สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย
กำลังรับแรงอัดและการซึมผ่านน้ำของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก
(Compressive strength and water permeability of concrete with steel fiber)

โดย

ผศ.ดร. ทวีชัย สำราญวานิช
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา

ว01 175858
- 1 ก.ย. 2558
AQ0110456
357151

มิถุนายน 2558

เริ่มบริการ
29 ส.ค. 2559

สนับสนุนโดยทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2556
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษากำลังอัดและการซึมผ่านน้ำของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก โดยมุ่งเน้นหาส่วนผสมคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กที่เหมาะสมโดยมีกำลังอัดสูงและการซึมผ่านน้ำที่ต่ำ โดยทำการศึกษาคอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 และ 0.60 และปริมาณเส้นใยเหล็กแบบตะขอ 0% 0.5% 1.0% และ 1.5% โดยปริมาตรของคอนกรีต ทำการหล่อตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอก ขนาด ϕ 10x20 เซนติเมตร^2 และตัวอย่างคอนกรีตแบบแผ่น ขนาด ϕ 10x5 เซนติเมตร^2 สำหรับทดสอบกำลังอัดและการซึมผ่านน้ำตามลำดับ ทำการทดสอบที่อายุ 7 28 และ 91 วัน หลังจากการบ่มแช่ในน้ำ จากผลการศึกษาพบว่า การใช้ปริมาณเส้นใยเหล็ก 0.5% โดยปริมาตรของคอนกรีตส่งผลให้คอนกรีตมีค่ากำลังอัดสูงที่สุดและสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำต่ำที่สุด เนื่องจากเส้นใยเหล็กช่วยรับแรงอัดในคอนกรีตและช่วยขัดขวางการซึมผ่านน้ำในคอนกรีต แต่เมื่อใช้ปริมาณเส้นใยเหล็กสูงมากกว่า 0.5% โดยปริมาตรของคอนกรีต กลับทำให้กำลังอัดต่ำลงและการซึมผ่านน้ำสูงขึ้น ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากปริมาณเส้นใยเหล็กที่มากเกินไปจะทำให้เกิดมีโพรงช่องว่างระหว่างเส้นใยและเนื้อคอนกรีต ส่งผลให้คอนกรีตมีความพรุนและการซึมผ่านน้ำสูง และกำลังอัดคอนกรีตต่ำลง

ABSTRACT

This research aims to study compressive strength and water permeability of concrete containing steel fiber in order to determine the optimum mix proportion of steel fiber reinforced concrete which having high compressive strength and low water permeability. This study focused on concrete with water to binder ratio of 0.50 and 0.60 and using hooked-steel fiber content of 0%, 0.5%, 1.0% and 1.5% by volume of concrete. Cylindrical concrete specimens of size ϕ 10x20 cm^2 and disc concrete specimens of size ϕ 10x5 cm^2 were cast for testing the compressive strength and water permeability, respectively. The tests were performed at 7, 28 and 91 days after water curing. From experimental results, it was found that the use of 0.5% steel fiber content by volume of concrete results in the highest compressive strength and the lowest coefficient of water permeability. This is because the steel fibers help to resist compression loads in concrete and obstruct the water permeation of concrete. But, when steel fiber content is larger than 0.5% by volume of concrete, the compressive strength decreases and water permeability increase. This might be that lots of steel fibers will make voids between fibers and concrete texture and lead to higher porosity and water permeability and lower compressive strength.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	จ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 เส้นใย	3
2.2 การซึมผ่านของน้ำ	9
2.3 วิธีการทดสอบการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต	11
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและวิธีการทดลอง	17
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	17
3.2 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	21
3.3 สัดส่วนผสมคอนกรีต	26
3.4 วิธีทำการทดลอง	27
3.4.1 การเตรียมตัวอย่าง	27
3.4.2 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต	30
3.4.3 การทดสอบการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	34
4.1 กำลังอัดของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก	34
4.2 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก	39
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีต	44
บทที่ 5 สรุปผล	46
บรรณานุกรม	47

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างโมเลกุลของเส้นใยอาคิลิก	4
2.2	ตัวอย่างของเส้นใยเหล็ก (Steel fiber)	6
2.3	ประเภทของเส้นใยเหล็ก	7
2.4	ลักษณะเซลล์ทดสอบ Flow method	12
2.5	ลักษณะเซลล์ทดสอบ Penetration method	13
3.1	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ตราช้าง)	18
3.2	เส้นใยเหล็ก RC-65/35-BN	18
3.3	ทราย	19
3.4	หิน	19
3.5	อีพอกซี่ สารประกอบ A และ B	20
3.6	อีพอกซี่ สารประกอบ C	20
3.7	เครื่องทดสอบการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต	21
3.8	ชุดเซลล์ทดสอบค่าการซึมผ่านน้ำ	22
3.9	สายต่อทนแรงดันสูง	22
3.10	ถังลม	23
3.11	เครื่องผสมคอนกรีต	24
3.12	เครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต	24
3.13	แผ่นยางรองกันซึม	25
3.14	เครื่องตัดคอนกรีต	25
3.15	การผสมคอนกรีต	27
3.16	การหล่อคอนกรีต ใส่แบบทรงกระบอกขนาด ϕ 10 x 20 cm^2	28
3.17	คอนกรีตที่หล่ออีพอกซี่เสร็จแล้ว	29
3.18	การบ่มตัวอย่างคอนกรีต	30
3.19	เครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต	30
3.20	เซลล์ทดสอบการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต	31
3.21	ตำแหน่งวาล์วบนเครื่องทดสอบการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต	33
3.22	รายละเอียดวาล์วที่ตำแหน่งต่างๆ	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	กำลังอัดของคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ ที่อายุ 7 วัน	34
4.2	กำลังอัดของคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ ที่อายุ 28 วัน	35
4.3	กำลังอัดของคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ ที่อายุ 91 วัน	35
4.4	กำลังอัดของคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อปริมาณเส้นใยเหล็กต่างๆ ที่ w/b 0.50	36
4.5	กำลังอัดของคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อปริมาณเส้นใยเหล็กต่างๆ ที่ w/b 0.60	37
4.6	กำลังอัดคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กที่ระยะเวลาการบ่มต่างๆ ที่ w/b 0.50	38
4.7	กำลังอัดคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กที่ระยะเวลาการบ่มต่างๆ ที่ w/b 0.60	38
4.8	สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ ที่อายุ 7 วัน	39
4.9	สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ ที่อายุ 28 วัน	40
4.10	สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ ที่อายุ 91 วัน	40
4.11	สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อปริมาณเส้นใยเหล็กต่างๆ ที่ w/b 0.50	41
4.12	สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อปริมาณเส้นใยเหล็กต่างๆ ที่ w/b 0.60	42
4.13	สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กที่ระยะเวลาการบ่มต่างๆ ที่ w/b 0.50	43
4.14	สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กที่ระยะเวลาการบ่มต่างๆ ที่ w/b 0.60	43
4.15	กำลังอัดและสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก ที่ w/b 0.50	44
4.16	กำลังอัดและสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก ที่ w/b 0.60	45

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติของเส้นใยอาคิลิก (Acrylic fiber)	3
2.2	คุณสมบัติของเส้นใยแก้ว (Glass fiber)	5
2.3	คุณสมบัติของเส้นใยเหล็กแบบตะขอ	8
3.1	องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	17
3.2	สัดส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้	26

บทที่1

บทนำ

1.1 บทนำ

คอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced concrete) เป็นโครงสร้างที่ใช้กันแพร่หลายในงานก่อสร้างของไทยในปัจจุบัน ทั้งนี้คอนกรีตเสริมเหล็กเป็นโครงสร้างที่มีทั้งแรงอัดและแรงดึงกระทำซึ่งเกิดจากโมเมนต์ดัด ส่วนใดของโครงสร้างที่รับแรงอัดก็ให้คอนกรีตทำหน้าที่ต้านทานแรงอัด และส่วนใดที่รับแรงดึงก็ให้เหล็กเสริมทำหน้าที่ต้านทานแรงดึง ทั้งนี้เพราะคอนกรีตมีคุณสมบัติต้านทานแรงอัดได้ดีมาก แต่มีคุณสมบัติด้วยในด้านรับแรงดึง ส่วนเหล็กเสริมมีคุณสมบัติต้านทานทั้งแรงดึงและแรงอัดได้ดี ประกอบกับเหล็กเสริมและคอนกรีตมีสัมประสิทธิ์การยืดหดตัวใกล้เคียงกัน จึงช่วยกันรับและถ่ายแรงได้ดี แต่ในการใช้งานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องการรับน้ำหนักบรรทุกที่มาก ทำให้มีโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดที่ใหญ่ขึ้นด้วย ทำให้มีพื้นที่ใช้สอยน้อยลง ประกอบกับราคาวัสดุก่อสร้างก็มีแนวโน้มว่าจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จึงจำเป็นที่จะต้องหาวัสดุชนิดต่างๆ ที่ราคาไม่สูงมากแต่สามารถช่วยทำให้คอนกรีตมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น เพื่อเป็นการลดขนาดของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก และต้นทุนการก่อสร้างให้เหมาะสม ดังนั้นจึงมีการใช้วัสดุอื่นผสมเพิ่มเข้าไปในคอนกรีตเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการรับแรงดึงและแรงอัดได้มากขึ้น เช่น เส้นใยเหล็ก (Steel fiber) เป็นต้น

นอกจากคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตที่สำคัญคือ กำลังอัด (Compressive strength) แล้ว การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตก็เป็นคุณสมบัติที่สำคัญซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความคงทนของคอนกรีต เพราะคอนกรีตที่มีการซึมผ่านน้ำสูงจะทำให้น้ำและสารเคมีต่างๆ ที่ละลายได้ในน้ำอาทิเช่น เกลือคลอไรด์ ซึมผ่านเข้าไปในคอนกรีตได้ง่าย ทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตเกิดเป็นสนิมและคอนกรีตเกิดการแตกร้าวได้ในที่สุด ทั้งนี้การเกิดสนิมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจากเกลือคลอไรด์จะเริ่มขึ้นเมื่อปริมาณเกลือคลอไรด์มาสะสมที่ผิวของเหล็กเสริมมากกว่าคลอไรด์วิกฤติ (Chloride threshold) และมีปัจจัยอื่นประกอบด้วยคือ มีความชื้นพอเหมาะและมีออกซิเจน ฟิล์มเหล็กออกไซด์ที่เคลือบผิวเหล็กเสียหายเหล็กเสริมจะสูญเสียความสามารถในการต้านทานการเกิดสนิมได้ ซึ่งปัญหาจากการแทรกซึมของคลอไรด์นี้ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อความคงทนและอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นอย่างมาก

ดังนั้น ในการศึกษาเรื่องการซึมผ่านของน้ำผ่านคอนกรีตเสริมใยเหล็กนี้จึงได้ทำการศึกษาทั้งกำลังอัดของคอนกรีตและการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต ซึ่งก็เป็นคุณสมบัติที่สำคัญค่าหนึ่งที่บ่งบอกถึงการซึมผ่านของคลอไรด์ไปสู่เหล็กเสริมคอนกรีตได้ โดยที่หากคอนกรีตมีการซึมผ่านน้ำที่ต่ำลงก็จะช่วยให้ยืดอายุการใช้งานของคอนกรีตเสริมเหล็กให้ยาวนานขึ้นจากสิ่งแวดล้อมที่มาทำลายได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษากำลังอัดของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก
2. เพื่อศึกษาการซึมผ่านน้ำของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก
3. เพื่อหาปริมาณเส้นใยเหล็กที่เหมาะสมที่ทำให้คอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กมีกำลังอัดสูงและการซึมผ่านน้ำต่ำ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ทำการศึกษากำลังอัดและค่าการซึมผ่านของน้ำผ่านคอนกรีตที่ผสมเส้นใยเหล็ก ที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 และ 0.60 และที่ปริมาณเส้นใยเหล็ก 0% 0.5% 1.0% และ 1.5% โดยปริมาตรของคอนกรีต

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทำให้ทราบถึงความสามารถในการลดการซึมผ่านของน้ำในคอนกรีตที่ผสมเส้นใยเหล็กที่อัตราส่วนต่างๆ
2) ทำให้ทราบถึงความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมเส้นใยเหล็กที่อัตราส่วนต่างๆ
3) ทำให้ทราบถึงสัดส่วนผสมคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กที่ทำให้มีการซึมผ่านน้อยที่สุด ทำให้คอนกรีตมีแนวโน้มมีความคงทนมากที่สุด

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เส้นใย

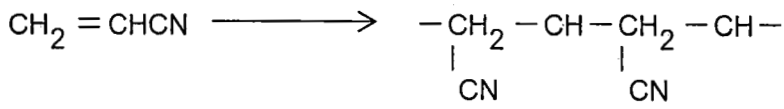
2.1.1 เส้นใยอาคิลิก

อะคริโลไนไตรล์ ซึ่งเป็นวัตถุดิบของการผลิตเส้นใยอาคิลิกได้ถูกค้นพบและเริ่มผลิตในเยอรมันปี พ.ศ. 2336 (ค.ศ. 1833) โดยผลิตเส้นใยอาคิลิกภายใต้ชื่อทางการค้า Orlon ออกสู่ตลาดในปี พ.ศ. 2493 (ค.ศ. 1950) โดยคุณสมบัติของเส้นใยอาคิลิกแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของเส้นใยอาคิลิก (Acrylic fiber)

ค่าความแข็งแรง	3515 - 5273 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
ความเหนียว แห้ง เปียก	 4.0 – 4.1 กรัม/ดีเนียร์ 3.0 – 3.8 กรัม/ดีเนียร์
ค่าการดึงยืด เส้นใยยาว เส้นใยสั้น	 30 – 36 % 20 – 55 %
การคืนตัวเมื่อดึงยืด	คืนตัวเมื่อยืดออกไป 10 % ได้ประมาณ 50 – 60 %
ค่าความถ่วงจำเพาะ	1.14 – 1.19
อิทธิพลของความชื้น	ดูดความชื้นได้ 1 – 3 % (ทำให้ลดไฟฟ้าสถิตย์)
ความคงทนต่อความร้อน	215 – 255 °C (ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของพอลิเมอร์)
อิทธิพลของความร้อน	ทนความร้อนได้155°C ในเวลา 1 ชม. จะมีค่าความเหนียว 56%ของค่าเริ่มต้น
การติดไฟ	ไม่ติดไฟ
ผลอันเนื่องจากด่าง	ทนต่อด่างอ่อน
ผลอันเนื่องจากด่าง	ทนต่อกรดเป็นส่วนใหญ่

โดยนิยามได้กำหนดไว้ว่า เส้นใยอาคิลิก คือเส้นใยสังเคราะห์ เกิดจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีอย่างน้อยที่สุด 85% โดยน้ำหนัก ของอะคริโลไนไตรล์ ดังรูปที่ 2.1



อะไครโลไนไทล์ (Acrylonitrile) พอลิอะไครโลไนไทล์ (Polyacrylonitrile)

รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของเส้นใยอาคิลิก

2.1.2 เส้นใยแก้ว

เส้นใยแก้ว (Glass fiber) ได้ถูกพัฒนามาเป็นเวลานานแล้วแต่สามารถเข้าสู่กระบวนการผลิตในเชิงพาณิชย์เมื่อปี พ.ศ.2481 (ค.ศ.1938) โดยบริษัทในประเทศสหรัฐอเมริกาและใช้ชื่อทางการค้าของผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ทำขึ้นว่า Fiberglass

การผลิตเส้นด้ายใยแก้วมีวิธีการใหญ่ ๆ อยู่สองวิธีการ โดยทั้งสองวิธีนี้เริ่มจากการผสมวัตถุดิบให้ได้ตามสูตรที่ต้องการ ประกอบด้วยทรายแก้ว หินปูน หินฟันม้า กรดบอริกและสารเติมแต่งอื่น ๆ จากนั้นจึงทำการหลอมภายในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูงประมาณ 2,500 °F (1,370 °C) ได้ออกมาในรูปของลูกแก้วขนาดเล็กมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5/8 นิ้ว หรือ 15 มิลลิเมตร ทำการควบคุมคุณภาพของลูกแก้วที่ได้เพื่อจำกัดสิ่งเจือปนที่ไม่ต้องการออก หลักจากนั้นคัดลูกแก้วที่ดีนำไปเป็นวัตถุดิบด้วยการหลอมใหม่เป็นน้ำแก้วแล้วปั่นเป็นเส้นใยต่อไป ส่วนอีกวิธีหนึ่งนั้นเป็นการผลิตโดยตรงเมื่อหลอมใหม่เป็นน้ำแก้วแล้วปั่นเป็นเส้นใยต่อไป ส่วนอีกวิธีหนึ่งนั้นเป็นการผลิตโดยตรงเมื่อหลอมวัตถุดิบในเตาไฟฟ้าแล้วทำการควบคุมคุณภาพในเวลาเดียวกันโดยไม่ต้องทำเป็นลูกแก้วก่อน น้ำแก้วที่ได้จากการหลอมจะถูกส่งต่อเข้ากระบวนการรีดเป็นเส้นใยได้เลย ความแข็งแรงของเส้นใยแก้วนับได้ว่าดีมากเป็นรองเฉพาะเส้นใยอะรามิดเท่านั้น

