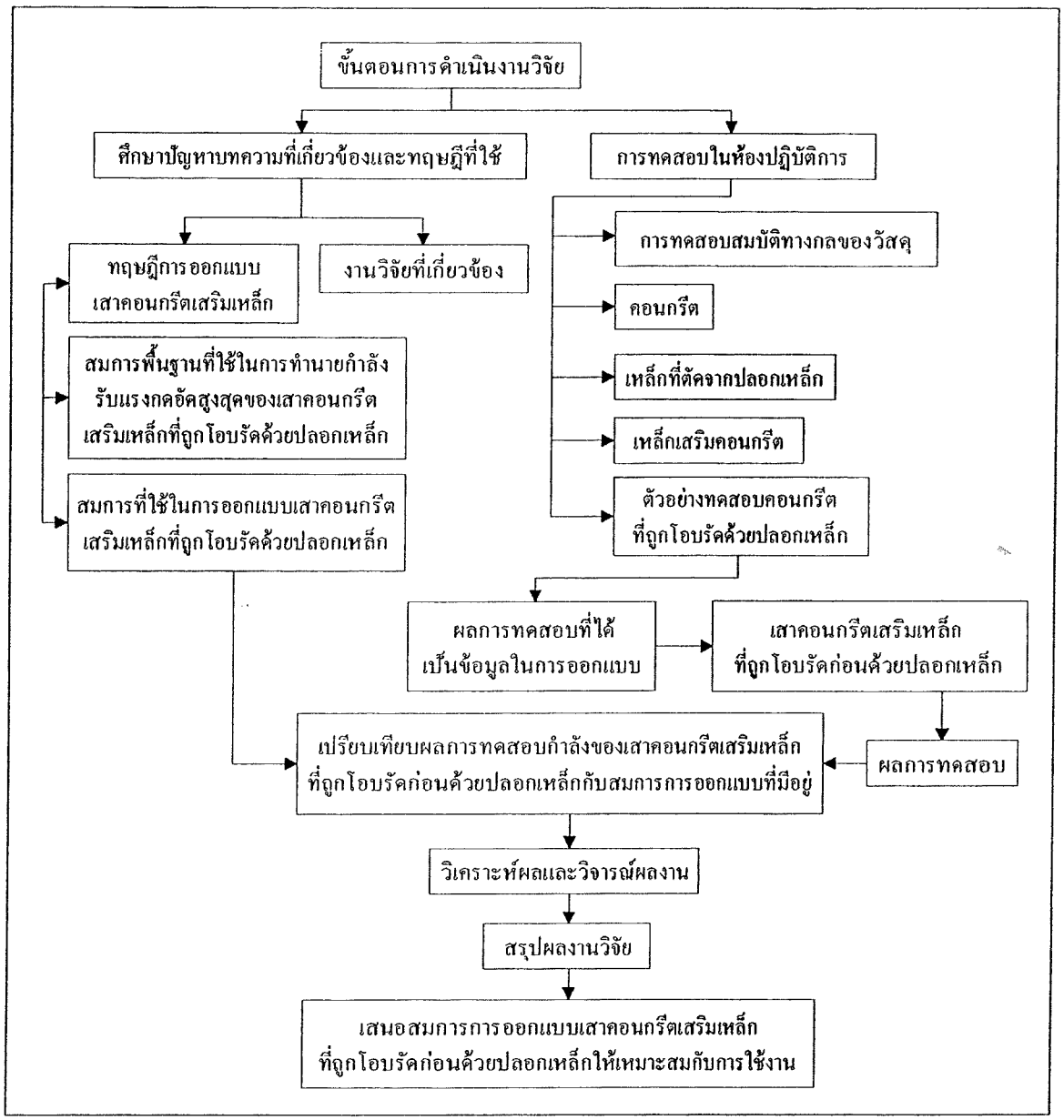
บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาทดลองที่มีแนวทางในการทดสอบตัวอย่างในห้องปฏิบัติการแล้วนำผลที่ได้มาศึกษาถึงพฤติกรรมการรับแรง คุณสมบัติทางกลและลักษณะการวิบัติของเสาเพื่อให้งานวิจัยสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ จึงได้แบ่งวิธีการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นส่วนของทฤษฎีและส่วนที่สองเป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ส่วนของทฤษฎีนั้นทำการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งทฤษฎีในการออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กรวมถึงในข้อกำหนดและคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ในตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง อีกทั้งพัฒนาดัดแปลงสมการที่ใช้ในการทำนายกำลังรับแรงกดอัดและสมการที่ใช้ในการออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกโอบรัดก่อนด้วยปลอกเหล็ก

ส่วนของการทดสอบในห้องปฏิบัติการถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน *ส่วนแรก* เป็นการทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุ ได้แก่ คอนกรีต เหล็กที่ตัดจากปลอกเหล็ก เหล็กเสริมคอนกรีตและตัวอย่างทดสอบคอนกรีตที่ถูกให้หน่วยแรงโอบรัดก่อนด้วยปลอกเหล็ก เพื่อนำค่าคุณสมบัติและข้อมูลเบื้องต้นทั้งความหนาของปลอกเหล็กและหน่วยแรงโอบรัดก่อนที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบการทดสอบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกโอบรัดก่อนด้วยปลอกเหล็ก (Tube RC column) *ส่วนที่สอง* ได้ทดสอบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกโอบรัดก่อนด้วยปลอกเหล็กภายใต้แรงกดอัดในแนวแกนเพื่อให้สอดคล้องกับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการเพื่อที่จะหาคุณสมบัติทางกล พฤติกรรมการรับแรง และลักษณะการวิบัติของเสาและใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบกำลังของเสาที่ได้กับค่ากำลังที่สามารถคำนวณโดยใช้สมการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องซึ่งจะเป็นการพัฒนารูปแบบของการเสริมกำลังด้วยการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน ตัวอย่างทดสอบคอนกรีตและเสาคอนกรีตเสริมเหล็กในงานวิจัยได้ถูกออกแบบให้อยู่ตามมาตรฐานในการออกแบบของ ว.ส.ท.1008 - 38 และเพื่อนำค่ากำลังที่ได้จากการทดสอบเสาเชิงประกอบ (ซึ่งอยู่ในรูปของTube RC column) มาเปรียบเทียบกับสมการที่ระบุตามมาตรฐานการออกแบบของ ว.ส.ท.และที่ระบุสมการตามข้อกำหนดของ AISC/LRFD และสรุปหาแนวทางการออกแบบที่เหมาะสมต่อไป ซึ่งแผนการศึกษาสามารถแสดงเป็นแผนภูมิได้ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 กรอบแนวคิดการดำเนินงานวิจัย

3.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุ

3.2.1 การทดสอบกำลังรับแรงกดอัดสูงสุดของคอนกรีต

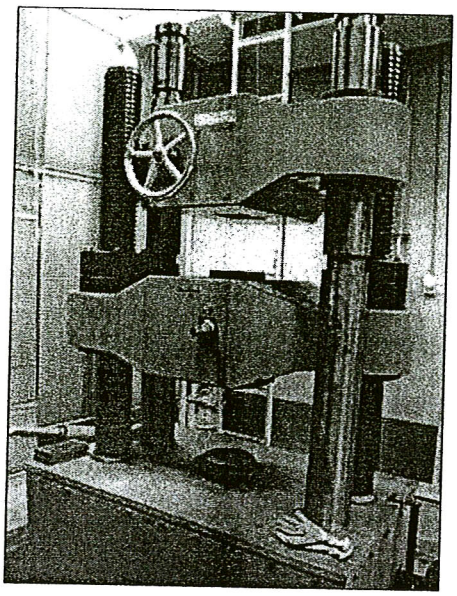
ในการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดสูงสุดของคอนกรีต มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาส่วนของพฤติกรรมทางกล (Mechanical behaviors) และคุณสมบัติทางกล(Mechanical properties) ของคอนกรีตที่ใช้เป็นวัสดุในการศึกษาในงานวิจัย ซึ่งได้แก่ หน่วยแรงสูงสุด (Ultimate stress) โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) และรูปแบบการวิบัติ (Modes of failure)

1) มาตรฐานการทดสอบ

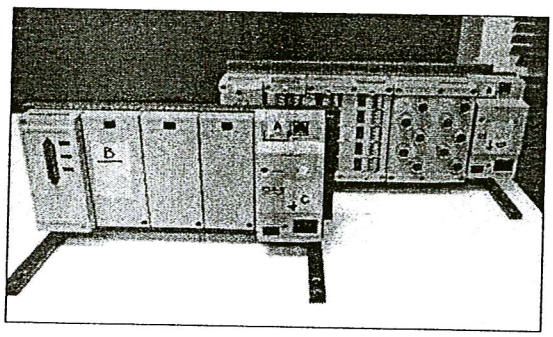
- ASTM C39-96 (Standard Test Methods for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens)
- ASTM C469-94 (Standard Test Methods for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression)

2) เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

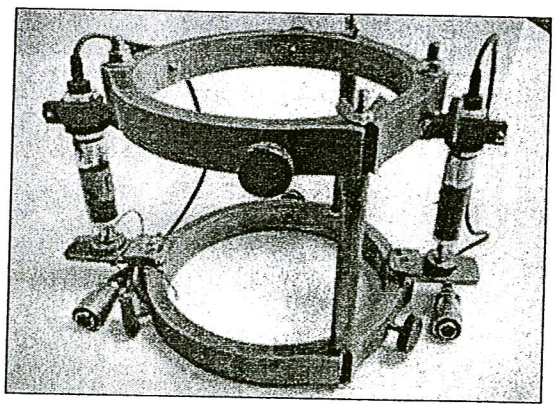
- เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM) ยี่ห้อ Shimadzu Model UH - Series ขนาด 2000 kN ของ Shimadzu Corporation Japan ดังแสดงในรูปที่ 3.2(ก)
- ชุดประมวลผลของเครื่อง Data Logger โดยมียี่ห้อYokokawa รุ่น DS600 และ Data Acquisition (DAQ) ยี่ห้อ Yokokawa รุ่น DA100 เป็นชุดที่ใช้ในการต่อเข้าเครื่องทดสอบUniversal Testing Machine เพื่อรับค่าที่ได้จากการทดสอบและส่งค่าที่ได้ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2(ข)
- เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับต่อเข้ากับชุด Data Logger พร้อมทั้งบันทึกค่าที่ได้จากการทดสอบ
- Linear Variable Differential Transducers (LVDT) capacity 5 mm และอุปกรณ์จับแท่งคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 3.2(ค)
- เครื่องหล่อฝา (Capping) ทับชิ้นตัวอย่างรูปทรงกระบอก
- เครื่องชั่งน้ำหนักและไม้บรรทัดเหล็ก



(ก) เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine



(ข) Data Logger and Data Acquisition



(ค) LVDT และอุปกรณ์จับแท่งคอนกรีต

รูปที่ 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบคอนกรีต

3) ตัวอย่างทดสอบ

คอนกรีตที่ใช้ในการศึกษาเป็นคอนกรีตผสมเสร็จของบริษัทผลิตภัณฑ์ และวัตถุก่อสร้างจำกัด (CPAC) โดยการผสมคอนกรีตจะใช้โม่ผสมคอนกรีตแบบอัตโนมัติ (Batching plant) ที่มีกำลังรับแรงกดอัดสูงสุด 3 ค่าคือ 18 25 และ 32 MPa เพื่อให้ครอบคลุมคอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กในอาคารขนาดเล็กและกลางในประเทศไทย โดยตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 m และมีความสูง 0.30 m และได้รับการบ่มในน้ำจนกระทั่งมีอายุ 28 วัน ก่อนการทดสอบ ซึ่งตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ ในการทดสอบนี้ได้จัดเตรียมขึ้นภายในห้องปฏิบัติการบัณฑิตศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา อาคารศูนย์เครื่องมือ 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4) การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ในการเตรียมตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

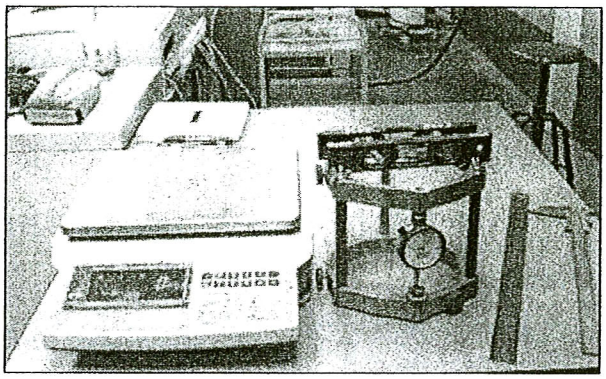
- *การเตรียมแบบหล่อ* รายละเอียดของแบบหล่อที่ใช้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C39 - 96 และ ASTM C469 - 94 การยึดติดกันของแบบหล่อและฐานจะใช้สลักเกลียว รอยต่อในแบบต้องสนิทพอโดยน้ำในส่วนผสมคอนกรีตไม่ไหลออกจากแบบ ก่อนเริ่มหล่อตัวอย่างทดสอบต้องทำความสะอาดแบบหล่อทรงกระบอกให้เรียบร้อยโดยที่แบบด้านในที่สัมผัส กับคอนกรีตทาน้ำมันให้ทั่วเพื่อไม่ให้คอนกรีตหรือน้ำปูนรั่วไหลออกมาตามรอย ของแบบหล่อได้

- *การหล่อตัวอย่าง* โดยเทคอนกรีตที่เตรียมไว้ในแบบหล่อรูปทรงกระบอกครั้งละประมาณหนึ่งในสามของความสูงของแบบหล่อ จากนั้นทำการกระทุ้งด้วยเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 mm ความยาว 0.60 m มีปลายกลมมน 25 ครั้ง ให้กระจายทั่วทั้งพื้นผิวอย่างสม่ำเสมอและให้ปลายเหล็กกระทุ้งผ่านไปยังชั้นล่างเล็กน้อยสำหรับชั้นล่างสุดให้กระทุ้งตลอดความหนาของชั้นโดยไม่ให้ปลายเหล็กกระทุ้งโดนฐานแบบหล่อชั้นบนสุดต้องใส่คอนกรีตให้สูงกว่าขอบแบบตลอดเวลาที่กระทุ้งเมื่อกระทุ้งชั้นบนสุดเสร็จแล้วใช้เกรียงบาดคอนกรีตส่วนเกินออกนำแผ่นพลาสติกชนิดหนาคลุมผิวหน้าของตัวอย่าง เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ

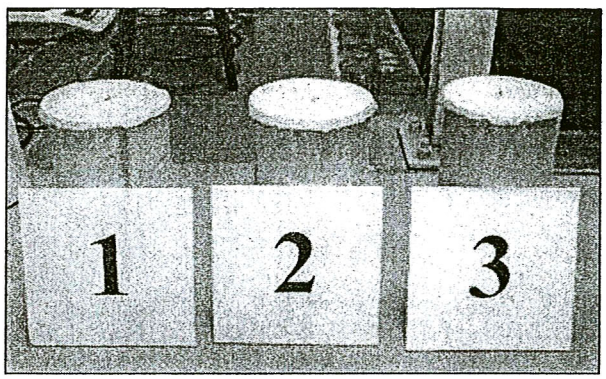
- *การถอดแบบ* การถอดแบบทำหลังการหล่อ 24 ชั่วโมง เมื่อถอดแบบแล้วเขียนหมายเลขและวันที่หล่อคอนกรีต จากนั้นนำไปบ่มชื้น

- *การบ่มตัวอย่าง* การบ่มตัวอย่างทดสอบใช้การบ่มด้วยน้ำโดยจุ่มตัวอย่างลงในน้ำจนท่วมก้อนตัวอย่างทดสอบและควรรักษาอุณหภูมิน้ำให้คงที่ซึ่งระยะเวลาในการบ่มตัวอย่างเท่ากับ 28 วัน

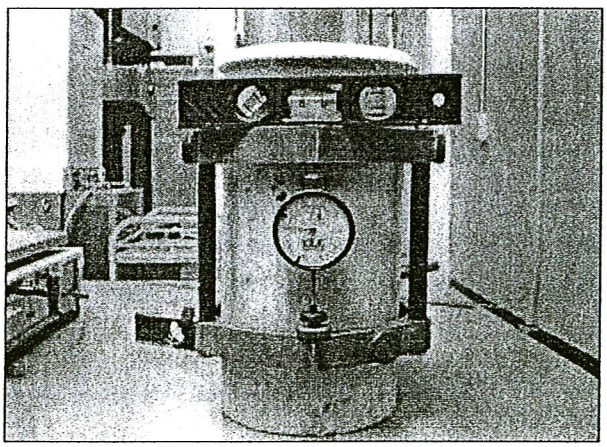
■ *การเคลือบผิวหน้าตัวอย่าง* นำส่วนผสมของกำมะถันมาหลอมที่อุณหภูมิ 180 - 210°C แล้วเทลงบนแผ่นเหล็กขัดมันคว่ำก้อนตัวอย่างลงบนของผสมนี้ โดยการเคลือบทำในลักษณะที่ตั้งฉากกับแกนของก้อนตัวอย่างและควรเคลือบให้บางที่สุดดังแสดงในรูปที่ 3.3(ข)



(ก) อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้ง



(ข) ตัวอย่างทดสอบ

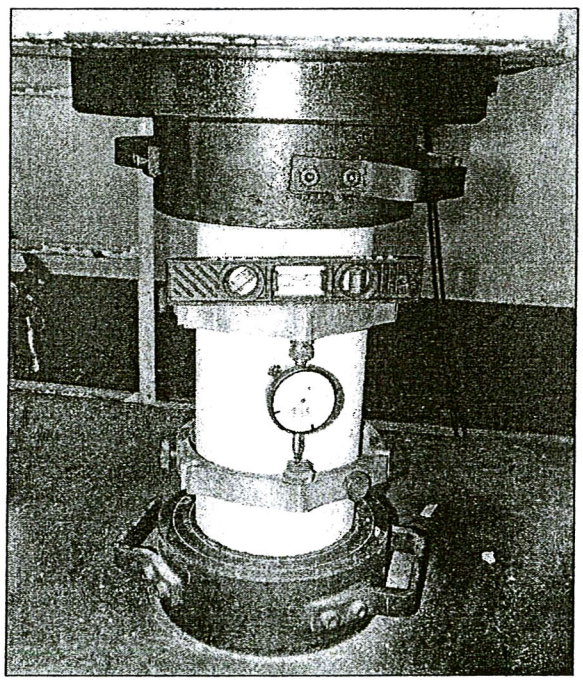


(ค) การติดตั้งอุปกรณ์

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างทดสอบคอนกรีตล้วน

5) วิธีการทดสอบ

- วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาว พร้อมทั้งชั่งน้ำหนัก
- ติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบแรงอัดของคอนกรีตในทิศทางที่กำหนดไว้ดังแสดงในรูปที่ 3.4
- ทำการต่อสายนำสัญญาณจาก LVDTs และ Load Cell เข้า Data Logger แล้วตั้งค่าโปรแกรมบันทึกข้อมูล
- ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดโดยการเพิ่มน้ำหนักกระทำอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราที่ต่ำ (0.5 mm/min) จนกว่าตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติเพื่อทำการคำนวณหาค่าหน่วยแรงและความเครียดและเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียดของคอนกรีต



รูปที่ 3.4 การติดตั้งตัวอย่างคอนกรีตเพื่อทำการทดสอบกำลังรับแรงกดอัด

3.2.2 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของปลอกเหล็ก

การทดสอบคุณสมบัติของเหล็กที่ตัดจากปลอกเหล็กภายใต้แรงดึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางกลและคุณสมบัติทางกลของเหล็กที่ใช้ในการศึกษา โดยคุณสมบัติที่สนใจ ในงานวิจัยได้แก่ หน่วยแรงคราก (Yielding stress) หน่วยแรงดึงสูงสุด (Ultimate tensile stress) โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Percent elongation)

1) มาตรฐานการทดสอบ

- ASTM E8-98

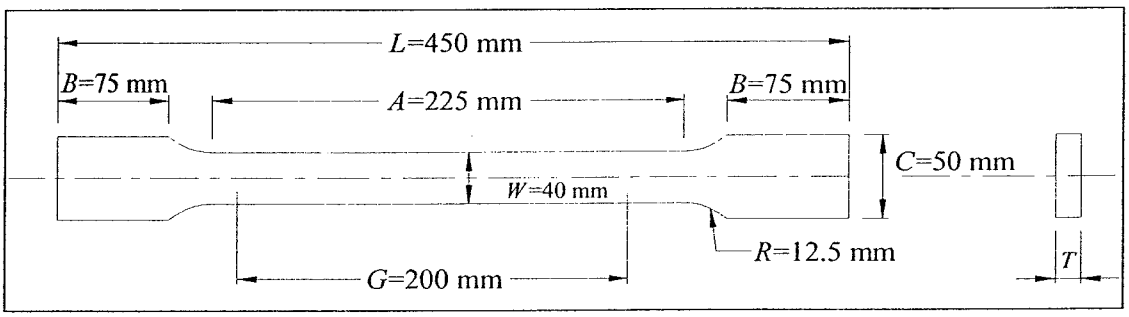
(Standard Test Methods for Testing of Metallic Materials)

2) เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

- ใช้เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM) ยี่ห้อ Shimadzu Model UH-Series ขนาด 2000 kN ของ Shimadzu Corporation Japan ดังแสดงในรูปที่3.2(ก)
- Extensometer
- Vernier Caliper

3) ตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบถูกจัดเตรียมโดยการตัดตัวอย่างปลอกเหล็กที่ใช้ในงานวิจัยให้เป็นรูปกระดูกตามมาตรฐาน ASTM E8 - 98 ซึ่งใช้ความหนาละ 3 ตัวอย่างและกำหนดระยะพิกัด (Gauge length) มีค่าเท่ากับ 50 mm เพื่อใช้ในการวัดหาเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของตัวอย่างทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 รายละเอียดแผ่นตัวอย่างทดสอบรูปกระดูกของปลอกเหล็ก

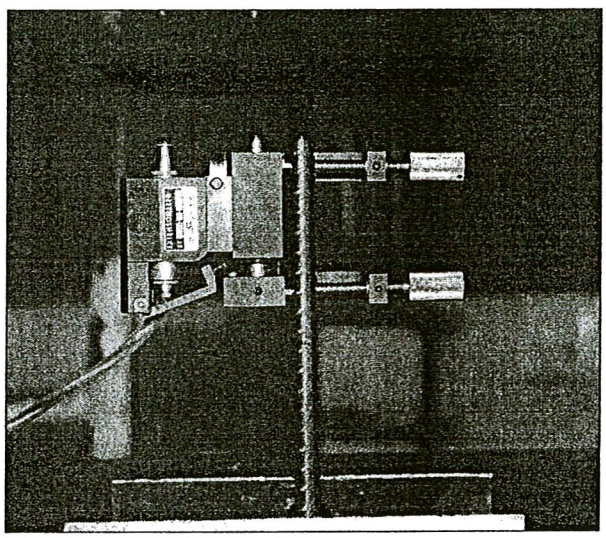
4) วิธีการทดสอบ

- ทำการวัดขนาดความกว้าง ความหนาและกำหนดความยาวเริ่มต้นของตัวอย่างทดสอบ โดยใช้ Vernier caliper 3 จุด เพื่อทำการหาค่าเฉลี่ย
- ติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine เพื่อทดสอบกำลังรับแรงดึง พร้อมทั้งติดตั้ง Extensometer
- เพิ่มแรงดึงให้กับตัวอย่างทดสอบช้า ๆ จนกระทั่งเกิดการวิบัติ
- นำตัวอย่างทดสอบออกจากเครื่องทดสอบและนำตัวอย่างทดสอบทั้ง 2 ส่วน ที่วิบัติมาต่อกันให้สนิท จากนั้นทำการวัดค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างทดสอบที่จุด

วิบัติและวัดความยาว Gauge length ของตัวอย่างทดสอบเมื่อวิบัติโดยวัดระยะระหว่างจุดที่ใช้วัดความยาวเริ่มต้นและสังเกตรูปแบบการวิบัติที่เกิดขึ้น

3.2.3 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมคอนกรีต

การทดสอบคุณสมบัติของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตภายใต้แรงดึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมและคุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต โดยคุณสมบัติทางกลที่สนใจ คือ หน่วยแรงคราก (Yielding stress) หน่วยแรงดึงสูงสุด (Ultimate tensile stress) โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Percent elongation) ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การติดตั้งตัวอย่างเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตเข้ากับเครื่องทดสอบ UTM

1) **มาตรฐานการทดสอบ**
   - ASTM E8-98 (Standard Test Methods for Testing of Metallic Materials)
2) **เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ**
   - เครื่อง UTM ยี่ห้อ Instron มีกำลังทดสอบสูงสุด 1000 kN โดยการยืดตัว
   - Extensometer
   - Venire Caliper
3) **ตัวอย่างทดสอบ**

ตัวอย่างทดสอบเหล็กเส้นกลม RB6 จำนวน 4 ตัวอย่างและเหล็กข้ออ้อย DB12 จำนวน 4 ตัวอย่าง

4) การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

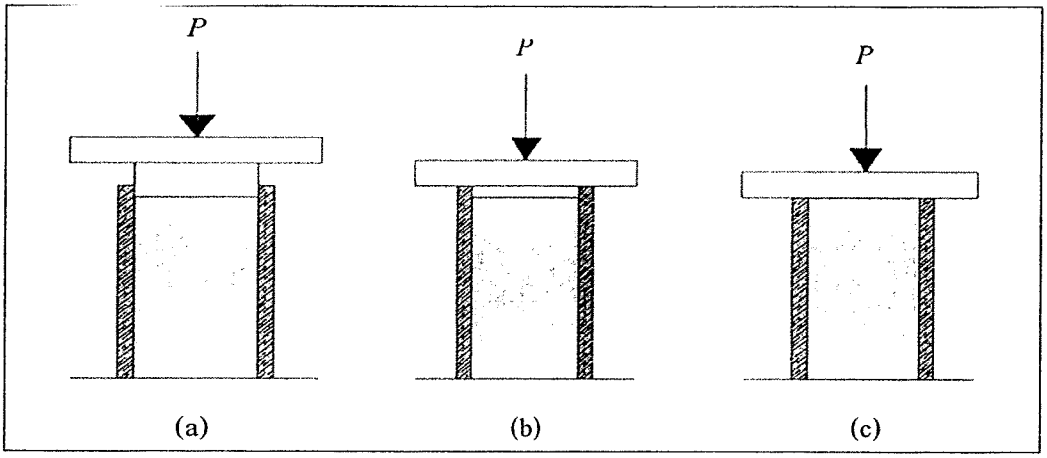
- นำชิ้นตัวอย่างทดสอบไปชั่งหาน้ำหนักและวัดความยาวพร้อมบันทึกค่า
- ใช้ Venire วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 จุด เพื่อหาค่าเฉลี่ยและบันทึกค่า
- ใช้สลักตอกระยะ Gauge length เท่ากับ 5D ระยะระหว่างหัวจับ 5.5D

5) วิธีการทดสอบ

- ติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine เพื่อทดสอบกำลังรับแรงดึง โดยให้ระยะหัวจับได้มาตรฐานที่กำหนดพร้อมทั้งติดตั้งExtensometer
- เพิ่มแรงดึงให้กับตัวอย่างทดสอบช้า ๆ จนกระทั่งตัวอย่างทดสอบวิบัติ
- บันทึกแรงที่กระทำและค่า Deformation ที่เกิดขึ้นจนกระทั่งถึงจุดคราก จึงถอด Extensometer ออกแล้วออกแรงดึงต่อไปจนกระทั่งชิ้นทดสอบขาดออกจากกัน
- จากนั้นนำตัวอย่างทดสอบที่ได้ ออกจากเครื่องทดสอบสังเกตตำแหน่งและลักษณะของรอยที่ขาดวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ขาดนำชิ้นทดสอบที่ขาดมาต่อเข้าด้วยกันเพื่อบันทึกค่าการยืดตัว (Deformation Length) ในช่วง Gauge length

3.2.4 การทดสอบแรงกดอัดของตัวอย่างทดสอบคอนกรีตที่ถูกโอบรัดก่อนด้วยปลอกเหล็ก

โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมทางกลและค่าคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตที่นำมาศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ หน่วยแรงสูงสุด โมดูลัสยืดหยุ่น และลักษณะการวิบัติ (Failure Mode) จากการทบทวนงานวิจัยพบว่าลักษณะการให้แรงกระทำต่อตัวอย่างทดสอบมีผลต่อพฤติกรรมการรับแรงกดอัดในแนวแกนของเสาท่อปลอกเหล็กกรอกคอนกรีต ลักษณะการให้แรงกระทำแบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังแสดงในรูป 3.7 จากการศึกษาพบว่าการให้แรงกระทำแก่ตัวอย่างทดสอบรูปที่ 3.7a (แรงกดอัดกระทำโดยตรงแก่คอนกรีต) และรูปที่ 3.7c (แรงกดอัดกระทำพร้อมกันทั้งคอนกรีตและปลอกเหล็ก) มีพฤติกรรมที่ใกล้เคียงกัน แต่ลักษณะการให้แรงกระทำดังรูปที่ 3.7b (แรงกดอัดกระทำโดยตรงแก่ปลอกเหล็ก) มีพฤติกรรมการรับแรงอัดคล้ายพฤติกรรมการรับแรงกดอัดของปลอกเหล็กกลวงและมีกำลังรับแรงกดอัดต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการให้แรงกระทำในรูปที่ 3.7a และ 3.7c (Johansson, 2000) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกรูปแบบการให้แรงกระทำดังรูปที่ 3.7a ซึ่งสอดคล้องกับ มาตรฐาน ว.ส.ท. 1008 - 38 ข้อที่ 4314 กำหนดให้ "กำลังในการรับแรงตามแนวแกนใด ๆ ที่กำหนดให้รับโดยคอนกรีตขององค์อาคารเชิงประกอบต้องถ่ายผ่านเข้าไปในคอนกรีตโดยองค์อาคารหรือแป้นหูช้างในลักษณะแบกทานโดยตรงลงบนคอนกรีตขององค์อาคารเชิงประกอบนั้น" และการให้แรงกระทำโดยตรงต่อคอนกรีตสอดคล้องกับรูปแบบการก่อสร้างเพื่อการเสริมกำลังให้แก่เสาโครงสร้างเดิมที่มีอยู่แล้ว



รูปที่ 3.7 ลักษณะการให้แรงกระทำแก่เสาท่อปลอกเหล็กกรอกคอนกรีต

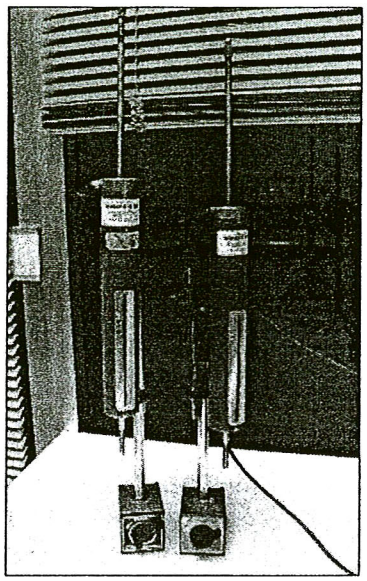
a) แรงกดอัดกระทำโดยตรงแก่คอนกรีต

b) แรงกดอัดกระทำโดยตรงแก่ปลอกเหล็ก

c) แรงกดอัดกระทำพร้อมกันทั้งคอนกรีตและปลอกเหล็ก

1) เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

- โดยใช้เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM) ยี่ห้อ Shimadzu Model UH-Series ขนาด 2000 kN ของ Shimadzu Corporation Japan ดังแสดงในรูปที่ 3.2(ก)
- ชุดประมวลผลที่ใช้คือเครื่อง Data Logger ยี่ห้อ Yokokawa รุ่น DS600 และ Data Acquisition (DAQ) ยี่ห้อ Yokokawa รุ่น DA100 เป็นชุดที่ใช้ต่อเข้ากับเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine เพื่อรับค่าที่ได้จากการทดสอบและส่งค่าที่ได้ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2(ข)
- เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับต่อเข้ากับชุด Data Logger พร้อมบันทึก
- Linear Variable Differential Transducers (LVDT) capacity 100 mm และอุปกรณ์จับแท่งคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 3.8
- Bearing plate ขนาด 150 x 150 x 50 mm จำนวน 2 ชุด



รูปที่ 3.8 LVDT capacity 100 mm

2) ตัวอย่างทดสอบ

- **ตัวอย่างทดสอบหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส**

สำหรับการระบุชื่อของ *ตัวอย่างทดสอบหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส* ได้ถูกกำหนดในรูปแบบ WX - Y - Z โดยอักษร W หมายถึงชนิดของตัวอย่างทดสอบ (กำหนดให้ CR หมายถึง ตัวอย่างทดสอบคอนกรีตอ้างอิง และ SR หมายถึง ตัวอย่างทดสอบคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ถูกโอบรัดก่อนด้วยปลอกเหล็ก) อักษร X หมายถึง กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (คอนกรีตที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยกำลังอัดประลัย 3 ค่า คือ 18 25 และ 32 MPa) อักษร Y หมายถึงความหนาของปลอกเหล็กที่โอบรัดตัวอย่างทดสอบ ความหนาของปลอกเหล็ก 3 ค่าคือ 3.2 4.5 และ 6.0 mm) และสำหรับ อักษร Z หมายถึง หน่วยแรงโอบรัดก่อน (มีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน ขนาด 0.05 f'_{co} และ 0.1 f'_{co}) ยกตัวอย่างการระบุชื่อตัวอย่างทดสอบ เช่น SR25 - 4.5 - 0.05หมายถึง ตัวอย่างทดสอบคอนกรีตหน้าตัดกลมมีกำลังอัดประลัย 25 MPa ถูกโอบรัดด้วยปลอกเหล็กขนาดความหนา 4.5 mm โดยมีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อนที่ 0.05 f'_{co}

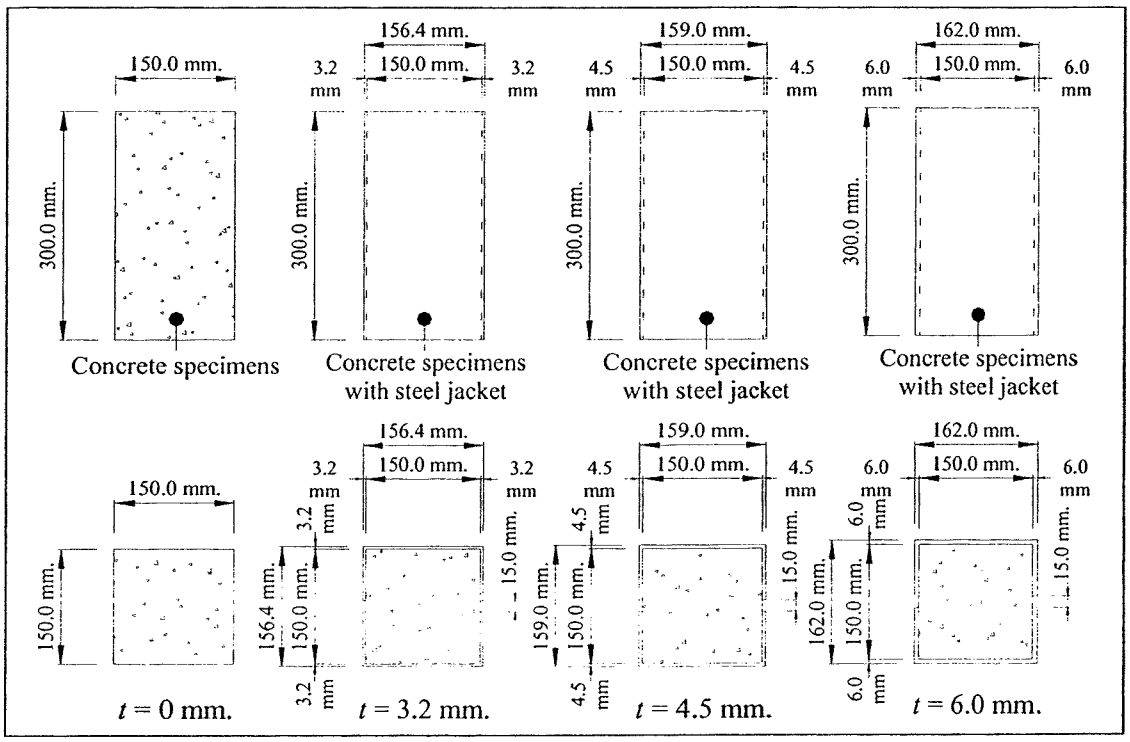
จากรูปที่ 3.9 ตารางที่ 3.1 และ ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของโดยตัวอย่างทดสอบมีหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 0.15 x 0.15 m ความสูง 0.30 m จำนวน 90 ตัวอย่าง และสามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 คือ ตัวอย่างทดสอบคอนกรีตล้วน (อ้างอิง)

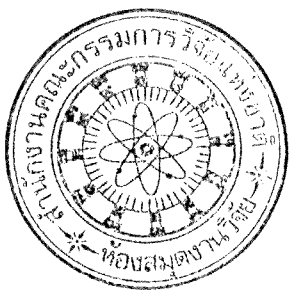
กลุ่มที่ 2 คือ ตัวอย่างทดสอบคอนกรีตที่ถูกโอบรัดด้วยปลอกเหล็ก ไม่มีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน

กลุ่มที่ 3 คือ ตัวอย่างทดสอบคอนกรีตที่ถูกโอบรัดด้วยปลอกเหล็ก และมีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน ขนาด 0.05 f'_{co}

กลุ่มที่ 4 คือ ตัวอย่างทดสอบคอนกรีตที่ถูกโอบรัดด้วยปลอกเหล็ก และมีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน ขนาด 0.1 f'_{co}



รูปที่ 3.9 แสดงแบบรายละเอียดตัวอย่างทดสอบหน้าตัดสี่เหลี่ยม


สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างทดสอบคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ใช้ในงานวิจัย

กลุ่มที่	ตัวอย่าง	f'_{co} (MPa)	t (mm)	หน่วยแรงที่ใช้ในการโอบรัดก่อน (MPa)	จำนวน
1	CR18-0-0	18	-	-	3
	CR25-0-0	25	-	-	3
	CR32-0-0	32	-	-	3
2	SR18-3.2-0	18	3.2	0	3
	SR18-4.5-0	18	4.5	0	3
	SR18-6.0-0	18	6.0	0	3
	SR25-3.2-0	25	3.2	0	3
	SR25-4.5-0	25	4.5	0	3
	SR25-6.0-0	25	6.0	0	3
	SR32-3.2-0	32	3.2	0	3
	SR32-4.5-0	32	4.5	0	3
	SR32-6.0-0	32	6.0	0	3
3	SR18-3.2-0.05 f'_{co}	18	3.2	0.05 f'_{co}	3
	SR18-4.5-0.05 f'_{co}	18	4.5	0.05 f'_{co}	3
	SR18-6.0-0.05 f'_{co}	18	6.0	0.05 f'_{co}	3
	SR25-3.2-0.05 f'_{co}	25	3.2	0.05 f'_{co}	3
	SR25-4.5-0.05 f'_{co}	25	4.5	0.05 f'_{co}	3
	SR25-6.0-0.05 f'_{co}	25	6.0	0.05 f'_{co}	3
	SR32-3.2-0.05 f'_{co}	32	3.2	0.05 f'_{co}	3
	SR32-4.5-0.05 f'_{co}	32	4.5	0.05 f'_{co}	3
	SR32-6.0-0.05 f'_{co}	32	6.0	0.05 f'_{co}	3
4	SR18-3.2-0.1 f'_{co}	18	3.2	0.1 f'_{co}	3
	SR18-4.5-0.1 f'_{co}	18	4.5	0.1 f'_{co}	3
	SR18-6.0-0.1 f'_{co}	18	6.0	0.1 f'_{co}	3
	SR25-3.2-0.1 f'_{co}	25	3.2	0.1 f'_{co}	3
	SR25-4.5-0.1 f'_{co}	25	4.5	0.1 f'_{co}	3
	SR25-6.0-0.1 f'_{co}	25	6.0	0.1 f'_{co}	3
	SR32-3.2-0.1 f'_{co}	32	3.2	0.1 f'_{co}	3
	SR32-4.5-0.1 f'_{co}	32	4.5	0.1 f'_{co}	3
	SR32-6.0-0.1 f'_{co}	32	6.0	0.1 f'_{co}	3
รวมตัวอย่างทดสอบ					90

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสและคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่เกี่ยวข้อง

กลุ่มที่	ตัวอย่าง	จำนวน	B/t ratio	Confining pressure (MPa)	$\rho_{sc} = A_s/A_g$ (%)	คุณสมบัติของคอนกรีต			คุณสมบัติของเหล็ก		
						A_c (mm^2)	f'_{co} (MPa)	E_c (GPa)	A_s (mm^2)	f_y (MPa)	E_s (GPa)
1	CR18-0-0	3	-	-	-	22500	17.19	20.32	-	-	-
	CR25-0-0	3	-	-	-	22500	24.55	23.29	-	-	-
	CR32-0-0	3	-	-	-	22500	30.84	26.09	-	-	-
2	SR18-3.2-0	3	46.9	-	8.02	22500	17.19	20.32	1961	323.30	203.43
	SR18-4.5-0	3	33.3	-	11.00	22500	17.19	20.32	2781	324.85	204.66
	SR18-6.0-0	3	25.0	-	14.27	22500	17.19	20.32	3744	325.48	194.90
	SR25-3.2-0	3	46.9	-	8.02	22500	24.55	23.29	1961	323.30	203.43
	SR25-4.5-0	3	33.3	-	11.00	22500	24.55	23.29	2781	324.85	204.66
	SR25-6.0-0	3	25.0	-	14.27	22500	24.55	23.29	3744	325.48	194.90
	SR32-3.2-0	3	46.9	-	8.02	22500	30.84	26.09	1961	323.30	203.43
	SR32-4.5-0	3	33.3	-	11.00	22500	30.84	26.09	2781	324.85	204.66
	SR32-6.0-0	3	25.0	-	14.27	22500	30.84	26.09	3744	325.48	194.90

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสและคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

กลุ่มที่	ตัวอย่าง	จำนวน	B/t ratio	Confining pressure (MPa)	$\rho_{sc} = A_s/A_g$ (%)	คุณสมบัติของคอนกรีต			คุณสมบัติของเหล็ก		
						A_c (mm^2)	f'_{co} (MPa)	E_c (GPa)	A_s (mm^2)	f_y (MPa)	E_s (GPa)
3	SR18-3.2-0.05 f'_{co}	3	46.9	0.90	8.02	22500	17.19	20.32	1961	323.30	203.43
	SR18-4.5-0.05 f'_{co}	3	33.3	0.90	11.00	22500	17.19	20.32	2781	324.85	204.66
	SR18-6.0-0.05 f'_{co}	3	25.0	0.90	14.27	22500	17.19	20.32	3744	325.48	194.90
	SR25-3.2-0.05 f'_{co}	3	46.9	1.25	8.02	22500	24.55	23.29	1961	323.30	203.43
	SR25-4.5-0.05 f'_{co}	3	33.3	1.25	11.00	22500	24.55	23.29	2781	324.85	204.66
	SR25-6.0-0.05 f'_{co}	3	25.0	1.25	14.27	22500	24.55	23.29	3744	325.48	194.90
	SR32-3.2-0.05 f'_{co}	3	46.9	1.60	8.02	22500	30.84	26.09	1961	323.30	203.43
	SR32-4.5-0.05 f'_{co}	3	33.3	1.60	11.00	22500	30.84	26.09	2781	324.85	204.66
	SR32-6.0-0.05 f'_{co}	3	25.0	1.60	14.27	22500	30.84	26.09	3744	325.48	194.90

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสและคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

กลุ่มที่	ตัวอย่าง	จำนวน	B/t ratio	Confining pressure (MPa)	$\rho_{sc} = A_s/A_g$ (%)	คุณสมบัติของคอนกรีต			คุณสมบัติของเหล็ก		
						A_c (mm^2)	f'_{co} (MPa)	E_c (GPa)	A_s (mm^2)	f_y (MPa)	E_s (GPa)
4	SR18-3.2-0.1 f'_{co}	3	46.9	1.8	8.02	22500	17.19	20.32	1961	323.30	203.43
	SR18-4.5-0.1 f'_{co}	3	33.3	1.8	11.00	22500	17.19	20.32	2781	324.85	204.66
	SR18-6.0-0.1 f'_{co}	3	25.0	1.8	14.27	22500	17.19	20.32	3744	325.48	194.90
	SR25-3.2-0.1 f'_{co}	3	46.9	2.5	8.02	22500	24.55	23.29	1961	323.30	203.43
	SR25-4.5-0.1 f'_{co}	3	33.3	2.5	11.00	22500	24.55	23.29	2781	324.85	204.66
	SR25-6.0-0.1 f'_{co}	3	25.0	2.5	14.27	22500	24.55	23.29	3744	325.48	194.90
	SR32-3.2-0.1 f'_{co}	3	46.9	3.2	8.02	22500	30.84	26.09	1961	323.30	203.43
	SR32-4.5-0.1 f'_{co}	3	33.3	3.2	11.00	22500	30.84	26.09	2781	324.85	204.66
	SR32-6.0-0.1 f'_{co}	3	25.0	3.2	14.27	22500	30.84	26.09	3744	325.48	194.90

- **ตัวอย่างทดสอบหน้าตัดกลม**

สำหรับการระบุชื่อของ *ตัวอย่างทดสอบหน้าตัดกลม* ได้ถูกกำหนดในรูปแบบ AB - C - D โดยอักษร A หมายถึงชนิดของตัวอย่างทดสอบ (กำหนดให้ C หมายถึงตัวอย่างทดสอบคอนกรีตอ้างอิง และ CS หมายถึงตัวอย่างทดสอบคอนกรีตหน้าตัดกลมที่ถูกโอบรัดก่อนด้วยปลอกเหล็ก) อักษร B หมายถึง กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (คอนกรีตที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยกำลังอัดประลัย 3 ค่า คือ18 25 และ 32 MPa) อักษร C หมายถึง ความหนาของปลอกเหล็กที่โอบรัดตัวอย่างทดสอบ (ความหนาของปลอกเหล็กมี 3 ค่า คือ 3.2 4.5 และ 6.0 mm) และสำหรับ อักษร D หมายถึง หน่วยแรงโอบรัดก่อน (มีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน ขนาด 0.05 f'_{co} และ 0.08 f'_{co}) ยกตัวอย่างการระบุชื่อตัวอย่างทดสอบ เช่น CS25 - 45 - 0.05 หมายถึง ตัวอย่างทดสอบคอนกรีตหน้าตัดกลมมีกำลังอัดประลัย 25 MPa ถูกโอบรัดด้วยปลอกเหล็กขนาดความหนา 4.5 mm โดยมีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน ขนาด 0.05 f'_{co}

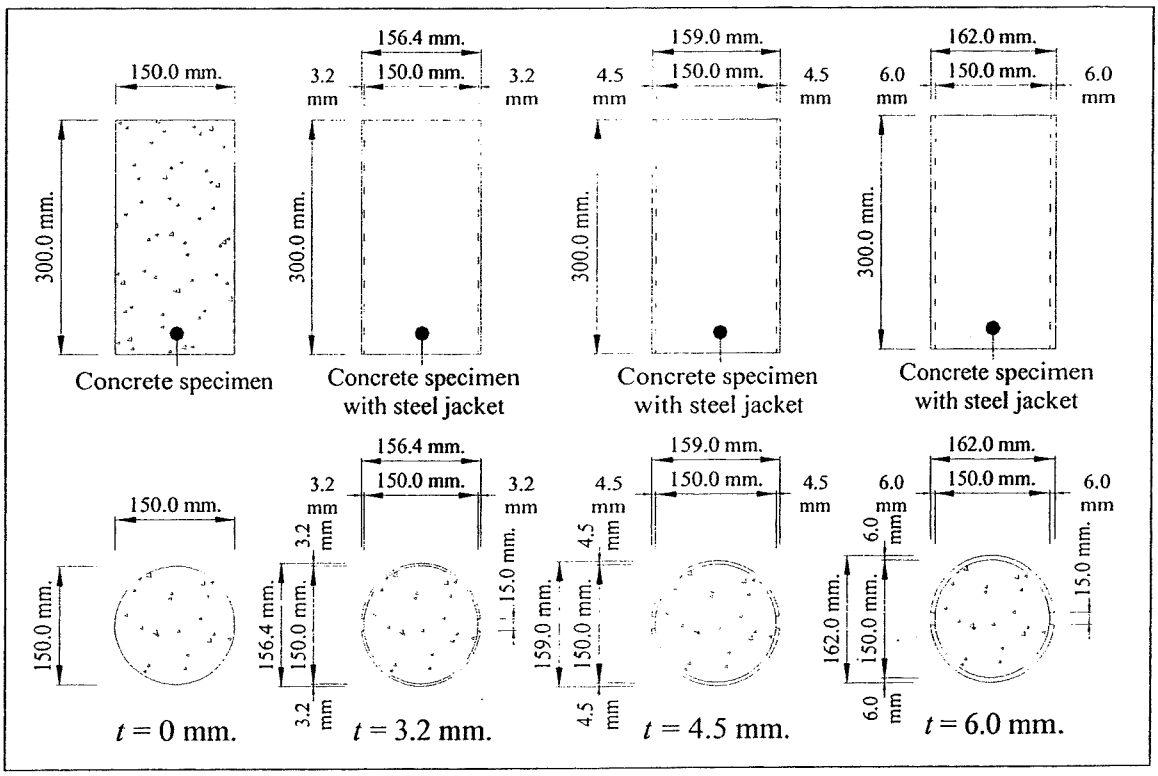
จากรูปที่ 3.10 ตารางที่ 3.3 และ ตารางที่ 3.4 แสดงรายละเอียดของตัวอย่างทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 m สูง 0.30 m จำนวน 90 ตัวอย่าง และสามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 คือ ตัวอย่างทดสอบคอนกรีตล้วน (อ้างอิง)

กลุ่มที่ 2 คือ ตัวอย่างทดสอบคอนกรีตที่ถูกโอบรัดด้วยปลอกเหล็ก ไม่มีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน

กลุ่มที่ 3 คือ ตัวอย่างทดสอบคอนกรีตที่ถูกโอบรัดด้วยปลอกเหล็ก และมีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน ขนาด 0.05 f'_{co}

กลุ่มที่ 4 คือ ตัวอย่างทดสอบคอนกรีตที่ถูกโอบรัดด้วยปลอกเหล็ก และมีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน ขนาด 0.08 f'_{co}



รูปที่ 3.10 แสดงแบบรายละเอียดตัวอย่างทดสอบหน้าตัดกลม

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างทดสอบคอนกรีตหน้าตัดกลมที่ใช้ในงานวิจัย

กลุ่มที่	ตัวอย่าง	f'_{co} (MPa)	t (mm)	หน่วยแรงที่ใช้ในการโอบรัดก่อน (MPa)	จำนวน
1	C18-0-0	18	-	-	3
	C25-0-0	25	-	-	3
	C32-0-0	32	-	-	3
2	S18-3.2-0	18	3.2	0	3
	S18-4.5-0	18	4.5	0	3
	CS18-6.0-0	18	6.0	0	3
	CS25-3.2-0	25	3.2	0	3
	CS25-4.5-0	25	4.5	0	3
	CS25-6.0-0	25	6.0	0	3
	CS32-3.2-0	32	3.2	0	3
	CS32-4.5-0	32	4.5	0	3
	CS32-6.0-0	32	6.0	0	3
3	CS18-3.2-0.05 f'_{co}	18	3.2	0.05 f'_{co}	3
	CS18-4.5-0.05 f'_{co}	18	4.5	0.05 f'_{co}	3
	CS18-6.0-0.05 f'_{co}	18	6.0	0.05 f'_{co}	3
	CS25-3.2-0.05 f'_{co}	25	3.2	0.05 f'_{co}	3
	CS25-4.5-0.05 f'_{co}	25	4.5	0.05 f'_{co}	3
	CS25-6.0-0.05 f'_{co}	25	6.0	0.05 f'_{co}	3
	CS32-3.2-0.05 f'_{co}	32	3.2	0.05 f'_{co}	3
	CS32-4.5-0.05 f'_{co}	32	4.5	0.05 f'_{co}	3
	CS32-6.0-0.05 f'_{co}	32	6.0	0.05 f'_{co}	3
4	CS18-3.2-0.08 f'_{co}	18	3.2	0.08 f'_{co}	3
	CS18-4.5-0.08 f'_{co}	18	4.5	0.08 f'_{co}	3
	CS18-6.0-0.08 f'_{co}	18	6.0	0.08 f'_{co}	3
	CS25-3.2-0.08 f'_{co}	25	3.2	0.08 f'_{co}	3
	CS25-4.5-0.08 f'_{co}	25	4.5	0.08 f'_{co}	3
	CS25-6.0-0.08 f'_{co}	25	6.0	0.08 f'_{co}	3
	CS32-3.2-0.08 f'_{co}	32	3.2	0.08 f'_{co}	3
	CS32-4.5-0.08 f'_{co}	32	4.5	0.08 f'_{co}	3
	CS32-6.0-0.08 f'_{co}	32	6.0	0.08 f'_{co}	3
รวมตัวอย่างทดสอบ					90

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดตัวอย่างทดสอบคอนกรีตหน้าตัดกลมและคุณสมบัติวัสดุที่เกี่ยวข้อง

กลุ่มที่	ตัวอย่างทดสอบ	จำนวน	B/t ratio	Confining pressure (MPa)	$\rho_{sc} = A_s/A_g$ (%)	สมบัติของคอนกรีต			สมบัติของเหล็ก		
						A_c (mm^2)	f'_{co} (MPa)	E_c (GPa)	A_s (mm^2)	f_y (MPa)	E_s (GPa)
1	C18-0-0	3	-	-	-	17671	19.9	20.4		-	-
	C25-0-0	3	-	-	-	17671	26.7	24.2		-	-
	C32-0-0	3	-	-	-	17671	31.9	27.5		-	-
2	CS18-32-0	3	46.9	0.90	8.02	17671	19.9	20.4	1540.1	312.1	201.5
	CS25-32-0	3	46.9	1.25	8.02	17671	26.7	24.2	1540.1	312.1	201.5
	CS32-32-0	3	46.9	1.60	8.02	17671	31.9	27.5	1540.1	312.1	201.5
	CS18-45-0	3	33.3	0.90	11.00	17671	19.9	20.4	2184.2	321.6	205.0
	CS25-45-0	3	33.3	1.25	11.00	17671	26.7	24.2	2184.2	321.6	205.0
	CS32-45-0	3	33.3	1.60	11.00	17671	31.9	27.5	2184.2	321.6	205.0
	CS18-60-0	3	25.0	0.90	14.26	17671	19.9	20.4	2940.5	326.1	197.5
	CS25-60-0	3	25.0	1.25	14.26	17671	26.7	24.2	2940.5	326.1	197.5
	CS32-60-0	3	25.0	1.60	14.26	17671	31.9	27.5	2940.5	326.1	197.5

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดตัวอย่างทดสอบคอนกรีตหน้าตัดกลมและคุณสมบัติวัสดุที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

กลุ่มที่	ตัวอย่างทดสอบ	จำนวน	B/t ratio	Confining pressure (MPa)	$\rho_{sc} = A_s/A_g$ (%)	สมบัติของคอนกรีต			สมบัติของเหล็ก		
						A_c (mm^2)	f'_{co} (MPa)	E_c (GPa)	A_s (mm^2)	f_y (MPa)	E_s (GPa)
3	CS18-32-0.05	3	46.9	0.90	8.02	17671	19.9	20.4	1540.1	312.1	201.5
	CS25-32-0.05	3	46.9	1.25	8.02	17671	26.7	24.2	1540.1	312.1	201.5
	CS32-32-0.05	3	46.9	1.60	8.02	17671	31.9	27.5	1540.1	312.1	201.5
	CS18-45-0.05	3	33.3	0.90	11.00	17671	19.9	20.4	2184.2	321.6	205.0
	CS25-45-0.05	3	33.3	1.25	11.00	17671	26.7	24.2	2184.2	321.6	205.0
	CS32-45-0.05	3	33.3	1.60	11.00	17671	31.9	27.5	2184.2	321.6	205.0
	CS18-60-0.05	3	25.0	0.90	14.26	17671	19.9	20.4	2940.5	326.1	197.5
	CS25-60-0.05	3	25.0	1.25	14.26	17671	26.7	24.2	2940.5	326.1	197.5
	CS32-60-0.05	3	25.0	1.60	14.26	17671	31.9	27.5	2940.5	326.1	197.5

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดตัวอย่างทดสอบคอนกรีตหน้าตัดกลมและคุณสมบัติวัสดุที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

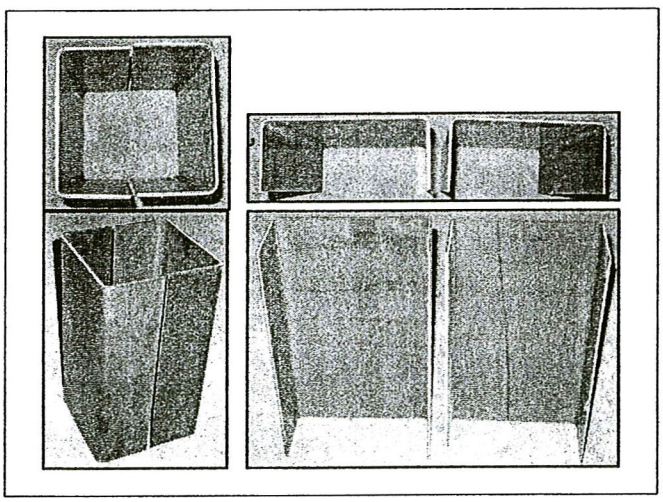
กลุ่มที่	ตัวอย่างทดสอบ	จำนวน	B/t ratio	Confining pressure (MPa)	$\rho_{sc}=A_s/A_g$ (%)	สมบัติของคอนกรีต			สมบัติของเหล็ก		
						A_c (mm^2)	f'_{co} (MPa)	E_c (MPa)	A_s (mm^2)	f_y (MPa)	E_s (MPa)
4	CS18-32-0.08	3	46.9	0.90	8.02	17671	19.9	20.4	1540.1	312.1	201.5
	CS25-32-0.08	3	46.9	1.25	8.02	17671	26.7	24.2	1540.1	312.1	201.5
	CS32-32-0.08	3	46.9	1.60	8.02	17671	31.9	27.5	1540.1	312.1	201.5
	CS18-45-0.08	3	33.3	0.90	11.00	17671	19.9	20.4	2184.2	321.6	205.0
	CS25-45-0.08	3	33.3	1.25	11.00	17671	26.7	24.2	2184.2	321.6	205.0
	CS32-45-0.08	3	33.3	1.60	11.00	17671	31.9	27.5	2184.2	321.6	205.0
	CS18-60-0.08	3	25.0	0.90	14.26	17671	19.9	20.4	2940.5	326.1	197.5
	CS25-60-0.08	3	25.0	1.25	14.26	17671	26.7	24.2	2940.5	326.1	197.5
	CS32-60-0.08	3	25.0	1.60	14.26	17671	31.9	27.5	2940.5	326.1	197.5

3) การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในการศึกษานี้ได้ถูกจัดเตรียมขึ้นภายในห้องปฏิบัติการบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมีขั้นตอนดังนี้

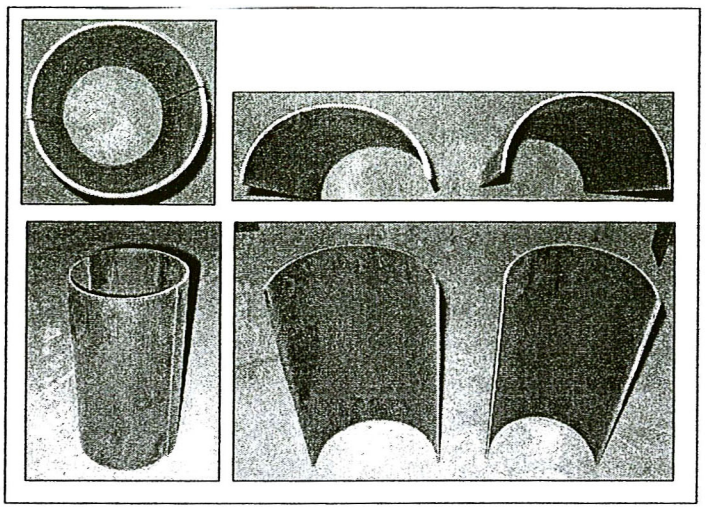
- ตัดปลอกเหล็ก (Steel jacket) โดยการนำเหล็กแผ่นโครงสร้างแบบเย็น (Cold formed) โดยมีความหนาของปลอกเหล็ก 3 ขนาดคือ 3.2 4.5 และ 6.0 mm ขนาดแสดงตามแบบที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 3.10 - 3.12

i. ในหน้าตัดสี่เหลี่ยมนำเหล็กแผ่นดังกล่าวมาพับเป็นสองส่วน ขนาด 75 x 150 x75 mm ความสูง 300 mm จำนวน 2 ชิ้น จากนั้นนำมาประกอบกันเป็นหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสแล้วเชื่อมติดกันเพื่อนำไปเป็นแบบหล่อชั่วคราวแก่ตัวอย่างทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงรายละเอียดปลอกเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ใช้ในงานวิจัย

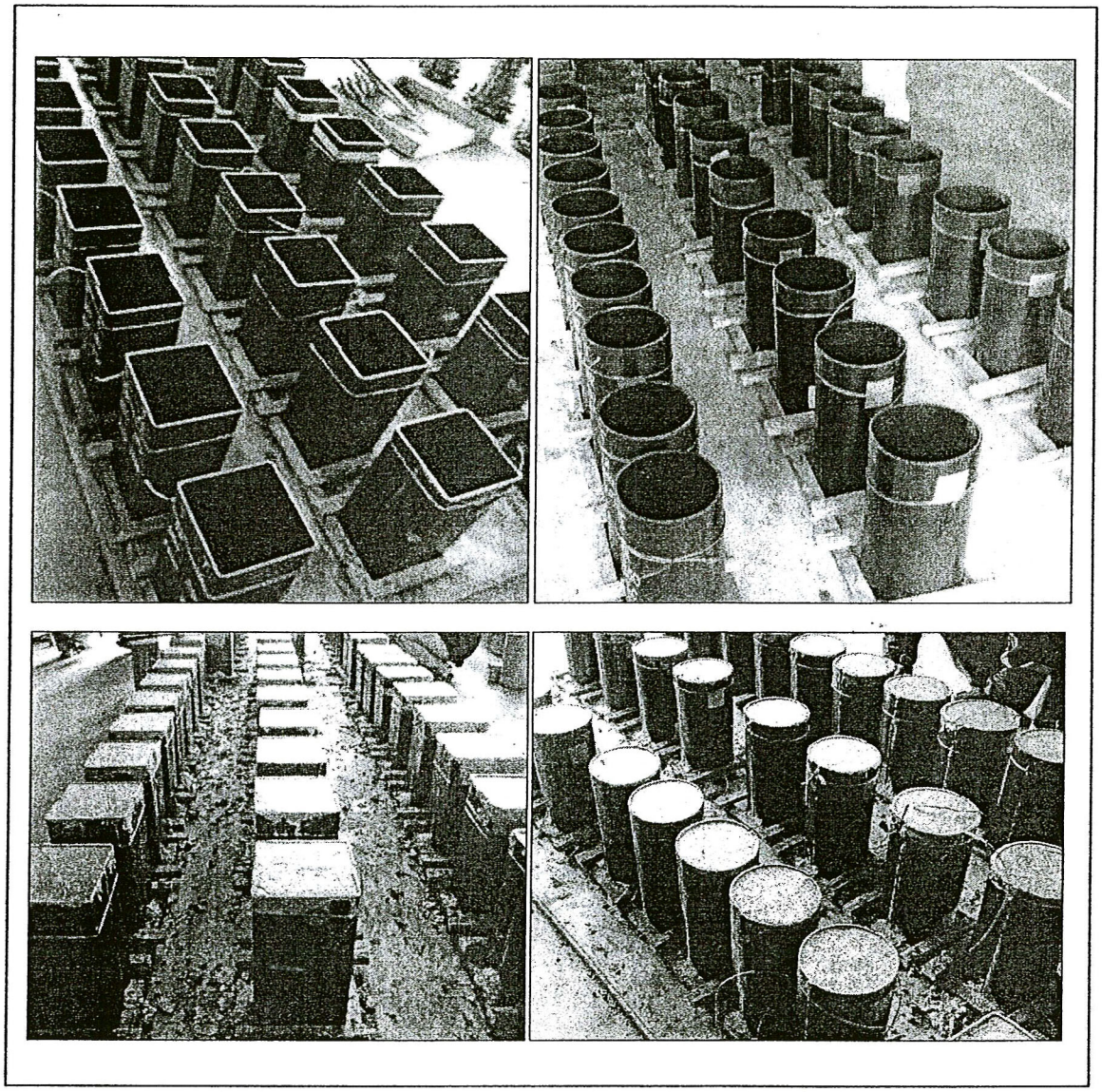
ii. ในหน้าตัดกลมม้วนเหล็กแผ่นดังกล่าวเป็นรูปครึ่งวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 mm ความสูง 300 mm จำนวน 2 ชิ้น จากนั้นนำมาประกอบกันมีลักษณะเป็นทรงกระบอกแล้วเชื่อมติดกันเพื่อนำไปเป็นแบบหล่อชั่วคราวแก่ตัวอย่างทดสอบคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 3.12



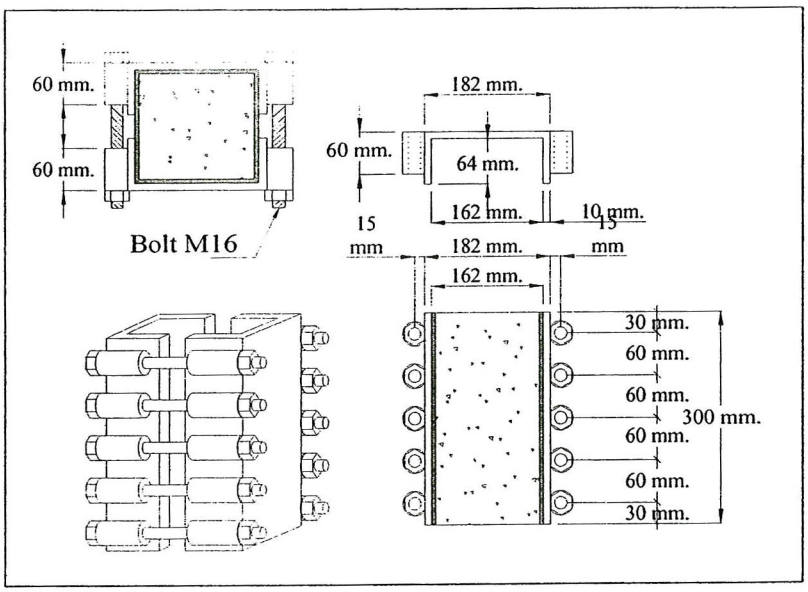
รูปที่ 3.12 แสดงรายละเอียดปลอกเหล็กหน้าตัดกลมที่ใช้ในงานวิจัย

- จากนั้นนำปลอกเหล็กที่ใช้เป็นแบบของเสารูปตัวซี 2 ชิ้นประกบกันพร้อมกับทำการพันแบบให้ติดกันด้วยเทปกาวเพื่อใช้เป็นแบบชั่วคราว แล้วนำมาตั้งบนพื้นเรียบและทำการจัดดิ่งของตัวอย่างทดสอบ จากนั้นเทคอนกรีตผสมเสร็จลงในปลอกเหล็กดังแสดงในรูปที่ 3.13
- เมื่อตัวอย่างทดสอบมีอายุครบ 24 ชั่วโมงแล้วนั้น ทำการถอดแบบและเขียนหมายเลขและวันที่หล่อคอนกรีตแล้วนำตัวอย่างทดสอบคอนกรีตไปทำการบ่มชื้น โดยใช้กระสอบชุบน้ำคลุมเป็นเวลา 28 วัน
- ภายหลังจากการบ่มตัวอย่างทดสอบครบตามระยะเวลาที่กำหนดแล้วนำปลอกเหล็กรูปตัวซีที่มีลักษณะที่ได้กำหนดไว้ทั้ง 2 ส่วนประกบเข้ากับตัวอย่างทดสอบคอนกรีต จากนั้นนำแบบปลอกเหล็กมาประกบเข้ากับตัวอย่างทดสอบและนำนอตที่ได้ทำการออกแบบไว้มาช่วยยึดปลอกเหล็กรูปตัวซีเข้าหากันโดยที่ระยะที่นอตยึดนั้นจะยึดตามระยะที่ได้กำหนดไว้ทำการให้หน่วยแรงเข้ากับปลอกเหล็กโดยที่พิจารณาหน่วยแรงสำหรับการขันสลักเกลียวเป็น 2 ค่า*กรณีหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส* คือ 0.05 f'_{co} และ 0.1 f'_{co} ดังแสดงในรูปที่ 3.14 (ก) และ (ข) และ*กรณีหน้าตัดกลม* คือ 0.05 f'_{co} และ 0.08 f'_{co} ดังแสดงในรูปที่ 3.15 (ก) และ (ข)
- เมื่อทำการให้หน่วยแรงเข้ากับปลอกเหล็กแล้วนั้นขณะที่นอตช่วยยึดปลอกเหล็กอยู่นั้นทำการเชื่อมไฟฟ้าตามรอยต่อในแนวแกนโดยใช้ Machine welding หลังจากนั้นถอดนอตออกและทำการเชื่อมปลอกเหล็กของตัวอย่างทดสอบตลอดแนวอีกครั้งโดยช่างเชื่อมไฟฟ้าที่มีความเชี่ยวชาญเพื่อเตรียมทำการทดสอบ

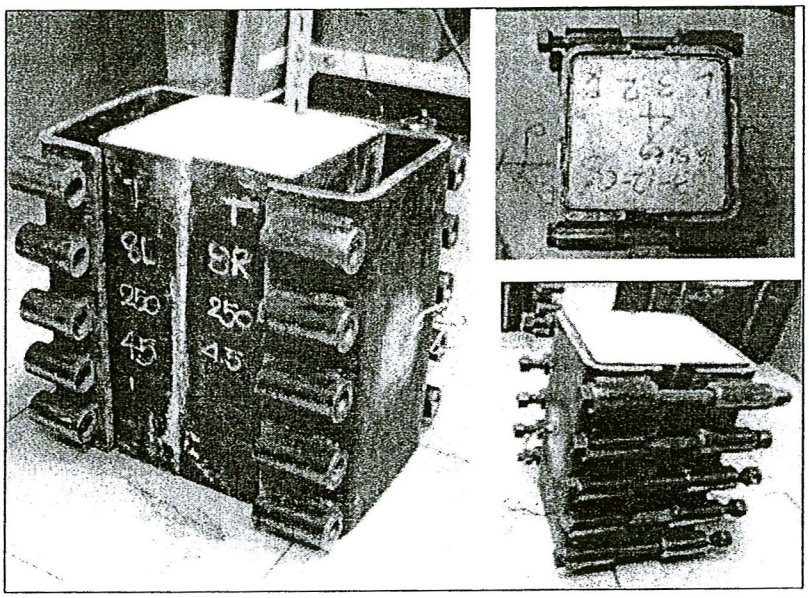
■ ก่อนการทดสอบ 1 วันทำการติดตั้งมาตรวัดความเครียด (Strain gauge) จำนวน 2 ตัวลงบนพื้นผิวของเสาที่ใช้ทดสอบและพื้นผิวของปลอกเหล็กตรงบริเวณกึ่งกลางความยาวของตัวอย่างทดสอบในแนวแกนและในแนวขวางเพื่อตรวจสอบความเครียดในแนวแกนและความเครียดในแนวขวางของตัวอย่างทดสอบ ภายใต้แรงกระทำในแนวแกน



รูปที่ 3.13 การหล่อตัวอย่างทดสอบคอนกรีต

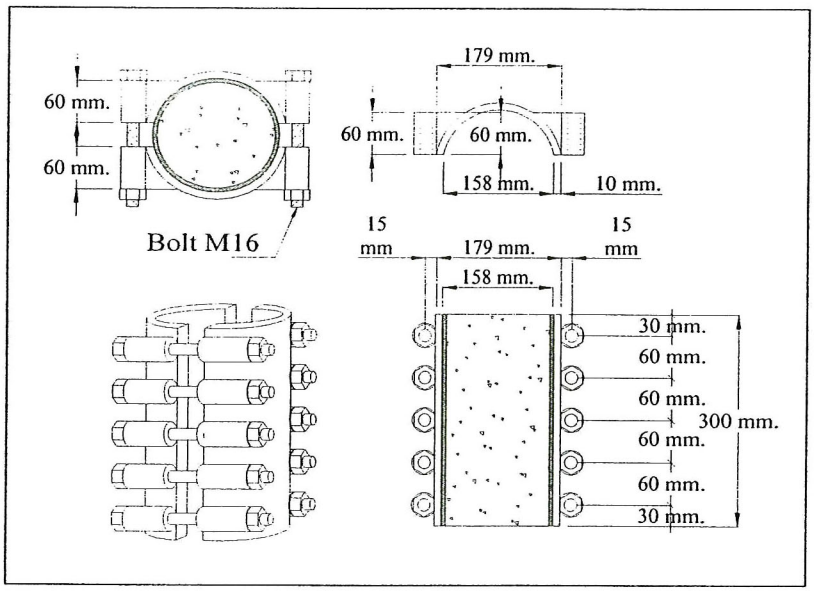


(ก) แปลนรายละเอียดแบบปลอกเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส

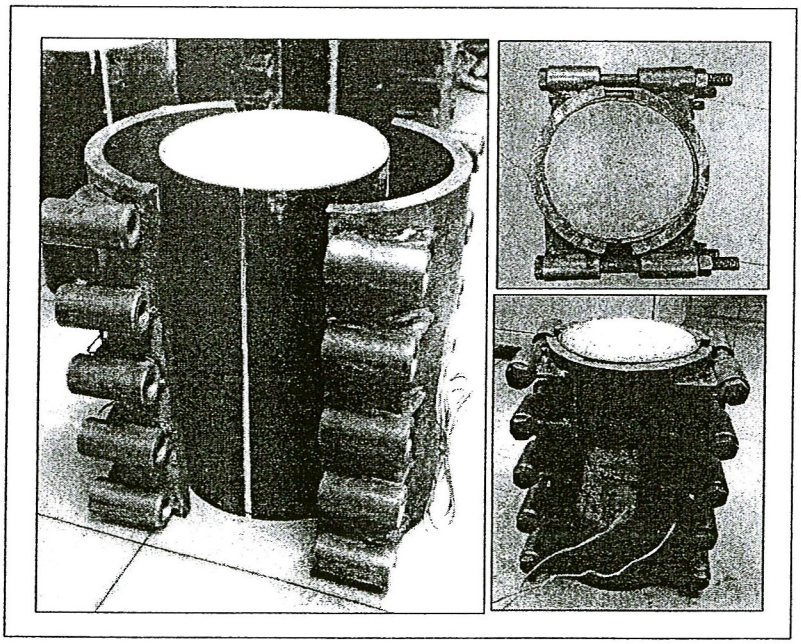


(ข) ลักษณะการให้แรงโอบรัดก่อนหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส

รูปที่ 3.14 แสดงรายละเอียดปลอกเหล็กอัดแรงของตัวอย่างทดสอบคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส



(ก) แปลนรายละเอียดแบบปลอกเหล็กหน้าตัดกลม

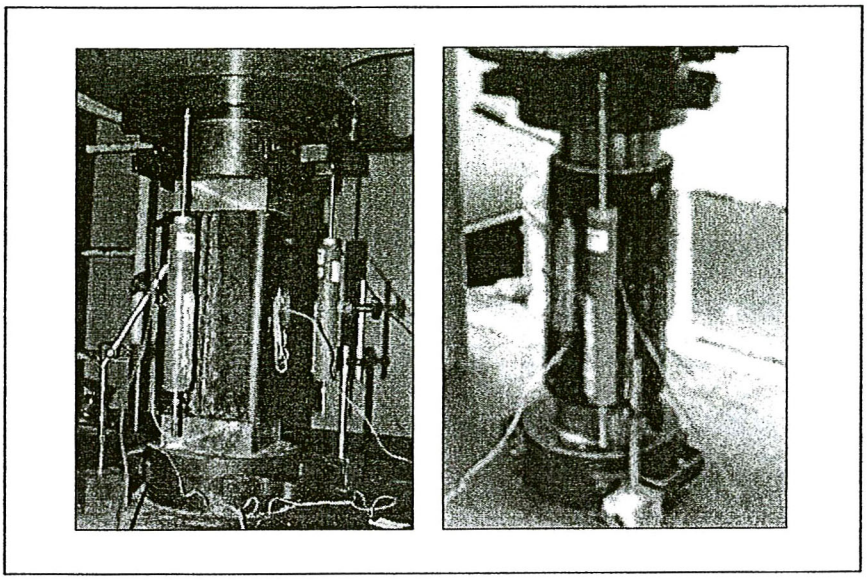


(ข) ลักษณะการให้แรงโอบรัดก่อนหน้าตัดหน้าตัดกลม

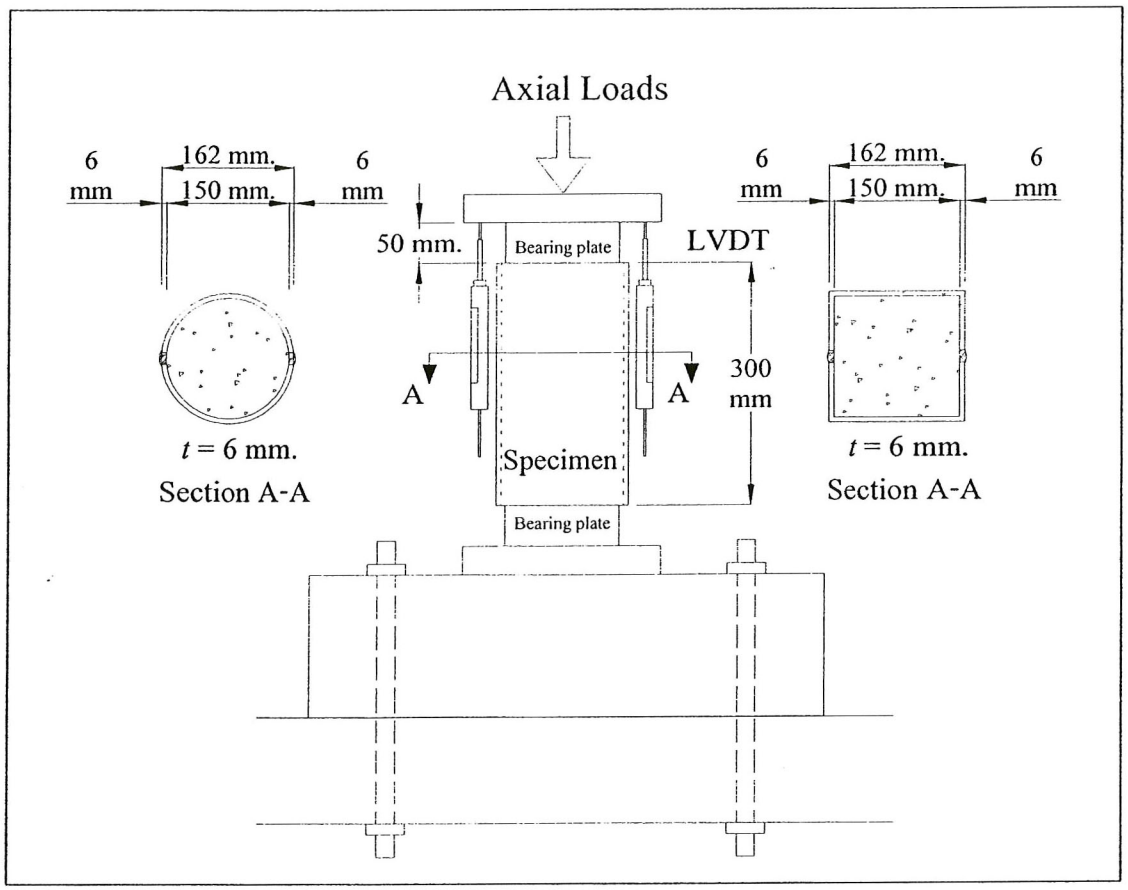
รูปที่ 3.15 แสดงรายละเอียดปลอกเหล็กอัดแรงของตัวอย่างทดสอบคอนกรีตหน้าตัดวงกลม

4) ขั้นตอนการทดสอบ

- ปรับฐานรองรับตัวอย่างทดสอบให้เรียบเสมอกันทั้งสองด้าน
- ทำการติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้ากับเครื่อง UTM โดยปลายทั้งสองด้านของตัวอย่างทดสอบถูกรองรับโดยแผ่นรับแรงแบกทาน (Bearing plate) หนา 50 mm ติดตั้ง LVDT ที่ปลายด้านบนบริเวณหัวกด (Crosshead) ของเครื่อง UTM เพื่อวัดระยะการหดของตัวอย่างทดสอบในแนวแกน ดังแสดงในรูปที่ 3.16 และรูปที่ 3.17
- จากนั้นต่อสายนำสัญญาณจาก LVDT และค่าแรงกดอัดจาก UTM เข้ากับ Data Logger แล้วตั้งค่าโปรแกรมเพื่อเก็บข้อมูล
- เตรียมตัวอย่างทดสอบและเครื่องมือให้พร้อมทดสอบทำการ Preloading โดยให้แรงกระทำต่อตัวอย่างทดสอบประมาณ 50 kN
- จากนั้น Unloading เซตศูนย์เครื่องมือวัดต่าง ๆ และทำการบันทึกค่าต่าง ๆ เมื่อเริ่มต้นการทดสอบตัวอย่างทดสอบ
- จากนั้นเพิ่มแรงกระทำผ่านเครื่อง UTM อย่างช้า ๆ ประมาณ 1 mm/min และทำการสังเกต อีกทั้งทำการบันทึกพฤติกรรมของตัวอย่างทดสอบควบคู่ด้วย ได้แก่ ค่าแรงกดอัดที่กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนและการหดตัวในแนวแกนเริ่มเป็นเส้นโค้ง และค่าแรงกดอัดที่ผนังของปลอกเหล็กเริ่มเกิดการโก่งเดาะเฉพาะที่
- ทำการเพิ่มแรงกระทำต่อไปจนตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติอย่างสมบูรณ์ ทำการสังเกตและบันทึกลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบ
- ทำการคำนวณหา หน่วยแรง ความเครียด เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียดของคอนกรีต



รูปที่ 3.16 แสดงการติดตั้งตัวอย่างทดสอบ



รูปที่ 3.17 แบบจำลองการติดตั้งตัวอย่างทดสอบ

3.3 การทดสอบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก (Tubed RC column) ที่ถูกโอบรัดก่อนด้วยปลอกเหล็กภายใต้แรงกดอัดในแนวแกน

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาถึงเสาคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับอาคารขนาดเล็ก เช่น บ้าน ทาวเฮาส์ และอาคารพาณิชย์ เป็นต้น โดยเป็นอาคารที่มีจำนวนมากสุดในประเทศไทย และเป็นลักษณะเสาสั้นออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท.1008 - 38 ในส่วนของลักษณะการให้แรงกระทำแก่ Tubed RC column มีลักษณะเช่นเดียวกับการให้แรงกระทำแก่ตัวอย่างทดสอบคอนกรีตที่โอบรัดก่อนด้วยปลอกเหล็ก ซึ่งกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2 คือให้แรงกระทำโดยตรงต่อแกนคอนกรีต และจากผลการทดสอบในหัวข้อที่ 3.2 พบว่า ขนาดของตัวอย่างทดสอบที่เหมาะสมที่นำมาศึกษาต่อในการทดสอบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก (Tubed RC column) ที่ถูกโอบรัดก่อนด้วยปลอกเหล็กภายใต้แรงกดอัดในแนวแกน คือ

- สำหรับขนาดของ*ตัวอย่างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส* มีขนาดหน้าตัด 0.15x0.15 m ความสูง 0.75 m คอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัยมี 3 ค่า ดังนี้ 18 25 และ 32 MPa ปลอกเหล็กที่ใช้ในการทดสอบ มีความหนา 6.0 mm และการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อนขนาด 0.1 f'_{co} ซึ่งค่าดังกล่าวมีความเหมาะสมในการนำมาศึกษาต่อใน Tubed RC column
- สำหรับขนาดของ*ตัวอย่างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดกลม* มีขนาดหน้าตัดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 m ความสูง 0.75 m คอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัยมี 3 ค่า ดังนี้ 18 25 และ 32 MPa ปลอกเหล็กที่ใช้ในการทดสอบ มีความหนา 4.5 mm และการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อนขนาด 0.05 f'_{co} ซึ่งค่าดังกล่าวมีความเหมาะสมในการนำมาศึกษาต่อใน Tubed RC column

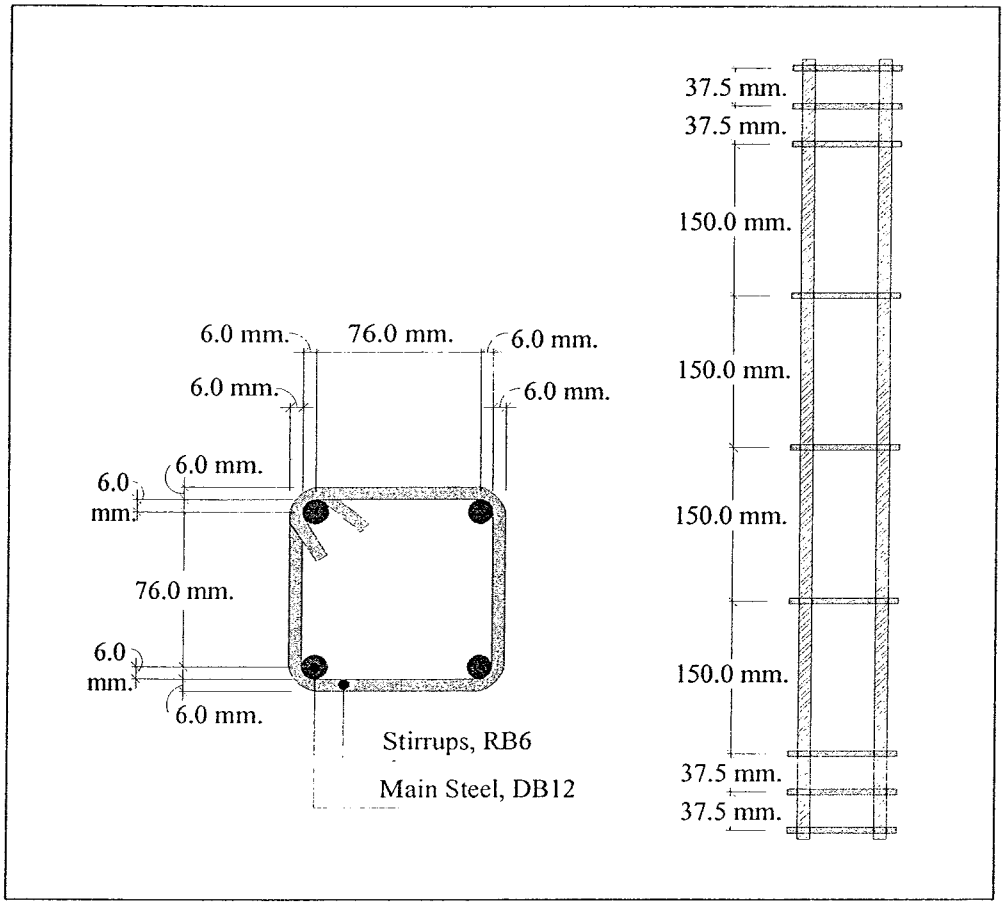
2) จุดประสงค์การทดสอบ

- เพื่อศึกษาถึงผลของการใช้ปลอกเหล็ก (Steel jacket) ที่มีผลต่อกำลัง (Strength) และความเหนียว (Ductility) ของคอนกรีตภายใต้แรงกดอัดในแนวแกน
- เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงกดอัดในแนวแกนที่มีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน (Preconfinement) รวมทั้งลักษณะของการวิบัติในเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกโอบรัดก่อนด้วยปลอกเหล็กภายใต้แรงกดอัดในแนวแกน

3) ตัวอย่างทดสอบ

ขนาดหน้าตัดของเสาตัวอย่างทดสอบกำหนดโดยสมการออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กของ ว.ส.ท.1008 - 38 (ตามข้อกำหนดที่ระบุของ ว.ส.ท. ข้อที่ 4314(ข)) และสมการแบบจำลองของACI committee 440 (2002) และเปรียบเทียบกำลังของเสาที่ได้กับความสามารถของเครื่องมือทดสอบที่มีในห้องปฏิบัติการและการเลือกขนาดที่เหมาะสม ซึ่งเสาดังกล่าวมีค่า B/t ที่ผ่านข้อกำหนดความหนาของว.ส.ท. ข้อที่ 4314(ฉ) และ AISC LRFD และมี L/B =5.0 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ใช้

งานของเสาปลอกเหล็กกรอกคอนกรีต (Concrete - filled steel tube column) ของขนาดอาคารเตี้ยและอาคารสูงปานกลางในสหรัฐอเมริกา (Schneider, S.P., 1998) และมีปริมาณของเหล็กปลอกในแนวแกน $\rho_{sc} > 4\%$ ตามที่กำหนดในมาตรฐานการออกแบบ AISC LRFD (AISC, 1994) ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 รายละเอียดของเหล็กเสริมของตัวอย่างทดสอบ Tubed RC column

- **เสาคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส**

สำหรับการระบุชื่อของ *ตัวอย่างทดสอบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส* ได้ถูกกำหนดในรูปแบบ AX - Y - Z โดยอักษร A หมายถึงชนิดของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก (กำหนดให้ CRC หมายถึง เสาคอนกรีตเสริมเหล็กอ้างอิง และ SRC หมายถึง เสาคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ถูกโอบรัดก่อนด้วยปลอกเหล็ก) อักษร X หมายถึง กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (คอนกรีตที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยกำลังอัดประลัย 3 ค่า คือ 18 25 และ 32MPa) อักษร Y หมายถึง ความหนาของปลอกเหล็กที่โอบรัดตัวอย่างทดสอบ (ความหนาของปลอกเหล็ก

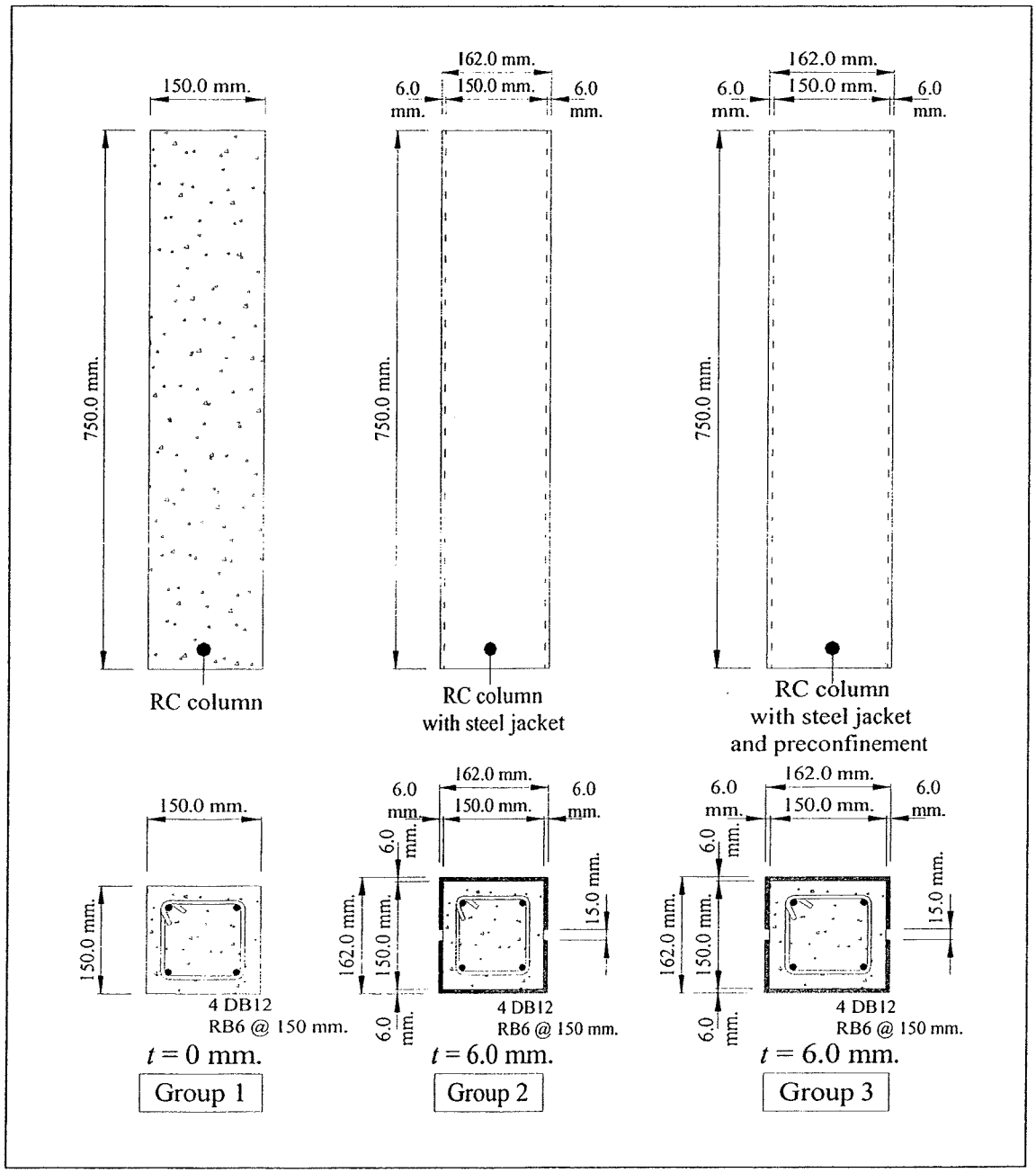
มี 1 ค่า คือ 6.0 mm) และสำหรับ อักษร Z หมายถึง หน่วยแรงโอบรัดก่อน (มีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน ขนาด 0.1 f'_{co}) ยกตัวอย่างการระบุชื่อตัวอย่างทดสอบ เช่น SRC25 - 6.0 - 0.1 หมายถึง ตัวอย่างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีกำลังอัดประลัย 25 MPa ถูกโอบรัดด้วยปลอกเหล็กขนาดความหนา 6.0 mm โดยมีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อนที่ 0.1 f'_{co}

จากรูปที่ 3.19 ตารางที่ 3.5 และ ตารางที่ 3.6 แสดงรายละเอียดของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 0.15 x 0.15 m ความสูง 0.75 m จำนวน 18 ตัวอย่าง และสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 คือ เสาตัวอย่างทดสอบคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่มีวัสดุโอบรัด จำนวน 6 ตัวอย่าง ซึ่งใช้เป็นเสาตัวอย่างทดสอบอ้างอิง (Control RC columns)

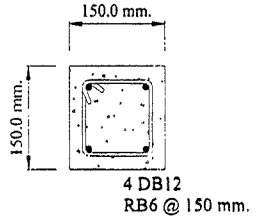
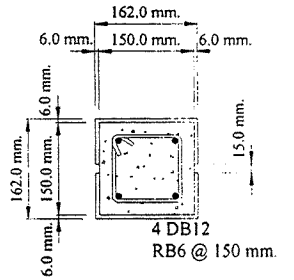
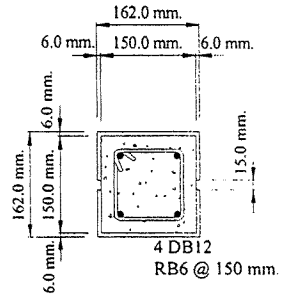
กลุ่มที่ 2 คือ เสาตัวอย่างทดสอบคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกห่อหุ้มด้วยปลอกเหล็ก โดยไม่มีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อนจำนวน 6 ตัวอย่าง

กลุ่มที่ 3 คือ เสาตัวอย่างทดสอบคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกห่อหุ้มด้วยปลอกเหล็ก และมีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อนที่ 0.1 f'_{co} จำนวน 6 ตัวอย่าง



รูปที่ 3.19 รายละเอียดของตัวอย่างทดสอบ Tubed RC column หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ตารางที่ 3.5 รายละเอียดตัวอย่างทดสอบ Tubed RC column หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ใช้ในงานวิจัย

กลุ่มที่	ตัวอย่างทดสอบ	f'_{co} (MPa)	t (mm)	หน่วยแรงที่ใช้ในการโอบรัดก่อน (MPa)	จำนวน	วัสดุโอบรัด (Confined materials)	รูปหน้าตัด (Cross section)
1	CRC18-0-0	18	-	-	2	เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	 No steel jacket
	CRC25-0-0	25	-	-	2		
	CRC32-0-0	32	-	-	2		
2	SRC18-6.0-0	18	6.0	0	2	เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก + ปลอกเหล็ก	
	SRC25-6.0-0	25	6.0	0	2		
	SRC32-6.0-0	32	6.0	0	2		
3	SRC18-6.0-0.1 f'_{co}	18	6.0	0.1 f'_{co}	2	เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก + ปลอกเหล็ก + หน่วยแรงโอบรัดก่อน	
	SRC25-6.0-0.1 f'_{co}	25	6.0	0.1 f'_{co}	2		
	SRC32-6.0-0.1 f'_{co}	32	6.0	0.1 f'_{co}	2		
รวมตัวอย่างทดสอบ					18		

ตารางที่ 3.6 รายละเอียดตัวอย่างทดสอบ Tubed RC column หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ใช้ในการศึกษาและคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่เกี่ยวข้อง

กลุ่มที่	ตัวอย่าง	จำนวน	B/t ratio	L/B ratio	Confining pressure (MPa)	$\rho_{sc} = A_s / A_g$ (%)	คอนกรีต		ปลอกเหล็ก		เหล็กเสริม DB12		เหล็กปลอก RB6	
							A_c (mm^2)	f'_{co} (MPa)	A_s (mm^2)	f_y (MPa)	A_s (mm^2)	f_y (MPa)	A_s (mm^2)	f_y (MPa)
1	CRC18-0-0	2	-	-	-	2.0	22500	19.6	-	-	113.1	358.40	28.3	260.43
	CRC25-0-0	2	-	-	-	2.0	22500	26.3	-	-	113.1	358.40	28.3	260.43
	CRC32-0-0	2	-	-	-	2.0	22500	32.6	-	-	113.1	358.40	28.3	260.43
2	SRC18-6.0-0	2	33.3	5.0	-	14.27	22500	19.6	3744	325.48	113.1	358.40	28.3	260.43
	SRC25-6.0-0	2	33.3	5.0	-	14.27	22500	26.3	3744	325.48	113.1	358.40	28.3	260.43
	SRC32-6.0-0	2	33.3	5.0	-	14.27	22500	32.6	3744	325.48	113.1	358.40	28.3	260.43
3	SRC18-6.0-0.1 f'_{co}	2	33.3	5.0	1.80	14.27	22500	19.6	3744	325.48	113.1	358.40	28.3	260.43
	SRC25-6.0-0.1 f'_{co}	2	33.3	5.0	2.50	14.27	22500	26.3	3744	325.48	113.1	358.40	28.3	260.43
	SRC32-6.0-0.1 f'_{co}	2	33.3	5.0	3.20	14.27	22500	32.6	3744	325.48	113.1	358.40	28.3	260.43

- **เสาคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดกลม**

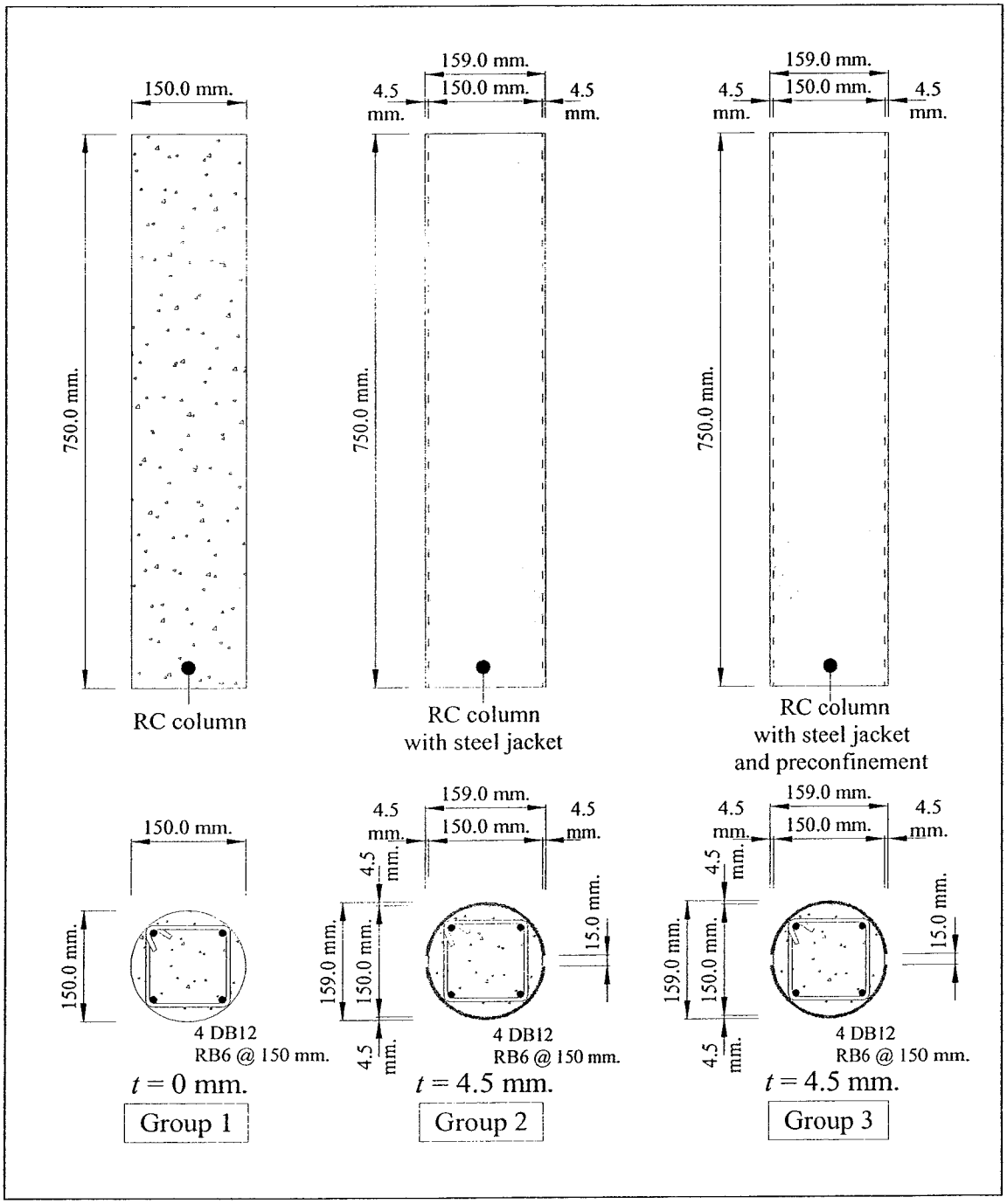
สำหรับการระบุชื่อของ *ตัวอย่างทดสอบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดกลม* ได้ถูกกำหนดในรูปแบบ EB - C - D โดยอักษร E หมายถึงชนิดของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก (กำหนดให้ C หมายถึง เสาคอนกรีตเสริมเหล็กอ้างอิง และ CST หมายถึง เสาคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดกลมที่ถูกโอบรัดก่อนด้วยปลอกเหล็ก) อักษร B หมายถึง กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (คอนกรีตที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยกำลังอัดประลัย 3 ค่า คือ 18 25 และ 32MPa) อักษร C หมายถึง ความหนาของปลอกเหล็กที่โอบรัดตัวอย่างทดสอบ (ความหนาของปลอกเหล็กมี 1 ค่า คือ 4.5 mm) และสำหรับ อักษร D หมายถึง หน่วยแรงโอบรัดก่อน (มีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน ขนาด 0.05 f'_{co}) ยกตัวอย่างการระบุชื่อตัวอย่างทดสอบ เช่น CST25 - 4.5 - 0.05 หมายถึงตัวอย่างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดกลม มีกำลังอัดประลัย 25 MPa ถูกโอบรัดด้วยปลอกเหล็กขนาดความหนา 4.5 mm โดยมีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อนที่ 0.05 f'_{co}

จากรูปที่ 3.20 ตารางที่ 3.7 และ ตารางที่ 3.8 แสดงรายละเอียดของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 m ความสูง 0.75 m จำนวน 18 ตัวอย่าง และสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 คือ เสาตัวอย่างทดสอบคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่มีวัสดุโอบรัด จำนวน 6 ตัวอย่าง ซึ่งใช้เป็นเสาตัวอย่างทดสอบอ้างอิง (Control RC columns)

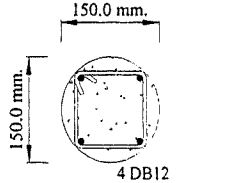
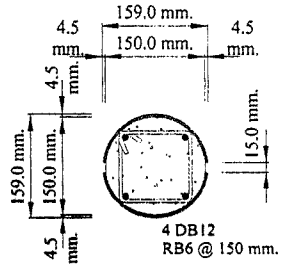
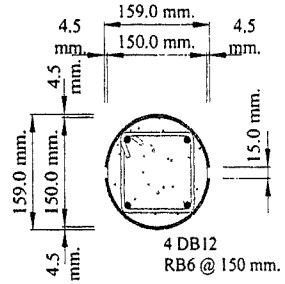
กลุ่มที่ 2 คือ เสาตัวอย่างทดสอบคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกห่อหุ้มด้วยปลอกเหล็ก โดยไม่มีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อนจำนวน 6 ตัวอย่าง

กลุ่มที่ 3 คือ เสาตัวอย่างทดสอบคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกห่อหุ้มด้วยปลอกเหล็ก และมีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อนที่ 0.05 f'_{co} จำนวน 6 ตัวอย่าง



รูปที่ 3.20 รายละเอียดของตัวอย่างทดสอบ Tubed RC column หน้าตัดกลม

ตารางที่ 3.7 รายละเอียดตัวอย่างทดสอบ Tubed RC column หน้าตัดกลมที่ใช้ในงานวิจัย

กลุ่มที่	ตัวอย่างทดสอบ	f'_{co} (MPa)	t (mm)	หน่วยแรงที่ใช้ในการโอบรัดก่อน (MPa)	จำนวน	วัสดุโอบรัด (Confined materials)	รูปหน้าตัด (Cross section)
1	C18-0-0	18	-	-	2	เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	 No steel jacket
	C25-0-0	25	-	-	2		
	C32-0-0	32	-	-	2		
2	CST18-4.5-0	18	4.5	0	2	เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก + ปลอกเหล็ก	
	CST25-4.5-0	25	4.5	0	2		
	CST32-4.5-0	32	4.5	0	2		
3	CST18-4.5-0.05 f'_{co}	18	4.5	0.05 f'_{co}	2	เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก + ปลอกเหล็ก + หน่วยแรงโอบรัดก่อน	
	CST25-4.5-0.05 f'_{co}	25	4.5	0.05 f'_{co}	2		
	CST32-4.5-0.05 f'_{co}	32	4.5	0.05 f'_{co}	2		
รวมตัวอย่างทดสอบ					18		

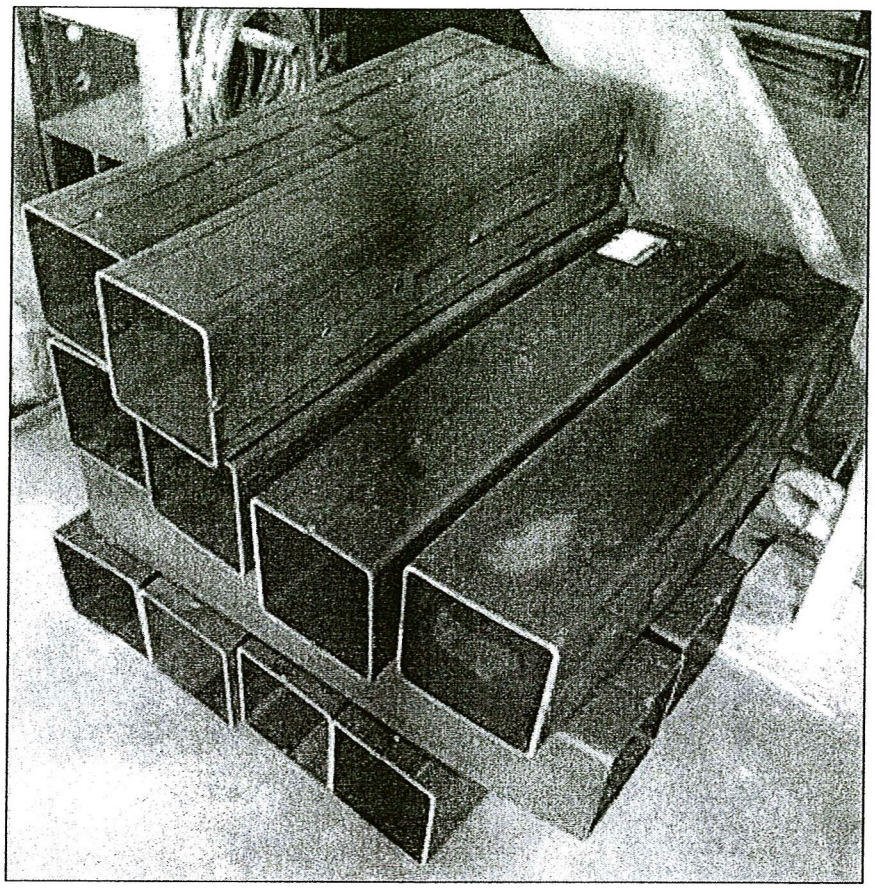
ตารางที่ 3.8 รายละเอียดตัวอย่างทดสอบ Tubed RC column หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ใช้ในการศึกษาและคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่เกี่ยวข้อง

กลุ่มที่	ตัวอย่าง	จำนวน	B/t ratio	L/B ratio	Confining pressure (MPa)	$\rho_{sc} = A_s / A_g$ (%)	คอนกรีต		ปลอกเหล็ก		เหล็กเสริม DB12		เหล็กปลอก RB6	
							A_c (mm^2)	f'_{co} (MPa)	A_s (mm^2)	f_y (MPa)	A_s (mm^2)	f_y (MPa)	A_s (mm^2)	f_y (MPa)
1	C18-0-0	2	-	-	-	2.0	17671	19.9	-	-	113.1	358.40	28.3	260.43
	C25-0-0	2	-	-	-	2.0	17671	26.7	-	-	113.1	358.40	28.3	260.43
	C32-0-0	2	-	-	-	2.0	17671	31.9	-	-	113.1	358.40	28.3	260.43
2	CST18-4.5-0	2	33.3	5.0	-	11.0	17671	19.9	2184.2	321.6	113.1	358.40	28.3	260.43
	CST25-4.5-0	2	33.3	5.0	-	11.0	17671	26.7	2184.2	321.6	113.1	358.40	28.3	260.43
	CST32-4.5-0	2	33.3	5.0	-	11.0	17671	31.9	2184.2	321.6	113.1	358.40	28.3	260.43
3	CST18-4.5-0-0.05 f'_{co}	2	33.3	5.0	0.90	11.0	17671	19.9	2184.2	321.6	113.1	358.40	28.3	260.43
	CST18-4.5-0-0.05 f'_{co}	2	33.3	5.0	1.25	11.0	17671	26.7	2184.2	321.6	113.1	358.40	28.3	260.43
	CST18-4.5-0-0.05 f'_{co}	2	33.3	5.0	1.60	11.0	17671	31.9	2184.2	321.6	113.1	358.40	28.3	260.43

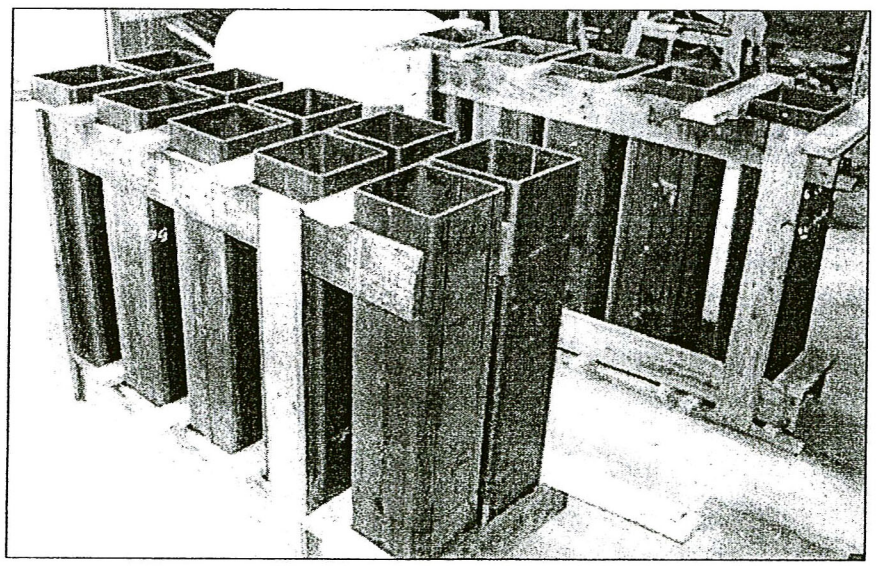
4) การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

โดยที่ตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในการศึกษานี้ได้ถูกจัดเตรียมขึ้นภายในห้องปฏิบัติการบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมีขั้นตอนดังนี้

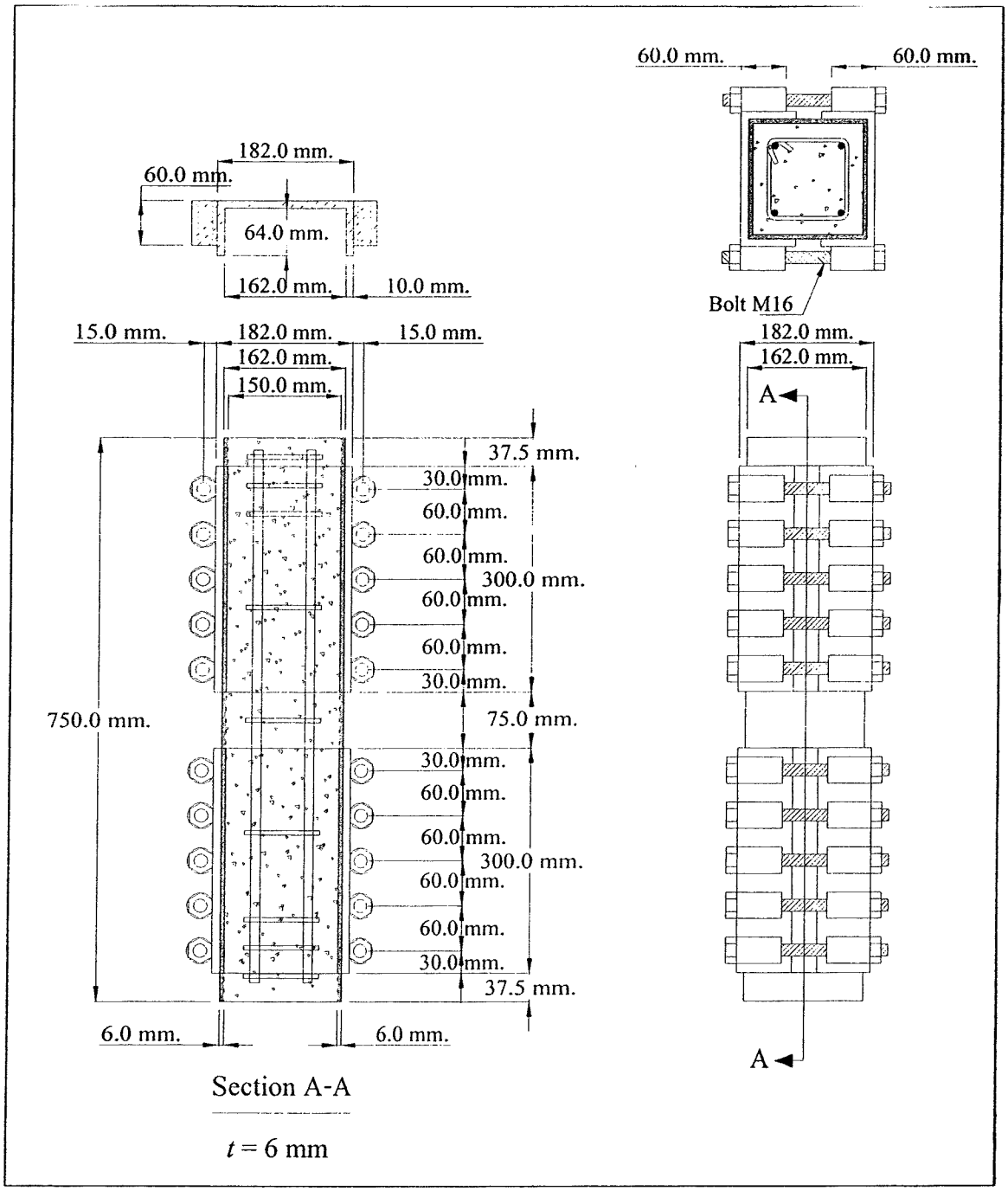
- จัดเตรียมตัดปลอกเหล็ก (Steel jacket) โดยการนำเหล็กแผ่นโครงสร้างแบบเย็นนำมาพับเป็นสองส่วน สำหรับหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสใช้ความหนา 6.0 mm และสำหรับหน้าตัดกลมใช้ความหนา 4.5 mm จากนั้นนำมาประกอบกันตามแบบที่กำหนด ให้มีความยาว 750 mm เพื่อนำมาใช้เป็นแบบในการหล่อสำหรับตัวอย่างทดสอบและใช้เป็นปลอกเหล็ก (Steel jacket) ของตัวอย่างทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.19
- นำปลอกเหล็กที่ใช้เป็นแบบเสารูปตัวซี 2 ชิ้นประกบกันพร้อมกับตีแบบยึดกันไว้เป็นแบบชั่วคราวแล้วนำมาตั้งบนพื้นเรียบและทำการจัดดิ่งของเสา จากนั้นทำการเทคอนกรีตผสมเสร็จลงในปลอกเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 3.20
- เมื่อตัวอย่างทดสอบมีอายุครบ 24 ชั่วโมง จัดทำการถอดแบบและเขียนหมายเลขและวันที่หล่อคอนกรีตแล้วนำเสาคอนกรีตเสริมเหล็กไปทำการบ่มชื้นโดยใช้กระสอบชุบน้ำคลุมเป็นเวลา 28 วัน
- ภายหลังจากการบ่มตัวอย่างทดสอบครบระยะเวลาที่กำหนดแล้วนำปลอกเหล็กรูปตัวซีที่มีลักษณะดังที่ได้กำหนดไว้แล้วทั้ง 2 ส่วนนำมาประกบเข้ากับตัวอย่างทดสอบคอนกรีต จากนั้นจึงนำแบบปลอกเหล็กมาประกบเข้ากับตัวอย่างทดสอบและนำนอตที่ได้ทำการออกแบบไว้มาช่วยยึดปลอกเหล็กรูปตัวซีเข้าหากันโดยที่ระยะที่นอตยึดนั้นจะยึดตามระยะที่ได้กำหนดไว้ทำการให้หน่วยแรงเข้ากับปลอกเหล็กโดยที่ต้องพิจารณาหน่วยแรงสำหรับการขันสลักเกลียวที่ 0.1 f'_{co} ดังแสดงในรูปที่ 3.21
- เมื่อทำการให้หน่วยแรงเข้ากับปลอกเหล็กแล้วนั้นขณะที่นอตช่วยยึดปลอกเหล็กอยู่นั้นทำการเชื่อมไฟฟ้าตามรอยต่อในแนวแกนโดยใช้ Machine welding จากนั้นถอดนอตออกและทำการเชื่อมปลอกเหล็กของตัวอย่างทดสอบตลอดแนวอีกครั้งหนึ่ง โดยช่างเชื่อมไฟฟ้าที่มีความเชี่ยวชาญเพื่อเตรียมทำการทดสอบ
- ก่อนทดสอบ 1 วันทำการติดตั้งมาตรวัดความเครียด (Strain gauge) จำนวน 2 ตัว ลงบนพื้นผิวของเสาที่ใช้ทดสอบและในบริเวณพื้นผิวของปลอกเหล็กตรงจุดกึ่งกลางความยาวของตัวอย่างทดสอบในแนวแกนและในแนวขวางเพื่อที่จะตรวจสอบความเครียดในแนวแกนและความเครียดในแนวขวางที่ใช้ทดสอบและปลอกเหล็กภายใต้แรงกระทำในแนวแกน



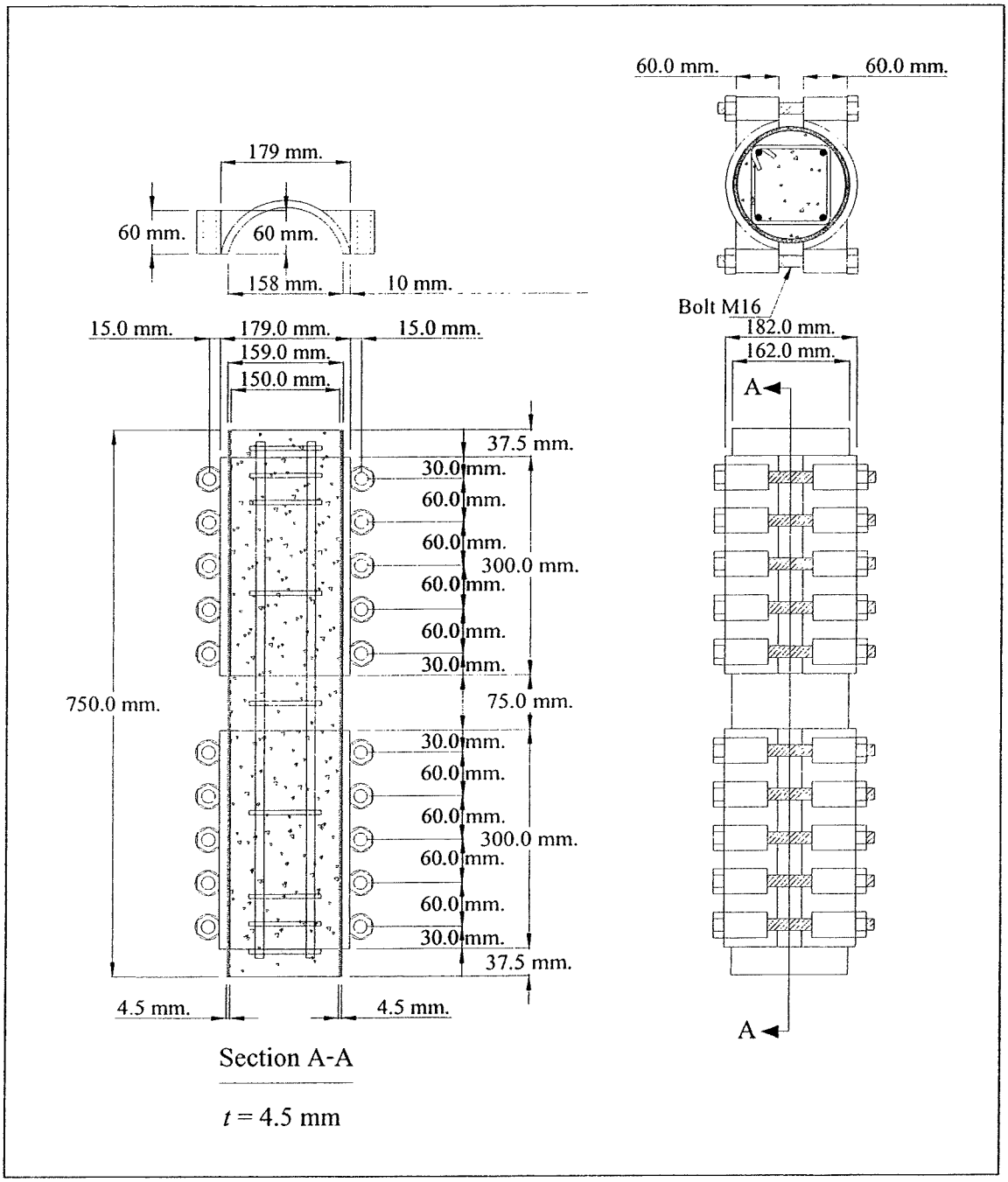
รูปที่ 3.21 แสดงรายละเอียดปลอกเหล็กที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 3.22 การหล่อตัวอย่างทดสอบ Tubed RC column



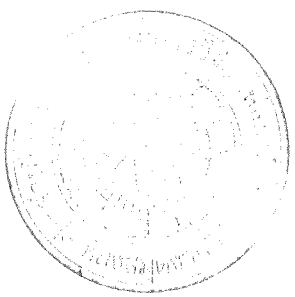
รูปที่ 3.23 รายละเอียดแบบปลอกเหล็กของ Tubed RC column หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่ความหนา 6.0 mm และ ลักษณะของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ถูกโอบรัดก่อนด้วยปลอกเหล็ก

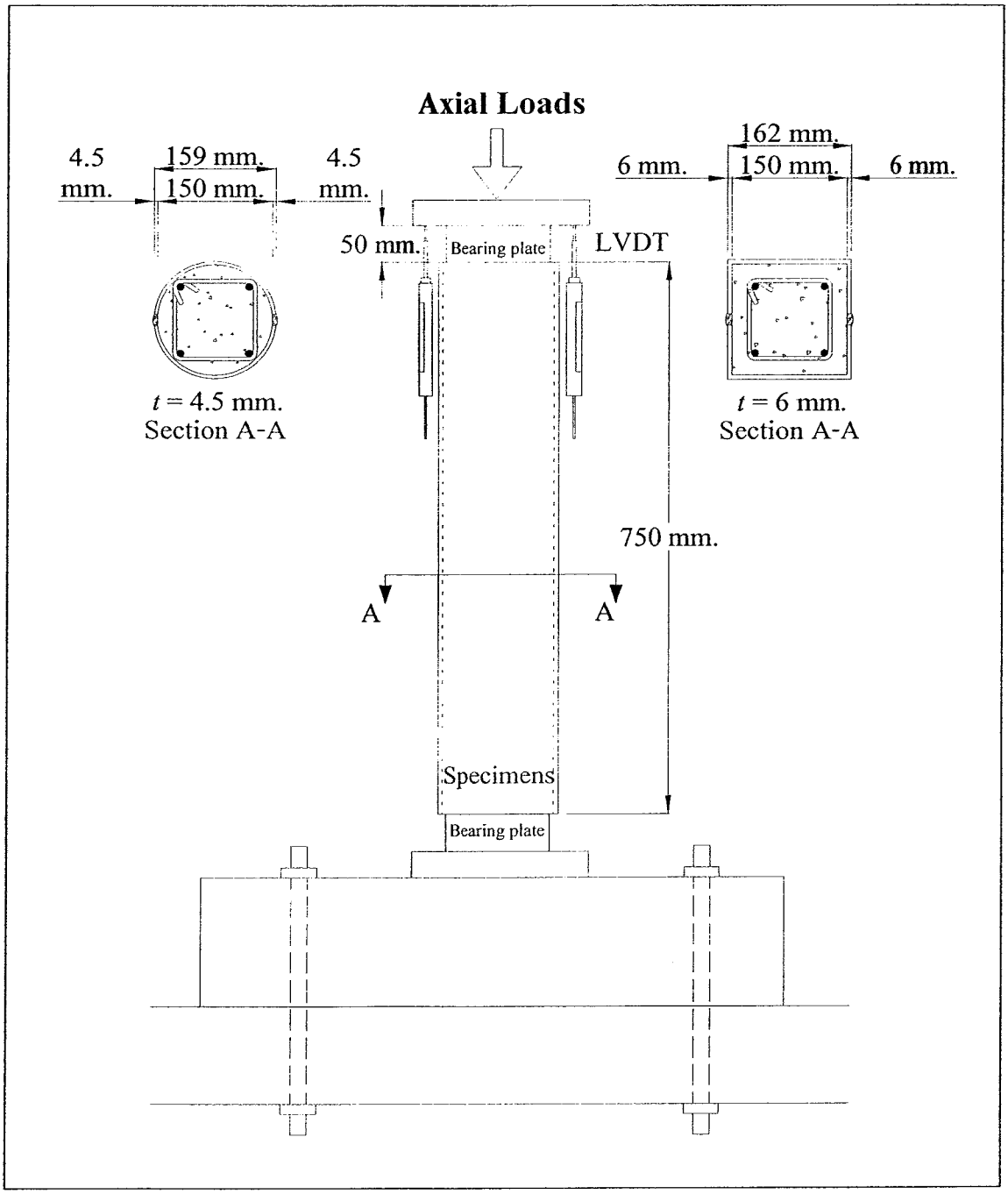


รูปที่ 3.24 รายละเอียดแบบปลอกเหล็กของ Tubed RC column หน้าตัดกลม ที่ความหนา 6.0 mm และ ลักษณะของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกโอบรัดก่อนด้วยปลอกเหล็ก

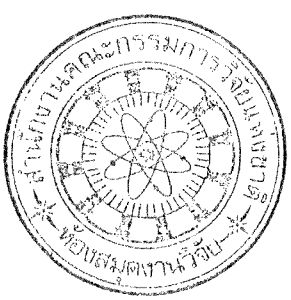
5) ขั้นตอนการทดสอบ

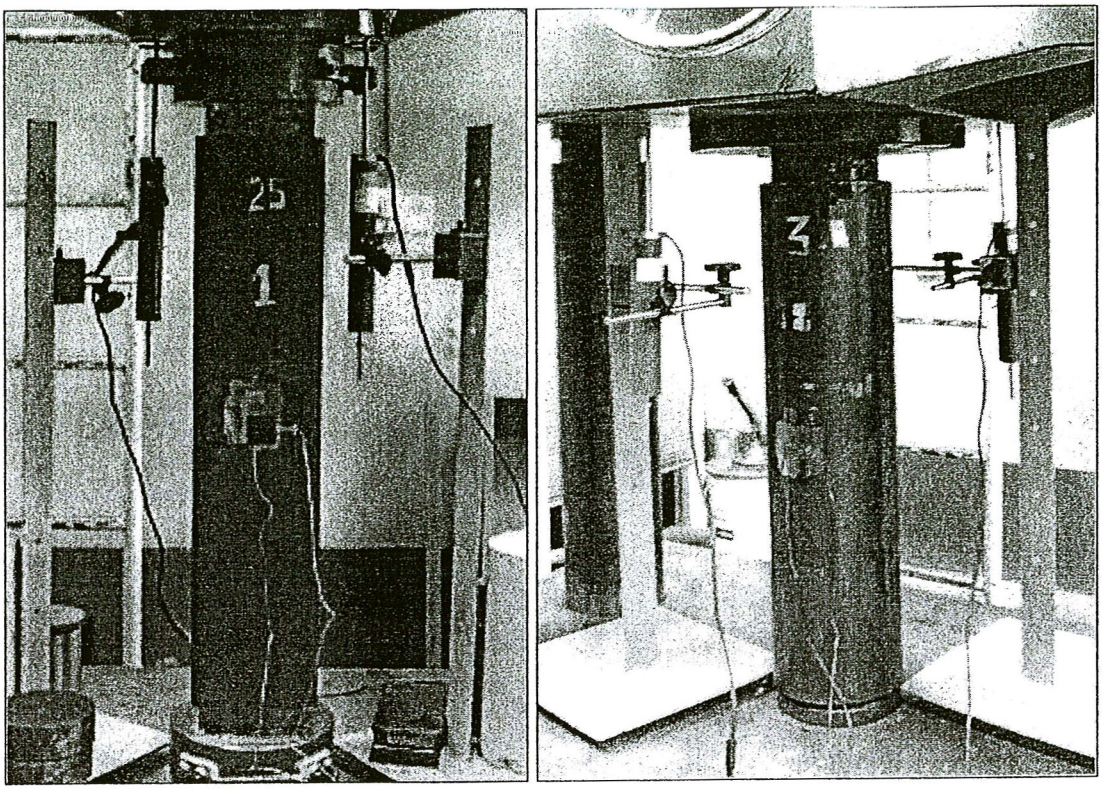
- ปรับฐานรองรับตัวอย่างทดสอบให้เรียบเสมอกันทั้งสองด้าน
- ติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้ากับเครื่อง UTM ปลายทั้งสองด้านของตัวอย่างทดสอบถูกรองรับโดยแผ่นรับแรงแบกทาน (Bearing plate) หนา 50 mm ติดตั้ง LVDT ที่ปลายด้านบนบริเวณหัวกด (Crosshead) ของเครื่อง UTM เพื่อวัดระยะการหดของตัวอย่างทดสอบในแนวแกน ดังแสดงในรูปที่ 3.22
- จากนั้นต่อสายนำสัญญาณจาก LVDT และค่าแรงกดอัดจาก UTM เข้า Data logger แล้วตั้งค่าโปรแกรมเพื่อเก็บข้อมูล
- เมื่อเตรียมตัวอย่างทดสอบและเครื่องมือพร้อมที่จะทดสอบแล้วทำการ Preloading โดยให้แรงกระทำต่อตัวอย่างทดสอบประมาณ 50 kN
- จากนั้น Unloading เซตศูนย์เครื่องมือวัดต่าง ๆ และบันทึกค่าต่าง ๆ
- เพิ่มแรงกระทำผ่านเครื่อง UTM อย่างช้า ๆ ประมาณ 1 mm/min และทำการสังเกตและทำการบันทึกพฤติกรรมของเสา ซึ่งได้แก่ ค่าแรงกดอัดที่กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนและการหดตัวในแนวแกนเริ่มเป็นเส้นโค้งและค่าแรงกดอัดที่ผนังของปลอกเหล็กเริ่มเกิดการโก่งเดาะเฉพาะที่
- ทำการเพิ่มแรงกระทำต่อไปเรื่อย ๆ จนตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติอย่างสมบูรณ์ ทำการสังเกตและบันทึกลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบ
- ทำการคำนวณหาหน่วยแรง ความเครียด เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดและหดตัวในแนวแกนของเสา Tube RC column





รูปที่ 3.25 แผนภาพแสดงการติดตั้งตัวอย่างทดสอบ Tubed RC column เพื่อทดสอบแรงกดอัด





รูปที่ 3.26 ตัวอย่างการติดตั้งตัวอย่างทดสอบ Tubed RC column เพื่อทดสอบแรงกดอัด