

โครงการวิศวกรรมชลประทาน

(02207499)

ที่ 2/2562

เรื่อง

การศึกษาความสามารถในการทนแรงดึงของรอยต่อผ้าใบคอนกรีต

An experimental study on the tensile strength of concrete fabric joint.

โดย

นางสาวจิรนนท์

จันทร์มณี

นางสาวนิศารัตน์

ลิมอุดมทรัพย์

นายธนากร

ทูลยอด

เสนอ

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา-ชลประทาน)

พุทธศักราช 2562

(ชื่อภาษาไทย) การศึกษาความสามารถในการทนแรงดึงของรอยต่อผ้าใบคอนกรีต

(ชื่อภาษาอังกฤษ) An experimental study on the tensile strength of concrete fabric joint

โดย

นางสาวจิรนนท์	จันทร์มณี	5920500328
นางสาวนิศารัตน์	ลิ้มอุดมทรัพย์	5920500433
นายธนากร	ทูลยอด	5920503106

โครงการวิศวกรรมชลประทาน

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมชลประทาน

ใบรับรองโครงการวิศวกรรมชลประทาน

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เรื่อง : การศึกษาความสามารถในการทนแรงดึงของรอยต่อผ้าใบคอนกรีต

Title : An experimental study on the tensile strength of concrete fabric joint

นามผู้จัดทำ

นางสาวจิรนนท์

จันทร์มณี

นางสาวนิศารัตน์

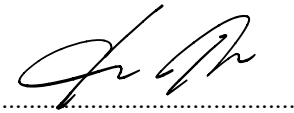
ลิ่มอุดมทรัพย์

นายธนากร

ทูลยอด

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

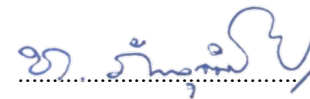
ประธานกรรมการ



(รศ.ดร.สมชาย ดอนเจดีย์)

23 / 04 / 63

กรรมการ



(อ.ดร.ทรงศักดิ์ ภัทรารุฒิชัย)

23 / 04 / 63

กรรมการ



(อ.ดร.เกษรรา สิทธิโชค)

23 / 04 / 63

หัวหน้าภาควิชา

.....

(ผศ.นิมิตร เจริญนันทพัฒนา)

...../...../.....

บทคัดย่อ


ชื่อเรื่อง : การศึกษาความสามารถในการทนแรงดึงของรอยต่อผ้าใบคอนกรีต

โดย : นางสาวจิรนนท์ จันทร์มณี

นางสาวนิศารัตน์ ลิ้มอุดมทรัพย์

นายธนากร ทูลยอด

อาจารย์ที่ปรึกษา :



(รศ.ดร.สมชาย ดอนเจดีย์)

23 / 04 / 63

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความสามารถในการทนแรงดึงของรอยต่อผ้าใบคอนกรีตแบบต่าง ๆ โดยใช้วัสดุประสาน 3 ชนิดคือ ซีเมนต์เฟลส มอร์ต้าร์ และ ซิลิโคน ใช้หมุดยึด 2 ชนิดคือ ตะปูหมวก และ น็อตสกรู ที่ระยะห่างต่างกัน 4 ระยะคือ 5, 7.5, 10 และ 15 ซม. ก่อนการทดสอบตัวอย่างได้ถูกนำไปบ่มในน้ำด้วยระยะเวลาที่ 28 วัน จากการทดลองในตัวเชื่อมประสานชนิดเดียวกันที่หมุดยึดระยะต่าง ๆ มีค่าความสามารถรับแรงดึงรอยต่อผ้าใบคอนกรีตไม่ต่างกันมาก แต่เมื่อเปรียบเทียบชนิดของตัวเชื่อมประสานทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ซีเมนต์เฟลส , มอร์ต้าร์, และซิลิโคน พบว่าค่าความสามารถรับแรงดึงรอยต่อผ้าใบคอนกรีตของมอร์ต้าร์มีค่าน้อยที่สุด

คำสำคัญ: ผ้าใบคอนกรีต; แรงดึง; ระยะเวลาการบ่ม; วัสดุยึดประสาน; หมุดยึด

Abstract

Title : An experimental study on the tensile strength of concrete fabric joint

By : Jeeranan Chanmanee

Nisarat Limudomsap

Thanakorn Tulyor

Project Adviser :



(Assoc Prof. Somchai Donjadee)

.....23...../.....04...../.....63.....

This research has studied the tensile strength of different types of concrete fabric joints. Three types of joints as, cement paste, mortar and silicone and 2 types of nails are umbrella nails, and parker screw were used in this study. Four different spacing of nail are 5, 7.5, 10 and 15 cm were evaluated. Samples were cured in fresh water at 28 days before testing. It was found the tensile strengths were not different when using the different joints with the same distances of nail. However, when use the same space of nail, the result shown that the tensile strength of the concrete fabric joint of mortar is lower than other.

Keywords : concrete fabric; tensile strength; curing period; Binder; rivets.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีเพราะได้รับความกรุณาจาก รศ.ดร.สมชาย ดอนเจดีย์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาที่ได้อนุเคราะห์สนับสนุนทุนโครงการวิจัยตลอดจนให้คำปรึกษาแนะนำในการทำโครงการวิศวกรรมชลประทาน ครั่งนี้จึงสำเร็จผล

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมชลประทานและภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ได้อนุเคราะห์ในการใช้สถานที่สำหรับการทำงานทุกอย่างซึ่งทำให้การดำเนินของโครงการเล่มสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณคุณเอก ไกรรอด ที่ได้อนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ห้องปฏิบัติการในการทำโครงการซึ่งทำให้การดำเนินของโครงการเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณพระคุณบริษัทสยามวิจัยและนวัตกรรม จำกัด ในเครือปูนซิเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ที่อนุเคราะห์ผ้าใบคอนกรีตสำหรับการทำงานซึ่งทำให้การดำเนินของโครงการเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นางสาวจิรนนท์ จันทรมณี

นางสาวนิศารัตน์ ลิ้มอุดมทรัพย์

นายธนากร ทูลยอด

ผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	VII
สารบัญภาพ	IX
สารบัญภาพผนวก	X
สารบัญตารางผนวก	XV
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหางานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 ทฤษฎีความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดทางวิศวกรรม	5
3 เครื่องมือที่ใช้ในการทำโครงการ	6
3.1 วัสดุ	6
3.2 อุปกรณ์	6
4 วิธีการดำเนินโครงการ	7
4.1 การเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง	7
4.2 การทดสอบชิ้นงานตัวอย่าง	8
5 ผลการดำเนินโครงการและวิจารณ์	10
6 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ	14
6.1 สรุปผลการทดลอง	14
6.2 ข้อเสนอแนะ	14
7 บรรณานุกรม	15
8 ภาคผนวก	16
8.1 ภาคผนวก ก. การเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง	16
8.2 ภาคผนวก ข. การทดสอบแรงดึง	18
8.2.1 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานซีเมนต์เฟลส	18
8.2.2 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานมอร์ตาร์	23
8.2.3 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานซิลิโคน	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
8.3 ภาคผนวก ค.กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain	33
8.3.1 ตัวเชื่อมประสานซีเมนต์เฟลส	33
8.3.2 ตัวเชื่อมประสานมอร์ตาร์	38
8.3.3 ตัวเชื่อมประสานซิลิโคน	43

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1. ผ้าใบคอนกรีต	1
รูปที่ 2. เครื่อง Machine Universal Testing	6
รูปที่ 3. ชิ้นงานตัวอย่างขนาด 3.5X20 ซม.	7
รูปที่ 4. ชิ้นงานตัวอย่างขนาด 3.5X30 ซม.	8
รูปที่ 5. ขั้นตอนการทำโครงงาน	9
รูปที่ 6. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain	10
รูปที่ 7. แผนภูมิแสดงแรงดึงสูงสุดของตัวเชื่อมประสานซีเมนต์เฟลสที่อายุ 28 วัน	11
รูปที่ 8. แผนภูมิแสดงแรงดึงสูงสุดของตัวเชื่อมประสานมอร์ตาร์ที่อายุ 28 วัน	12
รูปที่ 9. แผนภูมิแสดงแรงดึงสูงสุดของตัวเชื่อมประสานซิลิโคนที่อายุ 28 วัน	13

สารบัญรูปภาพผนวก

	หน้า
รูปผนวกที่ ก1 วัดขนาดผ้าใบคอนกรีต	16
รูปผนวกที่ ก2 ผสมมอร์ตาร์	16
รูปผนวกที่ ก3 ผสมซีเมนต์เพลส	16
รูปผนวกที่ ก4 วัดระยะห่างตัวหมุด	16
รูปผนวกที่ ก5 ทำการเชื่อมตัวประสานด้วยซิลิโคนลงบนแผ่นผ้าใบคอนกรีต	16
รูปผนวกที่ ก6 ทำการเชื่อมตัวประสานด้วยซีเมนต์เพลสและมอร์ตาร์ลงบนแผ่นผ้าใบคอนกรีต	16
รูปผนวกที่ ก7 ใส่ตัวหมุด	17
รูปผนวกที่ ก8 เอาผ้าใบคอนกรีตขึ้นจากน้ำหลังครบกำหนดวันบ่ม	17
รูปผนวกที่ ก9 ตัดผ้าใบคอนกรีตเพื่อจะนำไปทดสอบแรงดึง	17
รูปผนวกที่ ก10 ทดสอบแรงดึง	17
รูปผนวกที่ ข1 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เพลส ขนาด 3.5 x 20 ซม.	18
รูปผนวกที่ ข2 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เพลส ขนาด 3.5 x 30 ซม.	18
รูปผนวกที่ ข3 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เพลส ขนาด 3.5 x 20 ซม.และ หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 5 ซม.	19
รูปผนวกที่ ข4 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เพลส ขนาด 3.5 x 20 ซม.และ หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 10 ซม.	19
รูปผนวกที่ ข5 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เพลส ขนาด 3.5 x 30 ซม.และ หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 7.5 ซม.	20
รูปผนวกที่ ข6 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เพลส ขนาด 3.5 x 30 ซม.และ หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 15 ซม.	20
รูปผนวกที่ ข7 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เพลส ขนาด 3.5 x 20 ซม.และ หมุดยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 5 ซม.	21
รูปผนวกที่ ข8 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เพลส ขนาด 3.5 x 20 ซม.และ หมุดยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 10 ซม.	21
รูปผนวกที่ ข9 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เพลส ขนาด 3.5 x 30 ซม.และ หมุดยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 7.5 ซม.	22

สารบัญรูปภาพผนวก (ต่อ)

หน้า

รูปผนวกที่ ข10 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์ดพลส ขนาด 3.5 x 30 ซม.และ หมุดยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 15 ซม.	22
รูปผนวกที่ ข11 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ต้าร์ ขนาด 3.5 x 20 ซม.	23
รูปผนวกที่ ข12 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ต้าร์ ขนาด 3.5 x 30 ซม.	23
รูปผนวกที่ ข13 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ต้าร์ ขนาด 3.5 x 20 ซม.และ หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 5 ซม.	24
รูปผนวกที่ ข14 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ต้าร์ ขนาด 3.5 x 20 ซม.และ หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 10 ซม.	24
รูปผนวกที่ ข15 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ต้าร์ ขนาด 3.5 x 30 ซม.และ หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 7.5 ซม.	25
รูปผนวกที่ ข16 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ต้าร์ ขนาด 3.5 x 30 ซม.และ หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 15 ซม.	25
รูปผนวกที่ ข17 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ต้าร์ ขนาด 3.5 x 20 ซม.และ หมุดยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 5 ซม.	26
รูปผนวกที่ ข18 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ต้าร์ ขนาด 3.5 x 20 ซม.และ หมุดยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 10 ซม.	26
รูปผนวกที่ ข19 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ต้าร์ ขนาด 3.5 x 30 ซม.และ หมุดยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 7.5 ซม.	27
รูปผนวกที่ ข20 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ต้าร์ ขนาด 3.5 x 30 ซม.และ หมุดยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 15 ซม.	27
รูปผนวกที่ ข21 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีลีโคน ขนาด 3.5 x 20 ซม.	28
รูปผนวกที่ ข22 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีลีโคน ขนาด 3.5 x 30 ซม.	28
รูปผนวกที่ ข23 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีลีโคน ขนาด 3.5 x 20 ซม.และ หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 5 ซม.	29
รูปผนวกที่ ข24 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีลีโคน ขนาด 3.5 x 20 ซม.และ หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 10 ซม.	29

สารบัญรูปภาพผนวก (ต่อ)

	หน้า
รูปผนวกที่ ข25 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีลิโคน ขนาด 3.5 x 30 ซม.และ หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 7.5 ซม.	30
รูปผนวกที่ ข26 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีลิโคน ขนาด 3.5 x 30 ซม.และ หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 15 ซม.	30
รูปผนวกที่ ข27 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีลิโคน ขนาด 3.5 x 20 ซม.และ หมุดยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 5 ซม.	31
รูปผนวกที่ ข28 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีลิโคน ขนาด 3.5 x 20 ซม.และ หมุดยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 10 ซม.	31
รูปผนวกที่ ข29 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีลิโคน ขนาด 3.5 x 30 ซม.และ หมุดยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 7.5 ซม.	32
รูปผนวกที่ ข30 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีลิโคน ขนาด 3.5 x 30 ซม.และ หมุดยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 15 ซม.	32
รูปผนวกที่ ค1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิด ซีเมนต์เฟลส ไม่มีหมุดยึดขนาด 20 ซม.	33
รูปผนวกที่ ค2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิด ซีเมนต์เฟลสไม่มีหมุดยึดขนาด 30 ซม.	33
รูปผนวกที่ ค3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิด ซีเมนต์เฟลส หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 5 ซม.	34
รูปผนวกที่ ค4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิด เมนต์เฟลส หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 10 ซม.	34
รูปผนวกที่ ค5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิด ซีเมนต์เฟลส หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 7.5 ซม.	35
รูปผนวกที่ ค6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิด ซีเมนต์เฟลส หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 15 ซม.	35
รูปผนวกที่ ค7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิด ซีเมนต์เฟลสหมุดยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 5 ซม.	36

สารบัญรูปภาพผนวก (ต่อ)

หน้า

รูปผนวกที่ ค8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เฟลส หมุดยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 10 ซม.	36
รูปผนวกที่ ค9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เฟลส หมุดยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 7.5 ซม.	37
รูปผนวกที่ ค10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เฟลส หมุดยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 15 ซม.	37
รูปผนวกที่ ค11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ตาร์ ไม่มีหมุดยึดขนาด 20 ซม.	38
รูปผนวกที่ ค12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ตาร์ ไม่มีหมุดยึดขนาด 30 ซม.	38
รูปผนวกที่ ค13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ตาร์ หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 5 ซม.	39
รูปผนวกที่ ค14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ตาร์ หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 10 ซม.	39
รูปผนวกที่ ค15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ตาร์ หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 7.5 ซม.	40
รูปผนวกที่ ค16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ตาร์ หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 15 ซม.	40
รูปผนวกที่ ค17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ตาร์ หมุดยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 5 ซม.	41
รูปผนวกที่ ค18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ตาร์ หมุดยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 10 ซม.	41
รูปผนวกที่ ค19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ตาร์ หมุดยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 7.5 ซม.	42

สารบัญรูปภาพผนวก (ต่อ)

หน้า

รูปผนวกที่ ค20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ตาร์ท หมุดยึดชนิดน็อดสกรูที่ระยะ 15 ซม.	42
รูปผนวกที่ ค21	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซิลิโคน ไม่มีหมุดยึดขนาด 20 ซม.	43
รูปผนวกที่ ค22	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซิลิโคน ไม่มีหมุดยึด ขนาด 30 ซม.	43
รูปผนวกที่ ค23	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซิลิโคน หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 5 ซม.	44
รูปผนวกที่ ค24	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซิลิโคน หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 10 ซม.	44
รูปผนวกที่ ค25	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซิลิโคน หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 7.5 ซม.	45
รูปผนวกที่ ค26	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซิลิโคน หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 15 ซม.	45
รูปผนวกที่ ค27	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซิลิโคน หมุดยึดชนิดน็อดสกรูที่ระยะ 5 ซม.	46
รูปผนวกที่ ค28	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซิลิโคน หมุดยึดชนิดน็อดสกรูที่ระยะ 10 ซม.	46
รูปผนวกที่ ค29	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซิลิโคน หมุดยึดชนิดน็อดสกรูที่ระยะ 7.5 ซม.	47
รูปผนวกที่ ค30	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strass กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซิลิโคน หมุดยึดชนิดน็อดสกรู ที่ระยะ 15 ซม.	47

สารบัญตารางผนวก

หน้า

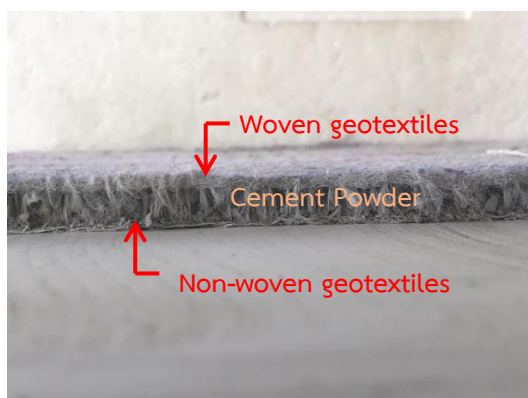
ตารางที่ 1	ค่าเฉลี่ย Ultimate tensile strength ของ Cement ที่ 28 วันและส่วนเบนเบียงมาตรฐาน	48
ตารางที่ 2	ค่าเฉลี่ย Ultimate tensile strength ของ Mortar ที่ 28 วันและส่วนเบนเบียงมาตรฐาน	49
ตารางที่ 3	ค่าเฉลี่ย Ultimate tensile strength ของ Silicone ที่ 28 วันและส่วนเบนเบียงมาตรฐาน	50

1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาทางวิจัย

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้กันอย่างแพร่หลายโดยมีส่วนประกอบ 2 ชนิด ได้แก่ น้ำ และปูนซีเมนต์ เมื่อน้ำและปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ทำให้เกิดการแข็งตัว มีความสามารถในการรับแรงได้มากขึ้นตามอายุการบ่มที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็มีความยืดหยุ่นน้อยและมีข้อจำกัดในการทำงานด้านอื่น ๆ บริษัทสยามวิจัยและนวัตกรรม จำกัด ในเครือปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ได้ทำวิจัยและพัฒนาผ้าใบคอนกรีต ซึ่งเป็นวัสดุสำเร็จรูปมีลักษณะคล้ายผ้า ประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ เส้นใยสังเคราะห์ ซีเมนต์ และวัสดุรองดั่ง รูปที่ 1 ซึ่งผ้าใบคอนกรีตมีคุณสมบัติการยืดหยุ่นสูงกว่าคอนกรีตสามารถตัดและตัดได้ตามความต้องการใช้งาน

ในปัจจุบันได้มีการนำผ้าใบคอนกรีตมาประโยชน์ต่างๆ เช่น การดาดคลองขนาดเล็ก ดาดสระน้ำ บ่อน้ำเพื่อป้องกันการกัดเซาะ ใช้เสริมความแข็งแรงของดิน ทำคันดินและพื้นทางเดิน อย่างไรก็ตามผ้าใบคอนกรีตมีข้อจำกัดในเรื่องของความกว้าง เนื่องจากผ้าใบคอนกรีต 1 ม้วนกว้างประมาณ 1 เมตร ยาวประมาณ 5 เมตร การนำผ้าใบคอนกรีตไปใช้ในงานต่างๆ อาจจะต้องใช้ผ้าใบคอนกรีตหลายแผ่น ทำให้เกิดรอยต่อระหว่างแผ่น ซึ่งรอยต่อนั้นจะทำให้ผ้าใบคอนกรีตไม่เป็นเนื้อแผ่นเดียวกัน เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำอาจจะทำให้ผ้าใบคอนกรีตนั้นหลุดออกจากกัน ในการเชื่อมรอยต่อของแผ่นผ้าใบคอนกรีตโดยทั่วไปจะใช้ระยะประมาณ 10 เซนติเมตรแต่ยังไม่มีการวิจัยที่บอกแน่ชัดว่า ควรใช้วัสดุใดในการเป็นตัวยึดประสานที่ทำให้รอยต่อระหว่างแผ่นผ้าใบคอนกรีตมีประสิทธิภาพในการรับแรงดึงได้สูงสุด งานวิจัยนี้จึงศึกษาเกี่ยวกับตัวยึดประสานที่ทำให้รอยต่อของผ้าใบคอนกรีตรับแรงดึงได้สูงสุด เปรียบเทียบวัสดุยึดประสาน 3 ชนิด ได้แก่ ซีเมนต์เพลส มอร์ตาร์ ซิลิโคน และระยะห่างของหมุดยึดทำให้ผ้าใบคอนกรีตรับแรงดึงได้สูงสุด



รูปที่ 1. ผ้าใบคอนกรีต

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบตัวยึดประสานตรงรอยต่อของผ้าใบคอนกรีตที่ทำให้รับแรงดึงได้สูงสุด
- 2.) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบตัวหมุดยึดในตัวยึดประสานเดียวกันที่ทำให้รับแรงดึงได้สูงสุด
- 3.) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบระยะห่างของตัวหมุดยึดที่ทำให้รับแรงดึงได้สูงสุด

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.) การวิจัยในครั้งนี้เป็นการทดลองหาค่าความสามารถในการทนแรงดึงของรอยต่อผ้าใบคอนกรีต
- 2.) การวิจัยครั้งนี้เป็นการทดลองโดยควบคุมระยะเวลาในการป่ม 28 วัน
- 3.) การทดลองใช้ตัวเชื่อมประสานชนิด ซีเมนต์เฟลส มอร์ตาร์ ซิลิโคน
- 4.) การทดลองใช้ตัวยึดประสานชนิด ตะปูและน็อตสกรู

2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ผ้าใบคอนกรีต (ผ้าใบคอนกรีต) เป็นวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ที่พัฒนาขึ้นโดยบริษัท สยามวิชัยและนวัตกรรม จำกัด ในเครือบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ผ้าใบคอนกรีตมีคุณสมบัติยืดหยุ่นสูง ง่ายต่อการขนส่ง การใช้งานและการเก็บรักษา เมื่อต้องการใช้งานเพียงฉีดพ่นน้ำลงบนแผ่นผ้าใบคอนกรีตจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์จะทำให้ผ้าใบคอนกรีตแข็งและเซ็ตตัวในเวลา 2 ชั่วโมงและพัฒนากำลังรับแรงภายใน 24 ชั่วโมงซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตผสมทั่วไปใช้เวลาอย่างมาก และสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย กนกวรรณ และคณะ (2562) ได้ศึกษาความสามารถการรับแรงดึงของผ้าใบคอนกรีตที่มีขนาดความกว้าง 5 cm ความยาว 30 cm โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 4 กรณีคือ 1.) ใช้น้ำสะอาดฉีดลงบนผ้าใบคอนกรีต 2.) ใช้น้ำผสมตะกอนดิน 5 g ต่อน้ำ 1 L ฉีดลงบนผ้าใบคอนกรีต 3.) ใช้น้ำผสมตะกอนดิน 10 g ต่อน้ำ 1 L ฉีดลงบนผ้าใบคอนกรีต 4.) ใช้น้ำผสมตะกอนดิน 15 g ต่อน้ำ 1 L ฉีดลงบนผ้าใบคอนกรีตและ บ่มในอากาศด้วยระยะเวลา 1 7 14 และ 28 วัน นำชิ้นตัวอย่างในแต่ละกรณีที่บ่มจนครบอายุที่กำหนดเข้าเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine จากการศึกษาพบว่าความสามารถรับแรงดึงสูงสุดของผ้าใบคอนกรีตมีค่าไม่ต่างกันมากโดยการทดลองที่ใช้น้ำผสมตะกอนดิน 5 g ต่อน้ำ 1 L ฉีดลงบนผ้าใบคอนกรีตสามารถรับแรงดึงได้มากที่สุด (Fangyuan , 2017) ได้ศึกษาพฤติกรรมเชิงกลของผ้าใบคอนกรีตโดยเปรียบเทียบการรับแรงดึงระหว่าง ผ้าใบคอนกรีต (Concrete canvas, CC) และผ้าใบคอนกรีตเสริมแรงด้วยวัสดุคอมโพสิตประเภทพอลิเมอร์เสริมเส้นใย (Aramid Fiber-reinforced polymer ; AFRP) ด้วยการทดสอบ 4 วิธี ได้แก่ 1.) Compressive test of CC ทำการทดสอบการรับแรงอัดของชิ้นตัวอย่างที่มีขนาด $15 \times 15 \times 30 \text{ mm}^3$. ทำการกดขึ้นตัวอย่างด้วยอัตราความเร็ว 1 mm. min^{-1} 2.) Single-shear pull-off test of AFRP-to-CC bonded joints ทดสอบการรับแรงเฉือนโดยใช้ชิ้นตัวอย่างที่มีขนาดความยาว 400 mm. ความกว้าง 100 mm. ความหนา 15 mm ทำการดึงขึ้นตัวอย่างด้วยอัตราความเร็ว 0.1 mm. min^{-1} 3.) Uniaxial tensile test การทดสอบแรงดึงแกนเดียวโดยใช้ชิ้นตัวอย่างที่มีขนาดความยาว 400 mm ความกว้าง 100 mm ความหนา 15 mm ทำการดึงขึ้นตัวอย่างด้วยอัตราความเร็ว 1 mm. min^{-1} 4.) Four-point bending test ทำการทดสอบการโก่งตัวโดยใช้ชิ้นทดสอบที่มีขนาดความยาว 270 mm ความกว้าง 80 mm ความหนา 15 mm ทำการกดขึ้นตัวอย่างด้วยอัตราความเร็ว 1 mm. min^{-1} พบว่าผ้าใบคอนกรีต AFRP สามารถรับแรงดึงได้มากกว่าผ้าใบคอนกรีตและผ้าใบคอนกรีต AFRP สามารถต้านทานแรงดัดงอได้มากกว่าผ้าใบคอนกรีต นิธิรัชต์ และคณะ (2559) ได้ศึกษาการศึกษาเบื้องต้นของใช้ผ้าใบคอนกรีตในการดาดคลองชลประทานต่อคุณภาพน้ำโดยทำการดาดคลองชลประทานด้วยผ้าใบคอนกรีตและทำการทดสอบคุณภาพน้ำทั้งหมดติดตั้งและการใช้งานที่ความเร็วการ ไหล 0.7 และ 0.9 ms^{-1} ซึ่งคลองที่ใช้ในการศึกษาเป็นคลองรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ความกว้าง 1.14 m ความลึกด้านข้าง 0.30 m ความลาดด้านข้าง 1:1 และมีความยาวความยาวคลอง 9.8 m การศึกษาคุณภาพของน้ำขณะทำการติดตั้งผ้าใบ

คอนกรีตโดยทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นระหว่างการฉีดพ่นน้ำลงบนผ้าใบคอนกรีตเพื่อให้ผ้าใบคอนกรีตคงตัวทุกๆระยะเวลา 5 นาที คุณสมบัติทางเคมีที่ทำการศึกษา ได้แก่ พีเอช (pH) การนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) ความขุ่น (Turbidity) ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids: SS) และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids: TDS) และการศึกษาคุณภาพน้ำระหว่างการใช้งานคุณสมบัติทางเคมีที่ทำการศึกษา ได้แก่ พีเอช (pH) การนำไฟฟ้า (EC) ความเค็ม (Salinity) และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) พบว่าคุณภาพน้ำระหว่างการติดตั้ง มีความเป็นกรดต่าง ปริมาณของแข็งละลายน้ำ ปริมาณของแข็งแขวนลอย และความขุ่นสูง ซึ่งคุณภาพน้ำมีลักษณะเดียวกับการคาดคลองชลประทานด้วยคอนกรีต และในระหว่างการใช้งานคุณภาพน้ำเป็นไปตามเกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อการชลประทาน ทั้งนี้การนำไปใช้งานจริงอาจทำให้คุณภาพน้ำลดต่ำลงเนื่องจากขนาดคลองและอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นอาจทำให้เกิดการชะล้างของปูนซีเมนต์ที่หลุดออกจากผ้าใบคอนกรีต Hui และคณะ (2018) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้ผ้าใบคอนกรีตเพื่อป้องกันความลาดชันทางวิศวกรรม โดยเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงดึงและความสามารถในการป้องกันความลาดชันระหว่างวัสดุ 3 ชนิดคือ ผ้าใบคอนกรีต ผ้าใบคอนกรีตเสริมกำลังด้วยวัสดุคอมโพสิตประเภทพอลิเมอร์เสริมเส้นใย (Fiber-reinforced polymer ; FRP) และชอตกรีต (shotcrete) ขนาดของตัวอย่างผ้าใบคอนกรีตสำหรับการทดสอบแรงอัดคือ 15 mm. x 15 mm. x 30 mm. ในขณะที่ขนาดตัวอย่างของ shotcrete คือ 100 mm. x 100 mm. x 100 mm. ทดสอบกำลังแรงอัดที่ 1 วัน, 3 วัน, 7 วัน, 28 วัน, 60 วันและ 180 วัน แผ่น plate ขนาด 270 มม. x 80 มม. x 15 มม. ใช้ในการรับแรงดึงสูงสุดของตัวอย่างผ้าใบคอนกรีตธรรมดา ผ้าใบคอนกรีตเสริม FRP และ shotcrete หลังจากบ่มได้ 28 วัน และทดสอบความต้านทานแรงเฉือนของผ้าใบคอนกรีตและผ้าใบคอนกรีตเสริม FRP หลังจากบ่มเป็นเวลา 10 วัน ขนาดของตัวอย่างผ้าใบคอนกรีตและผ้าใบคอนกรีตเสริม FRP สำหรับการทดสอบแรงเฉือนคือ 120 mm. x 40 mm. x 15 mm. ตัวอย่างทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในห้องบ่ม ($20 \pm 2^{\circ}C$, $60 \pm 5\% RH$) จนถึงวันที่ทำการทดสอบ จากการศึกษาพบว่าผ้าใบคอนกรีตเสริมแรงสามารถรับแรงดึงได้มากที่สุดและเหมาะสมในการนำไปใช้ป้องกันความลาดชันทางวิศวกรรมมากที่สุด สราวุธ และคณะ (2561) ได้ศึกษาวัสดุประสานรอยต่อผ้าใบคอนกรีตเพื่อลดการรั่วซึมโดยเลือกใช้วัสดุประสาน 3 ชนิดคือ 1.) ผงปูนซีเมนต์ 2.) มอร์ตาร์ (ปูนผสมทราย) 3.) มอร์ตาร์ผสมกับปูนขาว โดยมีรูปแบบการเชื่อมต่อ 6 รูปแบบ ได้แก่ 1.) ใช้ผงปูนซีเมนต์และทำการพับขอบผ้าใบคอนกรีต 2.) ใช้ผงปูนซีเมนต์แต่ไม่ทำการพับขอบผ้าใบคอนกรีต 3.) ใช้มอร์ตาร์และทำการพับขอบผ้าใบคอนกรีต 4.) ใช้มอร์ตาร์แต่ไม่ทำการพับขอบผ้าใบคอนกรีต 5.) ใช้มอร์ตาร์ผสมปูนขาวและทำการพับขอบผ้าใบคอนกรีต 6.) ใช้มอร์ตาร์ผสมปูนขาวแต่ไม่ทำการพับขอบผ้าใบคอนกรีตเปรียบเทียบ ทำการทดสอบอัตราการรั่วซึมโดยขังน้ำไว้ที่ระดับความลึก 1 m. รักษาระดับน้ำให้คงที่ด้วยลูกลอยและวัดอัตราการซึมของน้ำผ่านรอยต่อผ้าใบคอนกรีตจากมิเตอร์น้ำเป็นเวลา 5 วัน ทำการวัดในช่วงเวลาเดียวกันของทุกวัน พบว่าการประสานรอยต่อด้วยมอร์ตาร์ผสมปูนขาวมีประสิทธิภาพสูงสุด การใช้มอร์ตาร์อย่างเดียวมีประสิทธิภาพและการใช้ผงปูนซีเมนต์มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด และการพับขอบผ้าใบคอนกรีตทำให้ประสิทธิภาพการรั่วซึมของน้ำลดลง อย่างไรก็ตามงานวิจัยของ สราวุธ

และคณะ (2561) พบว่าการประสานรอยต่อด้วยมอร์ตาร์ผสมปูนกาวมีประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงได้ศึกษาการทนแรงดึงของรอยต่อผ้าใบคอนกรีต โดยเปลี่ยนจากมอร์ตาร์ผสมปูนกาวเป็นซีลีคอนและเพิ่ม หมุดยึดประสานเข้าไปในชั้นทดสอบ

2.2 ทฤษฎีความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดทางวิศวกรรม

วัสดุได้รับแรงดึง (Tensile loading) จะมีการเปลี่ยนรูปร่าง แบบอิลาสติก และแบบพลาสติก (Elastic and plastic deformation) สามารถนำมาคำนวณหาค่าความเค้นทางวิศวกรรม (Engineering stress) และความเครียดทางวิศวกรรม (Engineering strain) ที่จุดใด ๆ ได้จากสมการที่ 1 และ สมการที่ 2

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (1)$$

และ

$$\epsilon = \frac{L_f - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2)$$

โดยที่ σ คือ ความเค้นวิศวกรรม (Engineering stress), kg cm^{-2}

P คือ แรงดึงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (External tensile load), kg

A_0 คือ พื้นที่หน้าตัดเดิมของชิ้นงาน (Original cross-sectional area), cm^2

ϵ คือ ความเครียดทางวิศวกรรม (Engineering strain)

L_0 คือ ความยาวเดิมของชิ้นงาน (Original length), cm

L_f คือ ความยาวสุดท้ายของชิ้นงาน (Final length), cm

3 เครื่องมือที่ใช้ในการทำโครงงาน

3.1 วัสดุ

- 1) ปูนซีเมนต์
- 2) ทราช
- 3) ซีลีโคนขาว
- 4) ตะปูหมวก
- 5) น็อตสกรู

3.2 อุปกรณ์

- 1) เครื่อง Universal testing machine



รูปที่ 2. เครื่อง Machine Universal Testing

4 วิธีการดำเนินโครงการ

4.1 การเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างในการศึกษานี้ได้นำผ้าใบคอนกรีตที่มีความยาว 5 m กว้าง 1 m หนา 10 mm ทำการตัดขึ้นตัวอย่างให้มีขนาดความกว้าง 3.5 cm ยาว 27 cm และขนาดความกว้าง 3.5 cm ยาว 37 cm ดัง รูปที่ 3 มาใช้ในการศึกษา โดยตัวอย่างจะถูกเตรียมด้วยวัสดุประสานและตัวยึดประสานที่ใช้ในการเชื่อมรอยต่อของผ้าใบคอนกรีตแบ่งเป็นเชื่อมแผ่นผ้าใบคอนกรีตด้วยวัสดุตัวยึดประสาน ซีเมนต์เพส มอร์ตาร์ และซิลิโคน เพิ่มหมุดยึดที่ผ้าใบคอนกรีตขนาด 3.5X30 cm ใส่หมุดยึดทุกระยะ 15 cm และ 7.5 cm และที่ผ้าใบคอนกรีตขนาด 3.5X20 cm ใส่หมุดยึดทุก 10 cm และ 5 cm ดัง รูปที่ 4 หลังจากนั้นนำไปทำการทดสอบการทนแรงดึงของรอยต่อผ้าใบคอนกรีตเมื่อครบอายุการบ่ม 28 วัน



a.) นี้อตสกรูระยะห่าง 5 cm.



b.) นี้อตสกรู ระยะห่าง 10 cm



c.) ตะปูหมวกรยะห่าง 5 cm



d.) ตะปูหมวกรยะห่าง 10 cm.



e.) ไม่มีหมุดยึด

รูปที่ 3. ชิ้นงานตัวอย่างขนาด 3.5X20 ซม..



a.) นี้อตสกรูระยะห่าง 7.5 cm.



b.) นี้อตสกรูระยะห่าง 15 cm.



c.) ตะปูหมวกรระยะห่าง 7.5 cm.



d.) ตะปูหมวกรระยะห่าง 15 cm

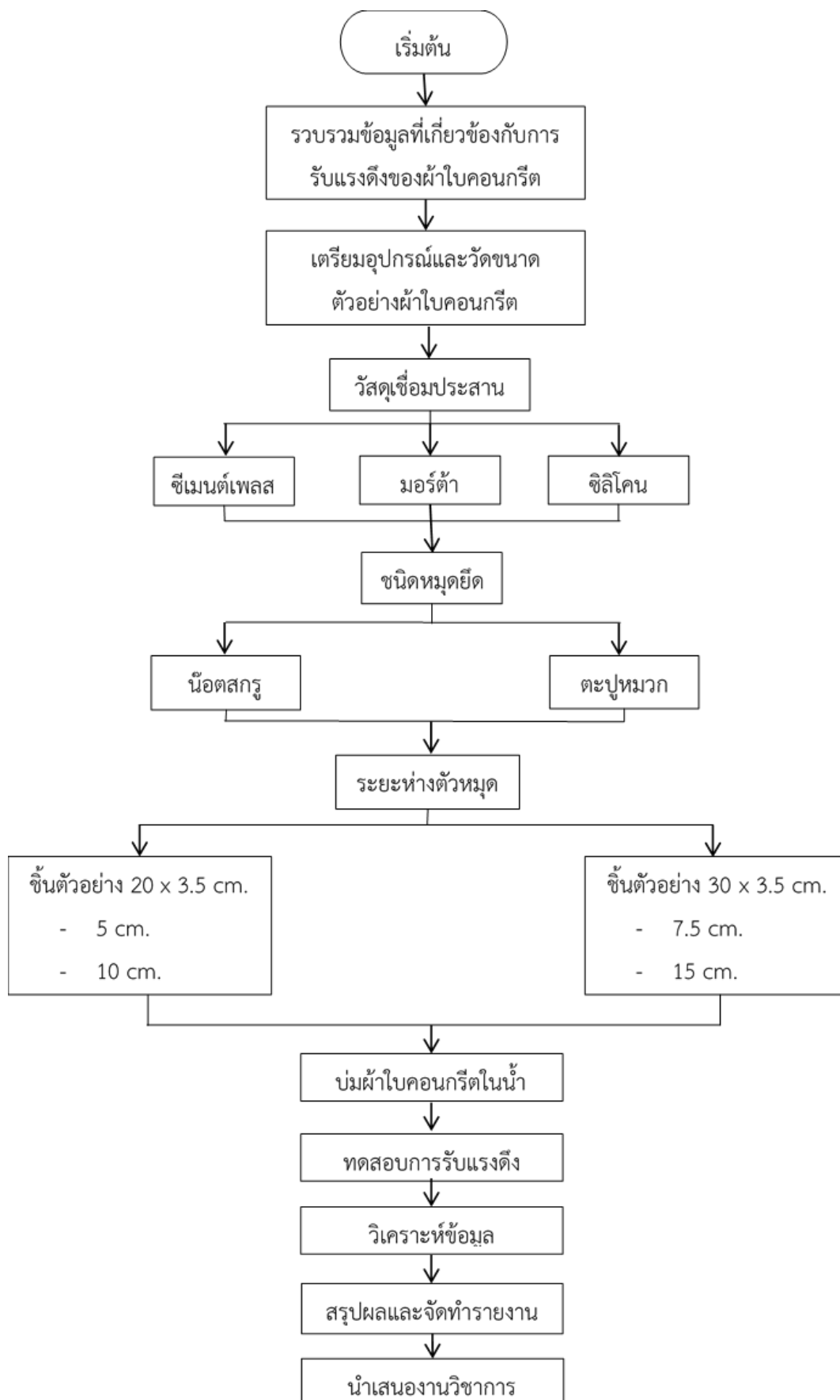


e.) ไม่มีหมุดยึด

รูปที่ 4. ชิ้นงานตัวอย่างขนาด 3.5X30 ซม..

4.2 การทดสอบชิ้นงานตัวอย่าง

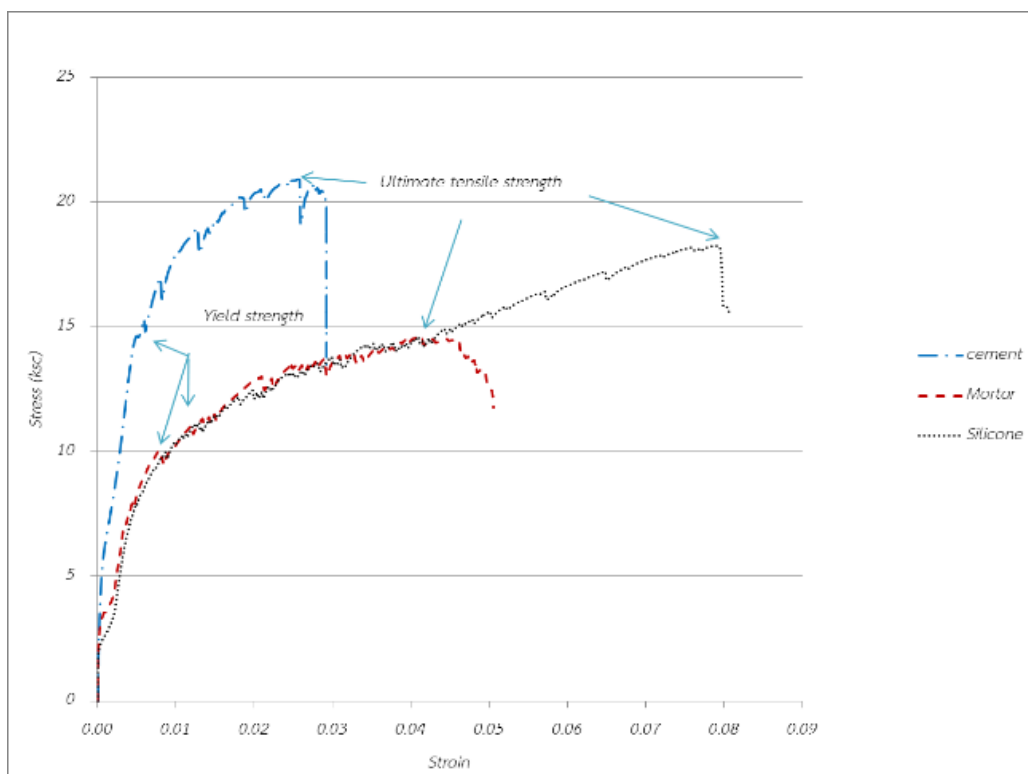
การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุดของรอยต่อผ้าใบคอนกรีตนำตัวอย่างที่ป่มจนครบอายุที่กำหนดมาเข้าเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine ใช้เครื่องทดสอบจับปลายทั้ง 2 ข้างของตัวอย่าง ดัง รูปที่ 4. ทำการดึงขึ้นตัวอย่างด้วยอัตราเร็ว $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ จนกระทั่งชิ้นตัวอย่างขาดออกจากกัน พร้อมทั้งบันทึกแรงดึงและระยะยืดของชิ้นตัวอย่าง นำค่าที่บันทึกมาหาค่าความเค้น ความเครียดและความเค้นสูงสุด (Ultimate tensile stress)



รูปที่ 5 ขั้นตอนการทำโครงการ

5 ผลการดำเนินงานและวิจารณ์

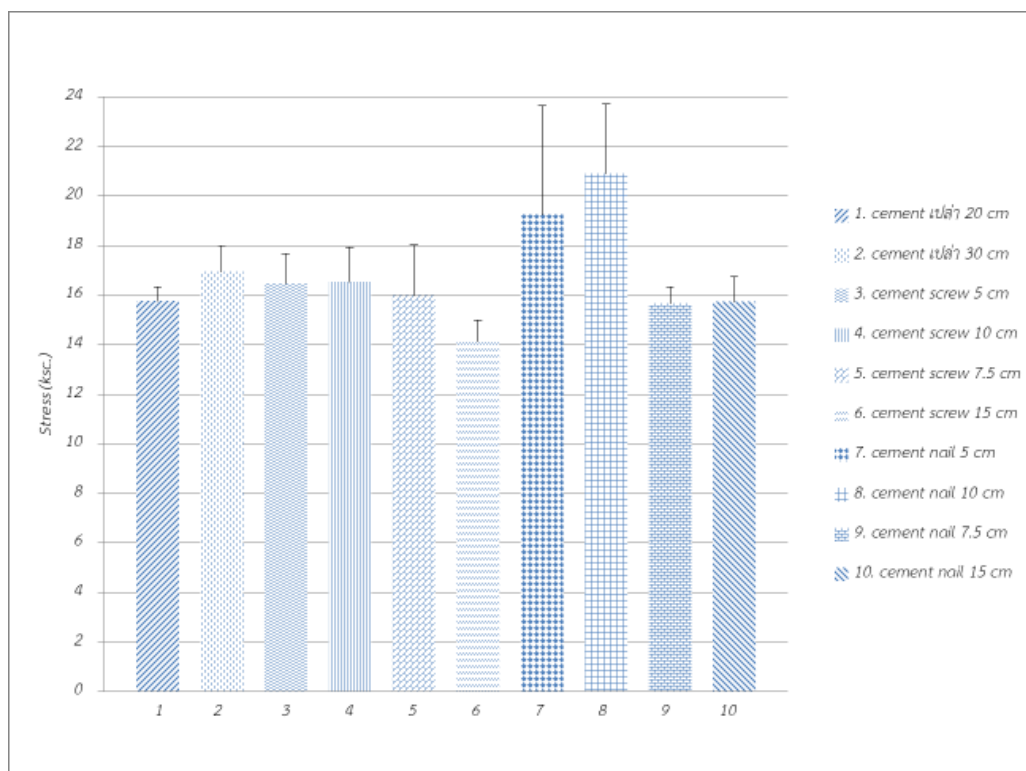
การศึกษาหาความสามารถในการทนแรงดึงของรอยต่อผ้าใบคอนกรีต จากการทดลองในห้องปฏิบัติการได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 6. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain

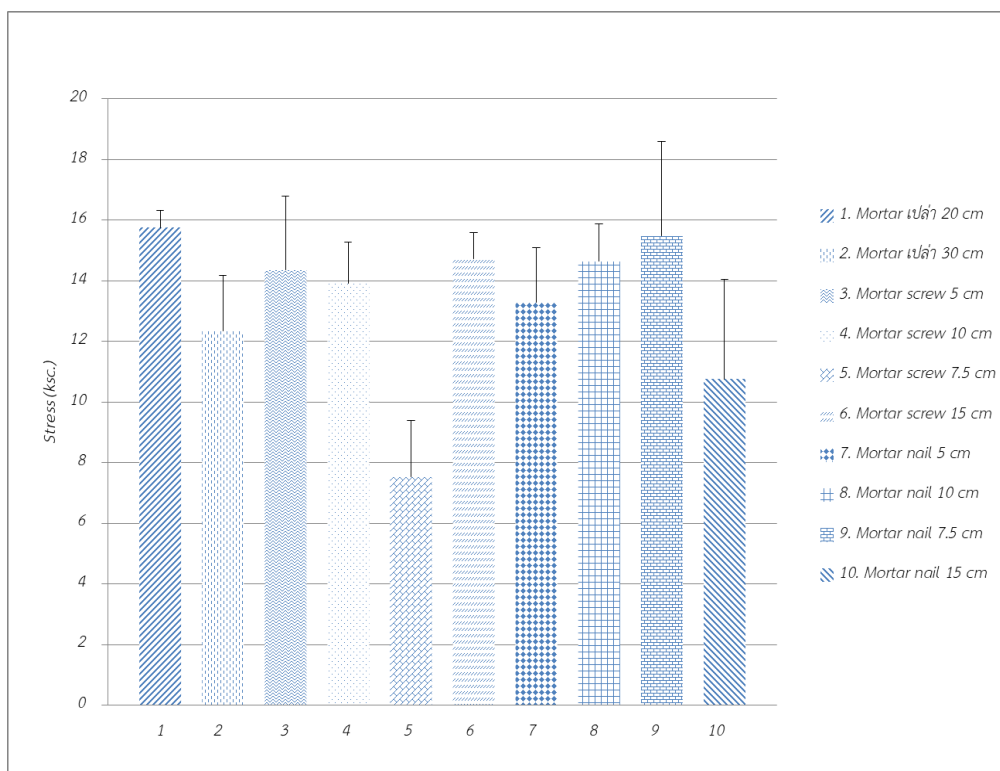
จากการทดลองหาความสามารถในการรับแรงดึงของรอยต่อใบคอนกรีตในกรณีต่างๆที่ได้ทำการศึกษาพบว่าผ้าใบคอนกรีตเกิดวิบัติในลักษณะที่คล้าย ๆ กันดัง รูปที่ 6. ซึ่งเป็นตัวอย่างของการวิบัติของผ้าใบคอนกรีตที่มีตัวเชื่อมประสานทั้ง 3 ชนิด ยึดด้วยหมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 10 cm. เมื่อค่อยๆ เพิ่มแรงดึงที่กระทำต่อวัสดุที่ละน้อยจนกระทั่งวัสดุเกิดการวิบัติที่จุดความแข็งแรงคราก (Yield Strength) ในระหว่างที่ออกแรงดึงวัสดุจะค่อยๆ ยึดตัวออก ส่งผลให้ขนาดหน้าตัดมีการแตกร้าว เมื่อถึงจุดความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate tensile strength) ผ้าใบคอนกรีตไม่สามารถต้านทานแรงดึงที่เพิ่มขึ้นต่อไปได้ วัสดุจึงขาดออกจากกัน ซึ่งเป็นไปตามกราฟความเค้นความเครียด (กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain)

งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบความแข็งแรงดึงสูงสุดของวัสดุประสาน 3 ชนิดคือ ซีเมนต์เปลสมอร์ตาร์ และ ซิลิโคนผลการศึกษาแสดงดัง รูปที่ 7 ถึง 9



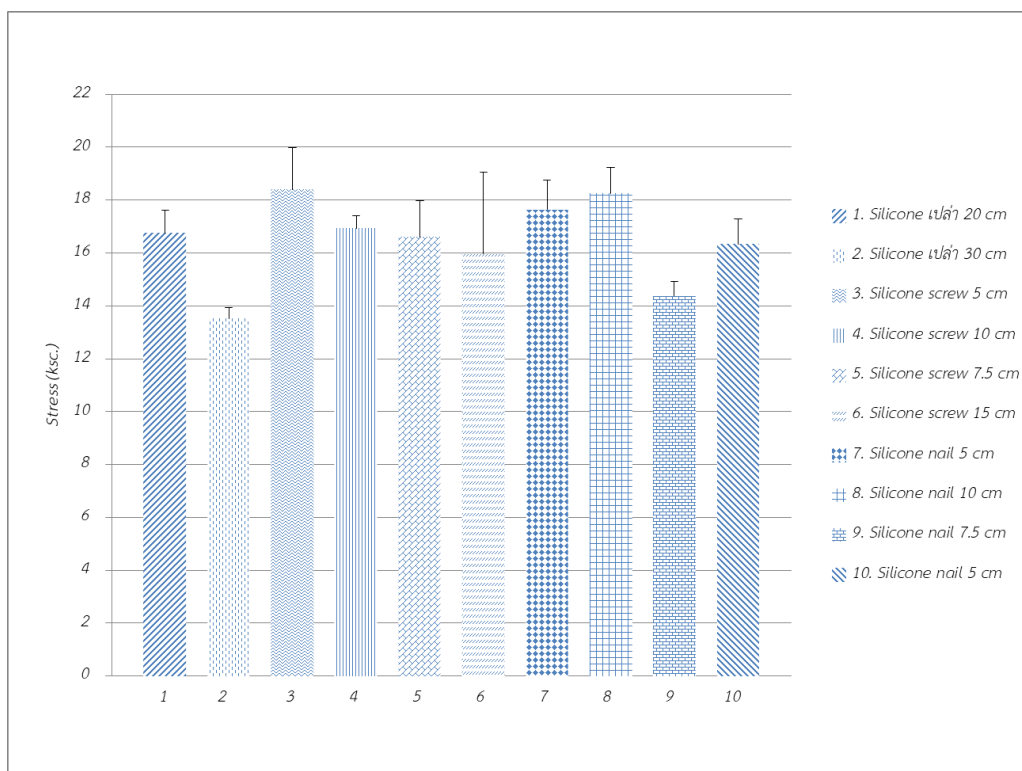
รูปที่ 7. แผนภูมิแสดงแรงดึงสูงสุดของตัวเชื่อมประสานซีเมนต์เฟลสที่อายุ 28 วัน

จาก รูปที่ 7 เป็นการทดลองที่ระยะเวลาการบ่มในน้ำ 28 วัน ในตัวเชื่อมประสานเป็นซีเมนต์เฟลส โดยกรณีที่ 1 ไม่มีตัวหมุดยึดมีแค่ตัวเชื่อมประสานอย่างเดียว ขนาดความยาว 20 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 15.764 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 0.551 โดยกรณีที่ 2 ไม่มีตัวหมุดยึดมีแค่ตัวเชื่อมประสานอย่างเดียว ขนาดความยาว 30 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 16.932 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 1.063 โดยกรณีที่ 3 มีน็อตสกรูระยะ 5 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 16.445 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 1.222 โดยกรณีที่ 4 มีน็อตสกรูระยะ 10 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 16.537 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 1.378 โดยกรณีที่ 5 มีน็อตสกรูระยะ 7.5 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 15.986 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 2.034 โดยกรณีที่ 6 มีน็อตสกรูระยะ 15 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 14.119 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 0.858 โดยกรณีที่ 7 มีตะปูระยะ 5 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 19.246 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 4.416 โดยกรณีที่ 8 มีตะปูระยะ 10 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 20.916 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 2.811 โดยกรณีที่ 9 มีตะปูระยะ 7.5 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 15.660 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 0.657 โดยกรณีที่ 10 มีตะปูระยะ 15 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 15.729 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 1.023 จากการทดสอบหาความสามารถในการรับแรงดึงของรอยต่อผ้าใบคอนกรีตที่มีตัวเชื่อมประสานเป็น ซีเมนต์เฟลส ทุกๆกรณีมีค่าความสามารถรับแรงดึงใกล้เคียงกัน แต่มีกรณีที่ 8 ที่มีตะปูระยะ 10 cm. มีค่าสูงสุด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าการทดลองของ กนกวรรณ และคณะ (2562) มีค่าความสามารถรับแรงดึงได้ เพิ่มขึ้น 1.98 เท่า



รูปที่ 8. แผนภูมิแสดงแรงดึงสูงสุดของตัวเชื่อมประสานมอร์ตาร์ที่อายุ 28 วัน

จาก รูปที่ 8 เป็นการทดลองที่ระยะเวลาการบ่มในน้ำ 28 วัน ในตัวเชื่อมประสานเป็น มอร์ตาร์ โดยกรณีที่ 1 ไม่มีตัวหมุดยึดมีแค่ตัวเชื่อมประสานอย่างเดียว ขนาดความยาว 20 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 15.751 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 0.559 โดยกรณีที่ 2 ไม่มีตัวหมุดยึดมีแค่ตัวเชื่อมประสานอย่างเดียว ขนาดความยาว 30 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 12.335 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 1.839 โดยกรณีที่ 3 มีน็อตสกรู ระยะ 5 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 14.351 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 2.442 โดยกรณีที่ 4 มีน็อตสกรูระยะ 10 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 13.906 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 1.382 โดยกรณีที่ 5 มีน็อตสกรูระยะ 7.5 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 7.529 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 1.867 โดยกรณีที่ 6 มีน็อตสกรูระยะ 15 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 14.719 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 0.875 โดยกรณีที่ 7 มีตะปูระยะ 5 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 13.289 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 1.794 มี โดยกรณีที่ 8 ตะปูระยะ 10 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 14.637 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 1.231 โดยกรณีที่ 9 มีตะปูระยะ 7.5 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 15.474 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 3.136 โดยกรณีที่ 10 มีตะปูระยะ 15 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 10.763 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 3.283 จากการทดสอบหาความสามารถในการรับแรงดึงของรอยต่อผ้าใบคอนกรีตที่มีตัวเชื่อมประสานเป็น มอร์ตาร์ ทุกๆ กรณีมีค่าความสามารถรับแรงดึงใกล้เคียงกัน แต่มีกรณีที่ 1 ไม่มีหมุดยึดมีแค่ตัวเชื่อมประสานอย่างเดียว ขนาดความยาว 20 cm. มีค่าสูงสุด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าการทดลองของกนกวรรณ และคณะ (2562) มีค่าความสามารถรับแรงดึงได้ เพิ่มขึ้น 1.49 เท่า



รูปที่ 9. แผนภูมิแสดงแรงดึงสูงสุดของตัวเชื่อมประสานซิลิโคนที่อายุ 28 วัน

จาก รูปที่ 9 เป็นการทดลองที่ระยะเวลาการบ่มในน้ำ 28 วัน ในตัวเชื่อมประสานเป็น ซิลิโคน โดยกรณี ที่ 1 ไม่มีตัวหมุดยึดมีแค่ตัวเชื่อมประสานอย่างเดียว ขนาดความยาว 20 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 16.758 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 0.859 โดยกรณีที่ 2 ไม่มีตัวหมุดยึดมีแค่ตัวเชื่อมประสานอย่างเดียว ขนาดความยาว 30 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 13.527 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 0.405 โดย กรณีที่ 3 มีน็อตสกรูระยะ 5 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 18.393 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 1.598 โดยกรณีที่ 4 มีน็อตสกรูระยะ 10 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 16.926 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยง มาตรฐาน 0.480 โดยกรณีที่ 5 มีน็อตสกรูระยะ 7.5 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 16.609 ksc. มี ส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 1.353 โดยกรณีที่ 6 มีน็อตสกรูระยะ 15 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 15.959 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 3.088 โดยกรณีที่ 7 มีตะปูระยะ 5 cm. มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด เท่ากับ 17.631 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 1.116 โดยกรณีที่ 8 มีตะปูระยะ 10 cm. มีค่าความเค้นแรงดึง สูงสุดเท่ากับ 18.243 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 0.996 โดยกรณีที่ 9 มีตะปูระยะ 7.5 cm. มีค่าความ เค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 14.378 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 0.556 โดยกรณีที่ 10 มีตะปูระยะ 15 cm. มี ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 16.337 ksc. มีส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน 0.934 จากการทดสอบหา ความสามารถในการรับแรงดึงของรอยต่อผ้าใบคอนกรีตที่มีตัวเชื่อมประสานเป็น ซิลิโคน ทุกๆกรณีมีค่า ความสามารถรับแรงดึงใกล้เคียงกัน แต่มีกรณีที่ 3 มีน็อตระยะ 5 cm. มีค่าสูงสุด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าการ ทดลองของกนกวรณ และคณะ (2562) มีค่าความสามารถรับแรงดึงได้ เพิ่มขึ้น 1.74 เท่า

6 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาคูณสมบัติด้านวิศวกรรมศาสตร์ของผ้าใบที่บ่มในน้ำระยะเวลา 28 วัน แบ่งการทดสอบเป็น 3 กรณีใหญ่ๆคือ ตัวเชื่อมประสานที่เป็น ซีเมนต์เฟลส , มอร์ตาร์, ซิลิโคน, และในแต่ละกรณีก็แบ่งเป็น 10 กรณีคือ นี้อตสกรูระยะ 5, 7.5, 10, 15, cm และตะปูที่ระยะ 5, 7.5, 10 และ 15 cm. และแบบไม่มีตัวหมุดยึดขนาด 20 และ 30 cm. จากการทดสอบพบว่า ความสามารถรับแรงดึงของผ้าใบคอนกรีตที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน จากการทดลองในตัวเชื่อมประสานชนิดเดียวกันที่หมุดยึดระยะต่าง ๆ มีค่าความสามารถรับแรงดึงรอยต่อผ้าใบคอนกรีตไม่ต่างกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบชนิดของตัวเชื่อมประสานทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ซีเมนต์เฟลส , มอร์ตาร์, และซิลิโคน พบว่าค่าความสามารถรับแรงดึงรอยต่อผ้าใบคอนกรีตของมอร์ตาร์มีค่าน้อยที่สุด เมื่อเลยจุดความเค้นแรงดึงสูงสุดค่าแรงดึงจะลดลงจนกระทั่งจุดสุดท้ายผ้าใบคอนกรีตขาดออกจากกัน อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า การใช้หมุดยึดและตัวเชื่อมประสานยึดผ้าใบคอนกรีตไม่ได้ช่วยให้สามารถรับแรงดึงเพิ่มขึ้น แต่ช่วยแก้ไข้ปัญหาในเรื่องของขนาดผ้าใบคอนกรีต เนื่องจากผ้าใบคอนกรีตมีขีดจำกัดในเรื่องของขนาดและความยาวการใช้หมุดยึดและตัวเชื่อมประสานยึดผ้าใบคอนกรีตจึงเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในกรณีต้องใช้ผ้าใบที่มีขนาดใหญ่จากขนาดเดิมและการนำผ้าใบมาประกบกันจะทำให้ผ้าใบสามารถ รับแรงดึงได้มากกว่าผ้าใบผืนเดียว

6.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) จากการทดลองครั้งนี้ศึกษาความสามารถในการรับแรงดึงที่ระยะเวลาการบ่มผ้าใบในน้ำที่ 28 วัน ดังนั้นในงานวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาระยะเวลาการบ่มผ้าใบในน้ำ 14 วัน เพื่อนำค่ามาที่ ได้เปรียบเทียบกับงานวิจัยในครั้งนี้
- 2) ควรศึกษาวัสดุตัวเชื่อมประสานและหมุดยึดชนิดอื่นเพิ่ม
- 3) ควรเปลี่ยนขนาดรอยต่อของผ้าใบคอนกรีตเพื่อจะได้นำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยในครั้งนี้

7 บรรณานุกรม

- กนกวรรณ สีสอาด และคณะ. (2562). ความสามารถในการรับแรงดึงของผ้าใบคอนกรีต. ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรม เกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 20. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- นิธิรัชต์ สงวนเดือน และคณะ. (2559). การศึกษาเบื้องต้นของการใช้ผ้าใบคอนกรีตในการดาดคลองชลประทานต่อคุณภาพน้ำ. ใน การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- สรารุช สมสนิท และคณะ. (2561) การศึกษาวัสดุประสานรอยต่อผ้าใบคอนกรีตเพื่อลดการรั่วซึม. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- Fangyuan Zhang et al. (2017). Experimental study of the mechanical behavior of FRP-reinforced concrete canvas panels. Anonymous, China.
- Hui Li et al. (2018). Design and construction application of concrete canvas for slope protection. Anonymous, China.

8 ภาคผนวก

8.1 ภาคผนวก ก. การเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง



รูปผนวกที่ ก1 วัดขนาดผ้าใบคอนกรีต



รูปผนวกที่ ก2 ผสมมอร์ตาร์



รูปผนวกที่ ก3 ผสมซีเมนต์เพลส



รูปผนวกที่ ก4 วัดระยะห่างตัวหมุด



รูปผนวกที่ ก5 ทำการเชื่อมตัวประสานด้วยซิลิโคน
ลงบนแผ่นผ้าใบคอนกรีต



รูปผนวกที่ ก6 ทำการเชื่อมตัวประสาน
ด้วยซีเมนต์เพลสและมอร์ตาร์ลง
บนแผ่นผ้าใบคอนกรีต



รูปผนวกที่ ก7 ใส่ตัวหมุด



รูปผนวกที่ ก8 เอาผ้าใบคอนกรีตขึ้นจากน้ำหลัง
ครบกำหนดวันบ่ม



รูปผนวกที่ ก9 ตัดผ้าใบคอนกรีตเพื่อจะ
นำไปทดสอบแรงดึง



รูปผนวกที่ ก10 ทดสอบแรงดึง

8.2 ภาคผนวก ข. การทดสอบแรงดึง

8.2.1 ตัวอย่างขั้นตอนทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานซีเมนต์เฟลส



รูปผนวกที่ ข1 ตัวอย่างขั้นตอนทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เฟลส ขนาด 3.5 x 20 ซม.



รูปผนวกที่ ข2 ตัวอย่างขั้นตอนทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เฟลส ขนาด 3.5 x 30 ซม.



รูปผนวกที่ ข3 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เฟลส ขนาด 3.5 x 20 ซม.และหมุดยึด
ชนิดตะปูที่ระยะ 5 ซม.



รูปผนวกที่ ข4 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เฟลส ขนาด 3.5 x 20 ซม.และหมุดยึด
ชนิดตะปูที่ระยะ 10 ซม.



รูปผนวกที่ ข5 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เฟลส ขนาด 3.5 x 30 ซม.และหมุดยึด
ชนิดตะปูที่ระยะ 7.5 ซม.



รูปผนวกที่ ข6 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เฟลส ขนาด 3.5 x 30 ซม.และหมุดยึด
ชนิดตะปูที่ระยะ 15 ซม



รูปผนวกที่ ข7 ตัวอย่างขั้นตอนทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เฟลส ขนาด 3.5 x 20 ซม.และหมุดยึด
ชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 5 ซม.



รูปผนวกที่ ข8 ตัวอย่างขั้นตอนทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เฟลส ขนาด 3.5 x 20 ซม.และหมุดยึด
ชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 10 ซม.



รูปผนวกที่ ข9 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เฟลส ขนาด 3.5 x 30 ซม.และหมุดยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 7.5 ซม.



รูปผนวกที่ ข10 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์ดพลส ขนาด 3.5 x 30 ซม.และหมุดยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 15 ซม.

8.2.2 ตัวอย่างขั้นตอนทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานมอร์ต้าร์



รูปผนวกที่ ข11 ตัวอย่างขั้นตอนทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ต้าร์ ขนาด 3.5 x 20 ซม.



รูปผนวกที่ ข12 ตัวอย่างขั้นตอนทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ต้าร์ ขนาด 3.5 x 30 ซม.



รูปผนวกที่ ข13 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ต้าร์ ขนาด 3.5 x 20 ซม.และหมุดยึด
ชนิดตะปูที่ระยะ 5 ซม.



รูปผนวกที่ ข14 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ต้าร์ ขนาด 3.5 x 20 ซม.และหมุดยึด
ชนิดตะปูที่ระยะ 10 ซม.



รูปผนวกที่ ข15 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ตาร์ ขนาด 3.5 x 30 ซม.และหมุดยึด
ชนิดตะปูที่ระยะ 7.5 ซม.



รูปผนวกที่ ข16 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ตาร์ ขนาด 3.5 x 30 ซม.และหมุดยึด
ชนิดตะปูที่ระยะ 15 ซม.



รูปผนวกที่ ข17 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ตาร์ ขนาด 3.5 x 20 ซม.และหมุดยึด
ชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 5 ซม.



รูปผนวกที่ ข18 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ตาร์ ขนาด 3.5 x 20 ซม.และหมุดยึด
ชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 10 ซม.



รูปผนวกที่ ข19 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ตาร์ ขนาด 3.5 x 30 ซม.และหมุดยึด
ชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 7.5 ซม.



รูปผนวกที่ ข20 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ตาร์ ขนาด 3.5 x 30 ซม.และหมุดยึด
ชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 15 ซม.

8.2.3 ตัวอย่างขั้นตอนทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานซีลิโคน



รูปผนวกที่ ข21 ตัวอย่างขั้นตอนทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีลิโคน ขนาด 3.5 x 20 ซม.



รูปผนวกที่ ข22 ตัวอย่างขั้นตอนทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซีลิโคน ขนาด 3.5 x 30 ซม.



รูปผนวกที่ ข23 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซิลิโคน ขนาด 3.5 x 20 ซม.และหมุดยึดชนิด
ตะปูที่ระยะ 5 ซม.



รูปผนวกที่ ข24 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซิลิโคน ขนาด 3.5 x 20 ซม.และหมุดยึดชนิด
ตะปูที่ระยะ 10 ซม.



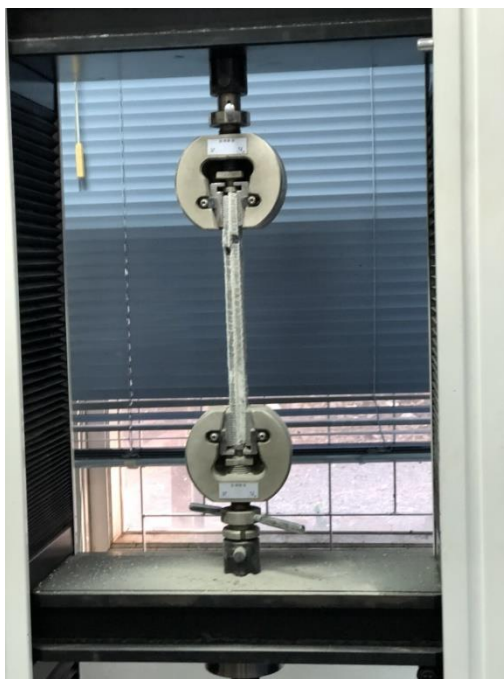
รูปผนวกที่ ข25 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซิลิโคน ขนาด 3.5 x 30 ซม.และหมุดยึดชนิด ตะปูที่ระยะ 7.5 ซม.



รูปผนวกที่ ข26 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซิลิโคน ขนาด 3.5 x 30 ซม.และหมุดยึดชนิด ตะปูที่ระยะ 15 ซม.



รูปผนวกที่ ข27 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซิลิโคน ขนาด 3.5 x 20 ซม.และหมุดยึด
ชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 5 ซม.



รูปผนวกที่ ข28 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซิลิโคน ขนาด 3.5 x 20 ซม.และหมุดยึด
ชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 10 ซม.



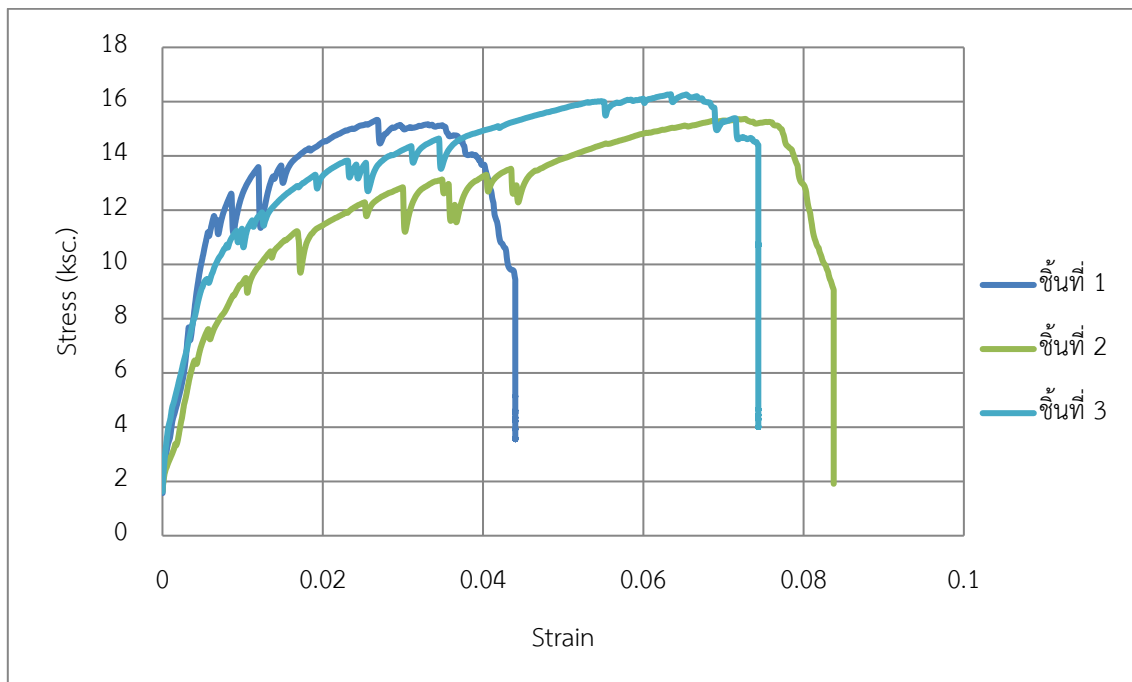
รูปผนวกที่ ข29 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซิลิโคน ขนาด 3.5 x 30 ซม.และหมุดยึด
ชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 7.5 ซม.



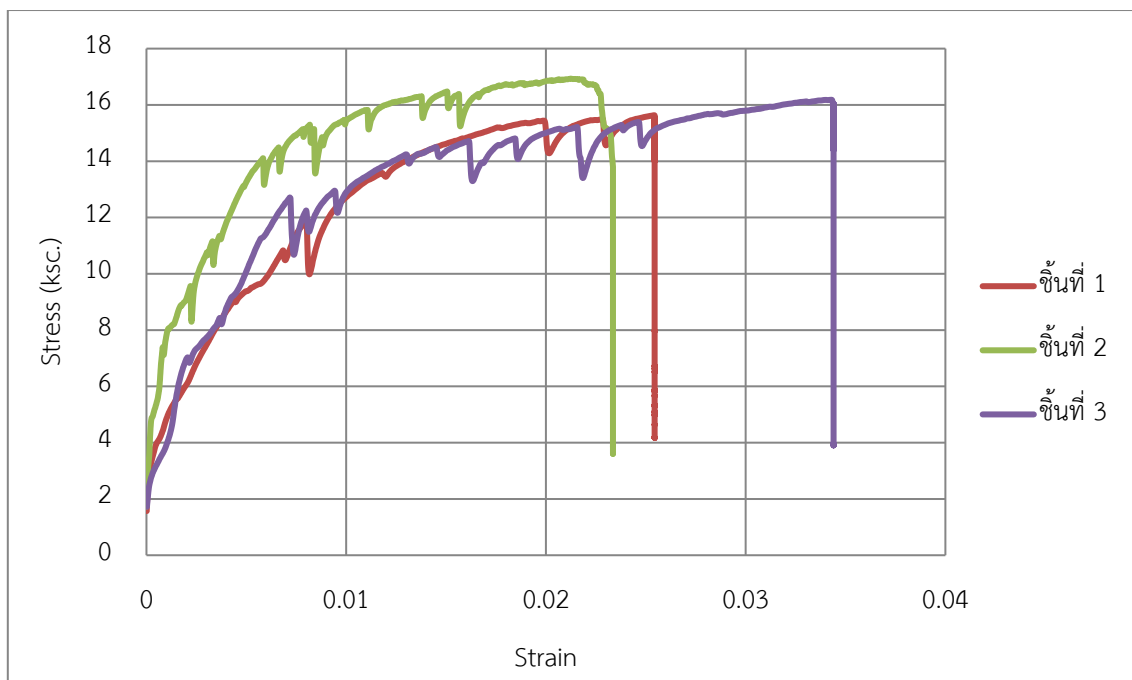
รูปผนวกที่ ข30 ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึงตัวเชื่อมประสานชนิดซิลิโคน ขนาด 3.5 x 30 ซม.และหมุดยึด
ชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 15 ซม.

8.3 ภาคผนวก ค. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain

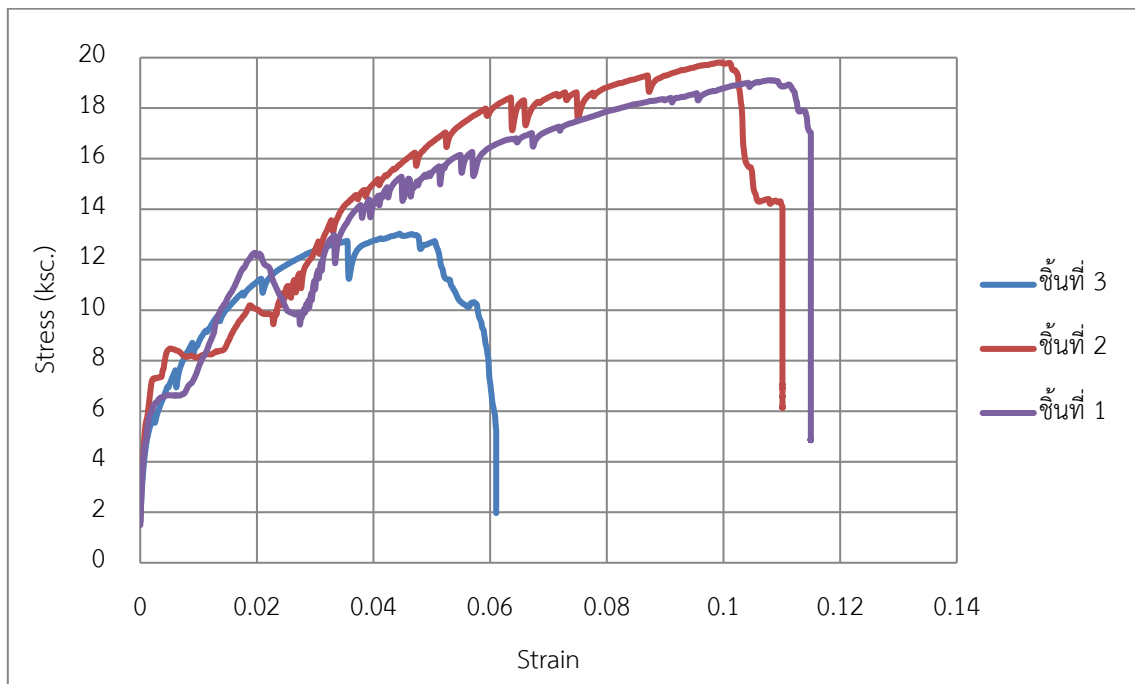
8.3.1 ตัวเชื่อมประสานซีเมนต์เฟลส



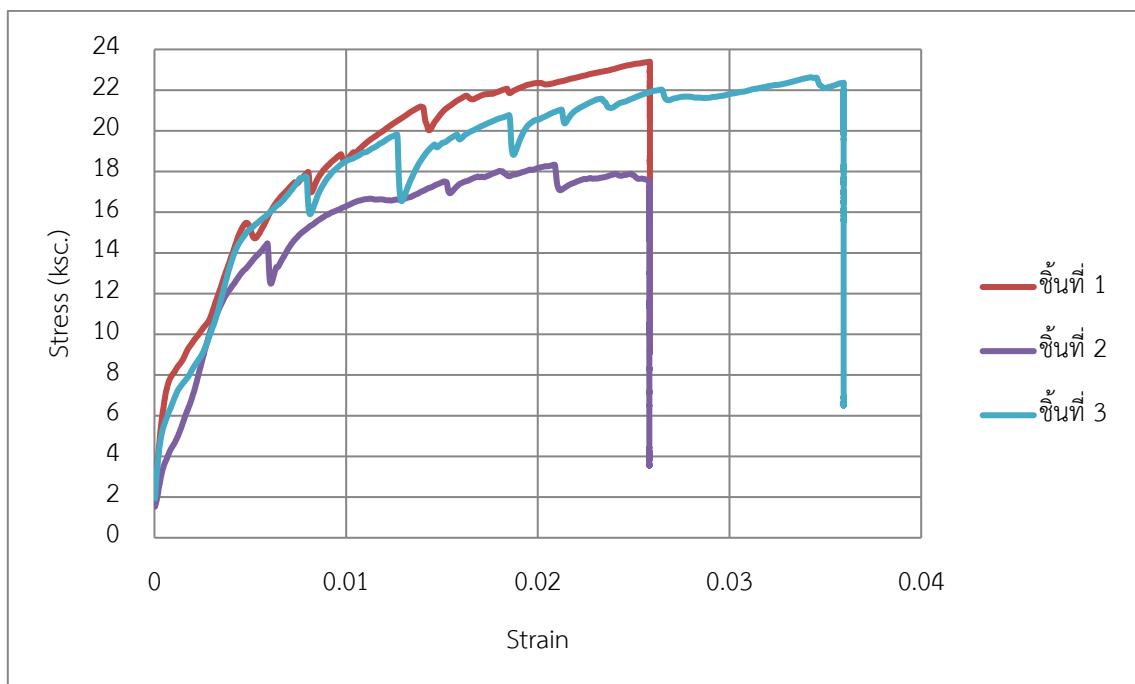
รูปผนวกที่ ค1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เฟลส ไม่ มีหมุดยึดขนาด 20 ซม.



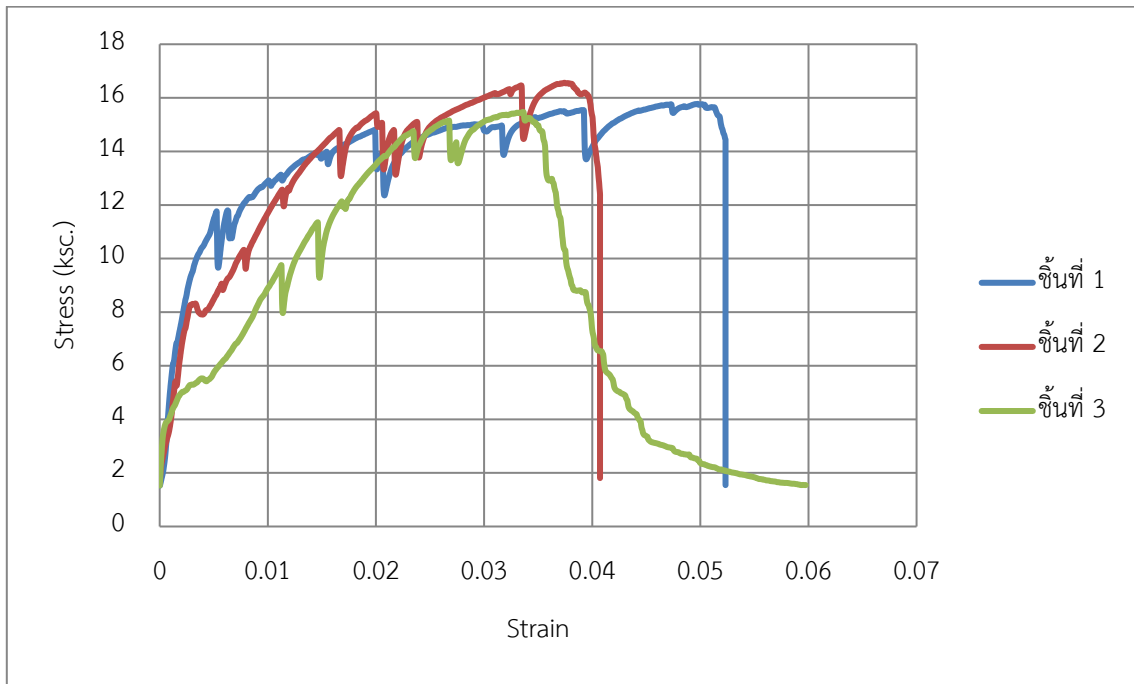
รูปผนวกที่ ค2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เฟลส ไม่ มีหมุดยึดขนาด 30 ซม.



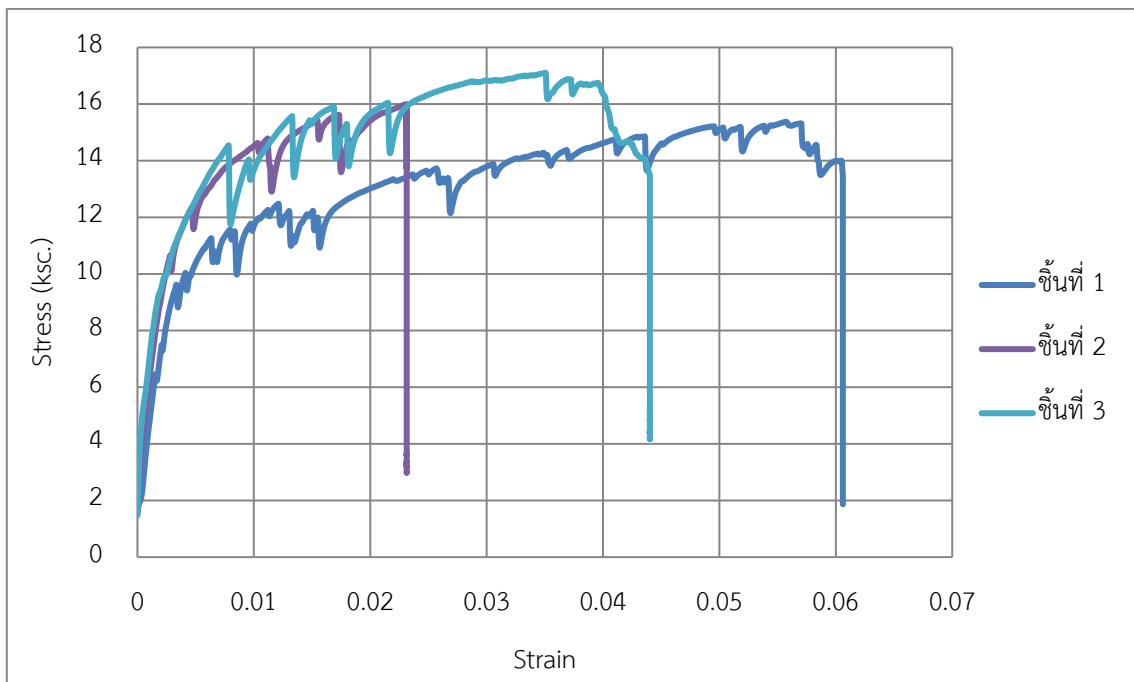
รูปผนวกที่ ค3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เฟลส
หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 5 ซม.



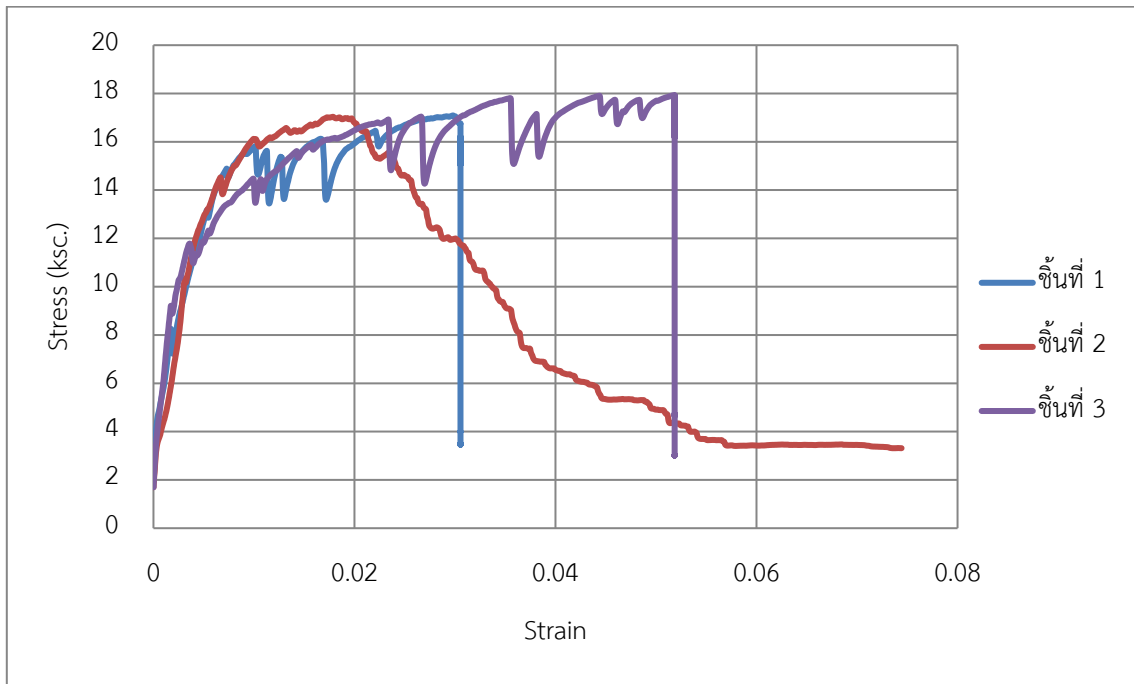
รูปผนวกที่ ค4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เฟลส
หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 10 ซม.



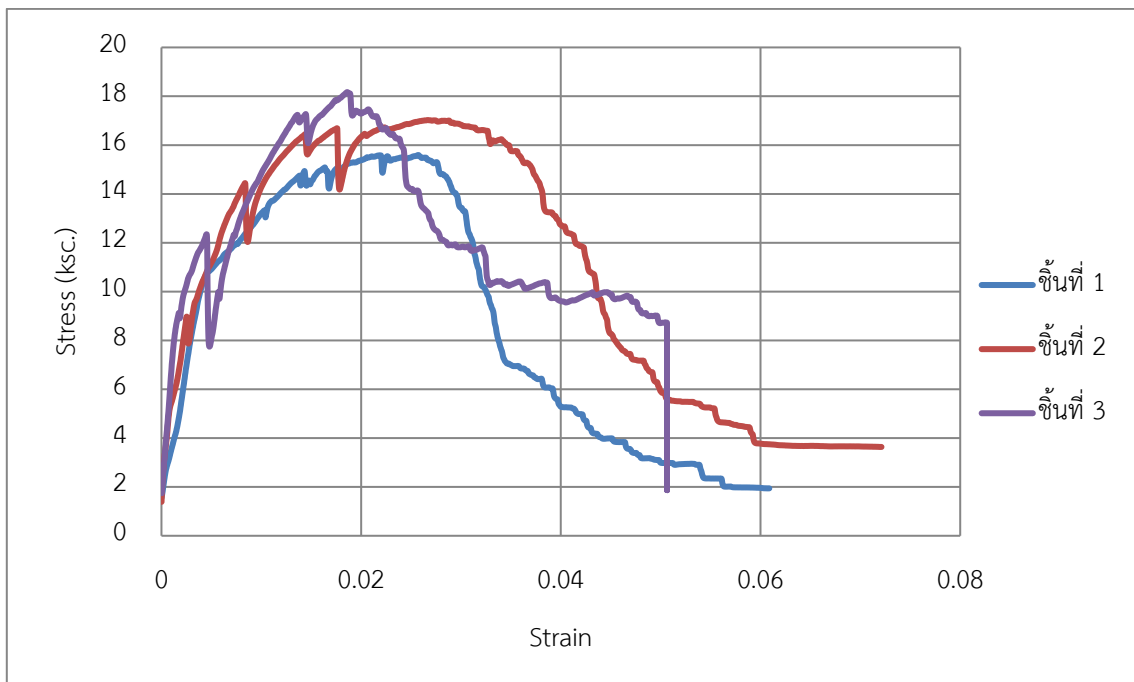
รูปผนวกที่ ค5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เฟลส
หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 7.5 ซม.



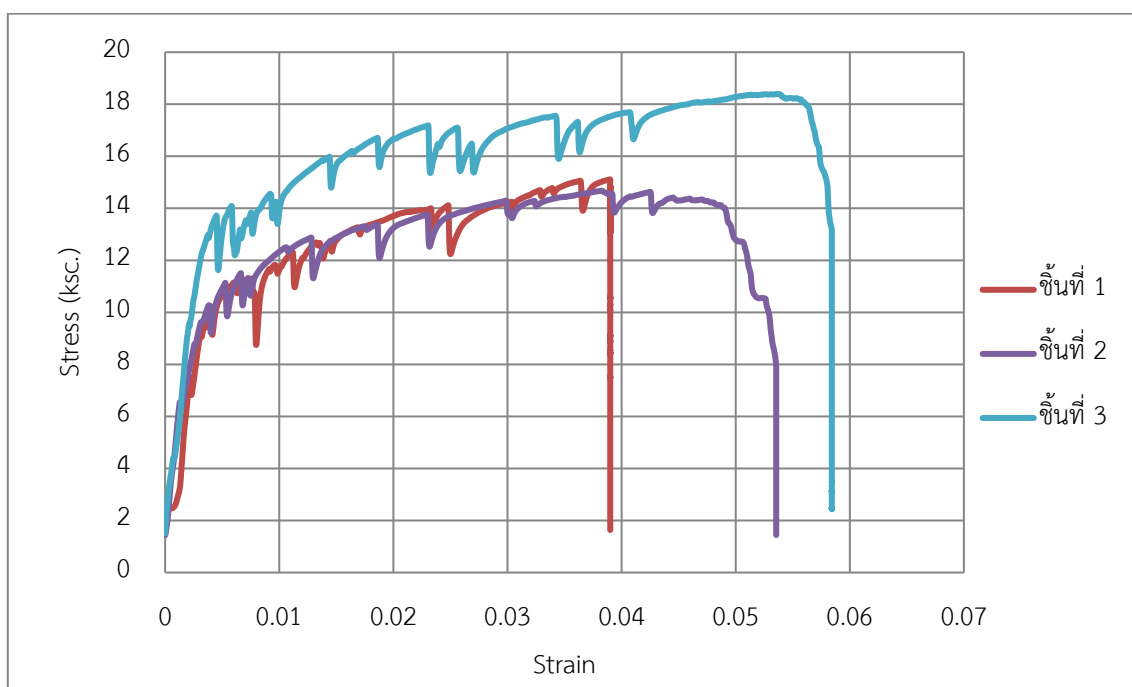
รูปผนวกที่ ค6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เฟลส
หมุดยึดชนิดตะปูที่ระยะ 15 ซม.



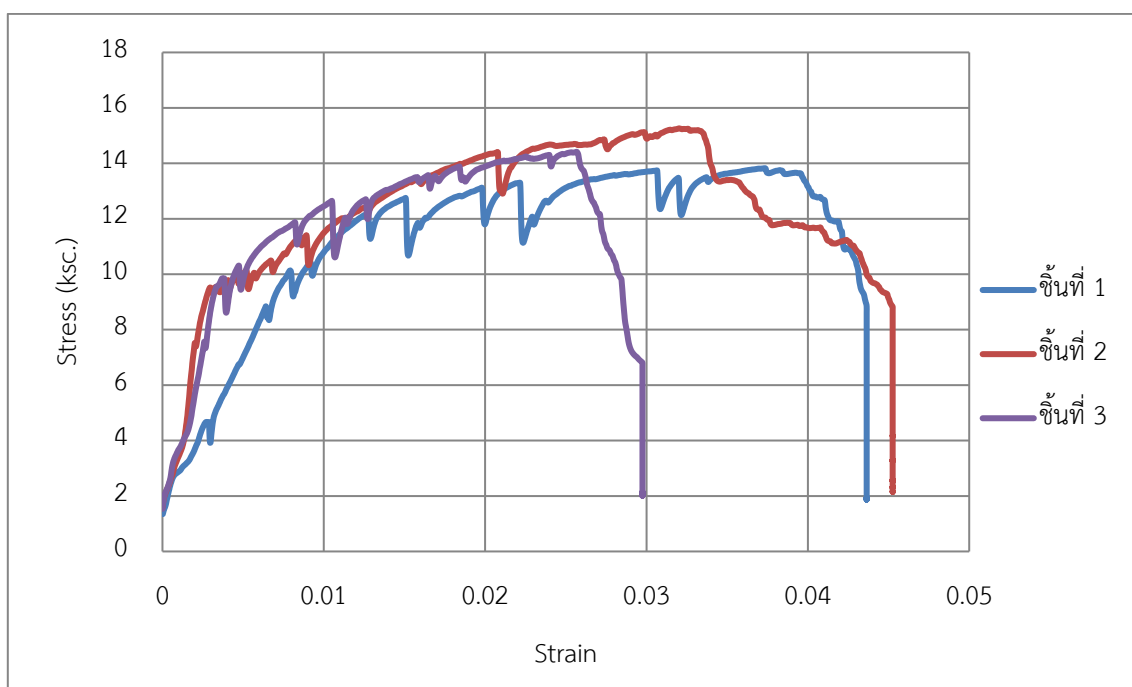
รูปผนวกที่ ค7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เฟลส
หมุดยึดชนิดน็อต สกรูที่ระยะ 5 ซม.



รูปผนวกที่ ค8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เฟลส
หมุดยึดชนิดน็อต สกรูที่ระยะ 10 ซม.

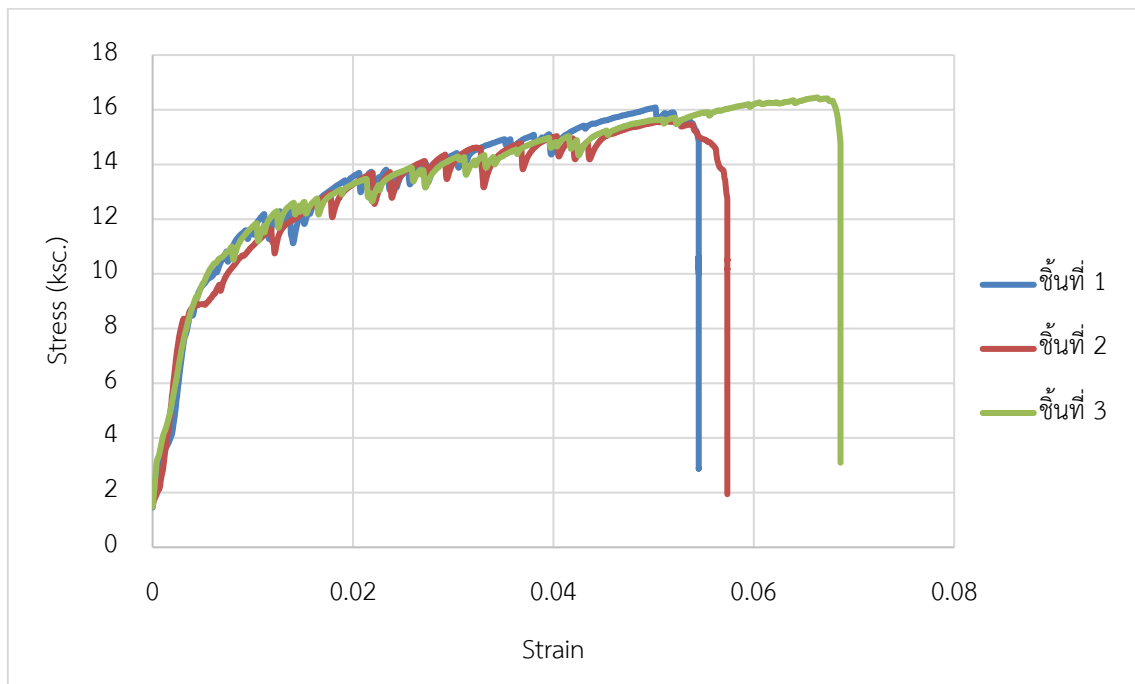


รูปผนวกที่ ค9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เฟลส หมุดยึดชนิดน็อต สกรูที่ระยะ 7.5 ซม.

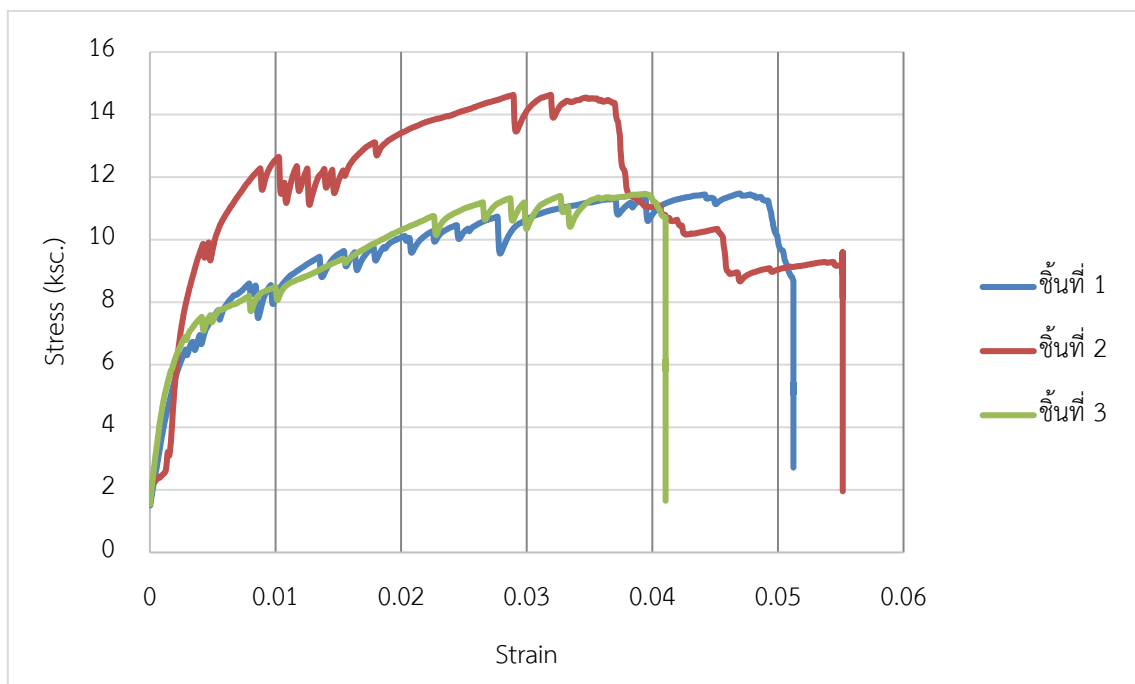


รูปผนวกที่ ค10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซีเมนต์เฟลส หมุดยึดชนิดน็อต สกรูที่ระยะ 15 ซม.

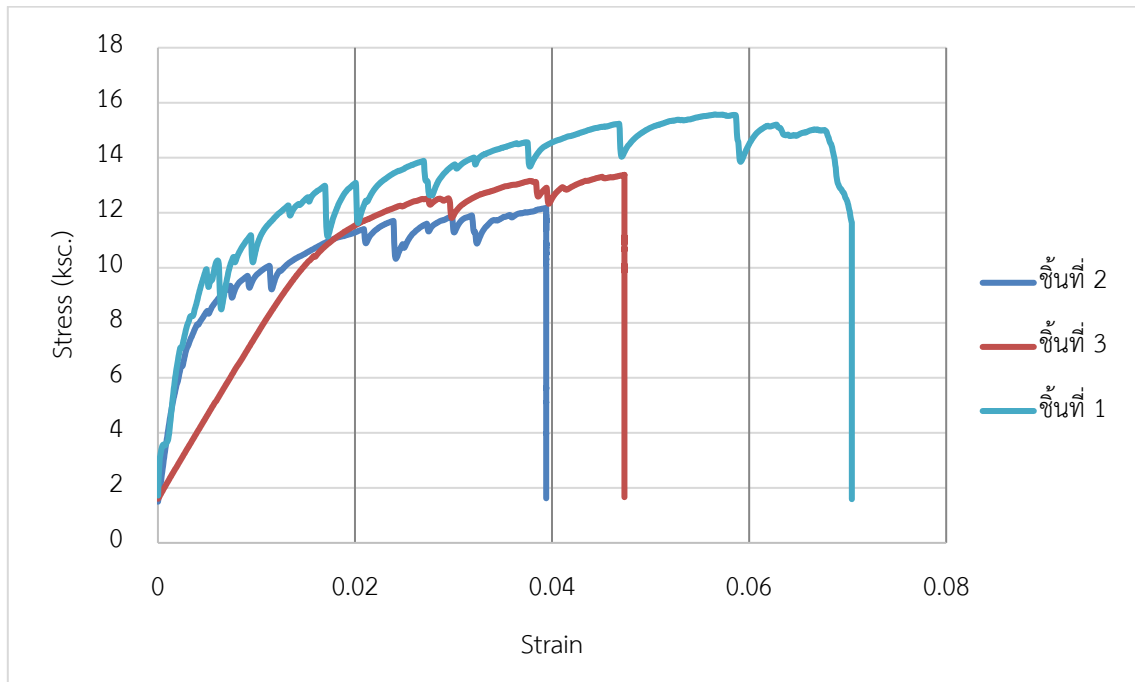
8.3.2 ตัวเชื่อมประสานมอร์ตาร์



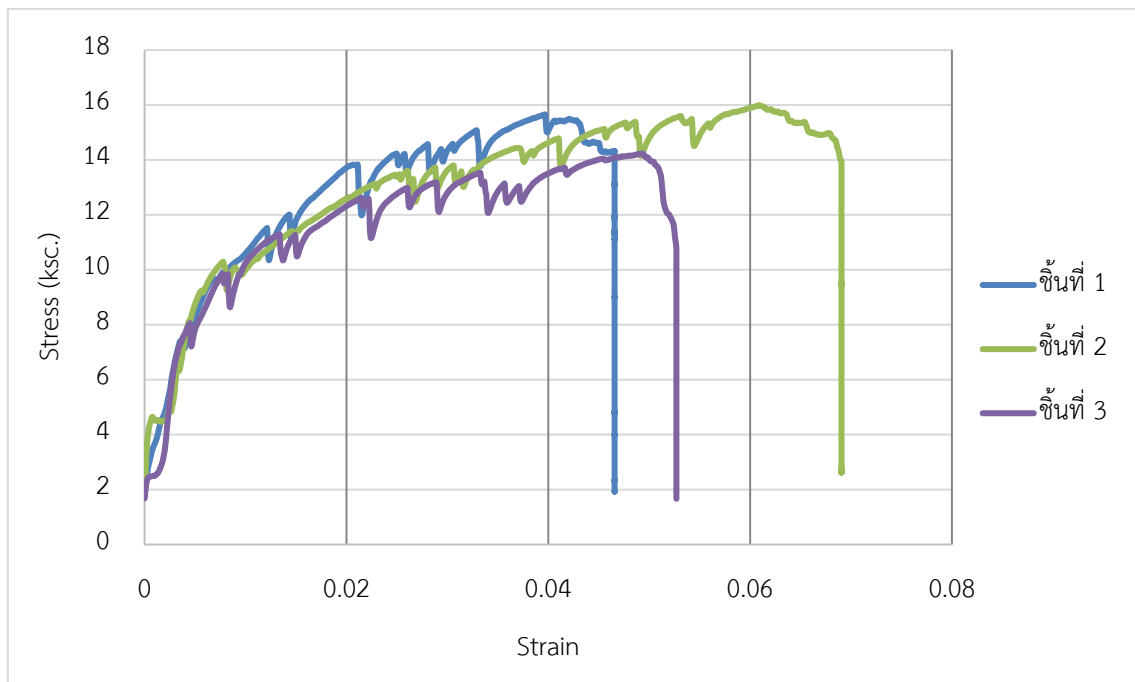
รูปผนวกที่ ค11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ตาร์ ไม่มี
หมุดยึดขนาด 20 ซม.



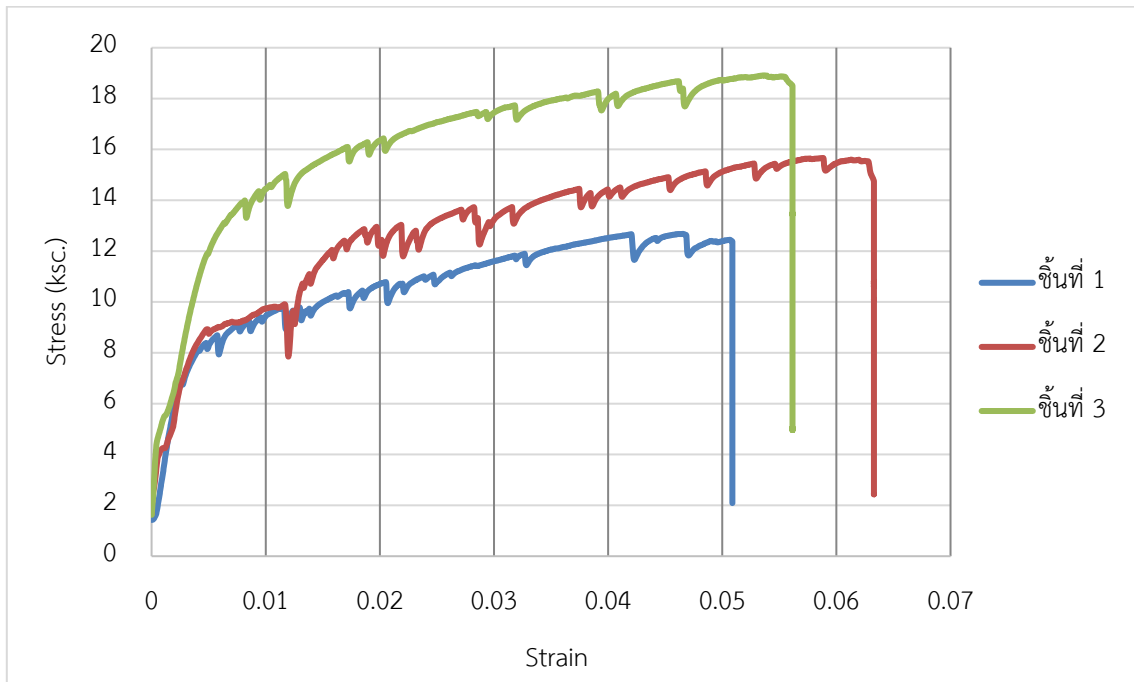
รูปผนวกที่ ค12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ตาร์ ไม่มี
หมุดยึดขนาด 30 ซม.



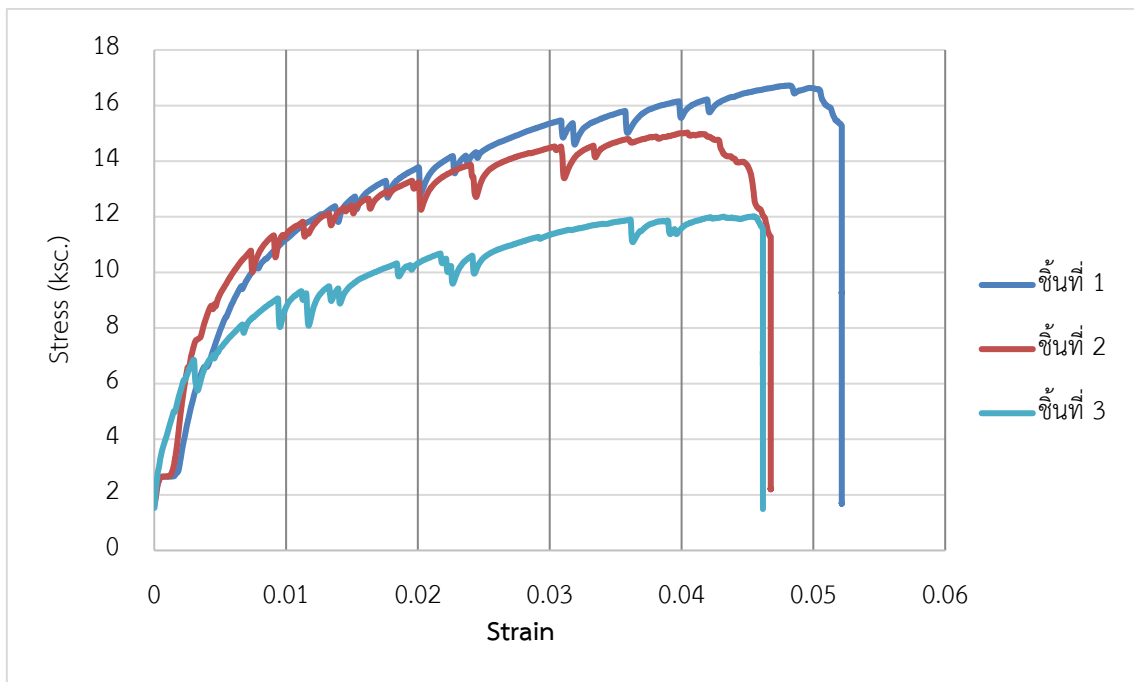
รูปผนวกที่ ค13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ต้าร์ หมุด ยึดชนิดตะปูที่ระยะ 5 ซม.



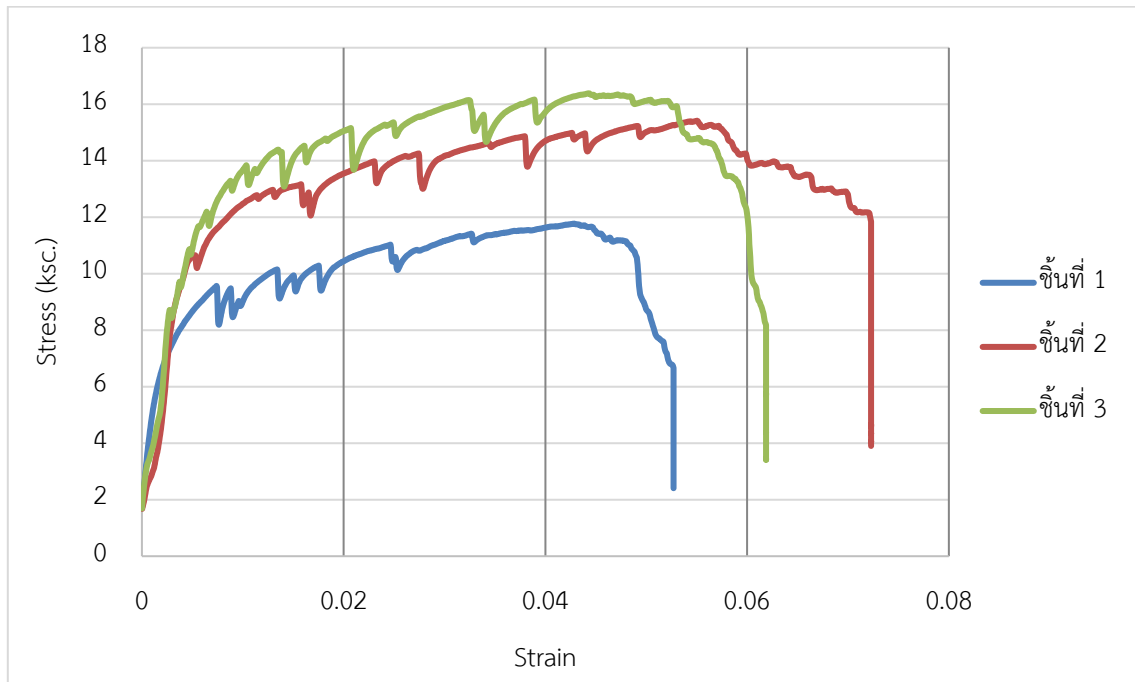
รูปผนวกที่ ค14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ต้าร์ หมุด ยึดชนิดตะปูที่ระยะ 10 ซม.



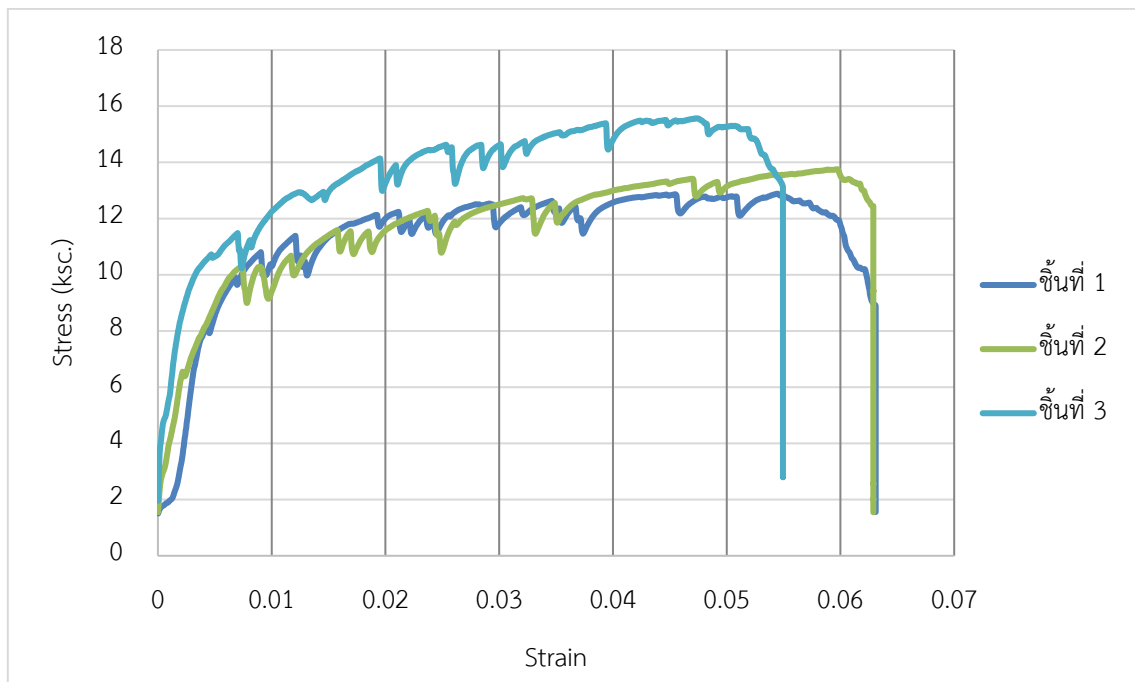
รูปผนวกที่ ค15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ต้าร์ หมุด ยึดชนิดตะปูที่ระยะ 7.5 ซม.



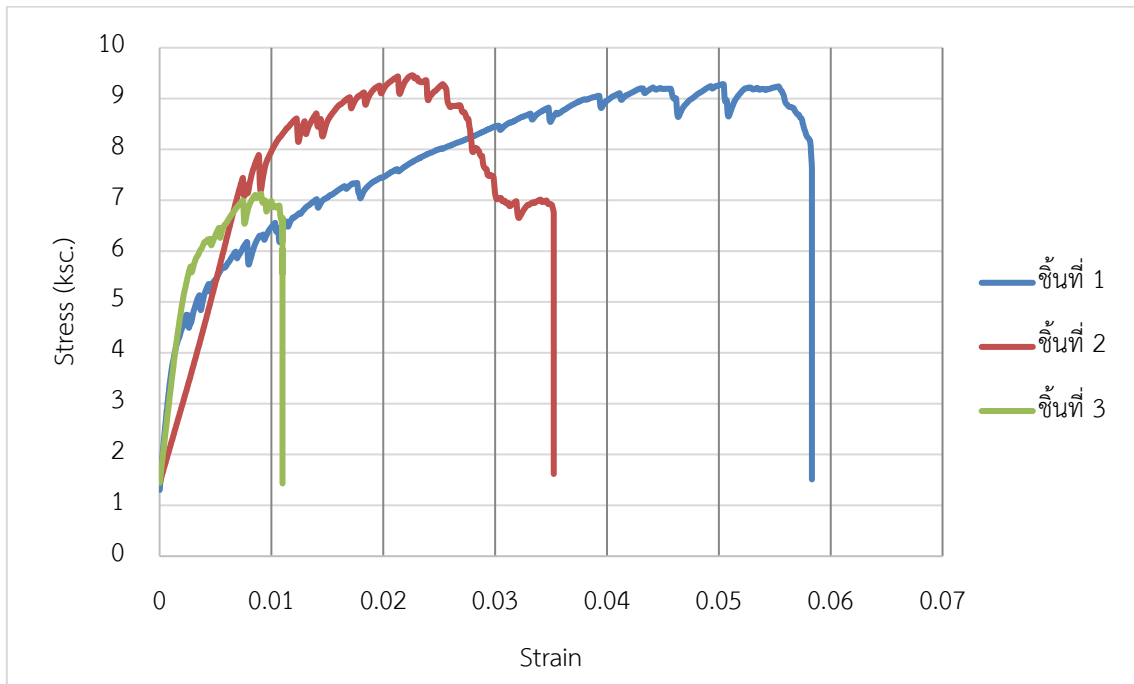
รูปผนวกที่ ค16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ต้าร์ หมุด ยึดชนิดตะปูที่ระยะ 15 ซม.



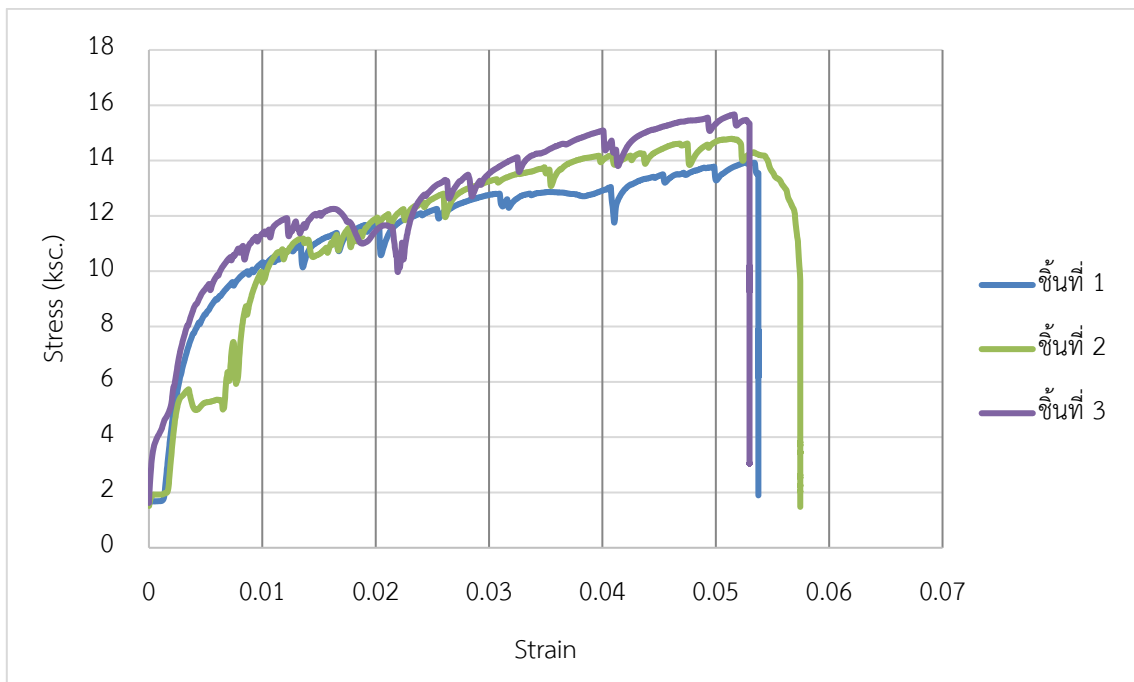
รูปผนวกที่ ค17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ต้าร์ หมุด ยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 5 ซม.



รูปผนวกที่ ค18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ต้าร์ หมุด ยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 10 ซม.

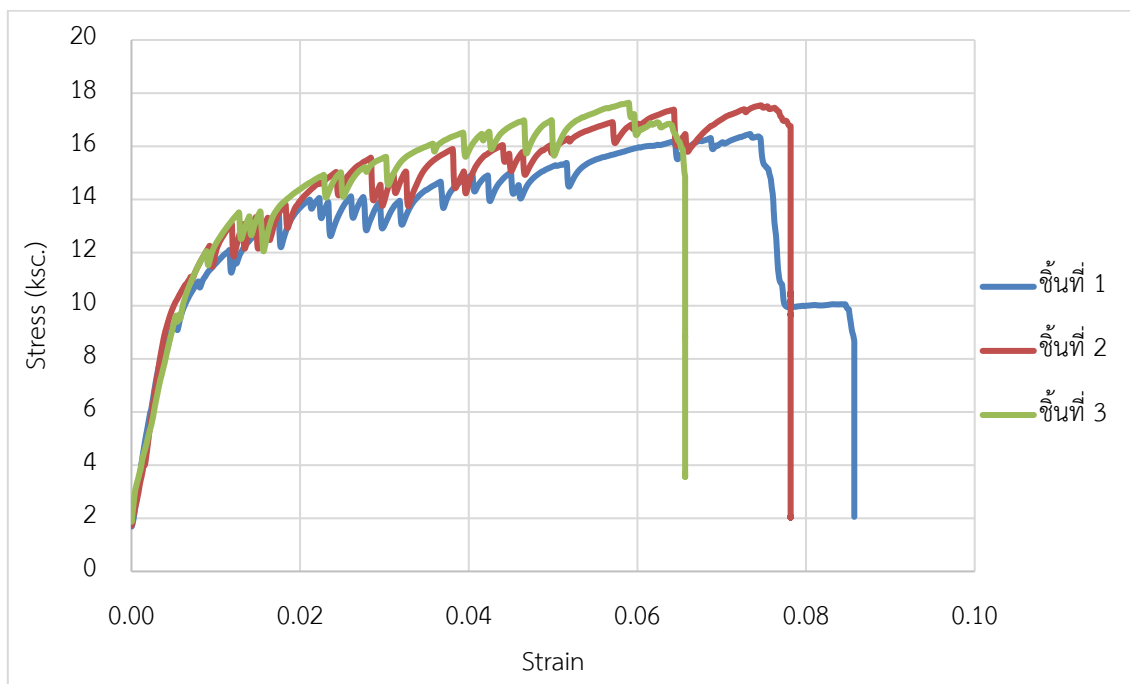


รูปผนวกที่ ค19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ต้าร์ หมุด ยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 7.5 ซม.

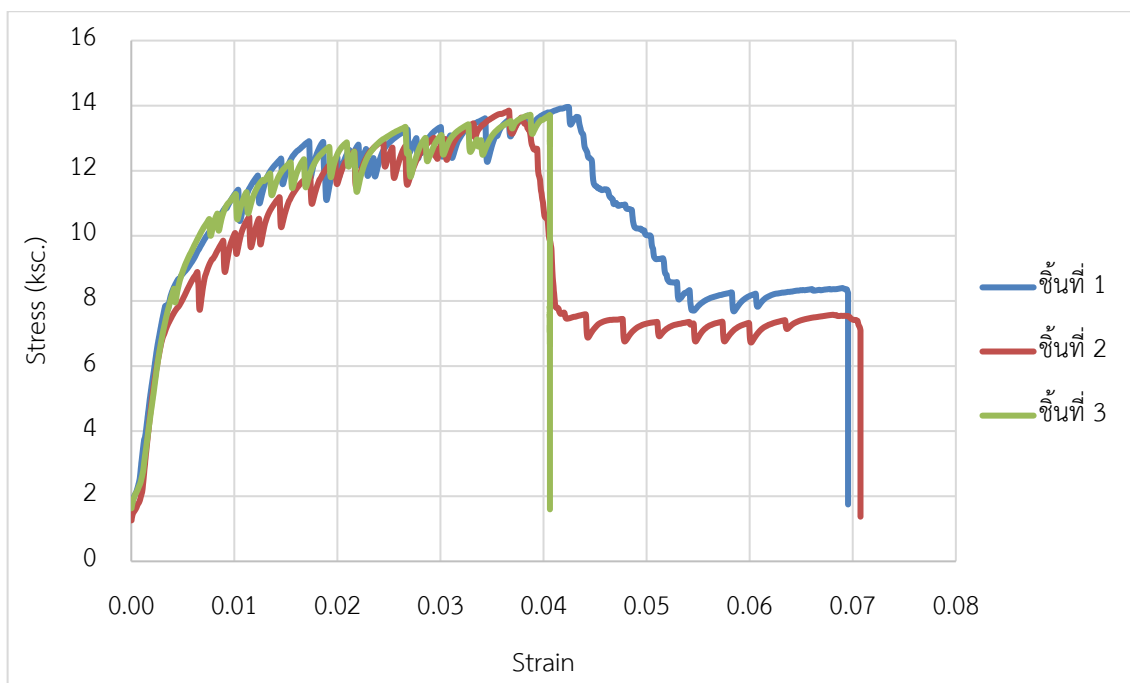


รูปผนวกที่ ค20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดมอร์ต้าร์ หมุด ยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 15 ซม.

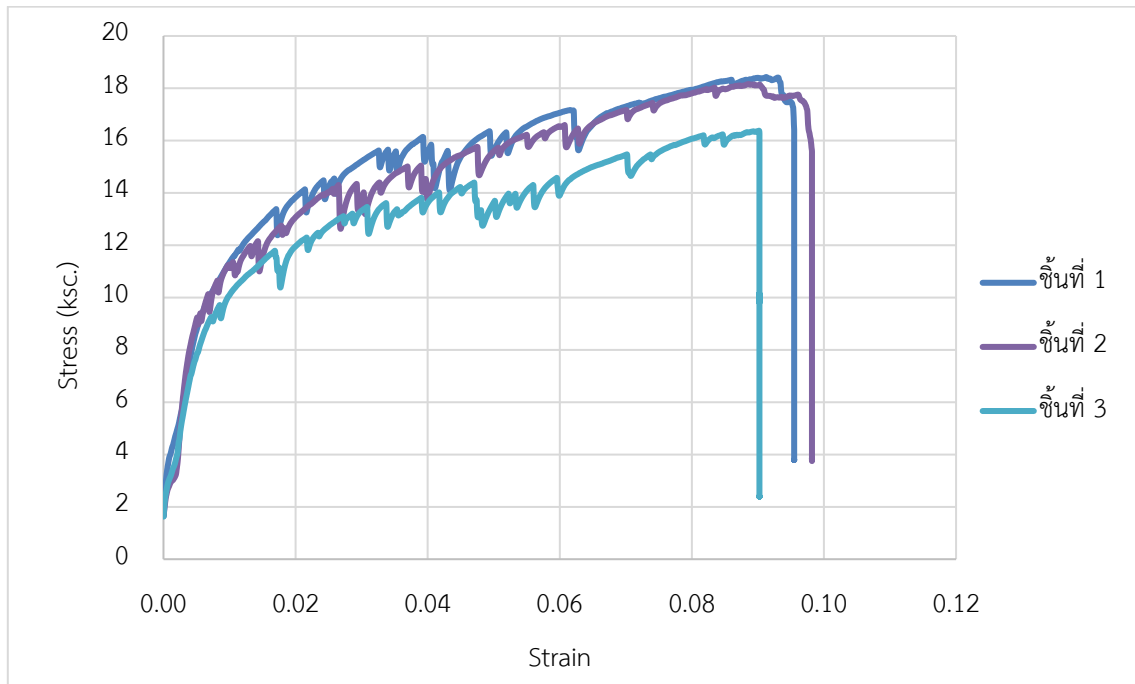
8.3.3 ตัวเชื่อมประสานซีลีโคน



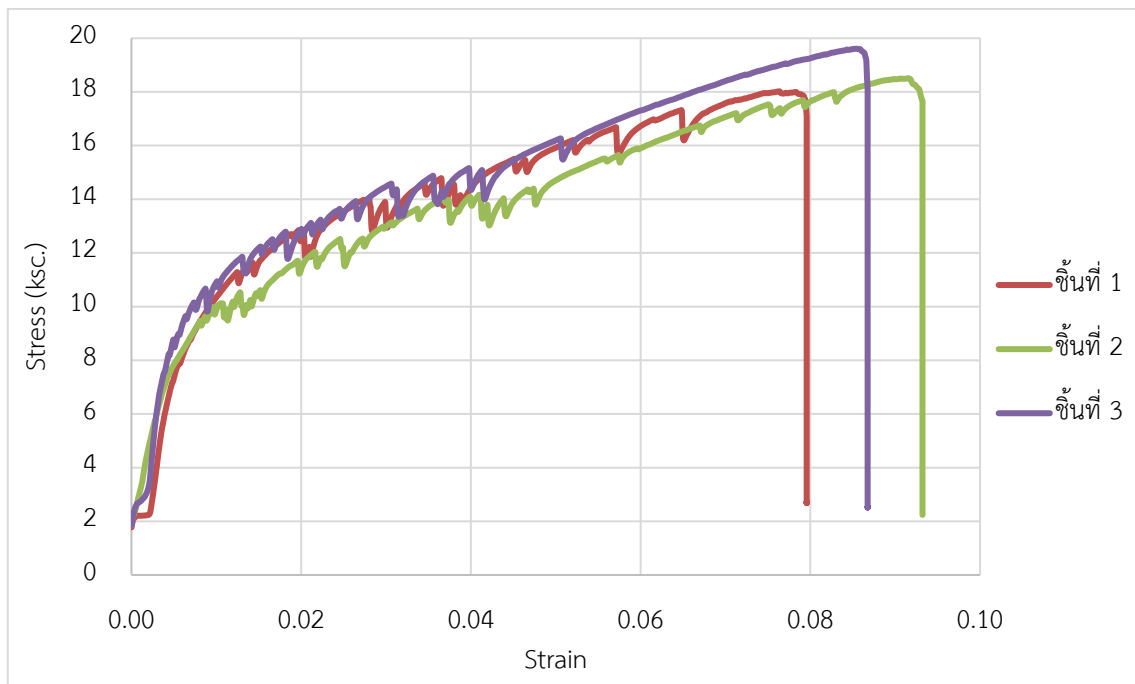
รูปผนวกที่ ค21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซีลีโคน
ไม่มีหมุดยึดขนาด 20 ซม.



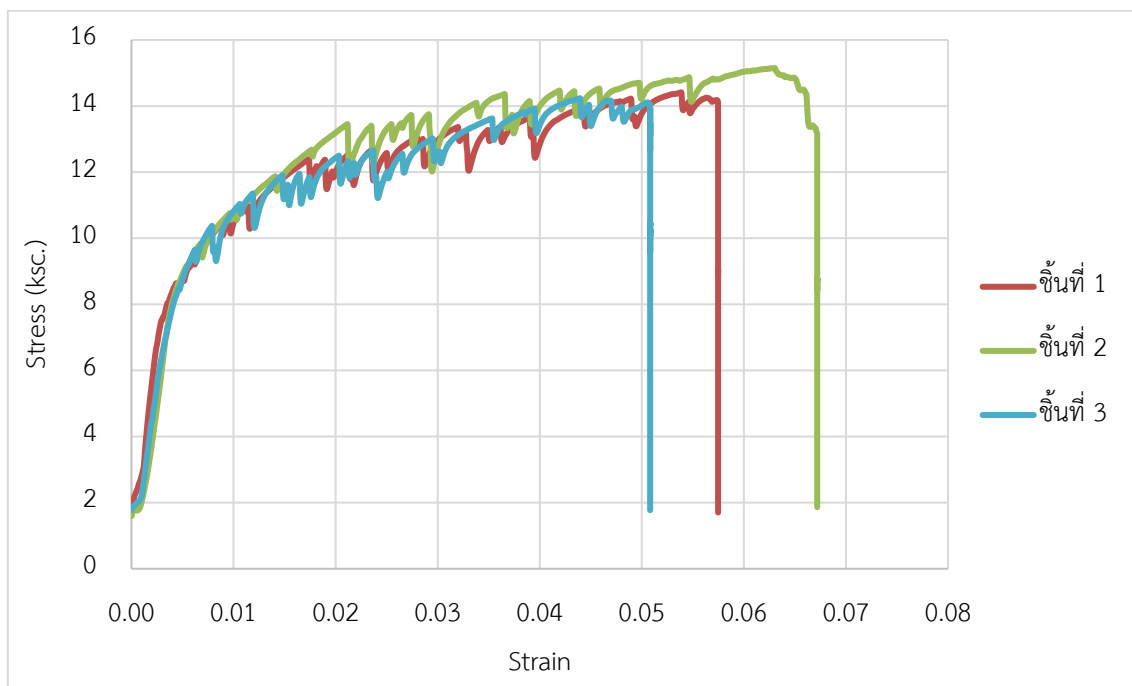
รูปผนวกที่ ค22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซีลีโคน
ไม่มีหมุดยึด ขนาด 30 ซม.



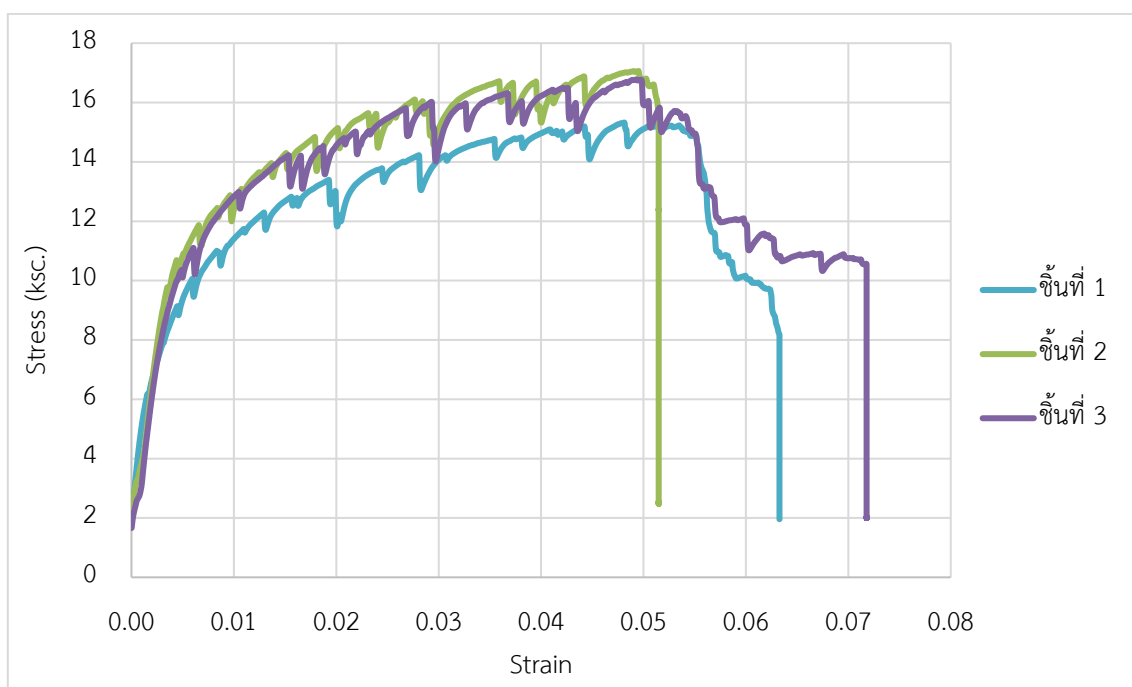
รูปผนวกที่ ค23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซิลิโคน หมุด ยึดชนิดตะปูที่ระยะ 5 ซม.



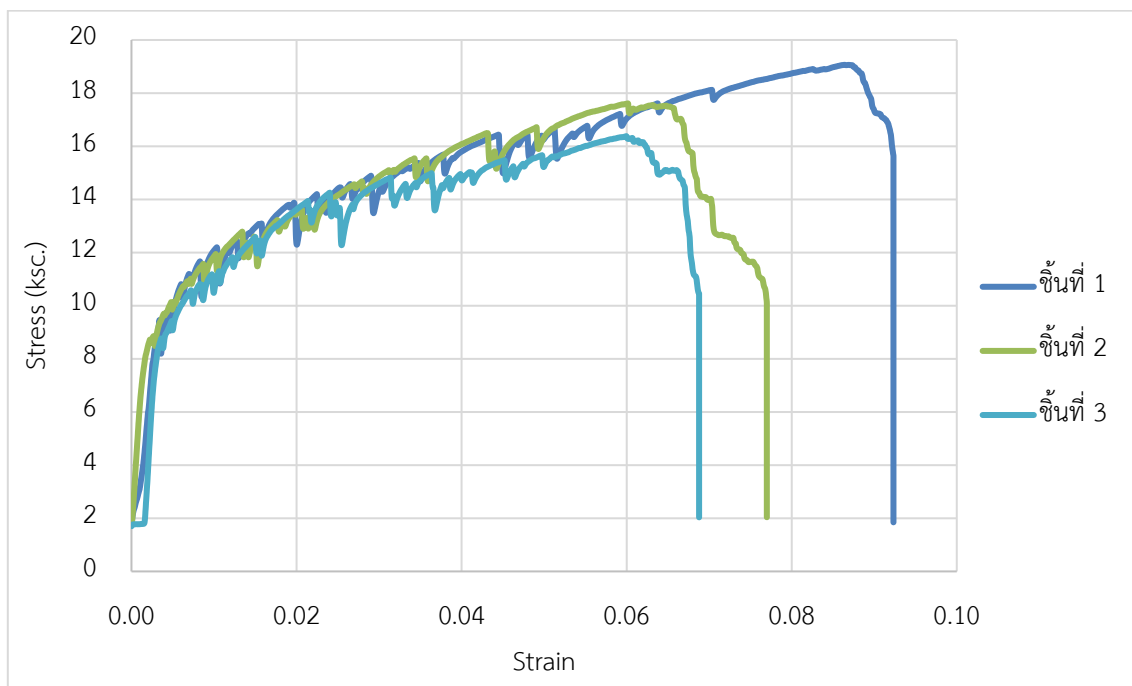
รูปผนวกที่ ค24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซิลิโคน หมุด ยึดชนิดตะปูที่ระยะ 10 ซม.



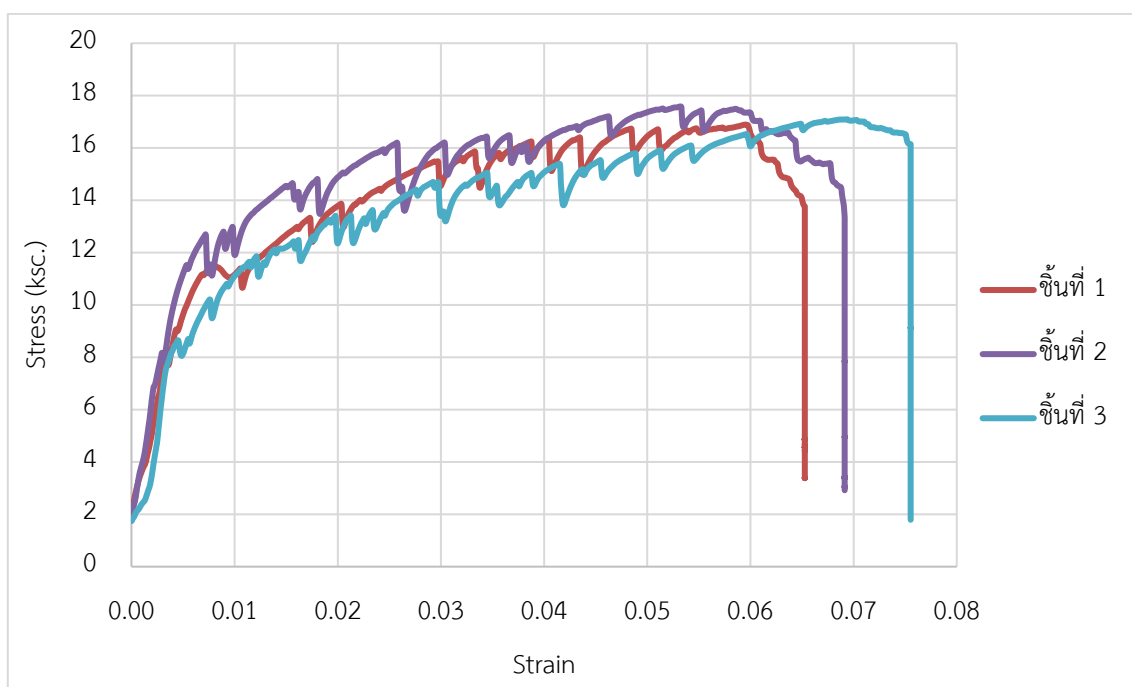
รูปผนวกที่ ค25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซิลิโคน หมุด ยึดชนิดตะปูที่ระยะ 7.5 ซม.



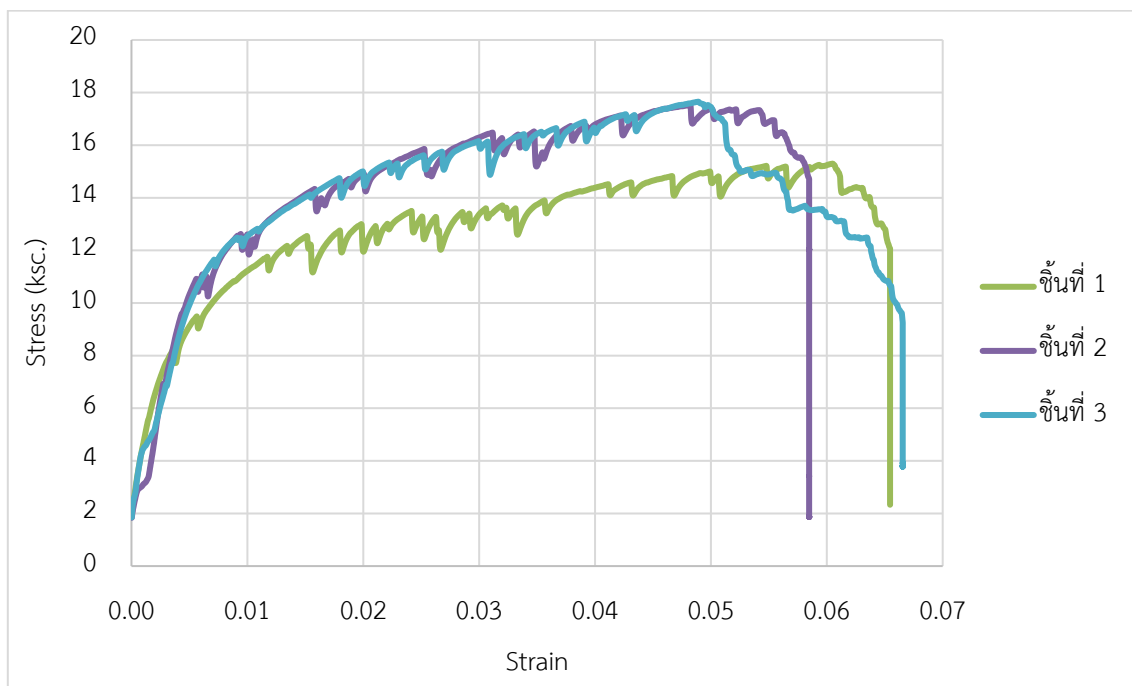
รูปผนวกที่ ค26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซิลิโคน หมุด ยึดชนิดตะปูที่ระยะ 15 ซม.



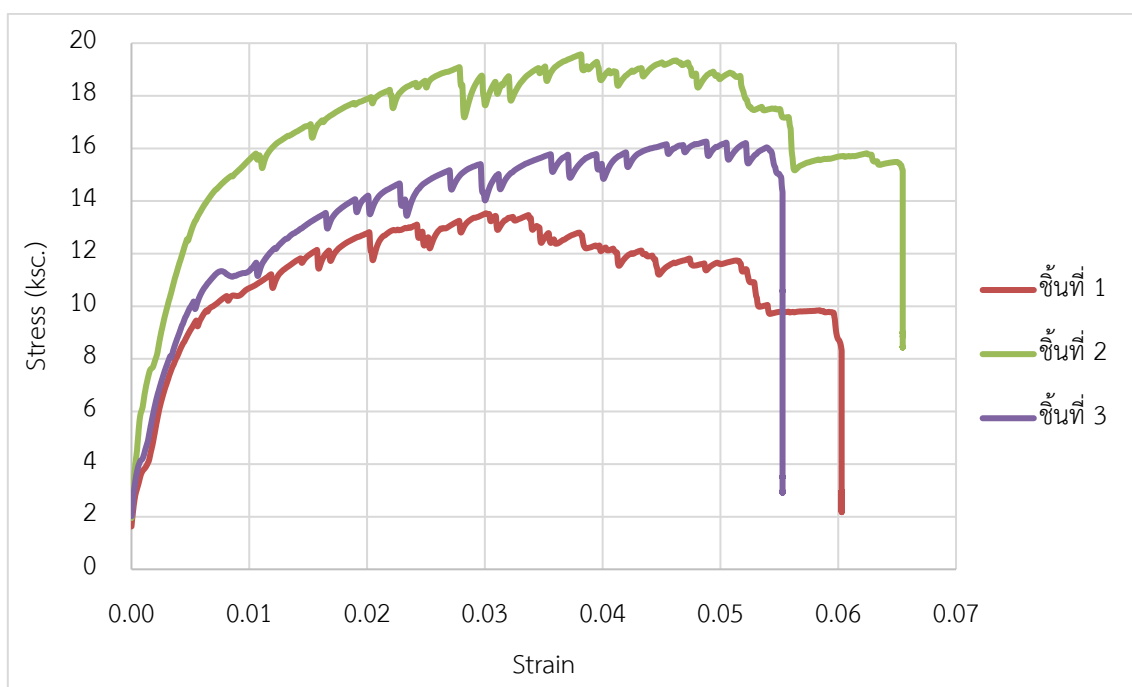
รูปผนวกที่ ค27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซิลิโคน หมุด ยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 5 ซม.



รูปผนวกที่ ค28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซิลิโคน หมุด ยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 10 ซม.



รูปผนวกที่ ค29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซิลิโคน หมุด ยึดชนิดน็อตสกรูที่ระยะ 7.5 ซม.



รูปผนวกที่ ค30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวเชื่อมประสานชนิดซิลิโคน หมุด ยึดชนิดน็อตสกรู ที่ระยะ 15 ซม.

ตารางผนวกที่ 1 ค่าเฉลี่ย Ultimate tensile strength ของ Cement ที่ 28 วันและส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน

cement 28 day																			
1. cement เปลา 20 cm		2. cement ปลา 30 cm		3. cement screw 5 cm		4. cement screw 10 cm		5. cement screw 7.5 cm		6. cement screw 15 cm		7. cement nail 5 cm		8. cement nail 10 cm		9. cement nail 7.5 cm		10. cement nail 15 cm	
Stress	Strain	Stress	Strain	Stress	Strain	Stress	Strain	Stress	Strain	Stress	Strain	Stress	Strain	Stress	Strain	Stress	Strain	Stress	Strain
15.764	0.079	16.933	0.026	16.445	0.063	16.537	0.061	15.986	0.049	14.119	0.045	19.245	0.113	20.911	0.029	15.660	0.060	15.728	0.061
Standard Deviation																			
0.551		1.063		1.222		1.378		2.035		0.860		4.416		2.811		0.657		1.023	

ตารางผนวกที่ 2 ค่าเฉลี่ย Ultimate tensile strength ของ Mortar ที่ 28 วันและส่วนเบนเบียงมาตรฐาน

Mortar 28 day																			
1. Mortar เปลา 20 cm		2. Mortar เปลา 30 cm		3. Mortar screw 5 cm		4. Mortar screw 10 cm		5. Mortar screw 7.5 cm		6. Mortar screw 15 cm		7. Mortar nail 5 cm		8. Mortar nail 10 cm		9. Mortar nail 7.5 cm		10. Mortar nail 15 cm	
Stress	Strai n	Stress	Strai n	Stress	Strai n	Stress	Strain	Stress	Strain	Stress	Strain	Stress	Strain	Stress	Strain	Stress	Strain	Stress	Strai n
15.75 1	0.058	12.33 4	0.045	14.351	0.056	13.906	0.057	7.529	0.024	14.719	0.055	13.299	0.049	14.638	0.051	15.475	0.051	10.764	0.036
Standard Deviation																			
0.559		1.839		2.442		1.382		1.867		0.875		1.795		1.231		3.136		3.283	

ตารางผนวกที่ 3 ค่าเฉลี่ย Ultimate tensile strength ของ Silicone ที่ 28 วันและส่วนเบนเบียงมาตรฐาน

Silicone 28 day																			
1. Silicone เปล้า 20 cm		2. Silicone เปล้า 30 cm		3. Silicone screw 5 cm		4. Silicone screw 10 cm		5. Silicone screw 7.5 cm		6. Silicone screw 15 cm		7. Silicone nail 5 cm		8. Silicone nail 10 cm		9. Silicone nail 7.5 cm		10. Silicone nail 5 cm	
Stress	Strain	Stress	Strain	Stress	Stress	Stress	Strain	Stress	Strain	Stress	Strain	Stress	Strain	Stress	Strain	Stress	Strain	Stress	Strain
16.758	0.082	13.527	0.070	18.39 3	0.092	16.926	0.070	16.609	0.063	15.959	0.060	17.631	0.095	18.243	0.083	14.378	0.057	16.337	0.058
Standard Deviation																			
0.859		0.405		1.598		0.480		1.353		3.088		1.116		0.996		0.556		0.934	

ประวัตินิสิต

- | | | |
|--|------------------------|---------------------------------|
| 1. ชื่อ-นามสกุล นางสาวจิรนนท์ | จันทร์มณี | เลขประจำตัวนิสิต 5920500328 |
| ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน | คณะวิศวกรรมศาสตร์ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| ที่อยู่ปัจจุบัน 114 หมู่ 13 ตำบลอ้อมน้อย | อำเภอกระทุ่มแบน | จังหวัดสมุทรสาคร 74130 |
| โทรศัพท์เคลื่อนที่ 092-265-7186 | | E-mail ja_w.r.t.11@hotmail.com |
| ระดับการศึกษา: | | |
| คุณวุฒิการศึกษา | จากโรงเรียน/สถาบัน | ปีการศึกษาที่จบ |
| มัธยมศึกษาตอนปลาย | โรงเรียนวัดไร่ขิงวิทยา | 2558 |
| มัธยมศึกษาตอนต้น | โรงเรียนวีรสุนทร | 2555 |
| | | |
| 2. ชื่อ-นามสกุล นางสาวนิตารัตน์ | ลิ้มอุดมทรัพย์ | เลขประจำตัวนิสิต 5920500433 |
| ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน | คณะวิศวกรรมศาสตร์ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| ที่อยู่ปัจจุบัน 68 หมู่ 4 ตำบลดอนตูม | อำเภอบางเลน | จังหวัดนครปฐม 73150 |
| โทรศัพท์เคลื่อนที่ 098-907-8252 | | E-mail A.nisaratt1125@gmail.com |
| ระดับการศึกษา: | | |
| คุณวุฒิการศึกษา | จากโรงเรียน/สถาบัน | ปีการศึกษาที่จบ |
| มัธยมศึกษาตอนปลาย | โรงเรียนคชทองวิทยา | 2558 |
| มัธยมศึกษาตอนต้น | โรงเรียนคชทองวิทยา | 2555 |
| | | |
| 3. ชื่อ-นามสกุล นายธนากร | ทูลยอด | เลขประจำตัวนิสิต 5920503106 |
| ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน | คณะวิศวกรรมศาสตร์ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| ที่อยู่ปัจจุบัน 146 หมู่ 4 ตำบลสามง่าม | อำเภอดอนตูม | จังหวัดนครปฐม 73150 |
| โทรศัพท์เคลื่อนที่ 098-347-9396 | | E-mail tulyod89230@gmail.com |
| ระดับการศึกษา: | | |
| คุณวุฒิการศึกษา | จากโรงเรียน/สถาบัน | ปีการศึกษาที่จบ |
| มัธยมศึกษาตอนปลาย | โรงเรียนคชทองวิทยา | 2558 |
| มัธยมศึกษาตอนต้น | โรงเรียนคชทองวิทยา | 2555 |

(ชื่อภาษาไทย) การศึกษาความสามารถในการทนแรงดึงของรอยต่อผ้าใบคอนกรีต

(ชื่อภาษาอังกฤษ) An experimental study on the tensile strength of concrete fabric joint

โดย

นางสาวจิรนนท์	จันทร์มณี	5920500328
นางสาวนิศารัตน์	ลิ้มอุดมทรัพย์	5920500433
นายธนากร	ทูลยอด	5920503106

โครงการวิศวกรรมชลประทาน

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมชลประทาน