar
 [Online].Available: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=d1844977c5c8440cb9a3a967f8909c3a>

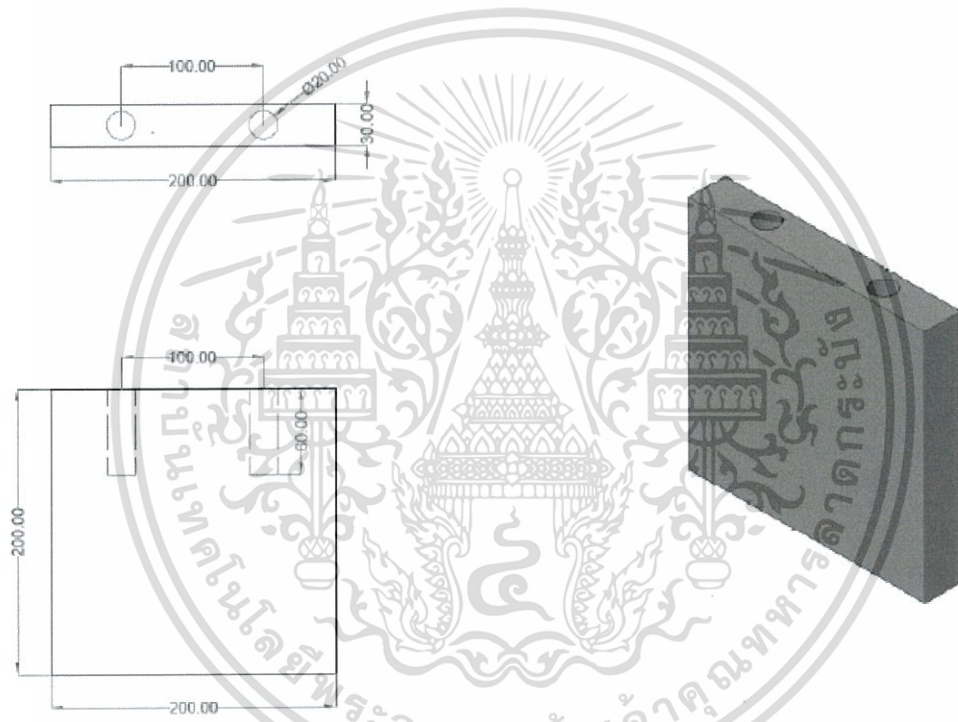


ภาคผนวก

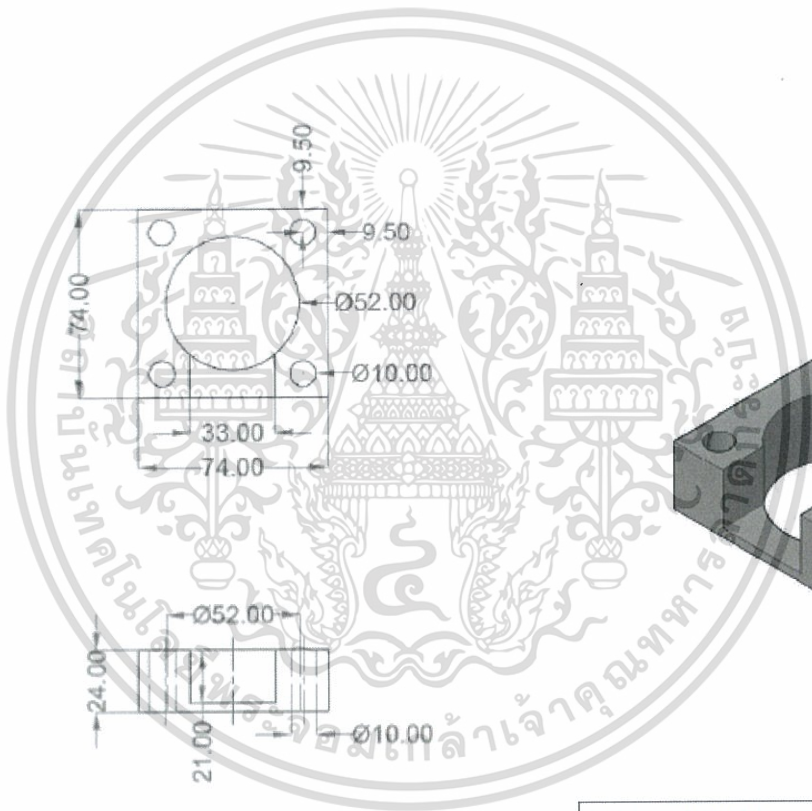
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MATERIAL		UNIT
STEEL ASTM A36		mm.
ITEM NO.	TITLE	
1	STEEL BAR	



MATERIAL STEEL ASTM A36		UNIT mm.
ITEM NO. 3	TITLE SUPPORT	



MATERIAL STEEL ASTM A36		UNIT mm.
ITEM NO. 2	TITLE STEEL BASE	



MATERIAL
STEEL ASTM A36

UNIT
mm.