คุณสมบัติของเส้นในแก้ว สรุปรวบรวมไว้ในตารางที่ 2.2

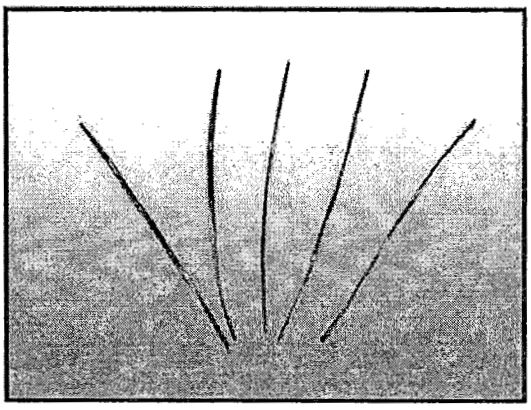
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของเส้นใยแก้ว (Glass fiber)

คุณสมบัติ	E-Glass	S-2 Glass
Density. ASTM C 693	0.092-0.093	0.089-0.090
Specific Gravity ASTM C 693	2.55-2.58	2.46-2.49
Moh Hardness	6.5	6.5
Poisson's Ratio	0.22	-
Tensile Strength, psi ASTM D 2101		
@ -310 °F	770,000	1,200,000
@ 720 °F	500,000-550,000	665,000-700,000
@ 700 °F	380,000	545,000
@ 1000 °F	250,000	350,000

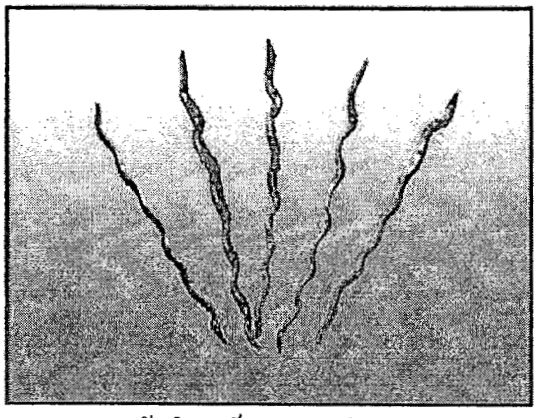
2.1.3 เส้นใยเหล็ก

เส้นใยเหล็ก (Steel fiber) มีหลากหลายชนิดและรุ่น เช่น เส้นใยเหล็ก "RC-65/35-BN" มีลักษณะเป็นเส้นลวด รูปร่างคงตัวและตัดให้ได้ตามความยาวที่ต้องการ ดังรูปที่ 2.2 ใช้เป็นวัสดุผสมในคอนกรีตเสริมเหล็ก มอร์ต้าร์และวัสดุประกอบอื่นๆ โดยที่RC-65/35-BN เป็นลวดไฟเบอร์รีดเย็น มีปริมาณคาร์บอนต่ำ ที่ปลายทั้งสองข้างหักงอและมีกาวยึดลวดแต่ละเส้นที่อยู่ในกลุ่ม โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter) เท่ากับ 0.55 มิลลิเมตร ค่าตัวเลข 35 ที่ปรากฏในชื่อ หมายถึง ความยาวของลวดไฟเบอร์ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรและค่าตัวเลข 65 หมายถึง ค่าอัตราส่วนรูปทรง (Aspect ratio) ซึ่งการแบ่งชั้นประสิทธิภาพของไฟเบอร์ หาได้จากอัตราส่วนระหว่างความยาวกับเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดไฟเบอร์ ซึ่งในที่นี้อัตราส่วนรูปทรงมีค่าเท่ากับ 64 แต่เนื่องจากประสิทธิภาพของลวดไฟเบอร์จะแบ่งได้เป็นชั้น 45 65 และ 80 ลวดไฟเบอร์ "RC-65/35-BN" จึงถูกจัดให้อยู่ในชั้น 65 เส้นใยเหล็กชนิดนี้ในน้ำหนัก 1.0 กิโลกรัมนั้นจะมีลวดไฟเบอร์ ประมาณ 14,500 ชิ้นและมีกำลังรับแรงดึงน้อยที่สุดเท่ากับ 11,213 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และประเภทของเส้นใยเหล็กสามารถแบ่งได้ดังรูปที่ 2.3

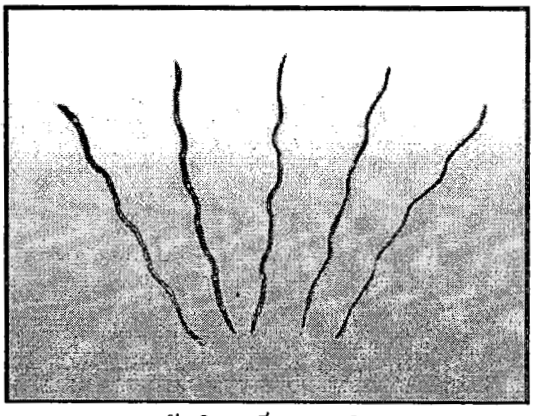
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างของเส้นใยเหล็ก (Steel Fiber)



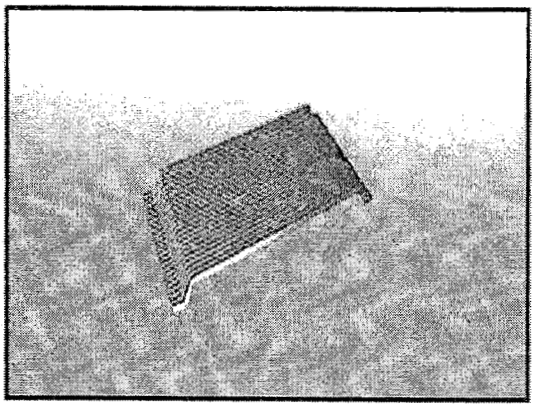
เส้นใยเหล็กแบบกลม



เส้นใยเหล็กแบบเกลียว



เส้นใยเหล็กแบบบิด



เส้นใยเหล็กแบบตะขอ

รูปที่ 2.3 ประเภทของเส้นใยเหล็ก

เส้นใยเหล็กแต่ละประเภท มีลักษณะและการใช้งาน ดังนี้

1. เส้นใยเหล็กแบบกลม มีลักษณะคล้ายเส้นลวดกลมตลอดความยาว ใช้สำหรับเสริมคอนกรีตและมอร์ต้าร์ให้แข็งแรง
2. เส้นใยเหล็กแบบเกลียว มีลักษณะคล้ายเส้นลวดแต่จะบิดเป็นเกลียวตลอดความยาว ใช้สำหรับเสริมคอนกรีตและมอร์ต้าร์ให้แข็งแรง
3. เส้นใยเหล็กแบบบิด มีลักษณะคล้ายเส้นลวดบิดไปมาตลอดความยาว ใช้สำหรับเสริมคอนกรีตและมอร์ต้าร์ให้แข็งแรง
4. เส้นใยเหล็กแบบตะขอ มีลักษณะคล้ายเส้นลวดด้านปลายงอทั้ง 2 ข้าง ใช้สำหรับเสริมคอนกรีตและมอร์ต้าร์ให้แข็งแรง

เส้นใยเหล็กแบบตะขอมีการเรียงตัวของเส้นใยเหล็ก เส้นลวดแต่ละเส้นใน 1 โหล จะถูกนำมาเรียงติดกันด้วยกาวชนิดพิเศษ ซึ่งกาวชนิดนี้จะไม่ละลายน้ำ แต่กาวชนิดนี้จะทำปฏิกิริยากับน้ำทำให้กาวอ่อนตัวลง เมื่อทำปฏิกิริยาสมบูรณ์แล้วจะเปลี่ยนน้ำให้มีลักษณะคล้ายเหล้าองุ่น ซึ่งจะมองไม่เห็นว่ามีฟองเล็กอยู่ระหว่างช่องว่าง ปริมาณเส้นใยเหล็ก 20,000 – 23,000 ชิ้น/กิโลกรัม

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของเส้นใยเหล็กแบบตะขอ

Fiber type	Diameter, D (มิลลิเมตร)	Length, L (มิลลิเมตร)	L/D	Tensile strength (kg/cm^2)
HF	0.54	35	65	> 10,000

2.2 การซึมผ่านของน้ำ

ความสามารถการซึมผ่านน้ำ (Water permeability) ของคอนกรีตคือ ความสะดวกหรือความง่ายที่ของเหลวหรือก๊าซสามารถซึมผ่านคอนกรีต คุณสมบัตินี้สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ตัวหนึ่งว่าคอนกรีตในโครงสร้างนั้นๆ จะทนทานมากน้อยเพียงใด โดยความสามารถในการซึมผ่านน้ำของคอนกรีตสามารถวัดได้โดยใช้น้ำที่มีความดัน ดันผ่านคอนกรีต เมื่อถึงสภาพที่คอนกรีตอิ่มตัวน้ำจะซึมผ่านคอนกรีตนั้นออกมา ทำการวัดปริมาณน้ำนี้ในช่วงเวลาหนึ่ง รวมทั้งวัดความหนาของคอนกรีต การซึมผ่านน้ำเข้าสู่เนื้อคอนกรีตได้มากหรือน้อยจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความทนทานของคอนกรีต โดยการซึมผ่านน้ำจะแสดงในรูปของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำ (K) มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที ตามสมการของ Darcy's law

การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตขึ้นอยู่กับความพรุนของซีเมนต์เพสต์ โดยความพรุนจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ และความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นหรือดัชนีการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ถ้าไฮเดรชั่นเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ ค่า K จะสูงและการซึมผ่านของน้ำก็จะมีมากขึ้นและความคงทนของคอนกรีตจะลดลง ค่า K จะมีค่าต่ำหากค่า W/C มีค่าน้อยกว่า 0.60 อย่างไรก็ตาม การซึมผ่านได้ของน้ำไม่ใช้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณความพรุนของเนื้อคอนกรีตแต่ยังขึ้นอยู่กับลักษณะของความพรุน (Capillary pore) ด้วย หากความพรุนที่เกิดจากการเยิ้ม (Bleeding) เกิดในลักษณะแบบเชื่อมต่อกัน (Inter - connection void) การซึมผ่านของน้ำก็จะสูงกว่าความพรุนที่ไม่ต่อเนื่องกัน

2.2.1 การวัดการซึมผ่านของน้ำในคอนกรีตโดยวิธีการไหลเวียนของน้ำ

การทดสอบการซึมผ่านของน้ำโดยวิธีการไหลเวียนของน้ำ โดยการทดสอบกับชุดเซลล์ทดสอบการซึมผ่านของน้ำ ผ่านความดันน้ำ 0.5 เมกะปาสคาล ผ่านชิ้นตัวอย่างคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร สูง 200 มิลลิเมตร เคลือบด้วยอีพอกซี่หนาด้านละ 25 มิลลิเมตร (เส้นผ่านศูนย์กลางรวมทั้งหมด 150 มิลลิเมตร) ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในคอนกรีตหาได้จากสูตรของ Darcy's law

2.2.2 กระบวนการซึมผ่านของน้ำเข้าสู่คอนกรีต

1) แบบ Hydraulic permeability

เกิดจากเมื่อมีแรงดันของน้ำในด้านหนึ่งของโครงสร้างผนังคอนกรีตสูงกว่า และซึมผ่านความพรุนคอนกรีตชนิดที่ต่อเนื่องกันมายังอีกด้านหนึ่งที่ต่ำกว่า

2) แบบ Water absorbed by capillary suction

เกิดจากน้ำจะค่อยๆซึมผ่านความพรุนชนิดต่อเนื่องกันที่ผิวคอนกรีตเข้าสู่ภายใน และซึมต่อขึ้นสู่ด้านบนโดย Capillary Action

2.3 วิธีการทดสอบการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต

2.3.1 วิธีการไหล (Flow method)

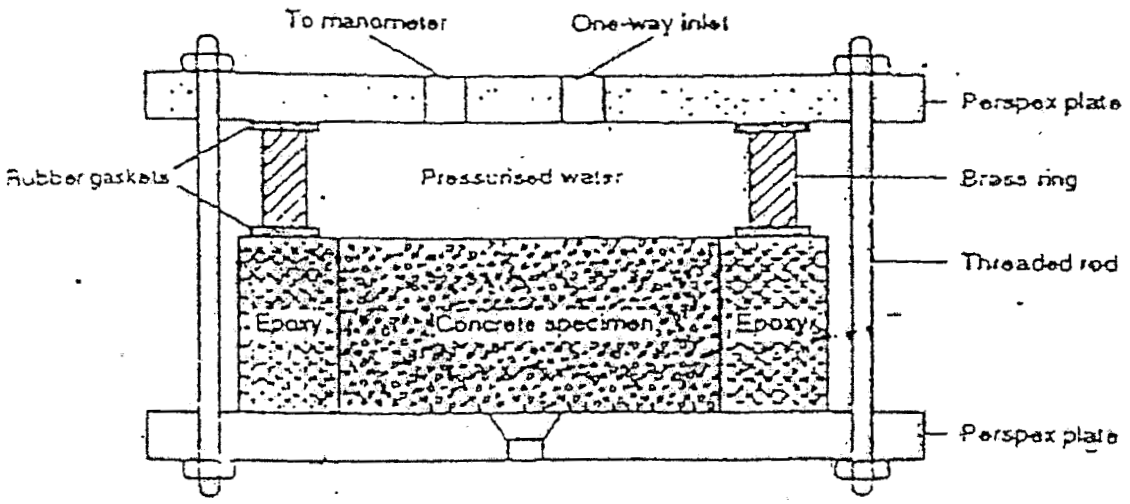
หล่อตัวอย่างของทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร และยาว 200 มิลลิเมตร แล้วตัดตัวอย่างให้มีความหนา 50 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในการทดสอบ และใช้สำหรับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมผ่านตามขั้นตอนสำหรับวิธีการไหล

ทำความสะอาดตัวอย่างคอนกรีตเพื่อลบหินปูนและคราบบนคอนกรีต หลังจากนั้นหล่ออิพอกซี่หนา 25 มิลลิเมตร รอบๆ ตัวอย่างคอนกรีต แบบหล่อเป็นแบบเหล็ก มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 150 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นตัวหนีบยึดแผ่นเหล็ก ทาน้ำมันภายในแบบเหล็กเพื่อง่ายแก่การถอดแบบตัวอย่าง อิพอกซี่ยึดติดกับด้านข้างของก้อนตัวอย่างได้อย่างดี เพื่อไม่ให้มีการซึมผ่านทางด้านข้าง และจะเกิดหลุมๆ เล็กที่ผิว ตัวอย่างหลังการหล่อจะอยู่ตรงกลางและโดยรอบจะถูกหุ้มด้วยอีพอกซี่ ทิ้งอีพอกซี่แข็งตัว ค้างคืนไว้ ก่อนถอดออกจากแบบ

ใส่ตัวอย่างที่หล่ออีพอกซีเรียบร้อยแล้วโดยมีเซลล์ทดสอบพลาสติกอยู่ด้านล่าง (ดูรูป 2.4) โดยปะเก็นยางจะถูกวางไว้ด้านบนของตัวอย่างคอนกรีต ตามด้วยวงแหวนอลูมิเนียม ปะเก็นยางอื่นปรากฏด้านบนของวงแหวนอลูมิเนียม นำแผ่นพลาสติกไปปิดด้านบนของปะเก็นยางและทำการขันน็อตเพื่อยึด เซลล์ด้วยน็อตทั้ง 4 ตัว โดยน็อตมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร เมื่อทำการปิดเซลล์เรียบร้อยแล้ว ก็นำไปใส่ในเครื่องทดสอบ น้ำจะซึมผ่านคอนกรีตลงไปทางผิวหน้าคอนกรีต โดยมีวงแหวนอลูมิเนียมเป็นตัวใส่น้ำ และอีพอกซีเป็นตัวบังคับให้น้ำไหลผ่านคอนกรีต โดยไม่มีการซึมออกทางด้านข้างของคอนกรีต

ด้านบนของเซลล์มีการเชื่อมต่อสองที่ : 1 เชื่อมต่อทางท่อที่ใช้ในการกรอกน้ำเหนือตัวอย่างและ 2การเชื่อมต่อทางหลอด manometer โดยที่หลอด manometer เป็นตัวกำหนดอัตราการไหลของน้ำผ่านตัวอย่างคอนกรีต น้ำในหลอด manometer จะได้รับแรงดันอากาศ ทำให้น้ำมีแรงดัน 0.69 MPA (100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ทำให้ผิวด้านบนของตัวอย่างคอนกรีตได้สัมผัสกับน้ำที่มีแรงดันอากาศไปด้วย รายละเอียดของการเชื่อมต่อท่อ manometer สามารถพบได้ที่อื่น

