บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ การทดสอบคุณสมบัติของเส้นใยชนิดต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการศึกษาพฤติกรรมการดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมกำลังโดยวิธีขยายหน้าตัดด้วยคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กแบบตะขอ โดยรายละเอียดต่างๆจะแสดงดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูล

3.1.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการดำเนินการ ศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เกี่ยวข้องและศึกษาผลการทดสอบที่ได้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยทำการค้นคว้าจากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากนั้นนำมาทำการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่างๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาและจัดทำทำงานวิจัยนี้ต่อไป โดยมุ่งหวังที่จะพัฒนาวิธีการเสริมกำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กเดิมโดยไม่ต้องทำลาย เพื่อให้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการซ่อมแซมหรือเสริมกำลังให้แก่อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กต่อไป

3.1.2 สถานที่และบุคคลสำหรับรวบรวมข้อมูลและทำการทดสอบ

1. อาจารย์ที่ ปรึกษา ผศ.ดร. ชูชัย สุจิวรกุล ภาควิชาครุศาสตร์โยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
2. สำนักหอสมุดมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี
3. Internet และ Website ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
4. ห้องปฏิบัติการทดสอบคอนกรีต สาขาวิชาช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคอุดรธานี
5. ห้องปฏิบัติการทดสอบคอนกรีต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตขอนแก่น

3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1. **ปูนซีเมนต์** ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
2. **ทราย** ใช้ทรายน้ำจืดล้างน้ำจนสะอาด ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16 ค้างตะแกรงเบอร์ 60

3. มวลรวมหยาบ (หิน) ใช้หินปูนคัดเลือกมาจากหนึ่งแหล่งที่ใช้ในการก่อสร้างโดยใช้หินขนาดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ ½ นิ้วและค้างบนตะแกรงเบอร์ 3/8 นิ้ว

4. น้ำ ใช้น้ำสะอาด ในการทดสอบนี้ใช้น้ำประปาในการผสมตัวอย่าง

5. เหล็กเสริม ใช้เหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD 30 ขนาด 12 มิลลิเมตร

6. เส้นใยเหล็ก ใช้เส้นใยเหล็กที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด โดยคุณสมบัติของเส้นใยเหล็กแบบตะขอที่ใช้ในการทดสอบจะมีคุณสมบัติ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และลักษณะของเส้นใย ดังแสดงในรูปที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของเส้นใยเหล็กแบบตะขอที่ใช้ในการผสมในคอนกรีต

Fiber Type	Diameter(D) mm.	Length(L_f) mm.	L_f/D (Length/depth)	Tensile Strength ksc
HF65/35	0.54	35	65	11,000

รูปที่ 3.1 เส้นใยเหล็กแบบตะขอ

3.2.1 ปูนกาว

ปูนกาวสำหรับปูกระเบื้องยี่ห้อ Weber ไทล์ รุ่น วิส ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด ซึ่งจะนำมาใช้สำหรับแต่งผิวคานให้เกิดความขรุขระ ก่อนที่จะทำการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC โดยรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.2 และลักษณะปูนกาวดังแสดงในรูปที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดปูนกาวที่ใช้

Category	Composition	Performance
Normal cementitious adhesive	Portland cement, Mineral aggregates, Organic additives	Conform to ISO 13007 and 12004 : 2001

รูปที่ 3.2 ปูนกาวที่ใช้ในการทดสอบ

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมืออื่นๆที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์และเครื่องมืออื่นๆเป็นชุดอุปกรณ์ประกอบที่จำเป็น สำหรับการศึกษาพฤติกรรมการดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมกำลังโดยวิธีขยายหน้าตัดด้วยคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กแบบตะขอ และอุปกรณ์ในการวัดการทรุดตัว โดยประกอบไปด้วย

3.3.1 ตะแกรงวิเคราะห์ขนาด

ใช้สำหรับคัดแยกทราย ที่จะนำไปใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตและมอร์ตาร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 ตะแกรงวิเคราะห์ขนาด

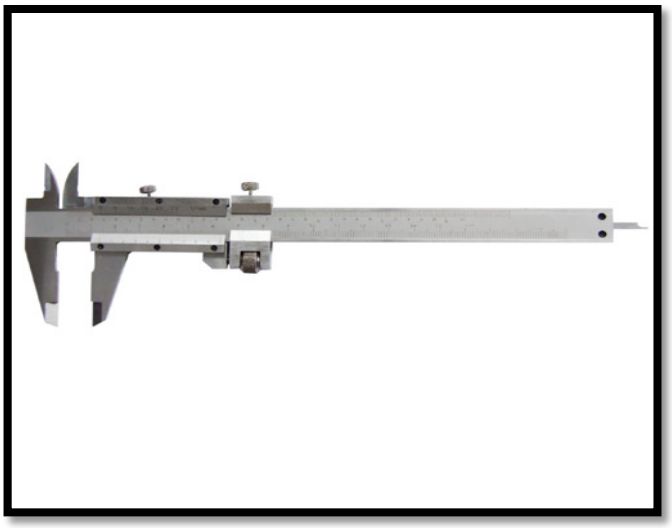
3.3.2 ตะปูสำหรับสกัดผิวคอนกรีต

ใช้สำหรับทำการสกัดผิวตัวอย่างคานคอนกรีตควบคุมให้เกิดการขรุขระก่อนทำการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ดังแสดงในรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 ตะปูสกัดผิวคอนกรีต

3.3.3 เครื่องวัดเวอร์เนียร์

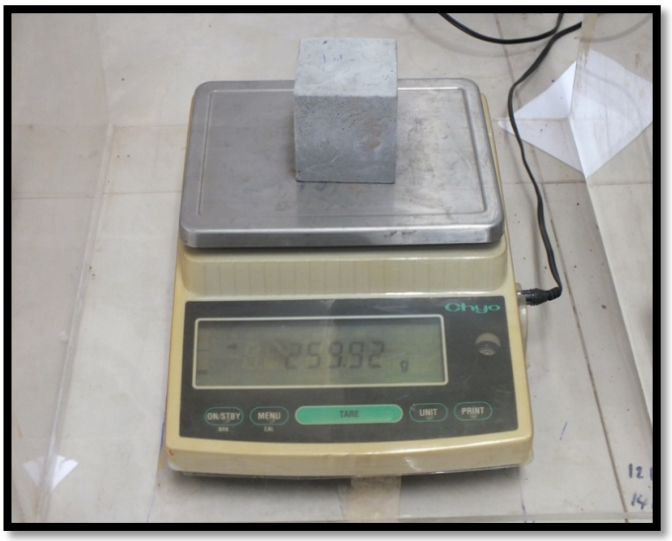
เครื่องมือสำหรับใช้ในงานวัดละเอียด ใช้วัดความกว้างและความลึก ระยะกว้างสุดวัดได้ถึง 6 นิ้ว หรือ 120 ม.ม. ในงานวิจัยนี้จำถูกนำมาใช้ในการวัดขนาดของตัวอย่างมอร์ตาร์ก่อนที่จะนำไปทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องวัดเวอร์เนียร์

3.3.4 เครื่องชั่งน้ำหนัก

เครื่องชั่งแบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีวิธีการใช้งานที่ง่าย มีความถูกต้องและความแม่นยำสูงโดยจะถูกนำมาใช้สำหรับชั่งน้ำหนักวัสดุต่างๆที่ใช้ในการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครื่องชั่งน้ำหนัก

3.3.5 แบบหล่อตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุม

การทำแบบหล่อตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาด 0.10 x 0.15 ม. ยาว 1.10 ม. จะนำไม้อัดมาใช้ในการประกอบแบบหล่อแล้วทำการทาผิวของแบบหล่อตัวอย่างด้วยน้ำมันเครื่อง เพื่อให้ง่ายต่อการแกะตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมออกจากแบบหล่อ ดังแสดงในรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 แบบหล่อตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุม

3.3.6 แบบหล่อมอร์ตาร์

แบบหล่อตัวอย่างมอร์ต้าแบบทองเหลือง ขนาด 0.05 x 0.05 x 0.05 ม. เพื่อนำไปทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างมอร์ตาร์ ก่อนนำไปขยายหน้าตัดให้แก่ตัวอย่างคาน ดังแสดงในรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 แบบหล่อตัวอย่างมอร์ตาร์

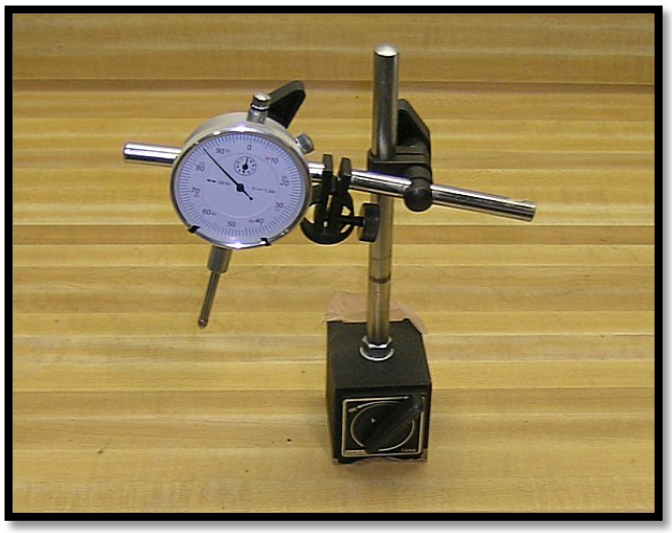
3.3.7 แบบหล่อคอนกรีตทรงกระบอก

แบบหล่อตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 ม.สูง 0.30 ม. เพื่อนำไปทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีต ก่อนนำไปทำการหล่อตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 แบบหล่อตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอก

3.3.8 อุปกรณ์อ่านค่าการโก่งตัว (Dial Gauge)

ใช้สำหรับทำการอ่านค่าการโก่งตัวที่กึ่งกลางตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กก่อนและหลังการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 อุปกรณ์อ่านค่าการโก่งตัว

3.3.9 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงดัด (Universal Testing Machine)

เครื่องทดสอบวัสดุเอนกประสงค์ สามารถให้แรงกระทำต่อ ชิ้นงาน ทั้งแรงดึง แรงอัด แรงดัด ซึ่งแรงที่ให้นั้นจะเป็นแรงทดสอบที่คงที่ในการกระทำต่อชิ้นงาน (Static load test) ในการทดสอบนี้จะถูกนำมาใช้สำหรับทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์, กำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม และกำลังรับแรงดัดของตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมก่อนและหลังการขยายหน้าตัดด้วย HF-FRC ดังแสดงในรูปที่ 3.11

รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงดัด

3.4 ขั้นตอนการทดสอบ

ในการทดสอบจะแบ่งวิธีการดำเนินงานออกเป็น 11 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

3.4.1 การออกแบบตัวอย่างในการทดสอบ

3.4.2 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

3.4.3 การออกแบบส่วนผสมวัสดุ HS-FRC

3.4.4 การทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของเหล็กเสริม

3.4.5 การผสมและทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตสดตามอัตราส่วนที่ออกแบบไว้

3.4.6 การผสมและทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์ตามอัตราส่วนที่ออกแบบไว้

3.4.7 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก

3.4.8 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างมอร์ตาร์รูปทรงลูกบาศก์

3.4.9 การทดสอบกำลังรับแรงดัดของตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุม

3.4.10 การขยายหน้าตัดตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมด้วย HS-FRC การทดสอบกำลังรับแรงดัดของตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมหลังการขยายหน้าตัด

3.4.1 การออกแบบตัวอย่างในการทดสอบ

การเตรียมสภาพผิวตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุม และปริมาณ HS-FRC ที่นำไปขยายหน้าตัด โดยมีรายละเอียด ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การเตรียมสภาพผิวตัวอย่าง และปริมาณ HS-FRC

กำลังอัดคอนกรีต MPa	**สภาพผิวคอนกรีต**	**ปริมาณเส้นใยเหล็ก HS-FRC (40 MPa) ที่นำไปขยายหน้าตัด**	**หมายเหตุ**
30	สภาพผิวคอนกรีตเดิม (ไม่มีการเสริมกำลัง)	-	Control RC Beams
30	สภาพผิวคอนกรีตเดิม แล้วทำการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC	0.5 %	-
		1.0 %	-
		1.5 %	-

ตารางที่ 3.3 การเตรียมสภาพผิวตัวอย่าง และปริมาณ HS-FRC (ต่อ)

กำลังอัดคอนกรีต MPa	สภาพผิวคอนกรีต	ปริมาณเส้นใยเหล็ก HS-FRC (40 MPa) ที่นำไปขยายหน้าตัด	หมายเหตุ
	สภาพผิวขรุขระ แล้วทำการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC	0.5 %	-
		1.0 %	-
		1.5 %	-
	สภาพผิวปูนกาว แล้วทำการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC	0.5 %	-
		1.0 %	-
		1.5 %	-

3.4.2 การออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีต

จะทำการออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีต [7, 9] โดยใช้วิธีของสถาบันคอนกรีตอเมริกัน (American Concrete; ACI) โดยกำหนดค่าความยุบตัว 8-12 ซม. กำลังอัดของคอนกรีตเท่ากับ 30 MPa ซึ่งได้อัตราส่วนผสม ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนผสมคอนกรีตโดยน้ำหนัก

Mix No.	อัตราส่วนผสมคอนกรีต (กก. /ม^3.)			
	ปูน	ทราย	หิน	น้ำ
Mix 1 30 MPa	409	953	751	166

3.4.3 การออกแบบอัตราส่วนผสมวัสดุ HS-FRC

จะทำการออกแบบอัตราส่วนผสมวัสดุ HS-FRC ในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อนำไปขยายหน้าตัด ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของวัสดุ HS-FRC

Mix No.	อัตราส่วนผสมวัสดุ HS-FRC (กก. /ม^3.)			
	ปูน	ทราย	น้ำ	ปริมาณเส้นใย
Mix 2 40 MPa, V_f = 0.5%	653	979	424	39.45
Mix 3 40 MPa, V_f = 1.0%	653	979	424	79.29
Mix 4 40 MPa, V_f = 1.5%	653	979	424	119.54

3.4.4 การทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของเหล็กเสริม

การทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของเหล็กเสริม [25, 26] ตามาตรฐาน ASTM A 617 จะใช้ตัวอย่างเหล็กที่มีความยาวประมาณ 60 – 100 ซม. โดยมีระยะ Gauge Length เท่ากับ 5D (D หมายถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็ก) และระยะระหว่างหัวจับเท่ากับ 5.5D ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine ออกแรงดึงด้วยอัตราความเร็ว 30 นิวตันต่อตารางเมตรต่อวินาที (300 ksc/วินาที) บันทึกแรงที่กระทำและค่า Deformation ที่เกิดขึ้นจนกระทั้งถึงจุดคราก และตัวอย่างขาดออกจากกัน จากนั้นสังเกตุตำแหน่งและลักษณะของรอยที่ขาด วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยที่ขาด และค่าการยืดตัวในช่วง Gauge Length

3.4.5 การผสมและทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตสดตามอัตราส่วนที่ออกแบบไว้

การผสมคอนกรีตจะทำการผสมตามอัตราส่วนที่ได้ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 3.4.2 แล้วทำการควบคุมค่าการยุบตัว (Slump Test) ให้ได้ความยุบตัวอยู่ที่ 8-12 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM C143 จากนั้นนำจึงคอนกรีตสดที่ผ่านการควบคุมค่าการยุบตัว (Slump Test) ไปเทในแบบหล่อตัวอย่างที่เตรียมไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.12 การทดสอบค่าความยุบตัว (Slump Test)

3.4.6 การผสมและทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์ตามอัตราส่วนที่ออกแบบไว้

การผสมมอร์ตาร์จะทำการผสมตามอัตราส่วนที่ได้ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 3.4.3 ไปเทในแบบหล่อตัวอย่างที่เตรียมไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.13 การเทมอร์ตาร์ในแบบหล่อ

3.4.7 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก จะทำการหล่อตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 x 0.30 m. จำนวน 3 ตัวอย่าง กำลังอัดประลัยของคอนกรีต

ที่ 28 วัน เท่ากับ 30 MPa ตามที่ออกแบบไว้ไปทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด ตามมาตรฐาน ASTM C39-94 โดยนำตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอก มาเช็ดให้แห้ง ชั่งน้ำหนัก วัดขนาดกว้างยาว สูง พร้อมบันทึกค่าให้เรียบร้อย จากนั้นนำแท่งทดสอบเข้าเครื่องทดสอบกำลังอัด ดังแสดงในรูปที่ 3.14

รูปที่ 3.14 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก

3.4.8 การทดสอบหากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างมอร์ตาร์รูปทรงลูกบาศก์

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างมอร์ตาร์รูปทรงลูกบาศก์ จะทำการหล่อตัวอย่างมอร์ตาร์รูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 0.05 x 0.05 x 0.05 ม. จำนวน 3 ตัวอย่าง ไปทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน BS 1881:PART 4 โดยนำมอร์ตาร์รูปทรงลูกบาศก์ มาเช็ดให้แห้ง ชั่งน้ำหนัก วัดขนาดกว้างยาว สูง พร้อมบันทึกค่าให้เรียบร้อย จากนั้นนำแท่งทดสอบเข้าเครื่องทดสอบกำลังอัด ดังแสดงในรูปที่ 3.15

รูปที่ 3.15 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างมอร์ตาร์

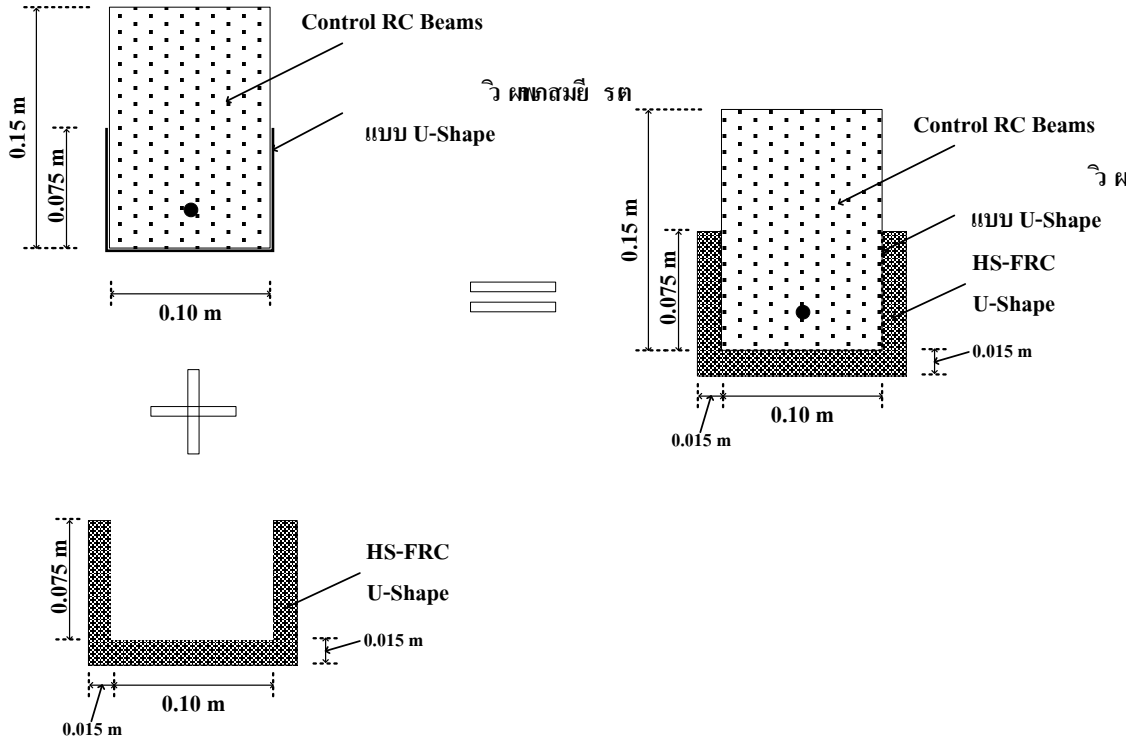
3.4.9 การทดสอบหากำลังรับแรงดัดของตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุม

เมื่อได้ตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุม ขนาด 0.10 x 0.15 ม. ยาว 1.10 ม. เสริมเหล็กข้ออ้อย ขนาด 12 มม. จำนวน 1 เส้น บ่มจนครบอายุ 28 วันแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.16 จึงนำตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุม จำนวน 3 ตัวอย่าง ไปทำการทดสอบหากำลังดัด โดยจะใช้การทดสอบการดัดแบบสี่จุด (Four - Points Bending Tests) ซึ่งใช้ในการศึกษาอิทธิพลต่อกำลังดัด และพฤติกรรมในการรับโมเมนต์ดัดของชิ้นส่วนคอนกรีต

รูปที่ 3.16 ตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุม

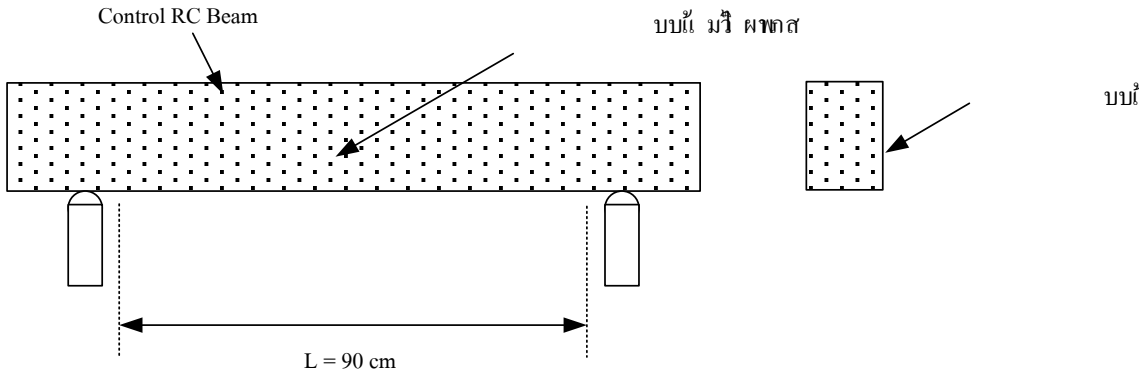
3.4.10 การเตรียมสภาพผิวคานตัวอย่าง แล้วทำการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC

หลังจากทำการทดสอบการดัดของตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมแล้ว จึงได้นำตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมที่เหลือไปทำการเตรียมสภาพผิว แล้วขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ซึ่งสภาพผิวที่ใช้ในการทดสอบมี 3 สภาพผิวคือ สภาพผิวเดิมจากไม้แบบ, สภาพผิวขรุขระ และสภาพผิวปูนกาว โดยในรูปที่ 3.17 จะเป็นวิธีการเตรียมสภาพผิวตัวอย่างคานคอนกรีตควบคุมและการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ส่วนในรูปที่ 3.18 จะเป็นการอธิบายถึงการเตรียมสภาพผิวคานคอนกรีตควบคุมสภาพผิวเดิมจากไม้แบบ, รูปที่ 3.19 จะเป็นการอธิบายถึงการเตรียมสภาพผิวคานคอนกรีตควบคุมสภาพผิวขรุขระ และรูปที่ 3.20 จะเป็นการอธิบายถึงการเตรียมสภาพผิวคานคอนกรีตควบคุมสภาพผิวปูนกาว และในรูปที่ 3.21 จะเป็นการเทวัสดุ HS-FRC ลงในแบบหล่อขยายหน้าตัด



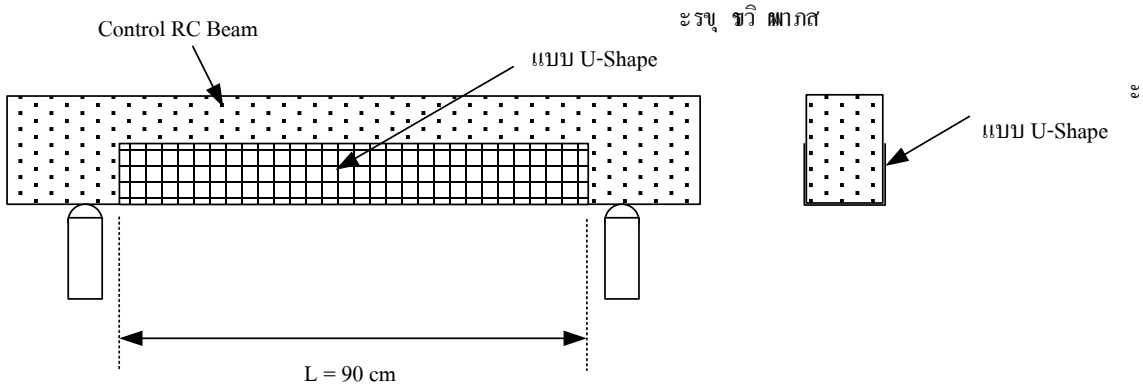
รูปที่ 3.17 การเตรียมผิวและขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC

รูปที่ 3.17 จะเป็นวิธีการเตรียมสภาพผิวตัวอย่างคานและวิธีการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ซึ่งในการเตรียมสภาพผิวตัวอย่างคานจะทำการเตรียมแบบ U-Shape ซึ่งจะเป็นการเตรียมสภาพผิวเป็นรูปตัว U โดยระยะความสูงในการเตรียมสภาพผิวบริเวณด้านข้างทั้ง 2 ด้านมีระยะความสูงเท่ากับ 0.075 m และผิวบริเวณด้านล่างมีระยะความกว้างเท่ากับ 0.10 m และความยาวในการเตรียมสภาพผิวเท่ากับ 0.90 m ในส่วนของวิธีการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ก็จะใช้วิธีการขยายหน้าตัดตัวอย่างคานแบบ U-Shape ซึ่งจะเป็นการขยายหน้าตัดเป็นรูปตัว U ซึ่งในการขยายหน้าตัดนี้จะทำหลังจากที่เตรียมสภาพผิวเรียบร้อยแล้ว โดยความหนาของ HS-FRC ที่นำไปใช้ในการขยายหน้าตัดเท่ากับ 0.015 m ระยะความสูงในการขยายหน้าตัดที่ผิวบริเวณด้านข้างทั้ง 2 ด้านมีระยะความสูงเท่ากับ 0.075 m และผิวบริเวณด้านล่างมีระยะความกว้างเท่ากับ 0.13 m และความยาวเท่ากับ 0.90 m



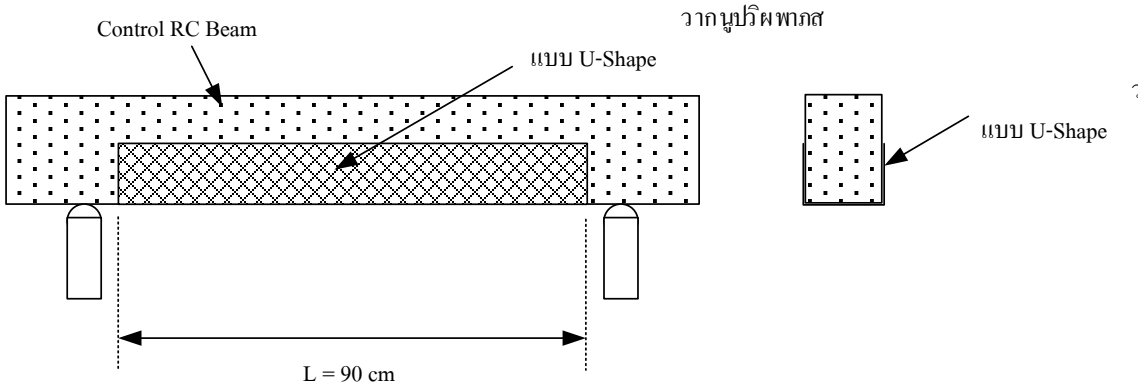
รูปที่ 3.18 การเตรียมสภาพผิวคานคอนกรีตควบคุมสภาพผิวเดิมจากไม้แบบ

รูปที่ 3.18 จะเป็นการเตรียมสภาพผิวตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมก่อนทำการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ซึ่งจะใช้สภาพผิวเดิมหลังจากที่ทำการถอดไม้แบบ แล้วจึงนำไปทำการขยายหน้าตัดในระยะที่ทำการออกแบบไว้ในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.19 การเตรียมสภาพผิวคานคอนกรีตควบคุมสภาพผิวขรุขระ

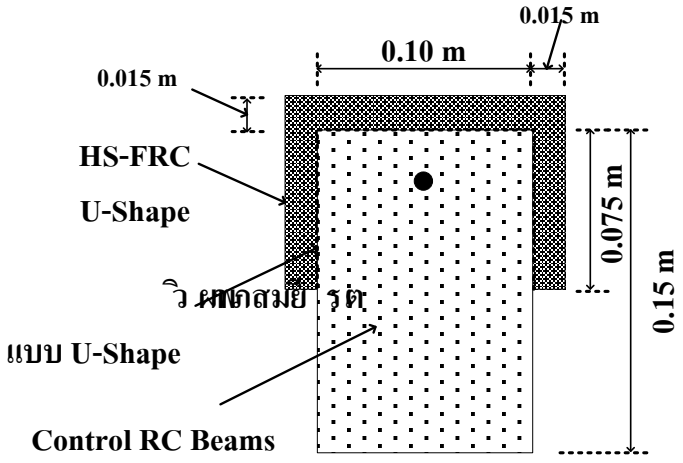
รูปที่ 3.19 จะเป็นการเตรียมสภาพผิวตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมก่อนทำการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ซึ่งจะนำตัวอย่างคานสภาพผิวเดิมหลังจากที่ทำการถอดไม้แบบมาทำการสกัดผิวให้เกิดการขรุขระด้วยตะปูตอกคอนกรีตแล้วจึงนำไปทำการขยายหน้าตัดในระยะที่ทำการออกแบบไว้ในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.20 การเตรียมสภาพผิวคานคอนกรีตควบคุมสภาพผิวปูนกาว

รูปที่ 3.20 จะเป็นการเตรียมสภาพผิวตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมก่อนทำการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ซึ่งจะนำตัวอย่างคานสภาพผิวเดิมหลังจากที่ทำการถอดไม้แบบมาทำผิวให้เกิดการขรุขระด้วยปูนกาวที่ได้เลือกใช้ในหัวข้อที่ 3.2.7 โดยจะนำมาทาบางๆบริเวณผิวที่กำหนดไว้ของตัวอย่างคาน แล้วจึงนำไปทำการขยายหน้าตัดในระยะที่ทำการออกแบบไว้ในรูปที่ 3.17

รูปที่ 3.21 การเท HS-FRC ลงในแบบหล่อ

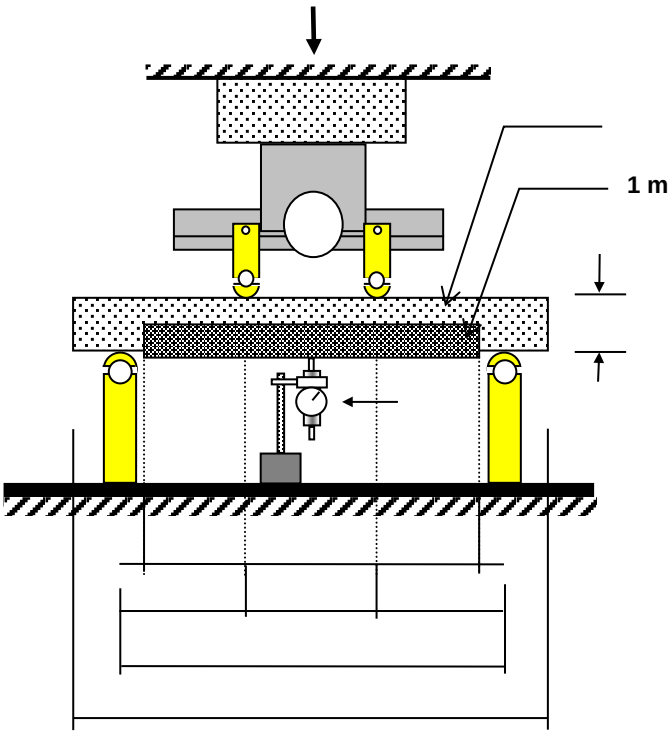


รูปที่ 3.22 ตัวอย่างการเท HS-FRC ลงในแบบหล่อ

หลังจากทำการเตรียมสภาพผิวตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมเรียบร้อยแล้วก็นำไปทำการขยายหน้าตัดตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมด้วย HS-FRC ดังแสดงในรูปที่ 3.21 โดยในขั้นตอนการขยายหน้าตัดตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กด้วย HS-FRC เนื่องจากขนาดในการขยายหน้าตัดค่อนข้างเล็ก เพื่อให้ง่ายต่อการขยายหน้าตัดตัวอย่างทางผู้วิจัยจึงได้ทำโดยการพลิกตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็ก แล้วจึงทำการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC เป็นลักษณะ U คว่ำ และเมื่อทำการขยายหน้าตัดได้ครบทุกตัวอย่างแล้วจึงนำไปทำการบ่มในน้ำเป็นเวลา 28 วัน

3.4.11 การทดสอบกำลังดัดของตัวอย่างคอนกรีต หลังทำการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC

เมื่อได้ตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมที่ถูกขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC และบ่มในน้ำเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงนำไปทดสอบหากำลังดัด ด้วยวิธีทดสอบการดัดแบบสี่จุด (Four-Points Bending Tests) ดังแสดงรูปที่ 3.23 เพื่อศึกษาอิทธิพลต่อกำลังดัดและพฤติกรรมในการรับโมเมนต์ดัดต่างๆ ที่เกิดขึ้นแก่คานตัวอย่างหลังจากทำการขยายหน้าตัด

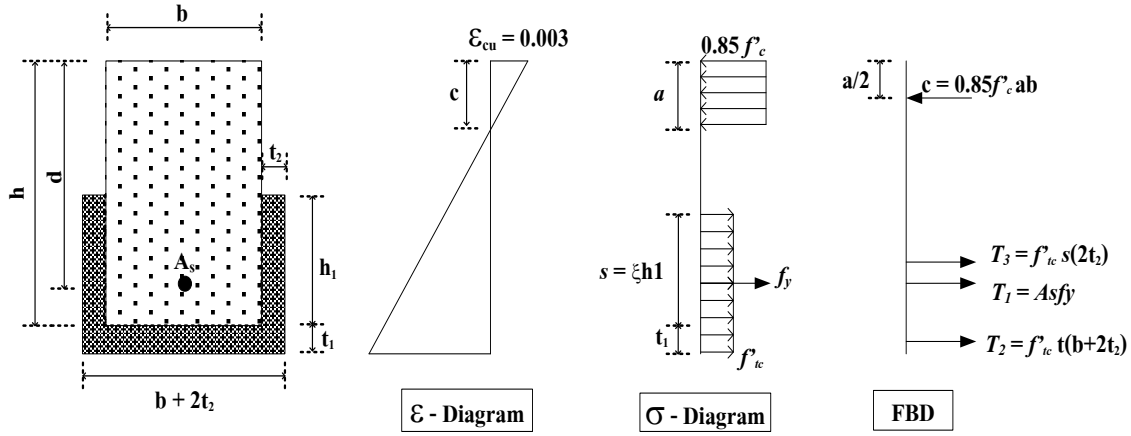


รูปที่ 3.23 การทดสอบการดัดแบบสี่จุด หลังทำการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC

3.4.12 การทำนายผลกำลังรับแรงดัดโดยใช้สมการ (Analysis) พร้อมทำการเปรียบเทียบกับผลกำลังรับแรงดัดที่ได้จากการทดสอบจริง (Test)

ในการทำนายผลกำลังรับแรงดัดของตัวอย่างโดยใช้สมการพร้อมทั้งเปรียบเทียบผลจากการทดสอบจะเริ่มจากการออกแบบหน้าตัดคานที่มีเหล็กเสริมรับแรงดึงที่ถูกขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC จากนั้นจะแสดงการกระจายความเครียดสูงสุดที่เกิดขึ้นกับหน้าตัดคานและแรงที่เกิดขึ้นจริงแล้วจึงทำการจึงสรุปเป็นแรงที่ใช้ในการคำนวณเพื่อนำมาเขียนเป็นสมการเพื่อทำนายผลกำลังรับแรงดัด จากนั้นนำผลกำลังรับแรงดัดที่ได้จากการคำนวณไปทำการเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงดัดที่ได้จากการทดสอบดังแสดงดังต่อไปนี้

3.4.12.1 การออกแบบคานหน้าตัดสี่เหลี่ยมเสริมเหล็กรับแรงดึงและขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC



รูปที่ 3.24 แสดงการแผ่กระจายของหน่วยแรง

จากรูปที่ 3.24 การกระจายหน่วยแรงในภาวะสมดุลของแรง คือ

$$c = T_1 + T_2 + T_3$$

$$a = \frac{A_s f_y + f'_{tc}\,(b + 2t_2) + f'_{tc}(s)(2t_2)}{0.85 f'_c\, b}$$

จะได้

$$a = \frac{A_s f_y + f'_{tc}\,\{b + 2t_2(1 + s)\}}{0.85 f'_c\, b}$$

ดังนั้นจะได้สมการหา M_n ดังนี้

$$M_n = T_1\left(d - \frac{a}{2}\right) + T_2\left(h - \frac{a}{2} - \frac{t_1}{2}\right) + T_3\left(h - \frac{s}{2} - \frac{a}{2}\right)$$

ขณะที่

f_y = จากผลการทดสอบแรงดึงของเหล็ก

$$f'_{tc} = k_2\sqrt{f'_c}$$

$$k_2 = \left(-0.0014 {V_f}^2 + 0.0046 V_f\right)\left(\frac{L_f}{D}\right)\left({L_f}^{0.2}\right)$$

$$P_n = (6M_n/L)$$

เมื่อได้ตัวแปรของสมการทั้งหมดที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดคานแล้ว จึงนำสมการไปทำการคำนวณหาค่ากำลังแรงดัดสูงสุดต่อไป

<u>หมายเหตุ</u>

- ค่า k_2 ได้มาจากบทความ Model of Hooked Steel Fibers Reinforced Concrete under Tension by Chuchai Sujivorakul, Ph.D. Sixth International Workshop on HPFRCC, Ann Arbor, USA, June 19 – 22, 2011.

3.5 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

เมื่อทำการการทดสอบกำลังดัดของตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมที่ถูกขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC เสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงจะทำการวิเคราะห์ผลโดยวิธีการต่อไปนี้

1. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัด และการโก่งตัว
2. ตรวจสอบพฤติกรรมการดัด และลักษณะการพังทลาย
3. เปรียบเทียบตัวแปรต่างๆ ปริมาณเส้นใยเหล็ก และลักษณะสภาพผิวที่มีผลต่อพฤติกรรมการรับแรงดัดของคาน
4. เปรียบเทียบกับผลกำลังรับแรงดัดที่ได้จากการทดสอบจริง (Test) กับการทำนายผลกำลังรับแรงดัดโดยใช้สมการ (Analysis)