ITEM NO.
4

TITLE
ANCHOR BOLT JIG

ภาคผนวก ข

ข้อมูลและคุณสมบัติของอีพ็อกซีเกร้าท์

Product Data Sheet
Version 28/04/2010**Sikadur® -42TH (former Sikadur®-742RT)**

อีพ็อกซีเกร้าท์ไม่หดตัวให้กำลังอัดสูงพิเศษ

คุณลักษณะ	เป็นอีพ็อกซีเกร้าท์ที่มีความเหลวและมีความสามารถในการไหลตัวได้ดี มีส่วนผสมของอีพ็อกซีเรซิน ที่ให้กำลังอัดสูงประกอบด้วยส่วนผสม 3 ส่วนที่ผ่านการคัดเลือกเป็นพิเศษ ไม่มีส่วนผสมของสารทำละลาย เมื่อผสมส่วนผสมทั้งสามส่วน เข้าด้วยกัน จะได้มอร์ต้าที่มีความข้นเหลวเหมาะกับงานประเภทเกร้าท์หรือใช้สำหรับ รุดโพรงหรือช่องว่าง
การใช้งาน	Sikadur® -42TH (อีพ็อกซี -42พิเศษ) มีส่วนผสมของสารที่ไร้การหดตัวและไม่เกิดการหดตัวแต่อย่างใดสิ่งเหมาะที่จะใช้เกร้าท์งานประเภทต่าง ๆ ต่อไปนี้ แปรงเหล็ก(แผ่นฐาน)สำหรับรองรับคานสะพาน (Bearing Plate) ฐานรองรับเครื่องจักรกลเป็นตัวยึดสลักเกลียว (Bolt) แองเคอร์ต่าง ๆ (Anchor Bolt) ใช้ยึดวงเลื่อนของคอนกรีตของหนักเป็นตัวเสริมความแข็งแรง(Reinforcement)และใช้สำหรับการอุดรูโพรงในเนื้อคอนกรีตให้คอนกรีตมีความแข็งแรงกลับเหมือนเดิม
คุณประโยชน์	Sikadur® -42TH เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ง่ายและสามารถสร้างคุณประโยชน์อื่น ๆ ให้กับผู้ใช้ดังนี้ ไม่มีสารทำละลายมีความเหลวมากและไหลตัวได้ดีสามารถเทงานที่มีความหนาแน่นได้แห้งแข็งตัวได้เร็ว(ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ) ใช้ได้ทั้งกับพื้นผิวที่แห้ง และชื้นไม่เกิดการหดตัวเมื่อแห้งและแข็งตัว ให้กำลังทางกลสูง (Mechanical Strength) เป็นวัสดุที่ทนต่อแรงสั่นสะเทือนได้ดี
คำแนะนำการใช้งาน	
การเตรียมพื้นผิว	พื้นผิวทุกชนิดที่จะเกร้าท์ด้วย Sikadur® -42TH จะต้องแห้งสะอาดปราศจากน้ำและสิ่งแปลกปลอมใด ๆ ในกรณีที่พื้นผิวเดิมมีเศษขุยซีเมนต์เกาะติดให้ทำความสะอาดโดยใช้เครื่องมือกล เช่น การกันทราย ขัดด้วยแปรงลวด เป็นต้น
การรองพื้น	ไม่จำเป็นต้องใช้วัสดุรองพื้นใด ๆ
การผสม	ให้ผสมส่วนผสม A และ B ทั้งสองเข้าด้วยกัน ด้วยเครื่องผสมโดยใช้ความเร็วรอบต่ำ (ไม่เกิน 400 รอบต่อนาที) เป็นเวลาอย่างน้อย 1 นาที จนได้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงค่อย ๆ เทส่วนผสม C ลงไปในขณะที่กำลังผสมอยู่ จนได้มอร์ต้าที่มีเนื้อสีเดียวกันสม่ำเสมอ มีความข้นเหลวเหมาะสำหรับใช้งาน

Construction

Sikadur® -42TH 1/3
D03797060109T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทำงาน	การเก็บรักษาได้แผนเหล็กหรือฐานของรับน้ำหนักนั้น จะต้องควบคุมแรงดันในการเก็บรักษาอย่างสม่ำเสมอตลอดเวลาที่ทำการเทมอร์ติวลงในช่องที่เตรียมไว้เพื่อให้ Sikadur®-42TH เคลื่อนตัวอย่างต่อเนื่องจนเต็มโดยต้องเปิดช่องเพื่อให้อากาศภายใน ช่องถ่ายเทออกมาได้ในขณะที่ทำงานอยู่สำหรับการเทหรือหล่อในพื้นที่ที่มีขนาดกว้างใหญ่ มาก จำเป็นจะต้องแบ่งเป็นหลายชั้นนั้นการเททับหน้าจะกระทำได้ต่อเมื่อมอร์ติวที่เทชั้นล่างๆ แห้งตัวแล้วและเย็นตัวลงถึงอุณหภูมิปกติ	
การทำความสะดวก	ให้ทำความสะดวกเครื่องมือต่าง ๆ ที่มีที่เสริมงานด้วย ทินเนอร์ ซี (Thinner C)	
คำแนะนำที่สำคัญ	<p>ความหนาต่ำสุดในแต่ละชั้น = 15 มม. ความหนาสูงสุดในแต่ละชั้น = 150 มม. อายุขย คอนกรีตใรก่อนทำการเท = 3 - 6 สัปดาห์ ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ อุณหภูมิต่ำสุดของพื้นผิวขณะเท = 5°C อุณหภูมิสูงสุดของพื้นผิวขณะเท = 40°C อุณหภูมิสูงสุดขณะใช้งาน = 60°C</p> <p>ถ้าต้องการข้อมูลเพิ่มเติมสามารถสอบถามและศึกษาได้จากเอกสารเกี่ยวกับงานมอร์ติวของซิไกว้าได้ หมายเหตุ เพื่อให้ได้คุณภาพตามที่ระบุในเอกสารนี้จะต้องควบคุมอัตราส่วนผสมอย่างเคร่งครัด</p>	
ข้อมูลเชิงเทคนิค	<p>สี ส่วน A = ใส, ส่วน B = ใส, ส่วน C = เทา การเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ +5°C ถึง +40°C อายุการเก็บ เก็บได้นาน 12 เดือนในภาชนะเดิมที่ปิดสนิทและเก็บอย่างถูกวิธี ความหนาแน่น ประมาณ 2.0 กก./ลิตร อัตราส่วนผสม มีอัตราส่วนผสมดังนี้ ส่วนผสม A:B:C = 2 : 1 : 15 โดยน้ำหนัก พืดไลฟ์ (Potlife) จะมีค่าเปลี่ยนไปตามสภาพอุณหภูมิ และขึ้นตามตารางต่อไปนี้</p>	
	อุณหภูมิ °C	(12 กก.)
	40	40 นาที
	30	60 นาที
	20	2 ชั่วโมง
	10	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ารับกำลังอัด (Compressive Strength)	70-80 นิวตัน/ตรมม. ที่ 14 วัน
ค่ารับกำลังแรงดัด (Flexural Strength)	30-35 นิวตัน/ตรมม.
ค่ารับกำลังดึง (Tensile Strength)	15-20 นิวตัน/ตรมม.
ค่ารับกำลังการยึดเกาะ ต่อคอนกรีต (Bond Strength to Concrete)	3.5 นิวตัน/ตรมม. (คอนกรีตวิบัติ)
ค่ารับกำลังการยึดเกาะต่อเหล็ก (Bond Strength to Steel)	20 นิวตัน/ตรมม. (ทดสอบที่อุณหภูมิ 20°C ความชื้นสัมพัทธ์ 65%, อายุ 1 วัน)
ยังส์ โมดูลัส (Young's Modulus)	19,000 นิวตัน/ตรมม.
ขนาดบรรจุ	12 กก./ชุด