ปริมาณน้ำที่ซึมผ่านคอนกรีตวัดได้จากการอ่านระดับน้ำในหลอด manometer. สร้างกราฟปริมาณน้ำสะสมที่ไหลผ่านตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบเมื่อปริมาณน้ำไหลคงที่ หากน้ำไหลคงที่แสดงว่าคอนกรีตได้อิ่มตัวแล้ว ในขั้นตอนนี้อัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยจะนำไปใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านตามกฎของ Darcy (ในสมการ 2.1)



Schematic diagram of a test cell for the evaluation of coefficient of permeability by the flow method

รูปที่ 2.4 ลักษณะเซลล์ทดสอบ Flow method

$$K_f = \frac{\rho L g Q}{PA} \qquad (2.1)$$

เมื่อ

K_f = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีต (m/s)

P = ค่าความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)

g = แรงโน้มถ่วงของโลก (m^2/s)

Q = อัตราการไหลของน้ำแบบคงที่ (m^3/s)

L = ความหนาของตัวอย่างคอนกรีต (m)

P = แรงดันน้ำสุทธิที่ไหลผ่านตัวอย่างคอนกรีต $(kg.m/sec^2)/(m^2)$ หรือ N/m^2

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างคอนกรีต (m^2)

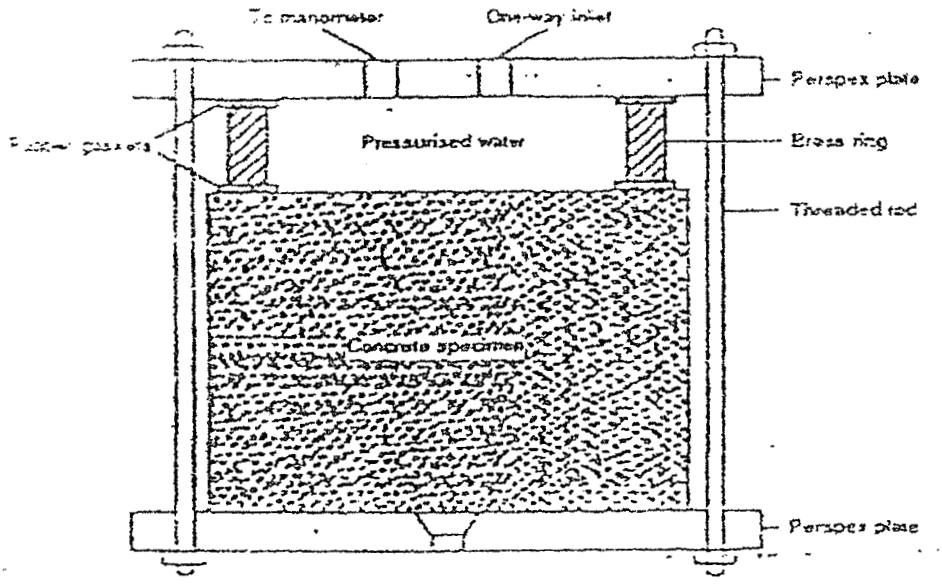
หลังจากการทดสอยตัวอย่างจะอิ่มตัวทั้งหมด ถ้าตัวอย่างไม่อิ่มตัวทั้งหมด ก็แสดงว่าวิธีการไหลหรือการทดสอบไม่ถูกต้องหรือเกิดความผิดพลาด

2.3.2 วิธีการแทรกซึม (Penetration method)

เซลล์ทดสอบที่ใช้ในการวัดค่าสัมประสิทธิ์การแทรกซึมเข้าไปดัดแปลงแก้ไขเล็กน้อยจากเซลล์ทดสอบในวิธีการไหลเพื่อใช้วัดค่าสัมประสิทธิ์เข้าไปด้วยวิธีการแทรกซึม ทำการหล่อตัวอย่างทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร และ ยาว 300 มิลลิเมตร ตัดแล้วออกเป็นสองตัวอย่างทดสอบ หนา150 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของการแทรกซึมทดสอบบนด้านพื้นผิวที่ถูกตัดแล้วทำการเจียร์เพื่อทำให้ผิวที่ถูกตัดเรียบขึ้น ตัวอย่างจะวางในเซลในลักษณะเหมือนกับวิธีการไหล ดังแสดงการคิดตั้งในรูปที่ 2.5

ผิวด้านบนของทรงกระบอกจะถูกน้ำอัดด้วยความดัน 0.69 MPA (100 psi) เป็นเวลา 3 วัน เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาทดสอบที่ตัวอย่างให้ทำการเปิดตัวอย่างและวัดความลึกเฉลี่ยของการแทรกซึม การทดสอบได้จากตัวอย่างทรงกระบอก 2 ลูกและใช้ค่าเฉลี่ยที่ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของการแทรกซึมเข้าไปได้

จากค่าความลึกของการแทรกซึมจะถูกคำนวณแปลงเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมผ่านน้ำทางเดียว โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของการแทรกซึมกับค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมผ่านน้ำ การไหลของน้ำจะถูกคิดเป็นแบบแกนเดียว uniaxial ถ้าความลึกของการแทรกซึมน้อยกว่าความกว้างของตัวอย่างมาก ดังนั้นสำหรับคอนกรีตที่มีการแทรกซึมน้ำเข้าไปได้สูง ความลึกของการแทรกซึมไม่สามารถแปลงเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการแทรกซึมได้



รูปที่ 2.5 ลักษณะเซลล์ทดสอบ Penetration method

$$d = \frac{\sqrt{2K_p Th}}{v} \quad (2.2)$$

หรือ

$$K_p = \frac{d^2 v}{2Th} \quad (2.3)$$

เมื่อ...

d = ความลึกของการแทรกซึม (m)

K_p = ค่าสัมประสิทธิ์ของอาการแทรกเข้าไปได้โดยวิธีเจาะ (m/sec)

T = เวลา, (sec)

h = ความดัน (m)

v = ความพรุนของคอนกรีต

ความพรุนของคอนกรีตเป็นเพราะสารกักกระจายฟองอากาศ โพรงในมวลรวม และโพรงคาปิวลารี่ ถ้าไม่พิจารณาโพรงในมวลรวมแล้ว ความพรุนของคอนกรีตเกิดจากโพรงอากาศและโพรงคาปิวลารี่ โพรงคาปิวลารี่สามารถคำนวณจากสมการต่อไปนี้

$$V_p = \frac{\frac{w}{c}(100 - 36.15\alpha)}{\frac{w - 100}{g}} \quad (2.4)$$

เมื่อ...

V_p = ร้อยละของโพรงคาปิวลารี่ในซีเมนต์เพตส์

w / c = อัตราส่วนน้ำกับปูนซีเมนต์

w = ปริมาณน้ำในคอนกรีต (kg/m^3)

g = ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ (g / cm^3)

α = ระดับของปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

ระดับของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นถูกกำหนดด้วยการคำนวณการระเหยของน้ำ การระเหย และการลดการระเหยของน้ำทำได้โดยการใช้น้ำให้น้อยในการคำนวณอัตราส่วนน้ำกับปูนซีเมนต์ ทั้งนี้ ASTM C642 อธิบายวิธีการทดสอบหาช่องว่าง (Void) ในคอนกรีต

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วทัญญู ชุติคามี (2548) ได้ทำการศึกษาถึงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติในการรับแรงดัดและแรงอัดของชิ้นส่วนคอนกรีตที่ผสมเส้นใยเหล็กแบบตะขอ โดยเส้นใยเหล็กแบบตะขอที่ใช้ในการวิจัยนี้มีลักษณะการดัดที่ปลายสองจุด ชิ้นตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบการดัดมีขนาด 10 ซม x 10 ซม x 35 ซม โดยทำการทดสอบการดัดแบบ 4 จุด ที่มีความยาวช่วงทดสอบเท่ากับ 30 ซม และชิ้นตัวอย่างที่ใช้ในการ ทดสอบการอัดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม สูง 20 ซม ซึ่งการทดสอบทั้งสองเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM ตัวแปรที่ถูกใช้ในการศึกษาคือ (1) กำลังอัดของคอนกรีต (34 MPa, 49 MPa และ70 MPa); (2) ขนาดมวล รวมหยาบ 4 ขนาด; (3) ปริมาณของเส้นใย (35, 70 และ 105 กก/ม3); (4) ขนาดของเส้นใย (Lf/D = 65 และ Lf/D = 80); และ(5) กำลังดึงของเส้นใย (fy = 1100 MPa และ fy = 2000 MPa) จากการศึกษาพบว่าการ เพิ่มขึ้นของกำลังอัดของคอนกรีต, ปริมาณการผสมของเส้นใย, อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง, และกำลังดึงของเส้นใย ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของกำลังและพฤติกรรมในการรับแรงดัด และแรงอัด นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดมวลรวมหยาบที่มีขนาดเล็กส่งผลที่ดีต่อการรับแรงดัดและแรงอัด อย่างไรก็ตาม การเพิ่มสมรรถนะให้สูงขึ้นทั้งทางด้านกำลัง และพฤติกรรมการรับแรงของวัสดุผสมเส้นใยนี้ สามารถที่ จะพัฒนาได้จากการผสมผสานอย่างเหมาะสมของตัวแปรต่างๆที่กล่าวมา

ปณิตา ไชยอินทร์ (2549) ได้ทำการศึกษาการนำโพลีเมอร์เหลวเข้ามาผสมในคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก โดยได้ทำการศึกษาถึงคุณสมบัติเชิงกล และคุณสมบัติความคงทนในแง่ของความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของน้ำในโพลีเมอร์ โมดิฟายด์คอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก ที่ผลิตจากโพลีเมอร์เหลวชนิด Acrylic Latex (AC) ในอัตราส่วน 7.5% และ 15.0% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ และเส้นใยเหล็กชนิดงอปลาย จำนวน 2 ขนาด คือ 35 มิลลิเมตร และ 60 มิลลิเมตร ในอัตราส่วน 0.5%, 0.75% และ 1.0% โดยปริมาตร ตัวอย่างที่ไม่ได้ผสมโพลีเมอร์จะถูกบ่มน้ำเป็นเวลา 28 วัน ส่วนตัวอย่างทดสอบที่ผสมโพลีเมอร์ จะถูกนำมาบ่มน้ำ 7 วัน และบ่มอากาศ 21 วัน (Water & Air Cure) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า คอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กผสมโพลีเมอร์เหลวที่ 7.5% มีความสามารถในการเท และมี ความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านดีกว่าคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กปกติ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มปริมาณโพลีเมอร์เป็น 15% ผลการทดลองกลับเป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม นอกจากนี้ ยังพบว่าการนำโพลีเมอร์เข้ามาผสมในคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก ทำให้ค่ากำลังอัด และกำลังดัด ที่ได้มีค่าลดลง เมื่อเทียบกับคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กปกติ

ปิติ สุคนธสุขกุล และ สุรชัย สุธิธรรมา (2549) ได้ศึกษาว่าคอนกรีตเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในด้านกำลังรับแรงอัดที่ดี แต่มีข้อด้อยคือมีกำลังรับแรงดึงที่ต่ำ วัสดุจำพวกเส้นใย (Fiber) จึงถูกนำมาใช้ผสมลงในคอนกรีตเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติในด้านนี้ให้ดีขึ้น แต่จากงานวิจัยหลายๆ งานที่ผ่านมาพบว่า การผสมเส้นใยลงในคอนกรีตมีผลทำให้คุณสมบัติในด้านการต้านทานการซึมผ่านของคอนกรีตต่ำลง เนื่องจากรูพรุนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสระหว่างเส้นใยและเนื้อคอนกรีต ส่งผลให้คอนกรีตผสมเส้นใย (Fiber reinforced concrete ; FRC) มีความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมเส้นใยในกรณีที่ไม่ได้รับแรงกระทำจากภายนอก อย่างไรก็ดี หากพิจารณาถึงสภาวะที่มีแรงกระทำซึ่งเป็นสภาวะการใช้งานจริง แรงกระทำจะส่งผลทำให้เกิดรอยร้าวขึ้นในเนื้อคอนกรีต การมีอยู่ของเส้นใยมีส่วนช่วยให้รอยร้าวที่เกิดขึ้นไม่ขยายตัวออกไปมากขึ้น จึงอาจส่งผลให้ FRC มีคุณสมบัติในด้านการต้านทานการซึมผ่านดีกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมเส้นใยในสภาวะนี้ ในงานวิจัยนี้จึงได้มุ่งศึกษาถึงคุณสมบัติในด้านความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของ FRC เปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมเส้นใย โดยเปรียบเทียบทั้งในสภาวะที่ไม่มีแรงกระทำและสภาวะหลังรับแรงกระทำ เส้นใยที่นำมาใช้มี 2 ชนิด คือ เส้นใยเหล็ก (Steel fiber) และเส้นใยโพลีโพรพีลีน (Polypropylene fiber) โดยแปรผันสัดส่วนผสมที่ 0.5% และ 1.0% โดยปริมาตร แรงกระทำที่ใช้ในการทดสอบเป็นแรงอัดที่ 25%, 50% และ 75% ผลการศึกษาพบว่า ในสภาวะที่ไม่มีแรงกระทำคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมเส้นใยมีความสามารถในการต้านทานการซึมผ่าน ดีกว่า คอนกรีตผสมเส้นใยทั้ง 2 ชนิด แต่เมื่อพิจารณาในสภาวะหลังรับแรงกระทำ พบว่า คอนกรีตผสมเส้นใยทั้ง 2 ชนิดให้ผลการทดสอบที่ต่างกัน โดยการผสมเส้นใยเหล็กให้ผลการทดสอบเป็นไปตามที่คาดไว้ คือ มีผลทำให้ความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของคอนกรีตดีกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมเส้นใย ในขณะที่การผสมเส้นใยโพลีโพรพีลีนกับมีผลทำให้ความสามารถในการต้านทาน การซึมผ่านของคอนกรีตด้อยกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมเส้นใย ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยโพลีโพรพีลีนที่นำมาใช้เป็นเส้นใยขนาดเล็กจึงไม่สามารถต้านทานรอยร้าวที่เกิดขึ้นในเนื้อคอนกรีตได้ และยังพบว่าการผสมเส้นใยเหล็กในปริมาณ 0.5% โดยปริมาตรมีผลทำให้คอนกรีตมีความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านดีกว่าการผสมเส้นใยเหล็กในปริมาณ 1.0% โดยปริมาตร ในสภาวะหลังรับแรงกระทำนี้

บทที่ 3
วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1. ปูนซีเมนต์ (Cement)

ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland cement) โดยมีคุณสมบัติตามมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม มอก.15-2532 สำหรับใช้ในงานคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และสำหรับใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไปที่ไม่อยู่ในภาวะอากาศที่รุนแรง หรือในที่มีอันตรายจากซัลเฟตเป็นพิเศษ หรือความร้อนที่เกิดจากการรวมตัวกับน้ำจะไม่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงขั้นอันตรายที่คอนกรีตจะแตกร้าวเสียหาย โดยมีองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 และรูปภาพของปูนซีเมนต์แสดงไว้ในรูปที่ 3.1

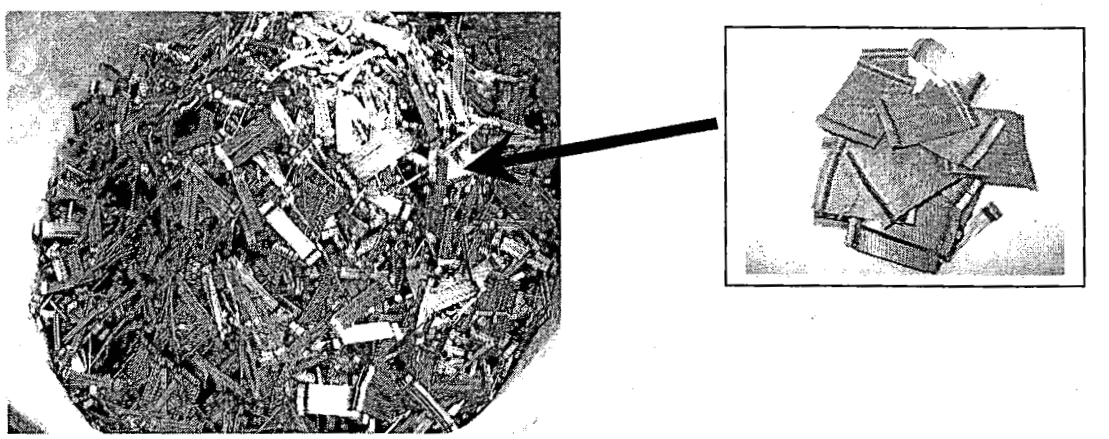
ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

องค์ประกอบทางเคมี (% by weight)	Portland cement type I
Silicon Dioxide, SiO_2	20.80
Aluminum Oxide, Al_2O_3	5.50
Iron Oxide, Fe_2O_3	5.50
Calcium Oxide, CaO	64.97
Magnesium Oxide, MgO	1.06
Sodium Oxide, Na_2O	1.06
Potassium Oxide, K_2O	0.55
Sulfur Trioxide, SO_3	1.96
Loss on Ignition, LOI	5.50

รูปที่ 3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ตราช้าง)

3.1.2. เส้นใย (Fiber)

เส้นใยที่ใช้ในการผสมเพิ่มในส่วนผสมคอนกรีตใช้เส้นใยเหล็ก (Steel fiber) เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท ดรามิกซ์ (Dramix) จำกัด เป็นประเภทแบบตะขอ มีชื่อ เรียกว่า "RC-65/35-BN" ดังแสดงในรูปที่ 3.2



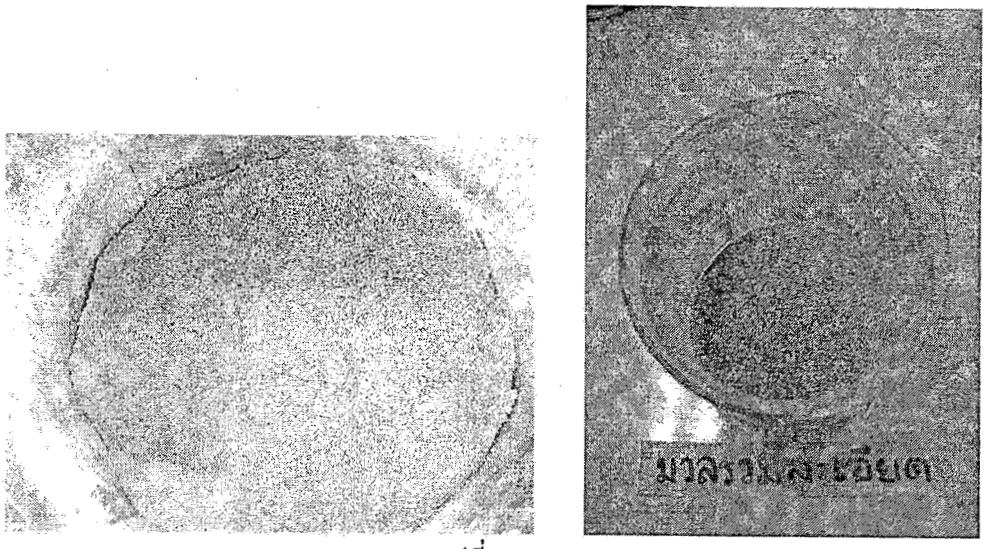
รูปที่ 3.2 เส้นใยเหล็ก RC-65/35-BN

3.1.3 น้ำ (Water)

น้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตและใช้ในการทดลองการซึมผ่านน้ำของคอนกรีตใช้น้ำประปา ในห้องปฏิบัติการทดสอบคอนกรีตและวิศวกรรมโครงสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

3.1.4. ทราย (Sand)

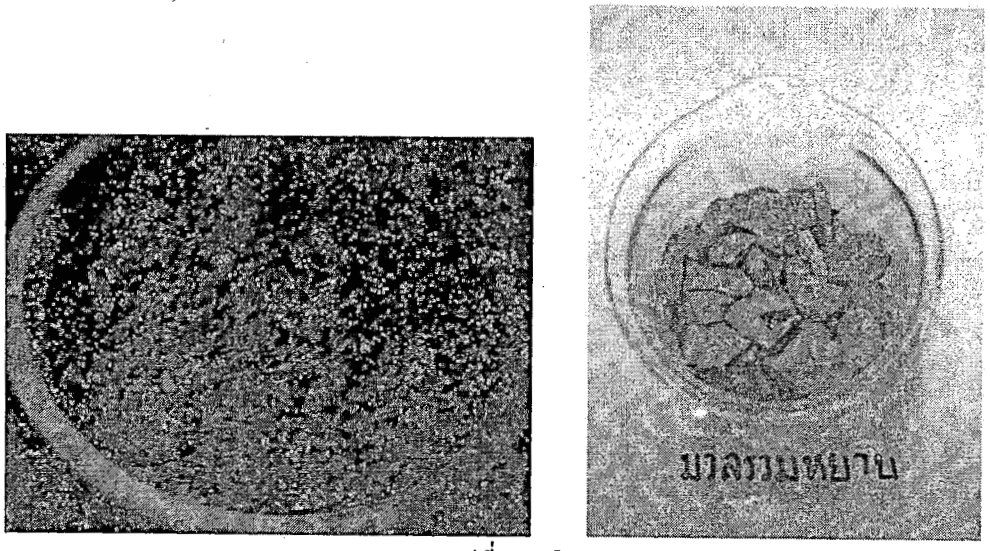
ทรายหรือมวลรวมละเอียดที่ใช้ในการทดลองใช้ทรายบก ดังรูปที่ 3.3 โดยเตรียมทรายให้อยู่สภาวะความชื้นแบบอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated surface dry, SSD) ก่อนการผสมคอนกรีต



รูปที่ 3.3 ทราย

3.1.5. หิน (Rock)

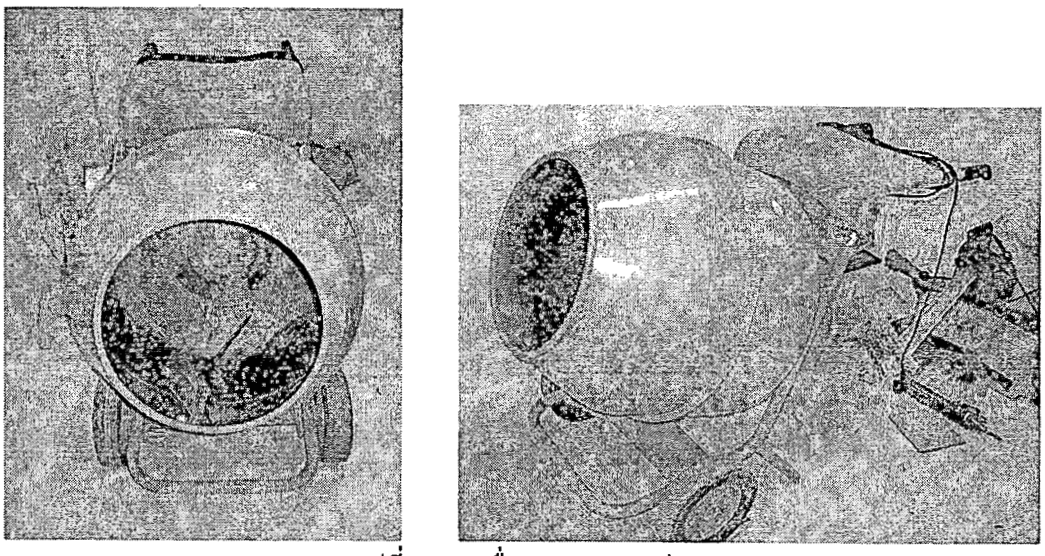
หินที่ใช้ในการศึกษาเป็นหินปูนดังรูปที่ 3.4 โดยเตรียมหินให้อยู่ในสภาวะความชื้นแบบอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated surface dry, SSD) ก่อนนำมาใช้ผสมคอนกรีต



รูปที่ 3.4 หิน

5. เครื่องผสมคอนกรีต

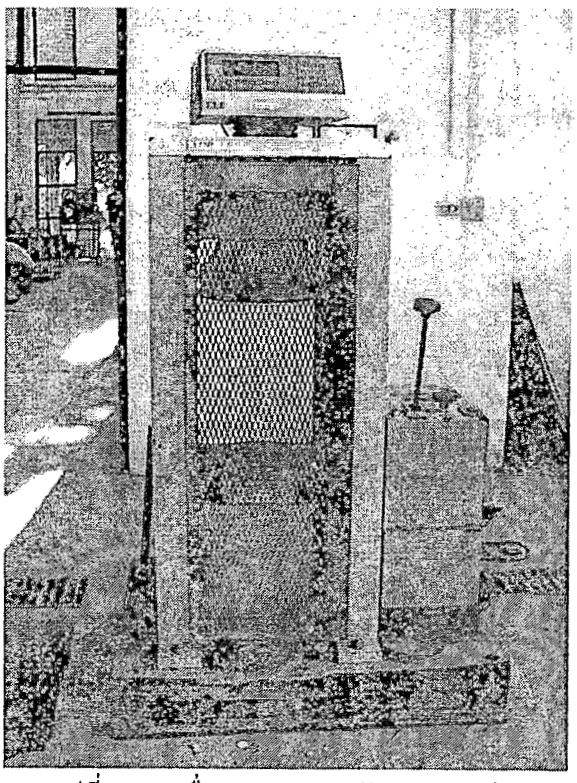
ใช้เครื่องผสมคอนกรีตแบบขนาดเล็ก ดังรูปที่ 3.11 ซึ่งเหมาะสำหรับสำหรับการศึกษานี้เนื่องจากสามารถผสมคอนกรีตในปริมาณที่ไม่มากนักได้



รูปที่ 3.11 เครื่องผสมคอนกรีต

6. เครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

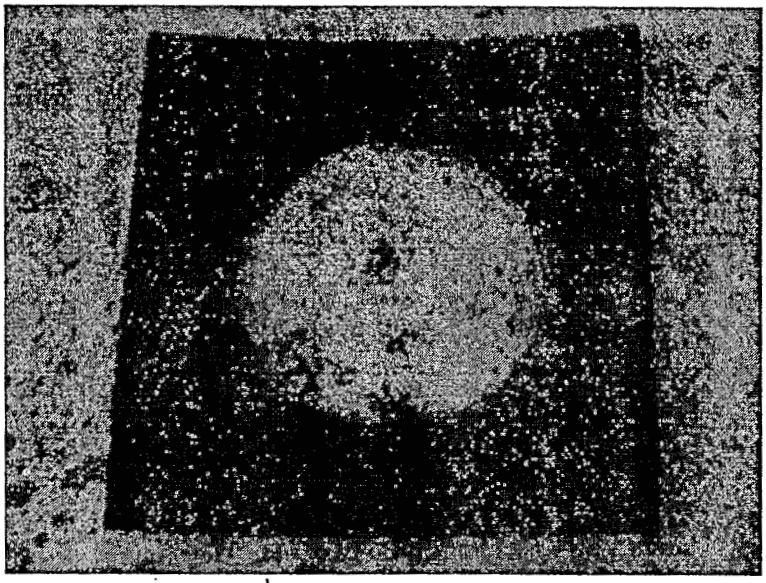
ใช้เครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีตคอนกรีต ขนาด 300 ตัน ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

7. แผ่นยางกันซึม

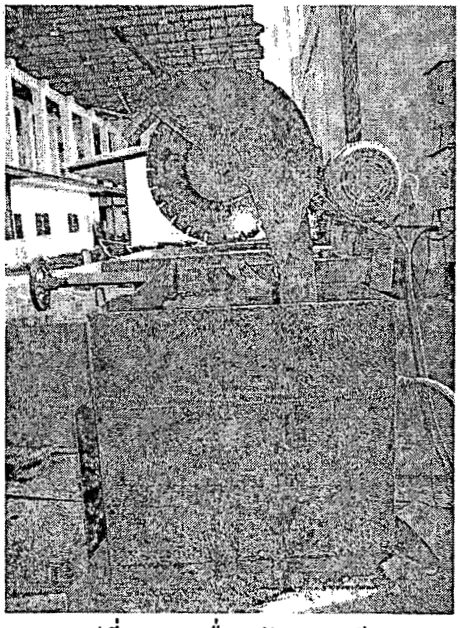
ใช้แผ่นยางรองกันซึมสำหรับชิ้นตัวอย่างคอนกรีตในการทดสอบการซึมผ่านน้ำของคอนกรีตดังรูปที่ 3.13 เพื่อป้องกันการรั่วของน้ำในเซลล์ทดสอบซึ่งอาจเกิดได้จากพื้นผิวที่ไม่เรียบของตัวอย่างคอนกรีต



รูปที่ 3.13 แผ่นยางรองกันซึม

8. เครื่องตัดคอนกรีต

ใช้เครื่องตัดคอนกรีตดังรูปที่ 3.14 เพื่อตัดตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกให้มีความหนา 50 มิลลิเมตร สำหรับทดสอบการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต



รูปที่ 3.14 เครื่องตัดคอนกรีต

3.3 ส่วนผสมคอนกรีต

ส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษานี้มีจำนวนทั้งหมด 8 ส่วนผสม โดยมีรายละเอียดของสัดส่วนผสมของคอนกรีตแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.2 สัดส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้

No.	Mix id.	w/b	Steel fiber content (% by volume of concrete)
1	W50S0	0.50	-
2	W50S0.5	0.50	-
3	W50S1.0	0.50	-
4	W50S1.5	0.50	-
5	W50S0	0.60	-
6	W60S0.5	0.60	-
7	W50S1.0	0.60	-
8	W50S1.5	0.60	-

3.4 วิธีการทดลอง

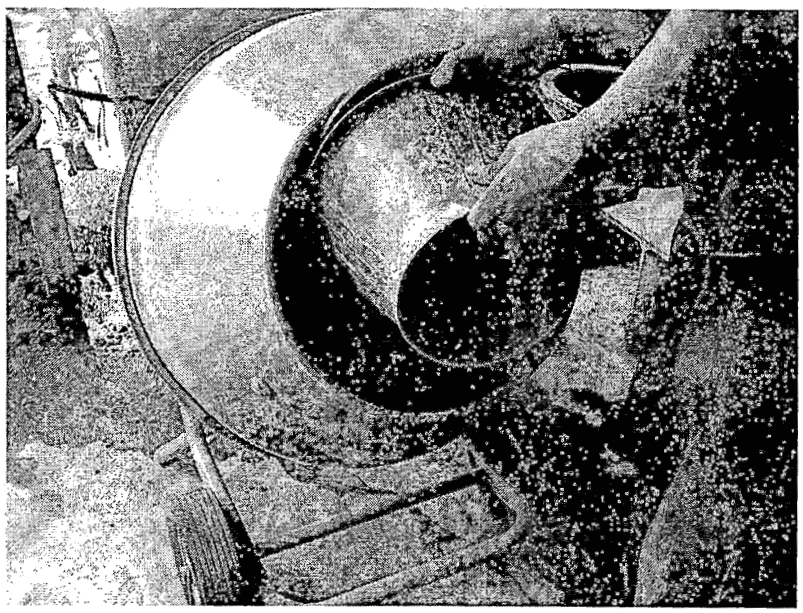
วิธีการทดลอง แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ

3.4.1 การเตรียมตัวอย่าง

1. การผสมและหล่อคอนกรีต

- **การผสมคอนกรีต**

1. เตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมส่วนผสม และการผสมคอนกรีต
2. เตรียมส่วนผสมต่างๆ ในอัตราส่วนที่คำนวณเอาไว้ โดยที่เส้นใยเหล็ก (Steel fiber) ต้องใส่ในส่วนผสมหลังใส่หิน เพื่อให้ผสมตัวออกมาเป็นเส้นๆ ก่อน
3. เริ่มการผสมคอนกรีตด้วยการ ใส่หิน ทราย ปูน และ Steel Fiber ลงไปก่อน
4. ให้เครื่องผสมคอนกรีต ดังรูปที่ 3.15 ผสมจนส่วนผสมแห้งเข้ากัน
5. เติมน้ำลงไปเป็นลำดับสุดท้าย
6. เมื่อคอนกรีตมีส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ก็สามารถนำไปเทลงแบบหล่อได้

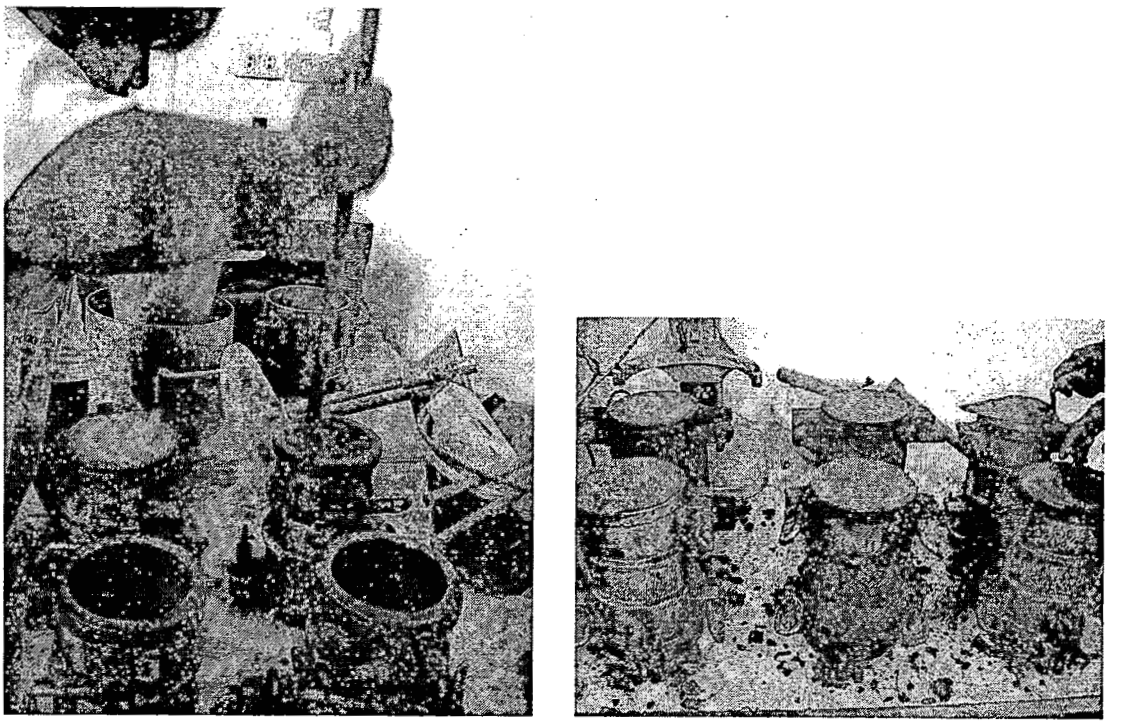


รูปที่ 3.15 การผสมคอนกรีต

- **การหล่อคอนกรีต**

1. เตรียมอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับหล่อคอนกรีต พร้อมทาน้ำมัน (ใช้แบบหล่อ 2 แบบ คือ 1) แบบหล่อเหล็กหล่อทรงกระบอก D = 10 cm , H = 20 cm และ 2) แบบหล่อพีวีซีทรงกระบอก D = 10 cm , H = 5 cm)

2. เทคอนกรีตใส่แบบทรงกระบอกสูง 20 cm ในปริมาณ 1/3 ของแบบ กระทุ้ง 25 ครั้ง ดังรูปที่ 3.16
3. ครั้งที่ 2 เทคอนกรีตเพิ่มลงไปเป็น 2/3 ของแบบ กระทุ้ง 25 ครั้ง
4. ครั้งสุดท้ายใส่คอนกรีตให้เต็ม กระทั้ง 25 ครั้ง และทำการปาดหน้าคอนกรีต
5. ทำข้อ 2-4 ในแบบที่เหมือนกันที่เหลือ



รูปที่ 3.16 การหล่อคอนกรีต ใส่แบบหล่อทรงกระบอกขนาด ϕ 10 x 20 cm^2

- **การหล่ออีพอกซี่กันซึมด้านข้าง**

ก่อนทำการหล่ออีพอกซี จะต้องนำตัวอย่างขนาด ϕ 10 x 20 cm^2 มาตัดให้มีความหนา 5 cm ก่อนทำการหล่ออีพอกซี่

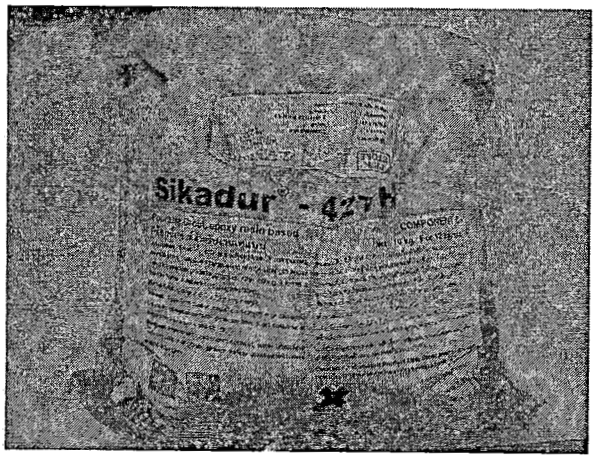
การผสมอีพอกซี่จะผสมตามส่วนผสมที่กำหนดมาข้างกระป๋อง โดยจะมีส่วนผสมระหว่างสารประกอบ A:B:C เท่ากับ 2:1:12 โดยน้ำหนัก

การนำอีพอกซี่ที่ผสมเสร็จแล้วมาเทลงในแบบ โดยมีคอนกรีตที่จะใช้ในการทดสอบอยู่ตรงกลาง โดยเทใส่ในแบบที่กำหนดไว้ โดยที่ต้องทิ้งตัวอย่างที่เทไว้ประมาณ 24 ชม อีพอกซีถึงจะแข็งตัว

3.1.6. อีพอกซี่ (Epoxy)

ใช้อีพอกซี่ รุ่น SIGARDUY – 742RT โดยมีสารประกอบ 3 ชนิดที่ต้องนำมาผสมกันคือ สารประกอบ A และ B ดังรูปที่ 3.5 และสารประกอบ C ดังรูปที่ 3.6 โดยที่สารประกอบ A และ B เป็นของเหลว ส่วนสารประกอบ C เป็นผง ทำการหล่ออีพอกซี่เป็นสารกันซึมที่ใช้โดยรอบตัวอย่างคอนกรีต เพื่อกันน้ำซึมออกบริเวณรอบผิวด้านข้างของคอนกรีต เพื่อควบคุมให้น้ำซึมจากผิวด้านบนออกทางผิวด้านล่างเท่านั้น ทำให้ทราบว่าน้ำซึมผ่านคอนกรีตได้ในปริมาณเท่าไหร่ ในอัตราความเร็วเท่าไหร่ เพื่อใช้ในการคำนวณค่าการซึมผ่านคอนกรีตต่อไป

รูปที่ 3.5 อีพอกซี่ สารประกอบ A และ B



รูปที่ 3.6 อีพอกซี่ สารประกอบ C

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบค่าการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต มีรายละเอียดดังนี้

1. เครื่องมือทดลองการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต (Concrete permeability test for 8 cells) BS121

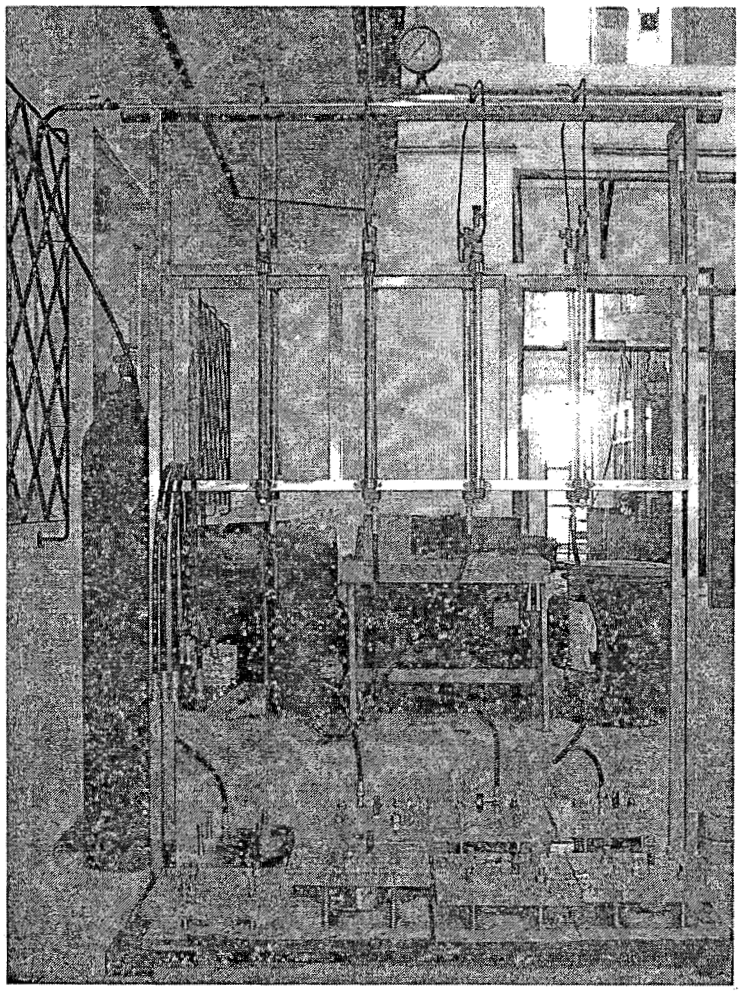
รายละเอียดแสดงในรูปที่ 3.6 มีส่วนประกอบดังนี้

1.1 ชุดโครงจับยึดทำมาจากโลหะไร้สนิมหรือทาสีป้องกันสนิม

1.2 ชุดบอกแรงดันน้ำติดอยู่ที่กึ่งกลางของเครื่องขนาด 4" (Pressure gauge)

1.3 ชุดบอกแรงดันน้ำ (Transparent tube)

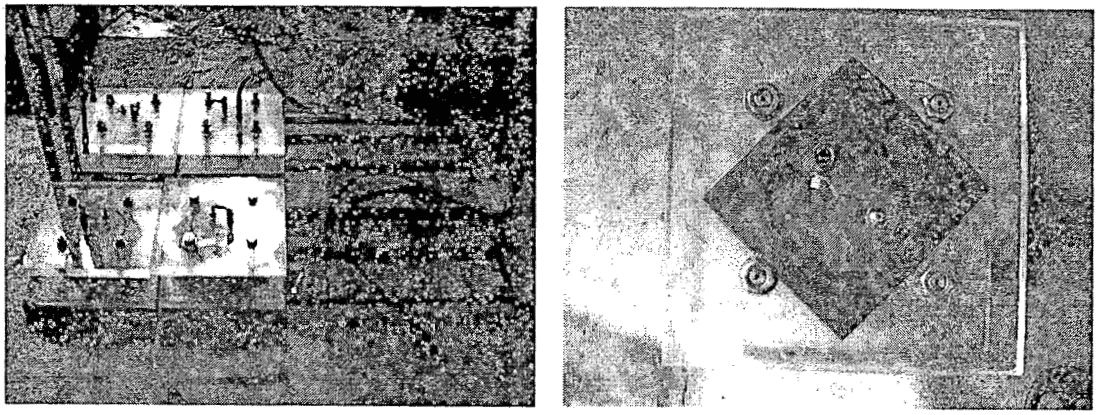
เป็นเครื่องที่ใช้ทดสอบการซึมผ่านของคอนกรีตภายใต้แดงดัน โดยการใส่น้ำเขาไปในหลอด แล้วอัดแรงดันด้วยลมโดยให้น้ำซึมผ่านคอนกรีตไป



รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต

2. ชุดเซลล์ทดสอบการซึมผ่านน้ำ

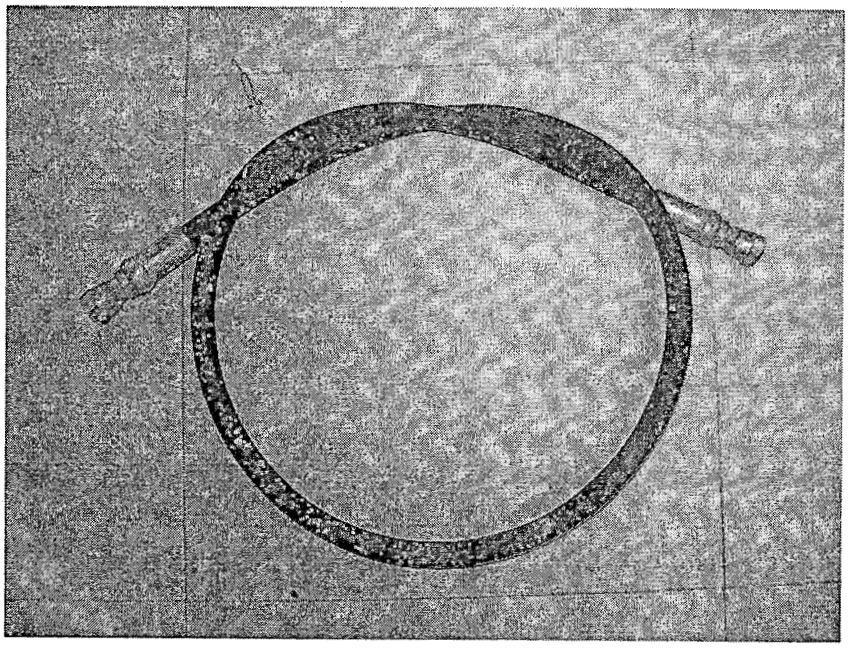
ชุดเซลล์ทดสอบการซึมผ่านน้ำมีรายละเอียดแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ชุดเซลล์ทดสอบค่าการซึมผ่านน้ำ

3. สายต่อทนแรงดันสูง (High Pressure Hose)

สายต่อทนแรงดันสูงแสดงไว้ในรูปที่ 3.9

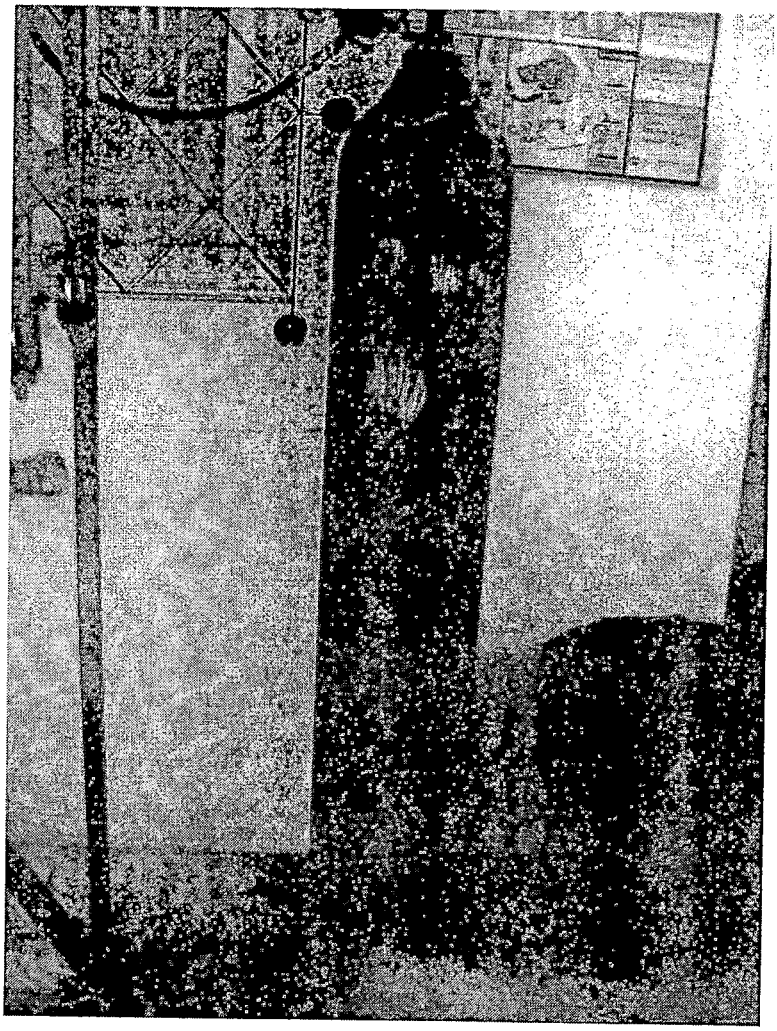


รูปที่ 3.9 สายต่อทนแรงดันสูง

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

4. ถังสมออกซิเจนสำหรับให้แรงดันโดยสามารถให้แรงดันได้ถึง 20 bar

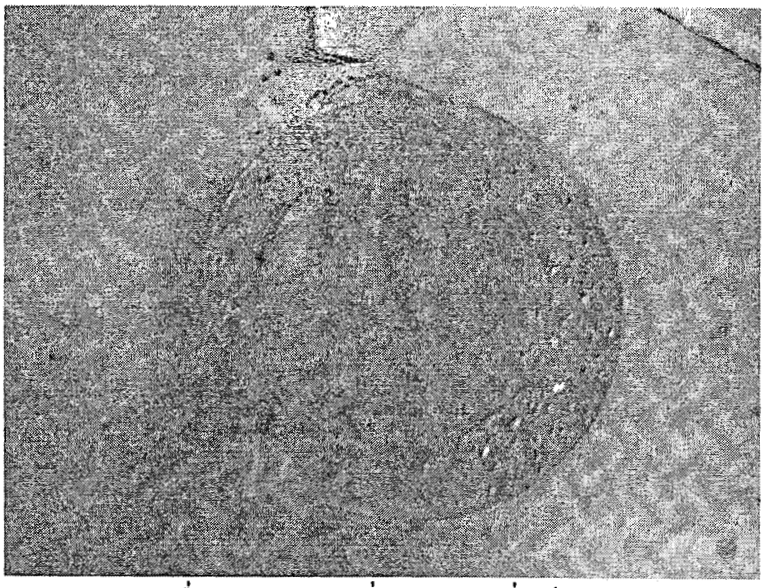
ถังลมสำหรับให้แรงดันลมได้สูงสุดถึง 20 บาร์ (Bar) แสดงไว้ในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 ถังลม

666.893
ท 1930
2551
ฉ 4

357151



รูปที่ 3.17 คอนกรีตที่หล่ออีพอกซี่เสร็จแล้ว

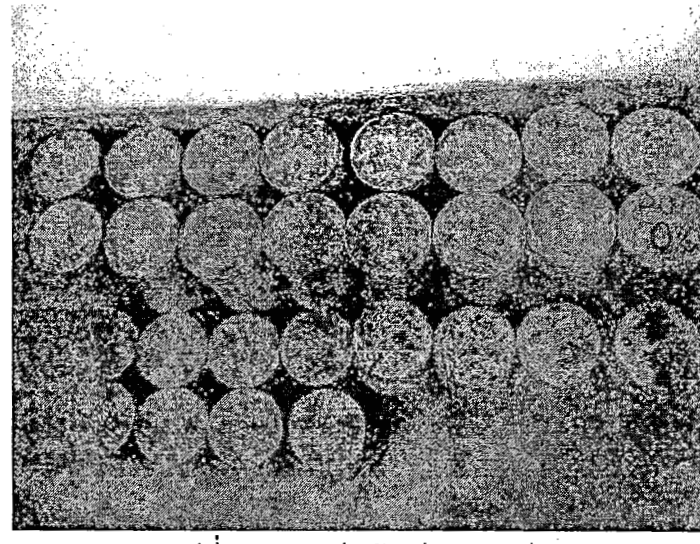
ข้อควรระวัง

1) เมื่ออิพอกซี่แข็งตัวจะเกิดปัญหาฟองอากาศที่ผิวหน้าของอีพอกซี่ ซึ่งอาจจะทำให้ประเก็นยางที่ใส่ตอนทำการทดลองฉีกขาดได้

2) สามารทำการแก้ไขได้ ด้วยการใช้แท่งหลีกหรือแท่งไม้เล็กๆ กดลงในเนื้ออิพอกซี่ที่เพิ่งเท เพื่อไล่ฟองอากาศ

- **การบ่ม**

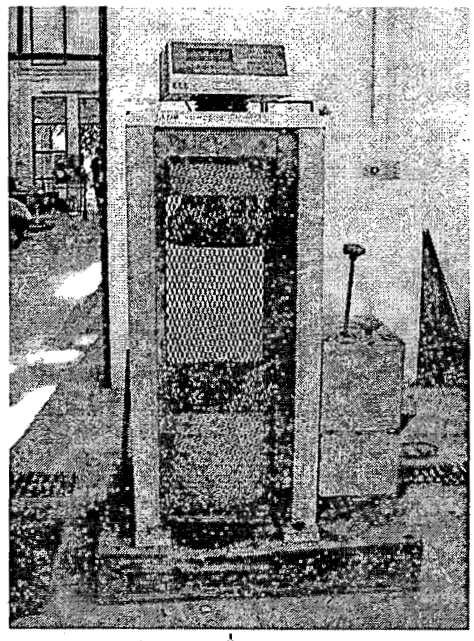
ในการศึกษานี้ใช้วิธีการบ่มตัวอย่างคอนกรีตในน้ำ ดังรูปที่ 3.18 โดยแช่ตัวอย่างไว้ในบ่อบ่มคอนกรีต ในห้องปฏิบัติการทดสอบคอนกรีตและวิศวกรรมโครงสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา โดยจะทำการบ่มด้วยการแช่ทิ้งไว้ในน้ำ



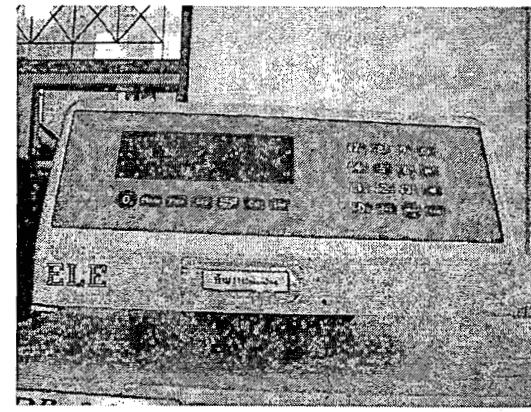
รูปที่ 3.18 การบ่มตัวอย่างคอนกรีต

3.4.2 การทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

ทำการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตที่อายุการทดสอบต่างๆ ด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัดตอนกรีต ขนาด 300 ตัน ดังรูปที่ 3.19



ก) ตัวเครื่องกดคอนกรีต



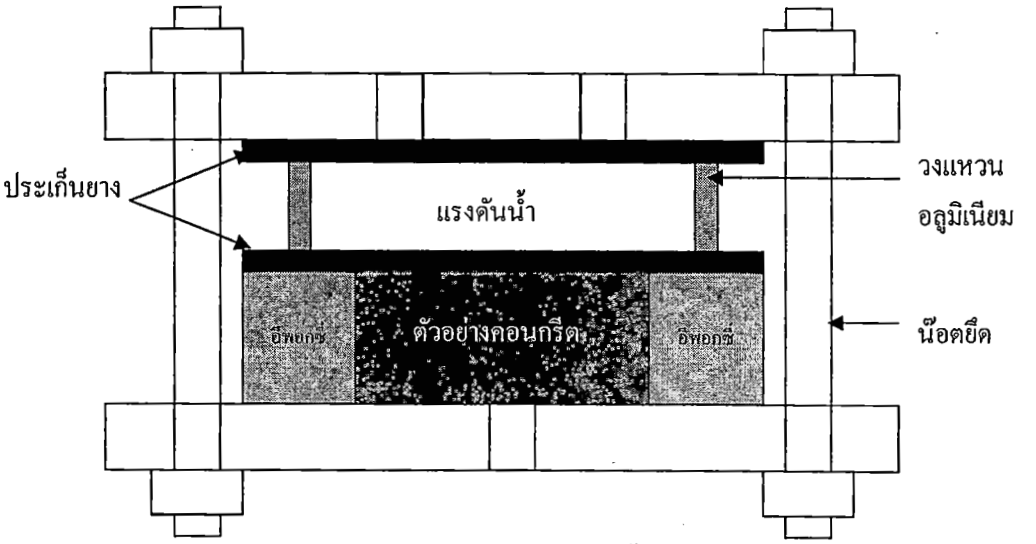
ข) หน้าจอแสดงผลทดสอบ

รูปที่ 3.19 เครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

3.4.3 การทดสอบการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต

1. วิธีการใช้งาน

1. นำตัวอย่างที่จะทดสอบมาใส่ที่เซลล์ ดังรูปที่ 3.20 หลังจากนั้นทำการขันน็อตทั้ง 4 ด้านให้แน่น โดยต้องใส่ประเก็นยางรองระวังแผ่นอลูมิเนียม เพื่อกันน้ำซึมออกด้านนอก แต่หากขัดแน่นเกินไปประเก็นยางจะแตก ทำให้น้ำซึมออก



รูปที่ 3.20 เซลล์ทดสอบการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต

2. ต่อสายทนแรงดันสูงเข้ากับเซลล์ ซึ่งจะต้องทำการขันให้แน่น

3. เติมน้ำผ่านวาล์ว ตัวที่ 1 จนน้ำเต็มเซลล์ ดูได้จากน้ำที่ล้นผ่านวาล์ว ตัวที่ 2 ที่ติดอยู่ที่เซลล์ เมื่อน้ำเต็มเซลล์จึงทำการปิดเซลล์ที่ 2

4. เติมน้ำจนกระทั่งน้ำอยู่ในหลอดวัด (Transparent tube) ประมาณ 3 ใน 4 ของหลอดวัด แล้วจึงทำการปิดวาล์ว ตัวที่ 1

5. เปิดวาล์วตัวที่ 3 และ 4 แล้วทำการต่อสายทนแรงดันสูง เข้ากับถังออกซิเจนที่มีชุดควบคุมแรงดันอยู่

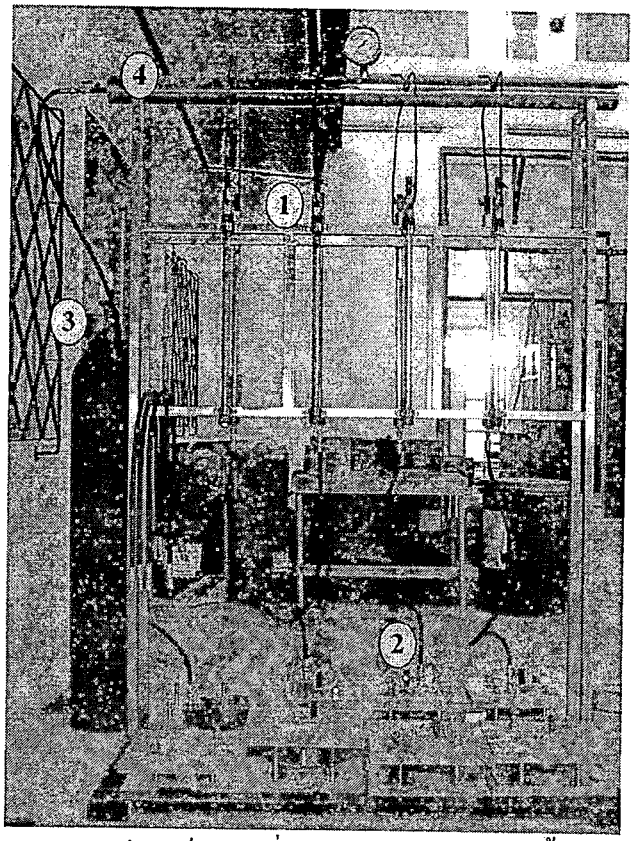
6. ทำการปรับแรงดันโดยดูจากเกจวัดที่ติดอยู่ชุดโครงทดสอบ โดยทั่วไปจะทำการทดสอบอยู่ที่ประมาณ 5 บาร์ (Bar)

7. ทำการบันทึกปริมาณน้ำที่ไหลผ่านตัวอย่างกับเวลาแล้วทำการคำนวณ ตามสูตรที่แสดงไว้

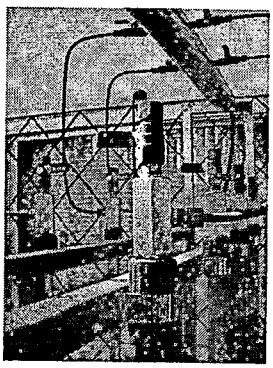
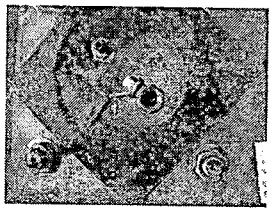
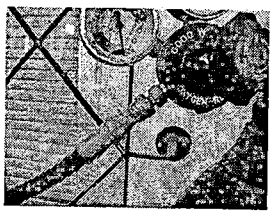
$$K_f = \frac{\rho L g Q}{P A} \qquad (3.1)$$

โดยที่

K_f	=	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีต (m/s)
Þ	=	ค่าความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)
g	=	แรงโน้มถ่วงของโลก (m^2/s)
Q	=	อัตราการไหลของน้ำแบบคงที่ (m^3/s)
L	=	ความหนาของตัวอย่างคอนกรีต (m)
P	=	แรงดันน้ำสุทธิที่ไหลผ่านตัวอย่างคอนกรีต $(kg.m/sec^2)/(m^2)$ หรือ N/m^2
A	=	พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างคอนกรีต (m^2)



รูปที่ 3.21 ตำแหน่งวาล์วบนเครื่องทดสอบการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต

ตำแหน่งที่ 1 ตำแหน่งที่ 2 ตำแหน่งที่ 3 ตำแหน่งที่ 4

รูปที่ 3.22 รายละเอียดวาล์วที่ตำแหน่งต่างๆ

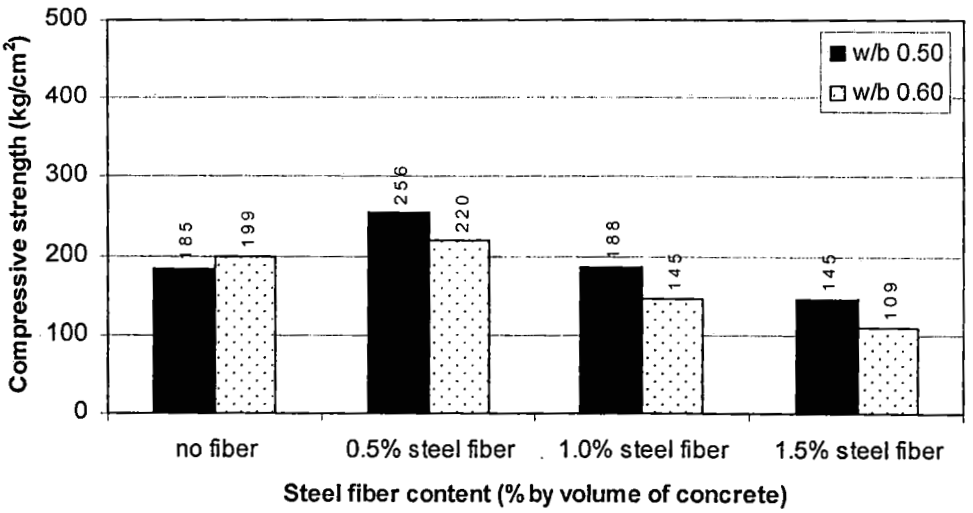
บทที่ 4

ผลการทดลอง

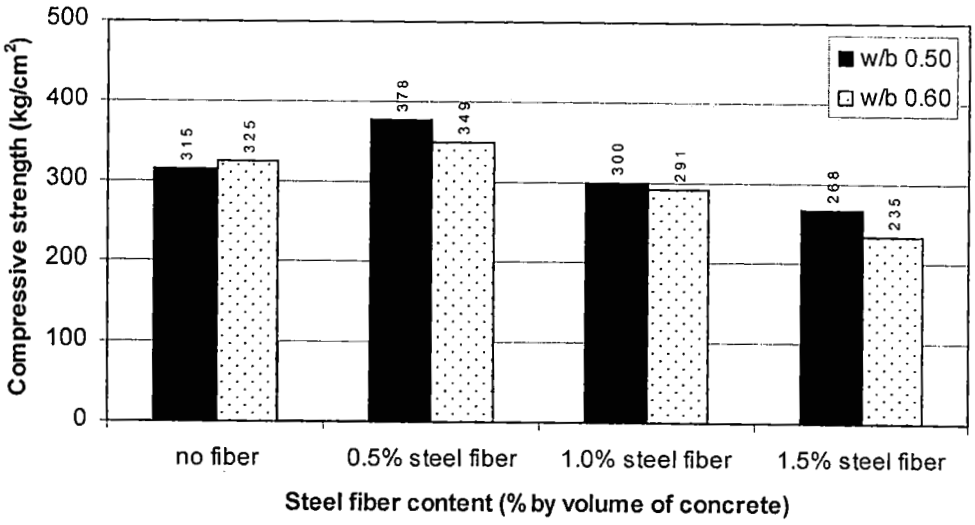
4.1 กำลังอัดของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก

4.1.1 ผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

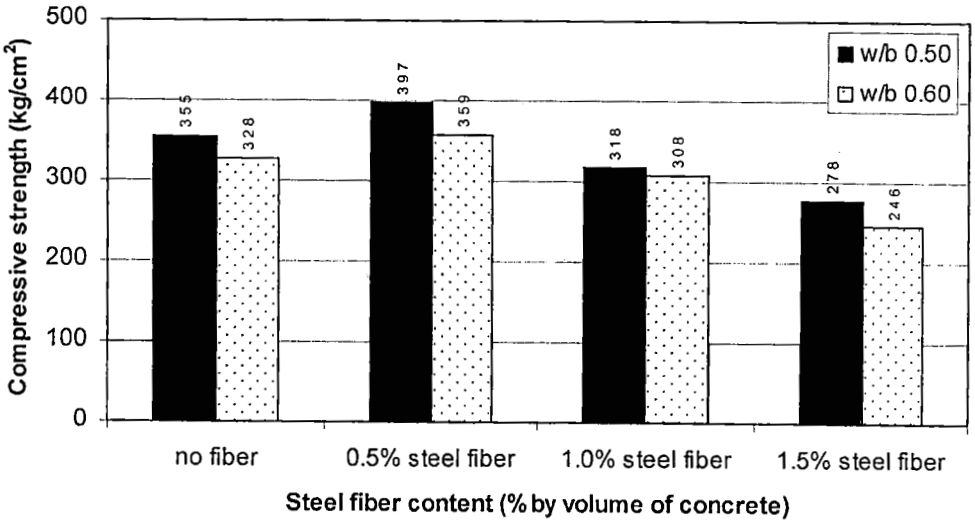
รูปที่ 4.1 ถึง 4.3 แสดงผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อกำลังอัด (Compressive strength) ของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กที่อายุ 7 วัน 28 วัน และ 91 วัน ตามลำดับ จากรูปพบว่า เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำ กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าสูงขึ้นทุกปริมาณการใช้เส้นใยเหล็กในส่วนผสมคอนกรีต ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำ ปริมาณน้ำอิสระ (Free water) ที่เหลืออยู่ในส่วนผสมคอนกรีตมีค่าน้อยลง ความพรุนของคอนกรีตจึงน้อย กำลังอัดของคอนกรีตจึงสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่สูงกว่า



รูปที่ 4.1 กำลังอัดของคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ ที่อายุ 7 วัน



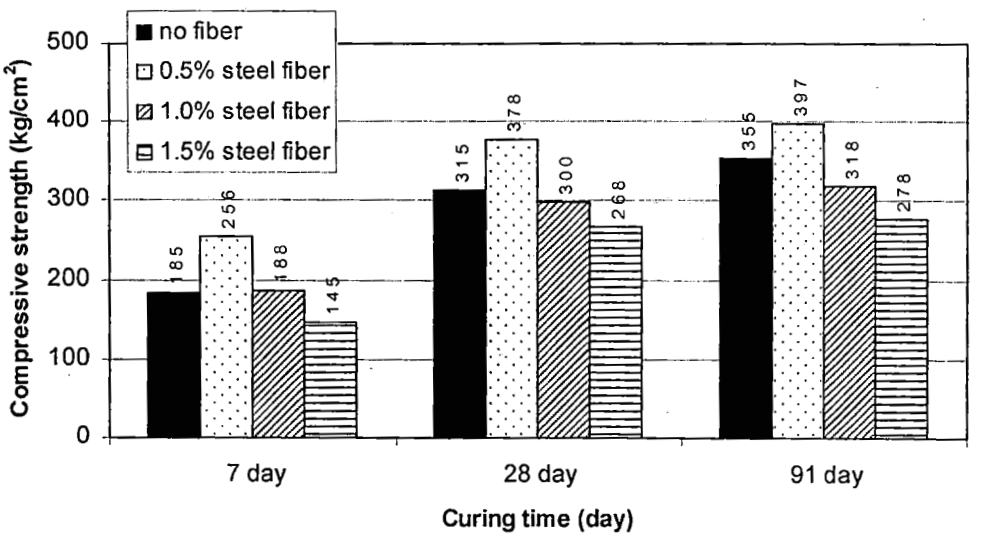
รูปที่ 4.2 กำลังอัดของคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ ที่อายุ 28 วัน



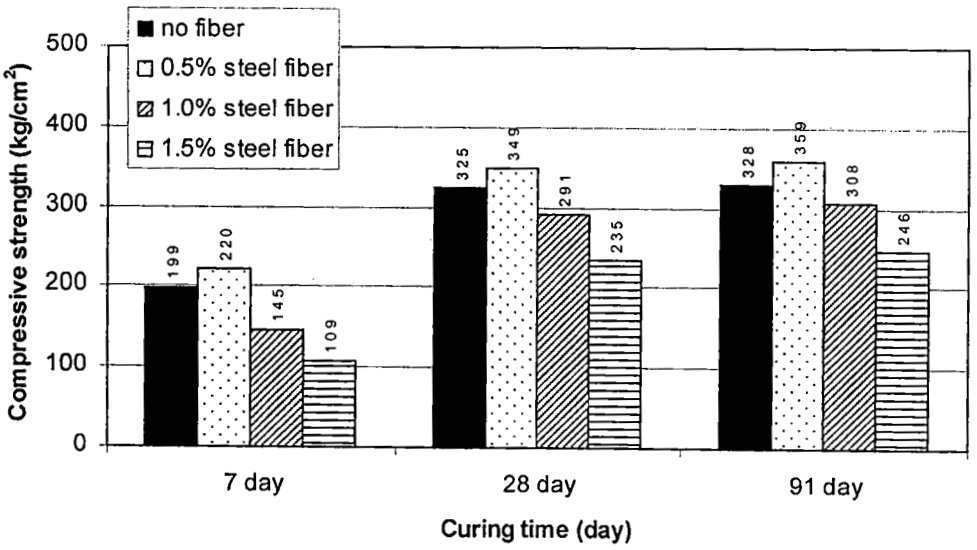
รูปที่ 4.3 กำลังอัดของคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ ที่อายุ 91 วัน

4.1.2 ผลกระทบของปริมาณเส้นใยเหล็ก

รูปที่ 4.4 และ 4.5 แสดงผลกระทบของปริมาณเส้นใยเหล็ก (% โดยปริมาตรของคอนกรีต) ต่อกำลังอัดของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 และ 0.60 ตามลำดับ จากรูปพบว่า กำลังอัดของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กที่ปริมาณต่างๆ มีค่าทั้งสูงกว่าละต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมเส้นใยเหล็ก โดยคอนกรีตที่ผสมเส้นใยเหล็กที่ปริมาณเส้นใยเหล็ก 0.5% โดยปริมาตรของคอนกรีตมีกำลังอัดสูงที่สุด และเมื่อใช้ปริมาณเส้นใยเหล็กมีค่ามากกว่า 0.5% โดยปริมาตรของคอนนกรีตกลับส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมเส้นใยเหล็ก ทั้งนี้เนื่องจากคอนกรีตที่ผสมเส้นใยเหล็ก 0.5% โดยปริมาตรของคอนกรีตนั้นเส้นใยเหล็กที่ผสมเพิ่มเข้าไปในคอนกรีตสามารถช่วยเพิ่มการรับแรงอัดของคอนกรีตให้สูงขึ้น ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานของ กิตติศักดิ์ นนทเขตขยัน และภาณุมาศ ดวงสิทธิโชค (2548) ที่พบว่า เมื่อใช้ปริมาณเส้นใยสูงขึ้นคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตผสมเส้นใยดีขึ้น และอภินันท์ ภูชัน และสุรสิทธิ์ หมั่นวิชา (2548) และสราวุฒิ อินทรบ และกิติศักดิ์ ใจตรง (2549) ที่พบว่าเมื่อใช้ปริมาณเส้นใยเหล็กมากเกินไป การยึดเกาะระหว่างเส้นใยเหล็กและคอนกรีตจะสูญเสียไป เนื่องจากความฝืดระหว่างพื้นผิวเส้นใยเหล็กกับคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีความพรุนสูงขึ้น คุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตจึงลดลง



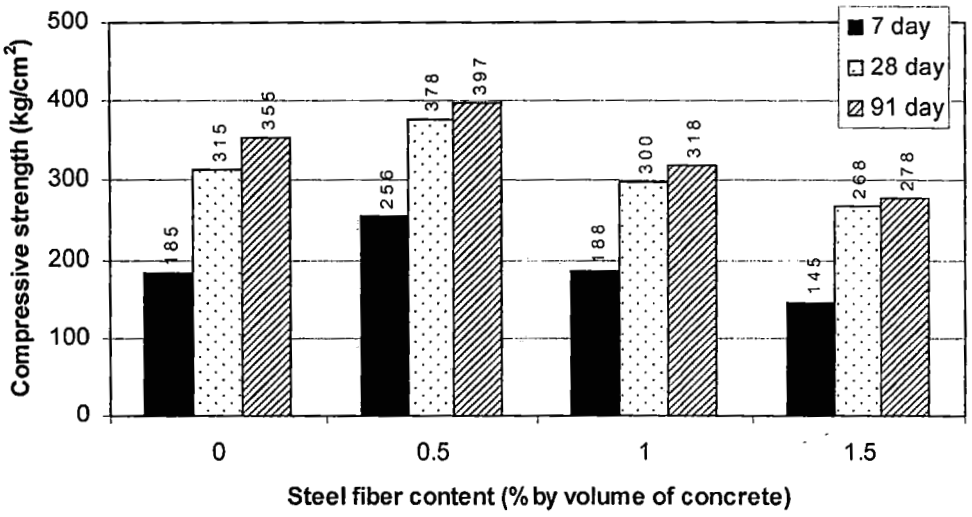
รูปที่ 4.4 กำลังอัดของคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อปริมาณเส้นใยเหล็กต่างๆ ที่ w/b 0.50



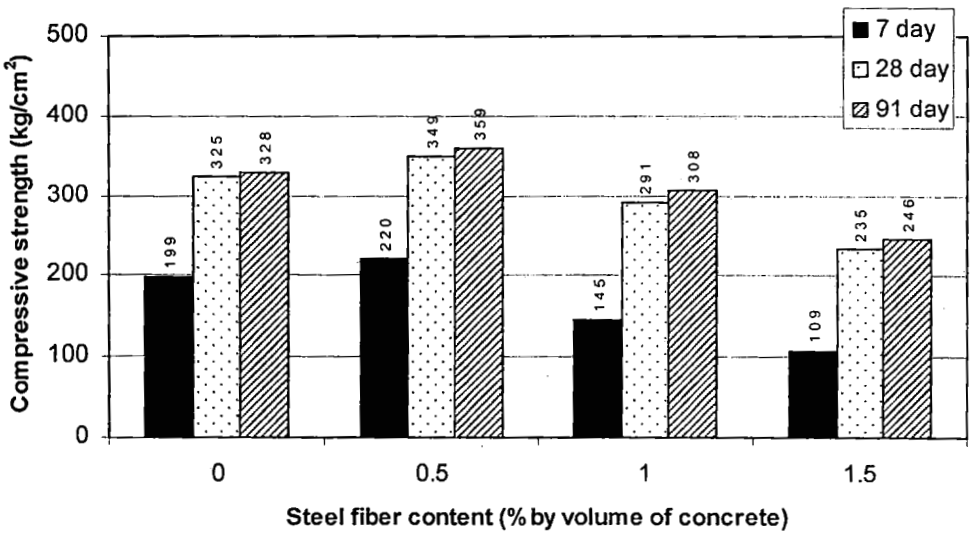
รูปที่ 4.5 กำลังอัดของคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อปริมาณเส้นใยเหล็กต่างๆ ที่ w/b 0.60

4.1.3 ผลกระทบของระยะเวลาการบ่มคอนกรีต

รูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงผลกระทบของระยะเวลาการบ่มคอนกรีตต่อกำลังอัดของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 และ 0.60 ตามลำดับ จากรูปพบว่าเมื่อระยะเวลาการบ่มคอนกรีตเพิ่มขึ้นจาก 7 วัน เป็น 28 วันและ 91 วัน กำลังอัดของคอนกรีตผสมเส้นใยสูงขึ้น เนื่องจากการพัฒนาการปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์มีมากขึ้น



รูปที่ 4.6 กำลังอัดคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กที่ระยะเวลาการบ่มต่างๆ ที่ w/b 0.50

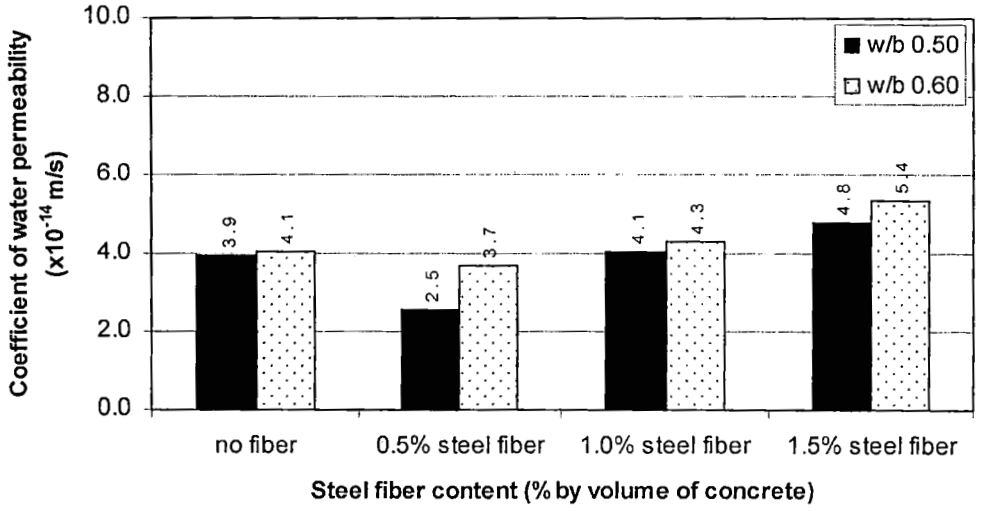


รูปที่ 4.7 กำลังอัดคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กที่ระยะเวลาการบ่มต่างๆ ที่ w/b 0.60

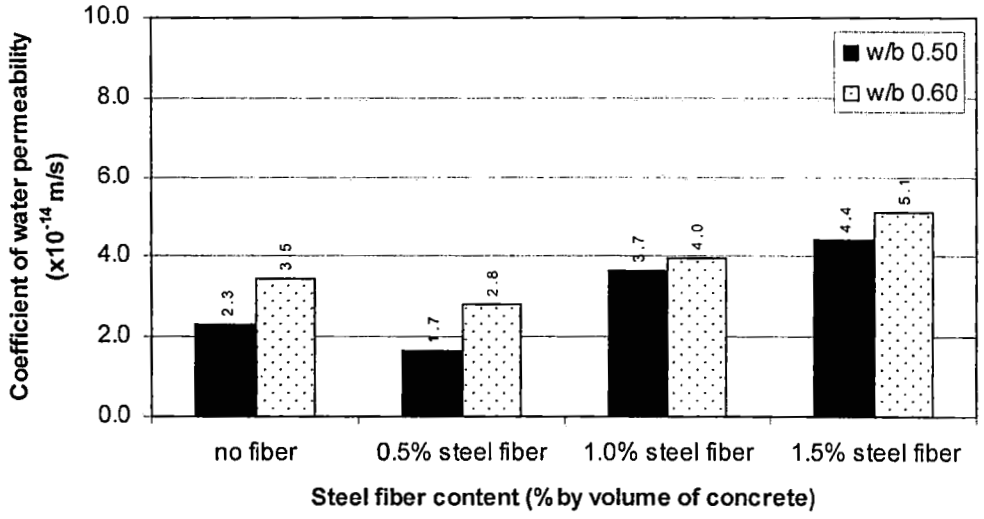
4.2 การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก

4.2.1 ผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

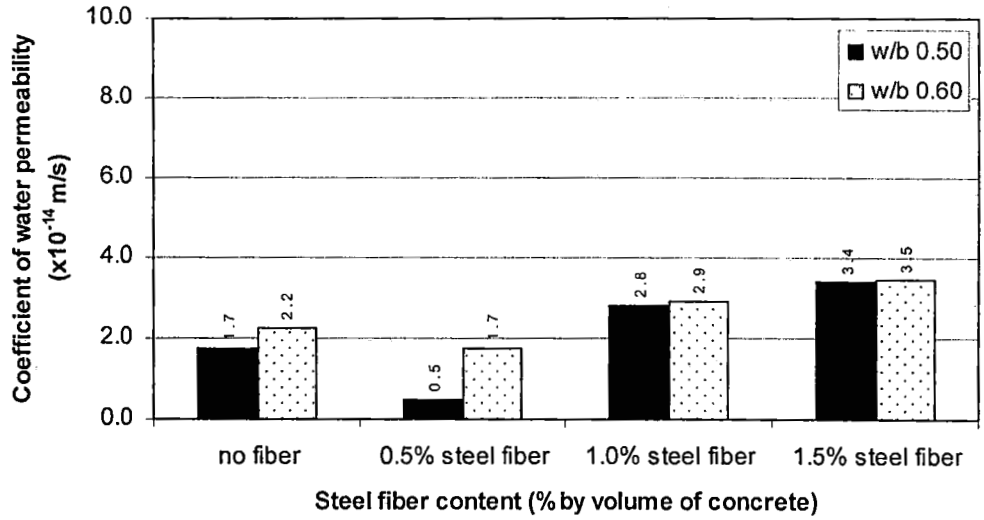
รูปที่ 4.8 ถึง 4.10 แสดงผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำ (Coefficient of water permeability) ของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กที่อายุ 7 วัน 28 วัน และ 91 วัน ตามลำดับ จากรูปพบว่า เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำลง สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตมีค่าลดลง เนื่องจากปริมาณน้ำอิสระ (Free water) ที่เหลือในคอนกรีตมีค่าน้อยลง ความพรุนของคอนกรีตจึงต่ำลง จึงทำให้การซึมผ่านน้ำผ่านโพรงช่องว่างแคปพิวลารี่ (Capillary void) ในคอนกรีตเป็นไปได้ยากขึ้น คอนกรีตจึงมีความทึบน้ำ (Impermeability) สูงขึ้น



รูปที่ 4.8 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ ที่อายุ 7 วัน



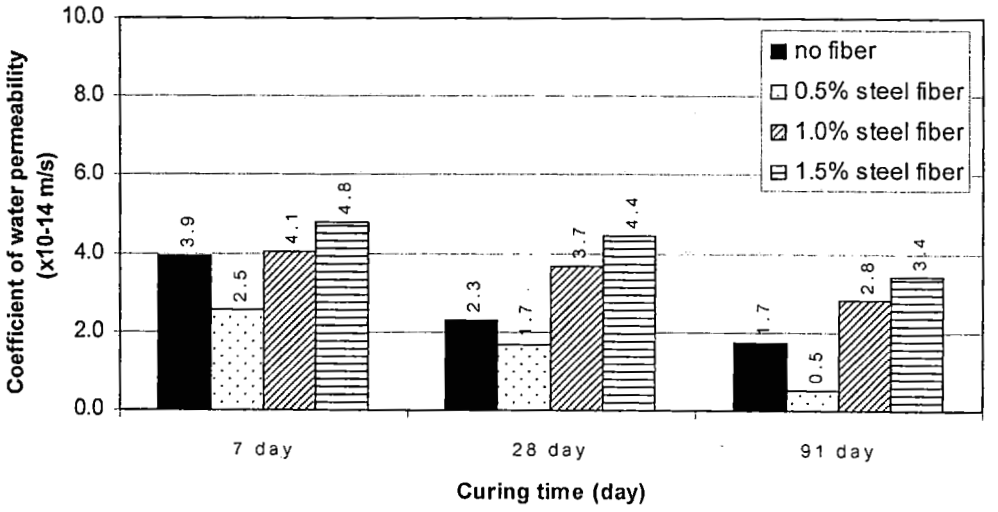
รูปที่ 4.9 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ ที่อายุ 28 วัน



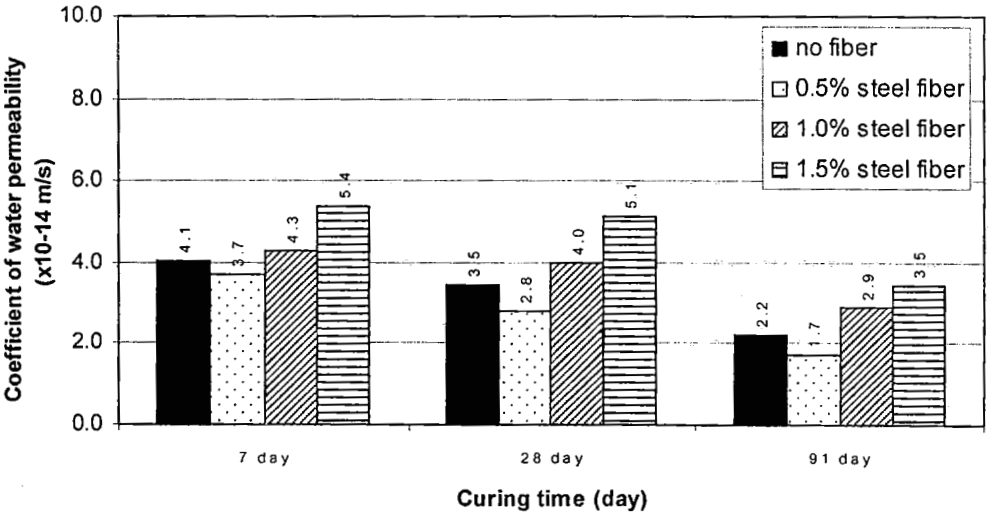
รูปที่ 4.10 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ ที่อายุ 91 วัน

4.2.2 ผลกระทบของปริมาณเส้นใยเหล็ก

รูปที่ 4.11 ถึง 4.12 แสดงผลกระทบของปริมาณเส้นใยเหล็ก (% โดยปริมาตรของคอนกรีต) ต่อสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 และ 0.60 ตามลำดับ จากรูปพบว่า เมื่อใช้ปริมาณเส้นใยเหล็กในส่วนผสมคอนกรีตที่ 0.5% โดยปริมาตรของคอนกรีต ส่งผลให้สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตมีค่าต่ำที่สุด และเมื่อใช้ปริมาณเส้นใยเหล็กสูงกว่า 0.5% โดยปริมาตรของคอนกรีต สัมประสิทธิการซึมผ่านน้ำของคอนกรีตสูงขึ้นมาก ทั้งนี้เนื่องจากคอนกรีตที่ผสมเส้นใยเหล็ก 0.5% โดยปริมาตรของคอนกรีตนั้น เส้นใยเหล็กที่ผสมเพิ่มเข้าไปในคอนกรีตขัดขวางการซึมผ่านน้ำในคอนกรีต จึงทำให้น้ำซึมผ่านคอนกรีตได้ยากขึ้น สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำจึงต่ำ แต่หากใช้ปริมาณเส้นใยเหล็กมากเกินไป การยึดเกาะระหว่างเส้นใยเหล็กและคอนกรีตจะสูญเสียไป ทำให้คอนกรีตมีความพรุนสูง การซึมผ่านน้ำจึงสูงขึ้น



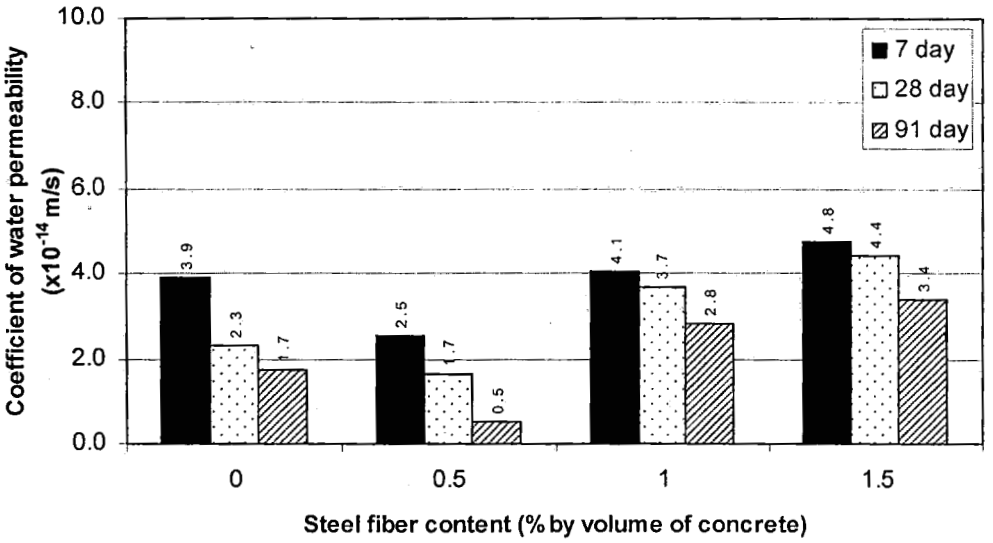
รูปที่ 4.11 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อปริมาณเส้นใยเหล็กต่างๆ ที่ w/b 0.50



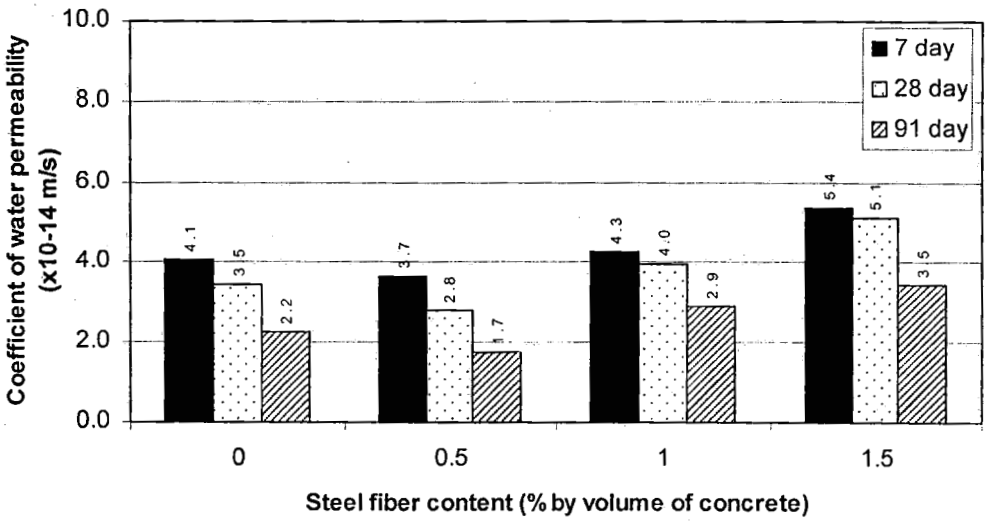
รูปที่ 4.12 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อปริมาณเส้นใยเหล็กต่างๆ ที่ w/b 0.60

4.2.3 ผลกระทบของระยะเวลาการบ่มคอนกรีต

รูปที่ 4.13 ถึง 4.14 แสดงผลกระทบของระยะเวลาการบ่มคอนกรีตต่อสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 และ 0.60 ตามลำดับ จากรูปพบว่า เมื่อระยะเวลาการบ่มคอนกรีตเพิ่มขึ้นจาก 7 วัน เป็น 28 วันและ 91 วัน สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กสูงขึ้น เนื่องจากการพัฒนาการปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์มีมากขึ้น ความพรุนของคอนกรีตมีค่าลดลง การซึมผ่านน้ำในคอนกรีตจึงน้อยลง



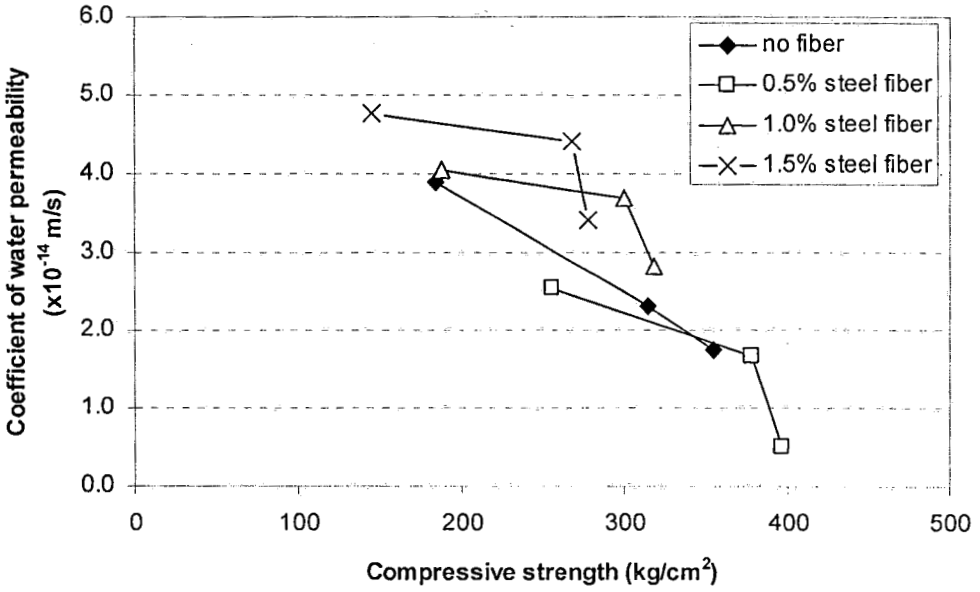
รูปที่ 4.13 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กที่ระยะเวลาการบ่มต่างๆ ที่ w/b 0.50



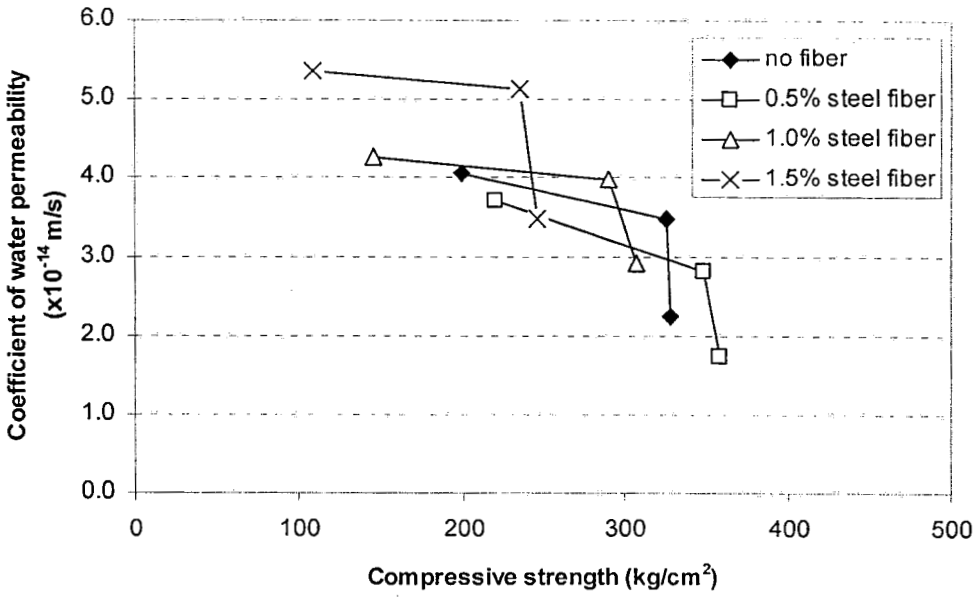
รูปที่ 4.14 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กที่ระยะเวลาการบ่มต่างๆ ที่ w/b 0.60

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและการซึมผ่านน้ำของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก

รูปที่ 4.15 และ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 และ 0.60 ตามลำดับ จากรูปพบว่า กำลังอัดและสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกัน กล่าวคือ เมื่อกำลังอัดของคอนกรีตมีค่าสูงขึ้น สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน และพบที่ทุกปริมาณการใช้เส้นใยเหล็กในส่วนผสมคอนกรีต แต่พบว่าที่ปริมาณเส้นใยเหล็ก 0.5% โดยปริมาตรของคอนกรีต จะมีสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำที่ต่ำที่สุด ซึ่งทำให้คอนกรีตมีความคงทนมากยิ่งขึ้น เนื่องจากเมื่อคอนกรีตมีความสามารถในการซึมผ่านน้ำต่ำ ดังนั้นสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีตและเหล็กเสริมก็จะแทรกซึมเข้าไปได้ยากขึ้นด้วย



รูปที่ 4.15 กำลังอัดและสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก ที่ w/b 0.50



รูปที่ 4.16 กำลังอัดและสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก ที่ w/b 0.60

บทที่ 5

สรุปผล

จากผลการศึกษากำลังรับแรงอัดและการซึมผ่านน้ำของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กประเภทแบบตะขอ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. คอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กมีกำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตซีเมนต์ล้วนเมื่อใช้ปริมาณเส้นใยเหล็ก 0.5% โดยปริมาตรของคอนกรีต แต่เมื่อใช้ปริมาณเส้นใยเหล็กในคอนกรีตสูงมากขึ้นเป็น 1.0% และ 1.5% กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตไม่ผสมเส้นใยเหล็ก
2. คอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กมีสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำต่ำกว่าคอนกรีตซีเมนต์ล้วนเมื่อใช้ปริมาณเส้นใยเหล็ก 0.5% โดยปริมาตรของคอนกรีต แต่เมื่อใช้ปริมาณเส้นใยเหล็กในคอนกรีตสูงมากขึ้นเป็น 1.0% และ 1.5% สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตมีค่าสูงกว่าคอนกรีตไม่ผสมเส้นใยเหล็ก
3. การใช้ปริมาณเส้นใยเหล็ก 0.5% โดยปริมาตรของคอนกรีต ส่งผลให้คอนกรีตมีค่ากำลังอัดสูงที่สุดและสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำต่ำที่สุด เนื่องจากเส้นใยเหล็กช่วยเพิ่มความสามารถการรับแรงอัดของคอนกรีตและช่วยขัดขวางการซึมผ่านน้ำในคอนกรีต แต่หากใช้ปริมาณเส้นใยเหล็กสูงมากกว่า 0.5% โดยปริมาตรของคอนกรีต กลับทำให้กำลังอัดต่ำลงและการซึมผ่านน้ำสูงขึ้น ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากปริมาณเส้นใยเหล็กที่มากเกินไป ทำให้เกิดมีโพรงช่องว่างระหว่างเส้นใยและเนื้อคอนกรีต ส่งผลให้คอนกรีตมีความพรุนและการซึมผ่านน้ำสูงขึ้น และทำให้กำลังอัดคอนกรีตต่ำลง
4. คอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำและมีระยะเวลาการบ่มนาน ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้นและสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตต่ำลง
5. กำลังอัดและสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกัน กล่าวคือ เมื่อกำลังอัดคอนกรีตเพิ่มสูงขึ้น สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตมีค่าลดลง ซึ่งทำให้คอนกรีตมีความคงทนมากยิ่งขึ้น เนื่องจากเมื่อคอนกรีตมีความสามารถในการซึมผ่านน้ำต่ำ ดังนั้นสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีตและเหล็กเสริมก็จะแทรกซึมเข้าไปได้ยากขึ้นด้วย

บรรณานุกรม

กิตติศักดิ์ นนทเขตขยัน และภาณุมาศ ดวงสิทธิโชค (2548) คุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตและมอร์ต้าร์ที่ผสมไฟเบอร์ โครงงานวิศวกรรมโยธา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

คู่มือเครื่องทดสอบการซึมผ่านของคอนกรีต (Concrete permeability test for 8 cells) BS121 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ปณิตา ไชยอินทร์ (2549) การโก่งตัวระยะสั้นและระยะยาวของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ผสมเส้นใยเหล็กและใช้มวลรวมหยาบจากคอนกรีตที่ถูกทำลาย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปิติ สุคนธสุขกุล และสุรชัย สุธิธรรมา (2549) ดรรชนีความเหนียวคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กและพลาสติกสังเคราะห์โดยการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM และ JSCE การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ 2 โรงแรมเจริญศรี แกรนด์ รอยัล อุดรธานี

วทัญญู ชุติคามี (2548) ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตที่เสริมใยเหล็กแบบตะขอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สราวุฒิ อินทรบ และกิติศักดิ์ ใจตรง (2549) การศึกษาพฤติกรรมของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียวที่ผสมเส้นใยเหล็ก โครงงานวิศวกรรมโยธา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

อภินันท์ ภูชัน และสุรสิทธิ์ หมั่นวิชา (2548) พฤติกรรมและการคำนวณกำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ผสมไฟเบอร์ โครงงานวิศวกรรมโยธา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา