

บทที่ 2

หลักการ ทฤษฎี และงานศึกษาที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึง หลักการและงานศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการใช้เส้นใยในงานคอนกรีต ซึ่งโดยทั่วไปการใช้เส้นใยสำหรับงานคอนกรีตจะต้องพิจารณาถึงผลกระทบของเส้นใยที่มีต่อคอนกรีตทั้งในสถานะที่ยังไม่แข็งตัว (fresh state) และขณะที่แข็งตัวแล้ว (hardened state) เส้นใยอาจสามารถแบ่งเป็น เส้นใยธรรมชาติ (Natural fiber) และเส้นใยสังเคราะห์ (Synthetic fiber) สำหรับในการศึกษานี้จะพิจารณาเฉพาะเส้นใยสังเคราะห์ ได้แก่ เส้นใยโลหะ (steel fiber) เส้นใยพลาสติก (plastic fiber) เส้นใยแก้ว (glass fiber) เป็นต้น

2.2 ผลของเส้นใยที่มีต่อคอนกรีตในช่วงที่ยังไม่แข็งตัว (fresh state)

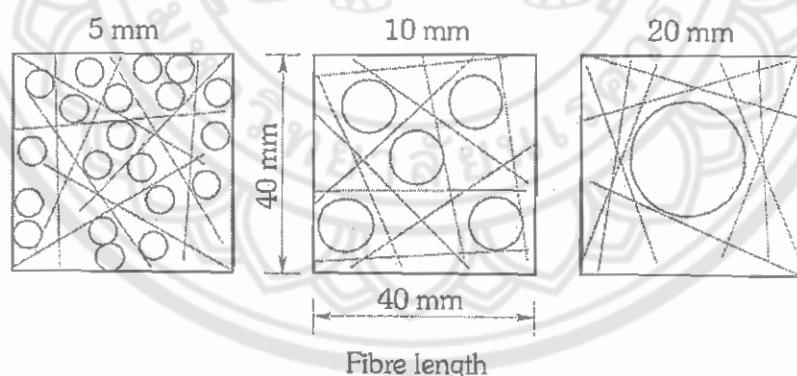
โดยทั่วไปปริมาณของเส้นใยที่ใช้พสมคอนกรีตจะถูกกำหนดโดยชนิดของเส้นใยที่ใช้ปฏิภาค ส่วนพสมและขบวนการพสมที่ใช้ จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าการพสมเส้นใยลงในคอนกรีตจะมีผลกระทบต่อค่าความขันเหลวของส่วนพสมที่ได้ [2] จากการศึกษาเกี่ยวกับเส้นใยเหล็ก พบว่า ขนาดความขันของเส้นใยเมื่อเทียบกับขนาดของมวลรวมที่ใช้จะส่งผลต่อการกระจายตัวของเส้นใยในส่วนพสม ดังแสดงในรูป 2.1 ซึ่งจากการศึกษา พบว่าควรใช้เส้นใยที่มีความยาวไม่น้อยกว่าขนาดโต๊ะที่สุดของมวลรวม (maximum aggregate size) ที่ใช้ [2] ซึ่งความยาวประมาณ 2-4 เท่าของขนาดโต๊ะที่สุดของมวลรวม เป็นค่าที่ถูกแนะนำ นอกจากนี้ ปริมาณสูงสุดของเส้นใยที่ใช้ยังถูกจำกัดเนื่องจากการเกาะตัวกันเป็นก้อนของเส้นใย (fiber balling) ณ ขณะพสมคอนกรีต ซึ่งปริมาณการเกาะตัวกันเป็นก้อนจะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณของเส้นใยที่ใช้ในส่วนพสม สำหรับเส้นใยพลาสติกจะมีผลกระทบต่อส่วนพสมที่แตกต่างไปจากเส้นใยโลหะ เนื่องจากเส้นใยนีลักษณะที่มีความอ่อนตัว (flexible fiber) ดังนั้น แทนที่เส้นใยจะหลอมรวมออกจากกัน เส้นใยเหล่านี้จะแทรกตัวอยู่ระหว่างมวลรวมในส่วนพสมคอนกรีต นอกจากนี้ผลของเส้นใยที่มีต่อค่าความขันเหลวของส่วนพสมจะขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยที่ใช้ รวมถึงพื้นที่ผิวสัมผัสของเส้นใย [2]

2.3 ผลของเส้นใยที่มีต่อคุณภาพในช่วงที่แข็งตัว (hardened state)

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าเส้นใยมีผลทำให้คุณภาพมีค่าความหนืดเพิ่มมากขึ้น รวมถึงลดขนาดความกว้างของรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระแทกภายนอก [7] โดยทั่วไป ประสิทธิภาพของเส้นใยจะขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

- ชนิดของเส้นใยที่ใช้
- การจัดเรียงด้วของเส้นใยในส่วนผสม ซึ่งโดยหลักการแล้วเส้นใยควรมีการจัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกับทิศทางของหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้น
- การกระจายตัวของเส้นใยจะต้องมีความสม่ำเสมอและมีระยะห่างระหว่างเส้นใยที่เหมาะสม
- อัตราส่วนระหว่างความยาวของเส้นใยต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (fiber aspect ratio)
- ปริมาณเส้นใยที่ใช้ในส่วนผสม

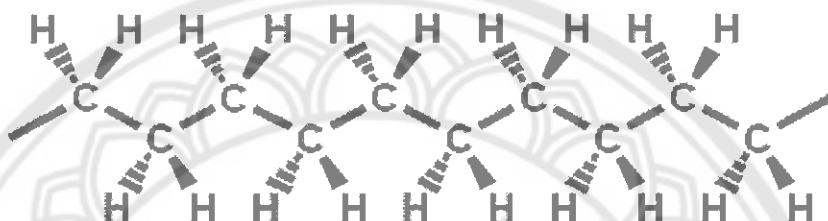
โดยทฤษฎีแล้ว เส้นใยจะทำงานเมื่อคุณภาพเริ่มมีการแตกร้าว โดยเส้นใยจะทำหน้าที่ยึดรักษารอยแตกร้าวที่เกิดขึ้น ความสามารถในการรับแรงดึงของเส้นใยจะขึ้นอยู่กับสมบัติของเส้นใยที่ใช้และแรงดันหน่วงระหว่างเส้นใยกับซีเมนต์พลาสติกยรอน ซึ่งค่าแรงดันหน่วงโดยทั่วไปจะประกอบด้วย แรงดันหน่วงเชิงเคมีและเชิงกล ซึ่งเกิดขึ้นมาจากแรงเสียดทานระหว่างเส้นใยและซีเมนต์พลาสติก



รูปที่ 2.1 ผลกระทบของขนาดรวมในส่วนผสมที่มีต่อลักษณะการกระจายตัวของเส้นใย [2]

2.4 เส้นใยโพลิเอทิลีน

เส้นใยโพลิเอทิลีนจัดอยู่ในกลุ่มของเส้นใยโพลิเมอร์ ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลที่เกิดจาก การเชื่อมต่อกันของหน่วยเล็กๆ (โนโนเมอร์) เป็นสายโซ่ยาวด้วยพันธะเคมี (รูปที่ 2.2) โดยพันธะเคมี ตามแนวของสายโซ่ดังกล่าวนี้เป็นพันธะโคลาเกลนที่ชึ้งทำให้เส้นใยโพลิเมอร์มีความแข็งแรงมากตาม ทิศทางของแนวสายโซ่ สำหรับในทิศทางตั้งฉากกับแนวสายโซ่เป็นพันธะวันเดอร์วัลล์ (รูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.2 โมเลกุลของพอลิเมอร์ที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันของหน่วยเล็กๆ ด้วยพันธะเคมี [4]

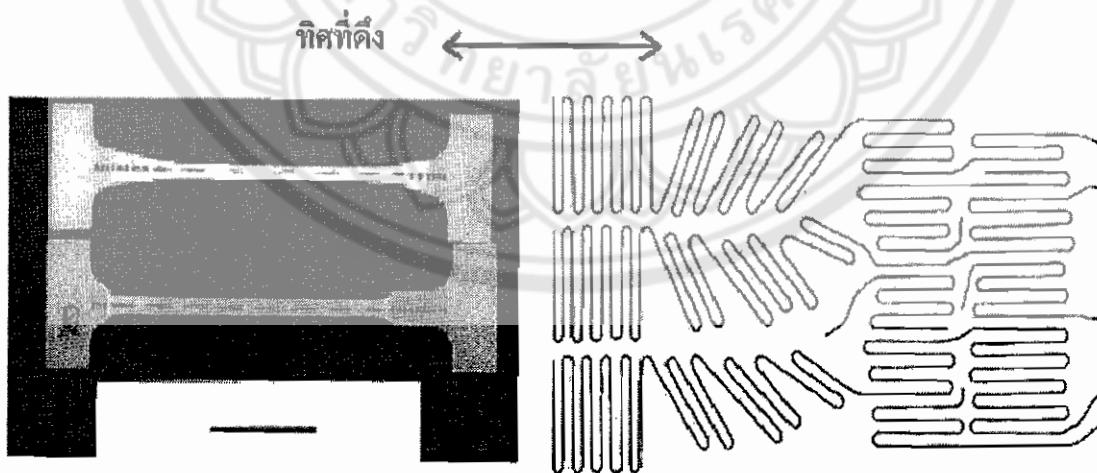


รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของพันธะโคลาเกลน์และแรงวันเดอร์วัลล์ [4]

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าทางทฤษฎีของสมบัติเชิงกลของโพลิเมอร์บางชนิด [3]

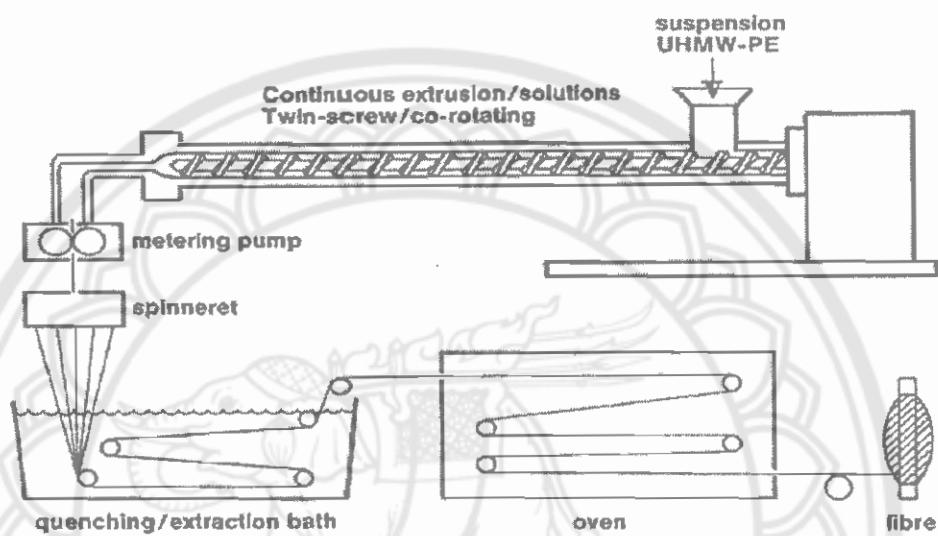
ชนิดของเส้นใย	ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)	E_{th} (Gpa)	ความแข็งแรง (Gpa)	โมดูลัส (Gpa)
PE	0.96 – 0.97	182 - 340	27.4 – 31.9	158.8 - 200
i-PP	0.91	41.2 – 49	14.7 – 17.2	17.7 – 21.6
PET	1.38	122 - 137	24.5 – 28.4	19.4 – 24.7
ไนลอน-6	1.14	183 - 263	28.3 – 31.9	5.2 - 19
aramid	1.45	182 - 200	24.5 – 28.4	-
คาร์บอน	1.77 – 1.96	1060	100	822

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าทางทฤษฎีของสมบัติเชิงกลของเส้นใยโพลิเมอร์บางชนิด แต่อย่างไรก็ตาม ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าทางทฤษฎีซึ่งในความเป็นจริงค่าดังกล่าวจะต่ำกว่านี้ เนื่องจากการพับกันเป็นแผ่นของสายโซ่เมื่อไม่เคลื่อนที่นาคใหญ่ขึ้น ในการเพิ่มความแข็งแรงของเส้นใยโพลิเมอร์สามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งวิธีการที่ใช้กับเส้นใยโพลิเอทิลีนมากจะใช้วิธีการยืดให้โมเดลล์เรียงตัว ซึ่งจะทำให้สายโซ่เรียงตัวไปตามแนวแกนของเส้นใย ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ทั้งนี้ค่าความแข็งแรงของเส้นใยจะขึ้นอยู่กับระยะที่ยืดออก



รูปที่ 2.4 การยืดให้โมเดลล์ของโพลิเอทิลีนเรียงตัว [4]

การผลิตเส้นใยโพลิเอทิลีนโดยทั่วไปผลิตด้วยกระบวนการ Gel – Spinning ดังแสดงในรูป 2.5 โดยเริ่มจากการละลายผงโพลิเอทิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงด้วยตัวทำละลาย สารละลายที่ได้จะถูกดันด้วยแรงดันสูงผ่านเครื่อง Spinneret ซึ่งมีรูเล็กๆจำนวนมาก สารละลายที่ผ่านเครื่องดังกล่าวจะเปลี่ยนสภาพเป็นเจลภายในอ่างน้ำเย็น หลังจากนั้นเส้นใยที่ได้ก็จะถูกยืดออกเพื่อให้มีโมเลกุลเรียงเกือบตรงในแนวของเส้นใย ทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มความแข็งแรงของเส้นใย



รูปที่ 2.5 การผลิตเส้นใยโพลิเอทิลีนด้วยกระบวนการ Gel – Spinning [5]

2.5 สรุปงานวิจัยภายนอกในประเทศไทย

ปิติ และสุรชัย [7] พบว่า การผสมเส้นใยไฟเบอร์เหล็กและเส้นใยพลาสติกชนิด โพลิพรอพิลีน ในคอนกรีต ทำให้ค่าความเหนียวเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามผู้วิจัยพบว่าพฤติกรรมภายในได้แรงคัดของงานคอนกรีตที่ผสมเส้นใยเหล็กนั้นมีความแตกต่างไปจากงานที่ผสมเส้นใยโพลิพรอพิลีน ค่อนข้างมาก นอกจากนี้ประสิทธิภาพของเส้นใยทั้งสองจะขึ้นอยู่กับปริมาณของเส้นใยที่ใช้

ชัย และพัชรพล [8] ศึกษาถึงการใช้เส้นใยชนิดต่างๆ (เส้นผน เส้นใยปานครนารายณ์ และเส้นใยโพลิพรอพิลีน) สำหรับความคุณภาพการแตกร้าวแบบพลาสติก (plastic shrinkage) ของปูนฉาบบน

ผนังอิฐมอญและอิฐมวลเบา จากการศึกษา พบร่วมกับการทดสอบเส้นใยดังกล่าวลงในปูนฉาบสามารถลดการแตกกร้าวได้เป็นอย่างดี ซึ่งประสิทธิภาพในการควบคุมการแตกกร้าวจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่ใช้

สูรศิทธิ์ และพิมงาน [9] พบร่วมกับการทดสอบเส้นใย 3 ชนิด ได้แก่ สตีลไฟเบอร์ กลาสไฟเบอร์ และอะคิลิกไฟเบอร์ ลงในความหนาของคอนกรีต มีผลทำให้ความหนาของคอนกรีตที่เสริมเหล็กในปริมาณที่เท่ากันนี้ กำลังรับแรงดึงดักและความหนาของหินขรุขระเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ผสมเส้นใย นอกจากนี้ ประสิทธิภาพของเส้นใยที่ใช้จะขึ้นอยู่กับปริมาณของเส้นใยที่ถูกใช้ลงในส่วนผสม

พระยัวชร และปิติ [10] พบร่วมกับการทดสอบเส้นใยเหล็กลงในคอนกรีตมีผลทำให้ค่าการยุบตัวของส่วนผสมลดลง ค่ากำลังอัดเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย ค่ากำลังดัดสูงขึ้นมาก พฤติกรรมหลังเกิดการแตกกร้าวดีขึ้นมากตามปริมาณและขนาดเส้นใยที่เพิ่มขึ้น และค่าการซึมผ่านของน้ำมีค่าสูงขึ้นมากตามปริมาณและขนาดของเส้นใย

2.6 บทสรุป

การทดสอบเส้นใยลงในคอนกรีตมีผลทำให้ค่าการยุบตัวของรั้งร้าวลดลง ค่ากำลังดัดสูงขึ้น และค่าการซึมผ่านของน้ำมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่ใช้ ค่าการทดสอบเส้นใยในสัดส่วนที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลต่อค่าการยุบตัวของรั้งร้าวลดลง รวมทั้งเส้นใยอาจมีการเกะด้วกันเป็นก้อน ปัจจุบันเส้นใยที่ใช้ในประเทศไทยเป็นเส้นใยที่ดองมีการนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาที่สูง การศึกษาเกี่ยวกับเส้นใยที่สามารถผลิตขึ้นได้เองภายในประเทศไทยจึงเป็นงานที่น่าสนใจ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันการผลิตยังคงเป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นภายในห้องปฏิบัติการ (ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล) โดยที่ยังขาดการศึกษาเกี่ยวกับการนำเส้นใยดังกล่าวมาใช้ในงานคอนกรีต ตั้งแต่นั้นทางกลุ่มผู้ศึกษาจึงได้มุ่งเน้นความสนใจที่จะศึกษาเส้นใยโพลิเอทิลีนที่สามารถผลิตขึ้นได้เองในประเทศไทยเพื่อนำมาประยุกต์ใช้สำหรับงานคอนกรีต