

การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ในบทนี้ จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับการประมวลผลมาจากเนื้อหาในบทที่ผ่านมา เพื่อทำการและพิจารณาและเปรียบเทียบผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด คือ ปริมาณเหล็กเสริมตามขวาง กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต รูปแบบของเหล็กเสริมตามขวาง

5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดในเหล็กเสริมตามขวางกับพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด

รูปที่ 5.1 แสดงความเค้นของตัวอย่างทดสอบและความเครียดในเหล็กเสริม สำหรับตัวอย่างทดสอบ CB21-1-5 และรูปที่ 5.2 เป็นกราฟเดียวกันแต่แสดงกราฟในช่วงความเครียดตั้งแต่ 0 ถึง 0.012 พบว่า ณ จุดที่ตัวอย่างทดสอบรับแรงกระทำถึงค่าสูงสุด ค่าความเครียดในเหล็กปลอกยังไม่ถึงจุดคราก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $615 \mu\epsilon$ ซึ่งคิดเป็น 32% ของค่าความเครียดที่จุดครากของเหล็กปลอก หลังจากนั้นเมื่อกำลังรับน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบลดลง และเกิดความเสียหายของตัวอย่างทดสอบมากขึ้นเรื่อยๆ ทั้งในคอนกรีตและเหล็กปลอก ค่าความเครียดในแกน HO-N และ HI-N เพิ่มขึ้นจนถึงจุดครากที่ความเครียดตามแนวแกนของตัวอย่างทดสอบเท่ากับ 0.0105 และ 0.0267 ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างทดสอบ CB21-1-1 ในรูปที่ 5.3 และ 5.4 ที่จุดที่มีความเค้นสูงสุด ความเครียดในเหล็กปลอกมีค่าเฉลี่ย $1210 \mu\epsilon$ คิดเป็น 63% ของค่าความเครียดที่จุดคราก ซึ่งเมื่อสังเกตค่าความเครียดในเหล็กปลอกตลอดการทดสอบ พบว่า มีค่าไม่เกินความเครียดที่จุดคราก นั่นคือเหล็กปลอกไม่เกิดการคราก

จากการพิจารณาความเครียดในเหล็กปลอกที่ได้จากแกนวัดความเครียดพบว่า เมื่อตัวอย่างทดสอบรับแรงกระทำถึงค่าสูงสุด เหล็กปลอกยังไม่เกิดการคราก เมื่อคำนวณหาความเค้นในเหล็กปลอกพบว่า เกิดความเค้นเฉลี่ย 25% ของความเค้นครากของเหล็กปลอก แต่หลังจากที่ตัวอย่างทดสอบรับแรงกระทำเลยค่าสูงสุดแล้ว กำลังรับน้ำหนักเริ่มลดลง และเกิดการขยายออกทางด้านข้างของแกนคอนกรีตมากขึ้น ทำให้เกิดแรงในเหล็กปลอกมากขึ้นด้วย ซึ่งคอนกรีตที่มีการโอบรัดที่ดี หรือมีอัตราส่วนโดยปริมาตรของเหล็กปลอกมาก จะมีประสิทธิภาพในการโอบรัดของเหล็กปลอกที่ดี สังเกตได้จากการที่เกิดแรงในเหล็กปลอกมาก ส่วนคอนกรีตที่มีอัตราส่วนโดย

ปริมาตรของเหล็กปลอกน้อยจะมีการโอบรัดโดยเหล็กปลอกที่ไม่ดี เนื่องจากความเสียหายส่วนมากจะเกิดขึ้นในแกนคอนกรีตที่อยู่ระหว่างชั้นของเหล็กปลอก

5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชันของกราฟความเค้นและความเครียดกับ ความเครียดในเหล็กปลอก

ความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ของตัวอย่างทดสอบสามารถบ่งบอกถึงอัตราการเพิ่มหรือการลดลงของกำลังรับน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบนั้นได้ ซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงอัตราการลดลงของกำลังรับน้ำหนักที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของเหล็กปลอกที่วัดได้จากเกจวัดความเครียด ดังนี้

ความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ที่ได้จากกราฟความเค้นและความเครียดกับค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กปลอก สำหรับตัวอย่างทดสอบ CB21-1-5 แสดงในรูปที่ 5.5 ซึ่งพบว่าเมื่อตัวอย่างทดสอบมีการลดลงของกำลังรับแรงอย่างทันทีทันใด หรือค่าความชันของกราฟความเค้นกับความเครียดมีค่าลบมากๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.5(ข) เช่น ในช่วง A-B มีค่าความชันของกราฟตั้งแต่ -0.1 ถึง -0.17 เหล็กปลอกจะเกิดการเสียรูปอย่างทันทีทันใด ซึ่งพิจารณาได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความเครียดในเหล็กปลอกที่วัดได้จากเกจวัดความเครียด HI-S กับ HO-S ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยเกจ HI-S มีค่าลดลงจาก 850 ถึง 350 และเกจ HO-S มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1070 ถึง 1350 ในช่วงของค่าความเครียดตามแนวแกนตั้งแต่ 0.0030 ถึง 0.0038 ดังแสดงในรูปที่ 5.5(ค) และในทางกลับกัน เมื่อพิจารณาในช่วง C-D เป็นสถานะที่ตัวอย่างทดสอบคงความสามารถในการรับแรงได้ในช่วงเวลาหนึ่ง คือ มีค่าความชันของกราฟความเค้นและความเครียดประมาณ 0.03 ในช่วงการเปลี่ยนแปลงความเครียดตามแนวแกนตั้งแต่ 0.0046 ถึง 0.0088 โดยที่ค่าความเครียดในเหล็กปลอกจะมีค่าค่อนข้างคงที่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อย

จากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง ความชันของกราฟความเค้นและความเครียดกับค่าความเครียดในเหล็กปลอก สามารถอธิบายในเชิงพฤติกรรมได้ว่า เมื่อตัวอย่างทดสอบรับแรงกระทำตามแนวแกน จะเกิดการเปลี่ยนรูปตามแนวแกนขึ้น ส่งผลให้เกิดการขยายตัวออกทางด้านข้างของแกนคอนกรีต ทำให้คอนกรีตไปดันเหล็กปลอกให้โก่งออก ซึ่งเมื่อใดที่เหล็กปลอกเกิดการเสียรูปหรือโก่งออกอย่างทันทีทันใด จะส่งผลให้กำลังในการรับแรงของตัวอย่างทดสอบลดลงด้วย

แต่เมื่อใดที่เหล็กปลอกสามารถต้านทานการขยายตัวออกทางด้านข้างของแกนคอนกรีตได้ นั้นหมายความว่าตัวอย่างทดสอบจะคงสามารถในการรับแรงได้โดยกำลังไม่ตกลงมากนัก

5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและแรงตามแนวแกนในเหล็กปลอกกับพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด

จากค่าความเครียดที่ได้จากเกจวัดความเครียด 2 ตัวที่ติดไว้ที่ด้านในและด้านนอกของเหล็กปลอก สามารถนำมาคำนวณหาโมเมนต์ดัดและแรงตามแนวแกนได้ ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.5 โดยรูปที่ 5.7 และ 5.8 แสดงกราฟความเค้นตามแนวแกน โมเมนต์ดัดและแรงตามแนวแกนในเหล็กปลอกของตัวอย่างทดสอบ CB45-1-5 และ CB21-1-3 ตามลำดับ โดยที่ค่าโมเมนต์บวกลบหมายถึงเหล็กปลอกมีการโก่งตัวออก โมเมนต์ลบหมายถึงเหล็กปลอกมีการโก่งตัวเข้า และค่าแรงตามแนวแกนเป็นบวกลบหมายถึงการดึง (tension) เป็นลบหมายถึงการกดอัด (compression) ดังแสดงในรูปที่ 5.6 โดยมีค่าโมเมนต์ดัดคราก (ไม่คิดแรงตามแนวแกน) เท่ากับ 0.008 kN-m และแรงตามแนวแกนคราก (ไม่คิดโมเมนต์ดัด) เท่ากับ 10.57 kN

ตัวอย่างทดสอบ CB45-1-5 ในรูปที่ 5.7 พบว่า ณ ตำแหน่งที่ตัวอย่างทดสอบรับแรงถึงค่าสูงสุด พบว่า มีโมเมนต์ดัดเพียง 6% ของค่าโมเมนต์ดัดคราก และแรงตามแนวแกนในเหล็กปลอกมีค่า 59% ของแรงตามแนวแกนคราก และหลังจากตำแหน่งแรงกระทำสูงสุด แรงตามแนวแกนมีค่าลดลงจนคงที่ที่ประมาณ 40% ของแรงตามแนวแกนคราก ในขณะเดียวกัน โมเมนต์ดัดในเหล็กปลอกมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงค่าโมเมนต์ดัดครากที่ค่าความเครียดตามแนวแกน เท่ากับ 0.0065

ตัวอย่างทดสอบ CB21-1-3 ในรูปที่ 5.8 พบว่า ณ ตำแหน่งที่ตัวอย่างทดสอบรับแรงถึงค่าสูงสุด พบว่า มีโมเมนต์ดัดเพียง 4% ของค่าโมเมนต์ดัดคราก และเกิดแรงตามแนวแกนมีค่า 24% ของแรงตามแนวแกนคราก และหลังจากนั้นค่าแรงตามแนวแกนยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงค่าความเครียดตามแนวแกน ประมาณ 0.003 แรงตามแนวแกนจึงมีค่าลดลง และโมเมนต์ดัดในเหล็กปลอกมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าโมเมนต์ไม่ถึงจุดคราก ทั้งนี้เนื่องจากการวิบัติของตัวอย่างทดสอบ CB21-1-3 นี้เกิดขึ้นที่ส่วนล่างของชิ้นตัวอย่าง ทำให้การเกิดโมเมนต์ดัดของเหล็กปลอกในช่วงกลางมีค่าน้อยกว่าการโก่งออกของเหล็กปลอกช่วงล่างที่เกิดการวิบัติ

สิ่งที่สังเกตได้จากรูปที่ 5.8(ข) คือ เกิดโมเมนต์ดัดค่าลบขึ้นมาที่เหล็กปลอกด้านทิศเหนือ นั่นก็คือเกิดการโก่งเข้าของเหล็กปลอกในช่วงที่ตัวอย่างทดสอบรับแรงกระทำถึงค่าสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากการขาดข้อมูลที่เพียงพอ อีกทั้งช่วงที่เกิดค่าโมเมนต์ดัดลบนี้ เป็นช่วงที่ไม่สามารถสังเกตความเสียหายใดๆ จากภายนอกได้ชัดเจน จึงอาจตั้งสมมติฐานของการเกิดพฤติกรรมนี้ของเหล็กปลอกได้ว่า เมื่อคอนกรีตเกิดการขยายตัวออกด้านข้างทำให้เกิดแรงดันที่เหล็กปลอก แต่ทั้งนี้ยังมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กปลอกกับคอนกรีตอยู่ ซึ่งถ้ามีด้านหนึ่งของเหล็กปลอกไม่มีแรงยึดเหนี่ยวแต่อีกด้านหนึ่งยังมีอยู่ดังแสดงในรูปที่ 5.9 จะเกิดโมเมนต์ดัดกลับที่จุดกึ่งกลางที่ทำการวัดค่าความเครียด ซึ่งควรจะมีการติดเกจวัดความเครียดเพิ่มเติมเพื่อทำการตรวจสอบว่าสมมติฐานที่ตั้งขึ้นมานั้นมีความถูกต้องเพียงใด

รูปที่ 5.10-5.11 แสดงโมเมนต์ดัดที่ตำแหน่งความเค้นสูงสุด และที่ 80% ของความเค้นสูงสุดเป็นกราฟแท่งของตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีต 21 MPa และผลต่างของโมเมนต์ดัดตามลำดับ และตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีต 45 MPa ในรูปที่ 5.12-5.13 พบว่า ค่าโมเมนต์ดัดที่ความเค้นสูงสุดมีค่าน้อยมาก คือมีค่าตั้งแต่ 1-18% ของโมเมนต์ดัดคราก โดยมีค่าเฉลี่ย 4% และเมื่อกำลังคอนกรีตลดลงเหลือ 80% ของความเค้นสูงสุด ยังไม่สามารถเห็นแนวโน้มที่ชัดเจนว่าค่าโมเมนต์ดัดเพิ่มขึ้นหรือลดลง แต่ถ้าพิจารณาค่าโมเมนต์ดัดตลอดการทดสอบ พบว่าโมเมนต์ดัดในเหล็กปลอกจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าโมเมนต์ดัดคราก เมื่อกำลังของตัวอย่างทดสอบลดลงเหลือ 30-40% ของค่าความเค้นสูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ย 36% สำหรับตัวอย่างทดสอบที่มีอัตราส่วนโดยปริมาตรของเหล็กเสริมตามขวาง เท่ากับ 0.91% ส่วนตัวอย่างทดสอบที่มีอัตราส่วนโดยปริมาตรของเหล็กเสริมตามขวาง เท่ากับ 0.23% และ 0.45% นั้นค่าโมเมนต์ดัดไม่เกินค่าโมเมนต์ดัดคราก

รูปที่ 5.10-5.11 แสดงแรงตามแนวแกนที่ตำแหน่งความเค้นสูงสุด และที่ 80% ของความเค้นสูงสุดเป็นกราฟแท่งของตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีต 21 MPa และผลต่างของแรงตามแนวแกน ตามลำดับ และตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีต 45 MPa ในรูปที่ 5.12-5.13 เมื่อพิจารณาค่าแรงตามแนวแกนในเหล็กปลอก ณ ตำแหน่งที่ตัวอย่างทดสอบรับแรงถึงค่าสูงสุด พบว่าเกิดแรงดึงขึ้นในเหล็กปลอกมีค่าตั้งแต่ 9% ถึง 68% ของแรงตามแนวแกนคราก โดยมีค่าเฉลี่ย 35% ซึ่งมากกว่าค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในเหล็กปลอกที่เวลาเดียวกัน และเมื่อกำลังคอนกรีตลดลงเหลือ 80% ของความเค้นสูงสุด ยังไม่สามารถเห็นแนวโน้มที่ชัดเจนว่า ค่าแรงตามแนวแกนเพิ่มขึ้นหรือลดลง เมื่อพิจารณาค่าแรงตามแนวแกนตลอดการทดสอบร่วมกับค่าโมเมนต์ดัด พบว่าแรงตามแนวแกนจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งค่าโมเมนต์ในเหล็กปลอกเริ่มเพิ่มขึ้น ค่าแรงตามแนวแกนจึงเริ่มลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะในช่วงแรกการขยายตัวออกทางด้านข้างของคอนกรีตยัง

มีไม่มากนัก แรงที่กระทำต่อเหล็กปลอกจะมีค่ามากที่สุดที่มุมของเหล็กปลอก (Satcioglu และคณะ [1992]) ซึ่งเหล็กปลอกยังไม่เกิดการโก่งตัวออก ส่งผลให้เกิดแรงดึงขึ้น แต่มีค่าโมเมนต์ดัดน้อย แต่หลังจากนั้น คอนกรีตเกิดการขยายตัวออกทางด้านข้างมากขึ้น จนทำให้เกิดการโก่งออกของเหล็กปลอก ทำให้ค่าโมเมนต์ดัดในเหล็กปลอกมีค่าเพิ่มขึ้น และแรงตามแนวแกนมีค่าลดลง

5.4 ผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาผลของพารามิเตอร์ 3 อย่างที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด คือ กำลังของคอนกรีต อัตราส่วนโดยปริมาตรของเหล็กเสริมตามขวาง และลักษณะของของอ โดยการแสดงผลจะแสดงในรูปของกราฟความสัมพันธ์ของความเค้นกับความเครียด แบ่งเป็น 4 รูปในแต่ละชุดของการเปรียบเทียบ คือ รูปที่ 1 และ 2 แสดงข้อมูลทั้งหมดของกราฟความเค้น และความเค้นที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (normalized stress) ตามลำดับ ส่วนรูปที่ 3 และ 4 แสดงข้อมูลในช่วงที่สนใจ คือ ตั้งแต่ค่าความเครียดตามแนวแกนเท่ากับ 0.00 ถึง 0.01 ของกราฟความเค้น และความเค้นที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (normalized stress) ตามลำดับ โดยสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

5.4.1 ผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด

รูปที่ 5.18-5.21 แสดงการเปรียบเทียบผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดของตัวอย่างทดสอบที่มีปริมาณเหล็กเสริมตามขวาง 0.91% และเหล็กปลอกของอ 135 องศา (ตัวอย่างทดสอบ CA45-1-5 กับ CA21-1-5) พบว่ามีความแตกต่างของกำลังคอนกรีตอย่างชัดเจน คือ ตัวอย่างทดสอบ CA45-1-5 จะมีค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 38.93 MPa ส่วนตัวอย่างทดสอบ CA21-1-5 มีค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 25.97 MPa และเมื่อพิจารณารูปที่ 5.21 ซึ่งเป็นค่าความเค้นที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว พบว่าตัวอย่างทดสอบ CA45-1-5 มีการลดลงของกำลังรับแรงอย่างทันทีทันใด ลงมาคงที่ที่ความเค้นประมาณ 30% ของค่าความเค้นสูงสุด ที่ความเครียดตามแนวแกนเท่ากับ 0.006 ซึ่งต่างจากตัวอย่างทดสอบ CA21-1-5 อย่างเห็นได้ชัด โดยกำลังรับแรงจะค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ โดยที่ความเค้นลดลงมาเหลือ 30% ของค่าความเค้นสูงสุด ที่ความเครียดตามแนวแกนเท่ากับ 0.017

รูปที่ 5.22-5.25 แสดงการเปรียบเทียบผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของ

คอนกรีตที่มีการโอบรัดของตัวอย่างทดสอบที่มีปริมาณเหล็กเสริมตามขวาง 0.91% และเหล็กปลอกของอ 90 องศา (ตัวอย่างทดสอบ CB45-1-5 กับ CB21-1-5) พบว่ามีความแตกต่างของกำลังคอนกรีตอย่างชัดเจน คือ ตัวอย่างทดสอบ CB45-1-5 จะมีค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 37.43 MPa ส่วนตัวอย่างทดสอบ CB21-1-5 มีค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 23.56 MPa และเมื่อพิจารณา รูปที่ 5.25 ซึ่งเป็นค่าความเค้นที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว พบว่าตัวอย่างทดสอบ CB45-1-5 มีการลดลงของกำลังอย่างทันทีทันใด โดยที่ความเครียดตามแนวแกนเท่ากับ 0.02 ความเค้นตกลงมาเหลือ 30% ของค่าความเค้นสูงสุด ส่วนตัวอย่างทดสอบ CB21-1-5 ความเค้นตกลงมาเหลือ 34% ของค่าความเค้นสูงสุด ซึ่งจะเห็นได้ว่าอัตราการลดลงของกำลังหลังความเค้นสูงสุดสูงของตัวอย่างทดสอบ CB21-1-5 ช้ากว่ามาก

รูปที่ 5.26-5.29 แสดงการเปรียบเทียบผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดของตัวอย่างทดสอบที่มีปริมาณเหล็กเสริมตามขวาง 0.45% และเหล็กปลอกของอ 135 องศา (ตัวอย่างทดสอบ CA45-1-3 กับ CA21-1-3) ตัวอย่างทดสอบ CA45-1-5 มีค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 36.81 MPa ส่วนตัวอย่างทดสอบ CA21-1-5 มีค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 26.38 MPa แต่สิ่งที่สังเกตได้ คือ ค่าความเครียดที่ความเค้นสูงสุด (strain at peak stress) มีความแตกต่างกันมาก คือ ตัวอย่างทดสอบ CA45-1-3 มีค่าความเครียดเท่ากับ 0.0008 ส่วนตัวอย่างทดสอบ CA21-1-3 มีค่า 0.0017 ซึ่งความแตกต่างนี้ทำให้จำเป็นต้องตัดผลการทดสอบนี้ออก ไม่นำมาพิจารณาเปรียบเทียบ

รูปที่ 5.30-5.33 แสดงการเปรียบเทียบผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดของตัวอย่างทดสอบที่มีปริมาณเหล็กเสริมตามขวาง 0.45% และเหล็กปลอกของอ 90 องศา (ตัวอย่างทดสอบ CB45-1-3 กับ CB21-1-3) โดยตัวอย่างทดสอบ CB45-1-3 มีค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 41.89 MPa ส่วนตัวอย่างทดสอบ CB21-1-3 มีค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 22 MPa เมื่อพิจารณาอัตราการลดลงของกำลังหลังความเค้นสูงสุดสูงของตัวอย่างทดสอบ พบว่า ตัวอย่างทดสอบ CB45-1-3 มีอัตราการลดลงมากกว่าในช่วงแรก แต่เมื่อค่าความเครียดเกิน 0.0076 อัตราการลดลงของตัวอย่างทดสอบ CB45-1-3 กลับน้อยกว่า โดยที่ ณ ตำแหน่งนี้ ค่าความเค้นของตัวอย่างทดสอบทั้งสองลดลงเหลือ 40% ของค่าความเค้นสูงสุด ซึ่งเป็นช่วงท้ายของการทดสอบแล้ว

รูปที่ 5.34-5.37 แสดงการเปรียบเทียบผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของ

คอนกรีตที่มีการโอบรัดของตัวอย่างทดสอบที่มีปริมาณเหล็กเสริมตามขวาง 0.23% และเหล็กปลอกของอ 135 องศา (ตัวอย่างทดสอบ CA45-1-1 กับ CA21-1-1) โดยตัวอย่างทดสอบ CA45-1-1 มีค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 52.05 MPa ส่วนตัวอย่างทดสอบ CA21-1-1 มีค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 18.182 MPa ซึ่งมีความแตกต่างกันด้านกำลังของคอนกรีตมาก ตัวอย่างทดสอบ CA45-1-1 เมื่อรับแรงกระทำเกิดค่าสูงสุดแล้ว กำลังของตัวอย่างทดสอบลดลงทันที และเกิดเสียงระเบิดขึ้นดังที่กล่าวมาในบทที่แล้ว ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่ามีอัตราการลดลงของกำลังรับแรงที่สูงมาก ส่วนตัวอย่างทดสอบ CB21-1-1 มีอัตราการลดลงของกำลังรับแรงที่ช้ากว่ามาก

รูปที่ 5.38-5.41 แสดงการเปรียบเทียบผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดของตัวอย่างทดสอบที่มีปริมาณเหล็กเสริมตามขวาง 0.23% และเหล็กปลอกของอ 90 องศา (ตัวอย่างทดสอบ CB45-1-1 กับ CB21-1-1) โดยตัวอย่างทดสอบ CB45-1-1 มีค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 49.70 MPa ส่วนตัวอย่างทดสอบ CB21-1-1 มีค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 23.10 MPa ตัวอย่างทดสอบ CB45-1-1 มีพฤติกรรมคล้ายกับตัวอย่างทดสอบ CA45-1-1 คือมีอัตราการลดลงของกำลังหลังความเค้นสูงสุดสูงที่สุด เนื่องจากเกิดการระเบิดขึ้นเมื่อรับน้ำหนักเลยค่าสูงสุดแล้ว ซึ่งเป็นผลมาจากการที่มีระยะเรียงของเหล็กปลอกที่กว้างมาก ดังนั้นจึงเห็นได้ชัดเจนว่าตัวอย่างทดสอบ CB21-1-1 มีความเหนียวที่มากกว่าตัวอย่างทดสอบ CB45-1-1

รูปที่ 5.42 – 5.44 แสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อความเค้นสูงสุด, ความชันของกราฟขาลงในช่วงที่ความเค้นลดลง 20% และความเครียดที่ความเค้นสูงสุดตามลำดับ ซึ่งจากกราฟพบว่าคอนกรีตกำลัง 45 MPa มีความเค้นสูงสุดมากกว่าคอนกรีตกำลัง 21 MPa เฉลี่ย 40% และมีอัตราการลดลงของกำลังรับแรงสูงกว่าเฉลี่ย 450% ทั้งนี้เพราะคอนกรีตที่มีกำลังสูงกว่ามีอัตราการลดลงของกำลังหลังความเค้นสูงสุดสูงมากกว่าคอนกรีตที่มีกำลังต่ำกว่า ซึ่งการคอนกรีตที่มีกำลังสูงกว่ามีคุณสมบัติเปราะ (brittle) กว่านั้นสามารถอธิบายได้โดยพิจารณาจากคุณสมบัติของคอนกรีต โดยคอนกรีตที่มีกำลังต่ำกว่านั้นจะมีความแตกต่างของกำลังของมอร์ต้า (mortar) กับมวลรวมหยาบมาก ดังนั้น การวิบัติจึงเกิดขึ้นระหว่างรอยต่อของมอร์ต้ากับมวลรวมหยาบ โดยจะเกิดรอยแตกร้าขนาดเล็กและค่อยๆ ขยายขนาดของรอยแตกร้าขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดการวิบัติ แต่คอนกรีตที่มีกำลังสูงนั้นจะมีความแตกต่างของกำลังของมอร์ต้ากับมวลรวมหยาบน้อย ดังนั้น การเกิดการวิบัติของคอนกรีตจึงเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใดทั้งในมอร์ต้าและมวลรวมหยาบ ทำให้กำลังของคอนกรีตลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ความเหนียวของคอนกรีตกำลังสูงมีค่าน้อยกว่าคอนกรีตที่มีกำลังต่ำกว่า ส่วนความเครียดที่ความเค้นสูงสุดดังแสดงในรูปที่ 5.44 นั้น มีแนวโน้มว่าคอนกรีต

กำลัง 45 MPa มีค่าสูงกว่ายกเว้นในกรณีเหล็กปลอก 90 องศา และมีอัตราส่วนเหล็กปลอกโดยปริมาตร 0.91% ที่มีค่าความเครียดที่ความเค้นสูงสุดน้อยกว่า

5.4.2 ผลของอัตราส่วนโดยปริมาตรของเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด

รูปที่ 5.45-5.48 แสดงการเปรียบเทียบผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดของตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีต 45 MPa และเหล็กปลอกของอ 135 องศา (ตัวอย่างทดสอบ CA45-1-5 , CA45-1-3 และ CA45-1-1) เมื่อเปรียบเทียบกันด้านกำลังของตัวอย่างทดสอบ จะพบว่า ตัวอย่างทดสอบ CA45-1-1 มีค่าความเค้นสูงสุดที่สูงมากและแตกต่างออกไปจากอีกสองตัวอย่างทดสอบที่เหลือ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความแตกต่างกันในเรื่องของคอนกรีต ไม่ใช่ผลของการโอบรัดซึ่งตรงข้ามกับงานวิจัยในอดีตที่ว่าคอนกรีตที่มีการโอบรัดที่ดีกว่าจะมีกำลังของคอนกรีตที่มากกว่า และเมื่อพิจารณาที่ค่าความเครียดที่ความเค้นสูงสุดของตัวอย่างทดสอบ CA21-1-3 จะเห็นได้ว่ามีค่าที่ต่ำมากกว่าอีกสองตัวอย่างทดสอบซึ่งความแตกต่างนี้ทำให้จำเป็นต้องตัดผลการทดสอบนี้ออก ไม่นำมาพิจารณาเปรียบเทียบ ดังที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่ผ่านมา จากที่กล่าวมานี้จึงทำการเปรียบเทียบเพียงแค่ 2 ตัวอย่างทดสอบคือ ตัวอย่างทดสอบ CA45-1-5 และ CA45-1-1 พบว่าตัวอย่างทดสอบ CA45-1-1 มีอัตราการลดลงของกำลังหลังความเค้นสูงสุดสูงที่มากเนื่องจากการระเบิด ดังที่กล่าวมาแล้ว เนื่องจากการที่มีกำลังคอนกรีตที่สูงมาก อีกทั้งยังมีการโอบรัดที่ไม่ดี ดังนั้นจึงเห็นได้ชัดเจนว่าตัวอย่างทดสอบ CA45-1-5 มีความเหนียวที่ดีกว่า

รูปที่ 5.49-5.52 แสดงการเปรียบเทียบผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดของตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีต 45 MPa และเหล็กปลอกของอ 90 องศา (ตัวอย่างทดสอบ CB45-1-5 , CB45-1-3 และ CB45-1-1) เมื่อเปรียบเทียบกันด้านกำลังของตัวอย่างทดสอบ จะพบว่า ตัวอย่างทดสอบ CB45-1-1 มีค่าความเค้นสูงสุดที่สูงมากและแตกต่างออกไปจากอีกสองตัวอย่างทดสอบที่เหลือ ซึ่งน่าจะเป็นเหตุผลเดียวกับกรณีที่ผ่านมา และเมื่อพิจารณาในเรื่องความเหนียวของตัวอย่างทดสอบ พบว่าตัวอย่างทดสอบ CB45-1-1 มีความเหนียวน้อยมากเนื่องจากมีระยะเรียงของเหล็กปลอกที่กว้างมาก และมีการลดลงของกำลังหลังความเค้นสูงสุดสูงอย่างทันทีทันใดจากการระเบิด ส่วนตัวอย่างทดสอบ CB45-1-5 และ CB45-1-3 นั้นมีความเหนียวที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่า ปริมาณของเหล็กปลอกต่างกัน แต่มีอัตราการลดลงของกำลังรับแรงที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้การพิจารณาจำเป็นต้องพิจารณาที่รูปแบบ

การวิบัติของตัวอย่างทดสอบ ว่ามีผลต่อความเหนียวของคอนกรีตหรือไม่ ซึ่งพบว่าตัวอย่างทั้งสองมีการวิบัติแบบเฉือนเหมือนกัน แต่ต่างกันตรงที่ตำแหน่งของการเกิดระนาบเฉือนนี้ โดยที่ ตัวอย่างทดสอบ CB45-1-5 เกิดระนาบเฉือนที่ช่วงกลางของตัวอย่างทดสอบ ส่วนตัวอย่างทดสอบ CB45-1-1 เกิดระนาบเฉือนที่ส่วนล่างของตัวอย่างทดสอบที่มีระยะเรียงของเหล็กปลอกที่ถี่มาก ทำให้ตัวอย่างทดสอบมีความเหนียวที่ดี

รูปที่ 5.53-5.56 แสดงการเปรียบเทียบผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดของตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีต 21 MPa และเหล็กปลอกของอ 135 องศา (ตัวอย่างทดสอบ CA21-1-5 , CA21-1-3 และ CA21-1-1) สังเกตได้ว่าตัวอย่างทดสอบ CA21-1-1 กำลังคอนกรีตที่ต่ำมาก ซึ่งทั้งนี้อาจเป็นเพราะความแตกต่างกันในเรื่องของคอนกรีต ดังนั้นจึงจะไม่นำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับอีกสองตัวอย่างทดสอบ และเมื่อทำการเปรียบเทียบกันในเรื่องของตัวอย่างทดสอบ พบว่าตัวอย่างทดสอบ CA21-1-5 มีค่าความเค้นสูงสุดน้อยกว่าเล็กน้อย ส่วนในเรื่องของอัตราการลดลงของกำลังรับแรงนั้น จะเห็นได้ชัดเจนว่าตัวอย่างทดสอบ CA21-1-5 ซึ่งมีปริมาณเหล็กปลอกมากกว่า มีอัตราการลดลงของกำลังหลังความเค้นสูงสุดสูงที่ช้ากว่า และมีความเหนียวมากกว่า

รูปที่ 5.57-5.60 แสดงการเปรียบเทียบผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดของตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีต 21 MPa และเหล็กปลอกของอ 90 องศา (ตัวอย่างทดสอบ CB21-1-5 , CB21-1-3 และ CB21-1-1) ซึ่งจะพบว่าตัวอย่างทดสอบ CB21-1-5 มีค่าความเค้นสูงสุดที่มากที่สุดซึ่งมากกว่าตัวอย่างทดสอบ CB21-1-3 และตัวอย่างทดสอบ CB21-1-1 เล็กน้อย และเมื่อพิจารณาเรื่องอัตราการลดลงของกำลังหลังความเค้นสูงสุดสูงพบว่า ตัวอย่างทดสอบ C21-1-5 ซึ่งมีปริมาณเหล็กปลอกมากที่สุด คือ 0.91% มีอัตราการลดลงของกำลังหลังความเค้นสูงสุดสูงน้อยที่สุด ลำดับถัดมาเป็นตัวอย่างทดสอบ C21-1-3 ซึ่งมีปริมาณเหล็กปลอก 0.45% และตัวอย่างทดสอบ C21-1-1 ซึ่งมีปริมาณเหล็กปลอก 0.23% จะมีอัตราการลดลงของกำลังหลังความเค้นสูงสุดมากที่สุด

รูปที่ 5.61 – 5.63 แสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อความเค้นสูงสุด, ความชันของกราฟขาลงในช่วงที่ความเค้นลดลง 20% และความเครียดที่ความเค้นสูงสุดตามลำดับ ซึ่งจากกราฟพบว่า ตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีต 21 MPa มีความเค้นสูงสุดใกล้เคียงกัน โดยตัวอย่างที่มีปริมาณเหล็กปลอก 0.91% มีความเค้นสูงสุดมากกว่าตัวอย่างที่มีปริมาณเหล็กปลอก 0.45% ประมาณ 3% ส่วนตัวอย่างทดสอบที่มีคอนกรีตกำลัง 45 MPa สังเกตได้ว่าตัวอย่าง

ทดสอบที่มีปริมาณเหล็กปลอก 0.23% มีค่าความเค้นสูงสุดมากกว่าตัวอย่างทดสอบที่มีปริมาณเหล็กปลอก 0.45% และ 0.91% ทั้งนี้เป็นเพราะมีความแตกต่างในเรื่องของกำลังคอนกรีตในแต่ละตัวอย่างมากพอสมควร ส่วนอัตราการลดลงของกำลังหลังความเค้นสูงสุดสูงนั้นพบว่า ตัวอย่างทดสอบที่มีปริมาณเหล็กปลอก 0.23% จะมีการลดลงของกำลังหลังความเค้นสูงสุดสูงมากที่สุด ส่วนตัวอย่างทดสอบที่มีปริมาณเหล็กปลอก 0.91% มีการลดลงของกำลังหลังความเค้นสูงสุดสูงน้อยที่สุด ส่วนค่าความเครียดที่ความเค้นสูงสุดนั้นพบว่าตัวอย่างทดสอบที่มีปริมาณเหล็กปลอก 0.91% จะมีค่าสูงกว่าตัวอย่างทดสอบที่มีปริมาณเหล็กปลอก 0.45% ส่วนตัวอย่างทดสอบที่มีปริมาณเหล็กปลอก 0.23% และมีกำลังคอนกรีต 45 MPa ซึ่งมีความเค้นที่สูงมากนั้น พบว่ามีความเครียดที่ความเค้นสูงสุดมากกว่าตัวอย่างทดสอบที่มีปริมาณเหล็กปลอก 0.45%

5.4.3 ผลของลักษณะเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด

รูปที่ 5.64-5.67 แสดงการเปรียบเทียบผลของลักษณะเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดของตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีต 45 MPa และมีปริมาณเหล็กเสริมตามขวาง 0.91% (ตัวอย่างทดสอบ CA45-1-5 กับ CB45-1-5) ในส่วนของค่าความเค้นสูงสุดของตัวอย่างทดสอบนั้น พบว่า ตัวอย่างทดสอบ CA45-1-5 มีค่ามากกว่าเล็กน้อย และมีค่าความเครียดที่ความเค้นสูงสุดมากกว่าเล็กน้อยด้วย แต่เมื่อพิจารณาที่อัตราการลดลงของกำลังหลังความเค้นสูงสุดจะเห็นได้ว่าไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ในช่วงค่าความเครียดไม่เกิน 0.003 และหลังจากนั้นตัวอย่างทดสอบ CB45-1-5 จะมีอัตราการลดลงของกำลังที่น้อยกว่าเล็กน้อย

รูปที่ 5.68-5.71 แสดงการเปรียบเทียบผลของลักษณะเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดของตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีต 21 MPa และมีปริมาณเหล็กเสริมตามขวาง 0.91% (ตัวอย่างทดสอบ CA21-1-5 กับ CB21-1-5) ค่าความเค้นสูงสุดของตัวอย่างทดสอบ CA21-1-5 มีมากกว่าประมาณ 2.5 MPa และเมื่อพิจารณาที่อัตราการลดลงของกำลังหลังความเค้นสูงสุดสูงในช่วงแรก ที่ค่าความเค้นลดลงไม่เกิน 90% ของค่าความเค้นสูงสุด จะเห็นได้ว่าไม่มีความแตกต่างกันมากนัก แต่หลังจากนั้นตัวอย่างทดสอบ C21-1-5 จะมีอัตราการลดลงของกำลังที่ลดลง

รูปที่ 5.72-5.75 แสดงการเปรียบเทียบผลของลักษณะเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดของตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีต 45 MPa และมีปริมาณเหล็กเสริมตามขวาง 0.45% (ตัวอย่างทดสอบ CA45-1-3 กับ CB45-1-3) ซึ่งตัวอย่างทดสอบ CB45-1-3

เป็นตัวอย่างทดสอบที่ไม่นำมาเปรียบเทียบ เนื่องจากมีค่าความเครียดที่ความเค้นสูงสุดที่ต่ำมาก ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นจึงไม่มีการเปรียบเทียบกัน ในกรณีนี้

รูปที่ 5.76-5.79 แสดงการเปรียบเทียบผลของลักษณะเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดของตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีต 21 MPa และมีปริมาณเหล็กเสริมตามขวาง 0.45% (ตัวอย่างทดสอบ CA21-1-3 กับ CB21-1-3) ในส่วนของค่าความเค้นสูงสุดของตัวอย่างทดสอบนั้น พบว่า ตัวอย่างทดสอบ CA21-1-3 มีค่ามากกว่าประมาณ 4 MPa และมีค่าความเครียดที่ความเค้นสูงสุดมากกว่าเล็กน้อยด้วย แต่เมื่อพิจารณาที่อัตราการลดลงของกำลังหลังความเค้นสูงสุดสูง จะเห็นได้ว่าไม่มีความแตกต่างกันมากนัก โดยที่ตัวอย่างทดสอบ CB21-1-3 มีอัตราการลดลงของกำลังที่น้อยกว่าเล็กน้อยในช่วงค่าความเครียดไม่เกิน 0.014

รูปที่ 5.80-5.83 แสดงการเปรียบเทียบผลของลักษณะเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดของตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีต 45 MPa และมีปริมาณเหล็กเสริมตามขวาง 0.23% (ตัวอย่างทดสอบ CA45-1-1 กับ CB45-1-1) ค่าความเค้นสูงสุดของตัวอย่างทดสอบ CA45-1-1 มีมากกว่าเล็กน้อย ซึ่งทั้งสองตัวอย่างนี้เกิดการระเบิดขึ้นหลังค่าความเค้นสูงสุด ทำให้กำลังหลังความเค้นสูงสุดสูงของตัวอย่างทดสอบลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ตัวอย่างทดสอบ CB45-1-1 กำลังรับแรงคงเหลือหลังจากเกิดการระเบิด มีมากกว่าประมาณ 3 MPa ซึ่งความแตกต่างนี้เกิดจากการเกิดการแตกร้าวภายในที่ไม่เท่ากันของตัวอย่างทดสอบทั้งสอง ดังนั้นตัวอย่างทดสอบ CB45-1-1 จึงดูคล้ายกับว่ามีอัตราการลดลงของกำลังรับแรงที่ช้ากว่า แต่ถ้าทำการเปรียบเทียบความชันของเส้นกราฟหลังจากที่ กำลังรับแรงเกิดการลดลงอย่างกะทันหันแล้ว จะพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก

รูปที่ 5.84-5.87 แสดงการเปรียบเทียบผลของลักษณะเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัดของตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีต 21 MPa และมีปริมาณเหล็กเสริมตามขวาง 0.23% (ตัวอย่างทดสอบ CA21-1-1 กับ CB21-1-1) ซึ่งตัวอย่างทดสอบ CA21-1-1 เป็นตัวอย่างทดสอบที่ไม่นำมาเปรียบเทียบ เนื่องจากกำลังคอนกรีตที่ต่ำมาก ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นจึงไม่มีการเปรียบเทียบกัน ในกรณีนี้

รูปที่ 5.88-5.99 แสดงกราฟความเค้นกับความเครียดของคอนกรีตที่มีการโอบรัด โดยจะแสดงพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จะทำการเปรียบเทียบเป็นกราฟแท่งระหว่างตัวอย่างทดสอบที่มีของ 135 องศาและ 90 องศา โดยมีพารามิเตอร์อื่นๆ เหมือนกัน ซึ่งในการเปรียบเทียบนี้ จะไม่นำ

ตัวอย่าง CA21-1-1 และ CA45-1-3 มาทำการเปรียบเทียบด้วย ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งกราฟที่แสดงความแตกต่างและเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจะแสดงเป็นกราฟแท่งสีขาว ซึ่งจะไม่นำมาพิจารณา

รูปที่ 5.88 แสดงการเปรียบเทียบความเค้นสูงสุด โดยพบว่า ตัวอย่างทดสอบที่ใช้เหล็กปลอกของอ 135 องศา มีความเค้นสูงสุดมากกว่าตัวอย่างทดสอบที่ใช้เหล็กปลอกของอ 90 องศา และในรูปที่ 5.89 แสดงผลต่างของกำลังของตัวอย่างทดสอบเป็นคู่ๆ จากรูปที่ 5.90 โดยคิดเป็นร้อยละของความแตกต่างดังแสดงในรูปที่ 5.56 ซึ่งพบว่าความเค้นสูงสุดของตัวอย่างทดสอบที่ใช้เหล็กปลอกของอ 135 องศา มีค่ามากกว่าตัวอย่างทดสอบที่ใช้เหล็กปลอกของอ 90 องศา เฉลี่ยประมาณ 4%

การเปรียบเทียบค่าความเครียดที่ความเค้นสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 5.91-5.93 นั้น พบว่า ตัวอย่างทดสอบที่ใช้เหล็กปลอกของอ 135 องศา มีค่ามากกว่า ยกเว้นในกรณีที่มีอัตราส่วนโดยปริมาตรของเหล็กปลอก 0.91% และใช้คอนกรีต 21 MPa ซึ่งจะมีค่าน้อยกว่าเล็กน้อย และเมื่อคิดเป็นร้อยละของความแตกต่าง จะพบว่าค่าความเครียดที่ความเค้นสูงสุดของตัวอย่างทดสอบที่ใช้เหล็กปลอกของอ 135 องศา มีค่ามากกว่าตัวอย่างทดสอบที่ใช้เหล็กปลอกของอ 90 องศา เฉลี่ย 17%

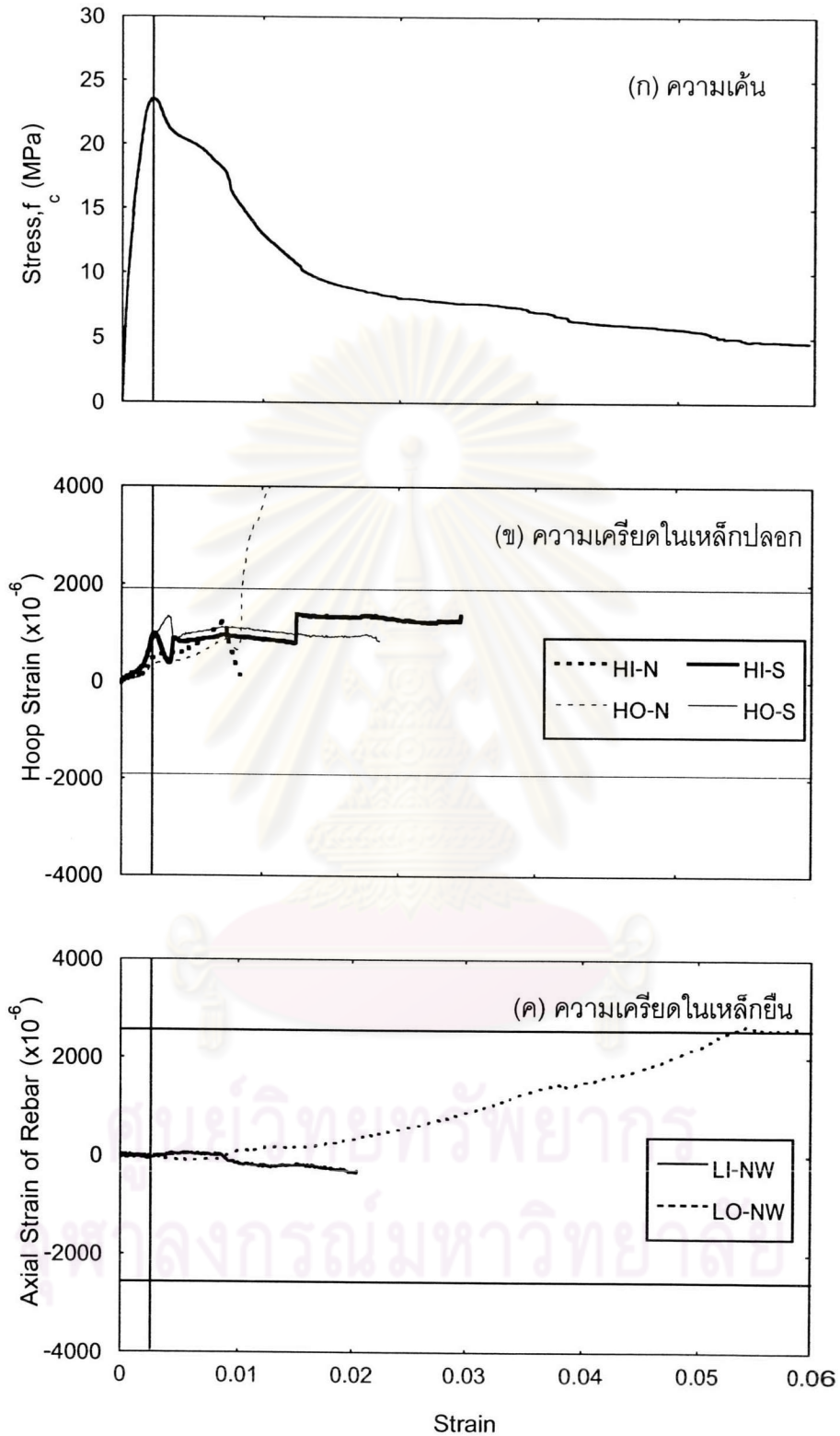
รูปที่ 5.94-5.96 แสดงการเปรียบเทียบความชันของกราฟขาขึ้นของกราฟความเค้น-ความเครียด พบว่า ความชันของตัวอย่างทดสอบที่ใช้เหล็กปลอกของอ 90 องศา มีค่ามากกว่าตัวอย่างทดสอบที่ใช้เหล็กปลอกของอ 135 องศา ยกเว้นในกรณีที่มีอัตราส่วนโดยปริมาตรของเหล็กปลอก 0.45% และใช้คอนกรีต 21 MPa ซึ่งจะมีค่าน้อยกว่า และเมื่อคิดเป็นร้อยละของความแตกต่าง จะพบว่าค่าความเครียดที่ความเค้นสูงสุดของตัวอย่างทดสอบที่ใช้เหล็กปลอกของอ 90 องศา มีค่ามากกว่าตัวอย่างทดสอบที่ใช้เหล็กปลอกของอ 135 องศา เฉลี่ย 5% ส่วนการเปรียบเทียบความชันของกราฟขาลงในช่วงที่ความเค้นลดลงเหลือ 80% หรืออัตราการลดลงของกำลังหลังความเค้นสูงสุดของคอนกรีต แสดงในรูปที่ 5.97-5.99 นั้น พบว่า เหล็กปลอกของอ 135 องศา มีอัตราการลดลงของกำลังมากกว่าเหล็กปลอกของอ 90 องศา 16%

ผลของของอของเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด กล่าวได้ว่าเหล็กปลอกของอ 135 องศา ทำให้คอนกรีตสามารถรับแรงกระทำสูงสุด และมีค่าความเครียดที่ความเค้นสูงสุดมากกว่าเหล็กปลอกของอเล็กน้อยประมาณ 4% และ 17% ตามลำดับ ส่วนค่าความชัน

ของกราฟขาขึ้นของกราฟความเค้น-ความเครียดนั้น ตัวอย่างทดสอบที่ใช้เหล็กปลอกของอ 90 องศาจะมีค่ามากกว่า เหล็กปลอกของอ 135 องศาประมาณ 5% ส่วนเรื่องของความเหนียวของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดโดยเหล็กปลอกของอ 135 องศา และ 90 องศา นั้น มีความใกล้เคียงกัน โดยที่เหล็กปลอกของอ 135 องศา จะมีอัตราการลดลงของกำลังหลังความเค้นสูงสุดสูงที่สูงกว่าเหล็กปลอกของอ 90 องศา ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลของงานวิจัยในอดีตที่พบว่า เหล็กปลอกของอ 90 องศาจะสูญเสียประสิทธิภาพในการโอบรัดซึ่งเกิดจากการแอ่นออกของของอเหล็กปลอก ส่งผลให้กำลังของคอนกรีตลดลงอย่างรวดเร็ว (Wehbe และคณะ [1999], Lukkunaprasit [2000]) ทั้งนี้ เนื่องจากการทดสอบในงานวิจัยนี้ ทำการขจัดผลของของอเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด โดยการให้แรงอัดกระทำตามแนวแกนเฉพาะส่วนที่เป็นคอนกรีตเท่านั้น ซึ่งเหล็กเสริมตามยาวจะไม่รับแรงตามแนวแกน ทำให้ไม่เกิดการโก่งออกด้านนอกไปด้านของของอเหล็กปลอกจนเกิดการแอ่นออก ทำผลให้ผลของของอของอเหล็กปลอกไม่แสดงแนวโน้มที่ชัดเจนต่อพฤติกรรมในช่วงขาลงของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตที่มีการโอบรัดที่ทำกรขจัดผลของเหล็กเสริมตามยาวออก

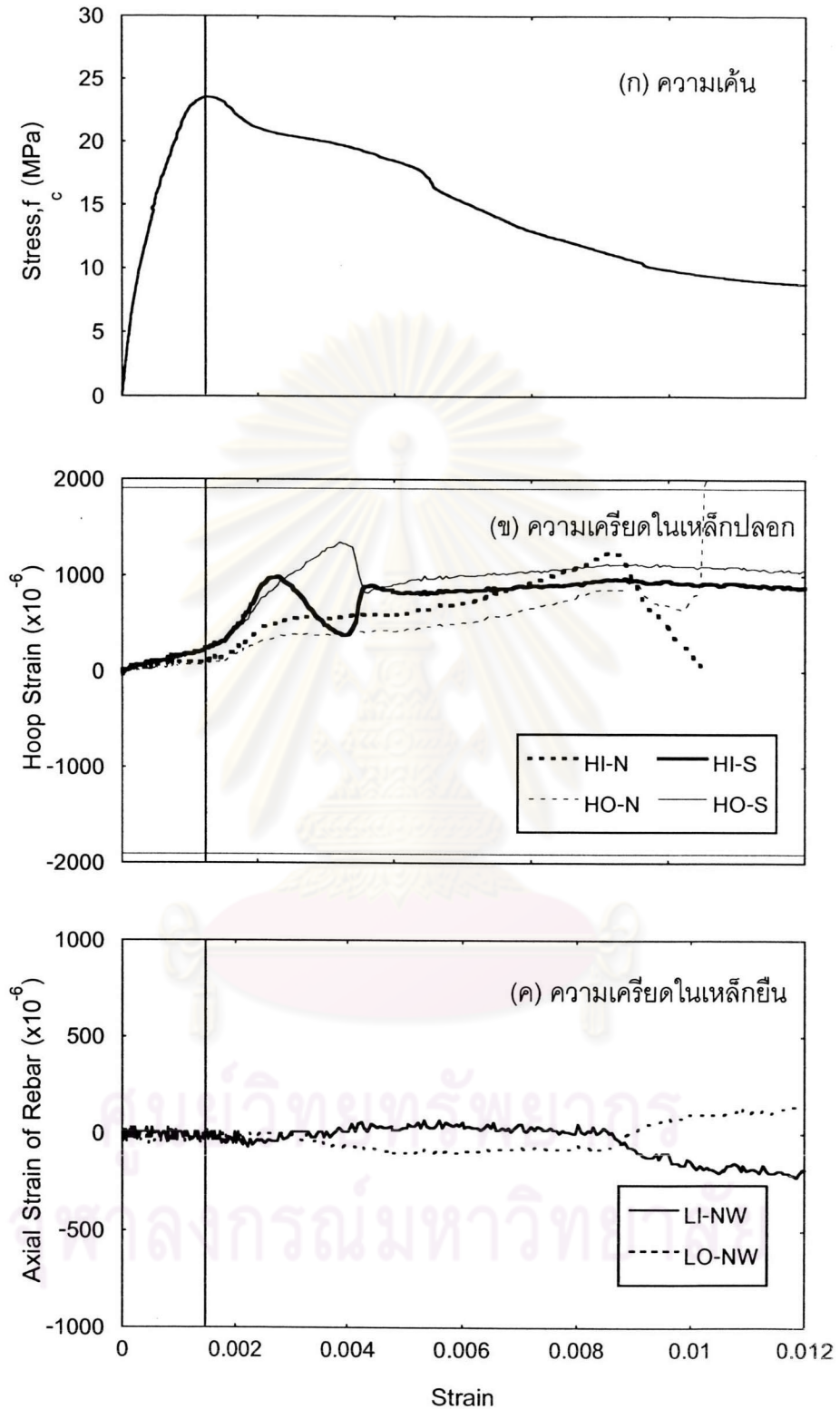


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

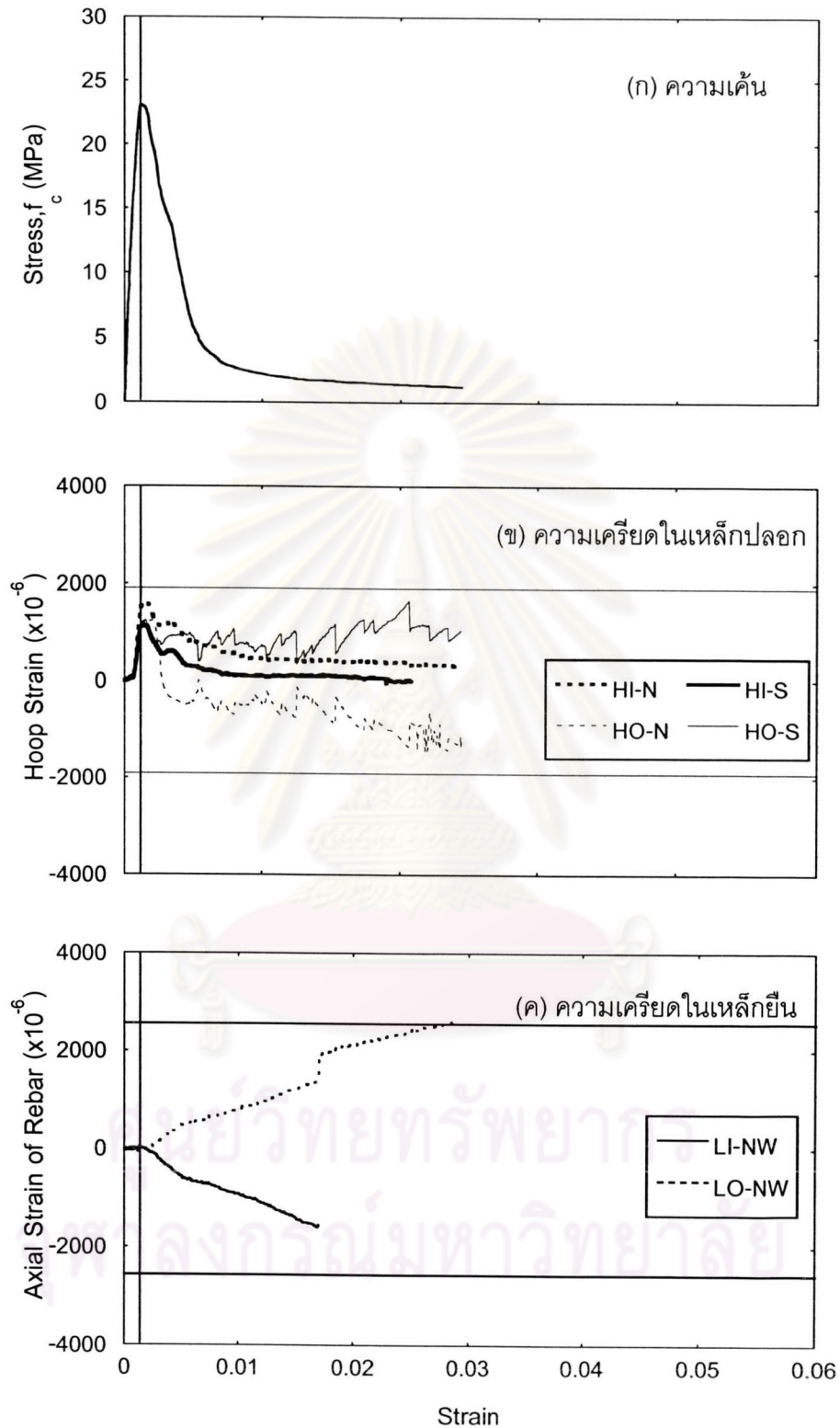


รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริมในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.06

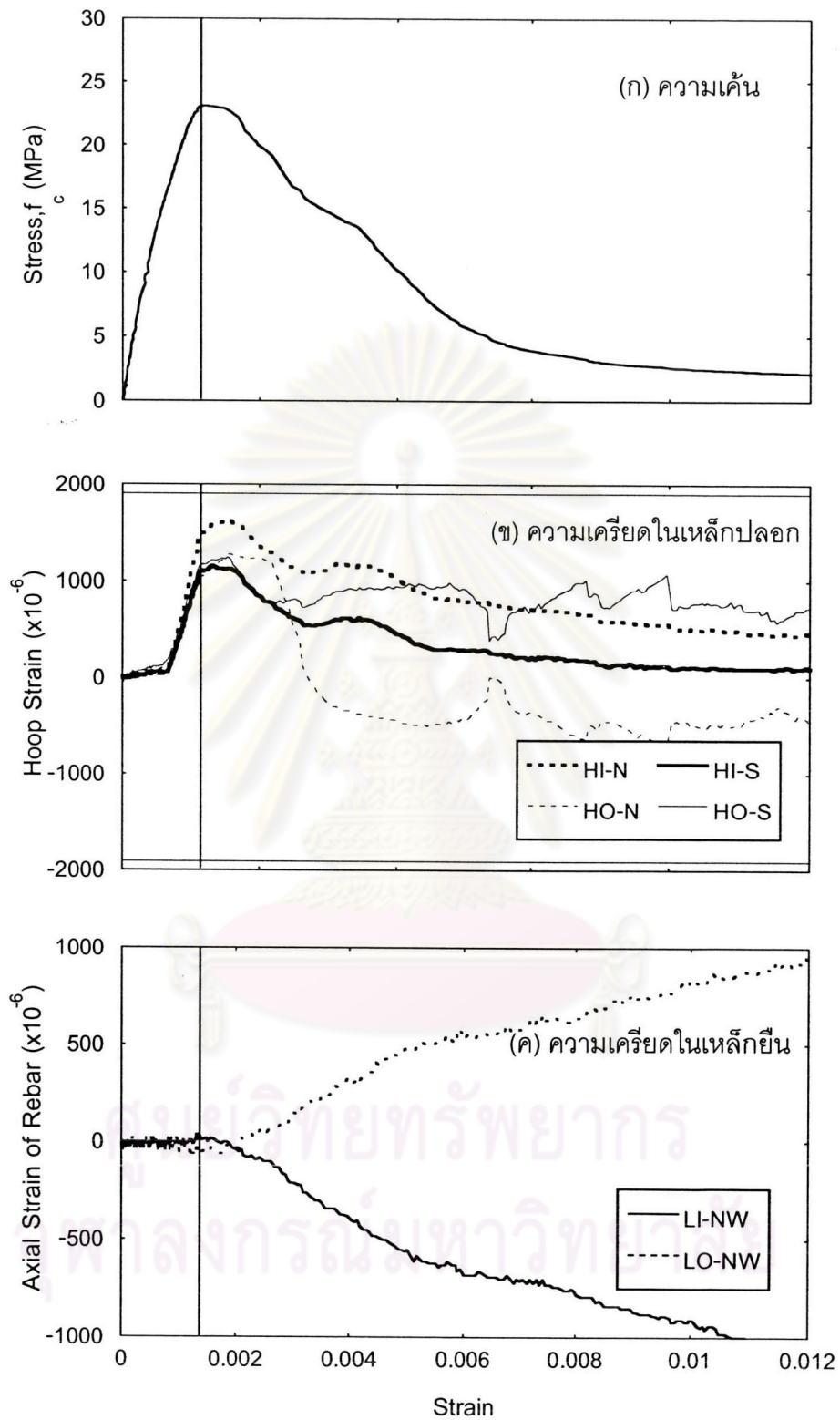
สำหรับตัวอย่างทดสอบ CB21-1-5



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริมในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.012 สำหรับตัวอย่างทดสอบ CB21-1-5

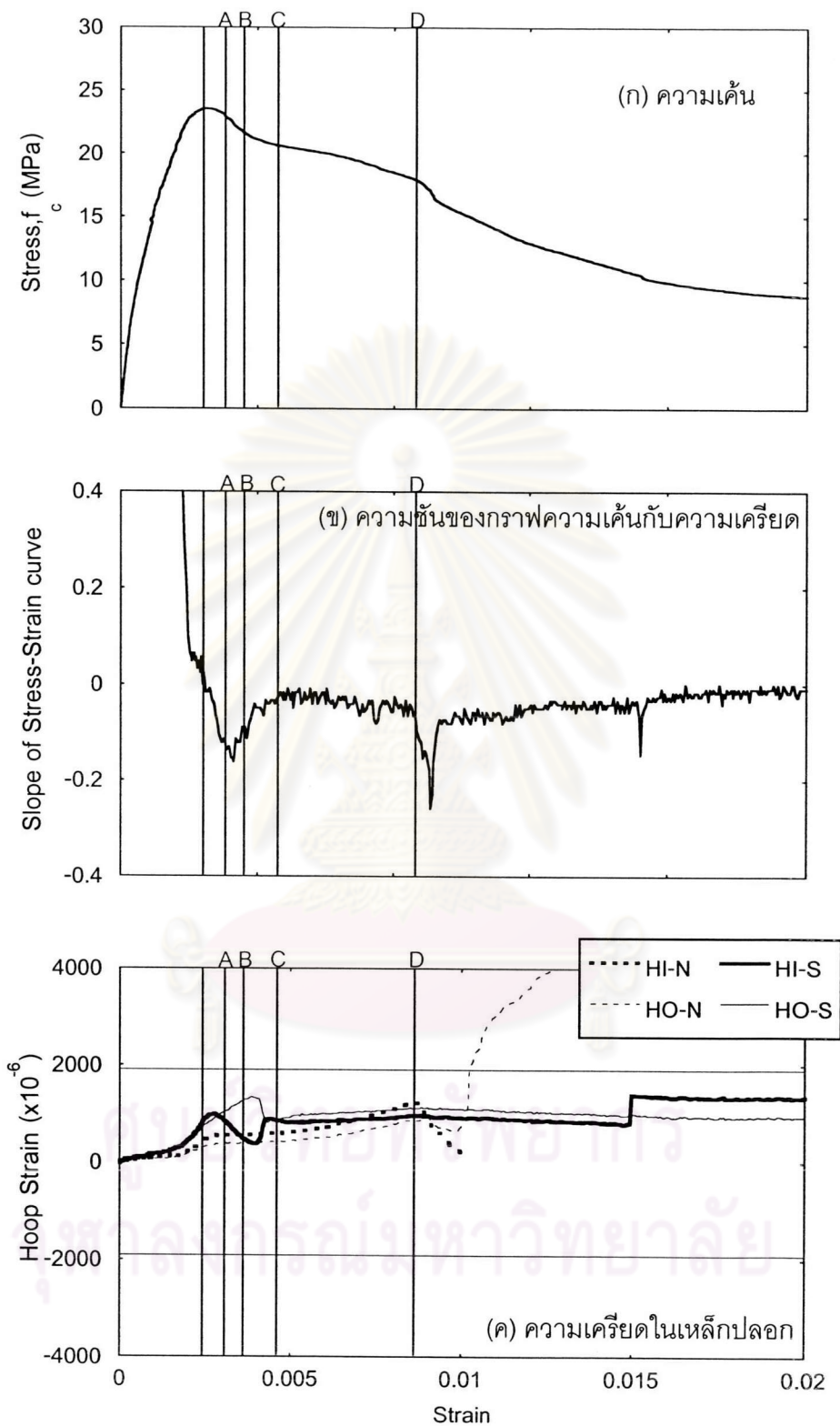


รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริมในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.06 สำหรับตัวอย่างทดสอบ CB21-1-1

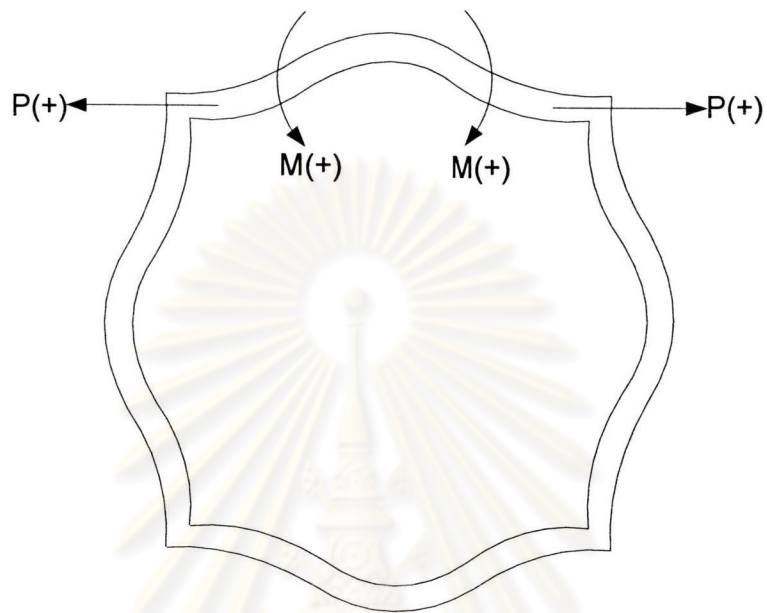


รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริมในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.012

สำหรับตัวอย่างทดสอบ CB21-1-1

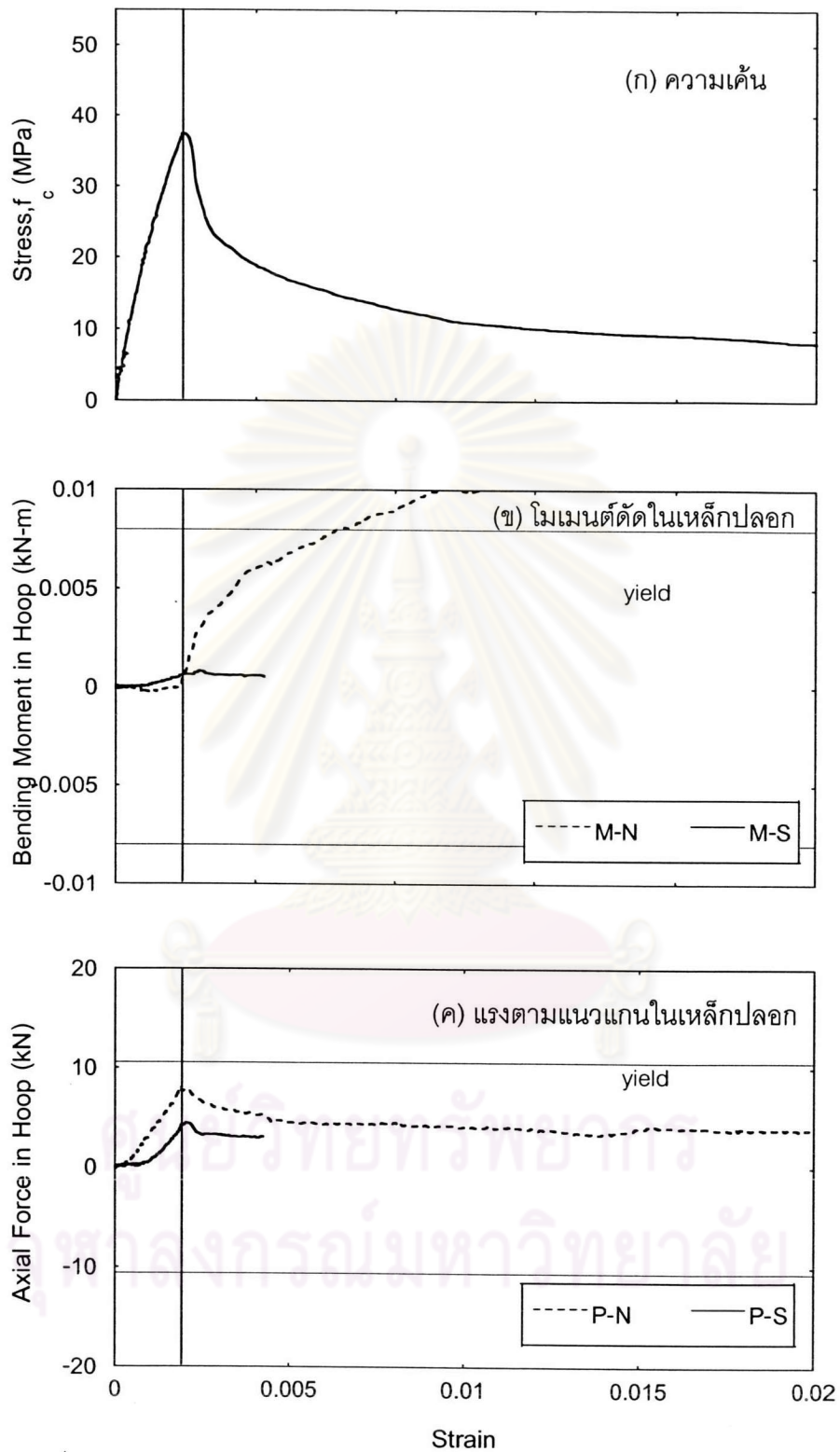


รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความเค้น ความชันของกราฟและความเครียดในเหล็กเสริม
สำหรับตัวอย่างทดสอบ CB21-1-5

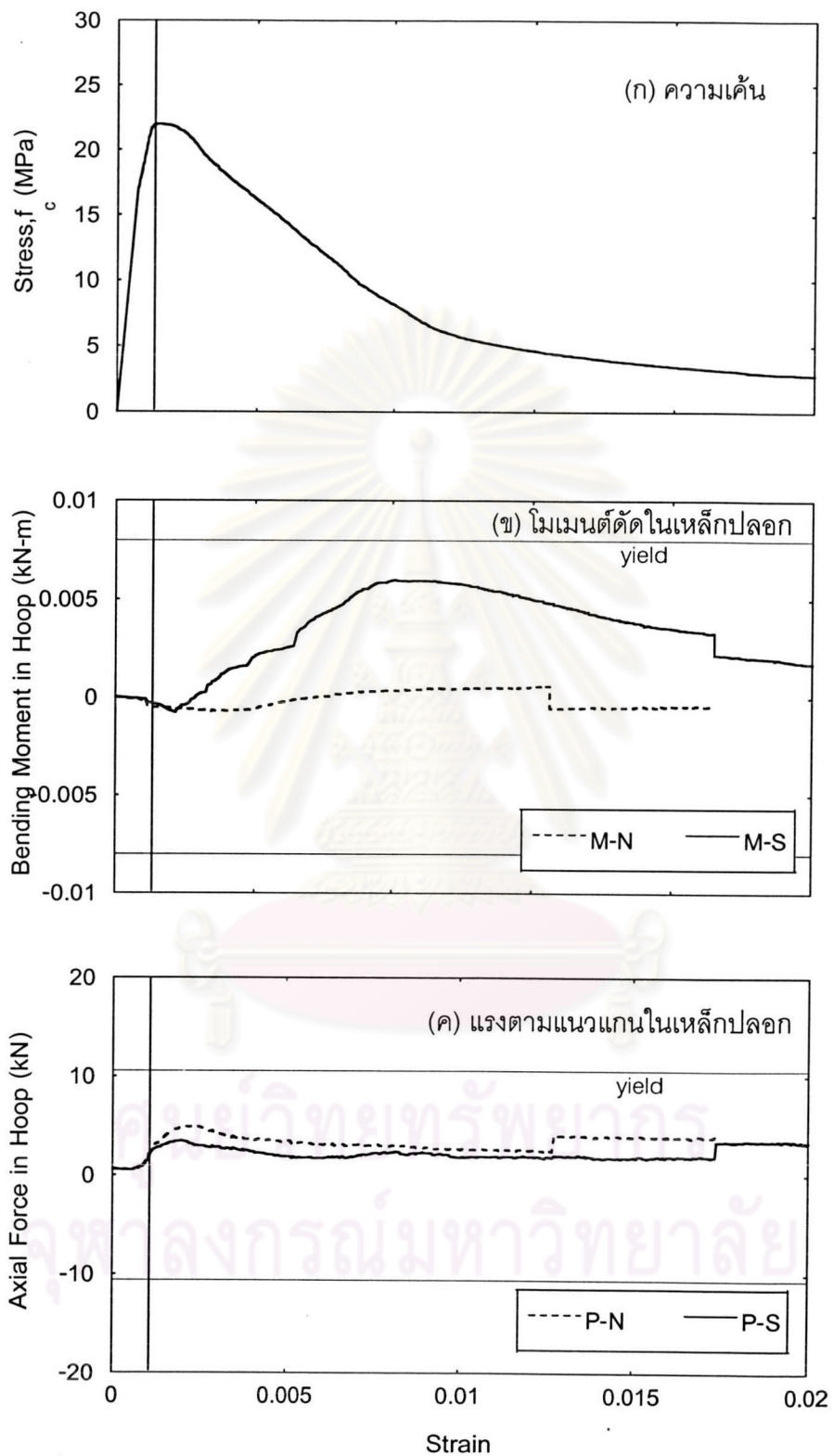


รูปที่ 5.6 แสดงการกำหนดเครื่องหมายของค่าโมเมนต์ดัดและแรงตามแนวแกนในเหล็กปลอก

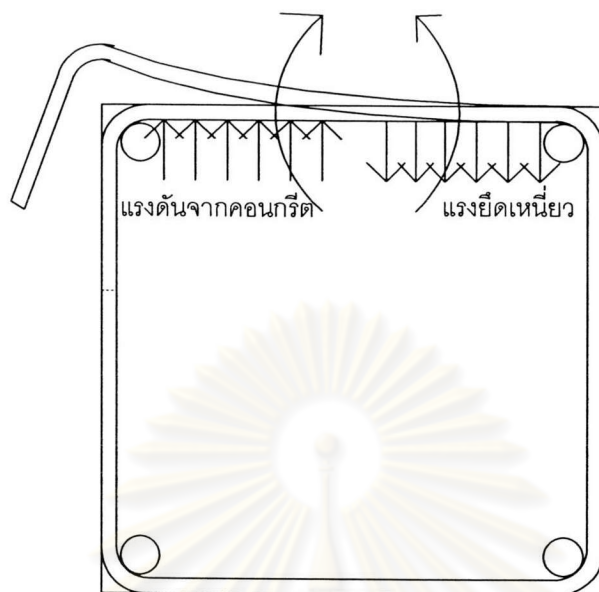
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กปลอก
สำหรับตัวอย่างทดสอบ CB45-1-5

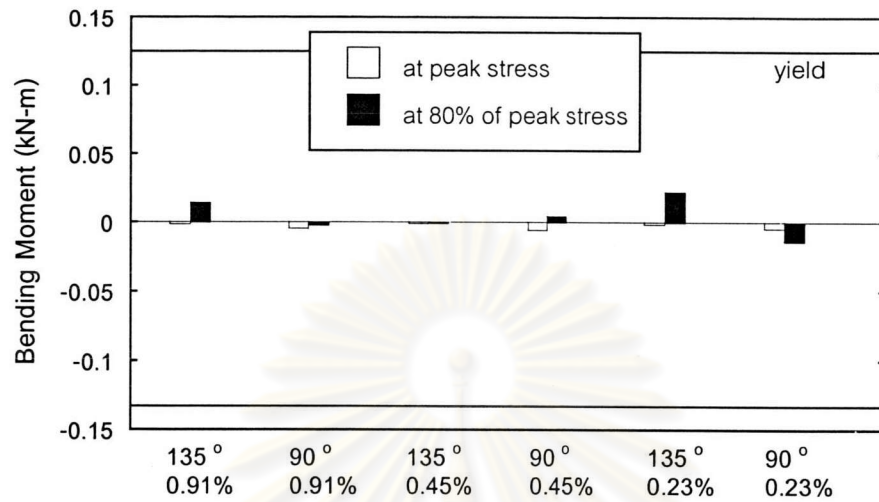


รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กปลอก
สำหรับตัวอย่างทดสอบ CB21-1-3

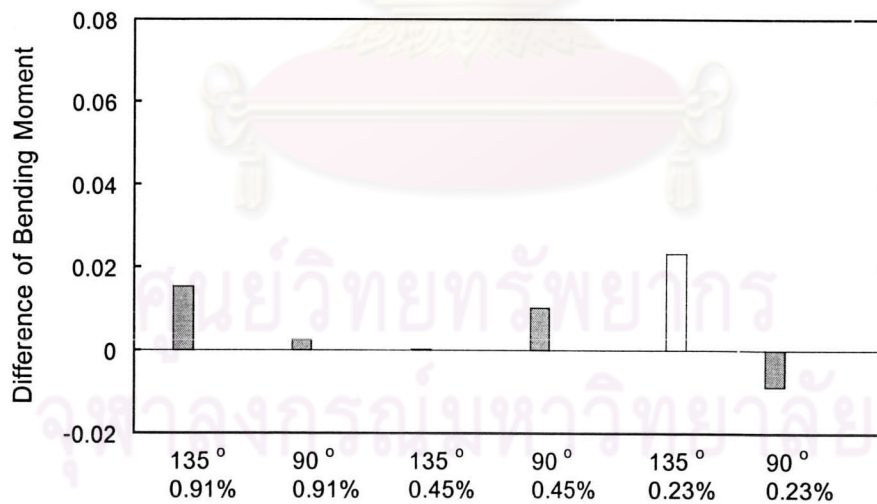


รูปที่ 5.9 แสดงสมมติฐานของการเกิดค่าโมเมนต์ดัดลบ

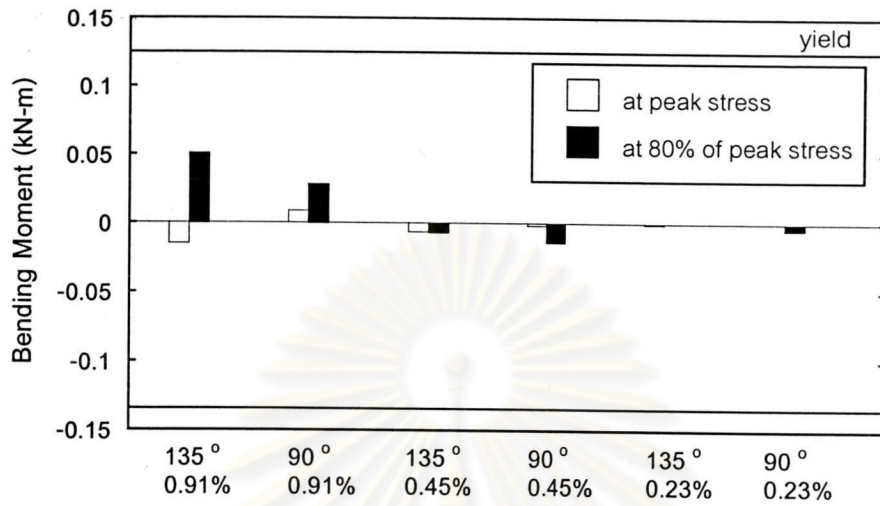
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



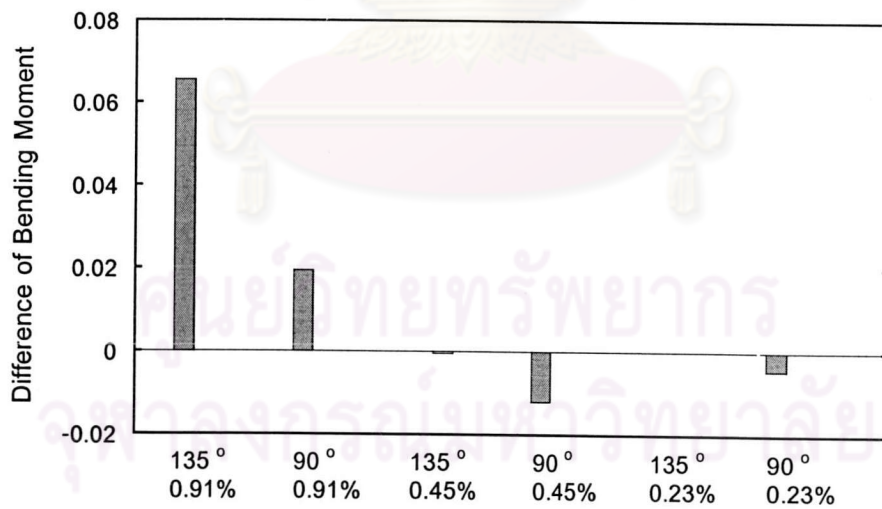
รูปที่ 5.10 แสดงการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ดัดในเหล็กปลอก สำหรับตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีตออกแบบ 21 MPa



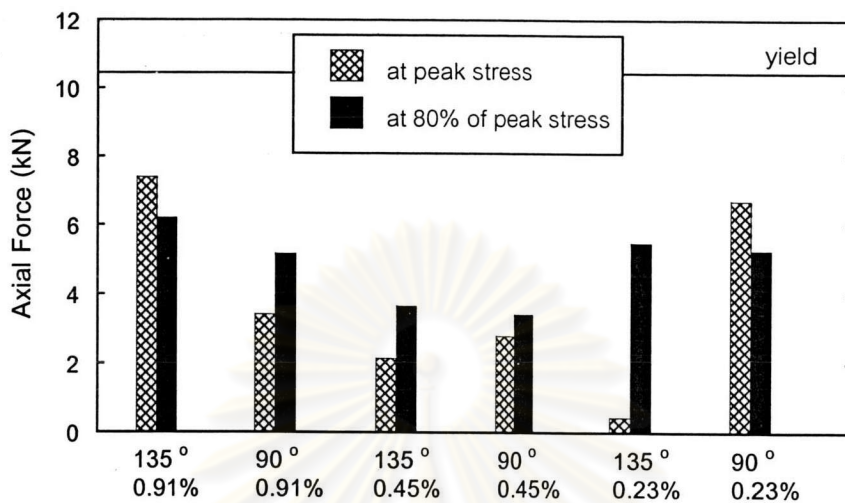
รูปที่ 5.11 แสดงการผลต่างของค่าโมเมนต์ดัดในเหล็กปลอก สำหรับตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีตออกแบบ 21 MPa



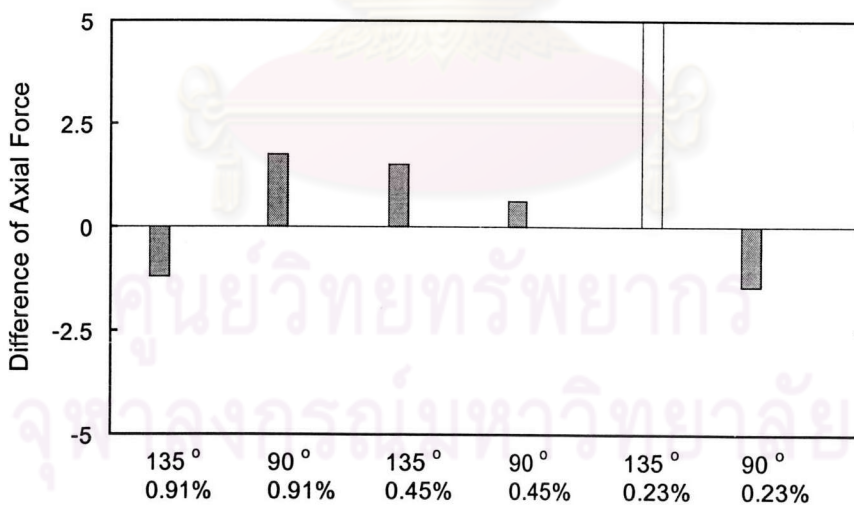
รูปที่ 5.12 แสดงการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ดัดในเหล็กปลอก สำหรับตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีตออกแบบ 45 MPa



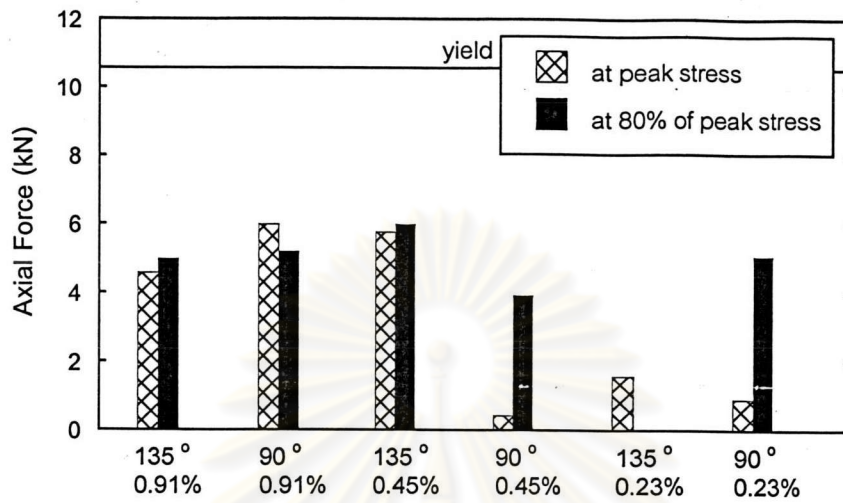
รูปที่ 5.13 แสดงการผลต่างของค่าโมเมนต์ดัดในเหล็กปลอก สำหรับตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีตออกแบบ 45 MPa



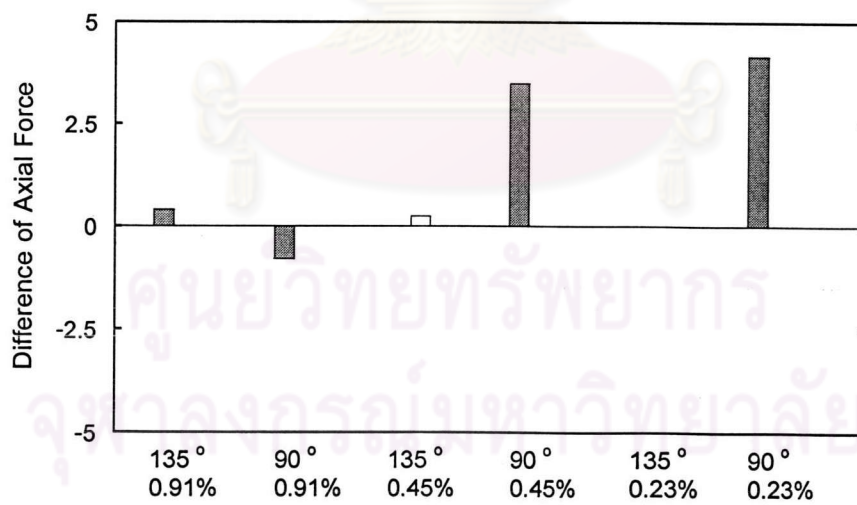
รูปที่ 5.14 แสดงการเปรียบเทียบแรงตามแนวแกนในเหล็กปลอก สำหรับตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีตออกแบบ 21 MPa



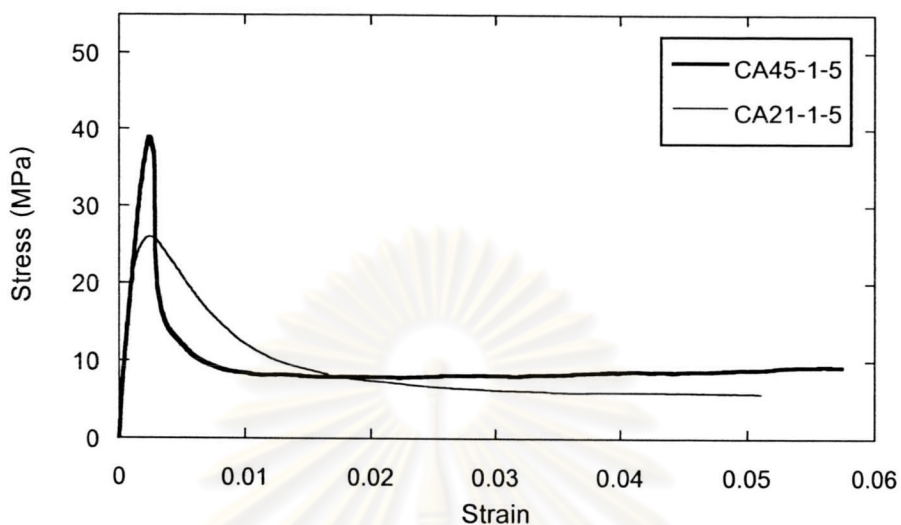
รูปที่ 5.15 แสดงการผลต่างของแรงตามแนวแกนในเหล็กปลอก สำหรับตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีตออกแบบ 21 MPa



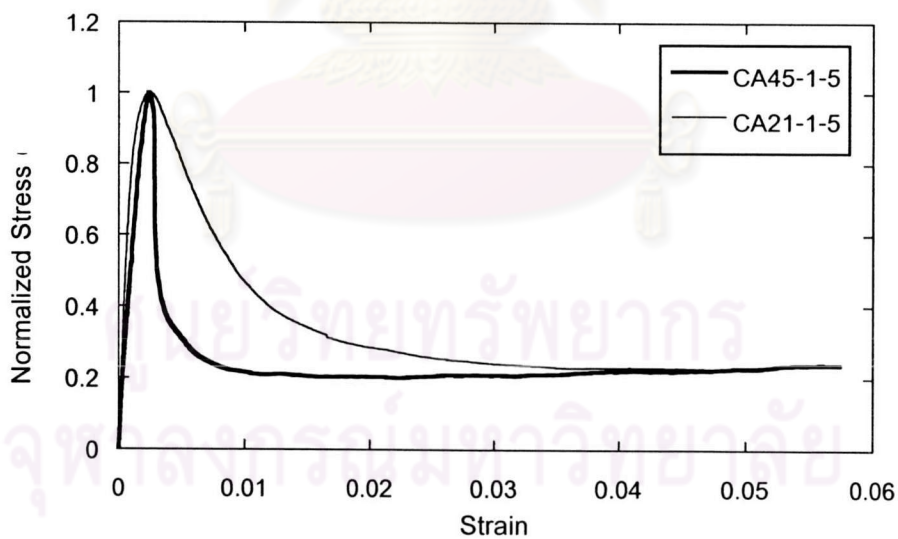
รูปที่ 5.16 แสดงการเปรียบเทียบแรงตามแนวแกนในเหล็กปลอก สำหรับตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีตออกแบบ 45 MPa



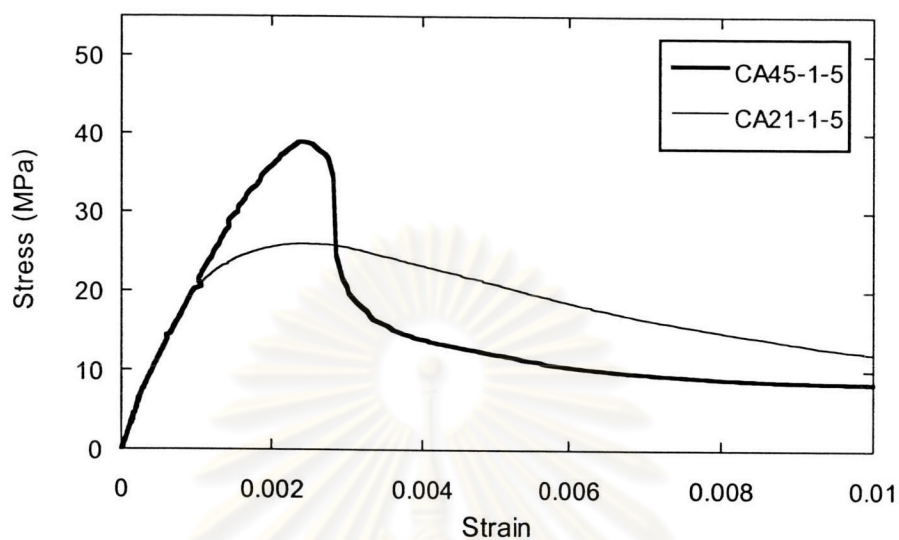
รูปที่ 5.17 แสดงการผลต่างความชันของแรงตามแนวแกนในเหล็กปลอก สำหรับตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังคอนกรีตออกแบบ 45 MPa



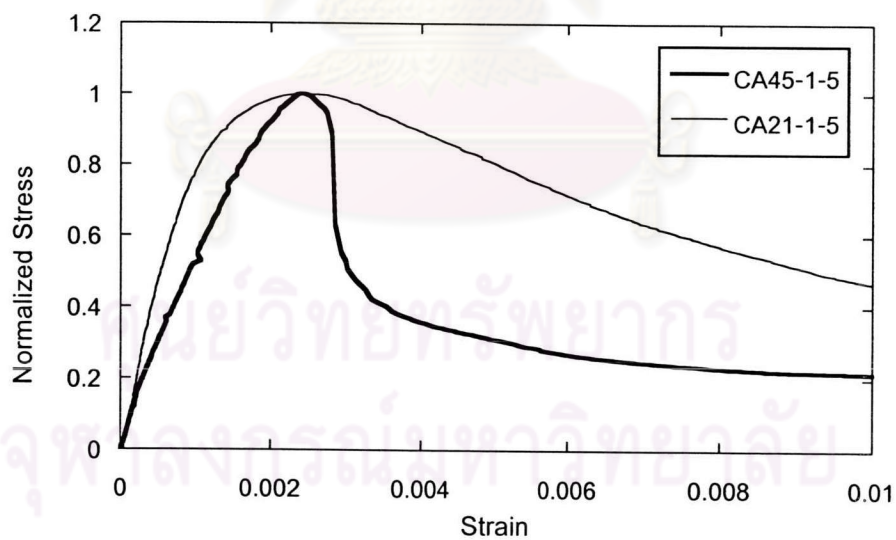
รูปที่ 5.18 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
(ของอ 135 องศา $\rho_h = 0.91\%$)



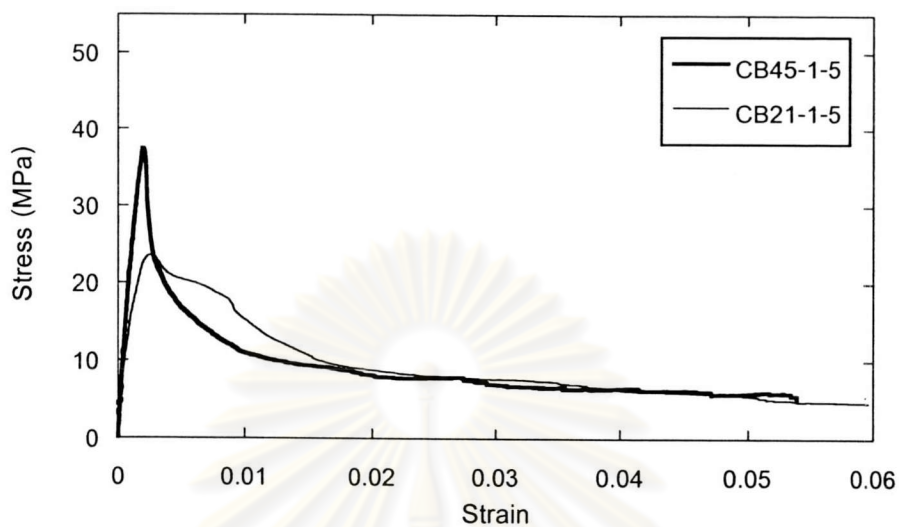
รูปที่ 5.19 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 135 องศา $\rho_h = 0.91\%$)



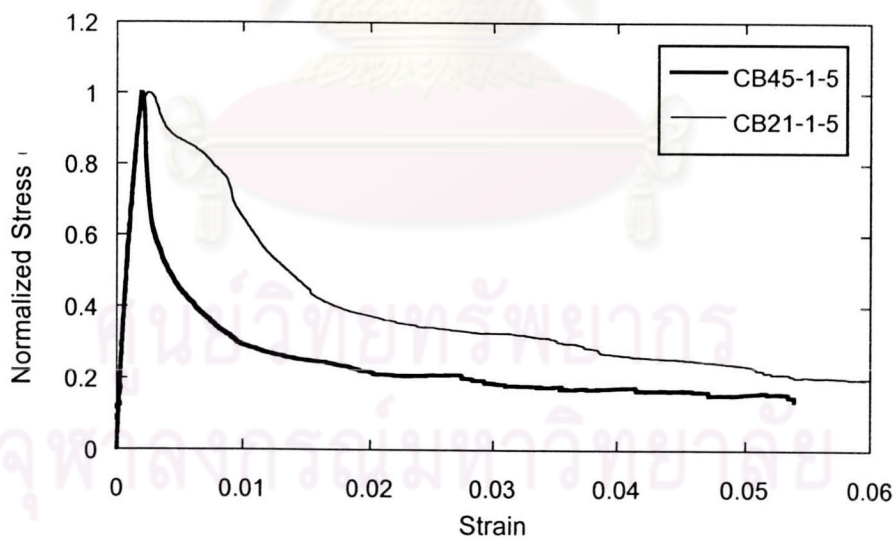
รูปที่ 5.20 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 (ของอ 135 องศา $\rho_h = 0.91\%$)



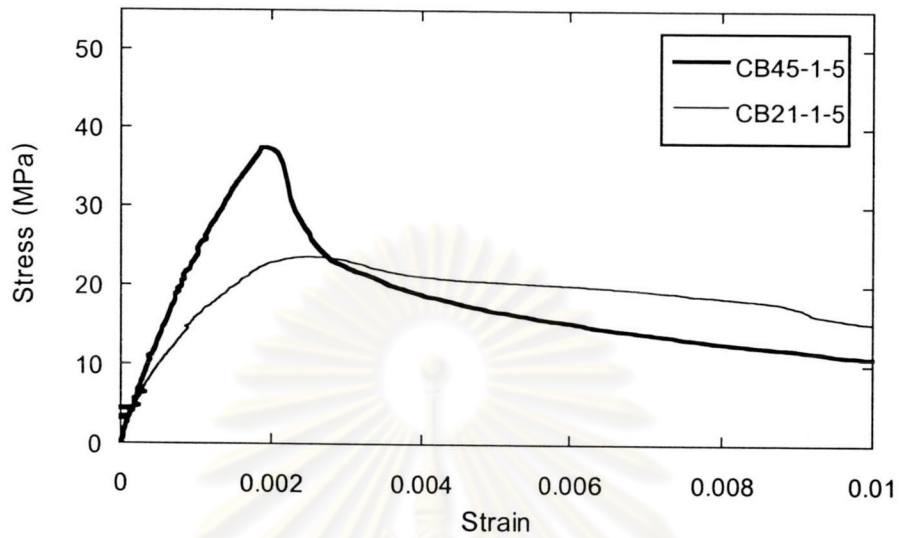
รูปที่ 5.21 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 135 องศา $\rho_h = 0.91\%$)



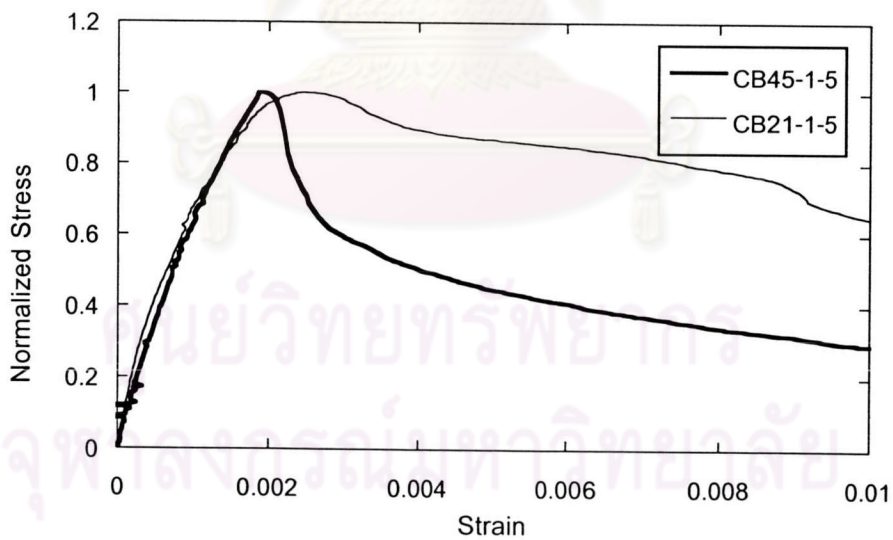
รูปที่ 5.22 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
(ของอ 90 องศา $\rho_h = 0.91\%$)



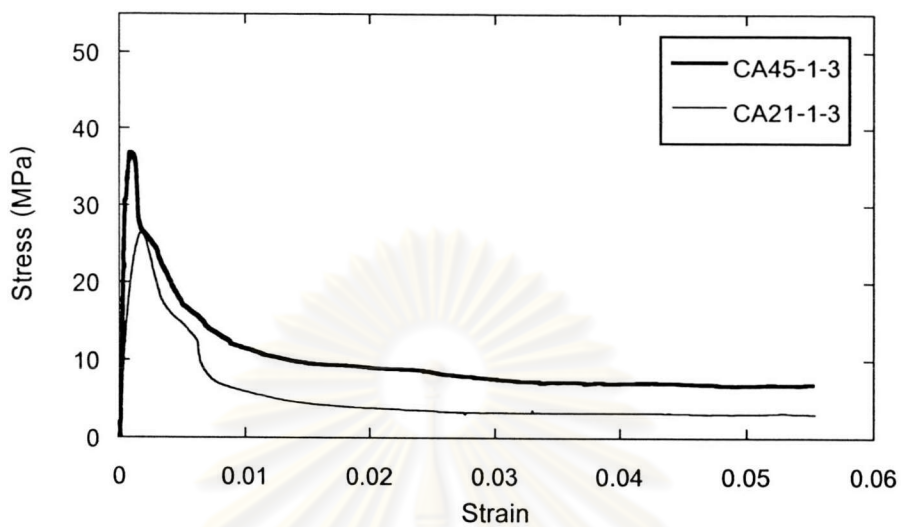
รูปที่ 5.23 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 90 องศา $\rho_h = 0.91\%$)



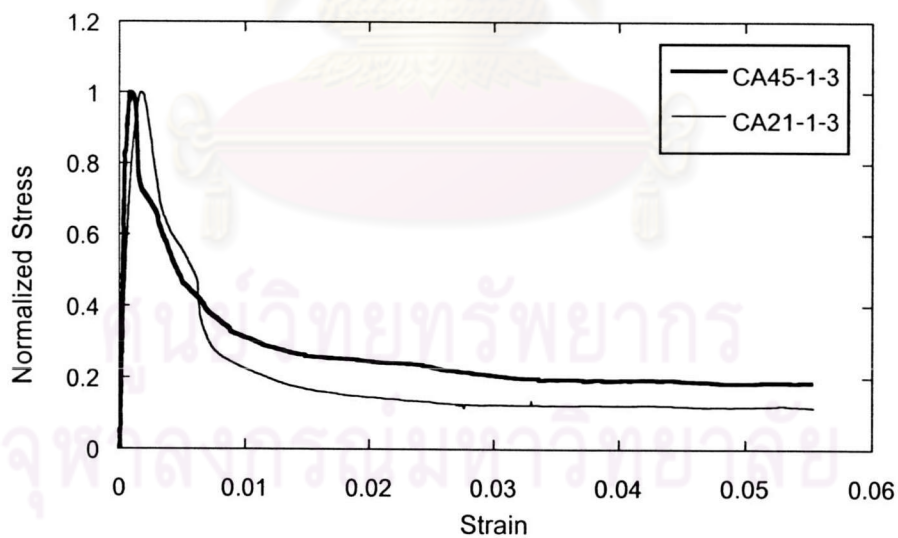
รูปที่ 5.24 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 (ของอ 90 องศา $\rho_h = 0.91\%$)



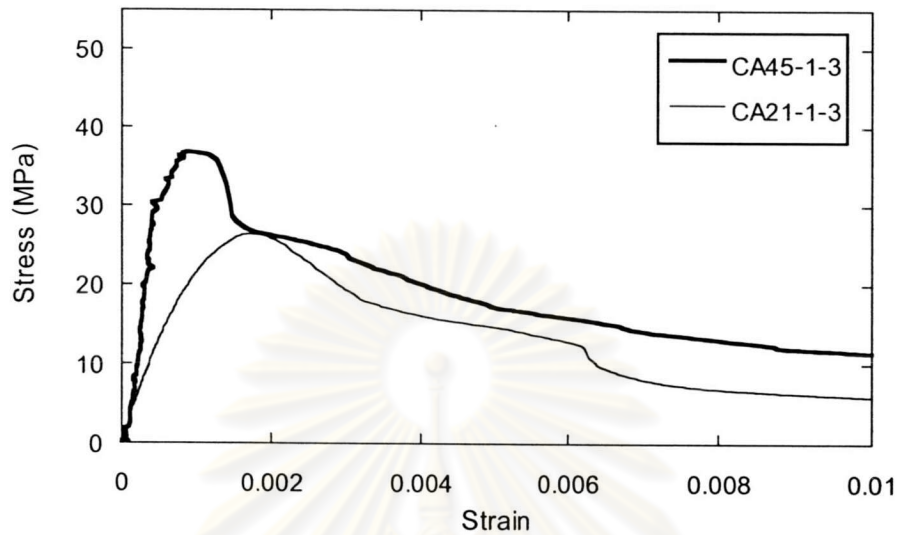
รูปที่ 5.25 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้รับสัดส่วนแล้ว (ของอ 90 องศา $\rho_h = 0.91\%$)



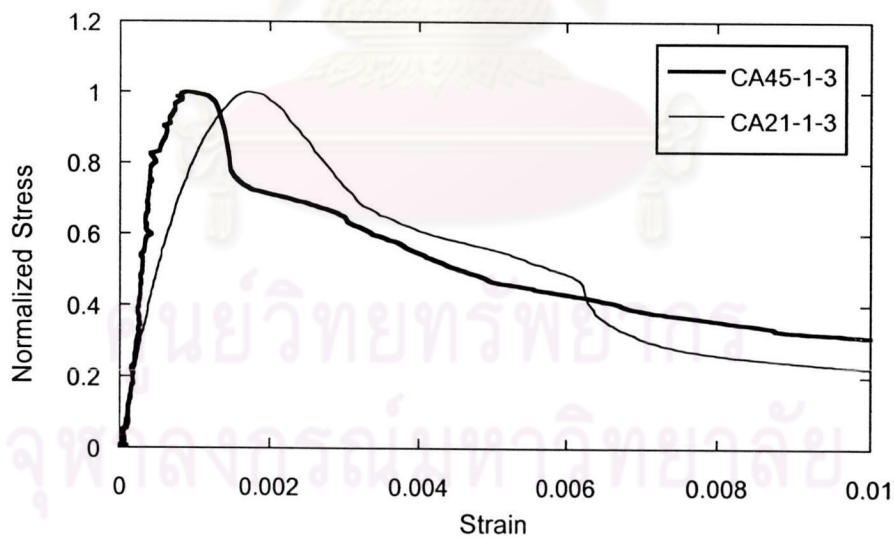
รูปที่ 5.26 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
(ของอ 135 องศา $\rho_h = 0.45\%$)



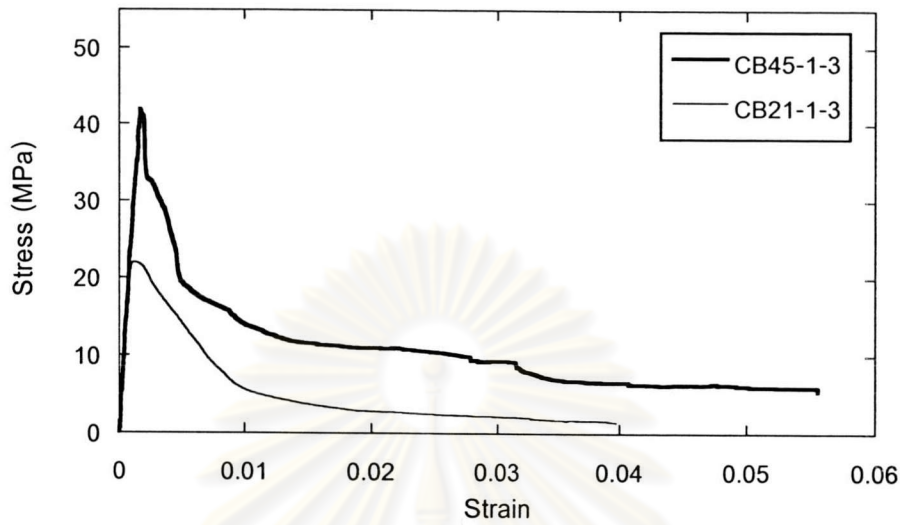
รูปที่ 5.27 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 135 องศา $\rho_h = 0.45\%$)



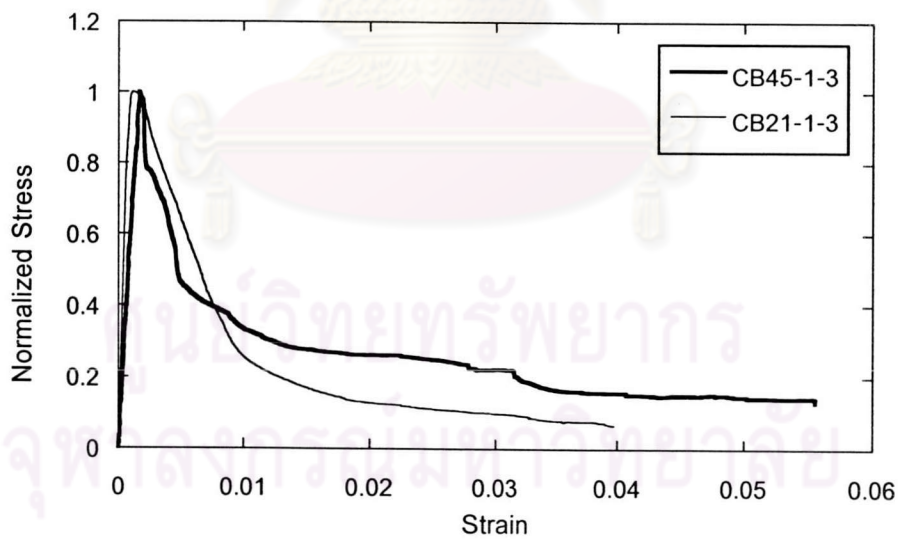
รูปที่ 5.28 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 (ของอ 135 องศา $\rho_h = 0.45\%$)



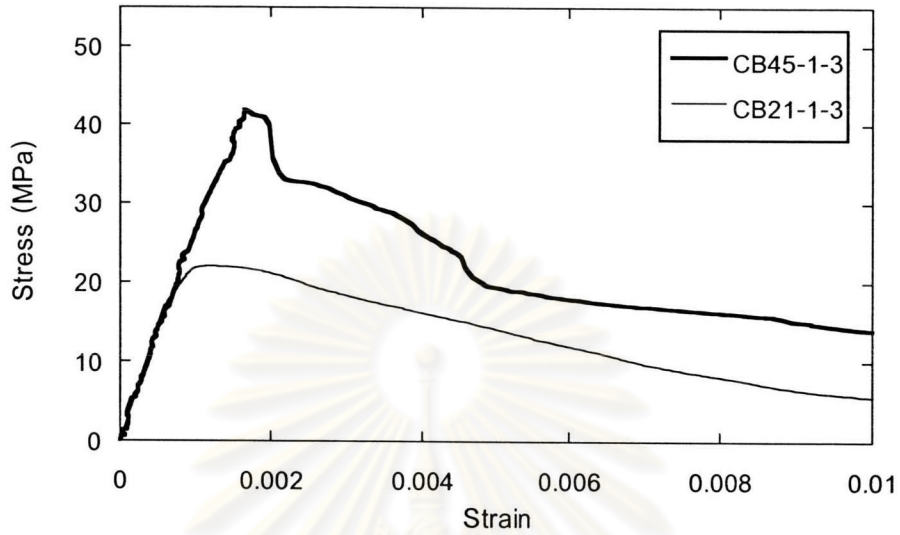
รูปที่ 5.29 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 135 องศา $\rho_h = 0.45\%$)



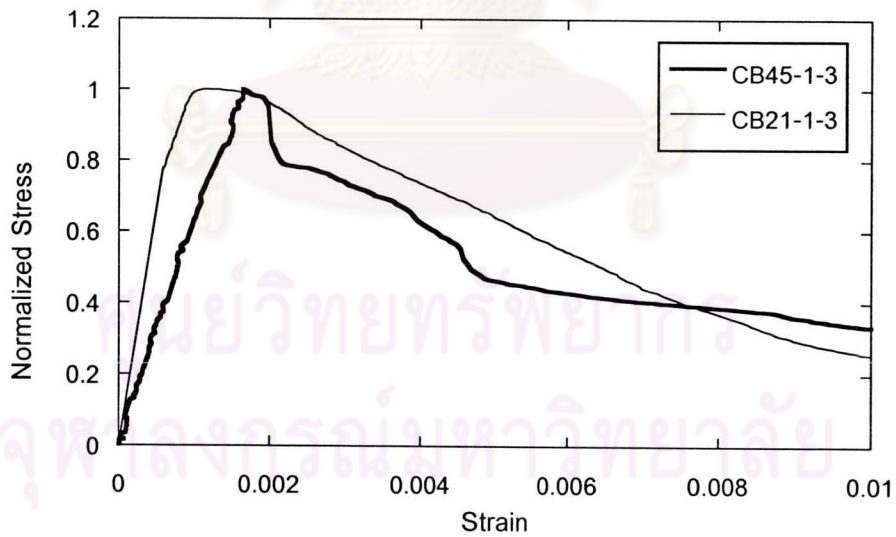
รูปที่ 5.30 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
(ของอ 90 องศา $\rho_h = 0.45\%$)



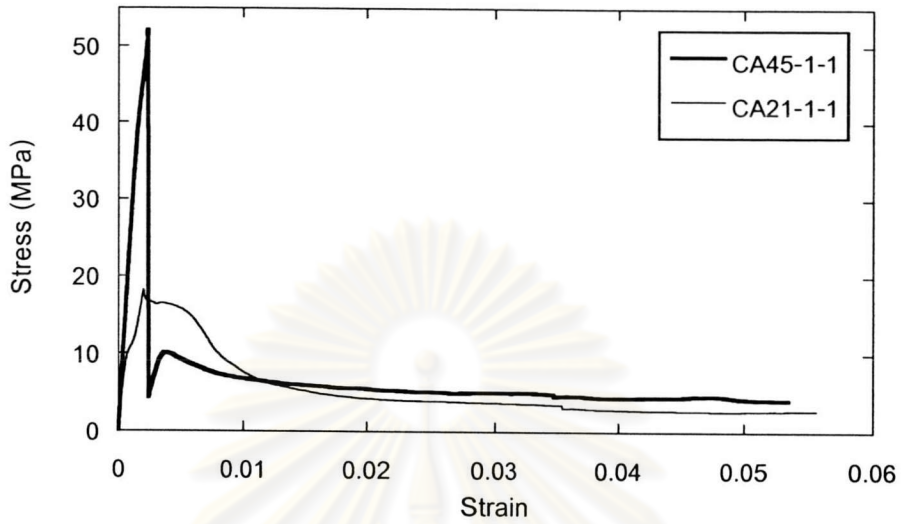
รูปที่ 5.31 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
ที่ได้รับสัดส่วนแล้ว (ของอ 90 องศา $\rho_h = 0.45\%$)



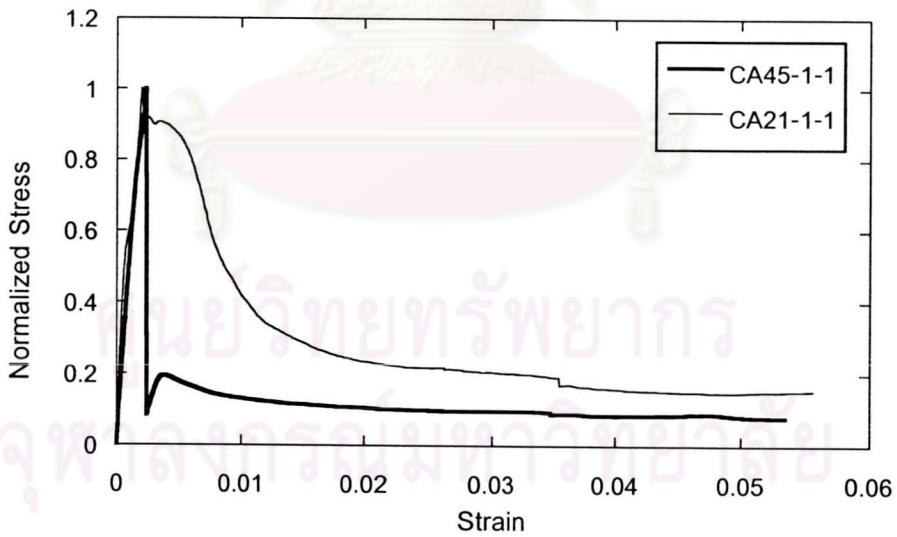
รูปที่ 5.32 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 (ของอ 90 องศา $\rho_h = 0.45\%$)



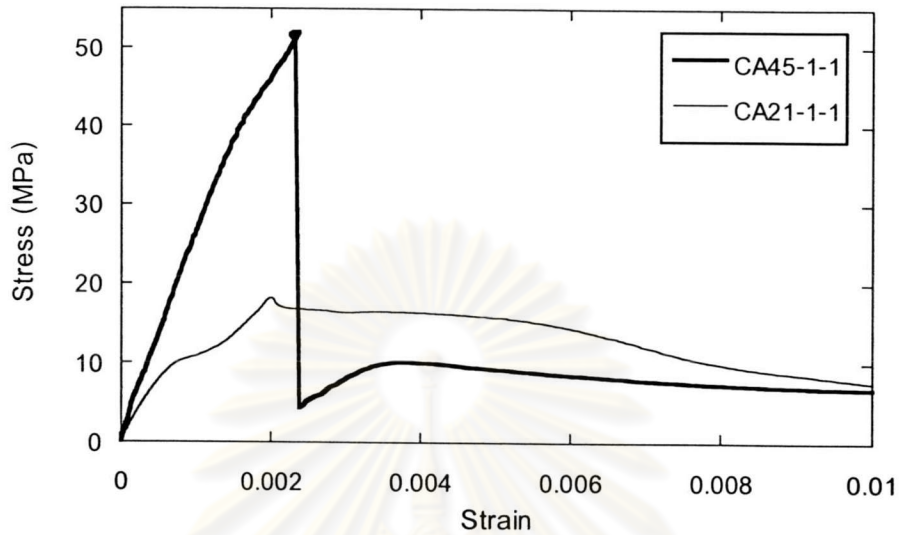
รูปที่ 5.33 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 90 องศา $\rho_h = 0.45\%$)



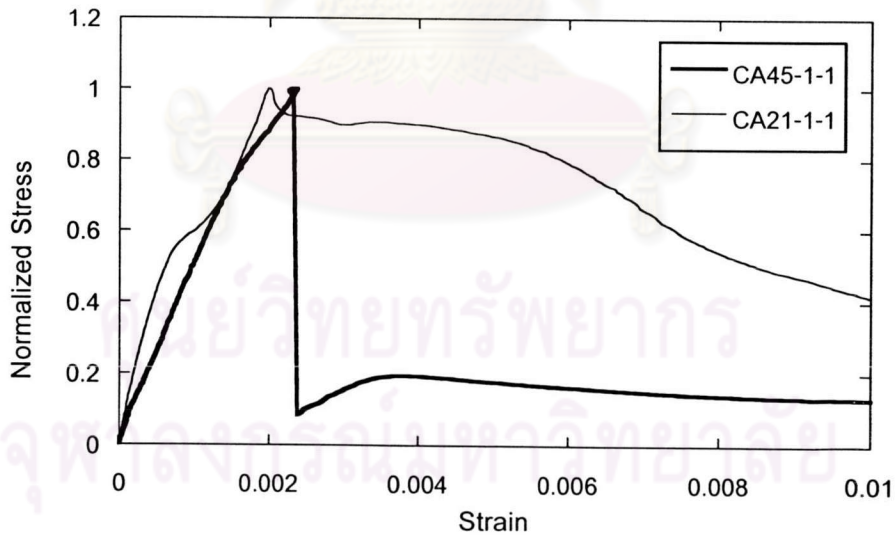
รูปที่ 5.34 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
(ของอ 135 องศา $\rho_h = 0.23\%$)



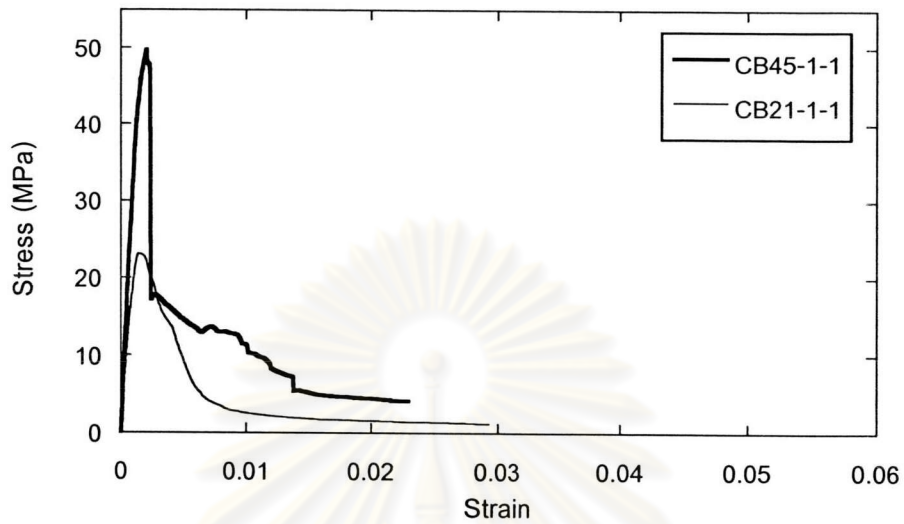
รูปที่ 5.35 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 135 องศา $\rho_h = 0.23\%$)



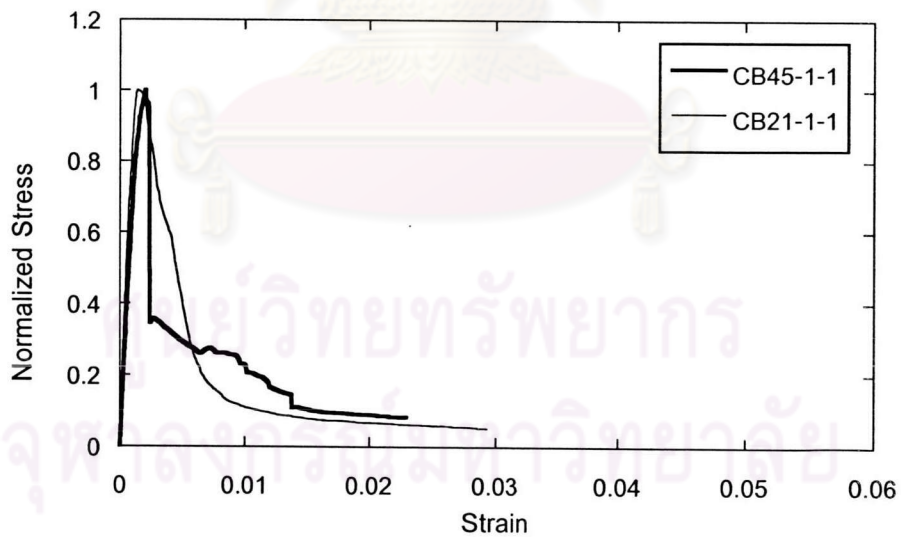
รูปที่ 5.36 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 (ของอ 135 องศา $\rho_h = 0.23\%$)



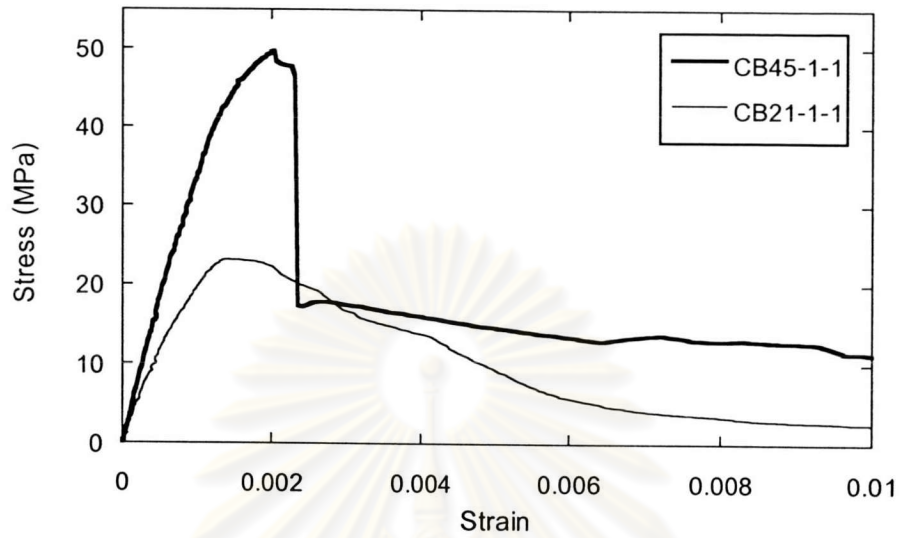
รูปที่ 5.37 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 135 องศา $\rho_h = 0.23\%$)



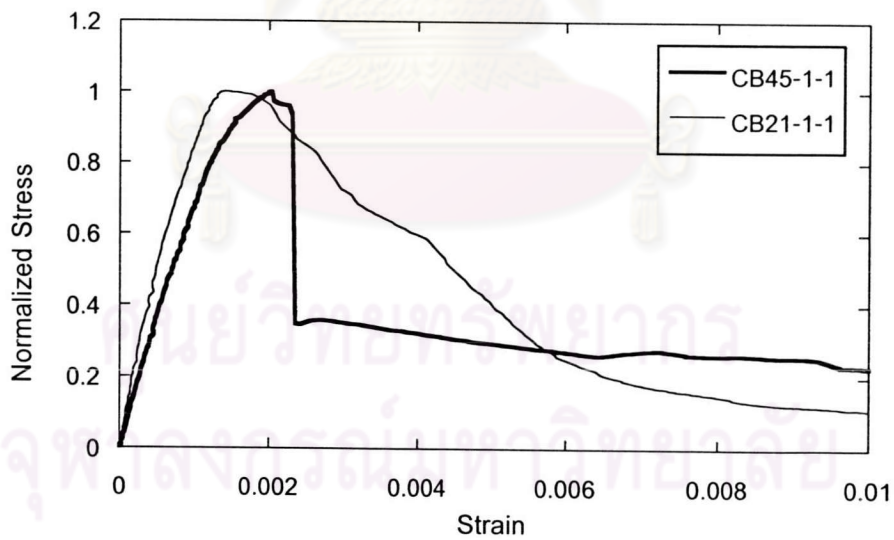
รูปที่ 5.38 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
(ของอ 90 องศา $\rho_h = 0.23\%$)



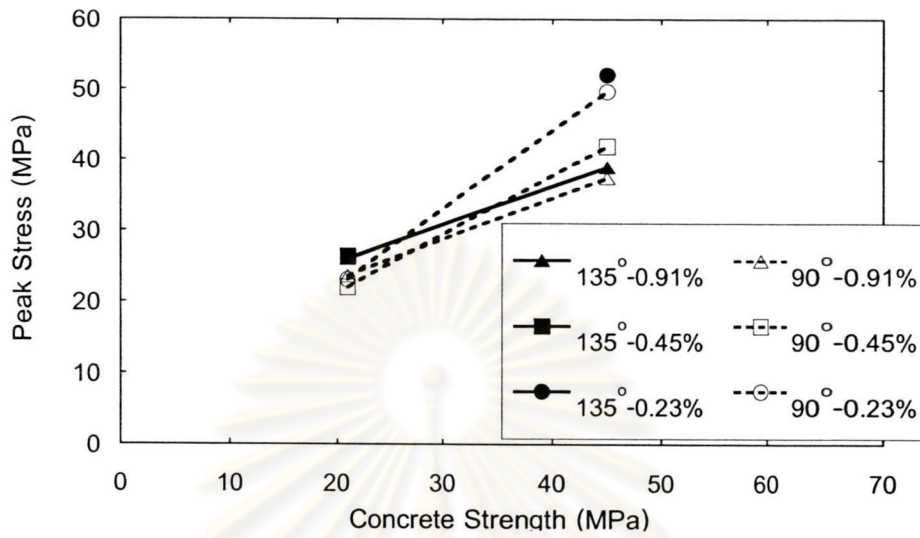
รูปที่ 5.39 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
ที่ได้รับสัดส่วนแล้ว (ของอ 90 องศา $\rho_h = 0.23\%$)



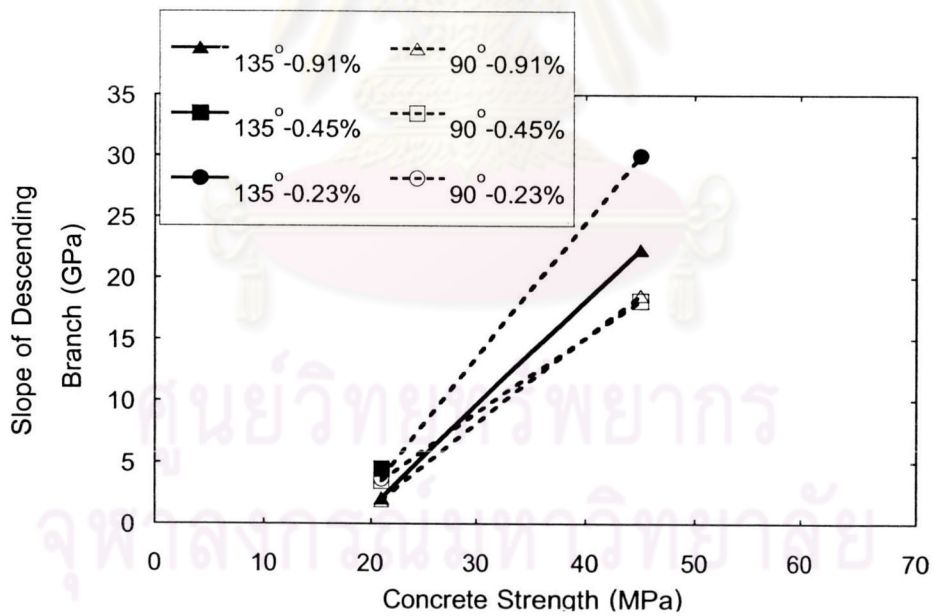
รูปที่ 5.40 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 (ของอ 90 องศา $\rho_h = 0.23\%$)



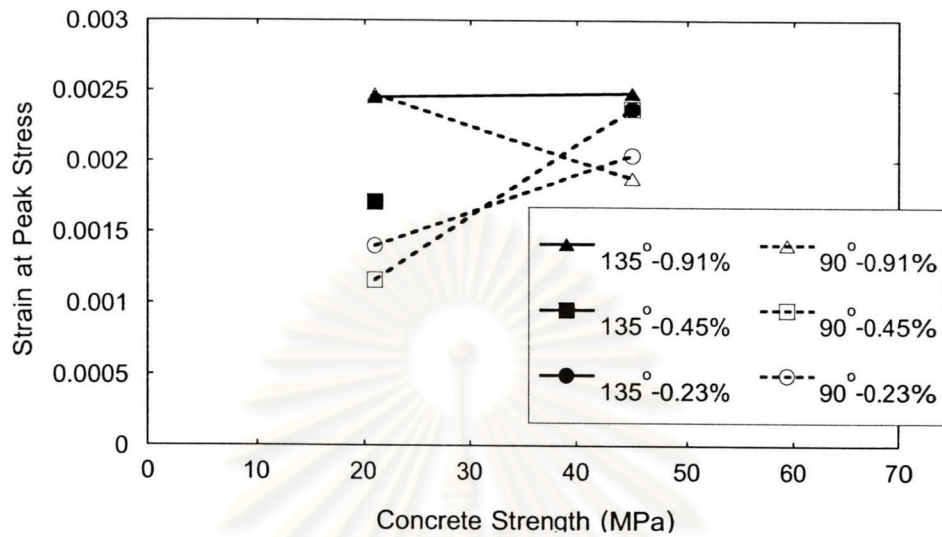
รูปที่ 5.41 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้รับสัดส่วนแล้ว (ของอ 90 องศา $\rho_h = 0.23\%$)



รูปที่ 5.42 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อค่าความเค้นสูงสุด

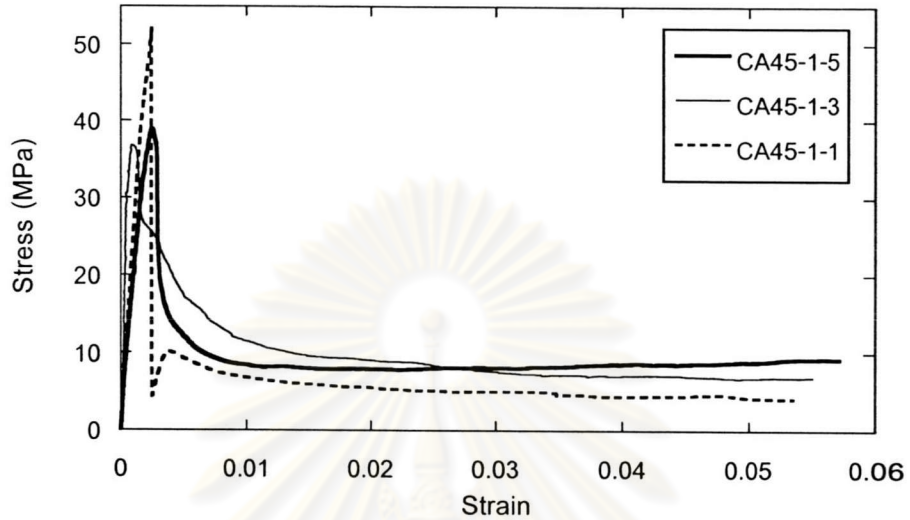


รูปที่ 5.43 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อความชันของกราฟขาลงในช่วงที่ความเค้นลดลงเหลือ 80% ของความเค้นสูงสุด

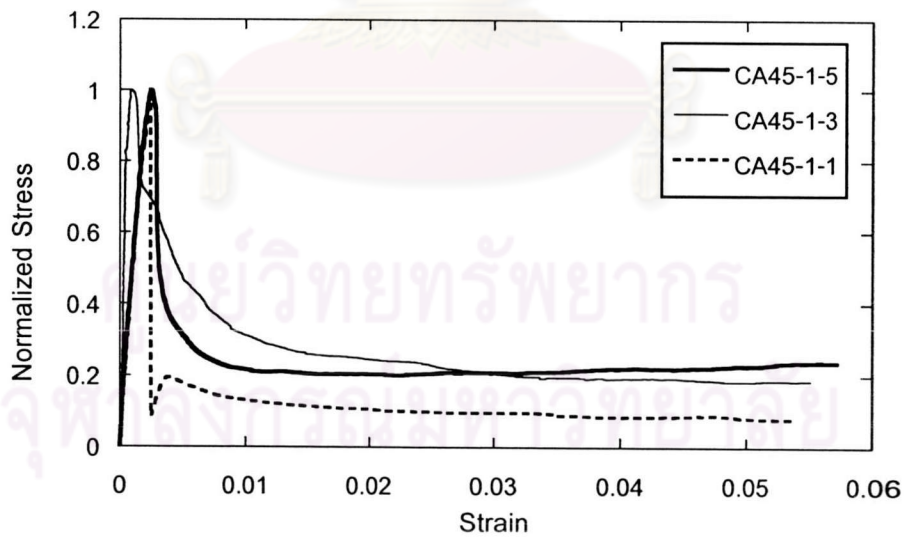


รูปที่ 5.44 กราฟแสดงผลของกำลังคอนกรีตที่มีต่อค่าความเครียดที่ความเค้นสูงสุด

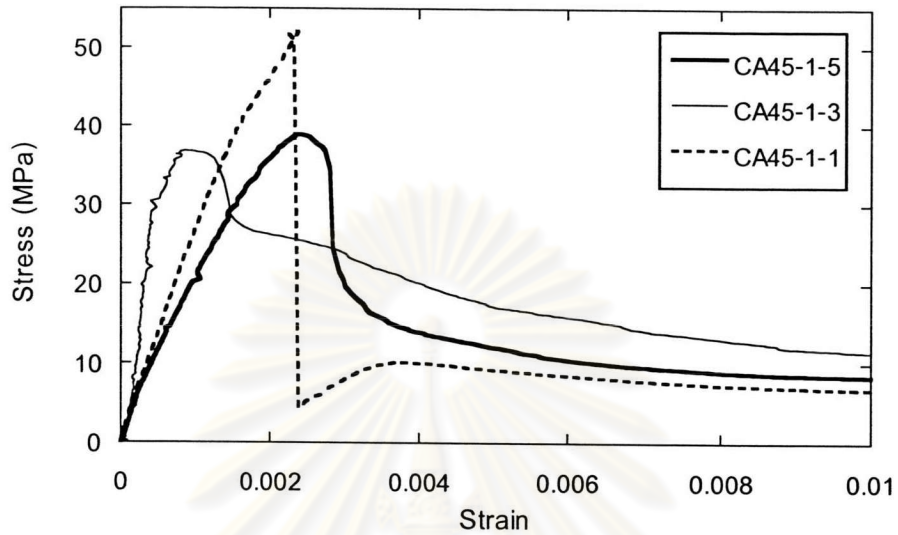
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



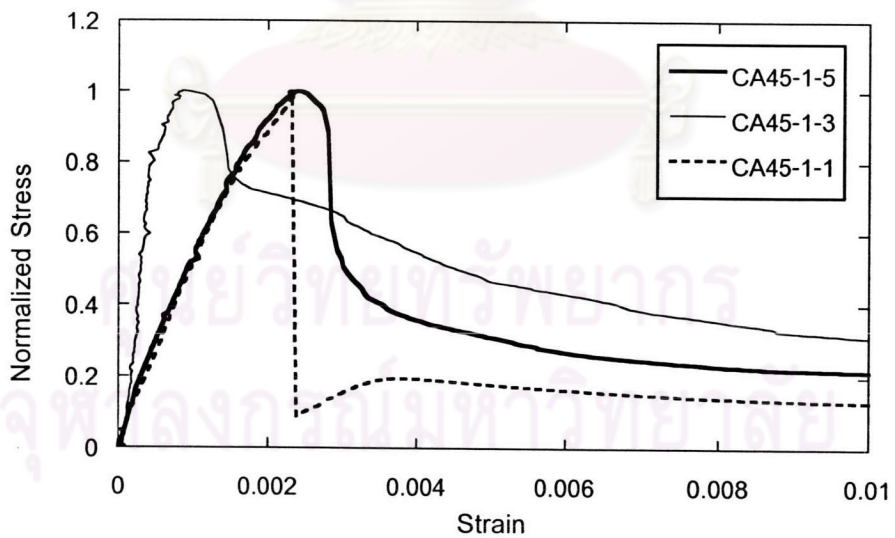
รูปที่ 5.45 กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
(ของอ 135 องศา $f'_c = 45$ MPa)



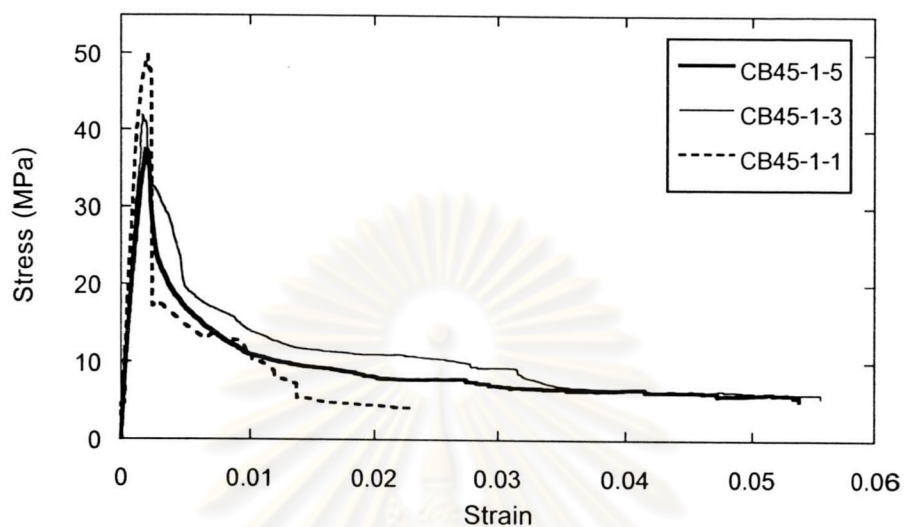
รูปที่ 5.46 กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 135 องศา $f'_c = 45$ MPa)



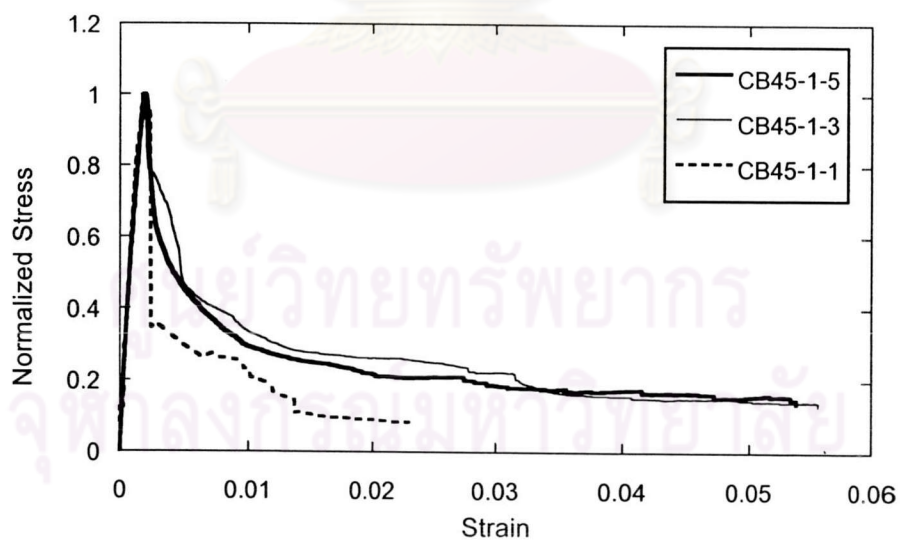
รูปที่ 5.47 กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 (ของอ 135 องศา $f'_c = 45$ MPa)



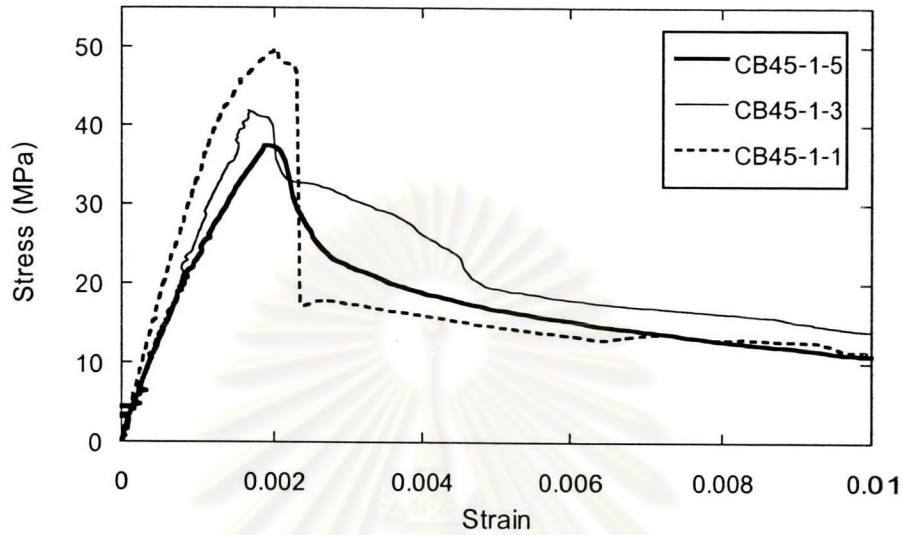
รูปที่ 5.48 กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 135 องศา $f'_c = 45$ MPa)



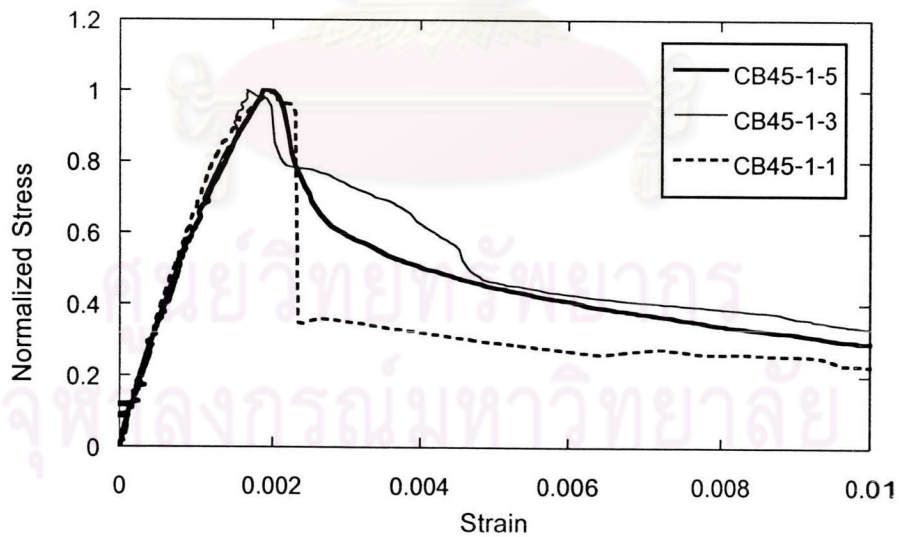
รูปที่ 5.49 กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
(ของอ 90 องศา $f'_c = 45$ MPa)



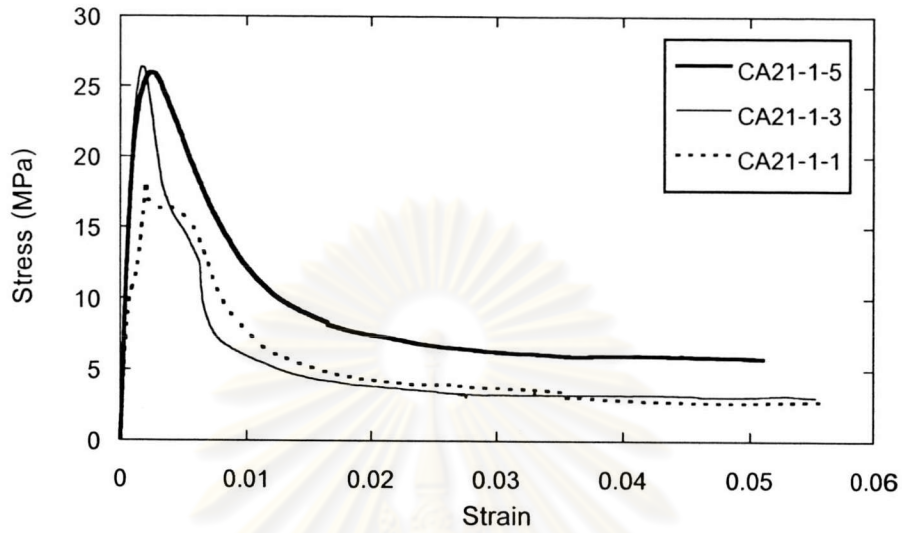
รูปที่ 5.50 กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 90 องศา $f'_c = 45$ MPa)



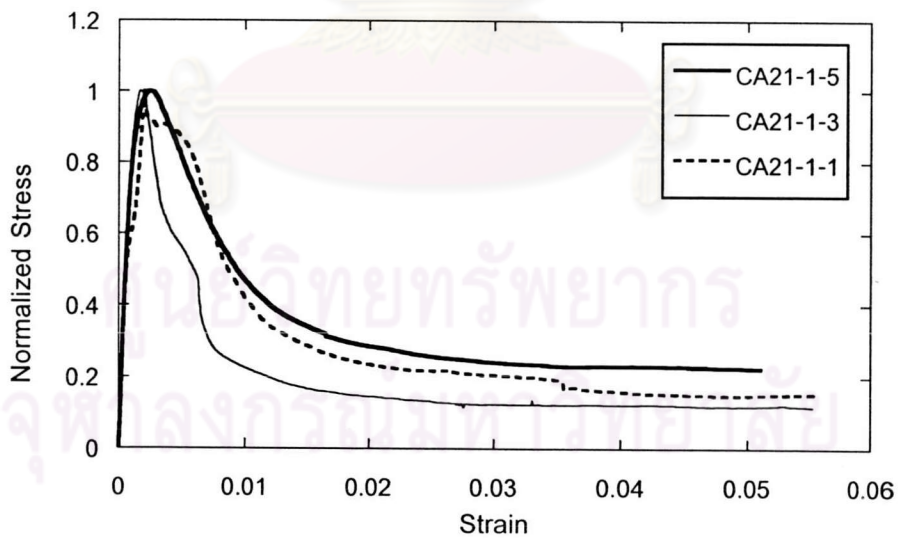
รูปที่ 5.51 กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 (ของอ 90 องศา $f'_c = 45$ MPa)



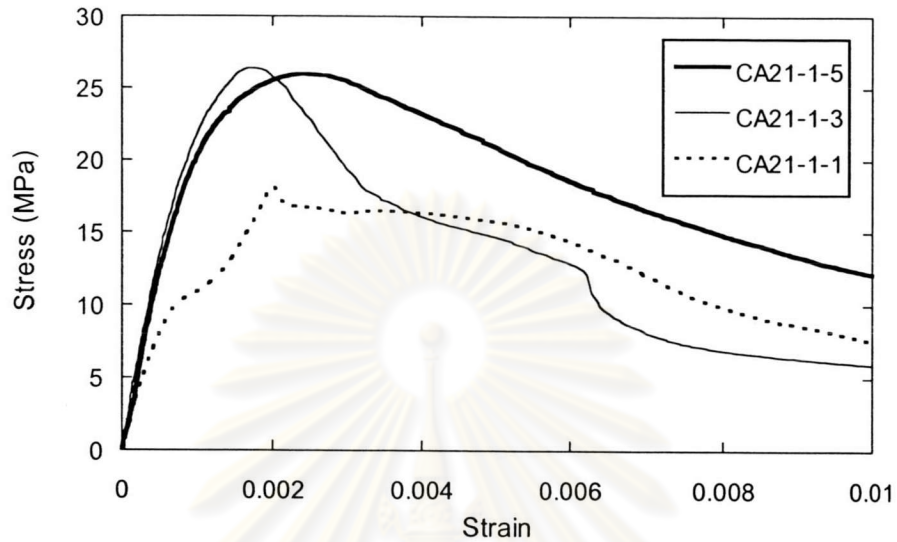
รูปที่ 5.52 กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 90 องศา $f'_c = 45$ MPa)



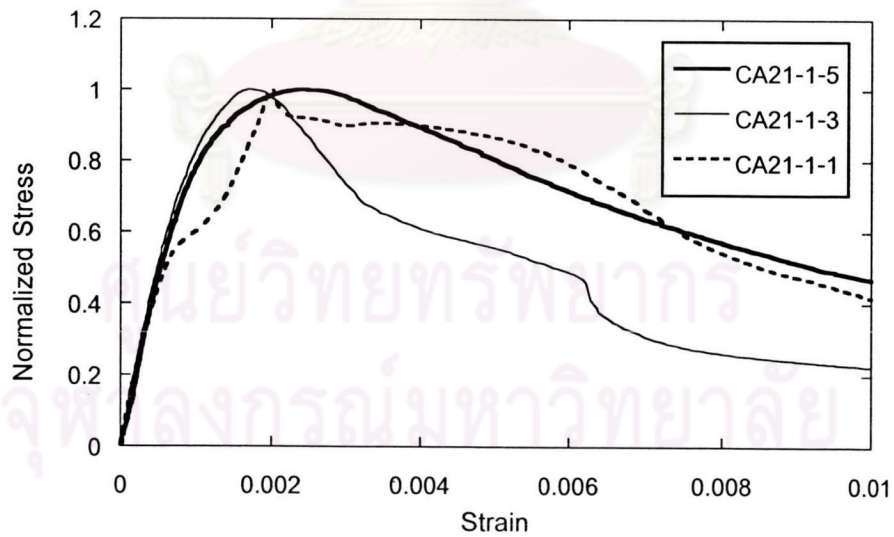
รูปที่ 5.53 กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
(ของอ 135 องศา $f'_c = 21$ MPa)



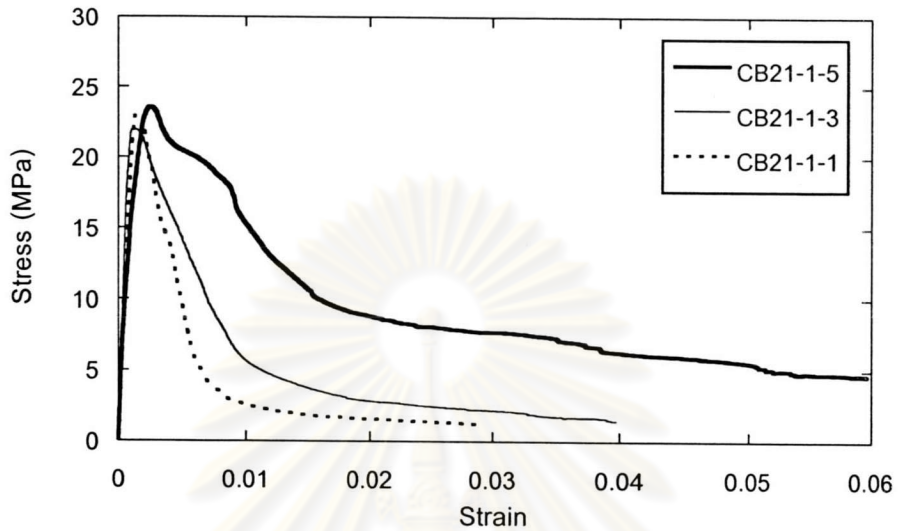
รูปที่ 5.54 กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 135 องศา $f'_c = 21$ MPa)



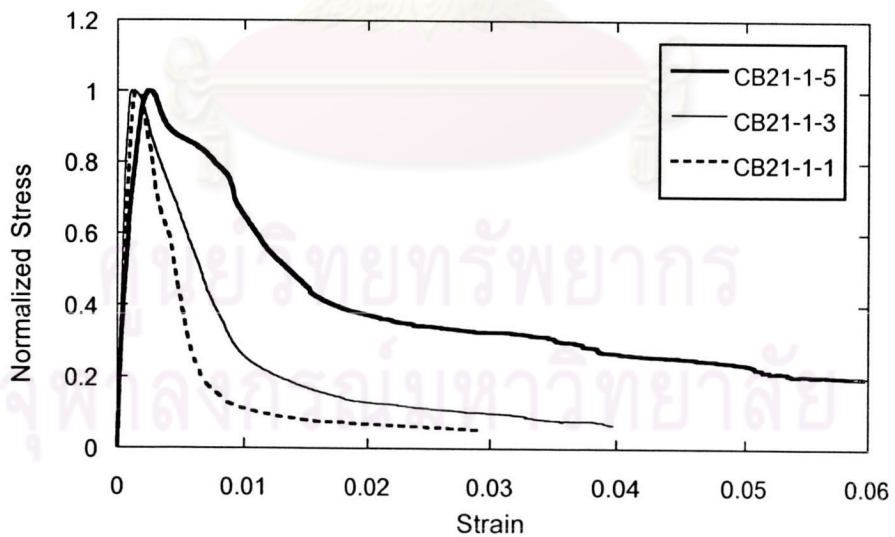
รูปที่ 5.55 กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 (ของอ 135 องศา $f'_c = 21$ MPa)



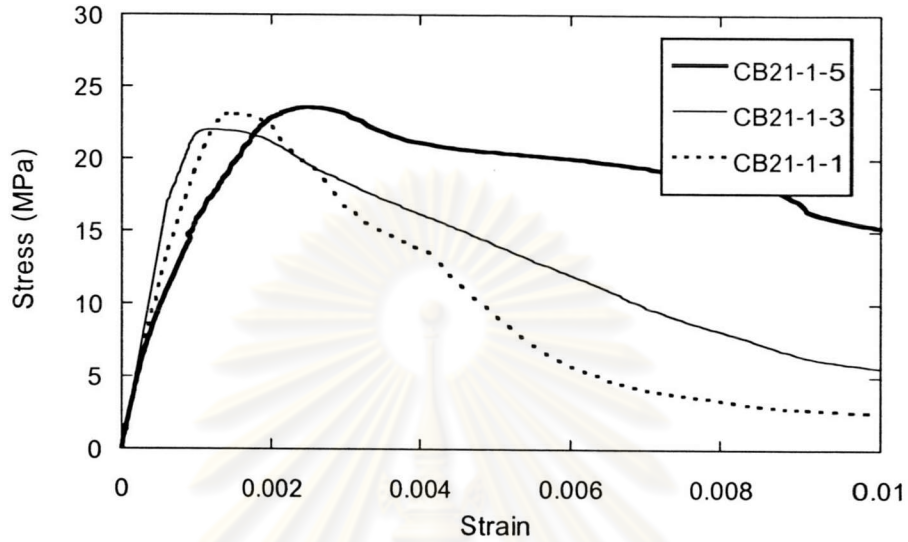
รูปที่ 5.56 กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 135 องศา $f'_c = 21$ MPa)



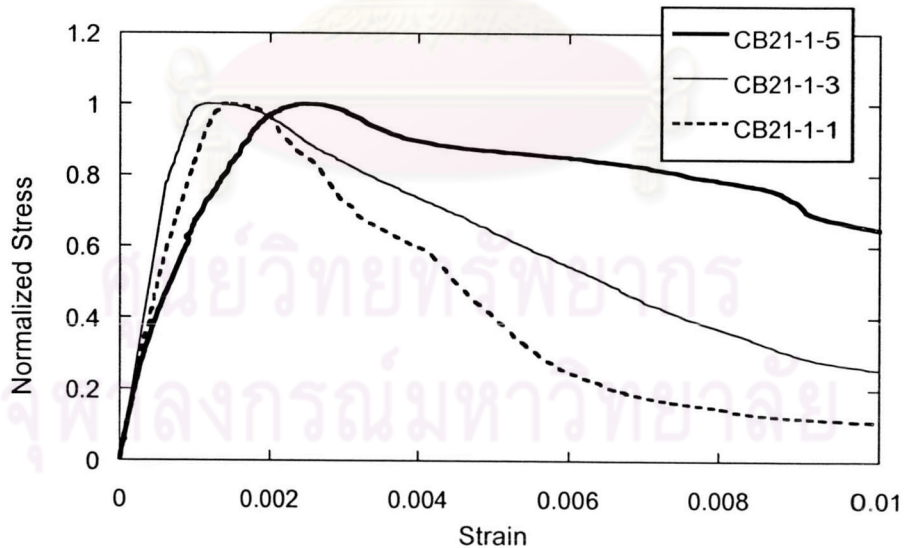
รูปที่ 5.57 กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
(ของอ 90 องศา $f'_c = 21$ MPa)



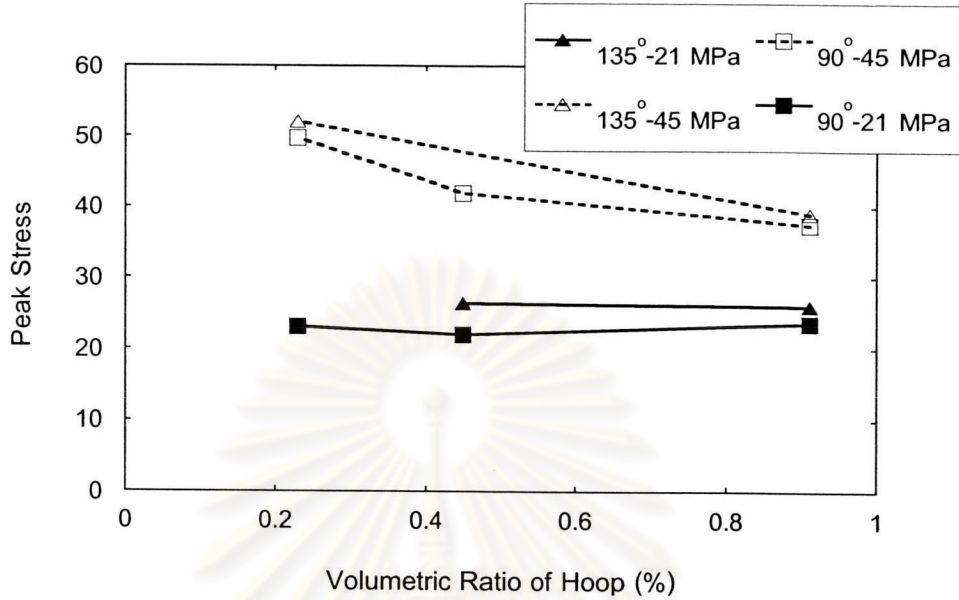
รูปที่ 5.58 กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 90 องศา $f'_c = 21$ MPa)



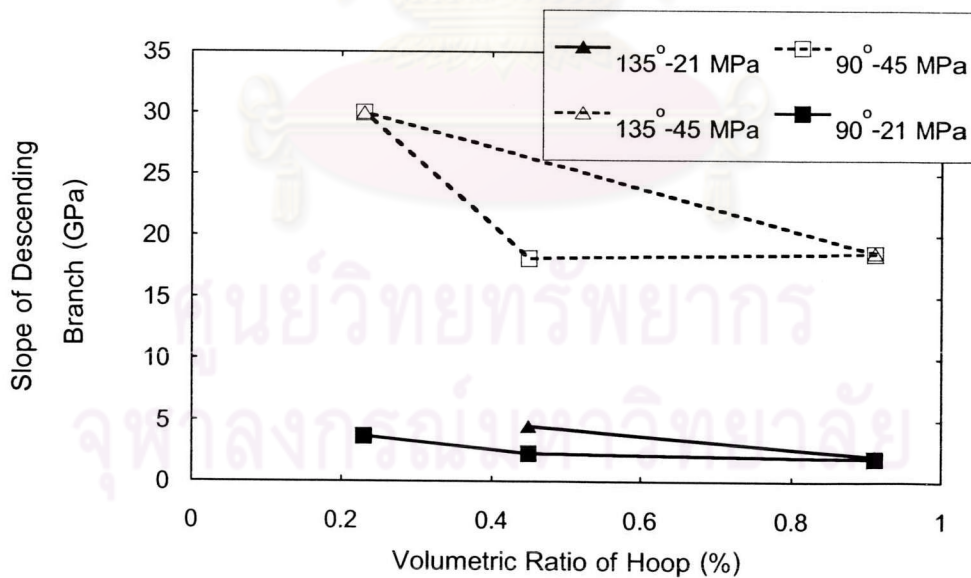
รูปที่ 5.59 กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 (ของอ 90 องศา $f'_c = 21$ MPa)



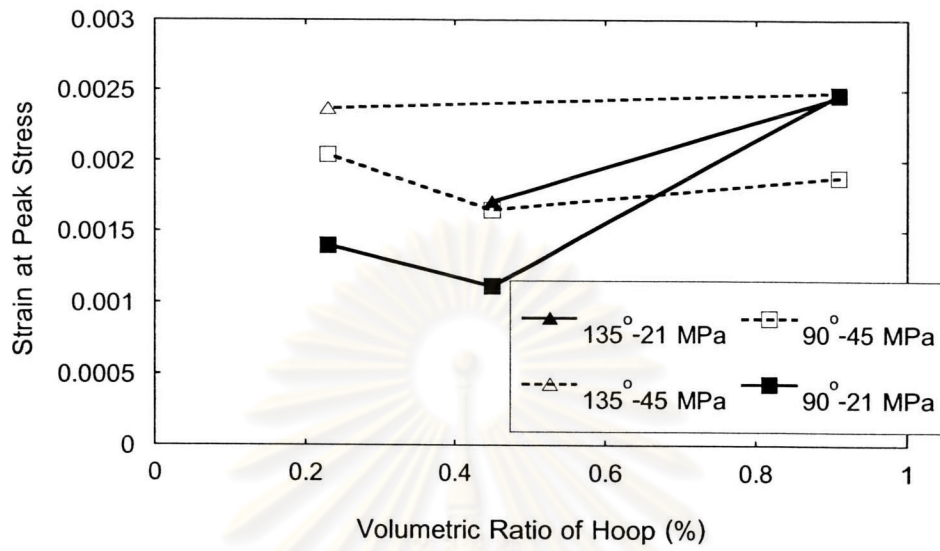
รูปที่ 5.60 กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว (ของอ 90 องศา $f'_c = 21$ MPa)



รูปที่ 5.61 กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อค่าความเค้นสูงสุด

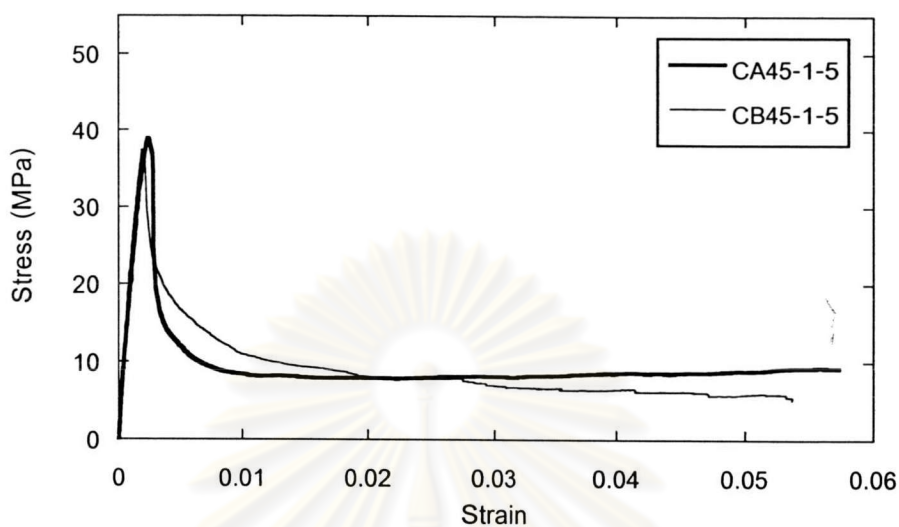


รูปที่ 5.62 กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อความชันของกราฟขาลงในช่วงที่ความเค้นลดลงเหลือ 80% ของความเค้นสูงสุด

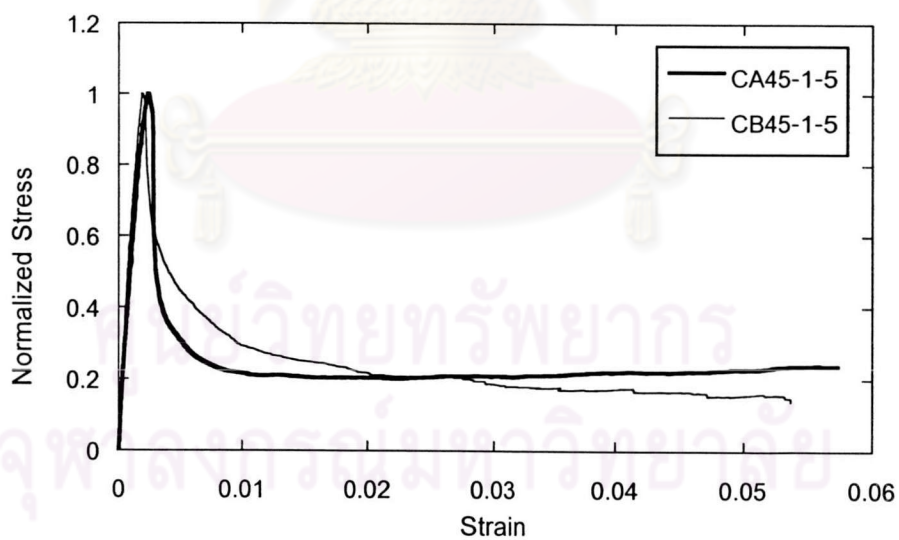


รูปที่ 5.63 กราฟแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่มีต่อค่าความเครียดที่ความเค้นสูงสุด

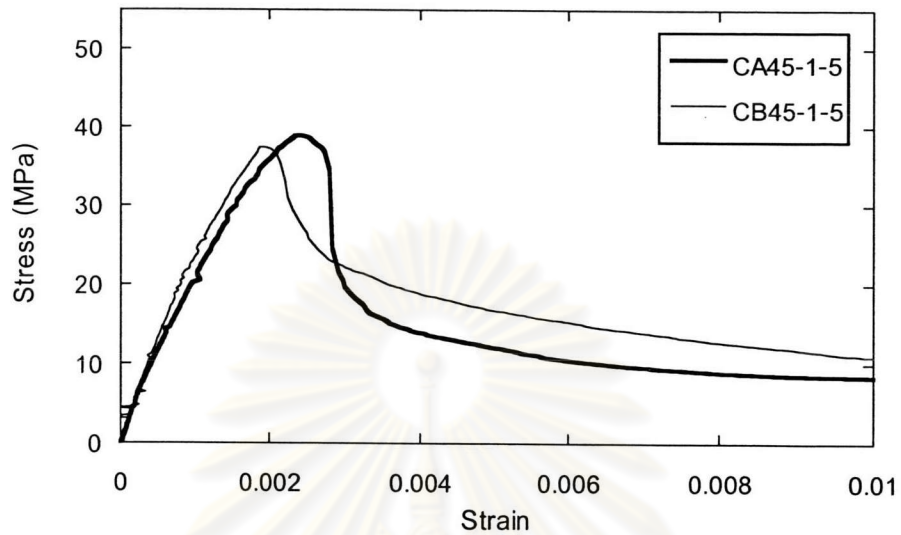
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



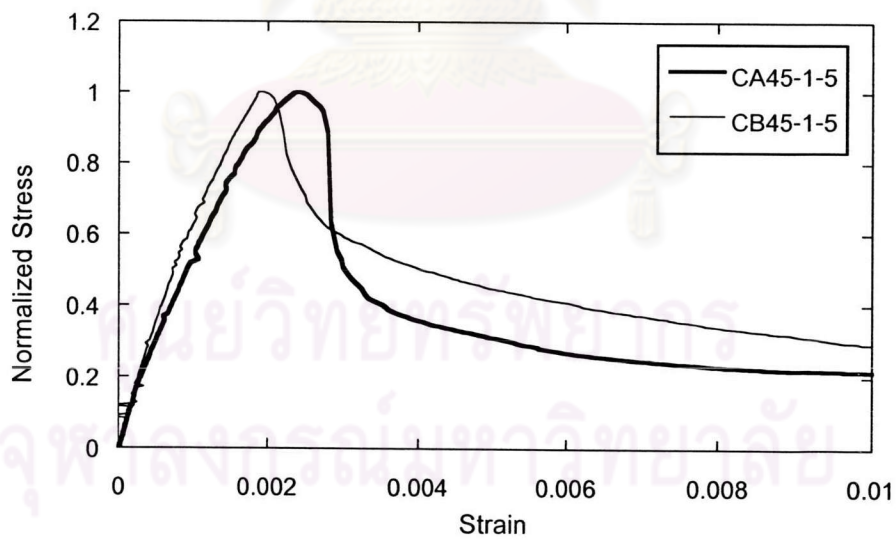
รูปที่ 5.64 กราฟแสดงผลของรูปแบบเกลียวปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
($\rho_h = 0.91\%$ $f'_c = 45$ MPa)



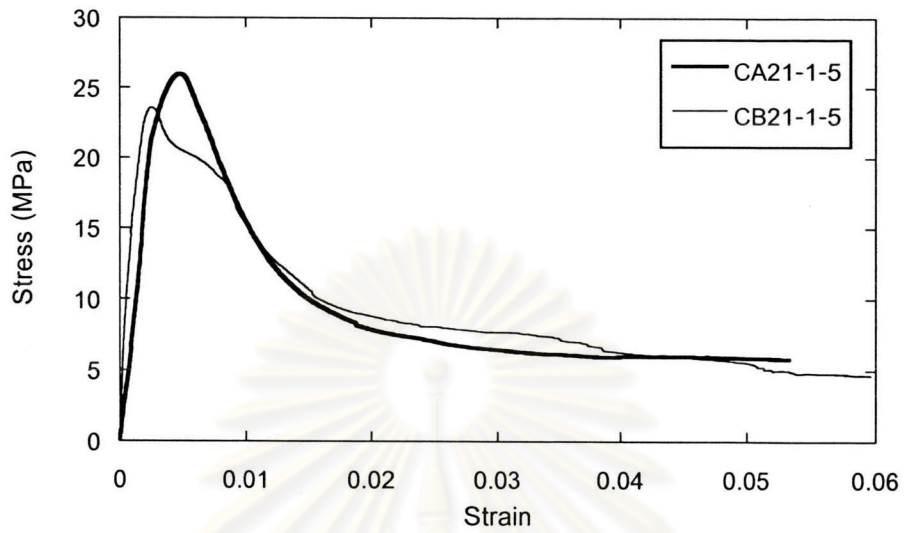
รูปที่ 5.65 กราฟแสดงผลของรูปแบบเกลียวปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว ($\rho_h = 0.91\%$ $f'_c = 45$ MPa)



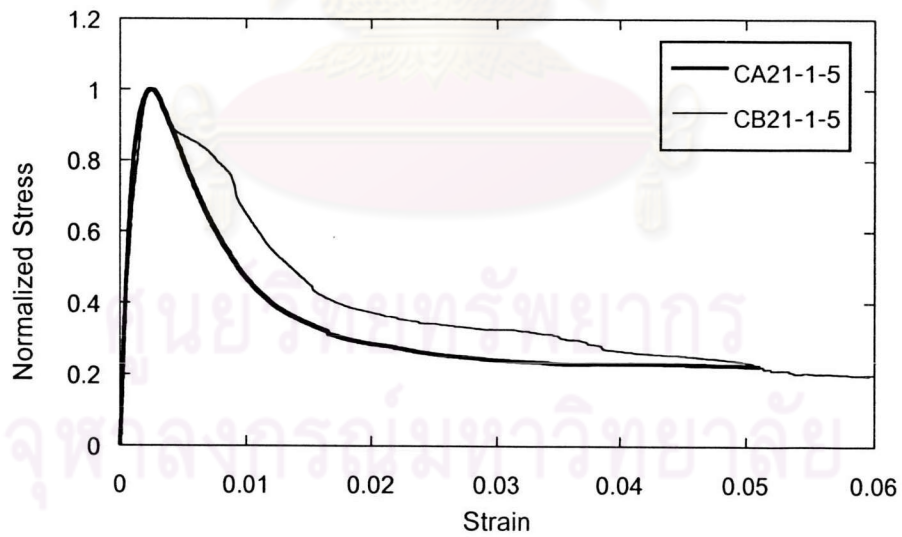
รูปที่ 5.66 กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ($\rho_h = 0.91\%$ $f'_c = 45$ MPa)



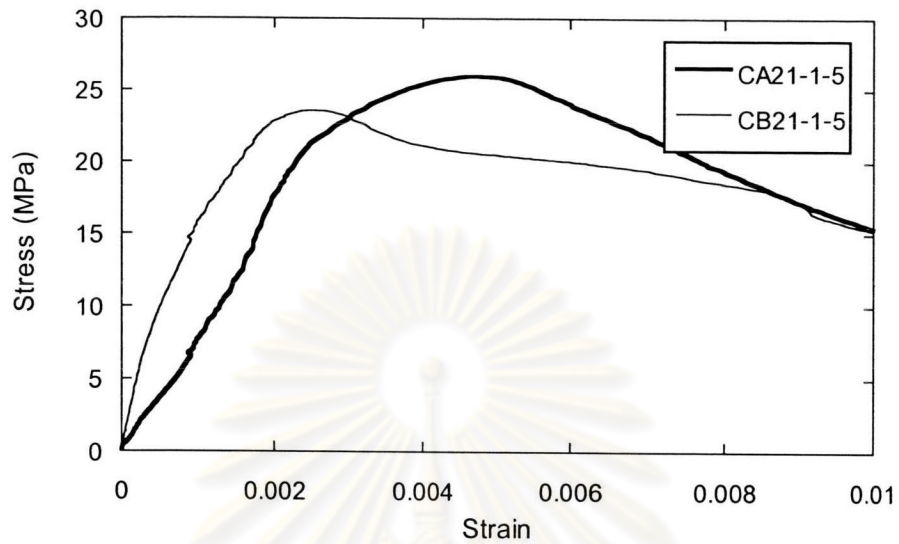
รูปที่ 5.67 กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว ($\rho_h = 0.91\%$ $f'_c = 45$ MPa)



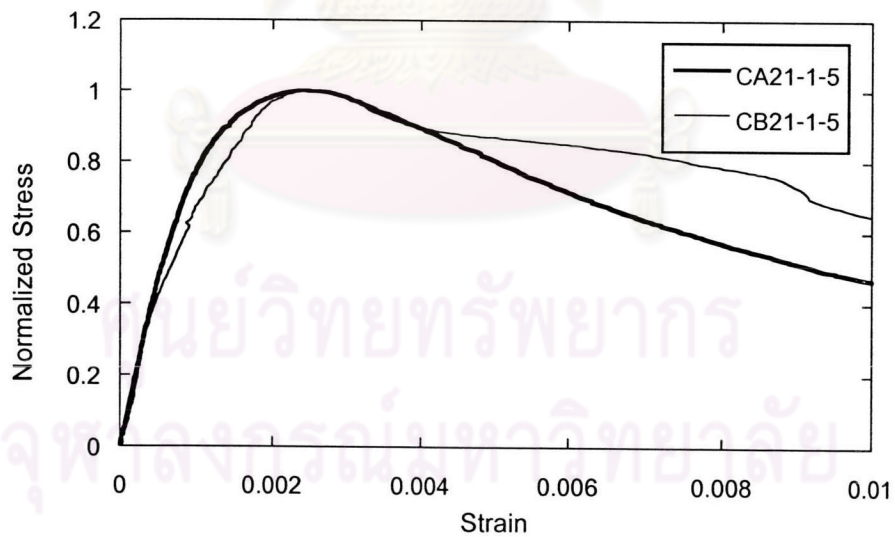
รูปที่ 5.68 กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
($\rho_h = 0.91\%$ $f'_c = 21$ MPa)



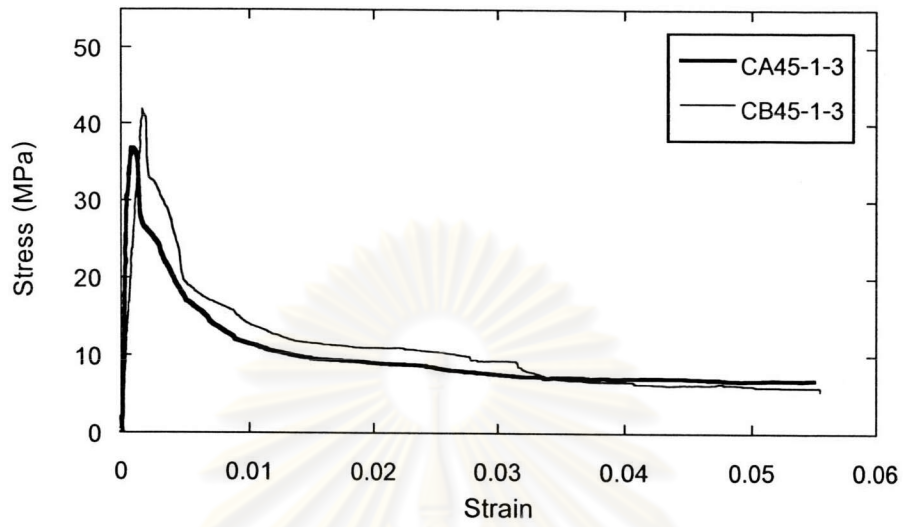
รูปที่ 5.69 กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว ($\rho_h = 0.91\%$ $f'_c = 21$ MPa)



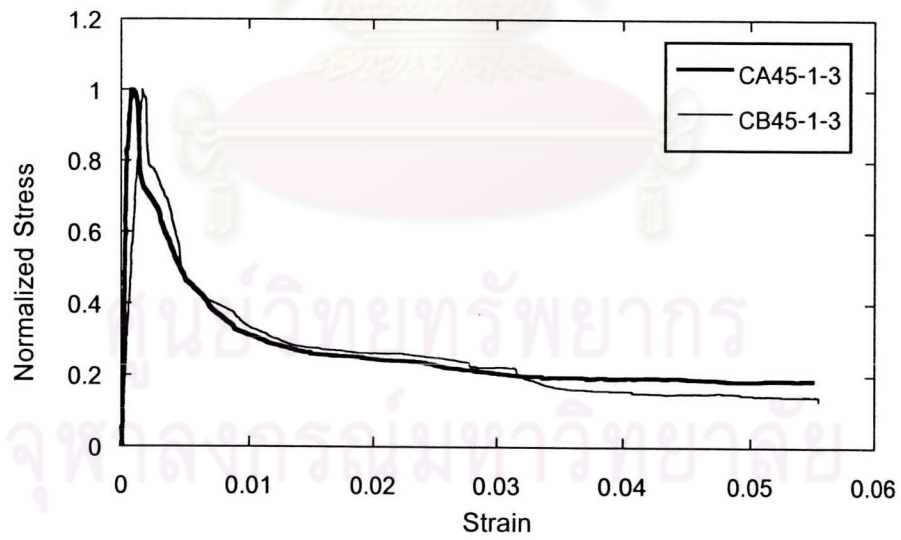
รูปที่ 5.70 กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ($\rho_h = 0.91\%$ $f'_c = 21$ MPa)



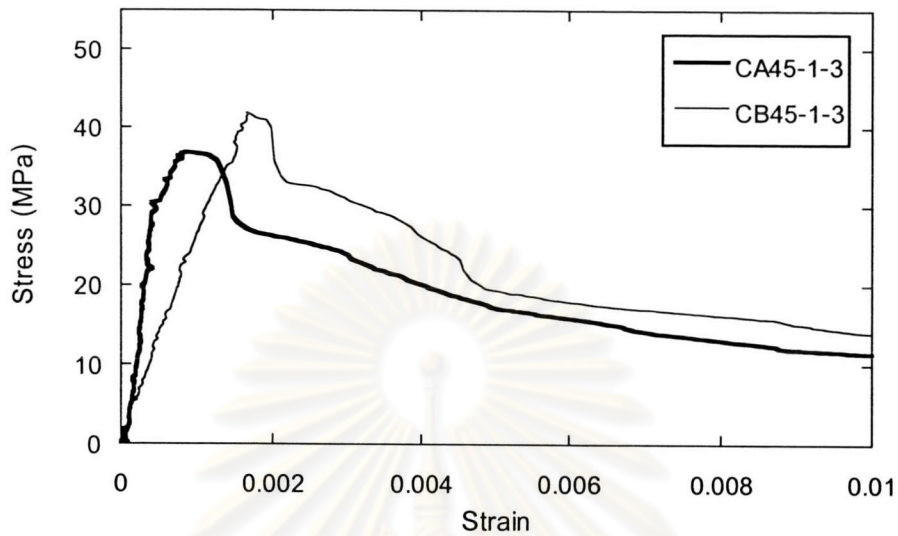
รูปที่ 5.71 กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว ($\rho_h = 0.91\%$ $f'_c = 21$ MPa)



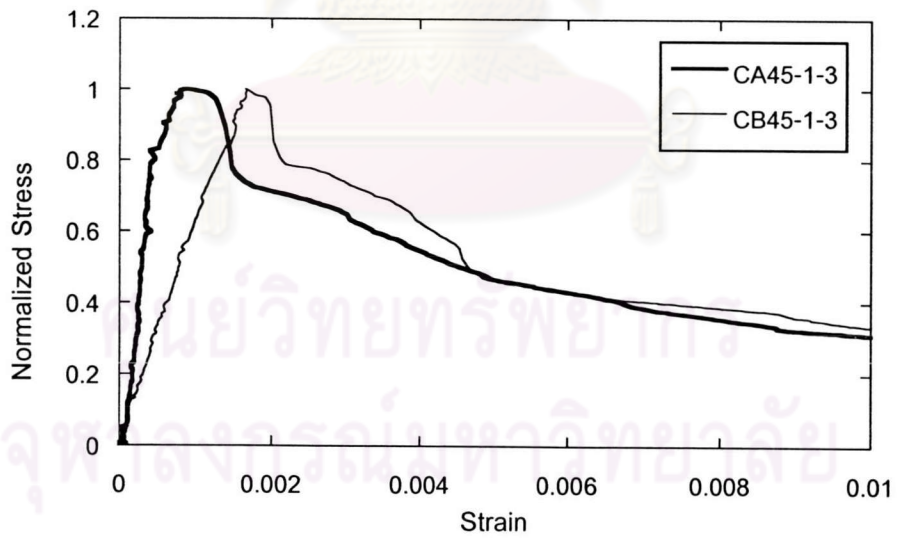
รูปที่ 5.72 กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
($\rho_h = 0.45\%$ $f'_c = 45$ MPa)



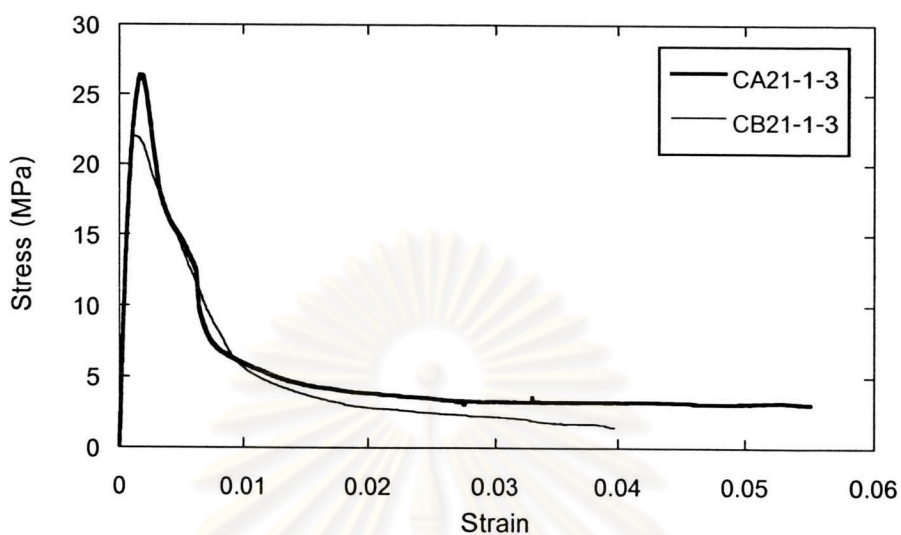
รูปที่ 5.73 กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว ($\rho_h = 0.45\%$ $f'_c = 45$ MPa)



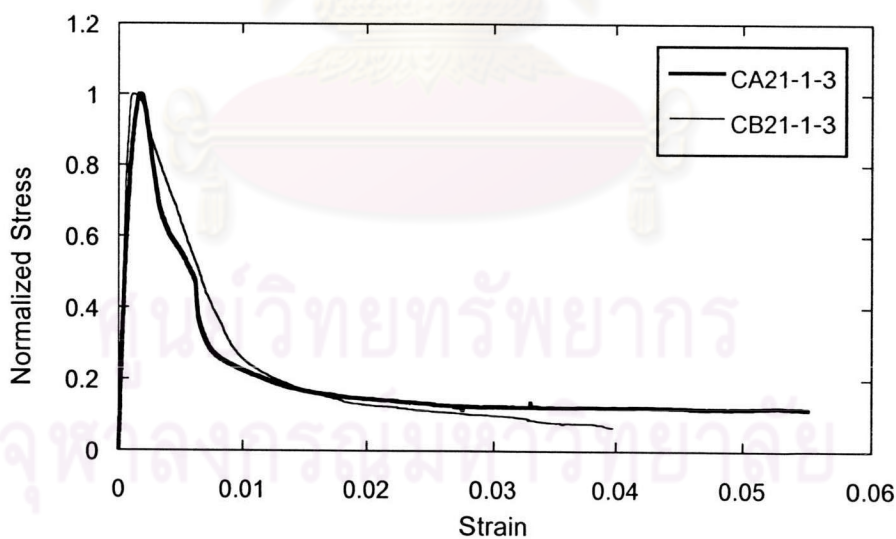
รูปที่ 5.74 กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ($\rho_h = 0.45\%$ $f'_c = 45$ MPa)



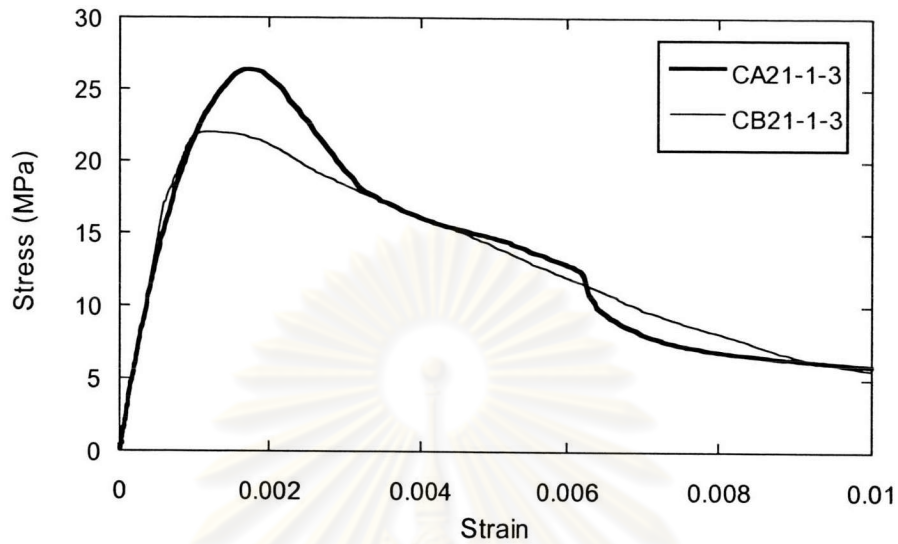
รูปที่ 5.75 กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว ($\rho_h = 0.45\%$ $f'_c = 45$ MPa)



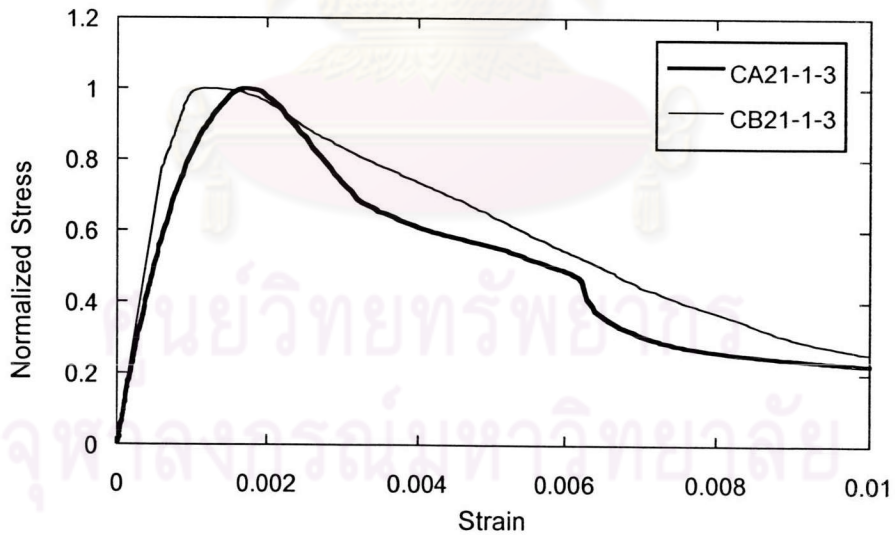
รูปที่ 5.76 กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
($\rho_h = 0.45\%$ $f'_c = 21$ MPa)



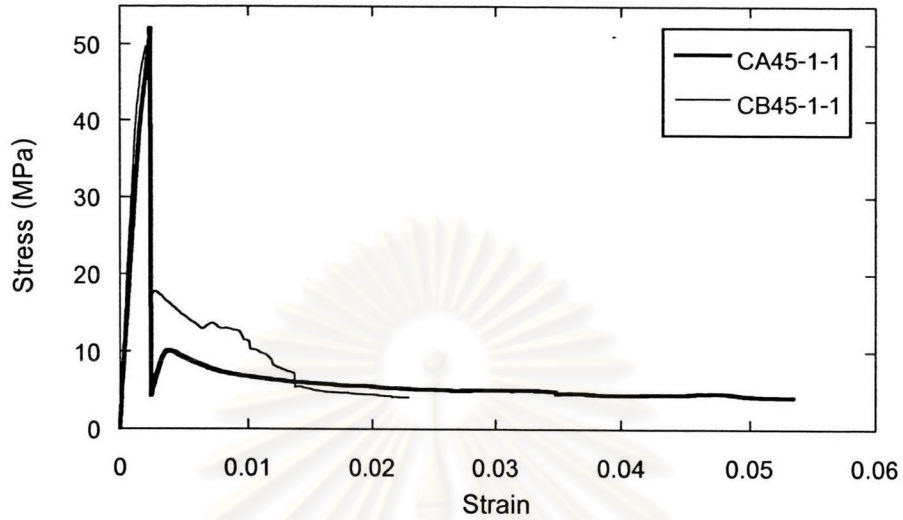
รูปที่ 5.77 กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว ($\rho_h = 0.45\%$ $f'_c = 21$ MPa)



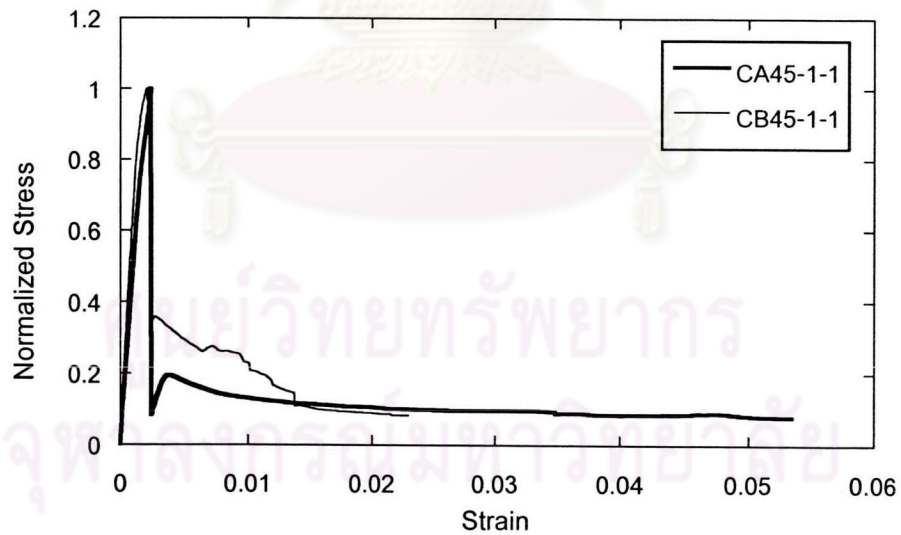
รูปที่ 5.78 กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ($\rho_h = 0.45\%$ $f'_c = 21$ MPa)



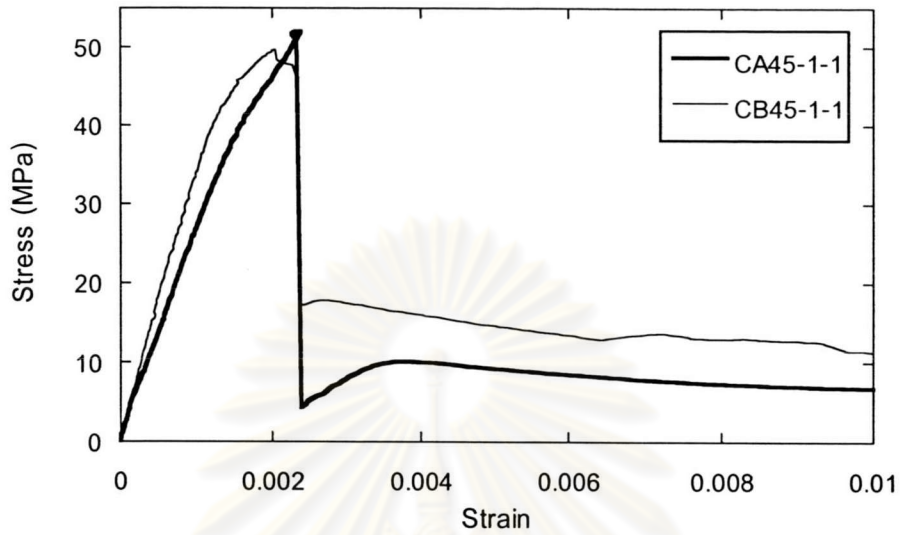
รูปที่ 5.79 กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้รับสัดส่วนแล้ว ($\rho_h = 0.45\%$ $f'_c = 21$ MPa)



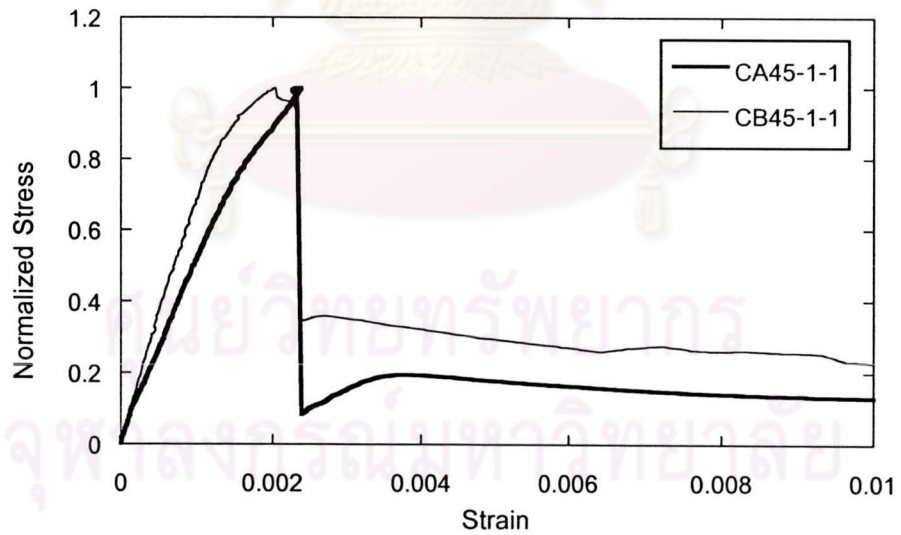
รูปที่ 5.80 กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
($\rho_h = 0.23\%$ $f'_c = 45$ MPa)



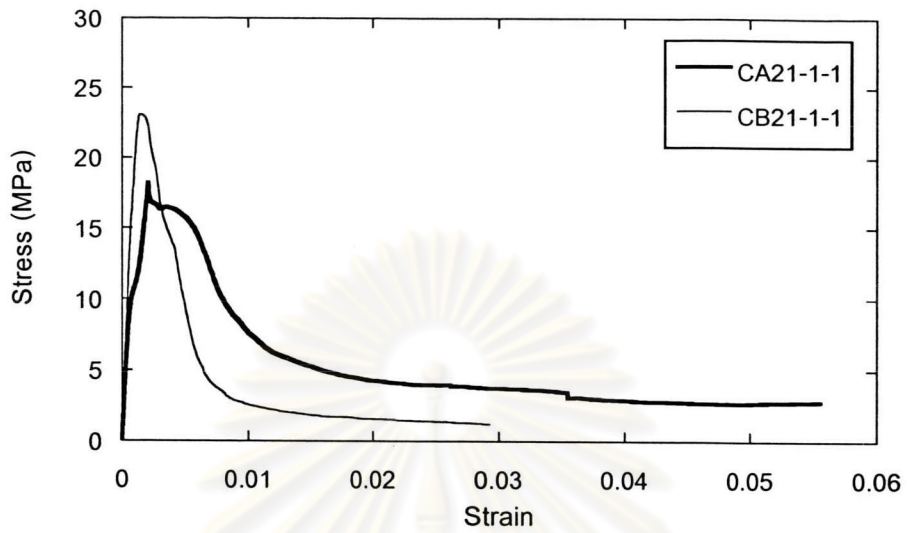
รูปที่ 5.81 กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว ($\rho_h = 0.23\%$ $f'_c = 45$ MPa)



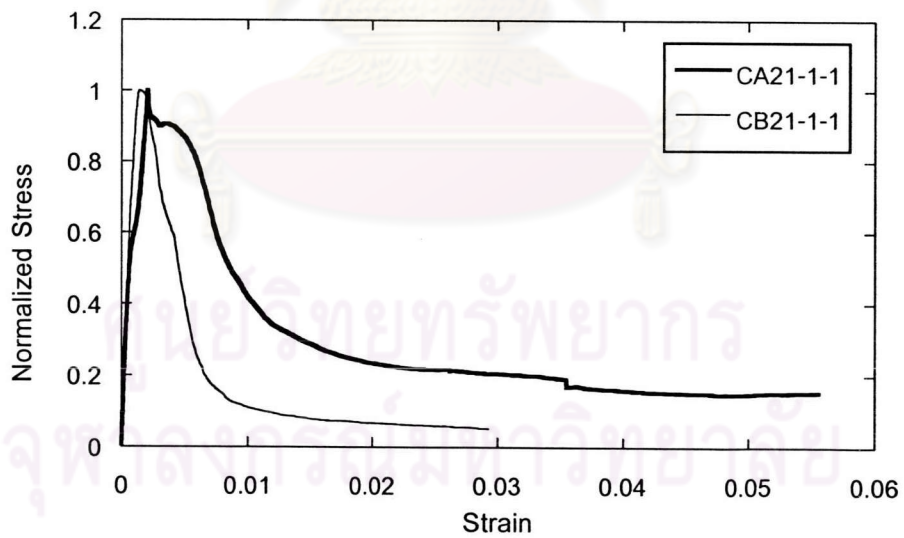
รูปที่ 5.82 กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ($\rho_h = 0.23\%$ $f'_c = 45$ MPa)



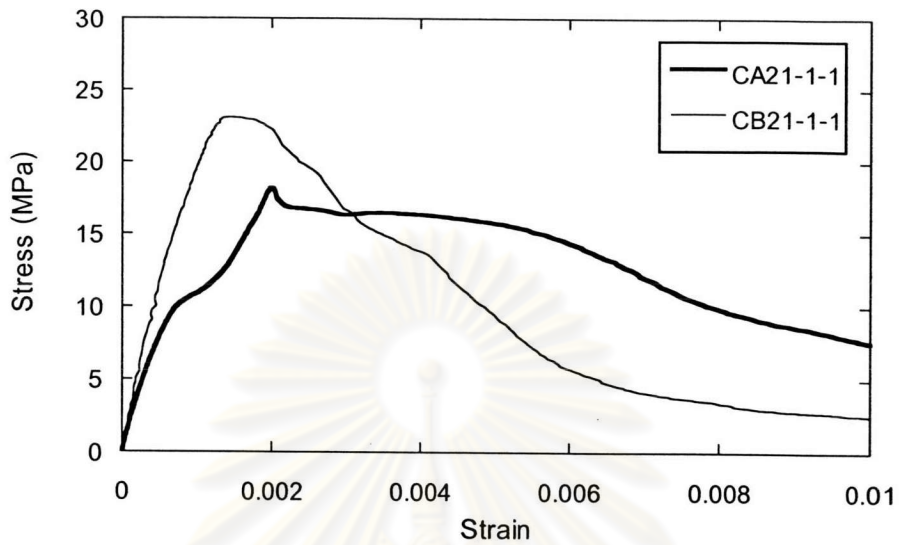
รูปที่ 5.83 กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว ($\rho_h = 0.23\%$ $f'_c = 45$ MPa)



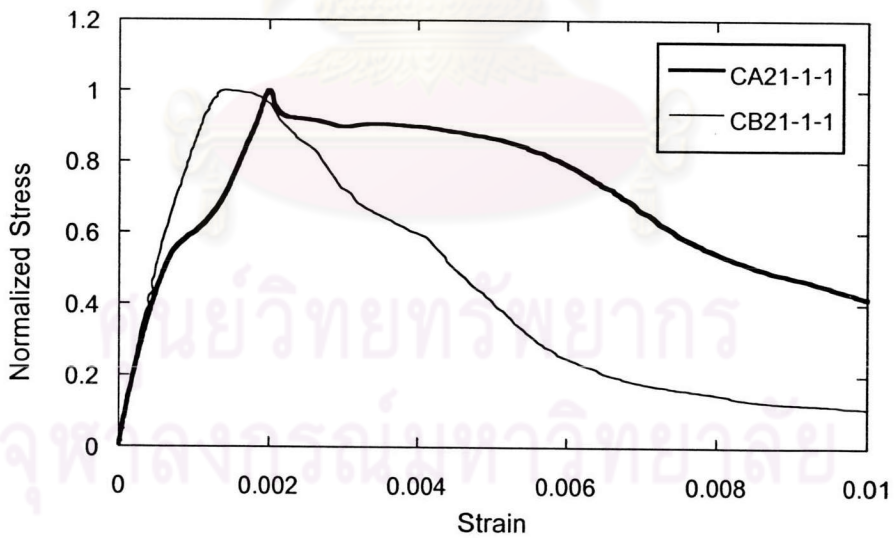
รูปที่ 5.84 กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
($\rho_h = 0.23\%$ $f'_c = 21$ MPa)



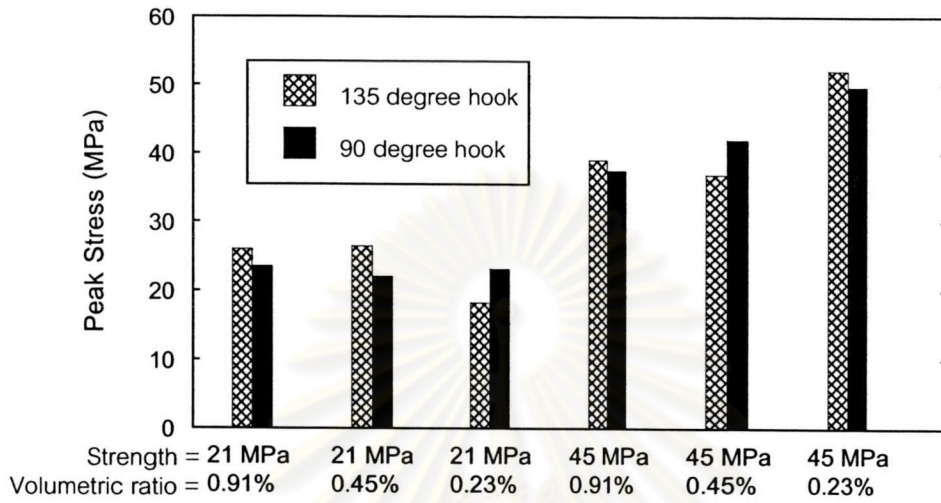
รูปที่ 5.85 กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว ($\rho_h = 0.23\%$ $f'_c = 21$ MPa)



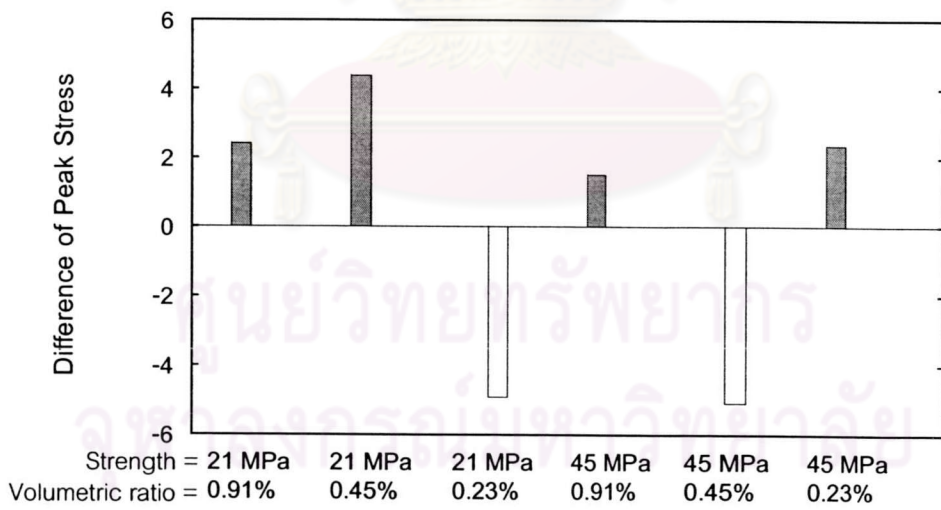
รูปที่ 5.86 กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ($\rho_h = 0.23\%$ $f'_c = 21$ MPa)



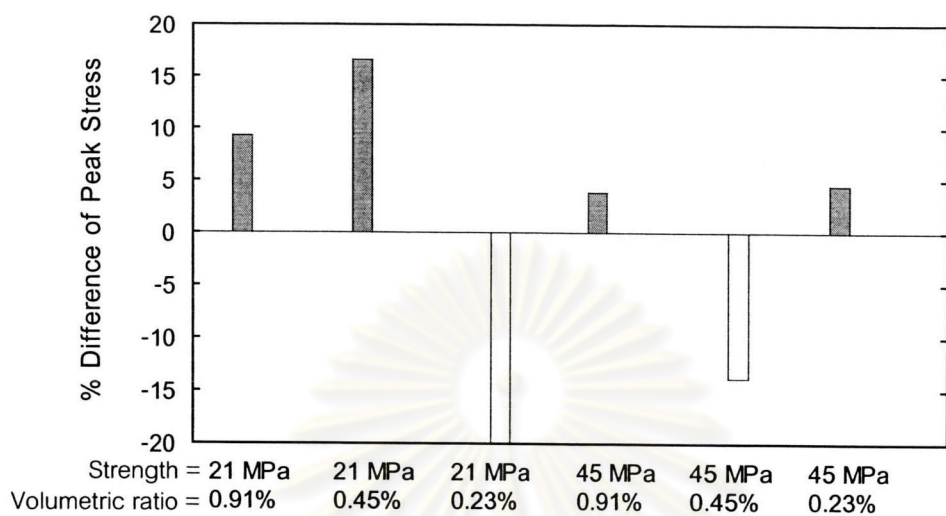
รูปที่ 5.87 กราฟแสดงผลของรูปแบบเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีการโอบรัด ในช่วงค่าความเครียด 0.00 - 0.01 ที่ได้ปรับสัดส่วนแล้ว ($\rho_h = 0.23\%$ $f'_c = 21$ MPa)



รูปที่ 5.88 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุดของตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะของต่างกัน

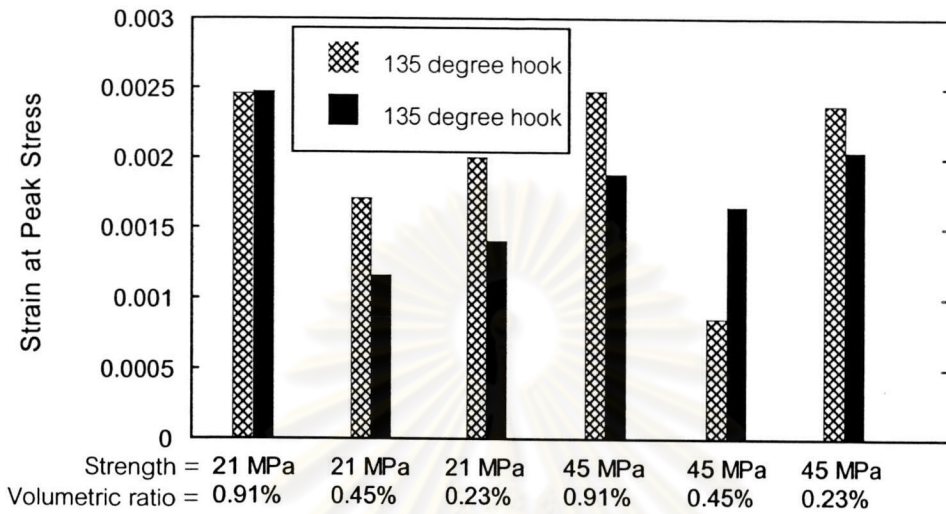


รูปที่ 5.89 แสดงการผลต่างของค่าความเค้นสูงสุดของตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะของต่างกัน

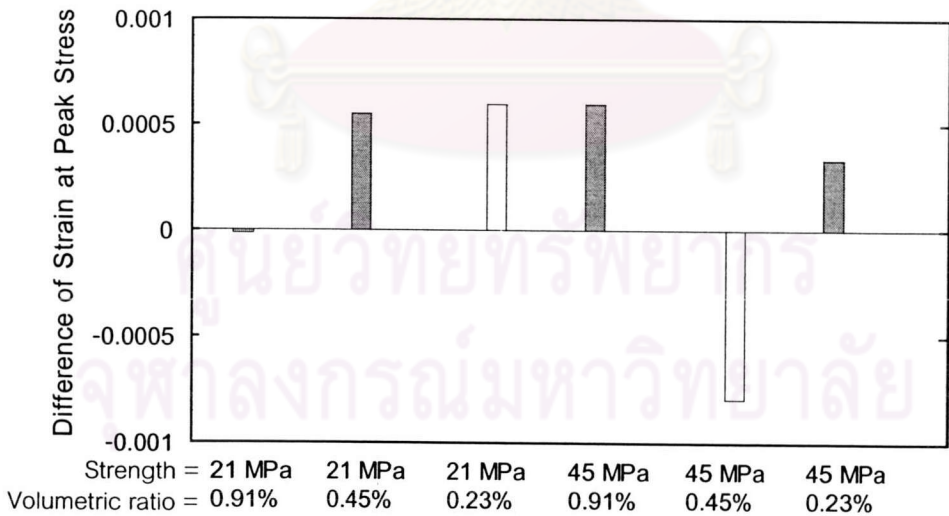


รูปที่ 5.90 แสดงร้อยละของความแตกต่างของค่าความเค้นสูงสุด
ของตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะของต่างกัน

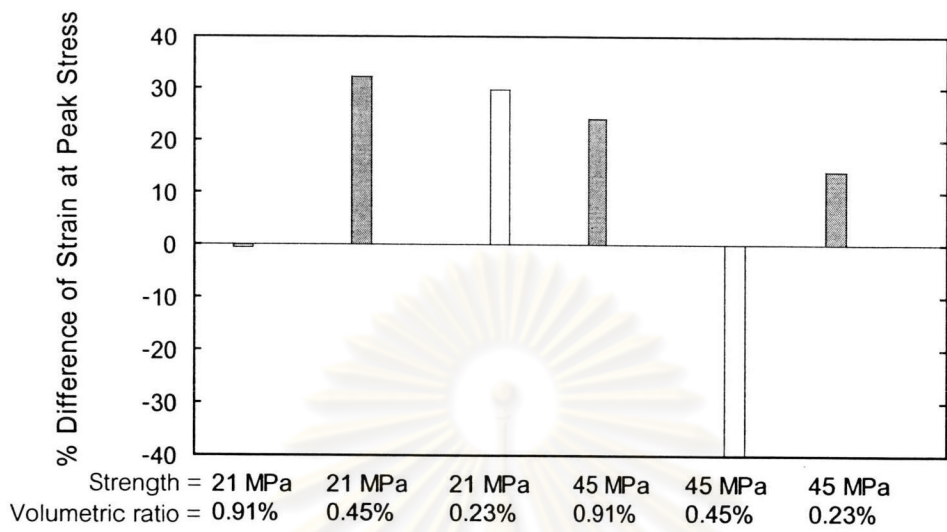
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.91 แสดงการเปรียบเทียบความเครียดที่ความเค้นสูงสุดของตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะของต่างกัน

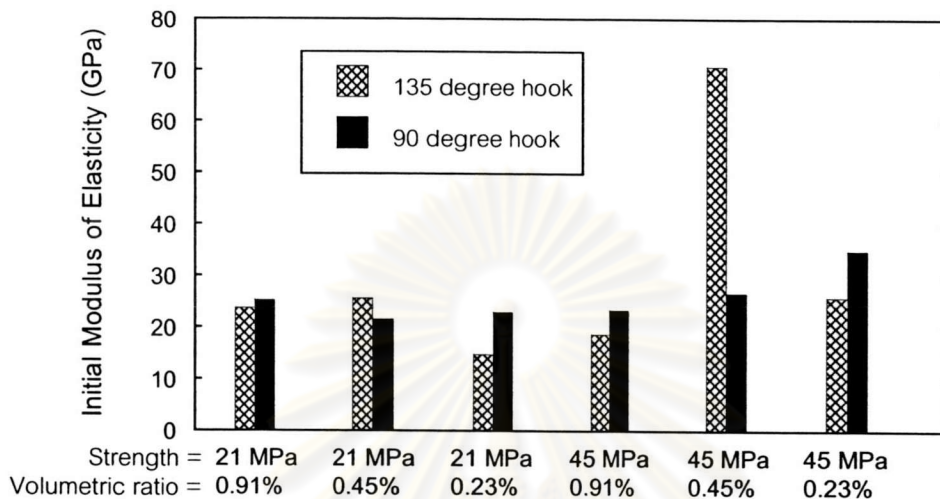


รูปที่ 5.92 แสดงการผลต่างของความเครียดที่ความเค้นสูงสุดของตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะของต่างกัน

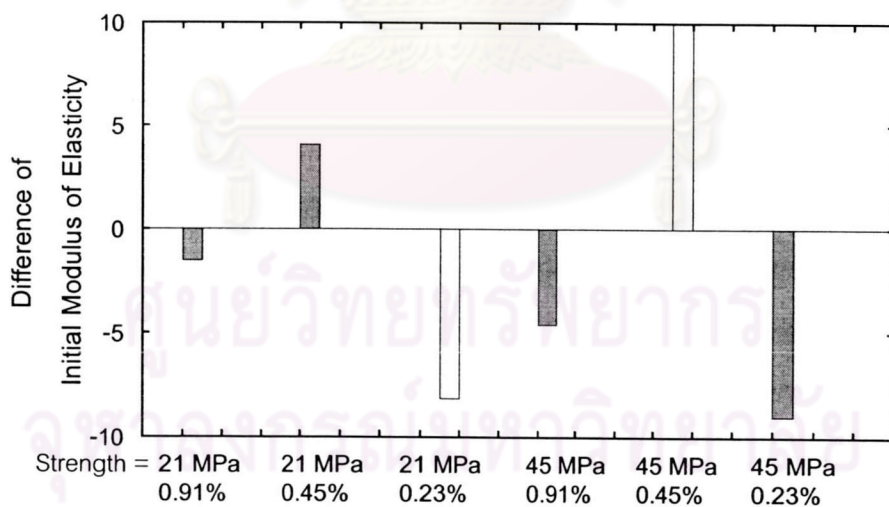


รูปที่ 5.93 แสดงร้อยละของความแตกต่างของความเครียดที่ความเค้นสูงสุด
ของตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะของต่างกัน

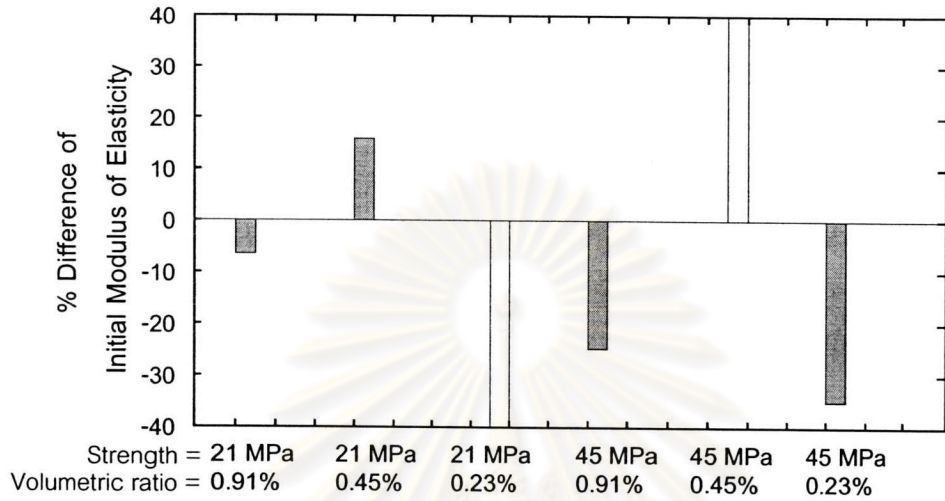
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.94 แสดงการเปรียบเทียบความชันของกราฟขาขึ้น
 ของตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะของต่างกัน

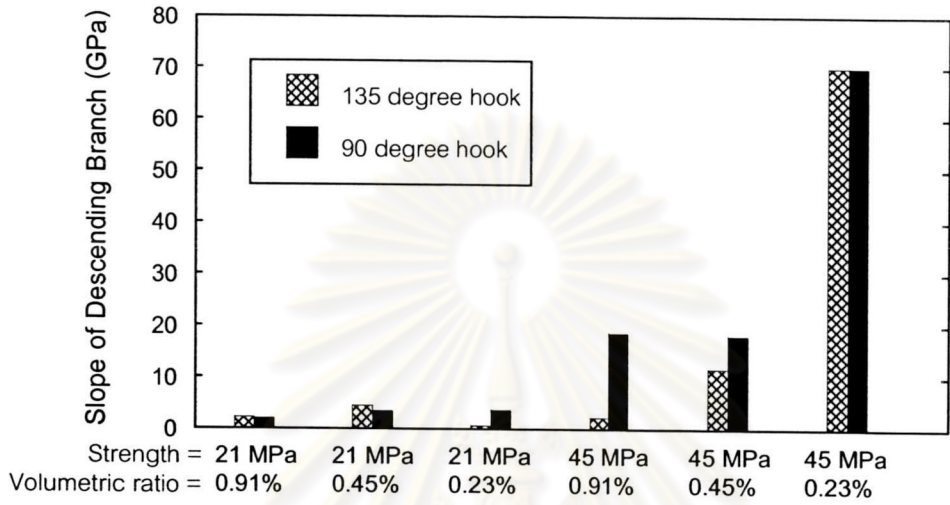


รูปที่ 5.95 แสดงการผลต่างความชันของกราฟขาขึ้น
 ของตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะของต่างกัน

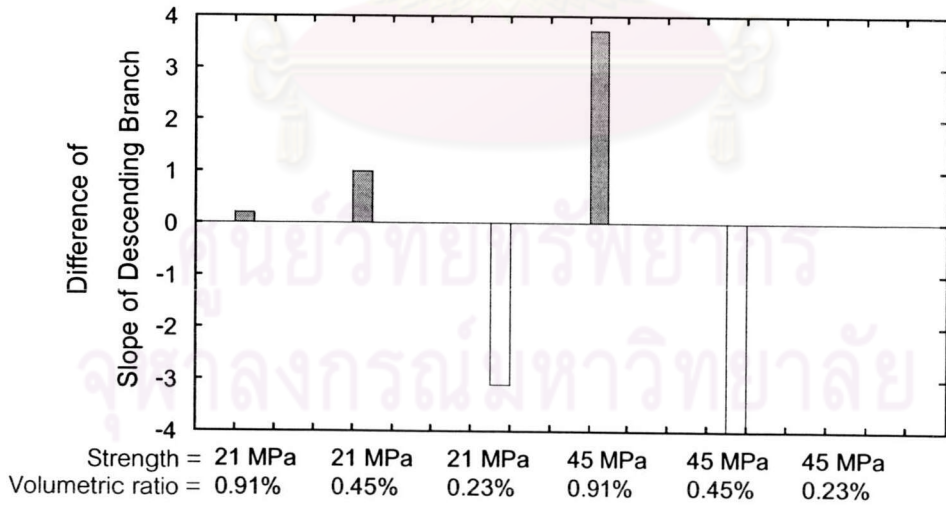


รูปที่ 5.96 แสดงร้อยละของความแตกต่างความชันของกราฟขาขึ้น
ของตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะของต่างกัน

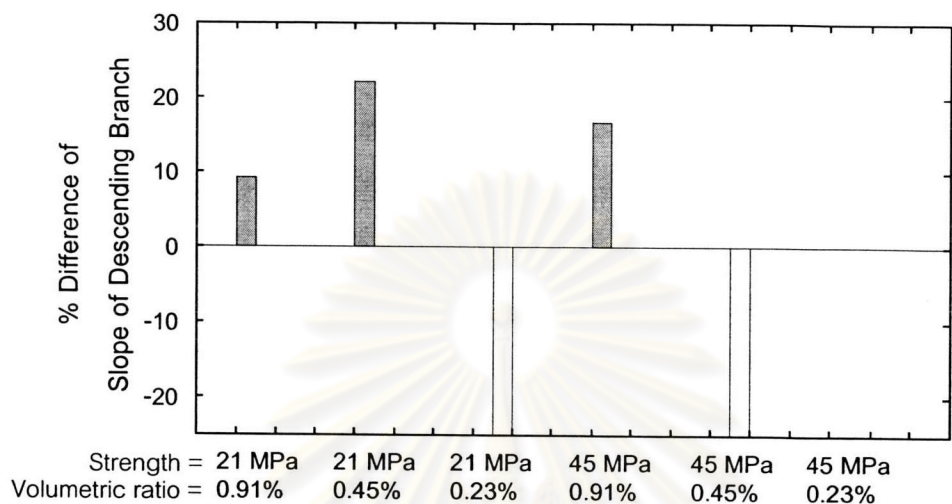
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.97 แสดงการเปรียบเทียบความชันของกราฟขาหลังที่ 80% ของความเค้นสูงสุดของตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะของต่างกัน



รูปที่ 5.98 แสดงการผลต่างความชันของกราฟขาหลังที่ 80% ของความเค้นสูงสุดของตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะของต่างกัน



รูปที่ 5.99 แสดงร้อยละของความแตกต่างความชันของกราฟข้างที่ 80% ของความเค้นสูงสุด
ของตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะของต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย