

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงประเภทของคอนกรีตเสริมเส้นใย มาตรฐานเส้นใยหลักสำหรับคอนกรีตเสริมเหล็ก คุณสมบัติของเส้นใยหลัก พฤติกรรมการรับแรงดึงของคอนกรีตเสริมเส้นใยหลักแบบตะขอ รวมถึงงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการใช้เส้นใยในงานคอนกรีต

2.1 วัสดุซีเมนต์ผสมเส้นใย (Fiber Reinforced Cement Composites)

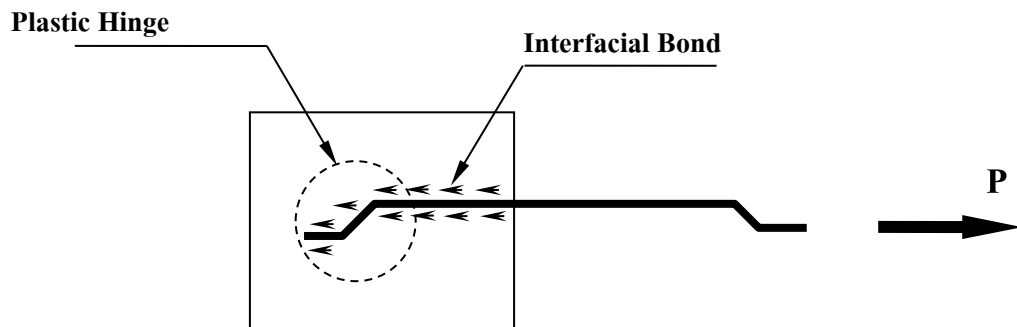
วัสดุซีเมนต์ผสมเส้นใย คือ คอนกรีตที่ผสมเส้นใยชนิดต่าง ๆ เส้นใยดังกล่าวอาจได้มาจากธรรมชาติ เช่น เส้นใยหิน ป่านสรนารายณ์ ปอ หรือขนสัตว์บางชนิด และได้มาจากการผลิต เช่น เส้นใยเหล็ก เส้นใยแก้ว เส้นใยสังเคราะห์ เป็นต้น วัตถุประสงค์หลักคือ เพิ่มความสามารถการต้านทานแรงดึงในคอนกรีต ลดการแตกร้าวในคอนกรีต เพิ่มความเหนียวในเนื้อคอนกรีตให้ได้มากกว่าคอนกรีตปกติ [1]

2.1.1 การรับกำลังของเส้นใย

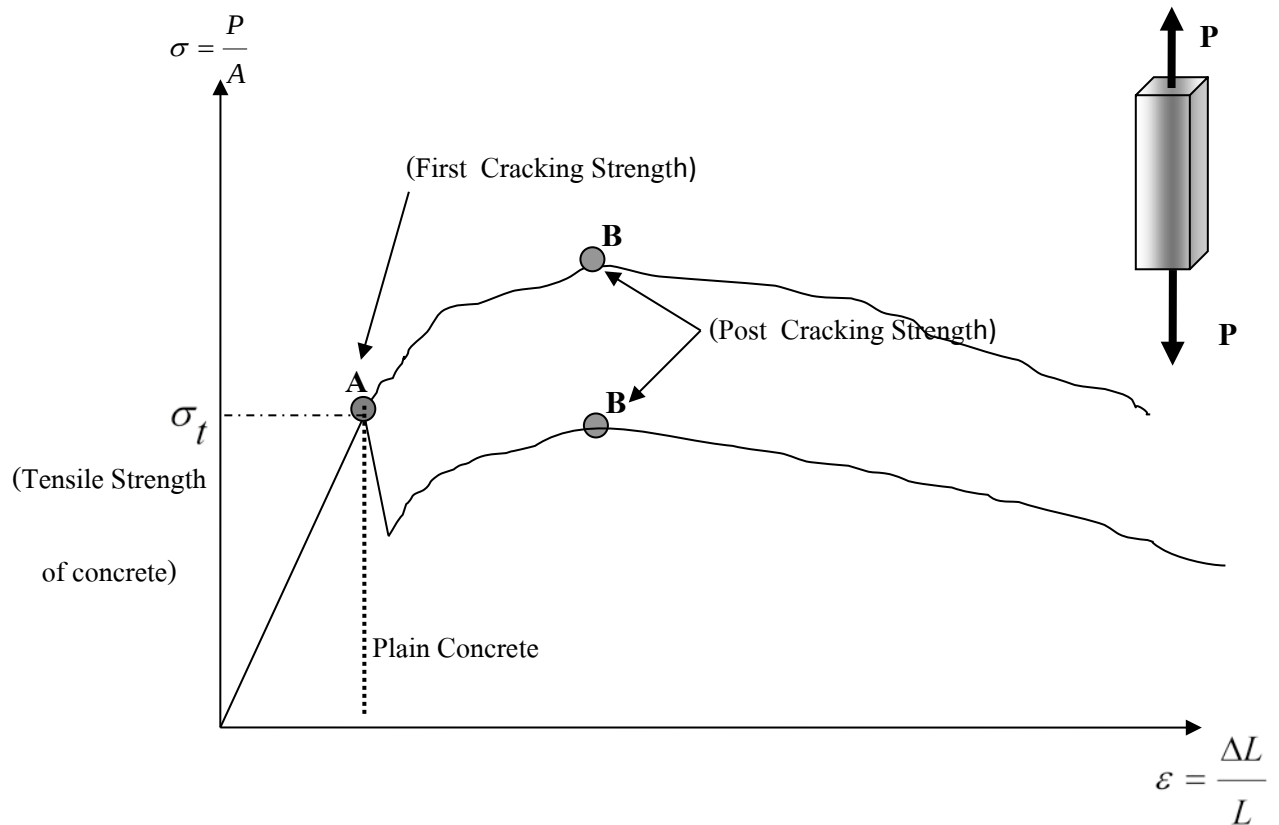
การรับกำลังดึงของเส้นใยในคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยกับส่วนผสมคอนกรีต (Interfacial Bond) เป็นหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.1 การยึดเหนี่ยวดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเส้นใย คือ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเส้นใย ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาวของเส้นใย รวมถึงกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ในการผสมเส้น เป็นต้น

การรับกำลังดึงของชิ้นส่วนคอนกรีตที่ผสมเส้นใยนั้นได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.2 เพื่ออธิบายพฤติกรรมดังกล่าวโดยสังเขปได้ดังนี้ ในชิ้นส่วนรับแรงดึงที่ไม่ได้ทำการผสมเส้นใย คอนกรีตนั้นจะทำหน้าที่รับแรงดึงที่เกิดขึ้นเพียงลำพัง แต่คุณสมบัติของคอนกรีตนั้นสามารถรับกำลังดึงได้น้อยมากเมื่อความเค้นดึงในชิ้นส่วนเพิ่มมากขึ้นถึงจุด A หรือเรียกว่าค่าความเค้นดึงของคอนกรีต (Tensile Strength of concrete) หรือจุดเริ่มต้นของการแตกร้าว(First Cracking Strengths) ในจุดนี้ชิ้นส่วนรับแรงดึงที่ไม่ได้ทำการผสมเส้นใยจะไม่สามารถรับกำลังต่อไปได้ การนำเส้นใยมาผสมในคอนกรีตเพื่อให้คอนกรีตนั้นมีคุณสมบัติรับแรงดึงได้ดีขึ้น เราเรียกคอนกรีตเสริมเส้นใยที่มีสมรรถนะสูงนี้ว่า High Performance Fiber Reinforced Cement Composites (HPFRCC) พฤติกรรมที่ได้หลังจากการแตกร้าวนั้นการรับกำลังดึงจะเพิ่มมากขึ้นต่อไปได้อีก ในช่วงนี้เส้นใยจะเข้ามาทำหน้าที่รับแรงดึงที่เกิดขึ้นทั้งหมด และทำให้สามารถรับกำลังต่อไปได้ โดยที่พฤติกรรมการรับกำลังขึ้นนั้นจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการถูกถอนออกจากเนื้อคอนกรีต ปริมาณการผสมเส้นใย จนถึงจุด B (Post Cracking

Strength) การรับกำลังก็จะตกลง และพฤติกรรมดังกล่าวจะเป็นเช่นนี้จนกระทั่งเส้นใยถูกถอนออกหมด หรือเส้นใยเกิดการขาด [1]



รูปที่ 2.1 แบบจำลองพฤติกรรมการต้านทานการถูกถอนของเส้นใยกับคอนกรีต



รูปที่ 2.2 พฤติกรรมการรับแรงดึงระหว่างความเค้นดึงกับความเครียดดึงของชิ้นตัวอย่างคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กแบบตะขอรับแรงดึง

2.2 ชนิดของเส้นใย และลักษณะการนำไปใช้งาน

เส้นใยที่มีการนำไปใช้งานก่อสร้างต่าง ๆ และมีขายในท้องตลาดนั้น มีมากมาย [2] ตัวอย่างเช่น

1. เส้นใยหิน (Asbestos) เป็นเส้นใยที่ได้มาจากธรรมชาติ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตท่อหลังคา และกระเบื้องซีเมนต์ใยหิน คุณสมบัติที่สำคัญคือ มีความต้านทานการกัดกร่อนและการเสียดสีที่ดี แต่การใช้ต้องระมัดระวัง เพราะใยหินอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้

2. เส้นใยเหล็ก (Steel Fiber) ได้จากการคัดลวดให้มีความยาวตามที่ต้องการ การใช้งานมีทั้งการใช้ลวดเส้นตรงหรือตัดปลายของลวดนั้น เพื่อให้เกิดการยึดเหนี่ยวที่ดีขึ้น รวมทั้งต้องมีการเคลือบป้องกันสนิมด้วย

3. เส้นใยแก้ว (Glass Fiber) ใยแก้วที่ใช้ในอุตสาหกรรมคอนกรีตจะอยู่ในลักษณะเป็นกลุ่มของเส้นใยใน 1 กลุ่ม มีประมาณ 400 เส้นใย นิยมใช้กับงานตบแต่งทางสถาปัตยกรรม (Glass Reinforcement Concrete GRC) แต่ต้องระมัดระวังในการใช้งาน เพราะใยแก้วจะถูกทำลายโดยด่างในคอนกรีต ปัจจุบันแก้ไขโดยการเลือกใช้ใยแก้วที่มีความทนทานสูง

4. เส้นใยสังเคราะห์ (Polymeric Fiber) ได้แก่ เส้นใยของไนลอน และเส้นใย Polypropylene ที่มีลักษณะและความยาวแตกต่างกัน แล้วแต่การใช้งาน เช่น เส้นใยเดี่ยว เส้นใยกลุ่ม ความยาว 20 หรือ 40 มม. ใส่ในคอนกรีต เพื่อลดการแตกร้าวที่ผิว สำหรับถนนหรือพื้นคอนกรีต นอกจากนี้ยังมีเส้นใยคาร์บอนที่มีความสามารถต้านทานแรงดึงและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูงมาก ซึ่งถือว่าเป็นวัสดุที่ค่อนข้างใหม่ในงานคอนกรีต

5. เส้นใยเซรามิก (Ceramic Fiber) เป็นวัสดุผสมคอนกรีตที่ใหม่มาก ราคาสูง แต่มีคุณสมบัติด้านการต้านทานการกัดกร่อน และการเสียดสีที่ดีมาก

คุณสมบัติของเส้นใยแต่ละชนิด สรุปอยู่ใน ตารางที่ 2.1 โดยสังเขป

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของเส้นใย

ชนิดของไฟเบอร์	ความถ่วง จำเพาะ	ความเค้นดึง MPa	โมดูลัสยืดหยุ่น GPa	Elongation At Failure, %	Poisson's Ratio
Crysotile Asbestos	2.55	2950 – 4400	160.8	3	0.30
Alkali – Resistant Glass	2.71	1960 – 2750	78.5	2.0 – 3.0	0.22
Fibrillated Polypropylene	0.91	640	7.8	8	0.29 – 0.48
Steel	7.84	1000 – 3100	196.2	3.0 – 4.0	0.30
Carbon	1.74 – 1.99	1380 – 3140	245.3 – 392.4	0.4 – 1.0	0.2 – 0.4
Kevlar	1.45	3500	63.8 – 127.5	2.0 – 4.0	0.32

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จินตชัย ไกรนรา [2] ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของชนิดและปริมาณเส้นใยเหล็กแบบตะขอและกำลังอัดของคอนกรีตที่มีผลต่อพฤติกรรมการรับแรงดึงของคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กแบบตะขอ โดยเส้นใยเหล็กแบบตะขอที่ใช้ในการวิจัยนี้มีลักษณะการตัดที่ปลายสองจุด ขึ้นตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบการมีขนาด 5 ซม. x 5 ซม. x 50 ซม. โดยทำการทดสอบการดึง ที่มีความยาวช่วงทดสอบเท่ากับ 20 ซม. ตัวแปรที่ที่ใช้ในการศึกษาคือ (1) ชนิดของเส้นใยเหล็กแบบตะขอที่อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลางเส้นใย (L_f/D) เท่ากับ 65/60 65/35 และ 80/60 (2) ปริมาณการผสมเส้นใยเหล็กแบบตะขอ (V_f) เท่ากับ 0% 0.25% 0.5% 1.0% และ 1.5% โดยปริมาตรของคอนกรีต (3) กำลังอัดของคอนกรีต (f_c) เท่ากับ 30 40 และ 50 MPa จากการศึกษาพบว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลางเส้นใย (L_f/D) ปริมาณเส้นใย (V_f) และกำลังอัดของคอนกรีต (f_c) ส่งผลให้กำลังในการรับแรงดึงและความเหนียวของคอนกรีตสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อคอนกรีตมีความแข็งแรงขึ้น จะทำให้เส้นใยเหล็กแบบตะขอมีประสิทธิภาพในการทำงานที่สูงขึ้นด้วย

Attari และ คณะ [3] ได้ทำการศึกษาเรื่องการนำวัสดุ Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP), Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP), Hybrid Fiber Reinforced Polymer (HFRP) มาใช้ในการเสริมกำลังให้แก่โครงสร้างคาน โดยทำการหล่อตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 0.10 x 0.16 m ยาว 1.5 m เสริมเหล็กล่าง ขนาด 2 – RB10 mm ,เหล็กบนขนาด 2 – RB8 mm ,เหล็กปลอกขนาด 6 mm@0.12 m กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้เท่ากับ 39 Mpa แล้วนำวัสดุ CFRP, GFRP, HFRP มาทำการหล่อพอกหน้าตัดแบบ U Shape เพื่อเปรียบเทียบกำลังรับแรงดัดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองคือเมื่อนำวัสดุ CFRP, GFRP, HFRP มาใช้ในการหล่อพอกขยายหน้าตัดคาน

Yousel และ คณะ [4] ได้ทำการศึกษาเรื่องการนำ Textile-Reinforced Mortar (TRM) ซึ่งเป็นการนำแผ่น Textile มาผสมกับซีเมนต์มอร์ต้ามาใช้ในการเสริมกำลังให้แก่โครงสร้างคาน โดยทำการหล่อคานตัวอย่างขนาด 0.15 x 0.20 m ยาว 1.2 m m เสริมเหล็กล่าง ขนาด 4 - RB10 mm ,เหล็กบนขนาด 2 – RB10 mm ,เหล็กปลอกขนาด 6 mm@0.40 m กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้เท่ากับ 20 Mpa แล้วนำแผ่น Textile (2 ชนิดคือ แบบ 0/90 องศา และ 45/45 องศา) มาผสมกับซีเมนต์มอร์ต้า(2 ชนิดคือ Cementitious Mortar และ Polymer-Modified) ไปหล่อพอกบริเวณด้านข้างบริเวณทั้ง 2 ด้านของคานตัวอย่าง และทำการทดสอบโดยใช้การทดสอบการรับกำลังดัดโดยการกดแบบ 4 จุด (4 - Point Bending Test) ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองคือเมื่อนำวัสดุ Textile-Reinforced Mortar (TRM) มาใช้ในการหล่อพอกเพื่อเสริมกำลังให้แก่คาน สามารถช่วยให้คานรับแรงดัดได้มากขึ้นเล็กน้อยกว่า

Giovani และ คณะ [5] ได้ทำการศึกษาเรื่องการนำ High Performance Fiber Reinforced Concrete (HPFRC) ซึ่งเป็นการนำมอร์ต้าคุณภาพสูงผสมเส้นใยเหล็กขนาดเล็ก มาใช้ในการเสริมกำลังให้แก่โครงสร้างคาน โดยทำการหล่อตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 0.50×0.30 m ยาว 4.55 m เสริมเหล็กกลาง ขนาด 2 - RB16 mm ,เหล็กบนขนาด 2 - RB12 mm ,เหล็กปลอกขนาด 8 mm@0.15 m กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้เท่ากับ 22 MPa แล้วใช้เครื่องพ่นทราย พ่นที่บริเวณผิวของตัวอย่างคานควบคุม เพื่อให้เกิดความขรุขระแล้วจึงทำการหล่อพอกขยายหน้าตัดด้วย High Performance Fiber Reinforced Concrete (HPFRC) ซึ่งประกอบด้วยมอร์ต้าคุณภาพสูง(Aggregate size of 1.3 mm + Cement + Micro-silica ratio equal to 0.17 by weight) ผสมเส้นใยเหล็กขนาดเล็ก(Micro-Fiber) ยาว 12 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.18 mm กำลังอัดที่ 28 วันเท่ากับ 177 Mpa ใช้การหล่อพอกหน้าตัดแบบ U Shape โดยความหนาในการหล่อพอกเท่ากับ 4 cm ซึ่งในการทดลองนี้ใช้การทดสอบการรับกำลังดัดโดยการกดแบบ 4 จุด (4 - Point Bending Test) ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองคือเมื่อนำวัสดุ High Performance Fiber Reinforced Concrete (HPFRC) มาใช้ในการหล่อพอกขยายหน้าตัดคาน ช่วยให้คานรับแรงดัดได้มากขึ้นแต่เมื่อถึงจุดที่รับแรงดัดสูงสุดคานจะเกิดการวิบัติขึ้นทันที

ชูชัย สุจิวรกุล และ สราวุธ แสงแสน [6] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการใช้เส้นใยเหล็กแบบตะขอ ที่มีต่อกำลังดัดและพฤติกรรมการดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยเส้นใยเหล็กแบบตะขอที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีลักษณะการดัดที่ปลายสองจุด ความยาว 35 มม. อัตราส่วนความชะลูดเท่ากับ 65 ขึ้นตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบการดัด มีขนาด $0.10 \times 0.15 \times 1.30$ m. โดยทำการทดสอบการดัดแบบ 4 จุดที่มีความยาวช่วงทดสอบเท่ากับ 1.20 m. ขึ้นตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบแรงอัดมีขนาด $0.15 \times 0.15 \times 0.15$ m. ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษานี้ คือ (1) กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้เท่ากับ 300 กก./ซม.² และ 400 กก./ซม.²; (2) ปริมาณการผสมเส้นใยเหล็กแบบตะขอ เท่ากับ 0% , 0.5% และ 1.0% โดยปริมาตรของคอนกรีต; (3) ปริมาณการเสริมเหล็ก คือ 2-RB 9 มม. , 2-RB 12 มม. และ 2-RB 15 มม. จากการศึกษาพบว่า การเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีต การเพิ่มปริมาณการผสมเส้นใยเหล็กแบบตะขอ และการเพิ่มปริมาณการเสริมเหล็ก ส่งผลให้กำลังรับโมเมนต์ดัดและความเหนียวของคานคอนกรีตเสริมเหล็กสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อคานคอนกรีตเสริมเหล็กมีความแข็งแรงขึ้น จะทำให้เส้นใยเหล็กแบบตะขามีประสิทธิภาพในการทำงานที่สูงขึ้นด้วย

จากงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาเกี่ยวกับการนำเอาเส้นใยมาใช้งานคอนกรีตนั้น พบว่ามีทั้งการนำเส้นใยมาใช้ในการเพิ่มสมรรถนะของคอนกรีตทั้งในด้านการรับแรงดึง และการทนทานต่อแรงกระแทกของคอนกรีต การใช้เส้นใยเพื่อการควบคุมการแตกร้าวจากการหดตัวของคอนกรีต รวมทั้งการศึกษาถึงความทนทานของคอนกรีตที่มีเส้นใยเป็นส่วนผสมอีกด้วย จากรายงานการใช้เส้นใยในงานคอนกรีต ในช่วงเมื่อ 25 ปีที่ผ่านมา พบว่าเส้นใยเหล็กถูกนำมาใช้งานจริงมากที่สุดและปริมาณ

การใช้ก็เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่ามีการมากมายที่ได้พูดถึงการนำเส้นใยมาใช้ดังในส่วนอ้างอิงที่ [7 – 12] เป็นต้น และได้มีการวิจัยจากนักวิจัยต่าง ๆ ทั่วโลกที่เกี่ยวข้องกับการผสมเส้นใยเหล็กในคอนกรีต โดยได้ศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น และส่งผลต่อการรับกำลังของคอนกรีตที่ผสมเส้นใยเหล็ก โดยตัวแปรที่มักจะศึกษา คือ รูปร่างลักษณะของเส้นใย และปริมาณการผสมเป็นหลักใหญ่ ๆ จากงานวิจัยที่ผ่านมา นักวิจัยไม่ได้ทำการศึกษาผลกระทบของขนาดหินจากงานวิจัยบางงานพบว่าหินที่ผสมในคอนกรีตมีผลต่อการรับกำลังอัด และคด ดังงานวิจัยต่อไปนี้เป็นต้น

Walker และ Bloem [13] ได้ทำการศึกษารูปร่างและลักษณะพื้นผิวของมวลรวม ที่เกี่ยวข้องต่ออิทธิพลและคุณสมบัติด้านการรับกำลังอัดของคอนกรีต โดยที่ลักษณะมวลรวมที่มีผิวขรุขระกว่า จะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ต้ากับมวลรวมหยาบที่แข็งแรงและดีกว่า สิ่งที่เพิ่มเติมอีกก็คือความที่เป็นรูปทรงแปดเหลี่ยม และลักษณะผิวของมวลรวมหยาบก็จะมีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตด้วย

Gysel [14] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการถูกถอนออกจากวัสดุผสมซีเมนต์ของเส้นใยเหล็กแบบตะขอ โดยได้จำลองลักษณะของเส้นใยเหล็กแบบตะขอเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีลักษณะการเกิดโมเมนต์คดที่เส้นใยเหล็กแบบตะขอที่จุด โดยสามารถสร้างสมการจำลองการรับแรงการถูกถอนออกจากวัสดุผสมซีเมนต์ได้ในระดับหนึ่ง

Alwan, Naaman และ Guerrero [15] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการถูกถอนออกจากวัสดุผสมซีเมนต์ของเส้นใยเหล็กแบบตะขอ โดยได้จำลองลักษณะของเส้นใยเหล็กแบบตะขอเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีลักษณะการคำนวณแรงเสียดทาน (Interfacial Bond) และการรับแรงของการคดงอที่ปลายของเส้นใย (Plastic Hinge) จากแบบจำลองดังกล่าวจะทำให้ได้กำลัง และพฤติกรรมการถูกถอนออกจากวัสดุผสมซีเมนต์ของเส้นใยเหล็กแบบตะขอ อย่างถูกต้องขึ้น

Wecharatana และ Lin [16] ได้ทำการทดสอบแรงดึงเพื่อศึกษาคุณสมบัติการรับแรงดึงของคอนกรีตกำลังสูงผสมเส้นใยเหล็ก (Hooked – End Fiber) ในปริมาณมากเท่ากับ 4 – 10 % อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ คงที่เท่ากับ 0.35 ผสมซิลิกาฟูม (Silica Fume) 10 % ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ และสารลดน้ำ 4 % เพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงาน ซึ่งจากส่วนผสมดังกล่าวนี้ได้อัด (Compressive Strengths) ที่ 80 MPa จากการทดสอบพบว่า การรับแรงดึง (Tensile Strength) นั้นจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับปริมาณของการผสมไฟเบอร์ในคอนกรีตเสริมที่ผสมเส้นใยเหล็ก (Hooked – End Fiber) สามารถคาดการณ์ได้แน่นอนภายหลังจากการแตกร้าวในลักษณะแรงดึงเป็นหลัก

Balaguru และ Dipsia [17] ได้ทำการศึกษาการรับกำลังอัด, การรับแรงดึงแบบผ่าซีก, กำลังคด, และกำลังรับแรงเฉือน ของคอนกรีตผสมเส้นใยถึงน้ำหนักเบา โดยผสมซิลิกาฟูม และสารลดน้ำ ที่ผสมเพื่อให้เป็นคอนกรีตมีกำลังสูง ซึ่งตัวแปรที่สำคัญคือความยาวของไฟเบอร์ และการผสมไฟเบอร์จะช่วยให้ค่าโมดูลัสการรับกำลังอัด การรับแรงดึงแบบผ่าซีก กำลังคด และกำลังรับแรงเฉือน นั้นเพิ่มสูงขึ้น และจะเห็นได้ว่าภายใต้การรับแรงคดไฟเบอร์จะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นได้ดี

Furlan และ คณะ [18] ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมในการต้านทานแรงเฉือนและอิทธิพลของเส้นใยที่มีต่อสมรรถนะการรับกำลังของโครงสร้างโดยตรง เส้นใยที่ใช้ในการศึกษามีสองชนิดประกอบด้วย เส้นใยเหล็กและเส้นใยโพลีโพรพิลีน ตัวแปรที่ศึกษาคือปริมาณเหล็กเสริมต้านทานแรงเฉือนที่แตกต่างกันเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว พบว่าการผสมเส้นใยเหล็กจะมีผลในการต้านทานแรงเฉือนได้เป็นอย่างดี

Naaman และ Hammoud [19] ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติในการต้านทานการล้าจากแรงคดซ้ำ (Bending Fatigue) ของคอนกรีตกำลังสูงเสริมเส้นใย โดยได้ทำการศึกษาทั้งคอนกรีตที่ให้กำลังสูงเร็ว (High Early Strength Fiber – Reinforced Concrete, HESFRC) ซึ่งได้ให้คำนิยามไว้ว่า HESFRC คือ คอนกรีตที่ให้กำลังอัดไม่ต่ำกว่า 5 กิโลปอนด์ต่อตารางนิ้ว (35 MPa) ภายในเวลา 24 ชั่วโมง การศึกษาเริ่มต้นด้วยการศึกษาทั้งคุณสมบัติของคอนกรีตก่อนการแข็งตัวและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว หลังจากนั้นจึงทำการทดสอบคานแบบแรงคดสี่จุด (Four Point Bending) ทั้งหมด 24 ตัวอย่าง แบ่งเป็นชุดที่หนึ่งคือตัวอย่างควบคุม 10 ตัวอย่าง ซึ่งทำการทดสอบแบบ Static Flexural Loading และชุดที่สองอีก 14 ตัวอย่าง ทดสอบแบบ Fatigue Loading ทุกตัวอย่างทดสอบใช้เส้นใยเหล็กแบบตะขอ (Hooked Steel Fiber) ในปริมาตรร้อยละ 2 การทดสอบชุดที่สองจะแบ่งแรงกดออกเป็น สามช่วง คือ ร้อยละ 10-70, 10-80 และ 10-90 ของกำลังสูงสุดที่ได้จากการทดสอบ ตัวอย่างชุดที่หนึ่ง จากการทดสอบจะได้รับความสัมพันธ์ระหว่าง Fatigue Stress สูงสุดกับจำนวนรอบที่วิบัติและสามารถนำไปเขียนเป็นสมการเพื่อการประมาณค่าได้ต่อไป จากบทสรุปผลการทดสอบจะเห็นว่าคอนกรีตที่เสริมด้วยเส้นใยเหล็กแบบตะขอมีความสามารถในการต้านทานการล้าได้มากกว่าคอนกรีตล้วนสูงมาก

Nataraja และ คณะ [20] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมความเค้นและความเครียดของคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กชนิดหยัก (Crimped Steel Fiber) และเปรียบเทียบผลกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อที่จะหาสมการที่มีความถูกต้องและนำไปใช้ในการคำนวณออกแบบต่อไป โดยได้จากการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่มีกำลังอัดอยู่ในช่วง 30 – 50 MPa ปริมาณของเส้นใยที่ใช้ในการทดสอบคือ ปริมาตรร้อยละ 0.50, 0.75 และ 1.0 (35, 59 และ 78 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

และพิจารณาที่สอง Aspect Ratio คือ 55 และ 82 ค่าพารามิเตอร์ที่ศึกษาประกอบด้วย ค่าความเค้นสูงสุด ค่าความเครียด ณ ตำแหน่งความเค้นสูงสุด ค่าดูดซับพลังงาน (Toughness) และลักษณะของเส้นกราฟความเค้น - ความเครียด ทั้งส่วนที่ขึ้นขึ้นและตกลงหลังจากถึงจุดยอด (Peak Stress)

Chandrangsu และ Naaman [21] ได้ทำการศึกษาการรับแรงดึงและการรับโมเมนต์ดัดในตัวอย่างวัสดุผสมซีเมนต์เสริมเส้นใย โดยเส้นใยที่นำมาใช้ในการศึกษา ได้แก่ Spectra Fiber, โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ PVA และ Torex อยู่ที่ 2% ผสม Spectra อยู่ที่ 1.5% พบว่าวัสดุผสมซีเมนต์เสริมเส้นใยทั้ง 3 ชนิด สามารถเพิ่มสมรรถนะในการรับแรงดึงสูงสุดให้มากขึ้นได้ และยังทำให้พฤติกรรมการรับแรงดึงและโมเมนต์ดัดทำได้ดียิ่งขึ้นภายหลังจากการแตกร้าว โดยที่เส้นใยเหล็กแบบ Torex ช่วยเพิ่มสมรรถนะดังกล่าวได้ดีที่สุด

Montesinos [22] ได้ทำการศึกษาความทนทาน, การพัฒนาพื้นที่ใต้กราฟความเค้น - ความเครียด และการพังทลาย ในวัสดุซีเมนต์ประสานผสมเส้นใย เมื่อรับแรงแบบกระทำซ้ำจากการเกิดแผ่นดินไหวในชั้นส่วนต่างๆ ของโครงสร้าง เช่น คาน, เสา และจุดต่อเสากับคานเป็นต้น โดยเส้นใยที่ใช้เป็นเส้นใยเหล็กผสมในปริมาณที่มาก 1.2 – 2 % พบว่า โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ผสมเส้นใยสามารถรับแรงที่กระทำซ้ำๆ ได้เป็นอย่างดี และที่ผสมเส้นใยยังช่วยทำให้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นมีความเหนียวมากขึ้น

ชูชัย สุจิวิรกุล [23] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของขนาดคานที่มีผลต่อการรับกำลังดัดของวัสดุผสมซีเมนต์เสริมไฟเบอร์ โดยไฟเบอร์เหล็กที่ใช้ในการผสมกับวัสดุผสมซีเมนต์ผสม 2 ชนิด ประกอบด้วย ไฟเบอร์เหล็กลักษณะคล้ายตะขอ (Hooked Steel Fibers) และไฟเบอร์แบบแผ่นบิดเกลียว (Harex Steel Fiber) โดยกำลังอัดของวัสดุซีเมนต์ผสมที่ 1,100 ksc และ 420 ksc และทำการทดสอบโดยใช้การทดสอบการรับกำลังดัดโดยการกดแบบ 4 จุด (4 - Point Bending Test) ผลการศึกษาพบว่าอิทธิพลของขนาดคานที่มีผลต่อการรับกำลังดัดของวัสดุผสมซีเมนต์เสริมไฟเบอร์นั้นขึ้นอยู่กับขนาดความลึกของคานเป็นตัวแปรหลัก กล่าวคือ เมื่อเปรียบเทียบในกรณีที่ใช้ไฟเบอร์แบบเดียวกันกำลังอัดเท่ากับคานที่มีขนาดของความลึกมากจะสามารถรับกำลังอัดได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดและลักษณะของไฟเบอร์ยังส่งผลถึงการรับกำลังดัด โดย ในวัสดุผสมซีเมนต์เสริมไฟเบอร์ที่ใช้แบบไฟเบอร์เหล็กลักษณะคล้ายตะขอ (Hooked Steel Fiber) ในการผสมจะส่งผลให้การรับกำลังดัดเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้ไฟเบอร์แบบแผ่นบิดเกลียว (Harex Steel Fibers) และในการผสมโดยใช้ไฟเบอร์เหล็กลักษณะคล้ายตะขอ (Hooked Steel Fibers) ยังมีความสามารถแตกต่างกันเมื่อใช้ขนาดของไฟเบอร์ที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ไฟเบอร์เหล็กลักษณะคล้ายตะขอที่มีอัตราส่วนความ

ยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่มากกว่าก็จะส่งผลให้การรับกำลังคดมากกว่าการผสมไฟเบอร์เหล็ก ลักษณะคล้ายตะขอที่มีอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่น้อยกว่า

ชูชัย สุจิวิกุล และ วาญญู ชุตติคามิ [24] ได้ศึกษาถึงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติในการรับแรงคด และแรงอัดของชิ้นส่วนคอนกรีตที่ผสมเส้นใยเหล็กแบบตะขอ โดยเส้นใยเหล็กแบบตะขอ โดยเน้นใยเหล็กแบบตะขอที่ใช้ในการวิจัยนี้มีลักษณะการคดที่ปลายสองจุด ชิ้นตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบการคดมีขนาด 10 ซม. x 10 ซม. x 35 ซม. โดยทำการทดสอบการคดแบบ 4 จุด ที่มีความยาวช่วงทดสอบเท่ากับ 30 ซม. และชิ้นตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบการอัดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม. ซึ่งการทดสอบทั้งสองเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM ตัวแปรที่ถูกใช้ในการศึกษา คือ (1) กำลังอัดของคอนกรีต (34 MPa, 49 MPa และ 70 MPa); (2) ขนาดมวลรวมหยาบ 4 ขนาด; (3) ปริมาณของเส้นใย (35, 70 และ 105 กก/ม³); (4) ขนาดของเส้นใย ($L_f/D = 65$ และ $L_f/D = 80$); และ (5) กำลังดึงของเส้นใย ($f_y = 1100$ MPa และ $f_y = 2000$ MPa) จากการศึกษาพบว่าการเพิ่มขึ้นของกำลังอัดของคอนกรีต, ปริมาณการผสมของเส้นใย, อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง, และกำลังดึงของเส้นใย ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของกำลังและพฤติกรรมในการรับแรงคด และแรงอัด นอกจากนี้ยังพบว่า ขนาดมวลรวมหยาบที่มีขนาดเล็กส่งผลที่ดีต่อการรับแรงคดและแรงอัด อย่างไรก็ตามการเพิ่มสมรรถนะให้สูงขึ้นทั้งทางด้านกำลัง และพฤติกรรมการรับแรงของวัสดุผสมเส้นใยนี้ สามารถที่จะพัฒนาได้จากการผสมผสานอย่างเหมาะสมของตัวแปรต่าง ๆ ที่กล่าวมา

อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ผ่านมา นั้น ยังไม่มีการนำคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กแบบตะขอไปใช้ในการซ่อมแซมหรือเสริมกำลังคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีการหล่อพอก ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะค้นคว้าและศึกษาถึงความสัมพันธ์ในตัวแปรต่างๆ ที่มีผลเกี่ยวเนื่องกับการเสริมกำลังดังกล่าว ว่าในแต่ละตัวแปรส่งผลต่อกันเช่นไร และการที่จะพัฒนาควรทำอย่างไร