

บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

ในบทนี้จะกล่าวถึง ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ ได้แก่ ผลการวิเคราะห์กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุม ผลการวิเคราะห์กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างมอร์ตาร์ ผลการวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุม ผลการวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมที่ถูกลายหน้าตัดด้วย HS-FRC และการทำนายผลกำลังรับแรงดัดโดยใช้สมการ (Analysis) พร้อมทำการเปรียบเทียบกับผลกำลังรับแรงดัดที่ได้จากการทดสอบจริง (Test) ซึ่งได้ผลการทดสอบต่างๆ ดังต่อไปนี้

4.1 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีต

กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 ม. สูง 0.30 ม. ที่อายุ 28 วัน กำลังอัดที่ได้ออกแบบไว้เท่ากับ 30 MPa ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C39-94 ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และผลการทดสอบได้ดังแสดงในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก

ตัวอย่าง	1	2	3	เฉลี่ย	กำลังอัดที่ ออกแบบ	ผลต่าง (%)
อายุของคอนกรีต (วัน)	28	28	28	28	28	-
กำลังอัด (MPa)	27.01	27.13	26.89	27	30	11

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก โดยค่าเฉลี่ยที่ได้คือ 27 MPa ซึ่งจากผลที่ได้ทำให้สามารถสรุปได้ว่า กำลังอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบจริง มีค่าต่างจากที่ออกแบบไว้ 11 % ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากสภาพภูมิอากาศในขณะทำการหล่อตัวอย่างคอนกรีตมีความร้อนค่อนข้างสูง จึงส่งผลต่อการระเหยของน้ำค่อนข้างมาก และอีกหนึ่งตัวแปรคือทรายที่นำมาใช้ในการผสมคอนกรีตเป็นทรายแม่น้ำโขงจึงค่อนข้างมีเม็ดละเอียดซึ่งส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลง

4.2 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างมอร์ตาร์

กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างมอร์ตาร์รูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 0.05 x 0.05 x 0.05 ม. ที่อายุ 28 วัน กำลังอัดที่ได้ออกแบบไว้เท่ากับ 40 MPa ทำการทดสอบตามมาตรฐาน BS 1881:PART 4 ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และผลการทดสอบได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างมอร์ตาร์ทรงลูกบาศก์

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ทรงลูกบาศก์

ตัวอย่าง	1	2	3	เฉลี่ย	กำลังอัดที่ ออกแบบ	ผลต่าง (%)
อายุของคอนกรีต (วัน)	28	28	28	28	28	-
กำลังอัด (MPa)	39.25	39.35	39.50	39.4	40	1.52

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างมอร์ตาร์ทรงลูกบาศก์ โดยค่าเฉลี่ยที่ได้คือ 39.4 MPa ซึ่งจากผลที่ได้ทำให้สามารถสรุปได้ว่า กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากการทดสอบจริง มีค่าต่างจากที่ออกแบบไว้ 1.52 % ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับกำลังอัดที่ได้ออกแบบไว้ แต่ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากสภาพภูมิอากาศในขณะทำการหล่อตัวอย่างมอร์ตาร์มีความร้อนค่อนข้างสูง จึงส่งผลต่อการระเหยของน้ำค่อนข้างมาก และอีกหนึ่งตัวแปรคือทรายที่นำมาใช้ในการผสมคอนกรีตเป็นทรายแม่น้ำโขงจึงค่อนข้างมีเม็ดละเอียดซึ่งส่งผลให้กำลังอัดของมอร์ตาร์ลดลง

4.3 กำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

จากการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กข้ออ้อยขนาด 12 มม. ชนิดของเกรดเหล็ก SD 30 ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM A 617 โดยได้ค่าจากการทดสอบแรงดึงดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

ตัวอย่าง	พื้นที่หน้าตัด (cm ²)	ระยะพิงัด (cm)	ระยะยึด (cm)	กำลังรับแรงดึง	
				ความเค้นดึง ที่จุดคราก (ksc)	ความเค้นดึง สูงสุด (ksc)
1	1.13	10	12	3,600	5,360
2	1.13	10	12	3,620	5,391
3	1.13	10	12	3,580	5,330
Average	1.13	10	12	3,600	5,360

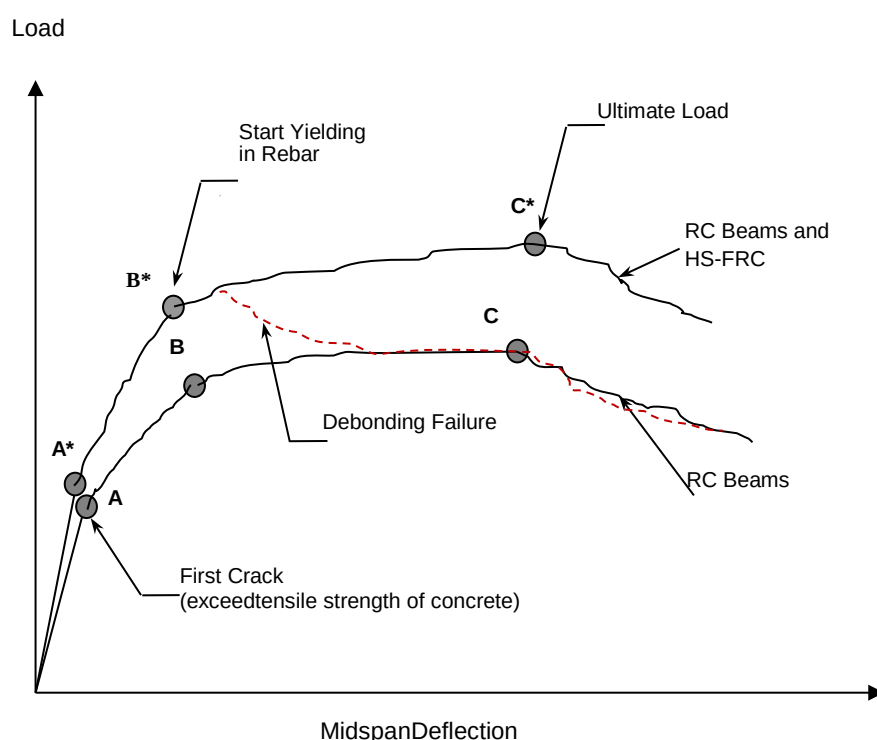
ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กข้ออ้อยขนาด 12 มม. ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบคือระยะยืดโดยเฉลี่ยของเหล็กโดยเฉลี่ยเท่ากับ 12 ซม. ความเค้นดึงที่จุดครากโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3,600 ksc และความเค้นดึงสูงสุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5,360 ksc

4.4 ผลการวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดและพฤติกรรมการดัดของตัวอย่างคาน

คอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมก่อนและหลังการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC

เมื่อมองในภาพรวมของผลที่ได้จากการทดสอบ เพื่อศึกษาพฤติกรรมการดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมที่ถูกเสริมกำลังโดยวิธีขยายหน้าตัดด้วยคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก พบว่ากำลังดัดและพฤติกรรมในการรับโมเมนต์ดัดของคานที่ถูกขยายหน้าตัดมีค่าความสามารถในการรับแรงดัดของคานเพิ่มขึ้น โดยจะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ เช่น ปริมาณเส้นใยเหล็ก และลักษณะสภาพผิวคานที่จะขยายหน้าตัด พฤติกรรมการรับแรงดัดของคานสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

4.4.1 พฤติกรรมการรับแรงดัดทั่วไปของคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมก่อนและหลังการเสริมกำลัง



รูปที่ 4.3 พฤติกรรมการดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมก่อนและหลังการเสริมกำลังด้วย HS-FRC

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำและระยะการโก่งที่กึ่งกลางคานของคานโดยทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 4.3 จะสามารถสรุปพฤติกรรมเป็น 4 ส่วนได้ดังนี้

ส่วนที่ 1: พฤติกรรมก่อนหน้าตัดคานแตกร้าว

พฤติกรรมการดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมก่อนและหลังการเสริมกำลังด้วย HS-FRC ในช่วงนี้ คือตั้งแต่เริ่มต้นถึงจุด A จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง โดยที่ความชันของกราฟในช่วงนี้แสดงถึงค่าความแข็งแรงแรงของคาน (Stiffness) ซึ่งจะเห็นว่าคานที่ได้มีการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC จะมีค่าความชันหรือความแข็งแรงแรงที่มากขึ้น เนื่องจากคานมีค่าโมดูลัสของหน้าตัดที่มากขึ้น

ส่วนที่ 2: พฤติกรรมหลังการแตกร้าวของคานและเหล็กเสริมในคานยังไม่ถึงจุดคราก

พฤติกรรมการดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมก่อนและหลังการเสริมกำลังด้วย HS-FRC ในช่วงนี้ คือตั้งแต่จุด A ถึง จุด B จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งนูนขึ้น โดยที่ความชันของกราฟในช่วงนี้แสดงถึงค่าความแข็งแรงแรงของคานเช่นกันค่าความชันของกราฟที่มากขึ้นจะสัมพันธ์กับค่าปริมาณเหล็กเสริมในคาน และปริมาณการเสริมกำลังด้วย HS-FRC ซึ่งจะเห็นว่าคานที่ได้มีการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC จะมีค่าความแข็งแรงแรงที่มากขึ้น เนื่องจากคานมีค่าโมดูลัสของหน้าตัดที่มากขึ้นและจากผลของความสามารถในการรับแรงดึงของ HS-FRC

ส่วนที่ 3: พฤติกรรมหลังการแตกร้าวของคานและเหล็กเสริมในคานถึงจุดคราก

พฤติกรรมการดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมก่อนและหลังการเสริมกำลังด้วย HS-FRC ในช่วงนี้ คือตั้งแต่จุด B ถึง จุด C จะมีแนวโน้มที่แรงดัดจะเพิ่มเล็กน้อยเมื่อการแอ่นตัวของคานมีค่ามากขึ้น ซึ่งแสดงถึงการครากของเหล็กเสริม หากมีการหลุดร่อน (Debond) ระหว่างวัสดุ HS-FRC กับผิวของคานจะทำให้แรงดัดลดลงทันที และสุดท้ายจะมีค่าแรงดัดที่ใกล้เคียงกับคานที่ไม่ได้มีการเสริมกำลัง ตามเส้นประในรูปที่ 4.3

ส่วนที่ 4: พฤติกรรมหลังค่ากำลังดัดสูงสุด

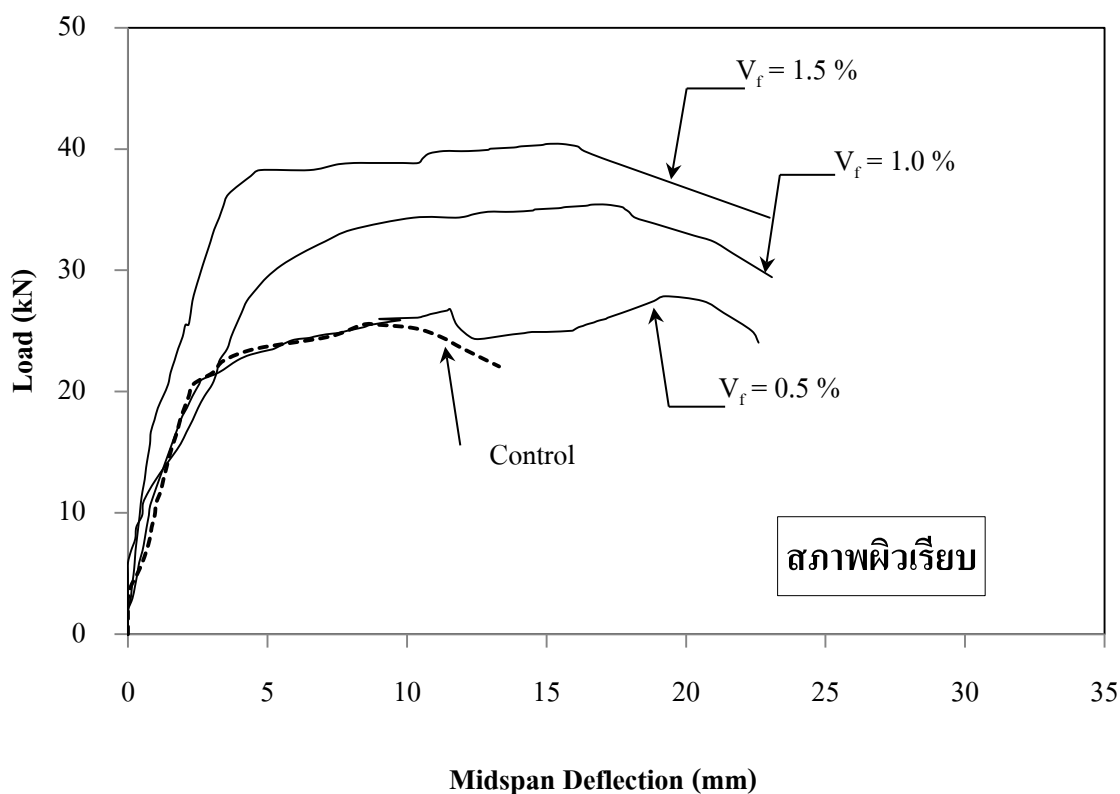
กำลังดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมก่อนและหลังการเสริมกำลังด้วย HS-FRC คือจุด C หลังจากจุดนี้ค่าแรงดัดของคานมีการลดลงอย่างต่อเนื่องซึ่งเกิดจากการที่คอนกรีตเกิดการพังทลายจากแรงอัด หรือความสามารถในการรับแรงดึงที่เกิดจาก HS-FRC มีค่าลดลง

4.4.2 พฤติกรรมการรับแรงดัดทั่วไปของคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมก่อนและหลังการเสริมกำลัง

พฤติกรรมการดัดของตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมเปรียบเทียบกับตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมที่ถูกเสริมกำลังด้วย HS-FRC ในปริมาณต่างๆ ได้แสดงในรูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5 แสดงการเตรียมตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมให้มีสภาพผิวเรียบ หรือตามสภาพเดิมจากไม้แบบ ขณะที่รูปที่ 4.6 รูปที่ 4.7 รูปที่ 4.8 และ รูปที่ 4.9 แสดงการเตรียมตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมให้มีสภาพขรุขระและสภาพผิวปูนขาว โดยภาพรวมของพบว่า กำลังและพฤติกรรมการดัดของคานมีแนวโน้มที่สูงขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณการใช้คอนกรีตเส้นใยเหล็กแบบตะขอ เป็นไปตามที่คาดไว้ นอกจากนี้ไม่เห็นพฤติกรรมการหลุดร่อนของ HS-FRC จากตัวอย่างคานที่เกิดขึ้นทันที



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างลักษณะการพังทลายของตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมสภาพผิวเรียบที่ถูกขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC

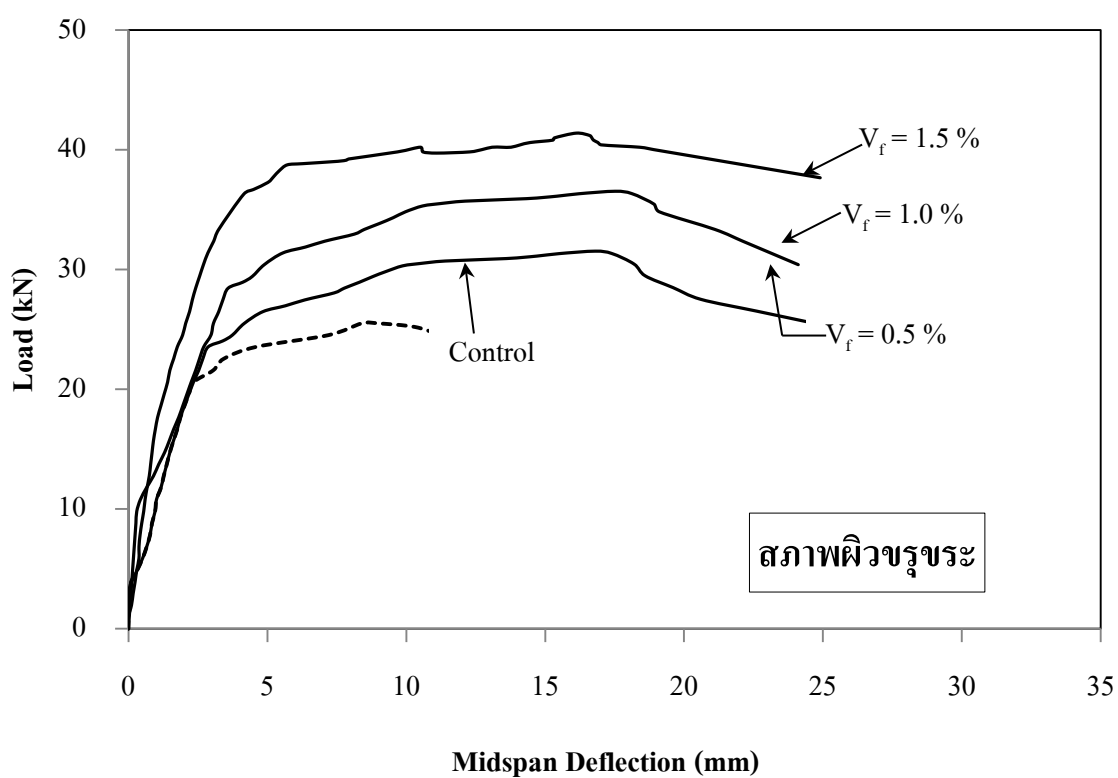


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและการโก่งตัวที่กึ่งกลางคานของ ตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกเสริมกำลังด้วย HS-FRC สภาพผิวเรียบ

จากรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 จะได้ผลการทดสอบตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กสภาพผิวเรียบที่ขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ซึ่งพบว่าการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ผสมเส้นใยเหล็กแบบตะขอ (V_f %) ที่ปริมาณ $V_f = 0.5\%$ การรับกำลังดัดสูงสุดอยู่ที่ 27.86 kN, ที่ปริมาณ $V_f = 1.0\%$ การรับกำลังดัดสูงสุดอยู่ที่ 35.41 kN และที่ปริมาณ $V_f = 1.5\%$ การรับกำลังดัดสูงสุดอยู่ที่ 40.42 kN ดังที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าการขยายหน้าตัดตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมด้วย HS-FRC ทำให้ตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมรับกำลังดัดสูงสุดมากขึ้น และปริมาณในการผสมเส้นใยเหล็กแบบตะขอใน HS-FRC ที่ใช้ในการหล่อพอกก็มีผลต่อการรับกำลังดัดสูงสุดเช่นกัน



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างลักษณะการพังทลายของตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมสภาพผิวขรุขระที่ ถูกขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC

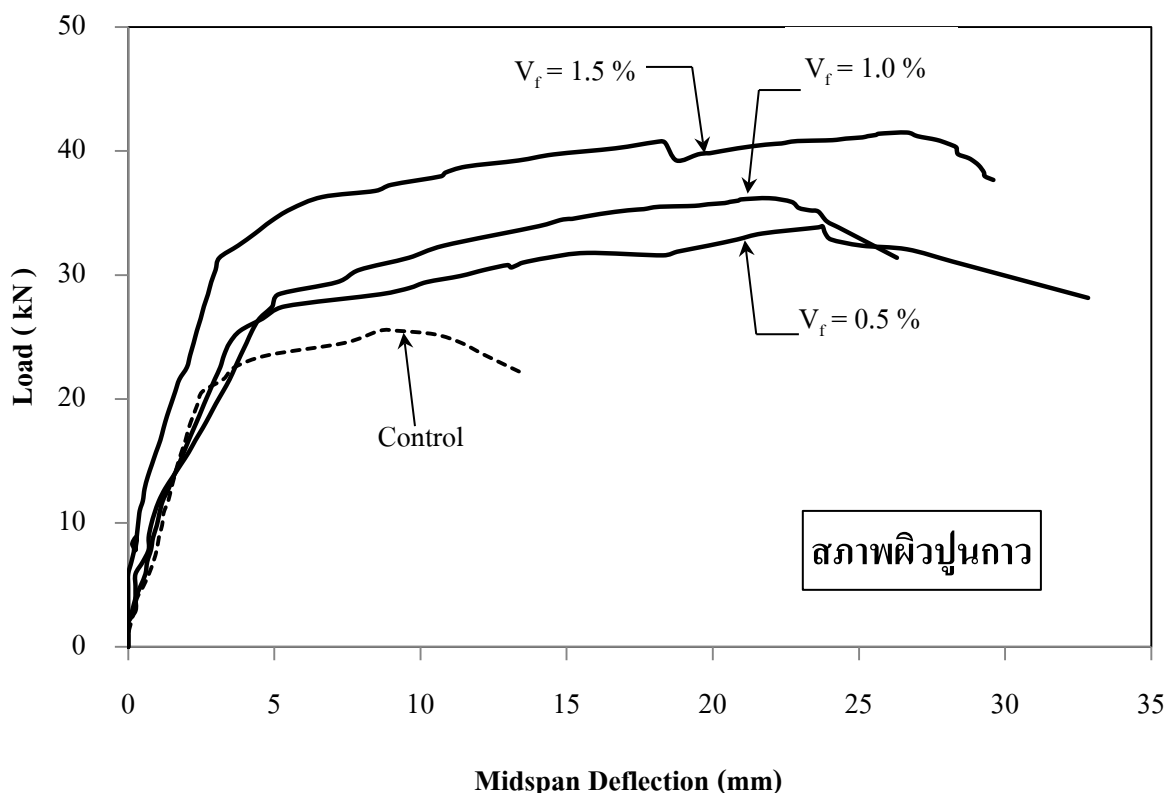


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์คัตและการโก่งตัวที่กึ่งกลางคานของ ตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกเสริมกำลังด้วย HS-FRC สภาพผิวขรุขระ

จากรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 จะได้ผลการทดสอบตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กสภาพผิวเรียบที่ขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ซึ่งพบว่าการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ผสมเส้นใยเหล็กแบบตะขอ (V_f %) ที่ปริมาณ $V_f = 0.5$ % การรับกำลังคัตสูงสุดอยู่ที่ 31.54 KN ,ที่ปริมาณ $V_f = 1.0$ % การรับกำลังคัตสูงสุดอยู่ที่ 36.54 KN และที่ปริมาณ $V_f = 1.5$ % การรับกำลังคัตสูงสุดอยู่ที่ 41.4 KN ดังที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าการขยายหน้าตัดตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมด้วย HS-FRC ทำให้ตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมรับกำลังคัตสูงสุดมากขึ้น และปริมาณในการผสมเส้นใยเหล็กแบบตะขอใน HS-FRC ที่ใช้ในการหล่อพอกก็มีผลต่อการรับกำลังคัตสูงสุดเช่นกัน ซึ่งกำลังรับแรงคัตสูงสุดจะเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับผลการทดสอบในรูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5



รูปที่ 4.8 ตัวอย่างลักษณะการพังทลายของตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมสภาพผิวขรุขระที่ ถูกขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC



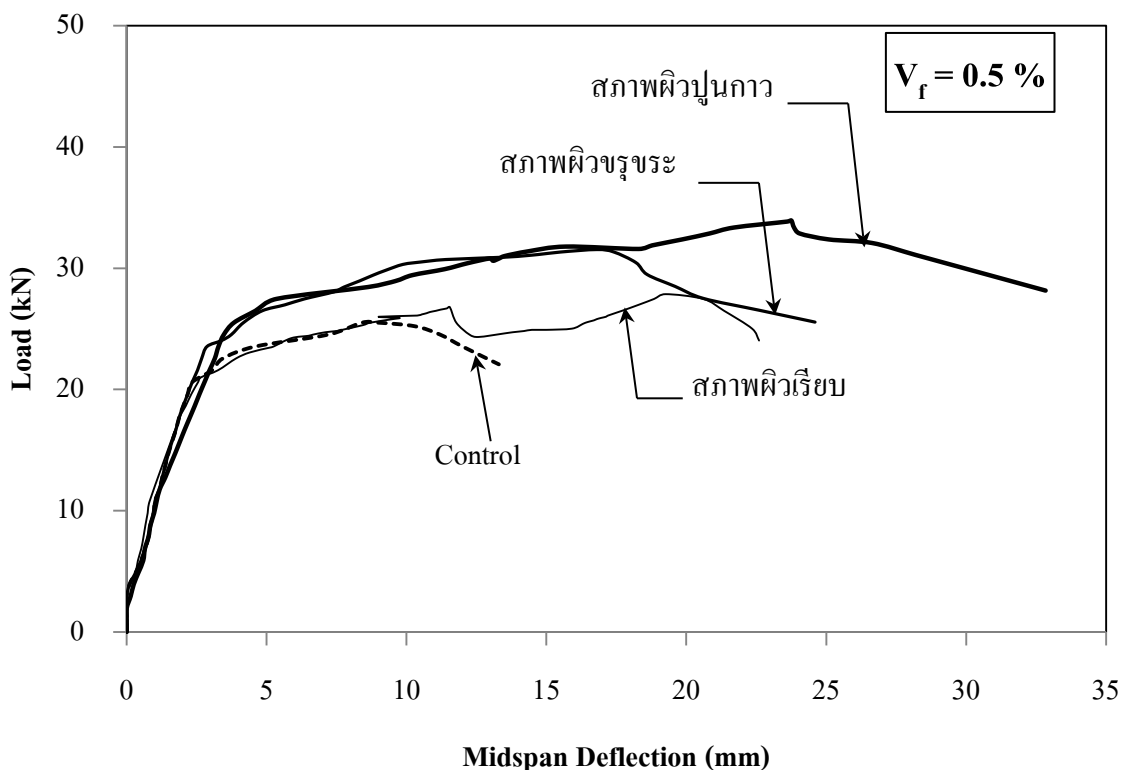
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง โมเมนต์ดัดและการ โกงตัวที่กึ่งกลางคานของ ตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกเสริมกำลังด้วย HS-FRC สภาพผิวปูนขาว

จากรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 จะได้ผลการทดสอบตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กสภาพผิวเรียบที่ขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ซึ่งพบว่าการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ผสมเส้นใยเหล็กแบบตะขอ (V_f %) ที่ปริมาณ $V_f = 0.5\%$ การรับกำลังดัดสูงสุดอยู่ที่ 33.94 kN ,ที่ปริมาณ $V_f = 1.0\%$ การรับกำลังดัดสูงสุดอยู่ที่ 36.2 kN และที่ปริมาณ $V_f = 1.5\%$ การรับกำลังดัดสูงสุดอยู่ที่ 41.5 kN ดังที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าการขยายหน้าตัดตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมด้วย HS-FRC ทำให้ตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมรับกำลังดัดสูงสุดมากขึ้น และปริมาณในการผสมเส้นใยเหล็กแบบตะขอใน HS-FRC ที่ใช้ในการหล่อพอกก็มีผลต่อการรับกำลังดัดสูงสุดเช่นกัน ซึ่งกำลังรับแรงดัดสูงสุดจะเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับผลการทดสอบในรูปที่ 4.4 รูปที่ 4.5 รูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7

4.4.3 ผลการเตรียมสภาพผิวต่างๆ สำหรับการเสริมกำลังคานด้วย HS-FRC

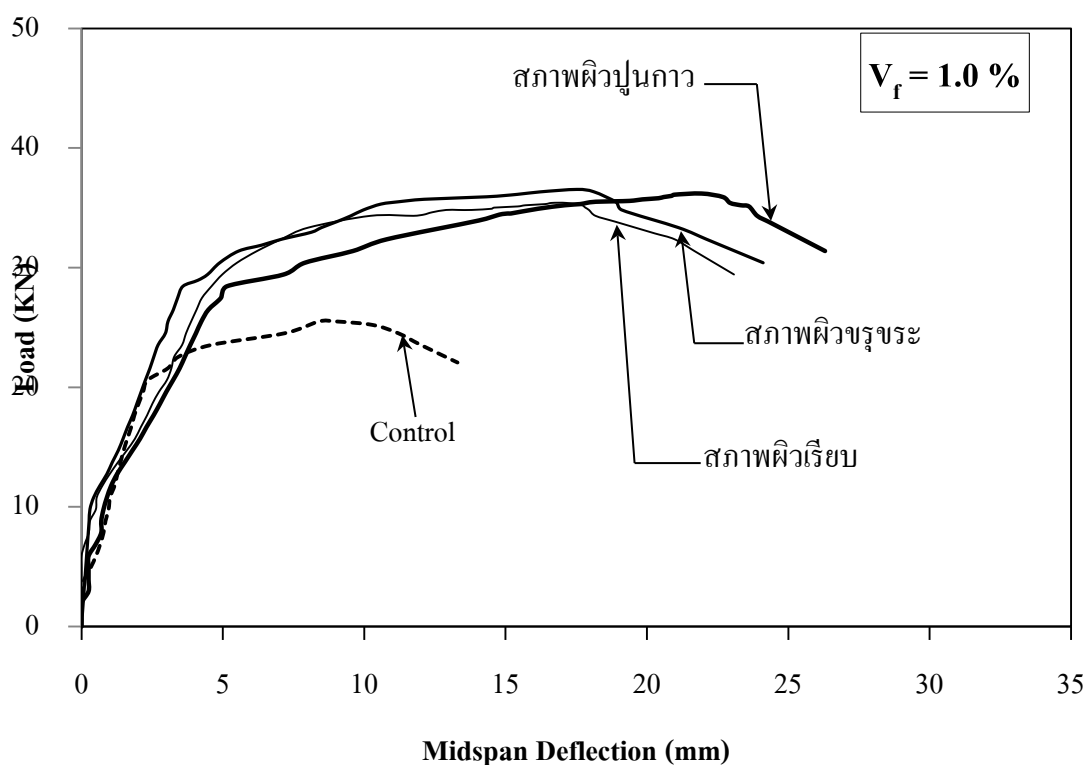
พฤติกรรมการดัดของตัวอย่างคานตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมที่ถูกเสริมกำลังด้วย HS-FRC ที่มีการเตรียมสภาพผิวคอนกรีตต่างๆ ได้แสดงในรูปที่ 4.10 รูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 ซึ่งในการเตรียมตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมให้มีสภาพปูนขาวให้การยึดเกาะที่ดีมาก ขณะที่การ

เตรียมสภาพผิวเรียบ และสภาพผิวขรุขระ ก็ให้การยึดเกาะที่ดี ก็อาจมีการหลุดร่อนเมื่อมีการ โกงตัวของคานามากๆ ซึ่งสังเกตจากการลดลงของแรงค้ำ



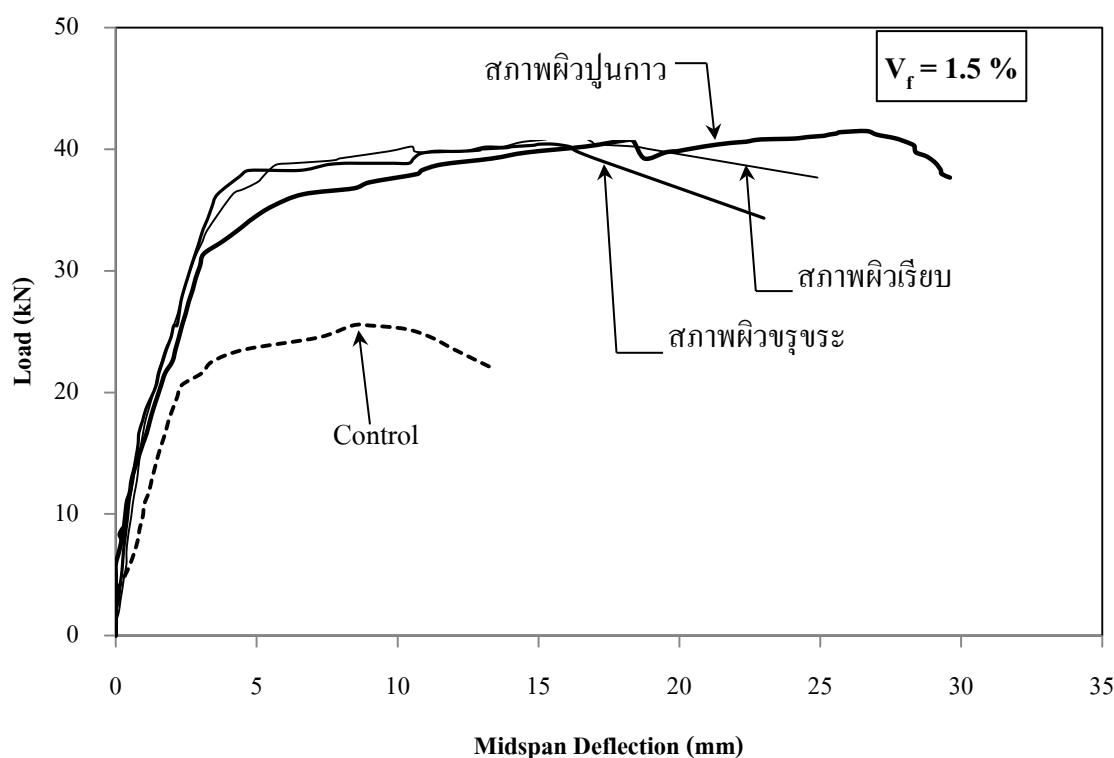
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ค้ำและการโก่งตัวที่กึ่งกลางคานของของการเสริมกำลังคานในสภาพผิวต่างๆด้วย HS-FRC ที่ปริมาณ $V_f = 0.5\%$

จากผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.10 พบว่า ตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กสภาพผิวเรียบ ที่ถูกขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ผสมเส้นใยเหล็กแบบตะขอ (V_f %) ที่ปริมาณ 0.5% การรับกำลังค้ำสูงสุดอยู่ที่ 27.86 KN , ตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กสภาพผิวขรุขระ ที่ถูกขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ผสมเส้นใยเหล็กแบบตะขอ (V_f %) ที่ปริมาณ 0.5% การรับกำลังค้ำสูงสุดอยู่ที่ 31.54 KN และตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กสภาพผิวปูนกวาด ที่ถูกขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ผสมเส้นใยเหล็กแบบตะขอ (V_f %) ที่ปริมาณ 0.5% การรับกำลังค้ำสูงสุดอยู่ที่ 33.94 KN ดังที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงค้ำสูงสุดของแต่ละสภาพผิวที่ถูกขยายหน้าตัดมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน แต่หากวิเคราะห์จากการโก่งตัวที่กึ่งกลางคานจะพบว่า การเตรียมสภาพผิวตัวอย่างคานคอนกรีตควบคุมด้วยปูนกวาดแล้วจึงการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ทำให้ตัวอย่างคานคอนกรีตควบคุมรับการโก่งตัวได้ดีกว่า



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและการโก่งตัวที่กึ่งกลางคานของของเสริมกำลังคานในสภาพผิวต่างๆด้วย HS-FRC ที่ปริมาณ $V_f = 1.0\%$

จากผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.11 พบว่า ตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กสภาพผิวเรียบ ที่ถูกขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ผสมเส้นใยเหล็กแบบตะขอ ($V_f\%$) ที่ปริมาณ 1.0% การรับกำลังดัดสูงสุดอยู่ที่ 35.41 KN , ตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กสภาพผิวขรุขระ ที่ถูกขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ผสมเส้นใยเหล็กแบบตะขอ ($V_f\%$) ที่ปริมาณ 1.0% การรับกำลังดัดสูงสุดอยู่ที่ 36.54 KN และตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กสภาพผิวปูนขาว ที่ถูกขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ผสมเส้นใยเหล็กแบบตะขอ ($V_f\%$) ที่ปริมาณ 1.0% การรับกำลังดัดสูงสุดอยู่ที่ 36.2 KN ดังที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงดัดสูงสุดของแต่ละสภาพผิวที่ถูกขยายหน้าตัดมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน แต่หากวิเคราะห์จากการโก่งตัวที่กึ่งกลางคานจะพบว่าการเตรียมสภาพผิวดตัวอย่างคานคอนกรีตควบคุมด้วยปูนขาวแล้วจึงการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ทำให้ตัวอย่างคานคอนกรีตควบคุมรับการโก่งตัวได้ดีกว่า เช่นเดียวกับรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและการโก่งตัวที่กึ่งกลางคานของ
ของการเสริมกำลังคานในสภาพผิวต่างๆ ด้วย HS-FRC ที่ปริมาณ $V_f = 1.0 \%$

จากผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.12 พบว่า ตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กสภาพผิวเรียบ ที่ถูกขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ผสมเส้นใยเหล็กแบบตะขอ ($V_f \%$) ที่ปริมาณ 1.5% การรับกำลังดัดสูงสุดอยู่ที่ 40.42 KN, ตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กสภาพผิวขรุขระ ที่ถูกขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ผสมเส้นใยเหล็กแบบตะขอ ($V_f \%$) ที่ปริมาณ 1.5% การรับกำลังดัดสูงสุดอยู่ที่ 41.4 KN และตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กสภาพผิวปูนขาว ที่ถูกขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ผสมเส้นใยเหล็กแบบตะขอ ($V_f \%$) ที่ปริมาณ 1.5% การรับกำลังดัดสูงสุดอยู่ที่ 41.5 KN ดังที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงดัดสูงสุดของแต่ละสภาพผิวที่ถูกขยายหน้าตัดมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน แต่หากวิเคราะห์จากการโก่งตัวที่กึ่งกลางคานจะพบว่า การเตรียมสภาพผิวตัวอย่างคานคอนกรีตควบคุมด้วยปูนขาวแล้วจึงการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ทำให้ตัวอย่างคานคอนกรีตควบคุมรับการโก่งตัวได้ดีกว่า เช่นเดียวกับรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11

4.4.4 สรุปผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุม ก่อนและหลังการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC

ตารางที่ 4.4 กำลังรับแรงดัดของตัวอย่างคานคอนกรีตก่อนและหลังการขยายหน้าตัด

กำลังอัด คอนกรีต MPa	สภาพผิวคานคอนกรีต	ปริมาณเส้นใยเหล็ก (V_f %) ใน HS-FRC	กำลังรับแรงดัด สูงสุด (kN)	หมายเหตุ
30	สภาพผิวคอนกรีตเดิม (ไม่มีการเสริมกำลัง)	-	26.03	Control RC Beams
30	สภาพผิวคอนกรีตเดิม แล้วทำการขยาย หน้าตัดด้วย HS-FRC	0.5 %	27.86	-
		1.0 %	35.41	-
		1.5 %	40.41	-
	สภาพผิวขรุขระแล้วทำการขยายหน้า ตัดด้วย HS-FRC	0.5 %	31.54	-
		1.0 %	36.54	-
		1.5 %	41.40	-
	สภาพผิวปูนกาวแล้วทำการขยายหน้า ตัดด้วย HS-FRC	0.5 %	33.94	-
		1.0 %	36.19	-
		1.5 %	41.50	-

จากตารางที่ 4.4 แสดงผลกำลังรับแรงดัดของตัวอย่างคานคอนกรีตก่อนและหลังการขยายหน้าตัด จะเห็นว่าหากทำการผสมเส้นใยเหล็กในวัสดุ HS-FRC ในปริมาณที่มากขึ้นแล้วนำมาทำการขยายหน้าตัด ให้แก่โครงสร้างคาน ก็สามารถช่วยเพิ่มกำลังรับแรงดัดให้กับโครงสร้างคานมากยิ่งขึ้นตามไปด้วย กล่าวคือในการเตรียมสภาพผิวตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมสภาพผิวเรียบ การเพิ่มปริมาณเส้นใยเหล็กแบบตะขอในวัสดุ HS-FRC ที่ปริมาณ 0.5% กำลังรับแรงดัดสูงสุดจะได้ 27.86 kN, การเพิ่มปริมาณเส้นใยเหล็กแบบตะขอในวัสดุ HS-FRC ที่ปริมาณ 1.0% กำลังรับแรงดัดสูงสุดจะได้ 35.41

kN และการเพิ่มปริมาณเส้นใยเหล็กแบบตะขoinวัสดุ HS-FRC ที่ปริมาณ 1.0% กำลังรับแรงค้ดสูงสุดจะได้ 40.41 kN ตามลำดับ ส่วนการเตรียมสภาพผิวตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมสภาพผิวขรุขระการเพิ่มปริมาณเส้นใยเหล็กแบบตะขoinวัสดุ HS-FRC ที่ปริมาณ 0.5% กำลังรับแรงค้ดสูงสุดจะได้ 31.54 kN, การเพิ่มปริมาณเส้นใยเหล็กแบบตะขoinวัสดุ HS-FRC ที่ปริมาณ 1.0% กำลังรับแรงค้ดสูงสุดจะได้ 36.54 kN และการเพิ่มปริมาณเส้นใยเหล็กแบบตะขoinวัสดุ HS-FRC ที่ปริมาณ 1.0% กำลังรับแรงค้ดสูงสุดจะได้ 41.40 kN ตามลำดับ และในการเตรียมสภาพผิวตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมสภาพผิวปูนกาวการเพิ่มปริมาณเส้นใยเหล็กแบบตะขoinวัสดุ HS-FRC ที่ปริมาณ 0.5% กำลังรับแรงค้ดสูงสุดจะได้ 33.94 kN, การเพิ่มปริมาณเส้นใยเหล็กแบบตะขoinวัสดุ HS-FRC ที่ปริมาณ 1.0% กำลังรับแรงค้ดสูงสุดจะได้ 36.19 kN และการเพิ่มปริมาณเส้นใยเหล็กแบบตะขoinวัสดุ HS-FRC ที่ปริมาณ 1.0% กำลังรับแรงค้ดสูงสุดจะได้ 41.50 kN ตามลำดับ

4.4.5 การเพิ่มขึ้นของกำลังค้ดเมื่อเสริมกำลังด้วย HS-FRC

ในการวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของกำลังค้ดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมเมื่อเสริมกำลังด้วย HS-FRC สามารถแสดงเป็นค่าร้อยละของกำลังค้ดที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมได้ดังต่อไปนี้

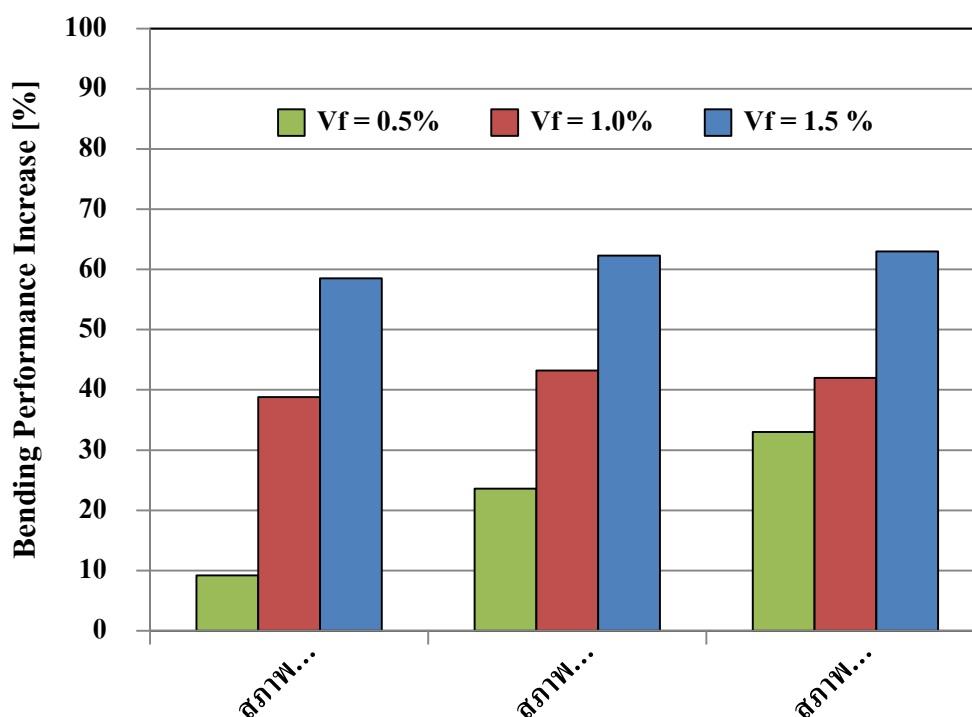
$$PI = (EBFRC - BC) / BC \times 100 \quad (1)$$

ขณะที่

PI = สมรรถนะการค้ดของคานที่เพิ่มขึ้น (%)

BC = กำลังค้ดสูงสุดของตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุม

EBFRC = กำลังค้ดสูงสุดของตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมที่ถูกเสริมกำลังด้วย HS-FRC



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบกำลังรับแรงดัดที่เพิ่มขึ้นในสภาพผิวต่างๆและการเสริมกำลังด้วย HS-FRC ในปริมาณต่างๆ

จากรูปที่ 4.13 แสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ ซึ่งพบว่า ตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมที่ถูกเสริมกำลังด้วย HS-FRC สำหรับสภาพผิวคอนกรีตเดิมการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ผสมเส้นใยเหล็กแบบตะขอที่ปริมาณเส้นใย (V_f) เท่ากับ 0.5% กำลังรับแรงดัดที่เพิ่มมากขึ้นประมาณ 9%, ที่ปริมาณเส้นใย (V_f) เท่ากับ 1.0% กำลังรับแรงดัดที่เพิ่มมากขึ้นประมาณ 39% และที่ปริมาณเส้นใย (V_f) เท่ากับ 1.5% กำลังรับแรงดัดที่เพิ่มมากขึ้นประมาณ 58% ตามลำดับ ในส่วนของสภาพผิวขรุขระการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ผสมเส้นใยเหล็กแบบตะขอที่ปริมาณเส้นใย (V_f) เท่ากับ 0.5% กำลังรับแรงดัดที่เพิ่มมากขึ้นประมาณ 24%, ที่ปริมาณเส้นใย (V_f) เท่ากับ 1.0% กำลังรับแรงดัดที่เพิ่มมากขึ้นประมาณ 43% และที่ปริมาณเส้นใย (V_f) เท่ากับ 1.5% กำลังรับแรงดัดที่เพิ่มมากขึ้นประมาณ 62% ตามลำดับ สำหรับสภาพผิวขรุขระการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC ผสมเส้นใยเหล็กแบบตะขอที่ปริมาณเส้นใย (V_f) เท่ากับ 0.5% กำลังรับแรงดัดที่เพิ่มมากขึ้นประมาณ 24%, ที่ปริมาณเส้นใย (V_f) เท่ากับ 1.0% กำลังรับแรงดัดที่เพิ่มมากขึ้นประมาณ 42% และที่ปริมาณเส้นใย (V_f) เท่ากับ 1.5% กำลังรับแรงดัดที่เพิ่มมากขึ้นประมาณ 64% ตามลำดับ

โดยจะสังเกตเห็นว่าร้อยละการเพิ่มขึ้นของสมรรถนะจะขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้เส้นใยเหล็กแบบตะขอ ขณะที่สภาพผิวต่างๆ ที่เตรียมในการเสริมกำลังมีผลน้อยมากเนื่องจากการไม่มีการหลุดร่อนที่การโก่งตัว

4.4.6 การเปรียบเทียบกับผลกำลังรับแรงดัดระหว่างกำลังรับแรงดัดที่ได้จากสมการ (Analysis) และผลกำลังรับแรงดัดระหว่างกำลังรับแรงดัดที่ได้จากการทดสอบจริง (Test)

ตารางที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบกำลังรับแรงดัด

สภาพผิวคานคอนกรีต	ปริมาณเส้นใยเหล็ก (V_r %) ใน HS-FRC	กำลังรับแรงดัดสูงสุดจากการสมการ (kN)	กำลังรับแรงดัดสูงสุดจากการทดสอบจริง (kN)
สภาพผิวเดิม (ไม่มีการเสริมกำลัง)	-	27.81	26.03
สภาพผิวคอนกรีตเดิมจากไม้แบบแล้วทำการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC	0.5 %	31.49	27.86
	1.0 %	34.02	35.41
	1.5 %	35.44	40.41
สภาพผิวขรุขระแล้วทำการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC	0.5 %	31.49	31.54
	1.0 %	34.02	36.54
	1.5 %	35.44	41.40
สภาพผิวปูนกวาดแล้วทำการขยายหน้าตัดด้วย HS-FRC	0.5 %	31.49	33.94
	1.0 %	34.02	36.19
	1.5 %	35.44	41.50

จากตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบกำลังรับแรงดัดจากผลการคำนวณโดยใช้สมการ(Analysis) และจากผลการทดสอบจริง(Test) ของตัวอย่างคานคอนกรีตก่อนและหลังการขยายหน้าตัด จะเห็นว่าก่อนทำการขยายหน้าตัดให้แก่ตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุมผลกำลังรับแรงดัดที่ได้จากสมการ (Analysis) กำลังแรงดัดสูงสุดที่ได้คือ 27.81 kN และผลกำลังรับแรงดัดที่ได้จากการทดสอบ (Test) กำลังแรงดัดสูงสุดที่ได้คือ 26.03 kN และเมื่อทำการเพิ่มปริมาณการผสมเส้นใยเหล็กในวัสดุ HS-FRC ในปริมาณที่มากขึ้นแล้วนำมาทำการขยายหน้าตัดให้แก่โครงสร้างคาน ก็สามารถช่วยเพิ่มกำลังรับแรงดัดให้กับโครงสร้างคานมากยิ่งขึ้นตามไปด้วย ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการคือ การเพิ่มปริมาณเส้นใยเหล็กแบบตะขอใน HS-FRC ที่ปริมาณ 0.5% กำลังรับแรงดัดสูงสุดจะอยู่ที่ 31.49 kN ส่วนการเพิ่มปริมาณเส้นใยเหล็กแบบตะขอใน HS-FRC ที่ปริมาณ 1.0% กำลังรับแรงดัดสูงสุดจะอยู่ที่ 34.02 kN และในการเพิ่มปริมาณเส้นใยเหล็กแบบตะขอใน HS-FRC ที่ปริมาณ 1.5% กำลังรับแรงดัดสูงสุดจะอยู่ที่ 35.44 kN และผลที่ได้จากการทดสอบจริง(Test) จะเห็นได้ว่าในสภาพผิวคอนกรีตเดิมจากไม้แบบการเพิ่มปริมาณเส้นใยเหล็กแบบตะขอ HS-FRC ที่ปริมาณ 0.5% กำลังรับแรงดัดสูงสุดจะอยู่ที่ 27.86 kN ส่วนการเพิ่มปริมาณเส้นใยเหล็กแบบตะขอ HS-FRC ที่ปริมาณ 1.0% กำลังรับแรงดัดสูงสุดจะอยู่ที่ 35.41 kN และในการเพิ่มปริมาณเส้นใยเหล็กแบบตะขอ HS-FRC ที่ปริมาณ 1.5% กำลังรับแรงดัดสูงสุดจะอยู่ที่ 40.41 kN และในสภาพผิวขรุขระการเพิ่มปริมาณเส้นใยเหล็กแบบตะขอ HS-FRC ที่ปริมาณ 0.5% กำลังรับแรงดัดสูงสุดจะอยู่ที่ 31.54 kN ส่วนการเพิ่มปริมาณเส้นใยเหล็กแบบตะขอ HS-FRC ที่ปริมาณ 1.0% กำลังรับแรงดัดสูงสุดจะอยู่ที่ 36.54 kN และในการเพิ่มปริมาณเส้นใยเหล็กแบบตะขอ HS-FRC ที่ปริมาณ 1.5% กำลังรับแรงดัดสูงสุดจะอยู่ที่ 41.40 kN และสภาพผิวปูนกาการเพิ่มปริมาณเส้นใยเหล็กแบบตะขอ HS-FRC ที่ปริมาณ 0.5% กำลังรับแรงดัดสูงสุดจะอยู่ที่ 33.94 kN ส่วนการเพิ่มปริมาณเส้นใยเหล็กแบบตะขอ HS-FRC ที่ปริมาณ 1.0% กำลังรับแรงดัดสูงสุดจะอยู่ที่ 36.19 kN และในการเพิ่มปริมาณเส้นใยเหล็กแบบตะขอ HS-FRC ที่ปริมาณ 1.5% กำลังรับแรงดัดสูงสุดจะอยู่ที่ 41.50 kN เมื่อนำมาทำการเปรียบเทียบกันจะเห็นว่ากำลังรับแรงดัดสูงสุดที่ได้จากการทดสอบจริงมีค่าใกล้เคียงกับกำลังรับแรงดัดสูงสุดที่ได้จากการคำนวณในสมการ