ข้อมูลระบุไว้ และต้องระมัดระวังเป็นพิเศษในการใช้งาน และปฏิบัติตามวิธีปฏิบัติอย่างเคร่งครัด การจะเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ Sika โดยจะต้องมีการจัดเก็บข้อมูลก่อนการใช้งาน และให้รายละเอียดการใช้งานที่ชัดเจนแก่ผู้ขาย Sika ซึ่งไม่แนะนำให้ใช้กับวัสดุที่มีลักษณะคล้ายกัน เช่น วัสดุ และอุปกรณ์เสริมอื่น ๆ ของ Sika ซึ่งไม่สามารถรับประกันประสิทธิภาพ หรือความทนทานได้ และอาจไม่มีการรับประกันจาก Sika โดย Sika จะไม่รับผิดชอบต่อการใช้งานที่ไม่ถูกต้อง หรือการละเมิดข้อกำหนดการใช้งาน Sika ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายได้ การใช้งานที่ผิดวิธีอาจทำให้ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ Sika ลดลง หรือเกิดความเสียหายได้ การใช้งานที่ผิดวิธีอาจทำให้ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ Sika ลดลง หรือเกิดความเสียหายได้ การใช้งานที่ผิดวิธีอาจทำให้ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ Sika ลดลง หรือเกิดความเสียหายได้

บริษัท ซิก้า (ประเทศไทย) จำกัด
สำนักงานใหญ่ และโรงงาน
700/37 หมู่ 5 นิคมอุตสาหกรรมบางปะกง เขต 2
ถนน 57 ถนนนาคราช ต.คลองเตย อ.เมือง
ชลบุรี 20000

โทร : +66 3821 4270-85
แฟกซ์ : +66 3821 4286
Email : sikathai@sika.co.th
Website : http://www.sika.co.th

Sikadur® -42TH 3/3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

1. ข้อมูลการทดสอบกำลังรับแรงดึงอ็อกซีฟ็อกซีเกร้าท์ตามมาตรฐาน ASTM C307



Designation: C 307 – 03

Standard Test Method for Tensile Strength of Chemical-Resistant Mortar, Grouts, and Monolithic Surfacing¹

This standard is issued under the fixed designation C 307; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of tensile strength of cured chemical-resistant materials in the form of molded briquets. These materials include mortars, brick and tile grouts, machinery grouts, and monolithic surfacings. These materials shall be based on resin, silicate, silica, or sulfur binders.

1.2 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards*:²
 - C 904 Terminology Relating to Chemical-Resistant Non-metallic Materials
 - E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions of terms used in this test method, see Terminology C 904.

4. Significance and Use

4.1 It is recognized that chemical-resistant mortars, grouts, and monolithic surfacings are not usually under tension when in service; however, such data are useful for purposes of determining the rate of cure and other properties.

4.2 This test method is not recommended for mortars, grouts, and monolithic surfacings containing aggregate greater than $\frac{3}{4}$ in.

5. Apparatus

5.1 *Weighing Equipment*, shall be capable of weighing materials or specimens to $\pm 0.3\%$ accuracy.

5.2 *Specimen Molds*—The molds for making briquet test specimens shall be sufficiently rigid to prevent deformation during molding and shall be made of corrosion-resistant material. Gang molds, when used, shall be of the type shown in Fig. 1. The dimensions of the briquet molds shall be the width of the mold, between inside faces, at waist line of briquet, 1 in. The width and the depth of the briquet mold at the waist line shall be $1 \text{ in.} \pm 0.02 \text{ in.}$ ($25 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$). The molds shall conform to the dimensional requirements shown in Fig. 2.

5.3 *Equipment for Mixing Materials*, shall consist of a container of suitable size, preferably corrosion resistant, and a strong, sturdy spatula, trowel, or mechanical mixer.

5.4 The following additional equipment is required for sulfur mortars.

5.4.1 *Melting Chamber*, of sufficient volume and heat capacity to melt the mortar sample and maintain the temperature of the melt between 260 and 290°F (127 and 143°C).³

5.4.2 *Laboratory Mixer*, of such a type and speed to be capable of lifting the aggregate without beating air into the melt.

5.4.3 *Ladle*, of sufficient capacity to completely pour one briquet.

5.5 *Testing Machine*, the testing machine shall be of any type sufficient to provide the required load and the rate of crosshead movement prescribed. It shall have been verified to have an accuracy of 1.0% or better within 12 months of the time of use in accordance with Practices E 4.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C03 on Chemical-Resistant Nonmetallic Materials and is the direct responsibility of Subcommittee C03.01 on Test Methods.

Current edition approved Oct. 10, 2003. Published November 2003. Originally published in 1953. Last previous edition approved in 1999 as C 307-99.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ The sole source of supply of the Forney capping compound melting chamber, Model LA-0130, known to the committee at this time is Forney Industries, Inc., 1565 Broadway Ave., Hemetite, PA 16148. If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend.

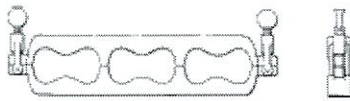


FIG. 1 Briquet Gang Mold

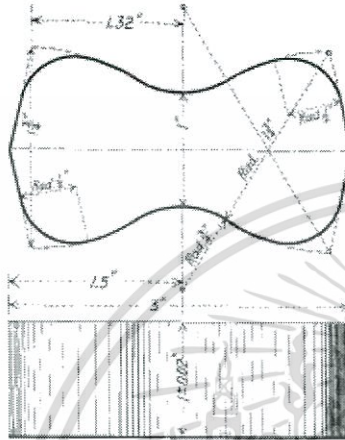


FIG. 2 Briquet Specimens for Tensile Strength Test

5.6 *Tension Clips*, for holding the tension test specimens, shall be in accordance with Fig. 3.

6. Test Specimens

6.1 All specimens for a single determination shall be made from a single mix containing sufficient amounts of the components in the proportions and in the manner specified by the manufacturer of the materials. If the proportions so specified are by volume, the constituents shall be weighed and the corresponding proportions by weight shall be reported.

6.1.1 *Number of Specimens*—Prepare a minimum of six briquet specimens for each material tested.

6.2 Temperature

6.2.1 *Resin, Silicate, and Silica Materials*—The standard temperature of the materials, molds apparatus, and the ambient temperature of the mixing area shall be $73 \pm 4^\circ\text{F}$ ($23 \pm 2^\circ\text{C}$). Record the actual temperature.

6.2.2 *Sulfur Mortars*—The material shall be maintained at $275 \pm 15^\circ\text{F}$ ($135 \pm 8^\circ\text{C}$). The temperature of the molds and the ambient temperature of the mixing area shall be $73 \pm 4^\circ\text{F}$ ($23 \pm 2^\circ\text{C}$). Record the actual temperature.

6.3 Molding Test Specimens

6.3.1 Assemble and lubricate the mold by applying a thin film of an appropriate mold release or lubricant like silicone stop-cock grease or petroleum jelly.

6.3.2 *Resin, Silicate, and Silica Materials*—Mix a sufficient amount of the components in the proportions and in the manner specified by the manufacturer of the materials. Fill the molds one-half full. Remove any entrapped air by using a cutting and stabbing motion with a spatula or rounded-end rod. Fill the remainder of the mold, working down into the previously

placed portion. Upon completion of the filling operations, the tops of the specimens should extend slightly above the tops of the molds. When the molds have been filled, strike off the excess material so that it is even with the top of the mold. Permit the material to remain in the mold until it has set sufficiently to allow removal without danger of deformation or breakage.

6.3.3 *Silicate Materials*—Some silicates may require covering during the curing period. After removal from the molds, acid-treat the specimens, if required, in accordance with the recommendations given by the manufacturer. No other treatment shall be permitted. Record the method of treatment in the report section under Conditioning Procedure.

6.3.4 Sulfur Mortars:

6.3.4.1 Assemble the mold in 6.3.1. However, cover the waist of the mold with a small lubricated plate.

6.3.4.2 Melt at least 2.2 lb (1.0 kg) of sulfur mortar in the melt chamber in not more than 1 h. Hold the temperature of the melt at $275 \pm 15^\circ\text{F}$ for at least 15 min while stirring gently with the laboratory mixer. (The mixer speed should be controlled so that it is sufficient to lift the aggregate without beating air into the melt.)

6.3.4.3 Using the ladle, pour the molten sulfur mortar into both sides of the mold and puddle it to completely fill the space under the plate. Allow the plate, placed across the center of the mold, to remain in place for at least 15 min after the briquet has been poured.

7. Conditioning

7.1 *Resin, Silicate, and Silica Materials*—Age the test specimens for a period of seven days, including the cure period in the mold, at $73 \pm 4^\circ\text{F}$ ($23 \pm 2^\circ\text{C}$). If a longer or shorter conditioning period is used, the time shall be reported.

7.2 *Sulfur Materials*—Before testing, condition the specimens at $73 \pm 4^\circ\text{F}$. The time between casting the specimen and testing the specimen shall be at least 24 h.

8. Procedure

8.1 *Measurement of Specimens*—Measure the depth and the width at the waist of each test specimen to the nearest ± 0.02 in. (0.5 mm).

8.2 Test the specimens on the seventh day after preparation. If desired, the conditioning time may be lengthened or shortened to establish the age-strength relationship. Report the age of the specimens.

8.2.1 Sulfur materials may be tested 24 h after preparation.

8.3 Center the specimens carefully in the clips of the testing machine. Pull the specimens at a speed of 0.20 to 0.25 in./min (5 to 6.4 mm/min) of crosshead movement (speed of movement when the machine is running without a load).

9. Calculations

9.1 *Tensile Strength*—The tensile strength is equal to the stress calculated at maximum load. It is calculated as follows:

$$S = P/bd \quad (1)$$

ASME C 307 - 03

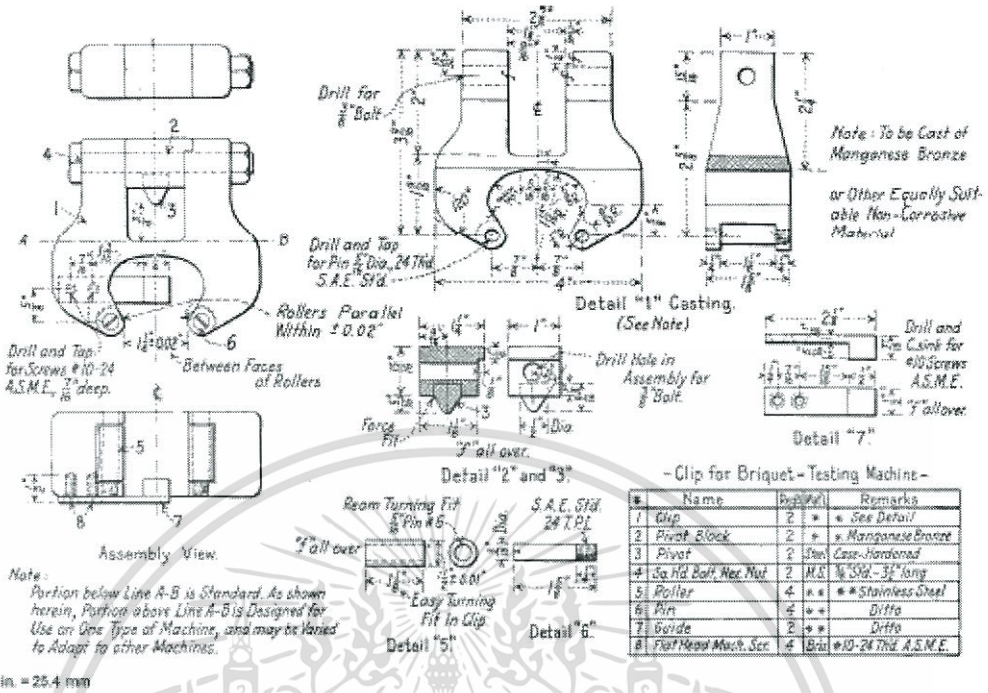


FIG. 3 Clips for Briquet Towing Machines

where:

- S = stress in the specimen at the waist, psi (MPa),
- P = load at the moment of crack or break, lbf (N),
- b = width at the waist of the briquet tested, in. (mm), and
- d = depth of briquet tested, in. (mm).

10. Report

- 10.1 The report shall include the following:
 - 10.1.1 Manufacturer, product trade name, and generic type,
 - 10.1.2 Mixing ratio, if applicable,
 - 10.1.3 Conditioning procedure,
 - 10.1.4 Test conditions (temperature and humidity),
 - 10.1.5 Total duration of conditioning in days, and
 - 10.1.6 Individual and averaged results of tensile strength.

11. Precision and Bias


- 11.1 Precision and bias for this test method have not been established.
- 11.2 Test specimens that are manifestly faulty should be rejected and not considered in determining the tensile strength. Jawbreaks should be rejected.

11.3 If any strength value differs from the mean by more than 15%, the farthest value from the mean shall be rejected and the mean recalculated. Repeat the process until all the tested values are within 15% of the mean. If less than two-thirds of the values remain, the test shall be rerun.

12. Keywords

12.1 chemical resistant; grout; monolithic surfacing; mortar; tensile strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


C 307 – 03

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 810-832-9585 (phone), 810-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ข้อมูลการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่พอกซีเกร้าท์ตามมาตรฐาน ASTM C307



Designation: C 579 – 01

Standard Test Methods for Compressive Strength of Chemical-Resistant Mortars, Grouts, Monolithic Surfacing, and Polymer Concretes¹

This standard is issued under the fixed designation C 579; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 These test methods cover the determination of the compressive strength of chemical-resistant mortars, grouts, monolithic surfacings, and polymer concretes. These materials may be based on resin, silicate, silica, or sulfur binders.

1.2 Test Method A outlines the testing procedure generally used for systems containing aggregate less than 0.0625 in. (1.6 mm) in size. Test Method B covers the testing procedure generally used for systems containing aggregate from 0.0625 to 0.4 in. (1.6 to 10 mm) in size. Test Method C is used for systems containing aggregate larger than 0.4 in.

1.3 These test methods provide two different methods for controlling the testing rate.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

1.5 The values stated in inch-pound units are to be regarded as standard. Within this text, the SI units shown in parentheses are provided for information only.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

C 470 Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically²

C 904 Terminology Relating to Chemical-Resistant Non-metallic Materials³

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁴

3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions of terms used in these test methods, see Terminology C 904.

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee C03 on Chemical-Resistant Nonmetallic Materials and are the direct responsibility of Subcommittee C03.01 on Test Methods.

Current edition approved May 10, 2001. Published July 2001. Originally published as C 579 – 68. Last previous edition C 579 – 96.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.05.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.01.

4. Significance and Use

4.1 These test methods offer a means of determining the compressive strength of chemical-resistant mortars, grouts, monolithic surfacings, and polymer concretes.

5. Apparatus

5.1 *Equipment*, capable of weighing materials or specimens to $\pm 0.3\%$ accuracy.

5.2. Specimen Molds:

5.2.1 *Test Method A*—These molds shall be right cylinder $1 \pm \frac{1}{32}$ in. (25 ± 0.8 mm) in diameter by $1 \pm \frac{1}{32}$ in. high. The molds may be constructed in any manner that will allow formation of a test specimen of the desired size. Typical molds consist of a 1-in. thick, flat plastic sheet in which 1-in. diameter, smooth-sided holes have been cut, and to the bottom of which a $\frac{1}{4}$ -in. (6-mm) thick, flat plastic sheet (without matching holes) is attached by means of screws or bolts. Alternately, the molds may consist of sections of round plastic tubing or pipe, 1-in. inside diameter and 1 in. long, having sufficient wall thickness to be rigid and retain dimensional stability during the molding operation, and a $\frac{1}{4}$ -in. thick, flat plastic sheet on which one open end of each section can be rested. With the latter style of mold, the tubing segment may be sealed with a material, such as caulking compound or stopcock grease. For most types of specimens it is satisfactory to simply seal one end of the tubing segment with masking tape.

Note 1—For use with sulfur mortars an additional piece of flat plastic sheet at least $\frac{1}{4}$ in. (3 mm) thick containing a $\frac{1}{4}$ -in. (6-mm) hole and a section of plastic tubing or pipe 1 in. (25 mm) in diameter by 1 in. high are required. They are used to form a pouring gate and reservoir in the preparation of sulfur mortar specimens.

5.2.2 *Test Method B*—Molds for the 2 in. (50 mm) cube specimens shall be tight fitting and leakproof. The molds shall have not more than three cube compartments and shall be separable into not more than three parts. The parts of the molds, when assembled, shall be positively held together. The molds shall be made of materials not attacked by the product being tested. The sides of the molds shall be sufficiently rigid to prevent spreading or warping. The interior faces of the molds shall be manufactured to ensure plane surfaces with a permissible variation of 0.002 in. (0.05 mm). The distances

between opposite faces shall be $2 \pm \frac{1}{16}$ in. (50 ± 0.8 mm). The height of the molds, measured separately for each cube compartment shall be $2 \pm \frac{1}{16}$ in. The angle between adjacent interior faces and between interior faces and top and bottom planes of the mold shall be $90 \pm 0.5^\circ$ measured at points slightly removed from the intersection of the faces.

5.2.3 Test Method C—Molds shall be right cylinders made of heavy gage metal or other rigid nonabsorbent material. The cylinder diameter shall be at least four times the nominal maximum aggregate size in the mix. The minimum cylinder diameter shall be 2 in. (50 mm). The cylinder height shall be two times the diameter. The plane of the rim of the mold shall be at right angles to the axis within 0.5° . The mold shall be at right angles to the axis within 0.5° . The mold shall not vary from the prescribed diameter by more than $\frac{1}{16}$ in. (1.5 mm) nor from the prescribed height by more than $\frac{1}{8}$ in. (3 mm). Molds shall be provided with a flat base plate with a means for securing it to the mold at a right angle to the axis of the cylinder in the instance of reusable metal molds. For molds other than metal, a mechanically attached smooth flat metal or integrally molded flat bottom of the same material, as the sides shall be used. Single-use molds shall conform to Specification C 470.

NOTE 2—The material from which the mold is constructed must be chemically inert and have anti-stick properties. Polyethylene, polypropylene, polytetrafluoroethylene, and metal forms having either a sintered coating of tetrafluoroethylene or a suitable release agent compatible with the material being tested are satisfactory. Because of their superior heat resistance, only tetrafluoroethylene and polytetrafluoroethylene mold release agents should be used with sulfur materials.

5.3 The testing machine may be of any type of sufficient capacity which will provide the rates of loading prescribed. It shall have been verified to have an accuracy of 1.0 %, or better, within twelve months of the time of use in accordance with Practices E 4. The testing machine shall be equipped with two steel bearing blocks with hardened faces, one of which is a spherically seated block that will bear on the top bearing plate, and the other a plain rigid block that will support the bottom bearing plate. The diameter of the spherical bearing block shall be at least 75 % of the width of the specimen. The bearing faces shall not depart from a plane by more than 0.001 in. (0.025 mm) in any 6-in. (150-mm) diameter circle.

6. Test Specimens

6.1 Make all specimens for a single determination from a single mix.

6.2 Test Method A—Prepare test specimens to be used in accordance with Test Method A as described in 6.5. Test specimens shall be right cylinders $1 + \frac{1}{54} - \frac{1}{16}$ in. ($25 + 0.8 - 1.6$ mm) in diameter by $1 \pm \frac{1}{16}$ in. (25 ± 1.6 mm) high. If the faces of the specimen are not flat, smooth, and normal to the cylinder axis, they may be sanded, ground, or machined to specification. Exercise care that the frictional heat developed during such operations does not damage the specimens.

6.3 Test Method B—Prepare test specimens to be used in accordance with Test Method B as described in 6.5. Test specimens shall be cubes with dimensions of $2 + \frac{1}{16} - \frac{1}{8}$ in. ($50 + 1.5 - 3.0$ mm). If the faces of the cube are not flat,

smooth, and normal to each other, they may be sanded, ground, or machined to specification. Exercise care that the frictional heat developed during such operations does not damage the specimens.

6.4 Test Method C—Prepare test specimens to be used in accordance with Test Method C as described in 6.6.

6.4.1 Do not test specimens if any individual diameter of a cylinder differs from any other diameter of the same cylinder by more than 2 %.

6.4.2 Neither end of compressive test specimens, when tested, shall depart from perpendicular to the axis by more than 0.5° (approximately equivalent to $\frac{1}{16}$ in. in 12 in. (3 mm in 300 mm). Cap the ends of compression test specimens that are not flat within 0.002 in. (0.05 mm) in accordance with 6.6, sawed or ground. Determine the diameter used for calculating the cross-sectional area of the test specimen to the nearest 0.01 in. (0.25 mm) by averaging two diameters measured at right angles to each other at about mid-height of the specimen.

6.5 Specimen Preparation for Test Methods A and B:

6.5.1 Resin, Silicate, and Silica Materials—Mix a sufficient amount of the components in the proportions and in the manner specified by the manufacturer of the materials. Fill the molds one-half full. Remove any entrapped air by using a cutting and stabbing motion with a spatula or rounded-end rod. Fill the remainder of the mold, working down into the previously placed portion. Upon completion of the filling operation, the tops of the specimens should extend slightly above the tops of the molds. When the molds have been filled, strike off the excess material, even with the top of the mold. Permit the material to remain in the mold until it has set sufficiently to allow removal without danger of deformation or breakage.

6.5.1.1 Silicate Materials—Some silicates may require covering during the curing period. After removal from the molds, acid-treat the specimens, if required, in accordance with the recommendations given by the manufacturer. No other treatment shall be permitted. Record the method of treatment in 9.1.8.

6.5.2 Sulfur Materials:

6.5.2.1 Sulfur Mortars—Slowly melt a minimum of 2 lb (900 g) of the material in a suitable container at a temperature of 265 to 290°F (130 to 145°C) with constant agitation. Stir to lift and blend the aggregate without beating air into the melt. Place the piece of plastic sheet containing the $\frac{1}{4}$ -in. (6-mm) round hole over the open face of the mold with the hole centered on the face. On top of the piece of plastic sheet and surrounding the hole, place a section of plastic tubing or pipe 1 in. (25 mm) in diameter by 1 in. high. Pour the melted material through the hole into the mold and continue to pour until the section of tubing or pipe is completely filled. The excess material contained in the hole in the plastic sheet acts as a reservoir to compensate for shrinkage of the material during cooling.

6.5.2.2 Allow the specimen to remain in the mold until it has completely solidified. Upon removal, file, grind, or sand the surface flush, removing the excess material remaining at the pouring gate.

6.5.2.3 Sulfur Concrete—Heat and mix a sufficient amount of aggregate components and sulfur cement in the proportions

and in the manner specified by the manufacturer to a temperature of 265 to 290°F (130 to 145°C). Fill the molds one-half full. Rod 25 times using a rounded 3/8-in. (15-mm) diameter rod. Distribute the strokes uniformly over the cross section of the mold. Repeat with two additional portions allowing the rod to penetrate about 1/2 in. (12 mm) into the underlying layer. After consolidation, the tops of the specimens should extend slightly above the tops of the molds. Finish the top surface by striking off the excess material even with the top of the mold. Permit the material to remain in the mold until it has cooled sufficiently to allow removal without danger of deformation or breakage.

6.5.3 *Number of Test Specimens*—Prepare six test specimens for each material formulation.

6.6 *Specimen Preparation for Test Method C*—Prepare specimens in accordance with 6.5 with the following additional considerations:

6.6.1 Use of vibrators is generally not required for sulfur concrete but may be required for other materials using Test Method C. The type and method of vibrating will be as recommended by the manufacturer and shall be specified in the test report.

6.6.2 *Filling and Capping for Cylindrical Resin, Silica, and Silicate Specimens*—The top layer may be filled to slightly below the top edge of the mold except for sulfur materials. For sulfur materials, fill slightly above the top edge and strike off flush with the top edge. The top surface of the specimen shall be finished as much as practicable to a plane perpendicular to the axis of the specimen. The flatness of the finished specimen shall be within 0.010 in. (0.25 mm). Specimens exceeding this tolerance shall be machined flat or a capping compound shall be applied if the test load is to be applied to the surface.

6.6.2.1 Capping, if used, shall be made as thin as practicable and shall be applied before removal of the polymer concrete from the molds.

6.6.2.2 If a polymer paste or mortar is used for capping, it is preferable that the polymer used be the same as the one used to make the specimen. Fillers used may be the fine portion used in the polymer concrete or another mineral powder.

6.6.2.3 For capping in the mold, a suitable capping compound may be made from a polymer mortar. The surface of the polymer concrete shall be wiped off after hardening, and a polymer mortar or polymer paste with suitable fillers shall be deposited and pressed down uniformly to the top edge of the mold with a capping plate. In order to prevent the capping plate from bonding to the paste or mortar, the underside of the capping plate shall be covered with a release agent.

6.6.2.4 For capping after mold removal, stiff polymer paste or mortar or a low-melting-point alloy for capping shall be used. A suitable apparatus to maintain parallel ends on the specimens shall be used.

Note 3—Any capping compound to be used with polymer concrete should be tested to ascertain that its strength is high enough to prevent premature failure in the cap when testing in high compressive strength polymer concretes. Cap failure may result in substantially lower compressive strength results.

7. Conditioning

7.1 *Resin and Silica Materials*—Age the test specimens in

air at 73°F ± 4°F (23°C ± 2°C) for a period of seven days, including the time in the mold before testing.

7.2 *Silicate Materials*—Follow the same procedure as given in 7.1, the only exception being that the relative humidity of the surrounding air must be kept below 80%.

7.3 *Sulfur Materials*—Age the test specimens in air at 73°F ± 4°F for at least 24 h including the time in the mold, before testing.

8. Procedure

8.1 *Measurement of Specimens:*

8.1.1 *Test Method A and Test Method C*—Immediately following the conditioning period, measure the diameter of all test specimens to the nearest 0.001 in. (0.0254 mm), using a micrometer. Make two measurements at right angles to each other at mid-height and record the diameter as the average of the two.

8.1.1.1 Immediately after measuring, proceed to test as described in 8.2.

8.1.2 *Test Method B*—Immediately following the conditioning period, measure the cross-sectional dimensions of all test specimens to the nearest 0.001 in. (25 μm) using a micrometer. Take two measurements for each dimension at mid-height and perpendicular to the load axis and average them.

8.1.2.1 Immediately after measuring, proceed to test as described in 8.2.

8.2 *Compression Testing:*

8.2.1 *Compression tests* shall be performed at 73 ± 4°F.

8.2.2 *Placing the Specimen*—Place the bearing block, with its hardened face up, on the table or platen of the testing machine directly under the spherically seated (upper) bearing block. Wipe clean the bearing faces of the upper and lower bearing blocks and of the test specimen and place the test specimen on the lower bearing block. As the spherically seated block is brought to bear on the specimen, rotate its movable portion gently by hand so that uniform seating is obtained.

8.2.3 *Rate of Loading:*

8.2.3.1 *Load Rate I*—Apply the load continuously and without shock. Test at a rate of 6000 psi/min (41 MPa/min). Make no adjustment in the controls of the testing machine while a specimen is rapidly yielding, immediately before failure.

8.2.3.2 *Load Rate II*—Set the testing machine to a crosshead speed of 0.1 to 0.125 in./min times the specimen height in inches (0.1 to 0.125 cm/min times the specimen height in centimetres) when the machine is running without load.

Note 4—The above methods of controlling machine crosshead rate are not identical and may produce different compressive strength values.

8.2.4 Load the test specimen to failure and record the maximum load (W).

8.3 *Calculation:*

8.3.1 *Test Method A and Test Method C:*

8.3.1.1 Calculate compressive strength(s) as follows:

$$S = (4W)/(\pi \times D^2) \quad (1)$$

where:

 C 579

S = compressive strength, psi (MPa),
 W = maximum load, lb (N), and
 D = diameter measured in 8.1.1, in. (mm).

8.3.2 Test Method B:

8.3.2.1 Calculate compressive strength(s) as follows:

$$S = (W)/(L_1 \times L_2) \quad (2)$$

where:

S = compressive strength, psi (MPa),
 W = maximum load, lb (N), and
 L_1 and L_2 = cross-section dimensions of cube measured in 8.1.2, in. (mm).

9. Report

9.1 Report the following information:

9.1.1 Complete material identification, date,

9.1.2 Mixing ratio,

9.1.3 Use of Test Method A, Test Method B, or Test Method

C,

9.1.3.1 Use of Load Rate I or II

9.1.4 Capping material and method, if used,

9.1.5 Specimen dimensions,

9.1.6 Description of failure including type of failure, appearance of specimen, and whether aggregate was fractured.

9.1.7 Defects in specimens,

9.1.8 Conditioning procedure,

9.1.9 Test conditions (temperature and humidity),

9.1.10 Loading rate,

9.1.11 Maximum load indicated by testing machine, and

9.1.12 Individual and average compressive strength values.

10. Precision and Bias

10.1 Test specimens that are manifestly faulty should be rejected and not considered in determining the compressive strength.

10.2 If any strength value(s) differs from the mean by more than 15 %, the value farthest from the mean shall be rejected and the mean recalculated. If any value(s) still differs from the new mean by more than 15 %, the farthest value should again be rejected and the mean recalculated. If any value(s) remains 15 % from the mean, the test should be rerun.

11. Keywords

11.1 brick mortars; chemical-resistant; compressive strength; machinery grouts; monolithic surfacings; polymer concrete; resin materials; silicate materials; sulfur materials; tile grouts

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either approved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2955, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-632-9555 (phone), 610-632-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail), or through the ASTM website (www.astm.org).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

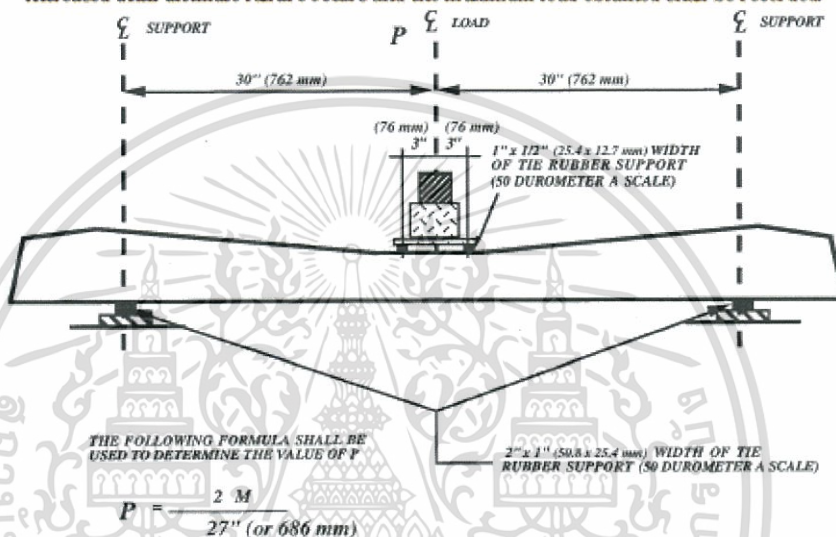
3. ข้อมูลการทดสอบแรงถอนวัตถุฝังยึด ตามมาตรฐาน AREMA 2000 Chapter 30 Part 12

Concrete Ties

12.9.1.8 Bond Development, Tendon Anchorage, and Ultimate Load Test

- a. Pretensioned concrete ties shall be tested for bond development, and ultimate strength as specified below:

- (1) With the tie supported and loaded at rail seat A as shown in Figure 1-8, a load increasing at a rate not greater than 5 kips (22 kN) per minute shall be applied until a total load of 1.5P is obtained (the load P shall be as determined in "Rail Seat Vertical Load Test" for positive moment).
- (2) If there is no more than 0.001 inch (0.025 mm) tendon slippage determined by an extensometer reading to 1/10,000 of an inch (1/400 mm), the requirements of this test will have been met. The measurement shall be made on the outermost tendons of the lower layer. The load shall then be increased until ultimate failure occurs and the maximum load obtained shall be recorded.



M = POSITIVE MOMENT AT THE CENTER OF THE TIE AS REQUIRED IN ARTICLE 12.4.1

Figure 1-10. Tie Center Positive Moment Test

- b. Post-tensioned concrete ties shall be tested for tendon anchorage and ultimate strength as specified below:

With the tie supported and loaded as shown in Figure 1-8, a load increasing at a rate not greater than 5 kips (22 kN) per minute shall be applied until a total load equal to 1.5P is obtained. If the tie can support this load for a period of 5 minutes, the requirements of this test will have been met. The load shall then be increased until ultimate failure of the tie occurs, and the maximum load obtained shall be recorded.

12.9.1.9 Fastening Insert Test

Fastening inserts shall be subjected to a pull-out test and a torque test as follows:

Concrete Ties

- a. The pull-out test shall be performed on each insert as shown on **Figure 1-11**. An axial load of 12 kips (53.4 kN) shall be applied to each insert separately and held for not less than 3 minutes, during which time an inspection shall be made to determine if there is any slippage of the insert or any cracking of the concrete.

NOTE: Mortar cracking in the vicinity of the insert is not a cause for failure. If failures occur, then the requirements of this test will not have been met. Inability of the insert itself to resist the 12 kips (53.4 kN) load without permanent deformation shall also constitute failure of this test.

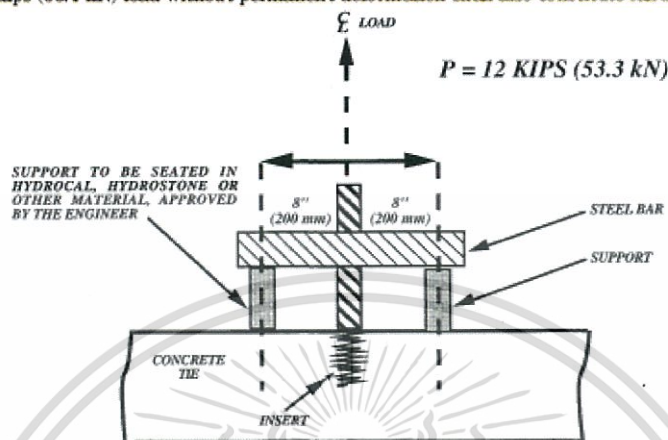


Figure 1-11. Insert Pullout Test

- b. Following successful completion of the insert pull-out test, the torque test shall be performed on each insert. A torque of 250 ft-lb-arema (339 N•m) shall be applied about the vertical axis of the insert by means of a calibrated torque wrench and a suitable attachment to the insert. The torque shall be held for not less than 3 minutes. Ability of the insert to resist this torque without rotation, cracking of the concrete, or permanent deformation shall constitute passage of this test.

12.9.1.10 Fastening Uplift Test

- a. An 18 to 20 inches (460 mm - 510 mm) piece of the proper section of rail shall be secured to one rail seat using a complete rail fastening assembly including pads, bolts, clips and associated hardware, as recommended by the manufacturer of the rail fastening system. In accordance with the loading diagram in **Figure 1-12**, an incremental load shall be applied to the rail. The load P (measured load plus unsupported tie weight plus frame weight) at which separation of the rail from pad or pad from rail seat occurs (whichever occurs first) shall be recorded.¹
- b. The load shall then be completely released. A load of 1.5P not to exceed 10 kips (44.5 kN) shall then be applied. The inserts shall not pull out or loosen in the concrete and no component of fastening system shall fracture nor shall the rail be released.

¹ "P" shall not exceed 10 kips (44.5 kN).