บทที่ 3

วิธีการทดสอบ การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดสอบ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของคอนกรีตภายใต้การโอบรัดของเหล็กปลอกที่มีของอ 90 องศาโดยแยกผลของเหล็กยืนออก และจะกล่าวถึงลักษณะและขนาดของตัวอย่างทดสอบ รวมทั้งรายละเอียดการเสริมเหล็กในตัวอย่างทดสอบ คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ คอนกรีต เหล็กเสริม พร้อมทั้งอธิบายวิธีการเตรียมตัวอย่างทดสอบและการทดสอบ

3.1 วิธีการทดสอบ

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ ต้องการศึกษาพฤติกรรมของคอนกรีตภายใต้การโอบรัดของเหล็กปลอกที่มีของอ 90 องศาโดยแยกผลของเหล็กยืนออก ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ผ่านมา การหากำลังโอบรัดในแกนคอนกรีตจากการทดสอบตัวอย่างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นได้มาจากการหักลบแรงปฏิกิริยาในเหล็กเสริมตามยาวออกจากแรงทั้งหมดที่กระทำต่อตัวอย่างทดสอบ รูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นว่าแรงกดทั้งหมดคือผลรวมของแรงปฏิกิริยาในเหล็กเสริมตามยาวกับแรงปฏิกิริยาในคอนกรีต ซึ่งแรงปฏิกิริยาในเหล็กเสริมตามยาวนั้น ได้จากการสมมติพฤติกรรมของเหล็กเสริมเป็นแบบเส้นตรงสองเส้น (bilinear) หรือจากการทดสอบโดยการดึง ซึ่งพฤติกรรมของเหล็กเสริมตามยาวในเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่รับแรงอัดตามแนวแกนนั้นจะไม่เหมือนกันการสมมติพฤติกรรมของเหล็กในการรับแรงดึง เนื่องจากเมื่อเหล็กเสริมตามยาวรับแรงอัดโดยที่มีค่าอัตราส่วนความชะลูดมากเกินกว่า 5 พฤติกรรมของเหล็กเสริมตามยาวจะไม่เหมือนกับการทดสอบโดยการดึง (จากการทดสอบของ Monti และ Nuti ในปี ค.ศ. 1992) เนื่องจากจะเกิดการโก่งเดาะขึ้น ทำให้กำลังของเหล็กเสริมตามยาวลดลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการสมมติพฤติกรรมของเหล็กดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะได้ผลของกำลังโอบรัดของแกนคอนกรีตที่ไม่ถูกต้อง ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการหาวิธีที่เหมาะสมที่จะสามารถวัดแรงปฏิกิริยาในแกนคอนกรีต โดยที่ไม่ต้องหักลบกับแรงปฏิกิริยาในเหล็กเสริมตามยาว เพื่อที่จะสามารถหากำลังโอบรัดของคอนกรีตที่มีความถูกต้องมากที่สุด ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการทดสอบโดย การให้แรงอัดกระทำตามแนวแกนต่อหน้าตัดตัวอย่างทดสอบเฉพาะส่วนที่เป็นคอนกรีต โดยการทำแผ่นเหล็กหนา 5 ซม. ประกบหัวท้ายของตัวอย่างทดสอบและเจาะรูที่ตำแหน่งของเหล็กเสริมตามยาว เพื่อไม่ให้เหล็กเสริมตามยาวรับแรงอัด ดังแสดงในรูปที่ 3.2 อีกทั้งจะทำการลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมตามยาวโดยการ

เคลือบแว็กซ์ (wax) รอบเหล็กเสริมตามยาวตลอดเส้น เพื่อที่จะทำให้เหล็กเสริมตามยาวไม่รับแรงจากการเปลี่ยนรูปร่างของคอนกรีตรอบๆ เหล็กเสริมตามยาว จากการทดสอบด้วยวิธีนี้ จะทำให้ได้แรงปฏิกิริยาในแกนคอนกรีตเพียงอย่างเดียวเท่านั้น โดยที่ไม่ต้องหักลบแรงแรงปฏิกิริยาในเหล็กเสริมตามยาว ซึ่งจะทำให้ได้พฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

3.2 ตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบในงานวิจัยนี้ เป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีขนาดและรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยที่จะไม่มีคอนกรีตนอกเหล็กปลอก (cover concrete) ลักษณะการให้รายละเอียดของของอและการเสริมเหล็กของตัวอย่างทดสอบแต่ละตัวแสดงไว้ในรูปที่ 3.5 ถึง 3.10 โดยที่ตัวอย่างทดสอบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก และตัวอย่างเสาคอนกรีตล้วน (plain concrete) มีขนาดหน้าตัด 250 x 250 ซม. สูง 90 ซม. ส่วนเหล็กเสริมตามยาวที่ใช้นั้น เป็นเหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. (DB16) เหล็กเสริมตามขวางที่ใช้นั้น เป็นเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. (RB6) ประกอบด้วยเหล็กปลอก (hoop ties) และเหล็กยึดตามขวาง ซึ่งมีการสลับปลายของของอ 90 องศา และ 135 องศาไปมาในแต่ละชั้นของเหล็กเสริมตามขวางตลอดแนวเสา ลักษณะการทำมุมของของอจะแตกต่างกันไปในแต่ละตัวอย่างทดสอบ แต่รัศมีภายในของของอทุกตำแหน่งมีค่าเท่ากับ 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามขวางที่ใช้ ส่วนความยาวของของอวัดจากปลายของอถึงส่วนที่ดัด (hook extension) มีค่าเท่ากับ 6 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามขวางแต่ไม่น้อยกว่า 75 มม. ตามมาตรฐาน ACI318-99 ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ส่วนเหล็กเสียบเพื่อวัดระยะการเปลี่ยนรูปตามแนวแกนของตัวอย่างทดสอบใช้เหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มม. (RB15) ขนาดของตัวอย่างทดสอบรวมทั้งความยาวเกจทั้งหมดแสดงไว้ในภาคผนวก ข-4

ในงานวิจัยนี้ ใช้ตัวอย่างทดสอบ 12 ตัวอย่าง ทำการเปรียบเทียบ 3 ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมของเสาตัวอย่างทดสอบ อันได้แก่ ผลของกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วัน อัตราส่วนโดยปริมาตรของเหล็กเสริมตามขวาง และลักษณะของเหล็กเสริมตามขวาง 2 รูปแบบ คือ เหล็กปลอกเดี่ยวของอ 90 และ 135 องศา ซึ่งรายละเอียดของตัวอย่างทดสอบแสดงในตารางที่ 3.1 โดยตัวอย่างทดสอบแต่ละตัวมีชื่อที่ใช้บอกถึงลักษณะที่จะนำมาใช้เปรียบเทียบ เช่น CA21-1-3 โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ตัวอักษรตัวแรก หมายถึงการให้น้ำหนักกระทำต่อหน้าตัดส่วนที่เป็นคอนกรีตเท่านั้น

2. ตัวอักษรถัดมาเป็นการแสดงลักษณะของอของเหล็กปลอก โดยที่ A หมายถึง เหล็กปลอกของอ 135 องศา ส่วน B หมายถึง เหล็กปลอกของอ 90 องศา
3. ตัวเลขสองตัวแรก หมายถึงกำลังอัดประลัยออกแบบของคอนกรีตรูปทรงกระบอก โดยที่ 21 คือ 21 MPa และ 45 คือ 45 MPa
4. ตัวเลขตัวถัดมาเป็นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่เหล็กเสริมตามยาว ต่อพื้นที่คอนกรีตทั้งหมด (ρ_g) ซึ่งมีค่าเดียว คือ 1 หมายถึง 2.01%
5. ตัวเลขตัวสุดท้ายแสดงอัตราส่วนระหว่างปริมาตรเหล็กเสริมตามขวาง ต่อปริมาตรแกนคอนกรีตวัดจากขอบนอกของเหล็กปลอก (ρ_h) โดยที่ตัวเลข 1 , 3 และ 5 หมายถึง 0.23% , 0.45% และ 0.91% ตามลำดับ

ตัวอย่างการเรียกชื่อตัวอย่างทดสอบ เช่น CA21-1-3 คือ ตัวอย่างทดสอบใช้เหล็กปลอกของอ 135 องศา มีกำลังคอนกรีตกำลังอัดประลัยออกแบบของคอนกรีตรูปทรงกระบอก 21 MPa มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่เหล็กเสริมตามยาวต่อพื้นที่คอนกรีตทั้งหมด 2.01% และอัตราส่วนระหว่างปริมาตรเหล็กเสริมตามขวางต่อปริมาตรแกนคอนกรีต วัดจากขอบนอกของเหล็กปลอก 0.45% เป็นต้น

3.3 วัสดุ

3.3.1 คอนกรีต

คอนกรีตที่ใช้สำหรับหล่อตัวอย่างทดสอบในงานวิจัยนี้เป็นคอนกรีตผสมเสร็จ ซึ่งแบ่งคอนกรีตเป็น 2 ชุด โดย คอนกรีตชุดที่ 1 มีค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่ใช้ในการออกแบบเท่ากับ 21 MPa ใช้มวลรวมขนาดใหญ่ที่สุดเท่ากับ 20 มม. โดยมีกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 27 MPa คอนกรีตชุดที่ 2 มีค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่ใช้ในการออกแบบเท่ากับ 45 MPa ใช้มวลรวมขนาดใหญ่ที่สุดเท่ากับ 20 มม. โดยมีกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 51 MPa

ในการหล่อตัวอย่างทดสอบแต่ละตัว จะทำการเก็บตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกอย่างน้อย 6 ตัวอย่าง ตารางที่ 3.2 แสดงค่ากำลังอัดประลัยเฉลี่ย (f'_c) ของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกแต่ละชุด และผลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกของตัวอย่างทดสอบแต่

ละตัวแสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ข-2 ในส่วนของส่วนผสมของคอนกรีตในแต่ละชุดแสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ข-1

3.3.2 เหล็กเสริม

เหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ เหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. (DB16) ใช้เป็นเหล็กเสริมตามยาว เหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. (RB6) ใช้เป็นเหล็กเสริมตามขวาง และ เหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มม. (RB15) ใช้เป็นเหล็กยึดจับเครื่องวัดการเคลื่อนที่ (LVDT) โดยที่ค่ากำลังรับแรงดึงที่จุดครากเฉลี่ยของเหล็กเสริมตามยาว (f_y) ค่ากำลังรับแรงดึงที่จุดครากเฉลี่ยของเหล็กเสริมตามขวาง (f_{yh}) และค่ากำลังรับแรงดึงประลัยเฉลี่ยของเหล็กเสริม (f_{su}) รวมทั้งค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยของเหล็กเสริม (E_s) ที่ได้จากการทดสอบ แสดงไว้ในตารางที่ 3.3

3.3.2.1 เหล็กเสริมตามยาว

เหล็กเสริมตามยาวที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. (DB16) มีกำลังที่จุดคราก (yield strength) ไม่น้อยกว่า 4000 กก./ซม.^{2} โดยงานวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการสุ่มตัวอย่างมาทดสอบหากำลังด้วยการดึงจำนวน 3 เส้น ผลการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 3.3

3.3.2.2 เหล็กเสริมตามขวาง

เหล็กเสริมตามยาวที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. (RB6) มีกำลังที่จุดคราก (yield strength) ไม่น้อยกว่า 2400 กก./ซม.^{2} โดยงานวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการสุ่มตัวอย่างมาทดสอบหากำลังด้วยการดึงจำนวน 3 เส้น ผลการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 3.3

ผลของการทดสอบตัวอย่างเหล็กเสริมทุกเส้นในแต่ละขนาด รวมทั้งกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของตัวอย่างเหล็กเสริมเฉลี่ยในแต่ละขนาด แสดงไว้ในภาคผนวก ข-3

3.4 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างทดสอบในงานวิจัยนี้ เริ่มจากการทำแบบหล่อตัวอย่าง โดยการตัดแผ่นไม้อัดหนา 2 มม. ให้ได้ขนาดตามต้องการ แล้วประกอบขึ้นมาเป็นกล่องหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส สูง 90 ซม. แล้วทาน้ำมันที่ผิวด้านในของแบบหล่อให้เรียบร้อย จากนั้นเตรียมแผ่นไม้รองพื้นที่เจาะรูตามตำแหน่งเหล็กเสริมตามยาว เพื่อใช้ในการวางตำแหน่งของเหล็กเสริมตามยาวที่ฐานของแบบ จากนั้นทำการตัดเหล็กเส้นเป็นท่อนๆ เพื่อนำมาใช้เป็นเหล็กเสริมตามยาวและเหล็กเสริมตามขวางตามความยาวที่ต้องการ และทำการเตรียมเหล็กเสริมตามขวางโดยการดัดเหล็กปลอกและเหล็กยึดตามขวาง ให้ได้ขนาดตามรูปแบบลักษณะการเสริมเหล็กที่เตรียมไว้

เมื่อได้เหล็กเสริมตามยาวและเหล็กเสริมตามขวางแล้ว จึงทำการติดเกจวัดความเครียด (strain gage) ที่ตำแหน่งเหล็กเสริมดังแสดงในรูปที่ 3.11 ซึ่งขั้นตอนในการติดเกจวัดความเครียดมีดังนี้

1. การเตรียมผิว กรณีที่เป็นเหล็กข้ออ้อยให้เจียรผิวด้วยหินเจียรให้เรียบ ณ ตำแหน่งที่เลือก
2. ใช้กระดาษทรายชนิดละเอียดขัดผิวของเหล็กให้เรียบ ปราศจากรอยขรุขระและสนิม
3. ทำความสะอาดบริเวณที่จะติดเกจวัดความเครียด โดยเช็ดด้วยเศษผ้าชุบอะซิโตน (acetone)
4. ใช้กาวกาวไซยาโนอะครีเลต (Cyano-Acrylate Adhesive) ชนิด CC-33A หยอดลงบนเกจวัดความเครียด
5. ติดเกจวัดความเครียด ซึ่งเกจวัดความเครียดที่ใช้เป็นชนิดไฟฟ้า KFG-5-120-C1-11L3M2R ที่มีความต้านทาน 120 ± 0.5 โอห์ม มีความยาวเกจ (gage length) 5 มม. เกจแฟคเตอร์ (gage factor) เท่ากับ 2.10 สายไฟยาว 3 ม.โดยใช้แถบพลาสติกวางทับเกจวัดความเครียด แล้วกดด้วยนิ้วค้างไว้ประมาณ 10 วินาที เพื่อรอให้กาวแห้ง โดยพยามไม่ให้สายไฟเปลือยเหนือแผ่นเกจวัดความเครียดโดนกาวจนติดยึดกับเหล็ก
6. พันทับเหล็กด้วยเทปพันสายไฟครึ่งรอบ ณ ตำแหน่งที่ใต้สายไฟเปลือยเหนือแผ่นเกจวัดความเครียด เพื่อรองสายไฟเปลือยไม่ให้สัมผัสกับผิวเหล็ก
7. พันทับสายไฟ สายไฟเปลือย และแผ่นเกจวัดความเครียดด้วย Vinyl Mastic Tape (VM Tape) 1 รอบเพื่อกันน้ำ

8. พันทับทั้งหมดด้วยเทปพันสายไฟประมาณ 10 รอบ เพื่อกันการถูกกระแทกระหว่างการเทคอนกรีต

เมื่อทำการติดเกจวัดความเครียดที่เหล็กเสริมเรียบร้อยแล้ว ทำการเคลือบแว็กซ์ที่เหล็กเสริมตามยาวเพื่อทำการลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมตามยาว ดังแสดงในรูปที่ 3.12 จากนั้นทำการผูกเหล็กเสริมตามขวางโดยการใช้เส้นเอ็นขนาด 0.8 มม. ผูกยึดที่มุมทั้งสี่ของเหล็กเสริมตามขวางเพื่อให้ได้ระยะเรียงตามที่กำหนดไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.13 แล้วนำโครงเหล็กที่ผูกเรียบร้อยแล้วใส่ลงในแบบหล่อที่มีแผ่นไม้เจาะรูรองไว้ที่ฐานของแบบหล่อ เสร็จแล้วจึงนำเหล็กเสริมตามยาวไปเสียบไว้ในแบบหล่อให้ตรงกับรูของแผ่นไม่ที่รองไว้ที่ฐานของแบบหล่อ และทำการสอดเหล็กยึดที่จับเครื่องวัดการเคลื่อนที่ออกมาทั้งสี่ด้านของแบบไม้ รูปที่ 3.14 แสดงการจัดเหล็กเสริมลงในแบบหล่อ

เมื่อจัดเหล็กเสริมลงในแบบหล่อเรียบร้อยแล้ว ทำการเดินสายไฟของเกจวัดความเครียดออกมาข้างนอกแบบหล่อที่ได้เจาะรูไว้แล้ว โดยการเดินสายตามเหล็กยืนจากบริเวณที่ติดเกจวัดความเครียดมาที่ตำแหน่งปลายของตัวอย่างทดสอบบริเวณที่ไม่ใช่บริเวณวิกฤต (critical region) แล้วจึงนำถุงพลาสติกมาห่อนสายไฟด้านนอกแบบหล่อไว้ เพื่อป้องกันไม่ให้โดนคอนกรีตในขณะเทคอนกรีต

ทำการค้ำยันแบบหล่อด้วยไม้ท่อนยาว 75 ซม. ทั้งสี่ด้านของแบบหล่อ และทำการตรวจสอบความดิ่งของแบบหล่อด้วย รูปที่ 3.15 แสดงแบบหล่อตัวอย่างเสาที่ตั้งแล้ว จากนั้นทำการเทคอนกรีตลงในแบบหล่อด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากได้ทำการติดเกจวัดความเครียดไว้บนผิวของเหล็กเสริมและในระหว่างการเทคอนกรีต จะทำการจี้คอนกรีตด้วยเครื่องจี้ในแบบหล่อเพื่อให้คอนกรีตมีเนื้อแน่น ปราศจากโพรง และเมื่อเทคอนกรีตจนได้ระดับที่ต้องการแล้วจึงใช้เกรียงปาดหน้าให้เรียบ และทำการเก็บตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกตัวอย่างทดสอบละ 6 ตัวอย่าง และหลังจากเทคอนกรีตประมาณ 90 นาที นำคอนกรีตชนิดไม่หดตัวมาทำการมาหล่อฝาทับหัวตัวอย่างทดสอบเพื่อให้ได้ระดับ และทำการระบุชื่อตัวอย่างทดสอบรวมทั้งทิศทางของตัวอย่างทดสอบด้วยเพื่อเป็นการกำหนดตำแหน่งของเกจวัดความเครียด เสร็จแล้วทำการบ่มตัวอย่างทดสอบด้วยกระสอบเปียก เป็นเวลา 28 วัน

3.5 การเตรียมการทดสอบ

3.5.1 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบ

ทำการยกตัวอย่างทดสอบขึ้นไปวางบนเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine, UTM) ตามทิศทางของตัวอย่างทดสอบที่กำหนดไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.15 โดยจะทำการวางตัวอย่างทดสอบไว้บนแผ่นเหล็กที่ได้เจาะรูไว้ที่ตำแหน่งเหล็กยึน ในกรณีที่ต้องการให้แรงกระทำต่อหน้าตัดเฉพาะส่วนที่เป็นคอนกรีตเท่านั้น

3.5.2 การติดตั้งเครื่องวัดการเคลื่อนที่ (Linear Variable Differential Transformer, LVDT)

เครื่องวัดการเคลื่อนที่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ใช้แรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ จากแหล่งจ่าย (supply voltage) แบบปรับค่าได้จ่ายให้กับเครื่องวัดการเคลื่อนที่ ซึ่งจะต้องทำการทดสอบเทียบหาความสัมพันธ์ ระหว่างค่าการเคลื่อนที่กับค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ก่อนนำมาติดตั้ง โดยที่ค่าการทดสอบเทียบเครื่องวัดการเคลื่อนที่แสดงไว้ในภาคผนวก ค-1 ในการทดสอบนี้จะทำการวัดระยะการหดตัวของตัวอย่างทดสอบ โดยทำการวัดทั้งสี่ด้านตรงข้ามของตัวอย่างแล้วนำมาคำนวณหาค่าความเครียดในแต่ละด้าน แล้วนำมาเฉลี่ยเพื่อหาค่าความเครียดเฉลี่ยของตัวอย่างทดสอบ ซึ่งการติดตั้งเครื่องวัดการเคลื่อนที่มีขั้นตอนดังนี้

1. ติดตั้งตัวจับยึดเหล็กยึดเครื่องวัดการเคลื่อนที่ทั้งสี่ด้านของตัวอย่างทดสอบ ซึ่งมีความยาวเกจ 60 ซม.
2. นำแท่นแม่เหล็กยึดจับเครื่องวัดการเคลื่อนที่มาติดไว้ที่ตัวยึดจับด้านบน แล้วปล่อยเข็มเครื่องวัดการเคลื่อนที่ลงไปที่ตัวยึดจับด้านล่างตามทิศทางที่กำหนดไว้ รูปที่ 3.16 แสดงตำแหน่งของการติดตั้งเครื่องวัดการเคลื่อนที่

3.5.3 หน่วยรวบรวมข้อมูล

เมื่อทำการติดตั้งตัวอย่างทดสอบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบต่างๆ เรียบร้อยแล้ว จึงทำการต่อสายไฟจากเกจวัดความเครียด สายไฟจากเครื่องวัดการเคลื่อนที่ และสายไฟจากเครื่องทดสอบอเนกประสงค์เข้ากับหน่วยรวบรวมข้อมูล (Data Acquisition Unit) ที่ประกอบด้วย Data

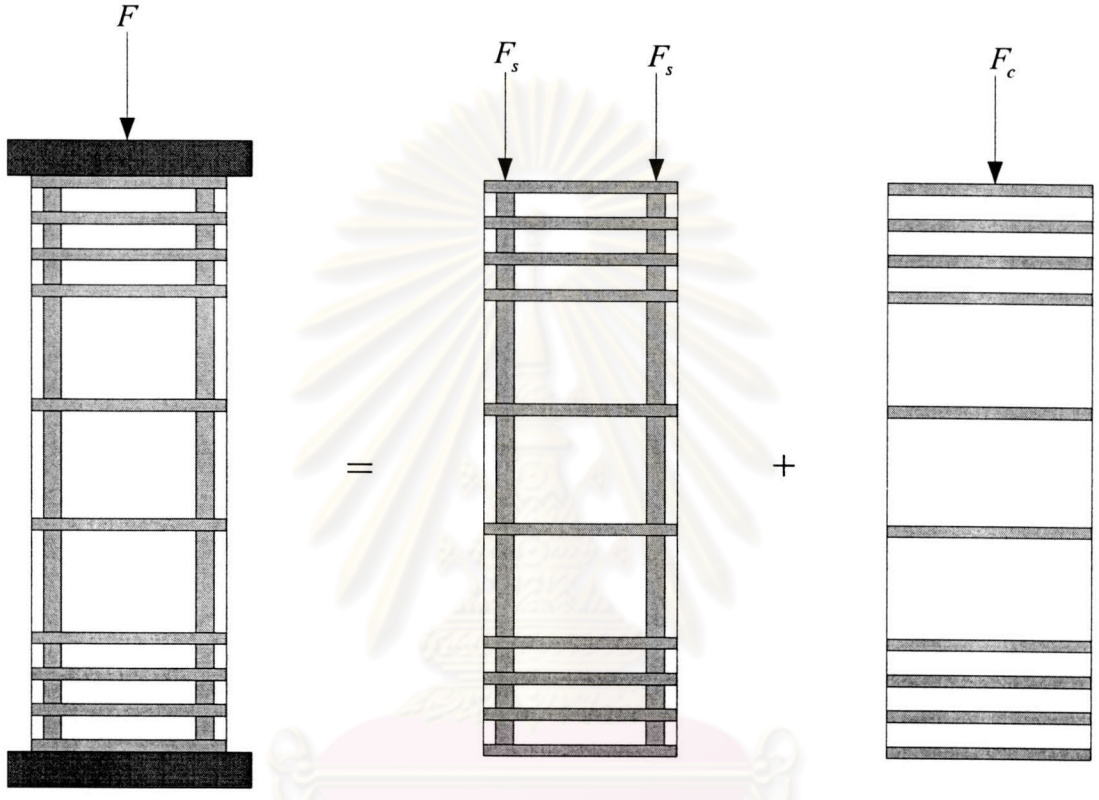
Logger (YOKOGAWA DC100-22-21-1F และ YOKOGAWA DS600-00-1F) และเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลทั้งหมดที่ได้ระหว่างการทดสอบ อันได้แก่ สัญญาณจากเกจวัดความเครียด สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องวัดการเคลื่อนที่ และสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ จะถูกส่งมาเก็บที่ data logger ซึ่งถูกควบคุมโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และแสดงค่าออกมาให้เห็นในระหว่างการทดสอบ โดยที่ data logger จะเก็บข้อมูลทุกๆ 2 วินาที ตลอดการทดสอบ

3.6 ขั้นตอนการทดสอบ

ในการทดสอบ จะทำการตั้งระบบการทำงานของเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ให้ทำการให้แรงอัดกระทำตามแนวแกนกับตัวอย่างทดสอบ โดยวิธีการควบคุมการเคลื่อนที่ (displacement control) ด้วยอัตราเร็ว 1 มม./นาที จนกระทั่งตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ ซึ่งจะใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 40 นาที โดยที่ระหว่างการทดสอบจะทำการเก็บข้อมูลจากเครื่องทดสอบ คือ แรงกระทำ กับการเคลื่อนที่ของหัวกด รวมทั้งจากเครื่องวัดการเคลื่อนที่และเกจวัดความเครียดเข้ากับช่องสัญญาณดังแสดงในตาราง 3.4 อีกทั้งมีผู้ทำการบันทึกลักษณะความเสียหายของตัวอย่างทดสอบในระหว่างการทดสอบที่ทุกด้านของตัวอย่างทดสอบด้วย รูปที่ 3.17 แสดงตัวอย่างทดสอบที่ติดตั้งอุปกรณ์เรียบร้อยแล้วก่อนการทดสอบ

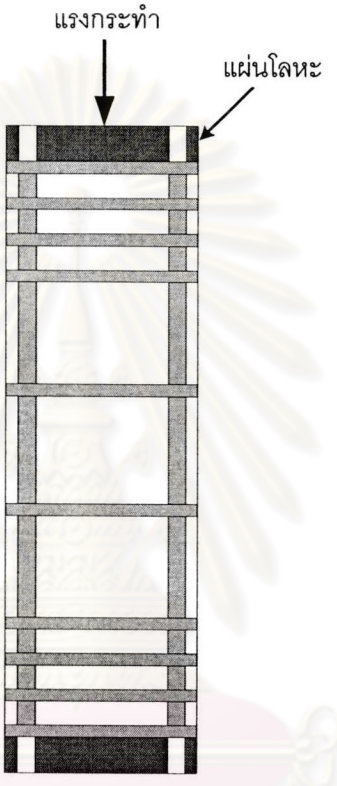
ผลการสอบเทียบ (calibration) โหลดเซลล์ (load cell) และการเคลื่อนที่ของเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ แสดงในภาคผนวก ค-2 ถึง ค-4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



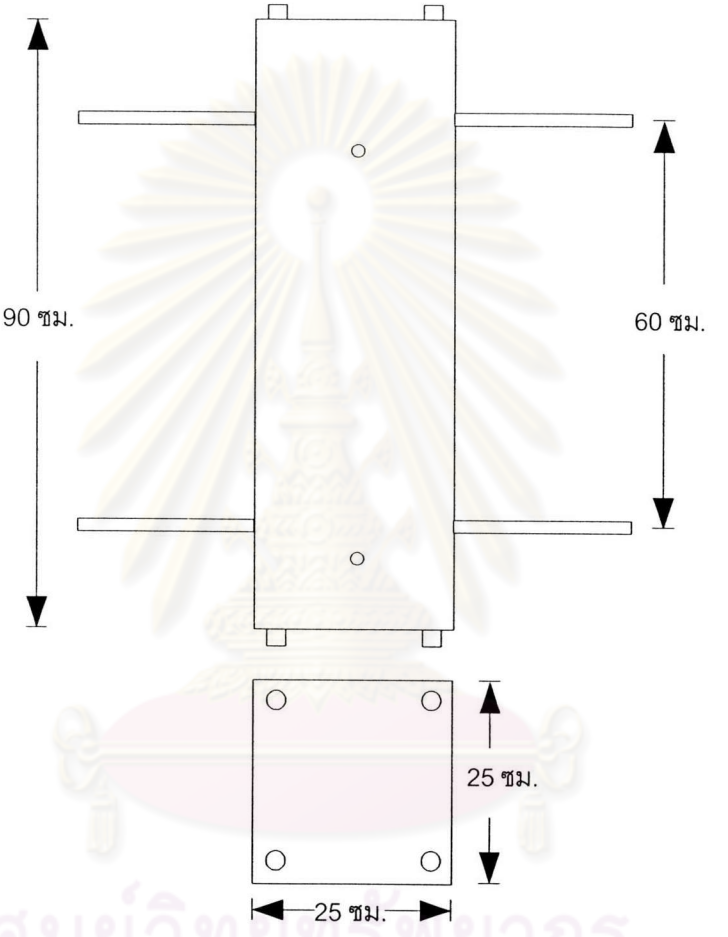
รูปที่ 3.1 แรงกดทั้งหมดคือการรวมผลของแรงปฏิกิริยาในเหล็กเสริมตามยาวกับแรงปฏิกิริยาในคอนกรีต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



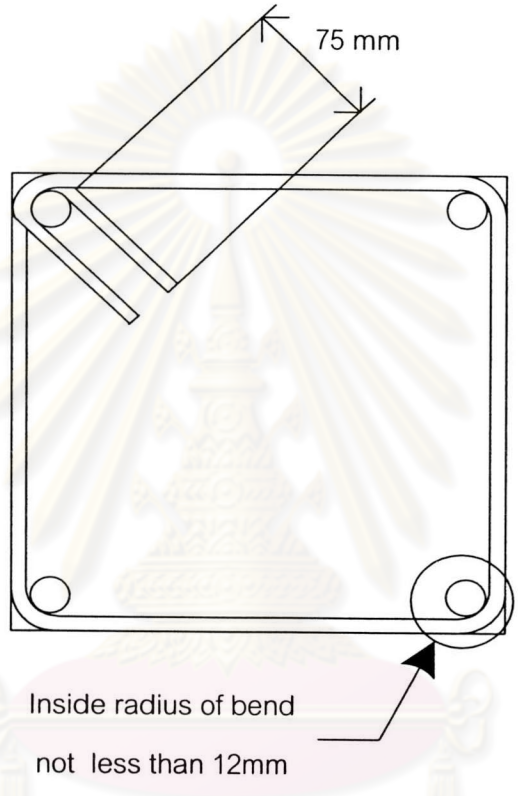
รูปที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของตัวอย่างทดสอบโดยการการให้แรงกระทำบนส่วนที่เป็นคอนกรีต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



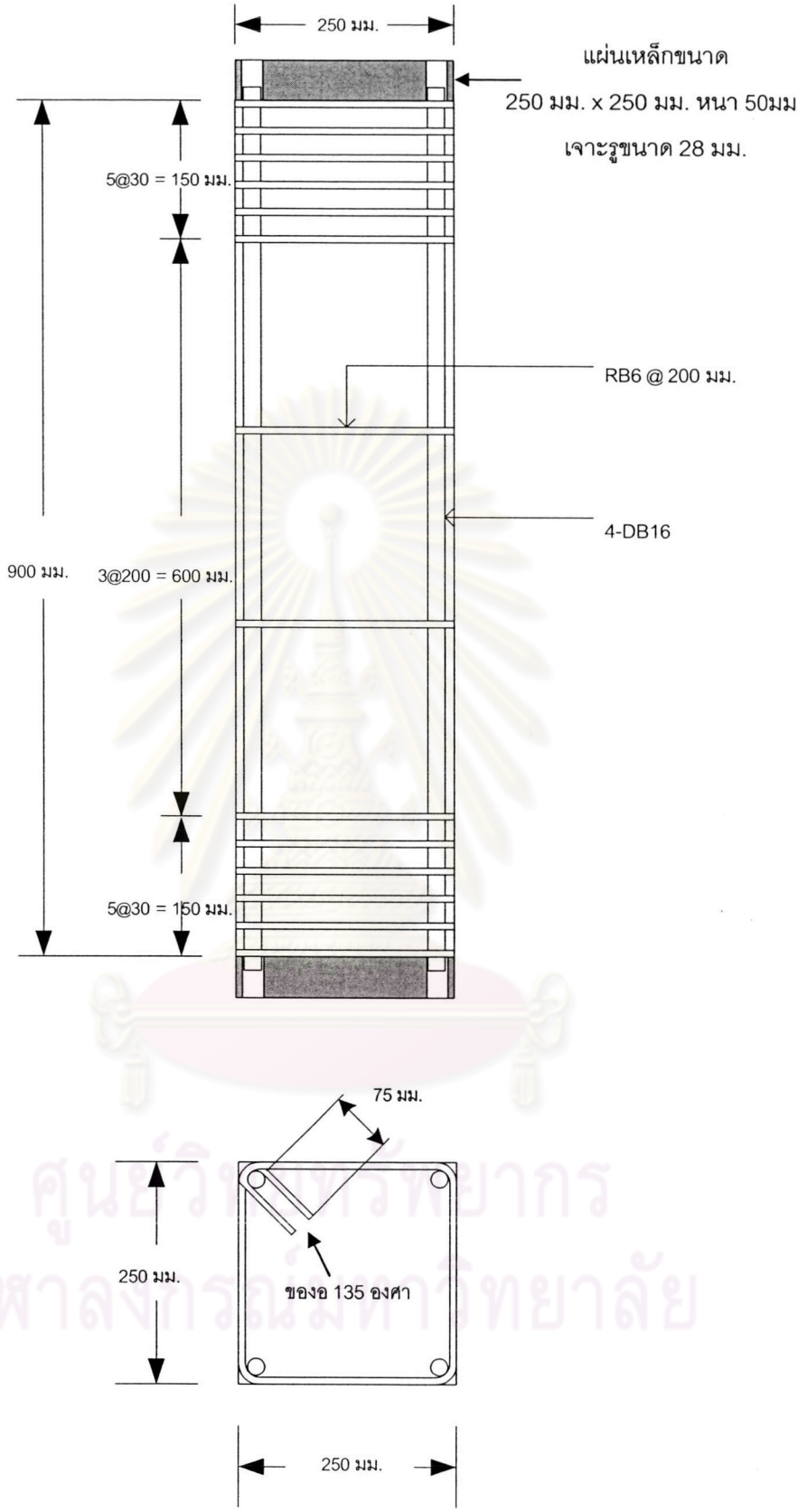
รูปที่ 3.3 แสดงขนาดของตัวอย่างทดสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



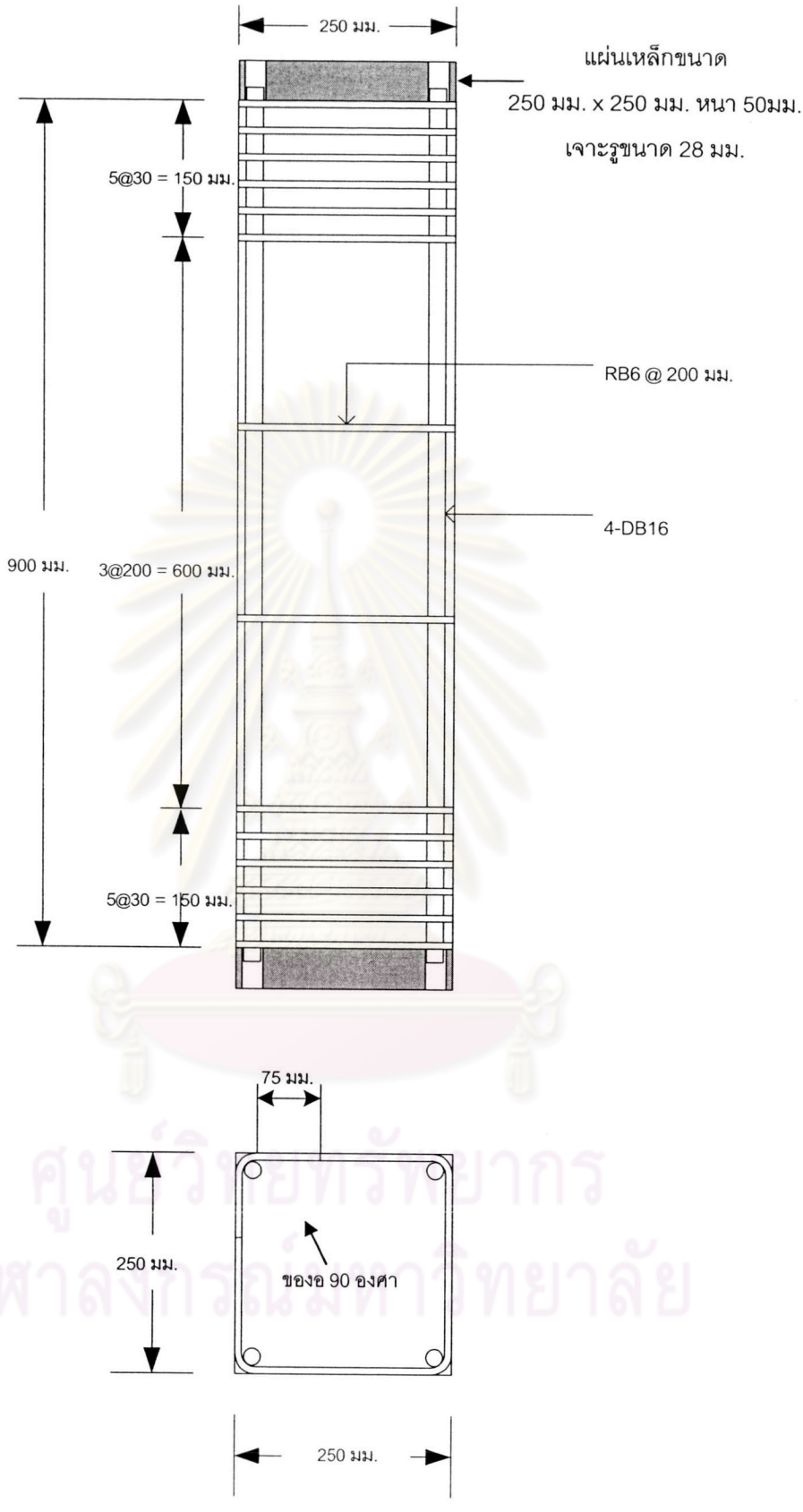
รูปที่ 3.4 แสดงขนาดรัศมีภายในและระยะของของอ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



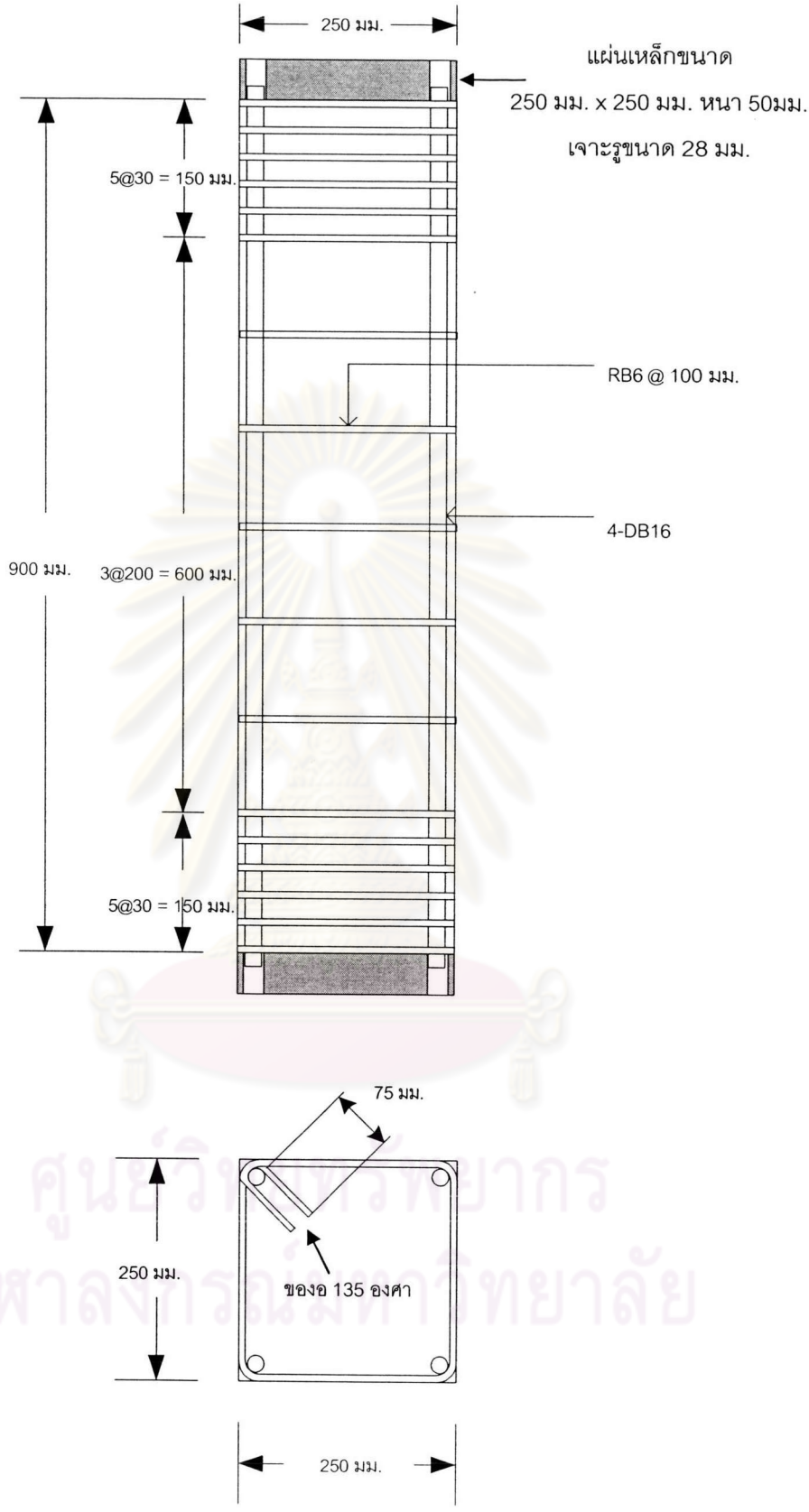
รูปที่ 3.5 รายละเอียดของเหล็กเสริมตามยาวและเหล็กเสริมตามขวางของตัวอย่างทดสอบ CA21-1-1 และ CA45-1-1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



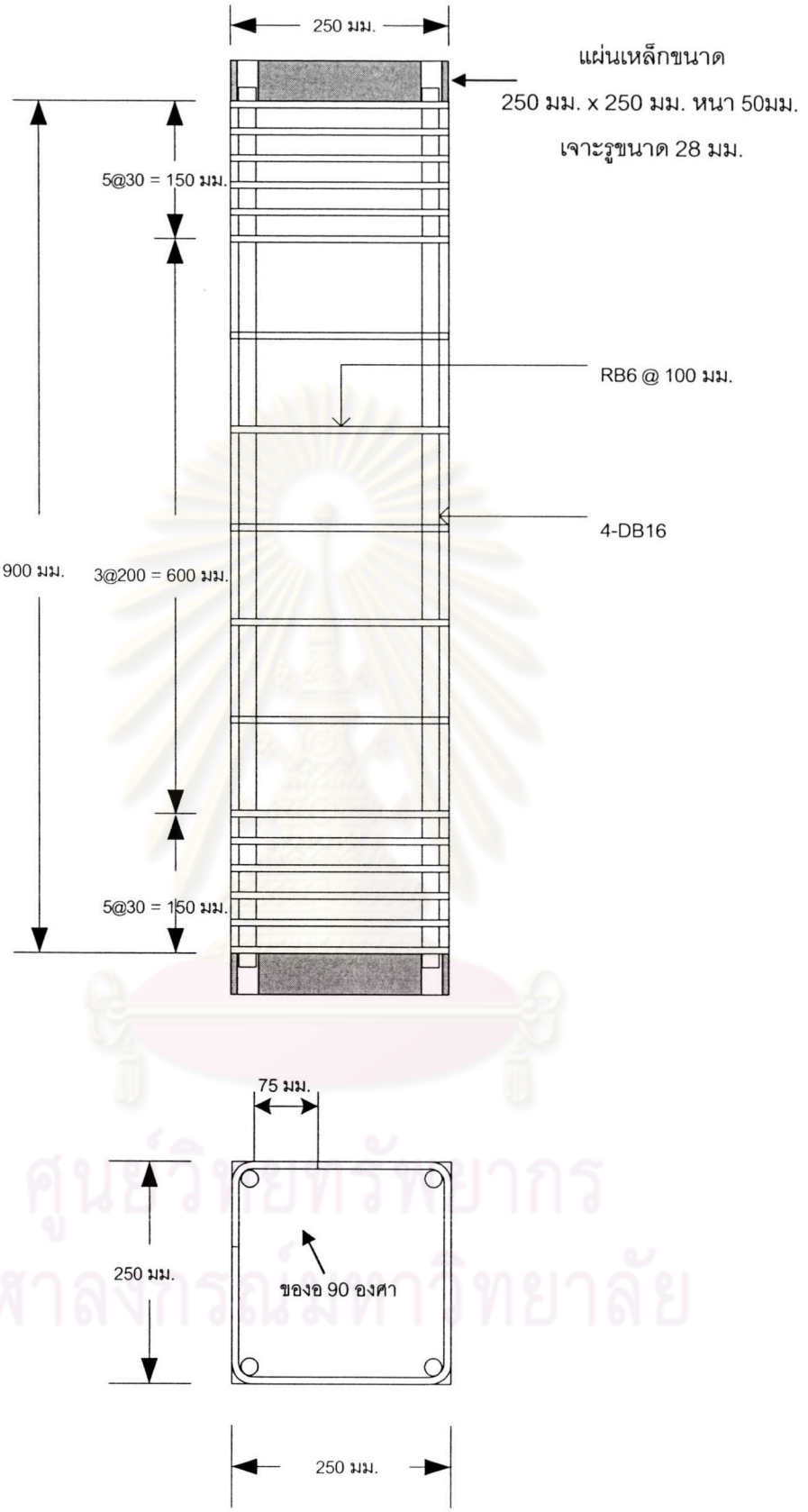
รูปที่ 3.6 รายละเอียดของเหล็กเสริมตามยาวและเหล็กเสริมตามขวางของตัวอย่างทดสอบ CB21-1-1 และ CB45-1-1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



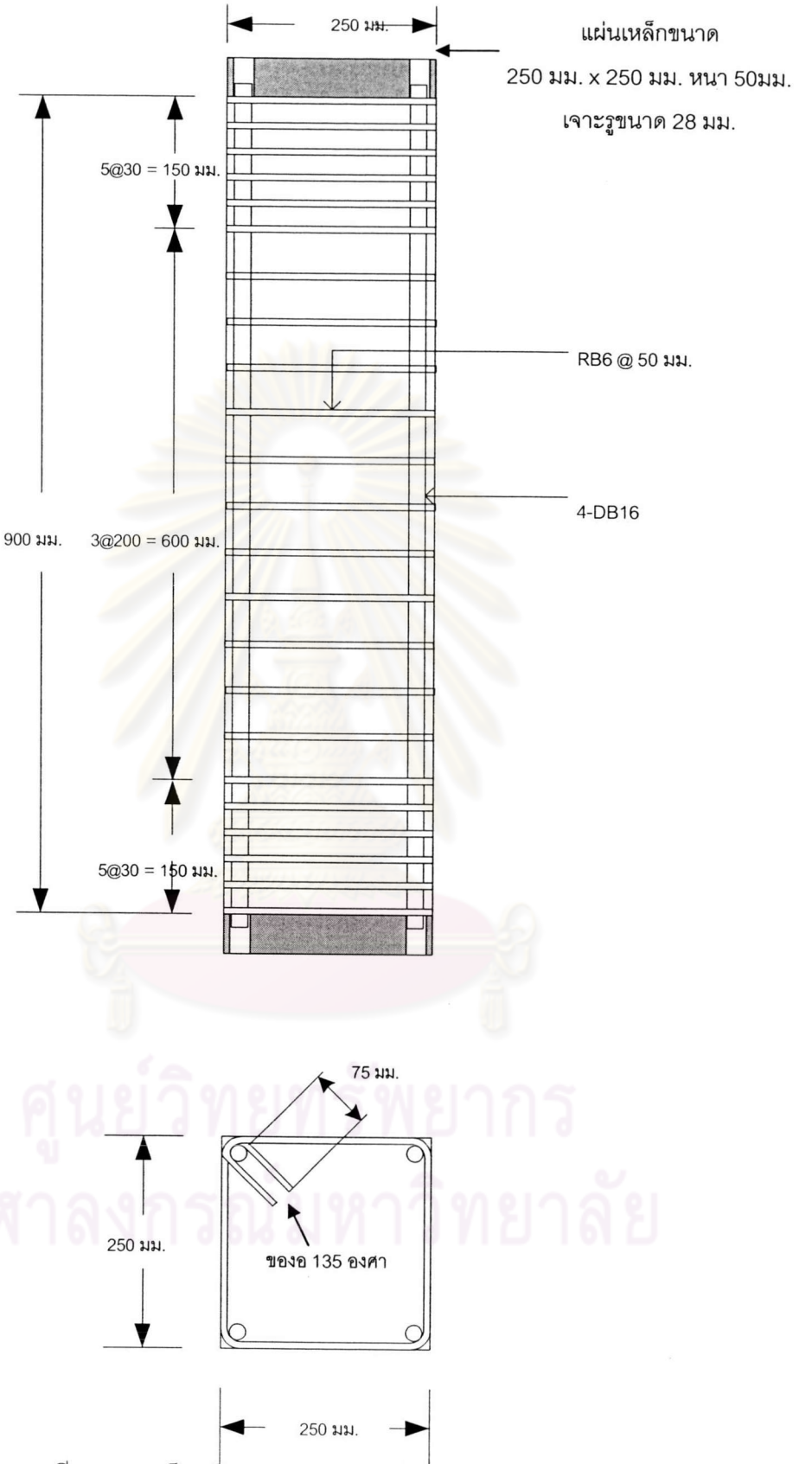
รูปที่ 3.7 รายละเอียดของเหล็กเสริมตามยาวและเหล็กเสริมตามขวางของตัวอย่างทดสอบ CA21-1-3 และ CA45-1-3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



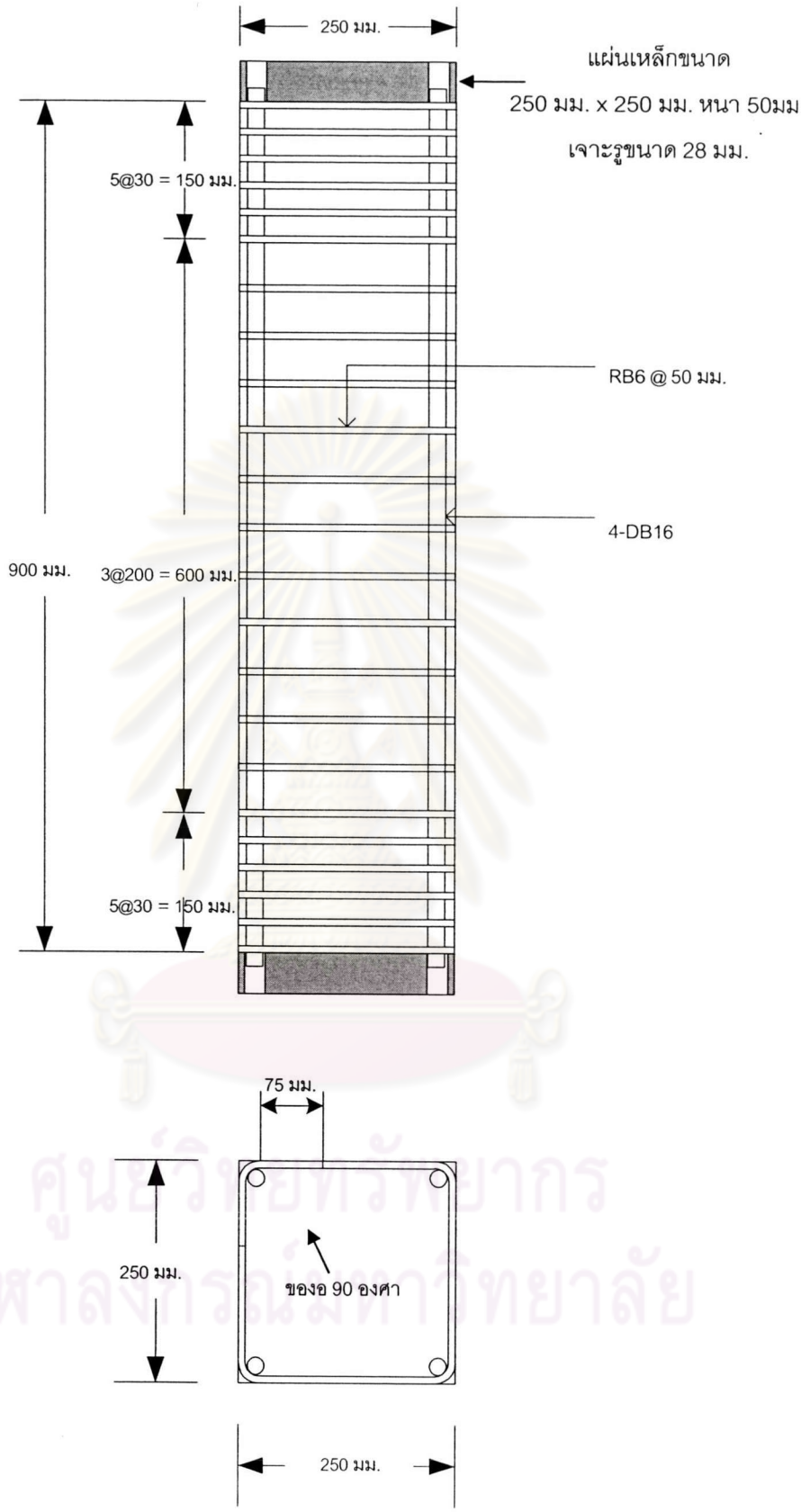
รูปที่ 3.8 รายละเอียดของเหล็กเสริมตามยาวและเหล็กเสริมตามขวางของตัวอย่างทดสอบ CB21-1-3 และ CB45-1-3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



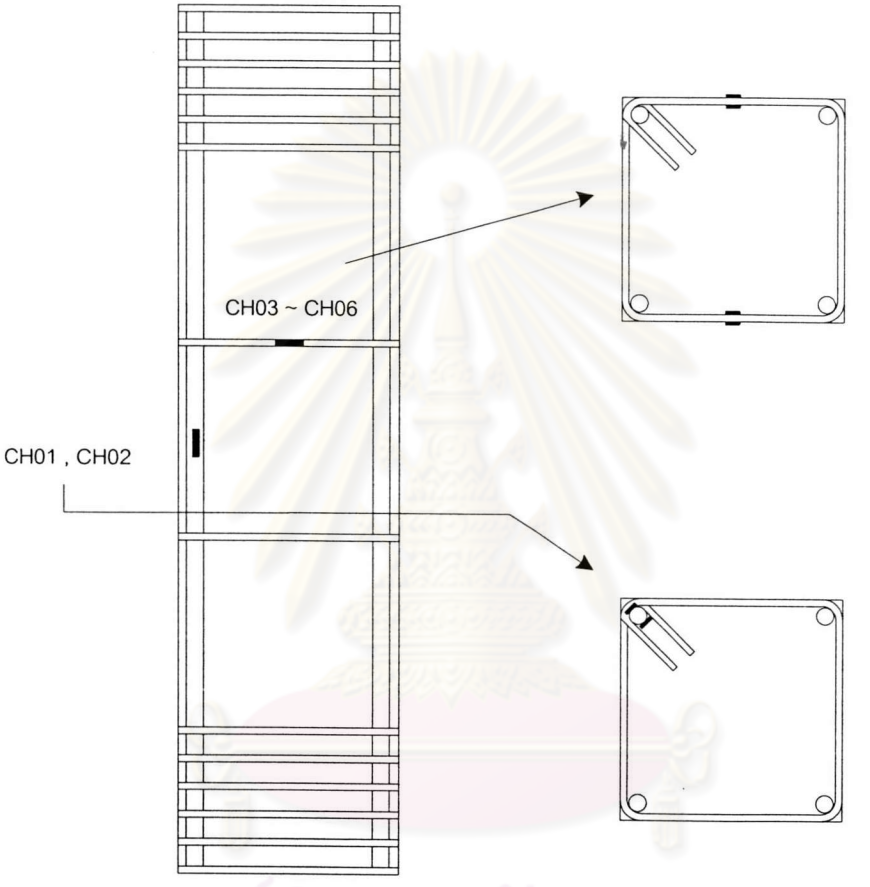
รูปที่ 3.9 รายละเอียดของเหล็กเสริมตามยาวและเหล็กเสริมตามขวางของตัวอย่างทดสอบ CA21-1-5 และ CA45-1-5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.10 รายละเอียดของเหล็กเสริมตามยาวและเหล็กเสริมตามขวางของตัวอย่างทดสอบ CB21-1-5 และ CB45-1-5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

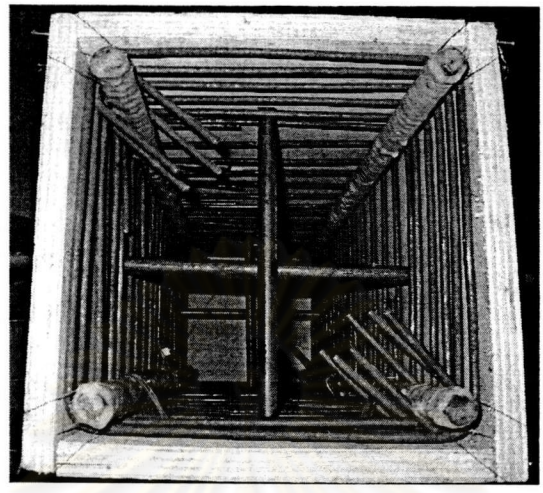


รูปที่ 3.11 แสดงตำแหน่งของเกจวัดความเครียดบนเหล็กเสริม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

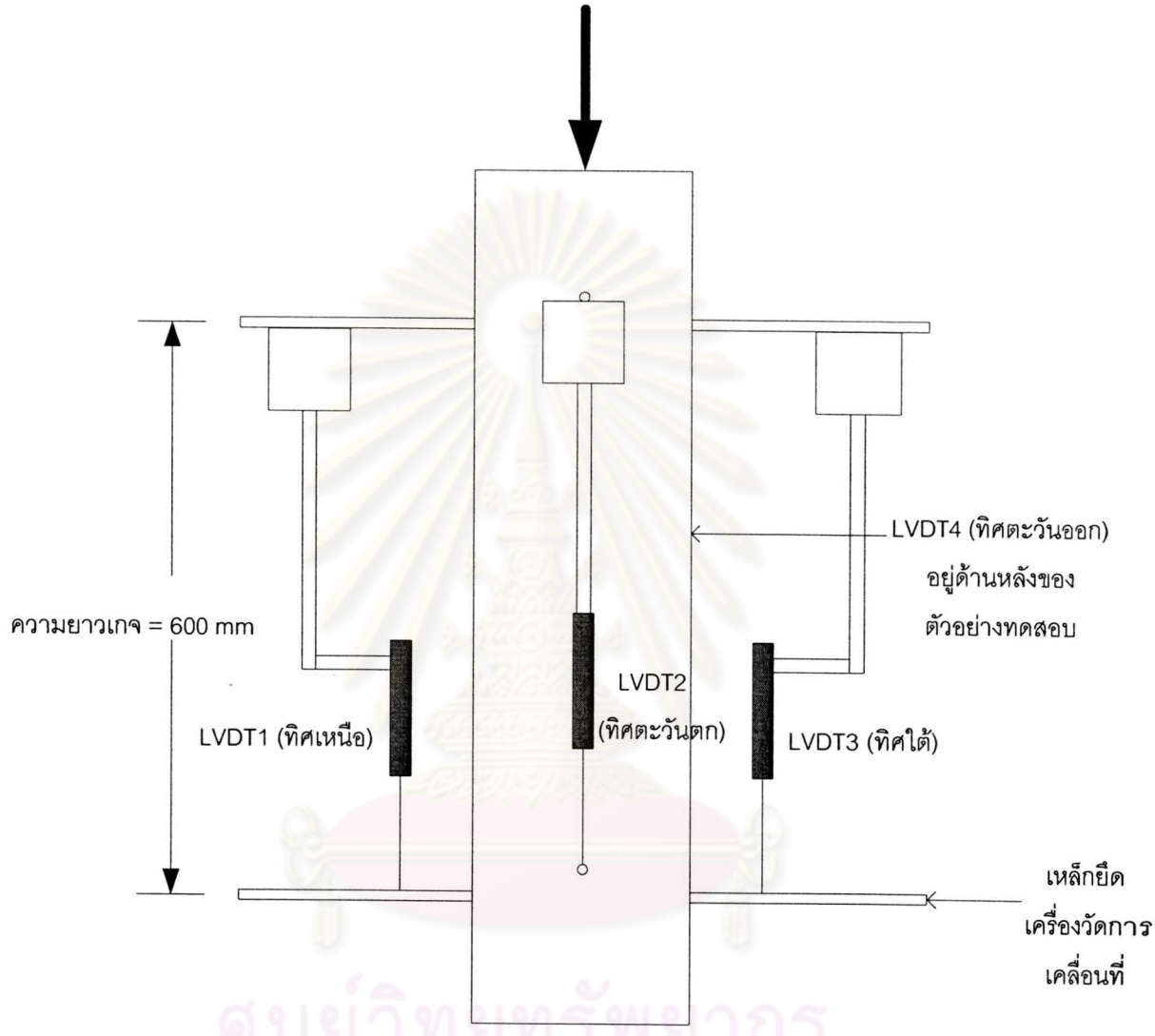
รูปที่ 3.12 รูปแสดงเหล็กเสริมตามยาวและเหล็กเสริมตามขวาง

รูปที่ 3.13 ผูกเหล็กเสริมตามขวางด้วยเส้นเอ็นขนาด 0.8 มม.



รูปที่ 3.14 การจัดเหล็กเสริมลงในแบบหล่อ

รูปที่ 3.15 การตั้งแบบหล่อตัวอย่างทดสอบ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.16 แสดงตำแหน่งของการติดตั้งเครื่องวัดการเคลื่อนที่

รูปที่ 3.17 ตัวอย่างทดสอบก่อนการทดสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบ	ลักษณะของเหล็กปลอก	เหล็กเสริมตามขวาง				เหล็กเสริมตามยาว			กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (f'_c) (MPa)
		ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	ระยะเรียง (มม.)	ρ_h (%)	f_{yh} (MPa)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	ρ_g (%)	f_y (MPa)	
CA21-1-5	A	6	50	0.91	374	4-DB16	1.29	502	21
CA21-1-3	A	6	100	0.45	374	4-DB16	1.29	502	21
CA21-1-1	A	6	200	0.23	374	4-DB16	1.29	502	21
CB21-1-5	B	6	50	0.91	374	4-DB16	1.29	502	21
CB21-1-3	B	6	100	0.45	374	4-DB16	1.29	502	21
CB21-1-1	B	6	200	0.23	374	4-DB16	1.29	502	21
CA45-1-5	A	6	50	0.91	374	4-DB16	1.29	502	45
CA45-1-3	A	6	100	0.45	374	4-DB16	1.29	502	45
CA45-1-1	A	6	200	0.23	374	4-DB16	1.29	502	45
CB45-1-5	B	6	50	0.91	374	4-DB16	1.29	502	45
CB45-1-3	B	6	100	0.45	374	4-DB16	1.29	502	45
CB45-1-1	B	6	200	0.23	374	4-DB16	1.29	502	45

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของตัวอย่างทดสอบ (ต่อ)

ตัวอย่างทดสอบ	ลักษณะของเหล็กปลอก	เหล็กเสริมตามขวาง				เหล็กเสริมตามยาว			กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (f'_c) (MPa)
		ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	ระยะเรียง (มม.)	ρ_h (%)	f_{yh} (MPa)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	ρ_g (%)	f_y (MPa)	
P21/1	Plain	-	-	-	-	-	-	-	21
P21/2	Plain	-	-	-	-	-	-	-	21
P45/1	Plain	-	-	-	-	-	-	-	45
P45/2	Plain	-	-	-	-	-	-	-	45

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ชุดตัวอย่าง	ค่าการยุบตัว (cm)	อายุ (วัน)	กำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอก f'_c (MPa)
ชุดที่ 1	12	14	25
ชุดที่ 1	12	28	27
ชุดที่ 2	19	14	46
ชุดที่ 2	19	28	51

ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่างเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ตัวอย่างเหล็กเสริม	f_y, f_{yh} (MPa)	f_{su} (MPa)	E_s (MPa)
DB16	502	587	202577
RB6	374	492	202413

ตารางที่ 3.4 แสดงข้อมูลที่ได้รับการบันทึกระหว่างการทดสอบ

รายการ	ช่องสัญญาณ
แรงกระทำ	141
การเคลื่อนที่ของหัวกด	142
เครื่องวัดการเคลื่อนที่ทิศตะวันออก	143
เครื่องวัดการเคลื่อนที่ทิศเหนือ	144
เครื่องวัดการเคลื่อนที่ทิศตะวันตก	145
เครื่องวัดการเคลื่อนที่ทิศใต้	146
เกจวัดความเครียดที่ตำแหน่ง LI-NW	101
เกจวัดความเครียดที่ตำแหน่ง LO-NW	102
เกจวัดความเครียดที่ตำแหน่ง HI-N	103
เกจวัดความเครียดที่ตำแหน่ง HO-N	104
เกจวัดความเครียดที่ตำแหน่ง HI-S	105
เกจวัดความเครียดที่ตำแหน่ง HO-S	106