



รายงานวิจัย

การปรับปรุงสมบัติการยึดติดกับปูนซีเมนต์
ของผ้าพอลิเอสเตอร์เพื่อใช้ในวิศวกรรมโยธา
**Modification of Adhesion Property with Concrete
of Polyester Fabrics for Use in Civil Engineering**

นางสาวบุญศรี คู่สุพรรณ

นายมนูญ จิตต์ไฉ่น้ำ

โครงการวิจัยทุนสนับสนุน

RMUTK - CARIT

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบท



3 2000 00100632 1 553

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

๑๒๕

รายงานวิจัย

การปรับปรุงสมบัติการยึดติดกับปูนซีเมนต์
ของผ้าพอลิเอสเตอร์เพื่อใช้ในวิศวกรรมโยธา

**Modification of Adhesion Property with Concrete
of Polyester Fabrics for Use in Civil Engineering**

คณะผู้วิจัย

สังกัด

นางสาวบุญศรี คู่สุขธรรม

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

นายมนูญ จิตต์ใจนำ

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณแผ่นดิน ปี พ.ศ.2553

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย
งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2553



สารบัญเรื่อง

หน้า

กิตติกรรมประกาศ

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)

สารบัญเรื่อง

สารบัญตาราง

สารบัญภาพประกอบ

บทที่ 1 บทนำ

1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4

2.1 เส้นใยพอลิเอสเตอร์

4

2.1.1 กระบวนการผลิตเส้นใยพอลิเอสเตอร์

4

2.1.2 สมบัติและการใช้งานของเส้นใยพอลิเอสเตอร์

7

2.2 การปรับปรุงพอลิเอสเตอร์โดยการกราฟท์

9

2.2.1 องค์ประกอบที่สำคัญต่อการเกิดกราฟท์

9

2.2.2 โครงสร้างของการกราฟท์พอลิเอสเตอร์

10

2.2.3 วิธีการกราฟท์พอลิเอสเตอร์

11

2.3 คอนกรีต

15

2.3.1 การผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

15

2.3.2 ปฏิกริยาเคมีในการผสม

15

2.3.3 อันตรกิริยา (interaction) ระหว่างแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์และหมู่ฟังก์ชัน

17

ชนิดต่าง ๆ

2.4 วัสดุสิ่งทอกับการเสริมแรงคอนกรีต

18

2.4.1 ประเภทของวัสดุสิ่งทอกับการเสริมแรงคอนกรีต

18

2.4.2 การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเสริมแรงคอนกรีตด้วยวัสดุสิ่งทอ

19

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

25

3.1 สารเคมี

25

	หน้า
3.2 การศึกษาการปรับปรุงผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วย 2-ไฮดรอกซีเมทิลเมทาคริเลต	25
3.3 การศึกษาการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วยสารละลายโซเดียม-ไฮดรอกไซด์	26
3.4 การตรวจสอบการยึดติดกับปูนซีเมนต์ของผ้าพอลิเอสเตอร์	27
3.5 การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของผ้าพอลิเอสเตอร์	27
3.5.1 การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	27
3.5.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผ้าพอลิเอสเตอร์เมื่อได้รับความร้อน	27
3.5.3 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	28
3.5.4 การตรวจสอบความสามารถในการเปียกน้ำ	28
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	29
4.1 การปรับปรุงผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต	29
4.2 การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	29
4.3 การตรวจสอบพื้นผิวของผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	31
4.4 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผ้าพอลิเอสเตอร์เมื่อได้รับความร้อน	32
4.5 การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของผ้าพอลิเอสเตอร์	34
4.6 การตรวจสอบความสามารถในการเปียกน้ำ	37
4.7 การตรวจสอบการยึดติดกับปูนซีเมนต์ของผ้าพอลิเอสเตอร์	38
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	43
เอกสารอ้างอิง	44
ภาคผนวก ก	47
ภาคผนวก ข	49
ภาคผนวก ค	51
ภาคผนวก ง	53
ประวัติผู้วิจัย	55

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการกราฟท์ด้วยกรดอะคริลิก	14
2.2	ความแข็งแรงของพันธะของผ้าชนิดต่าง ๆ เมื่อฝังอยู่ในปูนซีเมนต์	20
2.3	ค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่นของเส้นด้ายใยชนิดต่าง ๆ และ ความแข็งแรงของพันธะระหว่างผ้ากับเมทริกซ์ของปูนซีเมนต์	24
3.1	สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	25
4.1	ปริมาณธาตุชนิดต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบบนพื้นผิวของ ผ้าพอลิเอสเตอร์	42



สารบัญภาพประกอบ

ภาพประกอบที่		หน้า
2.1	การสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์แบบปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยตรง	5
2.2	การสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์แบบปฏิกิริยาการสับเปลี่ยนเอสเทอร์	6
2.3	ลักษณะของพอลิเมอร์ร่วมแบบกราฟท์	9
2.4	การกราฟพอลิเอสเทอร์ด้วยไวน์ลมอนอเมอร์	10
2.5	อิทธิพลของอุณหภูมิที่แช่ผ้าพอลิเอสเทอร์ลงในไคเมทิลฟอร์มาไมด์ต่อการกราฟท์กรดอะคริลิกบนผ้าพอลิเอสเทอร์	11
2.6	การเปลี่ยนแปลงของผ้าพอลิเอสเทอร์ภายหลังจากแช่ในไคเมทิลฟอร์มาไมด์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	12
2.7	การกราฟท์กรดอะคริลิกบนผ้าพอลิเอสเทอร์	13
2.8	อิทธิพลของความเข้มข้นของกรดอะคริลิกต่อปริมาณกราฟท์บนผ้าพอลิเอสเทอร์	13
2.9	ปฏิกิริยาการผสมน้ำกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	16
2.10	แบบจำลองของการเกิดอันตรกิริยาระหว่างผิวของกราฟไฟต์ที่มีหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอกซิเลตไอออนกับแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต	17
2.11	ลักษณะชั้นงานที่ได้จากการเตรียมโดยการฝังผ้าลงในปูนซีเมนต์	20
2.12	การทดสอบการดึงด้วยเครื่องวัดความต้านทานแรงดึงของผ้าที่ฝังลงในปูนซีเมนต์	21
2.13	การยึดติดระหว่างผ้าพอลิโพรพิลีนกับปูนซีเมนต์	21
2.14	การโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบระหว่างผ้าชนิดต่าง ๆ กับเมทริกซ์ของปูนซีเมนต์	22
2.15	แรงเค้น (stress)– ความเครียด (strain) ของวัสดุเชิงประกอบที่แทรกด้วยผ้าชนิดต่าง ๆ	23
4.1	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต	29

ภาพประกอบที่		หน้า
4.2	อินฟราเรดสเปกตรัมต่าง ๆ	30
4.3	ลักษณะพื้นผิวของผ้าพอลิเอสเตอร์	31
4.4	ลักษณะพื้นผิวของผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (กำลังขยาย 500x)	32
4.5	เทอร์โมแกรมเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของ ผ้าพอลิเอสเตอร์	33
4.6	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผ้าพอลิเอสเตอร์และ ผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยสารละลายโซเดียม-ไฮดรอกไซด์	34
4.7	การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของผ้าพอลิเอสเตอร์	34
4.8	ลักษณะพื้นผิวของผ้าพอลิเอสเตอร์หลังจากทำปฏิกิริยากับ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (กำลังขยาย 1,000x)	35
4.9	ลักษณะพื้นผิวของผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 (น้ำหนัก/ปริมาตร) และทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียม-ไฮดรอกไซด์ (กำลังขยาย 1,000x)	36
4.10	ลักษณะพื้นผิวของผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30 (น้ำหนัก/ปริมาตร) และทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียม-ไฮดรอกไซด์ (กำลังขยาย 1,000x)	36
4.11	เวลาที่ผ้าพอลิเอสเตอร์ถูกทำให้เปื่อยโดยสมบูรณ์ของ ผ้าพอลิเอสเตอร์ และผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ	37
4.12	การยึดติดกับปูนซีเมนต์ของผ้าพอลิเอสเตอร์และ ผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่าน การปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิล-เมทาคริเลตที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ	38
4.13	ผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการยึดติดกับปูนซีเมนต์	39
4.14	ผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิล-เมทาคริเลต ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 (น้ำหนัก/ปริมาตร) และ ผ่านการยึดติดกับปูนซีเมนต์ (กำลังขยาย 500x)	40

ภาพประกอบที่		หน้า
4.15	ผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิล-เมทาคริเลต ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 20 (น้ำหนัก/ปริมาตร) และผ่านการย้อมติดกับปูนซีเมนต์	40
4.16	ผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิล-เมทาคริเลต ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30 (น้ำหนัก/ปริมาตร) และผ่านการย้อมติดกับปูนซีเมนต์ (กำลังขยาย 500x)	41



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการปรับปรุงผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต วัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อปรับปรุงสมบัติการยึดติดกับปูนซีเมนต์ของผ้าพอลิเอสเตอร์ ผ้าพอลิเอสเตอร์ถูกปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5-30 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ปฏิบัติการเกิดพอลิเมอร์ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ถูกทำให้เกิดขึ้นที่ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้โพแทสเซียมเพอร์ซัลเฟตเป็นสารเริ่มปฏิกิริยา และเอ็น, เอ็น, เอ็น', เอ็น'-เตตระเมทิลเอทิลีนไดเอมีนเป็นสารเร่ง ตามลำดับ

ผลจากการศึกษาพบว่า การปรับปรุงผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต บนผ้าพอลิเอสเตอร์ ทำให้ผ้าพอลิเอสเตอร์มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น และพื้นผิวของผ้าพอลิเอสเตอร์ปรากฏ ลักษณะขรุขระ ในทางตรงกันข้ามผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ถูกปรับปรุงมีความเสถียรต่อความร้อนลดลง แต่อย่างไรก็ตามสารที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวช่วยป้องกันการเกิดไฮโดรลิซิสของผ้าพอลิเอสเตอร์ รวมทั้งช่วยปรับปรุงสมบัติการเปียกน้ำ และการยึดติดกับปูนซีเมนต์ของผ้าพอลิเอสเตอร์



ABSTRACT

This research studied of modification of polyester fabrics with 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA). The objective was to improve adhesion property of polyester fabric with concrete.

The polyester fabric was modified with 2-hydroxyethyl methacrylate at concentration of 5-30 %(w/v). The polymerisation of HEMA was occurred at room temperature for 2 h by using potassium persulfate as initiator and *N,N,N,N*-tetramethylethylenediamine (TMEDA) as accelerator, respectively. The result showed that modification of polyester fabric with HEMA increased its weight and appeared rough surface. In contrast, the heat stability of modified polyester decreased. However, the surface modifying agent prevented the hydrolysis of polyester fabric. Also, it improved wetting property and adhesion with concrete of polyester fabric.



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

คอนกรีตเป็นวัสดุวิศวกรรมที่ใช้มากในงานวิศวกรรมโยธา เนื่องจากมีราคาถูก แข็งแรง และทนทาน คอนกรีตมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ ปูนซีเมนต์ วัสดุผสม เช่น ทราย กรวด และน้ำ คอนกรีตสามารถรับแรงอัดได้สูงมาก แต่รับแรงดึงได้น้อย จึงมีการนำวัสดุอื่น ๆ เช่น เหล็กเส้น เสริมแรง หรือตะแกรงเหล็กมาใช้ร่วมกับคอนกรีต เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงดึงให้กับ คอนกรีต (อนนท์ ป้อมประสิทธิ์, 2545: 1-3)

โลหะนิยมนำเสริมแรงคอนกรีต แต่โลหะมีปัญหาในด้านการใช้งาน คือ สภาวะที่มีเกลือ หรือในสภาพแวดล้อมของน้ำทะเล จะทำให้โลหะเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากเกิดการกัดกร่อน จากสภาวะดังกล่าว การใช้เส้นใยชนิดต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงคอนกรีตจึงได้รับความสนใจในการนำมาใช้งานด้านวิศวกรรมโยธา เนื่องจากเส้นใยไม่เกิดการกัดกร่อนจากสภาวะธรรมชาติ มีความแข็งแรงสูง และมีน้ำหนักเบา

วัสดุสิ่งทอที่ใช้งานด้านวิศวกรรมโยธามีทั้งเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ เส้นใยธรรมชาติที่นำมาใช้งาน ได้แก่ แฟล็กซ์ ป่านศรนารายณ์ ส่วนเส้นใยสังเคราะห์ที่นิยมใช้ ได้แก่ พอลิโพรพิลีน พอลิเอสเตอร์ พอลิเอทิลีน พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิเอไมด์ และอะรามิด โดยพอลิโพรพิลีนมีการใช้มากที่สุด รองลงมาคือ พอลิเอสเตอร์ (Harrocks and Anand, 2000: 358-374) วัสดุสิ่งทอที่นำมาใช้งานด้านวิศวกรรมโยธาอาจใช้ร่วมกับ ดิน หิน น้ำ หรือคอนกรีต รูปแบบของวัสดุสิ่งทอที่นำมาใช้งาน ได้แก่ ผ้าไม่ทอ (nonwoven) ผ้าทอ (woven) ผ้าถัก (warp knitted) c) และตะแกรง (grid)

เส้นใยพอลิเอสเตอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (poly(ethylene terephthalate)) เป็นเส้นใยที่ผลิตได้ภายในประเทศ การผลิตพอลิเอสเตอร์มีทั้งเส้นใยสั้น เส้นใยยาว และเส้นด้าย ซึ่งมีการใช้ทั้งภายในประเทศและเพื่อการส่งออก ในปี พ. ศ. 2553 สินค้าส่งออกจากอุตสาหกรรมสิ่งทอมีทั้งเส้นด้ายและผ้าผืน (กระทรวงพาณิชย์, 2553) เส้นใยชนิดนี้มีปริมาณการใช้งานสูงในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เนื่องจากมีสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีดี และราคาถูก (Ou, Ho and Lin, 2004: 140) เส้นใยที่ได้จากพอลิเมอร์สังเคราะห์ นิยมใช้ในการเสริมแรงคอนกรีต เนื่องจากมีความหนาแน่นต่ำ มีความต้านแรงดึง (tensile strength) สูง และมีความคงทนต่อสารเคมี

เส้นใยพอลิเอสเตอร์เป็นวัสดุอินทรีย์ (organic material) ส่วนปูนซีเมนต์ที่เป็นองค์ประกอบในคอนกรีตเป็นวัสดุอนินทรีย์ (inorganic substrate) การเกิดพันธะซึ่งกันและกันระหว่างวัสดุทั้งสองชนิดนี้ไม่แข็งแรงเพียงพอ โดยประสิทธิภาพของเส้นใยสังเคราะห์ที่มีต่อการเสริมแรงคอนกรีตขึ้นอยู่กับการศึกษาการเกิดพันธะระหว่างเส้นใยและคอนกรีต หรือการยึดติด

(adhesion) กับแคลเซียมซิติเกิดไฮดรตระหว่างเส้นใยกับคอนกรีต (Zhang, Gopalaratnam and Yasuda. 2000: 1986) นอกจากนี้การเสริมแรงที่ีจะต้องมีการถ่ายเทแรงที่กระทำจากเมทริกซ์ (matrix) ไปยังวัสดุเสริมแรง

งานวิจัยนี้จึงจะทำการศึกษเพื่อปรับปรุงผ้าพอลิเอสเตอร์ให้มีสมบัติในการยึดติดกับปูนซีเมนต์ เพื่อนำผ้าพอลิเอสเตอร์มาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงคอนกรีตในงานวิศวกรรมโยธา ผ้าพอลิเอสเตอร์ถูกปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเมทิลเมทาคริเลต โดยศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของ 2-ไฮดรอกซีเมทิลเมทาคริเลต ต่อการยึดติดกับปูนซีเมนต์ของผ้าพอลิเอสเตอร์ นอกจากนี้ จะศึกษาการเสื่อมสภาพของผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และตรวจสอบสมบัติของผ้าพอลิเอสเตอร์ในด้านต่าง ๆ ซึ่งโครงการวิจัยนี้มีความเป็นไปได้สูงในการปรับปรุงสมบัติในการยึดติดกับปูนซีเมนต์ของผ้าพอลิเอสเตอร์

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อปรับปรุงสมบัติการยึดติดกับปูนซีเมนต์ผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วย 2-ไฮดรอกซีเมทิลเมทาคริเลต เพื่อใช้ในวิศวกรรมโยธา

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้ศึกษาการปรับปรุงผ้าพอลิเอสเตอร์ เพื่อให้มีสมบัติในการยึดติดกับปูนซีเมนต์ โดยมีขอบเขตของการวิจัย ดังนี้

1. ศึกษาการปรับปรุงผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วยพอลิเมอร์ คือ พอลิ 2-ไฮดรอกซีเมทิลเมทาคริเลต
2. ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของผ้าพอลิเอสเตอร์และผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยพอลิเมอร์ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
3. ศึกษาการเปื่อยน้ำของผ้าพอลิเอสเตอร์ และผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเมทิลเมทาคริเลต
4. ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของพอลิ 2-ไฮดรอกซีเมทิลเมทาคริเลต ต่อการยึดติดกับปูนซีเมนต์ของผ้าพอลิเอสเตอร์
5. ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของผ้าพอลิเอสเตอร์ โดยตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผ้าพอลิเอสเตอร์ การตรวจสอบด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี การตรวจสอบด้วยการวิเคราะห์ทางความร้อน (thermal analysis) และการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผลจากการวิจัยเป็นแนวทางในการปรับปรุงสมบัติการยึดติดกับปูนซีเมนต์ของผ้า-พอลิเอสเตอร์
2. ผลจากการวิจัยเป็นแนวทางในการนำวัสดุสิ่งทอไปใช้งานด้านวิศวกรรมโยธา



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เส้นใยพอลิเอสเตอร์

เส้นใยพอลิเอสเตอร์เป็นเส้นใยสังเคราะห์ที่ได้จากพอลิเมอร์ของพอลิเอสเตอร์ เส้นใยพอลิเอสเตอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตเป็นเส้นใยที่มีปริมาณการใช้งานสูงที่สุดในกลุ่มของเส้นใยสังเคราะห์ทั้งหมด เนื่องจากมีราคาถูกและวัตถุดิบหาได้ง่าย พอลิเอสเตอร์มีการผลิตเป็นเส้นใยซึ่งมีปริมาณการใช้งานประมาณร้อยละ 70 ของการใช้งานทั้งหมด

2.1.1 กระบวนการผลิตเส้นใยพอลิเอสเตอร์

2.1.1.1 สารตั้งต้นในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่ใช้ในการผลิตเส้นใย

พอลิเอสเตอร์

สารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต คือ กรดเทเรฟทาลิก หรือ ไดมethylเทเรฟทาเลต ทำปฏิกิริยากับเอทิลีนไกลคอล วัตถุดิบและสมบัติของสารตั้งต้นในการสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์มี ดังนี้

1. กรดเทเรฟทาลิก สังเคราะห์โดยการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันพารา-ไซลีน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์เป็นของแข็ง มีจุดหลอมเหลว 300°C
2. ไดมethylเทเรฟทาเลต สังเคราะห์ได้จากการทำปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันกรดเทเรฟทาลิก ไดมethylเทเรฟทาเลตเป็นของแข็งสีขาว มีจุดหลอมเหลว 140°C
3. เอทิลีนไกลคอล สังเคราะห์ได้จากเอทิลีน เอทิลีนไกลคอลมีสถานะของเหลว ไม่มีสี มีจุดเดือด 197°C

2.1.1.2 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่ใช้ในการผลิตเส้นใยพอลิเอสเตอร์

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์เป็นปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบควบแน่น การสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์มี 2 วิธี ดังนี้

1. ปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันโดยตรง (direct esterification)

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์จากปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันโดยตรงเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดเทเรฟทาลิกกับเอทิลีนไกลคอล ปฏิกิริยาเกิดขึ้น ดังนี้

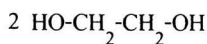
(Kroschwitz. 1990: 684; Salomone. 1996: 6080)

ปฏิกิริยาขั้นที่ 1

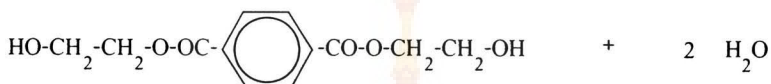
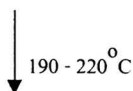


กรดเทเรพทาติก

+

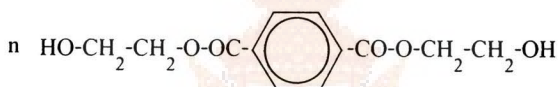


เอทิลีนไกลคอล

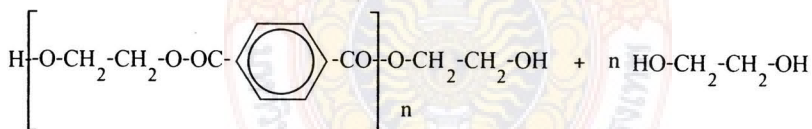
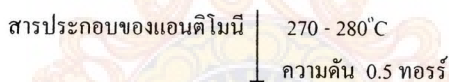


บิส-บีตา-ไฮดรอกซีเอทิลเทเรพทาเลต (bis-β-hydroxyethylterephthalate)

ปฏิกิริยาขั้นที่ 2



บิส-บีตา-ไฮดรอกซีเอทิลเทเรพทาเลต



พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต

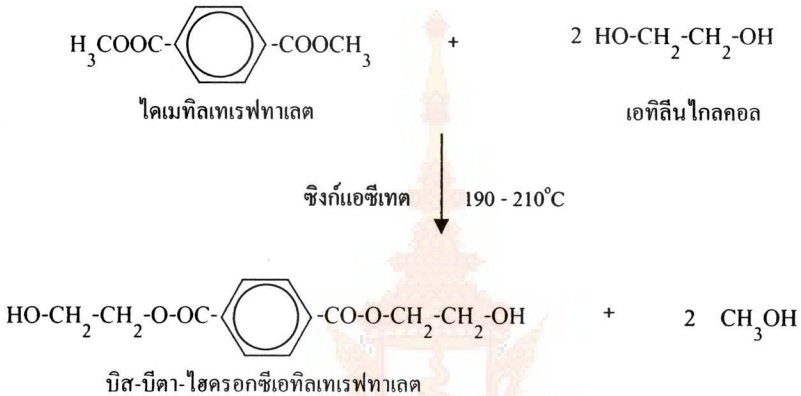
ภาพประกอบที่ 2.1 การสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์แบบปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน โดยตรง

2. ปฏิกิริยาการสับเปลี่ยนเอสเทอร์ (ester interchange)

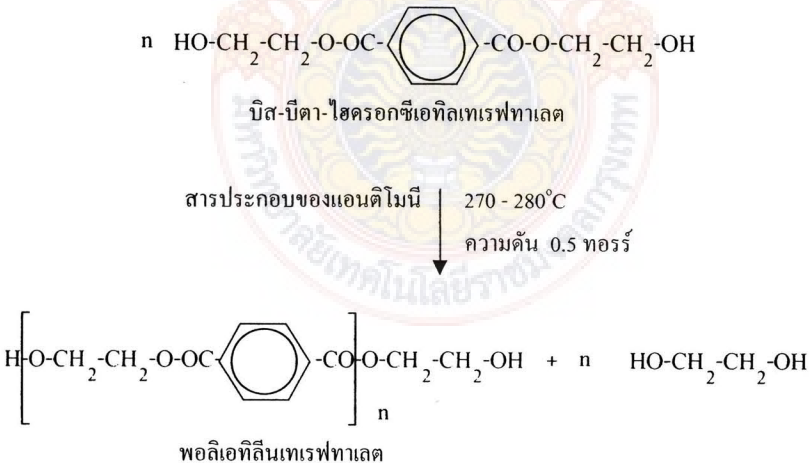
ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์จากปฏิกิริยาการสับเปลี่ยนเอสเทอร์เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างไดเมทิลเทเรฟทาเลตกับเอทิลีนไกลคอล ปฏิกิริยาเกิดขึ้น ดังนี้

(Kroschwitz. 1990: 684; Salomone. 1996: 6081)

ปฏิกิริยาขั้นที่ 1



ปฏิกิริยาขั้นที่ 2



ภาพประกอบที่ 2.2 การสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์แบบปฏิกิริยาการสับเปลี่ยนเอสเทอร์

2.1.1.3 การผลิตเส้นใยพอลิเอสเตอร์

1. วิธีการปั่นเส้นใย การผลิตเส้นใยพอลิเอสเตอร์ใช้วิธีการปั่นจากพอลิเมอร์เหลว เนื่องจากพอลิเอทิลีนเทรฟทาเลตมีความคงทนต่อความร้อนที่อุณหภูมิสูง เส้นใยที่ใช้งานทางด้านสิ่งทออาจผลิตในรูปแบบต่าง ๆ คือ เส้นใยสั้น เส้นใยยาว และเส้นด้ายเทกซ์เจอร์

โดยทั่วไปการผลิตเส้นใยพอลิเอสเตอร์มี 3 วิธี คือ

1) กระบวนการแบบชุด (batch process) กระบวนการผลิตเส้นใยพอลิเอสเตอร์แบบนี้ การสังเคราะห์พอลิเมอร์และการปั่นเส้นใยจะแยกขั้นตอนออกจากกัน พอลิเมอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาการสังเคราะห์จะผลิตในรูปของเม็ดพอลิเมอร์ เม็ดพอลิเมอร์ที่ผลิตได้ในแต่ละชุด อาจมีคุณภาพแตกต่างกัน เมื่อต้องการนำมาผลิตเป็นเส้นใย เม็ดพอลิเมอร์จะถูกทำให้แห้ง เพื่อป้องกันการเกิดไฮโดรลิซิส จากนั้นจะนำมาหลอมเหลวและเข้าสู่ขั้นตอนการปั่นให้เป็นเส้นใย

2) กระบวนการแบบกึ่งต่อเนื่อง (semicontinuous process) กระบวนการนี้การผลิตพอลิเมอร์จะเป็นแบบต่อเนื่อง พอลิเมอร์ที่ได้จึงมีคุณภาพเหมือนกัน จากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นตอนการผลิตให้เป็นเส้นใย

3) กระบวนการแบบต่อเนื่อง (continuous process) ในกระบวนการนี้พอลิเมอร์เหลวที่ได้จากปฏิกิริยาจะผ่านเข้าสู่หัวรีดเพื่อผลิตเป็นเส้นใยทันที ดังนั้น จึงลดขั้นตอนการผลิตพอลิเมอร์ให้อยู่ในรูปของเม็ดพอลิเมอร์ การทำให้แห้ง และการหลอมเหลวพอลิเมอร์ซ้ำใหม่ อีกครั้งก่อนผลิตเป็นเส้นใย

2. การผลิตเส้นด้ายใยยาว การผลิตเส้นใยพอลิเอสเตอร์เพื่อนำมาผลิตเป็นเส้นด้ายโดยใช้อัตราเร็วในการปั่นต่าง ๆ กัน จะทำให้ได้เส้นด้ายที่มีลักษณะแตกต่างกัน คือ เส้นด้ายที่มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลต่ำ (low oriented yarn, LOY) เส้นด้ายที่มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลปานกลาง (medium oriented yarn, MOY) เส้นด้ายที่มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลบางส่วน (partially oriented yarn, POY) เส้นด้ายที่มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลสูง (highly oriented yarn, HOY) และเส้นด้ายที่มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลสูงมาก (fully oriented yarn, FOY)

2.1.2 สมบัติและการใช้งานของเส้นใยพอลิเอสเตอร์

1. สมบัติทางกายภาพ

ความเหนียว เส้นใยพอลิเอสเตอร์มีความเหนียวสูง เนื่องจากเส้นใยมีความเป็นผลึกสูง ความเป็นผลึกของพอลิเอสเตอร์เกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์ และพันธะไฮโดรเจนระหว่างโซ่พอลิเมอร์ ความเหนียวของเส้นใยเมื่อเปียกไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากเส้นใยมีสมบัติไม่ชอบน้ำ และมีความเป็นผลึกสูง โมเลกุลของน้ำจึงเข้าไปในเส้นใยได้ยาก

ความยืดหยุ่น เส้นใยพอลิเอสเตอร์มีความเป็นผลึกสูง จึงมีผิวสัมผัสที่แข็งกระด้าง การขัดล้างซ้ำหลาย ๆ ครั้งอาจทำให้เส้นใยเกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากแรงยืดเหนียวในเส้นใยเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์และพันธะไฮโดรเจนที่มีความแรงของพันธะน้อย

การดูดความชื้น เส้นใยพอลิเอสเตอร์ดูดความชื้นได้ต่ำมากเพียงร้อยละ 0.4 ที่สภาวะมาตรฐาน ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95-100 เส้นใยจะดูดความชื้นได้ร้อยละ 0.6-0.8 เส้นใยพอลิเอสเตอร์มีสมบัติไม่ชอบน้ำ เนื่องจากพอลิเมอร์ของพอลิเอสเตอร์มีความมีขั้วต่ำ และมีความเป็นผลึกสูง เส้นใยมีปัญหาการเกิดไฟฟ้าสถิตและติดสิ่งสกปรกได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งถึงสกปรกประเภทน้ำมัน

ความถ่วงจำเพาะ โดยทั่วไปเส้นใยพอลิเอสเตอร์มีความถ่วงจำเพาะ 1.38 ซึ่งใกล้เคียงกับเส้นใยขนสัตว์และเส้นใยแอชีเทค

ความร้อน เส้นใยพอลิเอสเตอร์มีความทนต่อความร้อนต่ำ

2. สมบัติทางเคมี

กรด เส้นใยพอลิเอสเตอร์มีความต้านทานต่อการเกิดไฮโดรลิซิสด้วยกรด นอกจากนี้เส้นใยมีความเป็นผลึกสูง จึงมีความทนต่อกรดได้ดี

ด่าง เส้นใยพอลิเอสเตอร์ทนต่อด่างอ่อนทั้งที่อุณหภูมิสูงและที่อุณหภูมิห้อง ทนด่างแก่ได้ปานกลางที่อุณหภูมิห้อง และจะสลายตัวที่อุณหภูมิสูง ด่างสามารถไฮโดรไลส์พอลิเอสเตอร์ได้เนื่องจากเส้นใยมีความเป็นผลึกสูง จึงทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสเกิดเฉพาะที่ผิวของเส้นใย

สารฟอก เส้นใยพอลิเอสเตอร์ไม่นิยมฟอกขาว แต่ถ้ามมีการใช้สารฟอกนิยมใช้โซเดียมคลอไรท์

ตัวทำละลายอินทรีย์ โดยปกติเส้นใยพอลิเอสเตอร์จะทนต่อตัวทำละลายอินทรีย์และสารเคมีที่ใช้ในการซัก สารเหล่านี้จะไม่ทำให้เส้นใยเสียหาย แต่เมทา-ครีซอลที่ร้อนจะทำลายเส้นใย สารละลายผสมของฟีนอลและไครคลอโรฟีนอล หรือเตตระคลอโรอีเทนสามารถละลายพอลิเอสเตอร์ได้ สารฟอกและสารออกซิไดส์จะไม่ทำลายเส้นใยพอลิเอสเตอร์

3. สมบัติทางชีวภาพ

เส้นใยพอลิเอสเตอร์จะทนต่อแมลงและเชื้อราได้ดี แต่เชื้อราอาจมีผลต่อสารตกแต่งบนเส้นใย

4. การใช้งาน

พอลิเอสเตอร์มีการนำมาใช้เป็นเสื้อผ้า เครื่องแต่งกาย เนื่องจากเส้นใยมีความแข็งแรง มีความทนต่อการขัดถู แต่ข้อเสียของเส้นใยพอลิเอสเตอร์ คือ ดูดความชื้นได้น้อย จึงทำให้ไม่สะดวกสบายในการสวมใส่ นอกจากนี้ ผ้าพอลิเอสเตอร์อาจนำมาใช้เป็นผ้าตกแต่งภายในบ้านและผ้าม่าน เนื่องจากมีความทนต่อการขีด ผ้าไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลือง หรือซีดจางเมื่อถูกแสง และซักแห้งได้ง่าย

2.2 การปรับปรุงพอลิเอสเทอร์โดยการกราฟท์

การกราฟท์เป็นเทคนิคที่ใช้ปรับปรุงสมบัติทางฟิสิกส์และสมบัติทางเคมีของพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ จุดประสงค์ของการกราฟท์ไวนิลมอนอเมอร์ บนผ้าหรือเส้นใยพอลิเอสเทอร์ เพื่อปรับปรุงสมบัติในด้านต่าง ๆ ของพอลิเอสเทอร์ เช่น สมบัติด้านการเปียกน้ำ การติดสี การเกิดไฟฟ้าสถิตย์

2.2.1 องค์ประกอบที่สำคัญต่อการเกิดกราฟท์

องค์ประกอบที่สำคัญต่อการกราฟท์ คือ พอลิเมอร์ มอนอเมอร์ และสารเริ่มปฏิกิริยา สารเริ่มปฏิกิริยาจะทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ (โซ่หลัก) ทำให้เกิดอนุมูลเสรี (free radical) ซึ่งจะเริ่มให้เกิดปฏิกิริยาของมอนอเมอร์ ทำให้เกิดการกราฟท์บนโซ่หลักของพอลิเมอร์ พอลิเมอร์ร่วมแบบกราฟท์มีโครงสร้างทั่วไป ดังนี้



A = โซ่หลักของพอลิเมอร์

B = โซ่กิ่งของกราฟท์

ภาพประกอบที่ 2.3 ลักษณะของพอลิเมอร์ร่วมแบบกราฟท์

สารเริ่มปฏิกิริยา

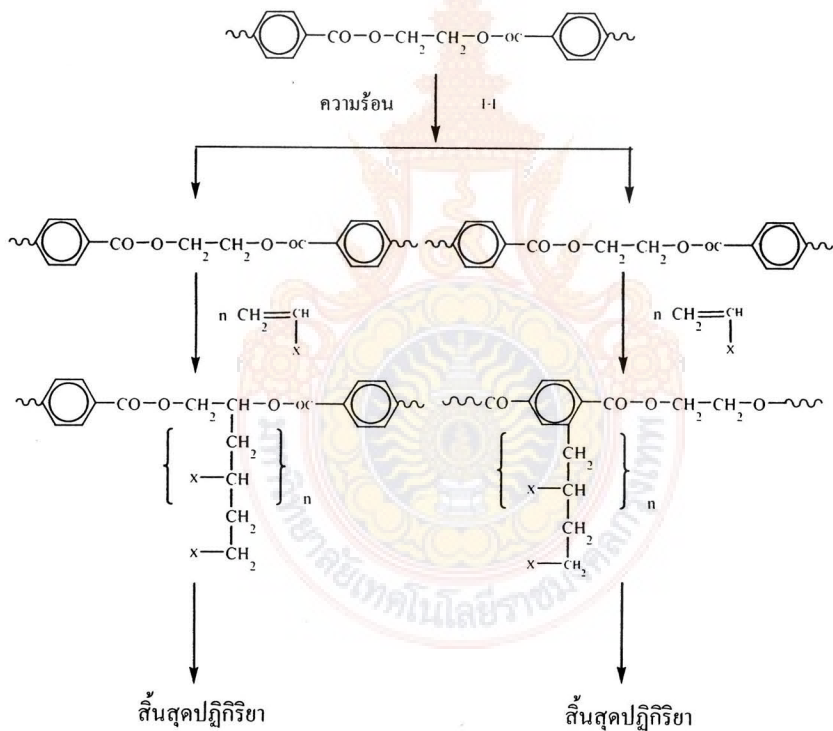
จากการศึกษาค้นคว้าพบว่า สารเริ่มปฏิกิริยาที่ใช้ในการกราฟท์ ได้แก่ เบนโซิลเพอร์ออกไซด์ ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ หรือ สารประกอบเพอร์ซัลเฟต (Hebeish, Shalaby and Bayazeed. 1981 a: 3245) ข้อดีของการใช้สารประกอบเหล่านี้ คือ สารเริ่มปฏิกิริยาเหล่านี้ แฉกตัวโดยใช้ความร้อน จึงไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือพิเศษใด ๆ ในการทำให้สารเริ่มปฏิกิริยาเกิดการแตกตัว (Kildel, Olafsen and Stori. 1992: 1893)

มอนอเมอร์

มอนอเมอร์ที่มีกราฟที่บนพอลิเอสเทอร์ ได้แก่ กรดอะคริลิก (Mirzaden, Dadsetan and Sharifi-Sanjani. 2002: 3191-3196; Chansook and Kiatkamjornwong. 2003: 1952-1958; Wang, Liu and Choi. 2008: 1594-1601) เมทิลเมทาคริเลต (Hebeish, Shalaby and Bayazeed. 1981b: 3253-3269; Sanli and Pulat. 1993: 1-6) กรดเมทาคริลิก (Sacak, Sertkaya and Talu. 1992: 1737-1742)

2.2.2 โครงสร้างของการกราฟที่พอลิเอสเทอร์

แอดเวต (Adwait, Pati and Nayak. 1982: 2134) เสนอกลไกของการกราฟที่ไวนิลมอนอเมอร์บนผ้าพอลิเอสเทอร์ ดังนี้



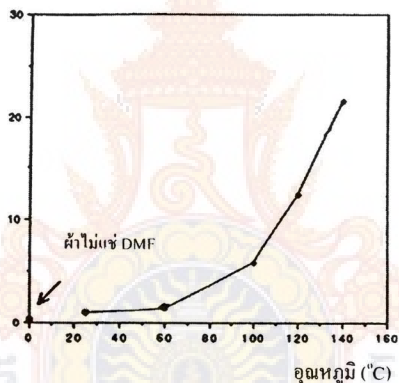
I-I = สารเริ่มปฏิกิริยา

ภาพประกอบที่ 2.4 การกราฟที่พอลิเอสเทอร์ด้วยไวนิลมอนอเมอร์

2.2.3 วิธีการกราฟที่พอลิเอสเทอร์

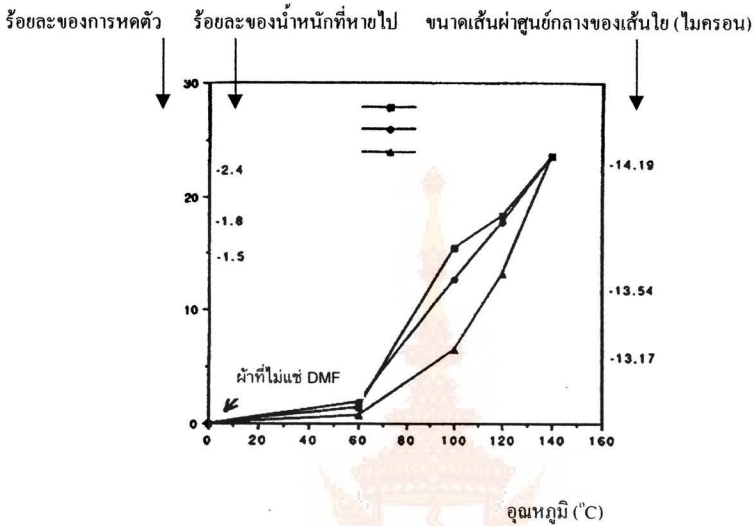
การปรับปรุงผ้าพอลิเอสเทอร์ด้วยกรดอะคริลิกมีการศึกษาโดยนำผ้าพอลิเอสเทอร์แช่ใน ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (DMF) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ เป็นเวลา 10 นาที และทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นแช่ผ้าพอลิเอสเทอร์ลงในสารละลายกรดอะคริลิก โดยมีปริมาณ ของกรดอะคริลิกบนผ้าพอลิเอสเทอร์เท่ากับร้อยละ 100 (% pick up) ฉายรังสีเมอร์คิวรีขนาด 300 วัตต์ ที่ระยะห่างจากผ้าพอลิเอสเทอร์เท่ากับ 6 เซนติเมตร โดยใช้ ไบแอซีติล (biacetyl) เป็นสารเริ่มปฏิกิริยา เมื่อครบเวลาตามที่กำหนด นำผ้าพอลิเอสเทอร์มาสกัดไฮโมพอลิเมอร์ออกไป ด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และทำให้แห้ง อิทธิพลของอุณหภูมิที่แช่ผ้าพอลิเอสเทอร์ลงใน ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ต่อการกราฟที่กรดอะคริลิกบนผ้าพอลิเอสเทอร์แสดงดังในภาพประกอบที่ 2.5

ร้อยละของปริมาณกราฟที่



ภาพประกอบที่ 2.5 อิทธิพลของอุณหภูมิที่แช่ผ้าพอลิเอสเทอร์ลงในไดเมทิลฟอร์มาไมด์ต่อการกราฟที่กรดอะคริลิกบนผ้าพอลิเอสเทอร์

ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ผ้าพอลิเอสเทอร์ในไดเมทิลฟอร์มาไมด์เพิ่มขึ้น ร้อยละของปริมาณกราฟที่เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงของผ้าพอลิเอสเทอร์ภายหลังจากแช่ใน ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ แสดงดังในภาพประกอบที่ 2.6



ภาพประกอบที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงของผ้าพอลิเอสเตอร์หลังจากแช่ในไดเมทิล-ฟอร์มาไมด์ที่อุณหภูมิต่างๆ

ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ผ้าพอลิเอสเตอร์ลงในไดเมทิล-ฟอร์มาไมด์เพิ่มขึ้น น้ำหนักของผ้าพอลิเอสเตอร์ที่หายไปเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การหดตัวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเพิ่มขึ้น และจากการศึกษาพบว่าไดเมทิลฟอร์มาไมด์ทำให้การจัดเรียงตัว (orientation) ในส่วนอสัณฐาน (amorphous) ของเส้นใยลดลง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้กรดอะคริลิกแพร่เข้าไปในเส้นใยมากขึ้น ซึ่งมีผลต่อปริมาณกราฟท์ของกรดอะคริลิกบนผ้าพอลิเอสเตอร์ (Howard and Park, 1996: 1683-1698)

การกราฟท์กรดอะคริลิกบนผ้าพอลิเอสเตอร์มีการศึกษาโดยใช้เซริกแอมโมเนียมไนเตรทเป็นสารเริ่มปฏิกิริยา วิธีการกราฟท์ทำโดยแช่ผ้าพอลิเอสเตอร์จำนวน 1 กรัม ในกรดอะคริลิกจำนวน 15 ลูกบาศก์เซนติเมตร เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นเติมกรดไนตริกความเข้มข้นร้อยละ 50 (โดยน้ำหนัก/น้ำหนัก) จำนวน 8 ลูกบาศก์เซนติเมตร และสารละลายเซริกแอมโมเนียมไนเตรทลงไปปฏิกิริยา ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 323 เคลวิน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นสกัดไฮโมพอลิเมอร์ออกไปด้วยเมทานอล การกราฟท์กรดอะคริลิกบนผ้าพอลิเอสเตอร์ ปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังนี้

ผลจากการศึกษาพบว่า ร้อยละของปริมาณกราฟที่เพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของกรดอะคริลิกเพิ่มขึ้นจาก 1.17 โมล/ลิตร ถึง 2.19 โมล/ลิตร หลังจากนั้นร้อยละของปริมาณกราฟที่ลดลง เมื่อความเข้มข้นของกรดอะคริลิกเพิ่มขึ้น มอนอเมอร์ที่เข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลเสรีของพอลิเอสเทอร์เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการเติบโตของโซ่พอลิเมอร์ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อความเข้มข้นของมอนอเมอร์เพิ่มขึ้นในปริมาณมาก การเกิดโซ่พอลิเมอร์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเกิดโซ่พอลิเมอร์ทำให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้การแพร่ของกรดอะคริลิกไปยังอนุมูลเสรีของพอลิเอสเทอร์ลดลง จึงทำให้การกราฟที่บนโซ่ของพอลิเอสเทอร์ลดลง

การเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการกราฟที่ด้วยกรดอะคริลิก แสดงดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการกราฟที่ด้วยกรดอะคริลิก

ร้อยละของปริมาณกราฟที่	ความต้านทานแรงดึงที่จุดขาด (กรัม/เดเนียร์)	ร้อยละการยืดตัวที่จุดขาด
0	2.62 ± 0.11	164.9 ± 10.6
9.7	1.97 ± 0.11	150.2 ± 18.7
19.3	1.82 ± 0.08	145.5 ± 8.2
29.4	1.66 ± 0.08	133.3 ± 12.5
40.0	1.28 ± 0.04	117.3 ± 5.6

ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อร้อยละของปริมาณกราฟที่เพิ่มขึ้น ความต้านทานแรงดึงที่จุดขาด และการยืดตัวที่จุดขาดลดลง เนื่องจากการกราฟที่ทำให้ส่วนผลึกของเส้นใยเกิดการเปลี่ยนแปลง การจัดเรียงตัวของเส้นใยลดลง จึงทำให้สมบัติเชิงกลของเส้นใยลดลง (Chansook and Kiakamjornwong, 2003: 1952-1959)

เจสโส และคณะ (Jasso et al. 2006: 274-284) ศึกษาการกราฟที่กรดมาเลอิก (maleic acid) บนเส้นใยพอลิเอสเทอร์โดยใช้พลาสมา เพื่อเพิ่มสมบัติในการยึดติดของเส้นใยพอลิเอสเทอร์กับยางสไตรีน-บิวทาไดอีน (styrene-butadiene rubber) วิธีการกราฟที่ศึกษาโดยผ่านไนโตรเจนพลาสมาไปยังเส้นใยพอลิเอสเทอร์ หลังจากนั้นจุ่มเส้นใยพอลิเอสเทอร์ลงในสารละลายกรดมาเลอิกความเข้มข้น 0.5-6 โมล/ลิตร โดยใช้มันเป็นตัวทำละลาย และทำปฏิกิริยาตามระยะเวลาที่กำหนด จากนั้นล้างเส้นใยด้วยน้ำกลั่น และทำให้แห้ง

ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อความเข้มข้นของกรมาเลอิกเพิ่มขึ้น ปริมาณกราฟที่บนเส้นไฮพอลิเอสเทอร์เพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกัน เมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ร้อยละของปริมาณกราฟที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

ภายหลังจากการกราฟท์ เส้นไฮพอลิเอสเทอร์ถูกนำมาศึกษาสมบัติการยึดติดกับยางสไตรีน-บิวทาไดอีน ผลจากการศึกษาพบว่า เส้นไฮพอลิเอสเทอร์มีสมบัติในการยึดติดกับยางดีที่สุดในเมื่อใช้กรมาเลอิกที่มีความเข้มข้น 0.5 โมล/ลิตร โดยใช้ระยะเวลาในการกราฟท์ 60 นาที ดังนั้นการใช้พลาสมาปรับปรุงพื้นผิวของเส้นไฮพอลิเอสเทอร์ ทำให้เส้นไฮพอลิเอสเทอร์มีสมบัติยึดติดกับยางเพิ่มขึ้น

2.3 คอนกรีต (อนันต์ ป้อมประสิทธิ์, 2545: 1-3)

คอนกรีต เป็นวัสดุทางวิศวกรรมที่เกิดจากของผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ วัสดุผสม (เช่น หิน หรือ กรวด) และน้ำ คอนกรีตเป็นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง มีราคาถูก และทนทาน เมื่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์รวมตัวกับน้ำ จะสามารถยึดวัสดุผสมคอนกรีตให้เป็นก้อนเดียวกันได้ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผลิตจากหินปูน และชอล์ค รวมกับซิลิกาโดยการเผาที่อุณหภูมิสูง

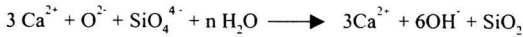
2.3.1 การผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต้องใช้แคลเซียม (หินปูน หรือชอล์ค) และซิลิกา กับอะลูมินา (เคลย์ เปลือกหอย หิน) วัตถุดิบจะถูกบดผสมเข้าด้วยกัน จากนั้นจะเผาในเตาแบบหมุน (rotary cement kiln) จนถึงอุณหภูมิ 1480°C ในขั้นตอนการเผานี้ทำให้เกิดปฏิกิริยาขึ้น 2 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยาแรก หินปูน หรือแคลเซียมคาร์บอเนตจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไลม์และคาร์บอนไดออกไซด์ จากนั้นไลม์จะรวมตัวกับซิลิกาเป็นไดแคลเซียมอะลูมินา (dicalcium aluminate) (ปริมาณร้อยละ 25) และไตรแคลเซียมซิลิกา (tricalcium silicate) (ปริมาณร้อยละ 55) และทำปฏิกิริยากับอะลูมินาเป็นไตรแคลเซียมอะลูมินา (tricalcium aluminate) (ปริมาณร้อยละ 10) เตตระแคลเซียมอะลูมินาเฟอร์ไรต์ (tetracalcium aluminoferrite) (ปริมาณร้อยละ 8) และอื่น ๆ (ปริมาณร้อยละ 2) ส่วนผสมที่ได้นี้จะถูกทำให้เย็นลงและบดเป็นผงละเอียด และนำมาผสมกับปูนยิปซัม (ใช้ควบคุมความเร็วในการแข็งตัว) ผลผลิตที่ได้ คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

2.3.2 ปฏิกิริยาเคมีในการผสม

เมื่อเติมน้ำลงในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซิลิกาจะรวมตัวกับน้ำอย่างรวดเร็วในตอนแรก จากนั้นปฏิกิริยาจะค่อย ๆ ช้าลง และดำเนินต่อไปถ้ายังมีความชื้นอยู่ แคลเซียมซิลิกาเป็นสารประกอบหลักที่ทำให้เกิดความแข็งแรงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Ca_3SiO_5) ประกอบด้วย แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ออกไซด์ไอออน (O^{2-}) และซิลิเกตไอออน (SiO_4^{4-}) การผสมน้ำลงในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จะทำให้เกิดสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ปฏิกิริยาเกิดขึ้น ดังนี้ (McCurdy and Erro, 1971: 833)



ภาพประกอบที่ 2.9 ปฏิกิริยาการผสมน้ำกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

เตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ เป็นสารที่ทำให้ปูนซีเมนต์มีสีเทา ถ้ากำจัดสารตัวนี้ออกไปจะได้ปูนซีเมนต์สีขาว โดยไม่ทำให้ความแข็งแรงของปูนซีเมนต์ลดลง นอกจากนี้ยังมีการเติมสารผสมเพิ่ม หรือวัสดุอื่น ๆ ลงไป เช่น สารกระจายกักฟองอากาศ (air entraining chemical) เพื่อให้สามารถทำงานได้สะดวกและป้องกันอันตรายเนื่องจากการแข็งตัว ลาเทกซ์ช่วยเพิ่มความแข็งแรง เส้นใย ช่วยควบคุมการแตกของปูนซีเมนต์เนื่องจากการหดตัว ใยแก้ว (ชนิดทนด่าง) ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการรับแรงดึง เหล็กเส้นเสริมแรงหรือตะแกรงเหล็กทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

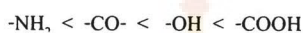
ในขณะที่ปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำและเกิดการแข็งตัว จะจับยึดวัสดุผสมและเหล็กเสริมแรงไว้ด้วยกัน คอนกรีตมีความสามารถในการรับแรงอัดได้สูงมากแต่รับแรงดึงได้น้อย ในขณะที่เหล็กมีความสามารถในการรับแรงดึงได้สูง จึงทำให้มีการนำวัสดุทั้งสองชนิดมาใช้งานร่วมกันในโครงสร้างทางวิศวกรรม ในส่วนของโครงสร้างที่บาง อาจมีการนำใยแก้วมาใช้แทนเหล็กเส้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงดึง

การแตกร้าวของคอนกรีตสามารถแก้ปัญหาโดยการเติมเส้นใยพอลิโพรพิลีนลงไปในช่วงขั้นตอนการผสมคอนกรีต นอกจากนี้ยังใช้ใยแก้วในการป้องกันการแตกร้าวได้เช่นเดียวกัน เนื่องจากปูนซีเมนต์เป็นวัสดุที่แข็งแต่มีความสามารถในการรับแรงดึงต่ำ จึงทำให้คอนกรีตเปราะและแตกหักได้ง่าย

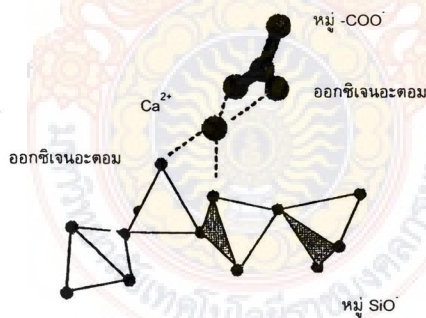
2.3.3 อันตรกิริยา (interaction) ระหว่างแคลเซียมซิลิเกตไฮดรตและหมู่ฟังก์ชันชนิดต่าง ๆ

ซานเชส และเซนก (Sanchez and Zhang, 2008: 349-358) ศึกษาการเกิดอันตรกิริยาระหว่างผิวของกราไฟต์ที่ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันชนิดต่าง ๆ คือ ไฮดรอกซิล (-OH) คาร์บอกซิลิก (-COOH) คาร์บอกซิเลตไอออน (-COO⁻) คาร์บอนิล (-CO-) และเอมีน (-NH₂) กับผิวของแคลเซียมซิลิเกตไฮดรต

ผลจากการศึกษาพบว่า พลังงานอันตรกิริยา (interaction energy) ของแคลเซียมซิลิเกตไฮดรตและกราไฟต์ขึ้นอยู่กับชนิดของหมู่ฟังก์ชันที่ผิวของกราไฟต์ ความมีขั้วของหมู่ฟังก์ชันชนิดต่าง ๆ หมู่ฟังก์ชันที่มีขั้วมากขึ้น จะมีพลังงานอันตรกิริยาเพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังนี้



เมื่อความมีขั้วของหมู่ฟังก์ชันเพิ่มขึ้น จะทำให้อันตรกิริยาไฟฟ้าสถิตเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลต่อการยึดติดกันระหว่างผิวของแคลเซียมซิลิเกตไฮดรตและกราไฟต์ แบบจำลองของการเกิดอันตรกิริยาระหว่างผิวของกราไฟต์ที่มีหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอกซิเลตไอออนกับแคลเซียมซิลิเกตไฮดรตแสดงดังในภาพประกอบที่ 2.10



ภาพประกอบที่ 2.10 แบบจำลองของการเกิดอันตรกิริยาระหว่างผิวของกราไฟต์ที่มีหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอกซิเลตไอออนกับแคลเซียมซิลิเกตไฮดรต

Ca^{2+} เกิดโคออร์ดิเนตกับประจุลบของออกซิเจนอะตอมจำนวน 2 อะตอมของไฮเลนอล (silanol) ที่ผิวแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต และออกซิเจนอะตอมจำนวน 2 อะตอม ของ $-\text{COO}^-$ ที่ผิวของกราไฟต์

2.4 วัสดุสังเคราะห์กับการเสริมแรงคอนกรีต

การนำวัสดุสังเคราะห์มาเป็นวัสดุเสริมแรงในปูนซีเมนต์มีบทบาทมากในงานวิศวกรรมโยธา การเสริมแรงด้วยวัสดุสังเคราะห์ช่วยปรับปรุงความต้านแรงดึง การโค้งงอ และความแข็งแรง (strength) ของปูนซีเมนต์ ซึ่งเกิดจากการเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใย และ/หรือ เส้นด้าย ที่เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างค้ำกับซีเมนต์

2.4.1 ประเภทของวัสดุสังเคราะห์กับการเสริมแรงคอนกรีต

วัสดุสังเคราะห์ที่ใช้เสริมแรงคอนกรีตที่สำคัญมี ดังนี้

1. เส้นใย (Zhang, Gopalaratnam and Yasuda. 2000: 1985-1996)

การเติมเส้นใยสั้นลงไปในคอนกรีต ช่วยปรับปรุงคอนกรีตให้มีความคงทนต่อการโค้งงอ และการรับแรงกระแทก เส้นใยโลหะ และเส้นใยสังเคราะห์นิยมใช้เป็นวัสดุเสริมแรงคอนกรีต โดยเฉพาะอย่างยิ่งเส้นใยสังเคราะห์นิยมใช้เสริมแรงคอนกรีต เนื่องจากมีความหนาแน่นต่ำ ความต้านแรงดึงสูง การกระจายตัวดี ราคาถูก และคงทนต่อสารเคมี ตัวอย่างเส้นใยสังเคราะห์ที่นำมาใช้งาน ได้แก่ เคฟลาร์ พอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีน ใยแก้ว (ชนิดทนต่อแอลคาไลน์)

พอลิโพรพิลีน และพอลิเอทิลีน มีสมบัติไม่ชอบน้ำ จึงทำให้เกิดพันธะกับคอนกรีตได้น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยชนิดอื่น ๆ การปรับปรุงเส้นใยพอลิโพรพิลีนด้วยวิธีการต่าง ๆ มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้เกิดการกระจายตัวของเส้นใย และเกิดพันธะที่แข็งแรงระหว่างปูนซีเมนต์กับเส้นใย การเกิดพันธะที่แข็งแรงระหว่างเส้นใยสังเคราะห์กับปูนซีเมนต์เป็นปัจจัยสำคัญต่อการเสริมแรงคอนกรีต การปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยเป็นวิธีที่จะทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวของเส้นใยกับปูนซีเมนต์ วิธีการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย ได้แก่ การใช้พลาสมา

คีนส์ และคณะ (Denes et al. 1996: 61-77) ศึกษาอิทธิพลของ SiCl_4 พลาสมาที่มีต่อเส้นใยพอลิโพรพิลีน พบว่าเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วยพลาสมา ทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรงต่อการโค้งงอ (flexural strength) และความทนทานต่อการแตกหักของวัสดุดีกว่าเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงด้วยพลาสมา

ลี วู และชาน (Li, Wu and Chan. 1996: 700-705) ศึกษาความต้านแรงดึงของเส้นใยพอลิโพรพิลีนที่ผ่านการปรับปรุงด้วยพลาสมาของก๊าซชนิดต่าง ๆ คือ NH_3 , CO_2 และ Ar พบว่า NH_3 ทำให้เส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงมีความแข็งแรงของพันธะในการยึดติดระหว่างเส้นใยกับคอนกรีตได้ดีที่สุด

2. ผ้า

การเกิดพันธะระหว่างเส้นใยกับปูนซีเมนต์เกิดขึ้นได้น้อย จึงทำให้มีข้อจำกัดในการนำเส้นใยมาใช้งานร่วมกับปูนซีเมนต์ การนำเส้นใยมาผลิตเป็นผ้าทำให้สามารถกำหนดรูปแบบของการประสานกันของเส้นใย และเส้นด้ายได้ตามความต้องการ ซึ่งช่วยปรับปรุงการยึดติดกับปูนซีเมนต์ได้ (Peled, Sueki and Mobasher. 2006: 1661-1671)

ผ้าที่ใช้ในการเสริมแรง ได้แก่ ผ้าถัก ผ้าทอ ผ้าไม่ถักไม่ทอ (nonwovens) รูปแบบของผ้ามีผลต่อความเสถียร สมบัติเชิงกลของผ้า และความสามารถในการผ่านทะลุของปูนซีเมนต์ เช่น ผ้าที่ประกอบด้วยเส้นใยหลาย ๆ เส้น จะลดความสามารถในการผ่านทะลุของซีเมนต์ระหว่างมัดของเส้นใย (bundle) ดังนั้น ความสามารถในการผ่านทะลุของซีเมนต์เข้าไปในผ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งระหว่างเส้นใย จึงขึ้นอยู่กับธรรมชาติของโครงสร้างผ้า (ความแน่นของเส้นด้ายที่ทอเป็นผืนผ้า) และกระบวนการเตรียมวัสดุเชิงประกอบ (composite) ของผ้ากับปูนซีเมนต์ (Peled et al. 2008: 174-183)

ฟิสิกส์ และเบนทอร์ (Peled and Bentur. 1999: 325-330) ศึกษาพบว่า ความแข็งแรงต่อการโค้งงอของซีเมนต์ที่เสริมแรงด้วยผ้าพอลิเอสเตอร์สูงกว่าเส้นใยพอลิเอทิลีน เนื่องจากการเกิดพันธะระหว่างผ้าและซีเมนต์ดีกว่าเส้นใย ซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเส้นด้ายที่เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างผ้า

2.4.2 การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเสริมแรงคอนกรีตด้วยวัสดุสิ่งทอ

การปรับปรุงเส้นใยพอลิโพรพิลีนด้วยพลาสมาของก๊าซชนิดต่าง ๆ คือ Ar CH_4 ร่วมกับ O_2 และ อากาศ ผลจากการศึกษาพบว่า การปรับปรุงเส้นใยพอลิโพรพิลีนด้วยพลาสมา เส้นใยจะช่วยเสริมแรงคอนกรีต ซึ่งทำให้ความแข็งแรงต่อการโค้งงอ และความทนทานต่อการแตกหักของคอนกรีตดีกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมกับเส้นใย โดย Ar พลาสมาทำให้เส้นใยมีสมบัติในการเสริมแรงคอนกรีตดีที่สุด

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการปรับปรุงเส้นใยด้วยพลาสมา คือ

1. การปรับปรุงเส้นใยด้วยพลาสมาเปลี่ยนแปลงสมบัติของเส้นใย ทำให้เส้นใยที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic fibres) เปลี่ยนเป็นเส้นใยที่มีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic fibres)

2. การปรับปรุงเส้นใยด้วยพลาสมาช่วยปรับปรุงผิวร่วม หรือส่วนต่อประสาน (interface) ระหว่างเส้นใยและคอนกรีต การเปลี่ยนแปลงทางเคมีบนพื้นผิวของเส้นใยทำให้เกิดความเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยกับซิลิกาในคอนกรีตซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ (Zhang, Gopalaratnam and Yasuda. 2000: 1985-1986)

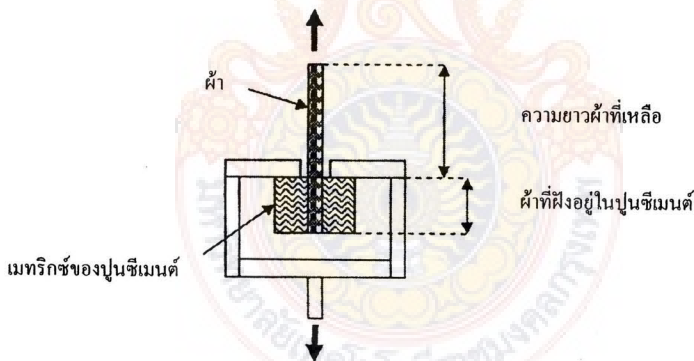
การเกิดพันธะระหว่างผ้าชนิดต่าง ๆ กับปูนซีเมนต์ มีการศึกษาโดยใช้ผ้า 3 ชนิด คือ ผ้าทอพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผ้าใยแก้ว (เส้นด้ายเคลือบด้วยกาวเพื่อทำให้เส้นด้ายยึดติดกัน)

และผ้าดักพอลิโพรพิลีน โดยตัดผ้าที่มีขนาดความกว้าง 10 มิลลิเมตร ความยาว 38.1 มิลลิเมตร จากนั้นแช่ผ้าลงไปนปูนซีเมนต์ โดยให้ผ้า (ความยาว 12.7 มิลลิเมตร) แทรกอยู่ระหว่างปูนซีเมนต์ และทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน หลังจากนั้นทำให้ปูนซีเมนต์เกิดการเชื่อมขวาง (cured) ด้วยไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 3 วัน (สภาวะนี้จะทำให้ปูนซีเมนต์มีสมบัติเหมือนกับการทำให้ปูนซีเมนต์เกิดการเชื่อมขวางที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 28 วัน) หลังจากนั้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน ชิ้นงานที่เตรียมได้มีลักษณะดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.11

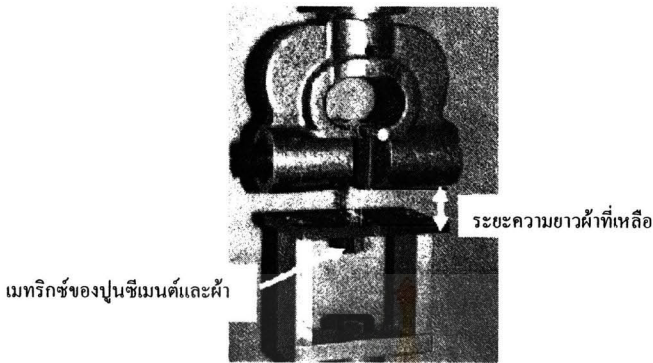
นำตัวอย่างผ้าที่ฝังลงในซีเมนต์แล้วมาทดสอบการดึงด้วยเครื่องวัดความต้านแรงดึง (ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.12) เพื่อคำนวณหาความแข็งแรงของพันธะ (bond strength) ของผ้าชนิดต่าง ๆ เมื่อฝังอยู่ในปูนซีเมนต์ ผลการศึกษาแสดงดังในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความแข็งแรงของพันธะของผ้าชนิดต่าง ๆ เมื่อฝังอยู่ในปูนซีเมนต์

ชนิดของผ้า	ความแข็งแรงของพันธะระหว่างผ้ากับปูนซีเมนต์ (เมกะปาสคาล)
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์	3.20
ใยแก้ว	1.76
พอลิโพรพิลีน	2.91



ภาพประกอบที่ 2.11 ลักษณะชิ้นงานที่ได้จากการเตรียมโดยการฝังผ้าลงในปูนซีเมนต์



ภาพประกอบที่ 2.12 การทดสอบการดึงด้วยเครื่องวัดความต้านทานแรงดึงของผ้าที่ฝังลงในปูนซีเมนต์

ผลจากการศึกษาผ้าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และผ้าพอลิโพรพิลีนมีความแข็งแรงของพันธะสูง ซึ่งแสดงถึงการแทรกซึมของปูนซีเมนต์และการยึดติดที่แข็งแรงระหว่างผ้ากับปูนซีเมนต์ ส่วนผ้าใยแก้วมีความแข็งแรงของพันธะต่ำที่สุด แสดงว่าผ้าใยแก้วมีการยึดติดกับปูนซีเมนต์น้อย ในผ้าใยแก้วเส้นด้ายถูกเคลือบด้วยกาว จึงทำให้การแทรกซึมของปูนซีเมนต์ เข้าไปในเส้นด้ายน้อย พันธะระหว่างผ้าใยแก้วกับปูนซีเมนต์จึงไม่แข็งแรง ตัวอย่างการยึดติดระหว่างผ้าพอลิโพรพิลีนกับปูนซีเมนต์แสดงดังในภาพประกอบที่ 2.13

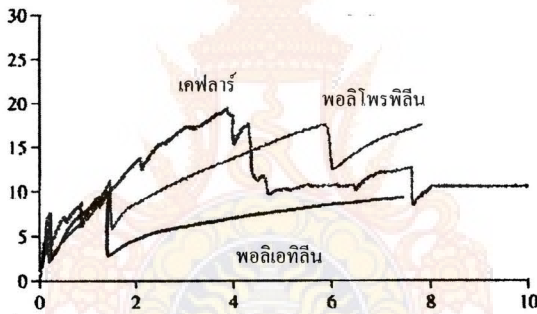


ภาพประกอบที่ 2.13 การยึดติดระหว่างผ้าพอลิโพรพิลีนกับปูนซีเมนต์

ดังนั้นชนิดของเส้นใย และโครงสร้างผ้ามีผลต่อการยึดติดกับปูนซีเมนต์ นอกจากนี้ การเกิดพันธะระหว่างผ้ากับปูนซีเมนต์ จึงนำผ้ามาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุเสริมแรงปูนซีเมนต์ได้ (Peled, Sueki and Mobasher. 2006: 1661-1671)

พีลิด (Peled. 2007: 805-813) ศึกษาการโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบระหว่างผ้ากับเมทริกซ์ของปูนซีเมนต์ ผ้าที่ศึกษา คือ ผ้าเคฟลาร์ ผ้าพอลิเอทิลีน และผ้าพอลิโพรพิลีน วัสดุเชิงประกอบเตรียมโดยวางผ้าจำนวน 4 ชั้น แทรกระหว่างเมทริกซ์ของปูนซีเมนต์ที่มีความกว้าง 200 มิลลิเมตร ความยาว 110 มิลลิเมตร และความหนา 10 มิลลิเมตร โดยผ้าแต่ละชั้นจะแทรกอยู่ระหว่างปูนซีเมนต์ที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ปูนซีเมนต์ถูกทำให้เชื่อมขวางที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 21 วัน และนำไปทดสอบสมบัติการโค้งงอ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับระยะการโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบเมื่อได้รับแรงกระทำ ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 2.14

แรงเค้น (เมกะปาสกาล)



ระยะการโค้งงอของชิ้นงานเมื่อได้รับแรง (มิลลิเมตร)

ภาพประกอบที่ 2.14 การ โค้งงอของวัสดุเชิงประกอบระหว่างผ้าชนิดต่าง ๆ กับเมทริกซ์ของปูนซีเมนต์

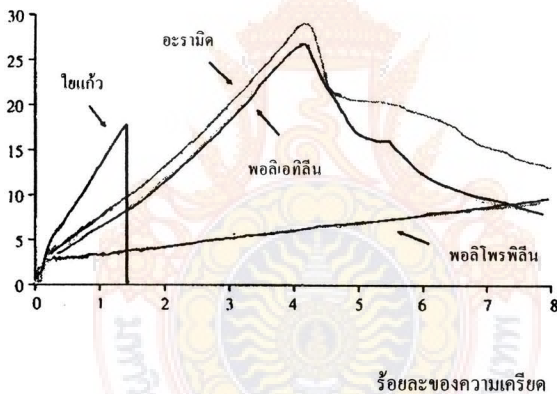
ผลจากการศึกษาพบว่า เคฟลาร์แสดงการเพิ่มความแข็งแรงเนื่องจากความเครียด (strain hardening) พอลิเอทิลีนแสดงพฤติกรรมยืดหยุ่น ส่วนพอลิโพรพิลีนมีสมบัติการเพิ่มความแข็งแรงปานกลาง การเสริมแรงปูนซีเมนต์ด้วยวัสดุสิ่งทอต่างชนิดกัน ทำให้วัสดุเชิงประกอบมีสมบัติแตกต่างกัน

สมบัติความต้านทานแรงดึงของปูนซีเมนต์ที่เสริมแรงด้วยวัสดุสิ่งทอ และการเกิดพันธะระหว่างผ้ากับปูนซีเมนต์ มีการศึกษาโดยเตรียมวัสดุเชิงประกอบที่ประกอบด้วยผ้าชนิดต่าง ๆ กับ

เมทริกซ์ของปูนซีเมนต์ ผ้าที่ศึกษาประกอบด้วยด้ายฟุ้งที่เป็นเส้นใยอะรามิด ส่วนด้ายอื่นเป็นเส้นด้ายจากเส้นใยชนิดต่าง ๆ คือ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง อะรามิด ไชแก้ว และพอลิโพรพิลีน

วัสดุเชิงประกอบเตรียมโดยผ่านผ้าลงไปปูนซีเมนต์ และรีดปูนซีเมนต์ส่วนเกินออกจากผ้าด้วยลูกกลิ้ง ชั้นงานที่เตรียมมีขนาดความกว้าง 200 มิลลิเมตร ความยาว 300 มิลลิเมตร และความหนา 8 มิลลิเมตร โดยมีผ้าจำนวน 3 ชั้น แทรกอยู่ในเมทริกซ์ของปูนซีเมนต์ ในการผสมปูนซีเมนต์ใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 ชั้นงานที่ขึ้นรูปแล้วถูกนำมากดด้วยแรงดัน 50 นิวตัน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำให้เกิดการเชื่อมขวางที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 25 วัน และนำมาทดสอบความต้านแรงดึง และคำนวณความแข็งแรงของพันธะของผ้าในการยึดติดกับปูนซีเมนต์ ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 2.15

แรงเค้น (เมกะปาสกาล)



ภาพประกอบที่ 2.15 แรงเค้น (stress)– ความเครียด (strain) ของวัสดุเชิงประกอบที่แทรกด้วยผ้าชนิดต่าง ๆ

ผลจากการศึกษาพบว่า วัสดุเชิงประกอบที่ประกอบด้วยอะรามิด และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง มีสมบัติความต้านทานแรงดึงคล้ายคลึงกัน คือ มีความแข็งแรงสูง พอลิโพรพิลีนมีความแข็งแรงต่ำ โดยทนต่อแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 9.25 เมกะปาสกาล ส่วนไชแก้วมีสมบัติประสิทธิภาพความต้านทานแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบที่มีไชแก้วเป็นองค์ประกอบสูงกว่าพอลิโพรพิลีน แต่ต่ำกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงและอะรามิด ที่ความเครียดต่ำกว่าร้อยละ 1 ค่าความต้าน-

ทานแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบที่มีใยแก้วเป็นองค์ประกอบมีค่ามาก ซึ่งแสดงว่าวัสดุเชิงประกอบที่มีใยแก้วเป็นองค์ประกอบเหมาะกับการใช้งานที่ความเครียดต่ำ ๆ

ค่ามอดุลัสของความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ของเส้นด้ายยีนชนิดต่าง ๆ และความแข็งแรงของพันธะระหว่างผ้ากับเมทริกซ์ของปูนซีเมนต์แสดงดังในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่ามอดุลัสของความยืดหยุ่นของเส้นด้ายยีนชนิดต่าง ๆ และความแข็งแรงของพันธะระหว่างผ้ากับเมทริกซ์ของปูนซีเมนต์

ชนิดของเส้นด้ายยีน	ค่ามอดุลัสของความยืดหยุ่น ของเส้นด้ายยีน (จิกะปาสคาล)	ความแข็งแรงของพันธะ ระหว่างผ้ากับเมทริกซ์ ของปูนซีเมนต์ (เมกะปาสคาล)
พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง	45	4.54
พอลิโพรพิลีน	7	2.34
ใยแก้ว	78	5.13
อะรามิด	55	5.29

ผลจากการศึกษาพบว่า อะรามิดมีความแข็งแรงของการยึดกับปูนซีเมนต์สูงสุด รองลงมาคือ ใยแก้ว และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ส่วนพอลิโพรพิลีนมีค่าต่ำสุด ใยแก้วและอะรามิดมีสมบัติชอบน้ำเหมือนกับปูนซีเมนต์ และมีค่ามอดุลัสของความยืดหยุ่นสูง จึงทำให้มีการยึดติดกับปูนซีเมนต์อย่างแข็งแรง ส่วนพอลิโพรพิลีนไม่เกิดพันธะเคมีกับปูนซีเมนต์ เนื่องจากพอลิโพรพิลีนมีสมบัติไม่ชอบน้ำ ส่วนปูนซีเมนต์มีสมบัติชอบน้ำ นอกจากนี้พอลิโพรพิลีนมีค่ามอดุลัสของความยืดหยุ่นต่ำ จึงทำให้การยึดกับปูนซีเมนต์ไม่แข็งแรง

การยึดกันอย่างแข็งแรงระหว่างใยแก้วกับซีเมนต์ (ตารางที่ 2.3) ทำให้วัสดุเชิงประกอบมีสมบัติเปราะ ใยแก้วเกิดการฉีกขาดง่ายเมื่อได้รับแรงดึง (ภาพประกอบที่ 2.14) ส่วนพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงและอะรามิดมีลักษณะเหนียว (ductile) จึงเหมาะกับการใช้งานที่มีความเครียดสูง ๆ (Peled et al. 2008: 174-183)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองมี ดังนี้

ตารางที่ 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อสารเคมี	สูตรเคมี	บริษัทผู้ผลิต
โซเดียมไฮดรอกไซด์	NaOH	Fluka
ปูนซีเมนต์	-	
โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต	$K_2S_2O_8$	Carlo Erba
2-ไฮดรอกซีเมทิลเมทาคริเลต	$ \begin{array}{c} CH_3 \\ \\ CH_2=C \\ \\ CO \\ \\ O-CH_2-CH_2-OH \end{array} $	Fluka
เอ็น,เอ็น'-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ (MBAM)	$CH_2(NH-CO-CH=CH_2)_2$	Fluka
เอ็น, เอ็น, เอ็น', เอ็น'-เตตระเมทิลเอทิลีนไดเอมีน (TMEDA)	$(CH_3)_2N-CH_2-CH_2-N(CH_3)_2$	Fluka
เฮกซะเซคซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์	$CH_3-(CH_2)_{15}-N^+(CH_3)_3Br^-$	Fluka

3.2 การศึกษาการปรับปรุงผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วย 2-ไฮดรอกซีเมทิลเมทาคริเลต

วิธีการทดลอง

1. ผสมโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์) เอ็น,เอ็น'-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ (ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์) และ เอ็น, เอ็น, เอ็น', เอ็น'-เตตระเมทิลเอทิลีนไดเอมีน (ปริมาตร 1 มิลลิลิตร) ลงใน 2-ไฮดรอกซีเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ และคนจนได้สารละลายใส จากนั้นเตรียมเป็นสารละลาย 2-ไฮดรอกซีเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5-30 (น้ำหนัก/ปริมาตร)

2. แช่ผ้าพอลิเอสเตอร์ลงในสารละลายที่เตรียมไว้ และรีดของเหลวส่วนเกินออกจากผ้าพอลิเอสเตอร์ จากนั้นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3. เมื่อครบเวลาตามที่กำหนด นำผ้าพอลิเอสเตอร์มาสกัดไฮโมพอลิเมอร์ออกไปด้วย

น้ำกลั่น ที่อุณหภูมิ 80°C และล้างด้วยน้ำกลั่นจำนวน 3 ครั้ง ทำให้แห้ง และคำนวณหาร้อยละของปริมาณพอลิเมอร์บนผ้าพอลิเอสเตอร์จากสูตร ดังนี้

$$\text{ร้อยละของปริมาณพอลิเมอร์บนผ้าพอลิเอสเตอร์} = [(W - W_0) / W_0] \times 100$$

W_0 = น้ำหนักเริ่มต้นของผ้าพอลิเอสเตอร์

W = น้ำหนักของผ้าพอลิเอสเตอร์หลังจาก
สกัดไฮโดรอลิเมอร์ออกไป

3.3 การศึกษาการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ วิธีการทดลอง

1. ตัดผ้าพอลิเอสเตอร์ และผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยพอลิเมอร์ ขนาด ความกว้าง x ความยาว เท่ากับ 7 x 7 เซนติเมตร และแช่ลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5 กรัม/ลิตร (น้ำหนัก/ปริมาตร) ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร และต้มที่อุณหภูมิ 90°C ตามระยะเวลาที่กำหนด โดยใช้อัตราส่วนระหว่างผ้า: ของเหลว เท่ากับ 1: 50

2. เมื่อครบเวลาตามที่กำหนด นำผ้าพอลิเอสเตอร์มาล้างด้วยน้ำอุ่น 1 ครั้ง และน้ำเย็น 1 ครั้ง จากนั้น ปรับสภาพความเป็นกรด-เบส (pH) ให้เป็นกลางด้วยสารละลายกรดแอสซิดิกเจือจาง และล้างด้วยน้ำกลั่นจำนวน 3 ครั้ง และอบให้แห้ง

3. คำนวณหาร้อยละของน้ำหนักผ้าพอลิเอสเตอร์ที่หายไปจากสูตร ดังนี้

$$\text{ร้อยละของน้ำหนักผ้าพอลิเอสเตอร์ที่หายไป} = [(W - W_0) / W_0] \times 100$$

W_0 = น้ำหนักของผ้าพอลิเอสเตอร์ก่อนทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

W = น้ำหนักของผ้าพอลิเอสเตอร์หลังจาก
ทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียม-
ไฮดรอกไซด์

3.4 การตรวจสอบการยึดติดกับปูนซีเมนต์ของผ้าพอลิเอสเตอร์

วิธีการทดลอง

1. ผสมปูนซีเมนต์กับน้ำโดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.55 (โดยน้ำหนัก)
2. เทปูนซีเมนต์ที่ผสมแล้วลงในแม่พิมพ์วงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร ที่วางอยู่บนผ้าพอลิเอสเตอร์ขนาด 15 x 15 เซนติเมตร และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน เพื่อให้ปูนซีเมนต์เกิดการแข็งตัวอย่างสมบูรณ์
3. เมื่อครบระยะเวลาตามที่กำหนด คึงแผ่นปูนซีเมนต์ออกจากผ้าพอลิเอสเตอร์ ชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่ติดบนผ้าพอลิเอสเตอร์ จากสูตรดังนี้

ร้อยละของปริมาณปูนซีเมนต์บนผ้าพอลิเอสเตอร์ = $[(W - W_0) / W_0] \times 100$

W_0 = น้ำหนักเริ่มต้นของผ้าพอลิเอสเตอร์

W = น้ำหนักของผ้าพอลิเอสเตอร์ภายหลังจาก
คึงแผ่นปูนซีเมนต์ออกแล้ว

3.5 การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของผ้าพอลิเอสเตอร์

3.5.1 การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

ผ้าพอลิเอสเตอร์และผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุง ถูกนำมาตรวจสอบโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Perkin-Elmer FT-IR Spectrometer System 2000) ในช่วง 4000-370 เซนติเมตร⁻¹ โดยผสมกับโพแทสเซียมโบรมาด์

3.5.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผ้าพอลิเอสเตอร์เมื่อได้รับความร้อน

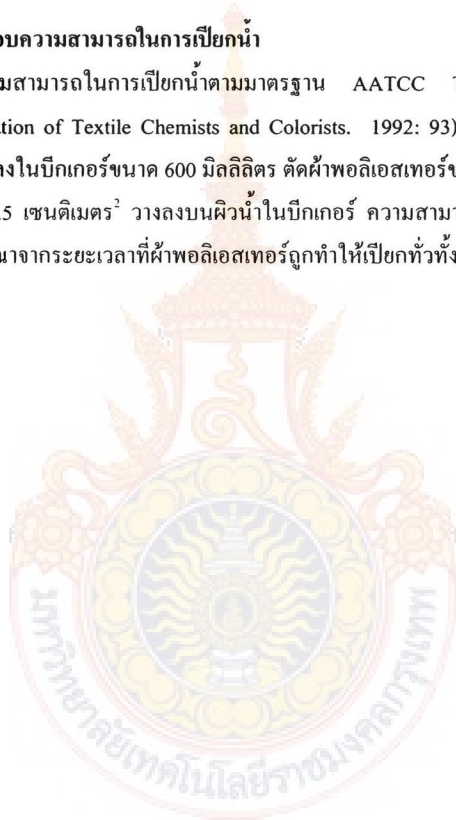
ผ้าพอลิเอสเตอร์ ผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยพอลิเมอร์ และผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการทดสอบการยึดติดกับปูนซีเมนต์ ถูกนำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเมื่อได้รับความร้อนด้วยเทคนิคการวิเคราะห์น้ำหนักโดยความร้อน (thermogravimetric analysis) ด้วยเครื่อง Netzsch Simultaneous Thermal Analyzer STA 409 Jupiter ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผ้าพอลิเอสเตอร์กับอุณหภูมิ ผ้าพอลิเอสเตอร์ถูกนำมาตัดให้มีความยาว 1-2 มิลลิเมตร และนำตัวอย่างที่มีน้ำหนักเท่ากับ 17 ± 3 มิลลิกรัม มาวิเคราะห์ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิห้อง ถึง 800°C ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นของความร้อนเท่ากับ 20°C/นาที

3.5.3 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ผ้าพอลิเอสเตอร์ ผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยพอลิเมอร์ และผ้าพอลิเอสเตอร์ที่มีการยัดติดกับปูนซีเมนต์ ถูกนำมาตรวจสอบลักษณะพื้นผิวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM, XL 30 CP, Philips) และวิเคราะห์หาปริมาณธาตุต่าง ๆ บนพื้นผิวของผ้าพอลิเอสเตอร์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ต่อกับการวิเคราะห์ทางเอ็กซ์เรย์

3.5.4 การตรวจสอบความสามารถในการเปียกน้ำ

การตรวจสอบความสามารถในการเปียกน้ำตามมาตรฐาน AATCC Test Method 43-1989 (American Association of Textile Chemists and Colorists. 1992: 93) ซึ่งมีวิธีการดังนี้ เติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร ตัดผ้าพอลิเอสเตอร์ขนาด ความกว้าง x ความยาว เท่ากับ 2.5×2.5 เซนติเมตร² วางลงบนผิวน้ำในบีกเกอร์ ความสามารถในการเปียกน้ำของผ้าพอลิเอสเตอร์พิจารณาจากระยะเวลาที่ผ้าพอลิเอสเตอร์ถูกทำให้เปียกทั่วทั้งผืน โดยสมบูรณ์

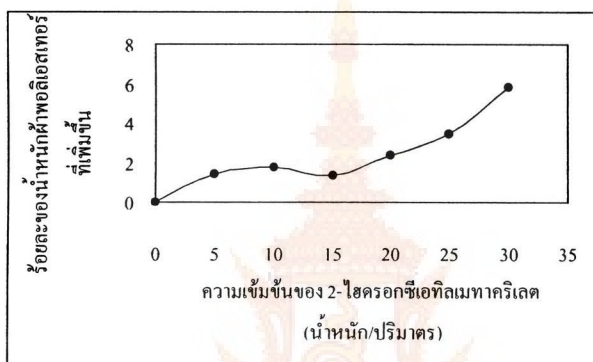


บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 การปรับปรุงผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต

ผ้าพอลิเอสเตอร์ปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผ้าพอลิเอสเตอร์ภายหลังจากการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 4.1

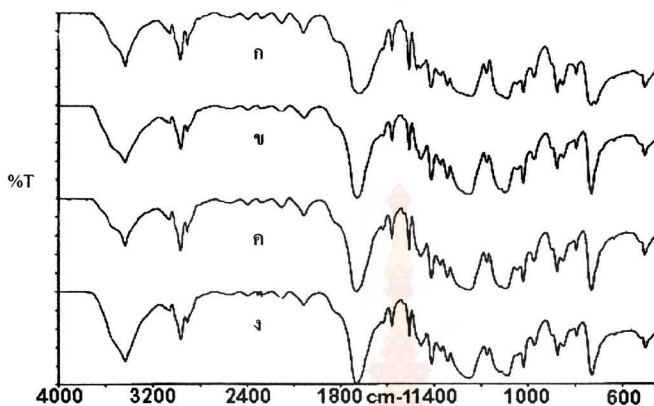


ภาพประกอบที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต

ผลจากการศึกษาพบว่า ผ้าพอลิเอสเตอร์มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตเพิ่มขึ้น จำนวนโมเลกุลของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันและเข้าทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลของพอลิเอสเตอร์มีจำนวนมากขึ้น ดังนั้นความเข้มข้นของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต จึงมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักของผ้าพอลิเอสเตอร์

4.2 การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

ผ้าพอลิเอสเตอร์ และผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ถูกนำมาตรวจสอบหุ้ฟังก์ชันด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 4.2



ภาพประกอบที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมต่างๆ

ก. ผ้าพอลิเอสเตอร์

ข. ผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 (น้ำหนัก/ปริมาตร)

ค. ผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 20 (น้ำหนัก/ปริมาตร)

ง. ผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30 (น้ำหนัก/ปริมาตร)

อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ปรากฏสเปกตรัมของหมู่ -OH ที่บริเวณ 3500-3300 เซนติเมตร⁻¹ หมู่ -CH₂ ที่บริเวณ 2900-2800 เซนติเมตร⁻¹ และหมู่ -C=O ที่บริเวณ 1700 เซนติเมตร⁻¹ (Shukla and Athalye, 1993; 2020)

อินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าพอลิเอสเตอร์ ปรากฏสเปกตรัมของหมู่ -OH ที่บริเวณ 3500-3300 เซนติเมตร⁻¹ และหมู่ -C=O ที่บริเวณ 1700 เซนติเมตร⁻¹ ในผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต สเปกตรัมของหมู่ -OH ที่บริเวณ 3432 เซนติเมตร⁻¹ สเปกตรัมของหมู่ -CH₂ ที่บริเวณ 2966 เซนติเมตร⁻¹ และสเปกตรัมของหมู่ -C=O ที่บริเวณ 1728 เซนติเมตร⁻¹ มีความเข้มเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตเพิ่มขึ้น แสดงว่า 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตเข้าทำปฏิกิริยากับผ้าพอลิเอสเตอร์

4.3 การตรวจสอบพื้นผิวของผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

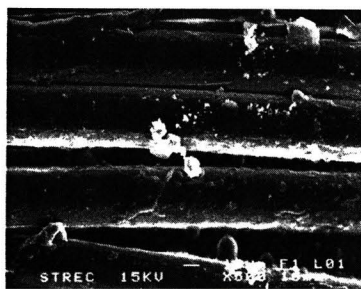
ผ้าพอลิเอสเตอร์ และผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทา-
คริเลต ถูกนำมาตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
แบบส่องกราด ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 4.3-4.4



ภาพประกอบที่ 4.3 ลักษณะพื้นผิวของผ้าพอลิเอสเตอร์

ก. กำลังขยาย 20x

ข. กำลังขยาย 500x

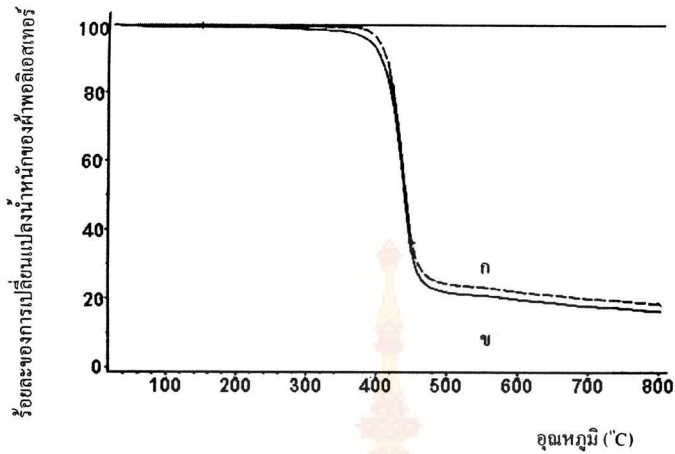


ภาพประกอบที่ 4.4 ลักษณะพื้นผิวของผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (กำลังขยาย 500x)

ผลจากการศึกษาพบว่า ลักษณะพื้นผิวของผ้าพอลิเอสเตอร์ และผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตมีลักษณะแตกต่างกัน คือ ผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุง พื้นผิวเรียบมีลักษณะเรียบ ส่วนผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุง ปรากฏกลุ่มของพอลิ-2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่ผิวของเส้นใย ดังนั้น การปรับปรุงผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต จึงมีผลต่อลักษณะทางกายภาพของเส้นใยพอลิเอสเตอร์

4.4 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผ้าพอลิเอสเตอร์เมื่อได้รับความร้อน

ผ้าพอลิเอสเตอร์ และผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30 ถูกนำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิห้อง ถึง 800°C ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 4.5



ภาพประกอบที่ 4.5 เทอร์โมแกรมเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของเส้นใยพอลิเอสเตอร์

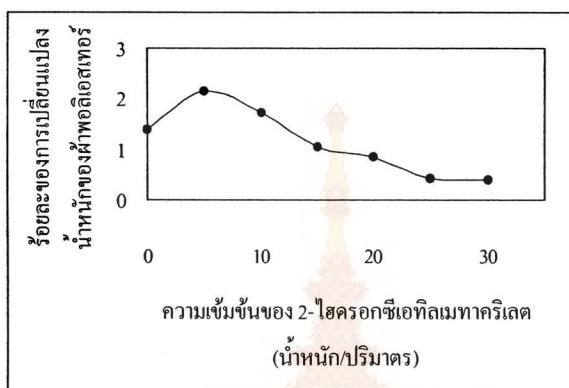
ก. เส้นใยพอลิเอสเตอร์

ข. เส้นใยพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเมทิลเมทาคริเลตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30

เทอร์โมแกรมของเส้นใยพอลิเอสเตอร์เริ่มเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิ 412.4°C ในเส้นใยพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเมทิลเมทาคริเลตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30 เริ่มเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิ 410.2°C ซึ่งต่ำกว่าเส้นใยพอลิเอสเตอร์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุง ดังนั้น การปรับปรุงเส้นใยพอลิเอสเตอร์ด้วย 2-ไฮดรอกซีเมทิลเมทาคริเลต จึงทำให้เส้นใยพอลิเอสเตอร์ มีความเสถียรต่อความร้อนลดลง เนื่องจากเกิดการไหม้เกรียม (char) ของพอลิเมอร์ที่ใช้ในการปรับปรุงเส้นใยพอลิเอสเตอร์ นอกจากนี้ผลการศึกษายังแสดงว่าเกิดปฏิกิริยาระหว่างเส้นใยพอลิเอสเตอร์ กับ 2-ไฮดรอกซีเมทิลเมทาคริเลต

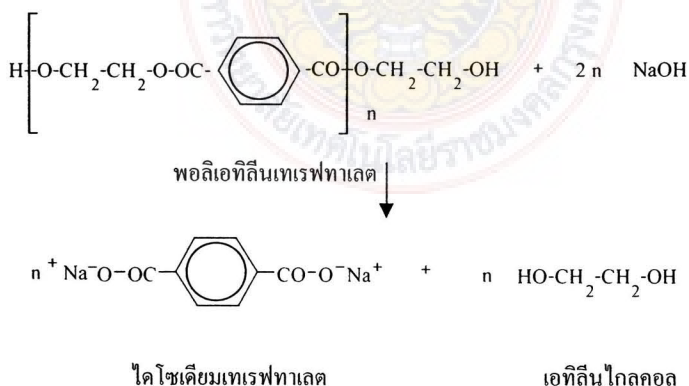
4.5 การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของผ้าพอลิเอสเทอร์

ผ้าพอลิเอสเทอร์ และผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5-30 (น้ำหนัก/ปริมาตร) เมื่อผ่านการทำปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 4.6



ภาพประกอบที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผ้าพอลิเอสเทอร์และผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ผ้าพอลิเอสเทอร์ เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสได้โซเดียมเทรฟทาเลตกับเอทิลีนไกลคอล ทำให้น้ำหนักของผ้าลดลง ปฏิกิริยาเกิดขึ้น ดังนี้ ((Zeronian, Wang and Alger 1990 : 527 - 534)



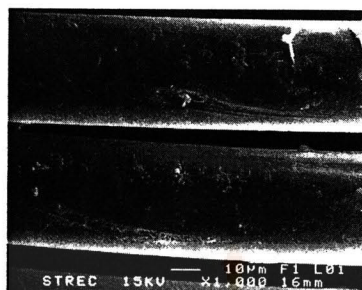
ภาพประกอบที่ 4.7 การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของผ้าพอลิเอสเทอร์

ผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 (น้ำหนัก/ปริมาตร) มีน้ำหนักของผ้าพอลิเอสเตอร์ที่หายไปมากกว่าผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุง น้ำหนักของผ้าพอลิเอสเตอร์ที่หายไป อาจเกิดจากการเกิดไฮโดรลิซิสของผ้าพอลิเอสเตอร์ และ/หรือ การเกิดไฮโดรลิซิสของพอลิ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต แต่เมื่อความเข้มข้นของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต เพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 5 (น้ำหนัก/ปริมาตร) การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของผ้าพอลิเอสเตอร์กลับลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อจำนวนโมเลกุลของมอนอเมอร์เพิ่มขึ้น การทำปฏิกิริยาของมอนอเมอร์เพื่อเกิดเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดการเชื่อมขวาง (crosslinked) เพิ่มขึ้น พอลิเมอร์จึงมีความคงทนต่อการเกิดไฮโดรลิซิสเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผ้าพอลิเอสเตอร์ภายหลังจากการเกิดไฮโดรลิซิสจึงลดลง ดังนั้นความเข้มข้นของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต จึงมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของผ้าพอลิเอสเตอร์

การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของผ้าพอลิเอสเตอร์ และผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 (น้ำหนัก/ปริมาตร) และความเข้มข้น 30 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ภายหลังจากทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 4.8-4.10



ภาพประกอบที่ 4.8 ลักษณะพื้นผิวของผ้าพอลิเอสเตอร์หลังจากทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (กำลังขยาย 1,000x)



ภาพประกอบที่ 4.9 ลักษณะพื้นผิวของผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 (น้ำหนัก/ปริมาตร) และทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (กำลังขยาย 1,000x)



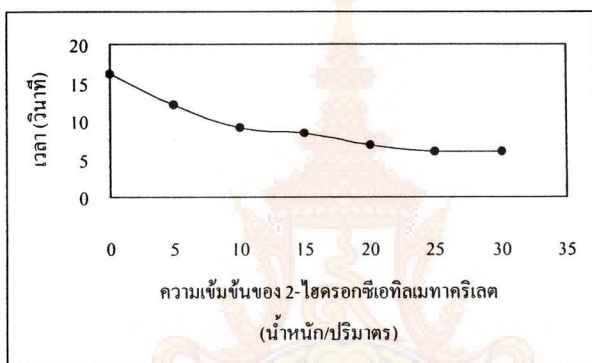
ภาพประกอบที่ 4.10 ลักษณะพื้นผิวของผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30 (น้ำหนัก/ปริมาตร) และทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (กำลังขยาย 1,000x)

ผลจากการศึกษาพบว่า ผ้าพอลิเอสเตอร์ภายหลังจากทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผิวของเส้นใยจะปรากฏเป็นหลุมและมีลักษณะขรุขระ (ภาพประกอบที่ 4.8) ส่วนผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 (น้ำหนัก/ปริมาตร) และทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะปรากฏหลุมบนเส้นใยเช่นเดียวกัน (ภาพประกอบที่ 4.9) สำหรับผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30 (น้ำหนัก/ปริมาตร) และทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสจะเกิดขึ้นได้น้อยดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.10 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยจึงยังคงมีผิวเรียบ และมีการเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ

ผ้าพอลิเอสเตอร์เริ่มต้นที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (ภาพประกอบที่ 4.8 และภาพประกอบที่ 4.10)

4.6 การตรวจสอบความสามารถในการเปียกน้ำ

การตรวจสอบความสามารถในการเปียกน้ำตามมาตรฐาน AATCC Test Method 43-1989 ศึกษาโดยตรวจสอบความสามารถในการเปียกน้ำของผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุง และผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5-30 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 4.11



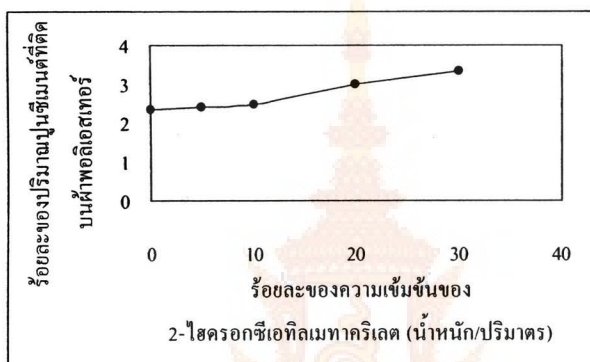
ภาพประกอบที่ 4.11 เวลาที่ผ้าพอลิเอสเตอร์ถูกทำให้เปียกโดยสมบูรณ์ของผ้าพอลิเอสเตอร์ และผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ

ผลการศึกษาพบว่าผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ระยะเวลาที่ผ้าพอลิเอสเตอร์เปียกทั่วผืนใช้เวลานานที่สุด ส่วนผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตใช้เวลาในการเปียกน้ำลดลง หรือผ้าพอลิเอสเตอร์เปียกน้ำได้เร็วขึ้น เมื่อความเข้มข้นของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตเพิ่มขึ้น ผ้าพอลิเอสเตอร์จะเปียกน้ำได้เร็วขึ้น ที่ความเข้มข้นของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ร้อยละ 25 (น้ำหนัก/ปริมาตร) การเปียกน้ำของผ้าพอลิเอสเตอร์จะเริ่มคงที่ การเปียกน้ำของผ้าพอลิเอสเตอร์เกิดขึ้นเนื่องจาก 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซี (-OH) ซึ่งเป็นหมู่ที่มีขั้ว จึงดูดซับน้ำได้ดี โดยผลการทดลองนี้คล้ายคลึงกับการปรับปรุงผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วยไคแอลลิค-ไคเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ซึ่งพบว่าไคแอลลิค-ไคเมทิลแอมโมเนียม-คลอไรด์ทำให้ผ้าพอลิเอสเตอร์เปียกน้ำได้เร็วขึ้น (ณัฐเวช วิทยสุทธาพร และ รุ่งภา สุกใส).

2549: 41-42) ดังนั้น 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตจึงมีผลต่อการเป็กน้ำขอ'ผ้าพอลิเอสเตอร์ โดยทำให้ความสามารถในการเป็กน้ำของผ้าพอลิเอสเตอร์เพิ่มขึ้น

4.7 การตรวจสอบการยึดติดกับปูนซีเมนต์ของผ้าพอลิเอสเตอร์

ผ้าพอลิเอสเตอร์ และผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5-30 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ถูกนำมาทดสอบการยึดติดกับปูนซีเมนต์ ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 4.12



ภาพประกอบที่ 4.12 การยึดติดกับปูนซีเมนต์ของผ้าพอลิเอสเตอร์และผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ

ปูนซีเมนต์มีแคลเซียมซลิเกตเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญ เมื่อปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำจะทำให้เกิดแคลเซียมซลิเกตไฮดรต การยึดติดระหว่างผ้าพอลิเอสเตอร์กับปูนซีเมนต์ เกิดขึ้นเนื่องจากผ้าพอลิเอสเตอร์มีหมู่ไฮดรอกซี (-OH) และหมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) เป็นองค์ประกอบ จึงสามารถเกิดโคออร์ดิเนชันกับแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ของแคลเซียมซลิเกตได้ ผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5-10 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ปริมาณของซีเมนต์บนพื้นผิวของผ้าพอลิเอสเตอร์มีค่าใกล้เคียงกับกับผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุง นอกจากนี้การยึดติดกับปูนซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจาก 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตมีหมู่ -OH เป็นองค์ประกอบ การเกิดพันธะโคออร์ดิเนตกับ Ca^{2+} ของแคลเซียมซลิเกตจึงเพิ่มขึ้น โดย ซานเชส และเซนก (Sanchez and Zhang, 2008: 349-358) รายงานว่าหมู่ -OH และ หมู่ -COOH เกิดอันตรกิริยา (interaction energy) กับแคลเซียมซลิเกตได้ และอันตรกิริยาของแคลเซียมซลิเกต

ไฮดรต จะขึ้นอยู่กับชนิดและความมีขั้วของหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ นอกจากนี้หมู่ -OH ที่เป็นองค์ประกอบใน 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ทำให้ผ้าพอลิเอสเทอร์มีสมบัติในการเปียกน้ำเพิ่มมากขึ้นดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.11 การเปียกน้ำของผ้าพอลิเอสเทอร์ จึงทำให้ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ยึดติดกับปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น

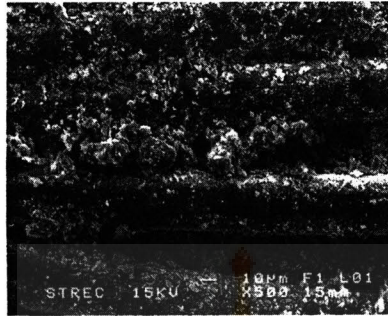
การเปลี่ยนแปลงของผ้าพอลิเอสเทอร์ และผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ภายหลังจากการยึดติดกับปูนซีเมนต์แสดงดังในภาพประกอบที่ 4.13-4.16



ภาพประกอบที่ 4.13 ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการยึดติดกับปูนซีเมนต์

ก. กำลังขยาย 20x

ข. กำลังขยาย 500x



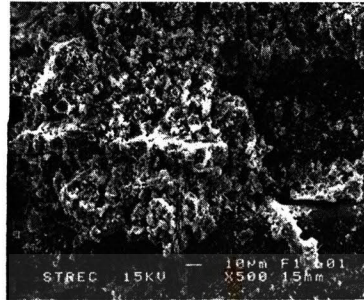
ภาพประกอบที่ 4.14 ผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 (น้ำหนัก/ปริมาตร) และผ่านการยัดติดกับปูนซีเมนต์ (กำลังขยาย 500x)



ภาพประกอบที่ 4.15 ผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 20 (น้ำหนัก/ปริมาตร) และผ่านการยัดติดกับปูนซีเมนต์

ก. กำลังขยาย (กำลังขยาย 20x)

ข. กำลังขยาย (กำลังขยาย 500x)



ภาพประกอบที่ 4.16 ผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30 (น้ำหนัก/ปริมาตร) และผ่านการยึดติดกับปูนซีเมนต์ (กำลังขยาย 500x)

ผลจากการศึกษาพบว่า การยึดติดกับปูนซีเมนต์ของผ้าพอลิเอสเตอร์จะปรากฏปูนซีเมนต์บนพื้นผิวของผ้าพอลิเอสเตอร์ โดยอนุภาคของปูนซีเมนต์มีการกระจายตัวและมีขนาดเล็ก (ภาพประกอบที่ 4.13) ส่วนผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ปรากฏกลุ่มของปูนซีเมนต์บนพื้นผิวของผ้าพอลิเอสเตอร์ ซึ่งจับตัวเป็นก้อนที่มีขนาดใหญ่ (ภาพประกอบที่ 4.14-4.16) นอกจากนี้เมื่อความเข้มข้นของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตเพิ่มขึ้น กลุ่มของปูนซีเมนต์ที่ติดบนผิวของผ้าพอลิเอสเตอร์จะมีปริมาณมากขึ้น ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจาก ผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตมีสมบัติชอบน้ำ จึงเกิดอันตรกิริยากับแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตได้ดี และทำให้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตเกิดการรวมตัวเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่

จากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดร่วมกับการวิเคราะห์ทางเอ็กซ์เรย์ เพื่อหาปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบบนพื้นผิวของผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ยึดติดกับปูนซีเมนต์ ผลการศึกษาแสดงดังในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณธาตุชนิดต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบบนพื้นผิวของผ้าพอลิเอสเตอร์

ร้อยละ ของความเข้มข้น ของ HEMA [*] (น้ำหนัก/ปริมาตร)	ร้อยละของปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบบนพื้นผิวของผ้าพอลิเอสเตอร์ (โดยน้ำหนัก)							
	C	O	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
0 (ผ้าพอลิเอสเตอร์ เริ่มต้น)	57.63	42.37	-	-	-	-	-	-
0 (ผ้าพอลิเอสเตอร์ กับปูนซีเมนต์)	28.88	54.83	0.28	2.03	3.08	0.45	10.06	0.39
10	44.26	40.43	0.07	0.86	3.27	0.24	10.10	0.77
20	33.72	49.56	0.30	0.92	4.18	0.19	10.49	0.64
30	33.26	49.35	0.32	1.25	4.56	0.23	10.48	0.55

* HEMA = 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต

ธาตุที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในเมทริกซ์ของปูนซีเมนต์ ได้แก่ ซิลิกอน และแคลเซียม (Peled, Sueki and Mobasher. 2006: 1668) ในผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุง ชนิดของธาตุที่พบบนผ้าพอลิเอสเตอร์ คือ คาร์บอน และออกซิเจน ผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุง มีสมบัติในการยึดติดกับปูนซีเมนต์ได้ โดยตรวจสอบพบธาตุชนิดต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบในปูนซีเมนต์ ได้แก่ ซิลิกอน และแคลเซียม

ในผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ และผ่านการทดสอบการยึดติดกับปูนซีเมนต์ พบว่าปริมาณธาตุซิลิกอน และแคลเซียมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตเพิ่มขึ้น ดังนั้น 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ที่ปรับปรุงบนผ้าพอลิเอสเตอร์มีผลต่อปริมาณปูนซีเมนต์ที่ติดบนผ้าพอลิเอสเตอร์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. การปรับปรุงผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ทำให้ผ้าพอลิเอสเตอร์มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น และมีผลต่อลักษณะพื้นผิวของผ้าพอลิเอสเตอร์

2. การปรับปรุงผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ทำให้ผ้าพอลิเอสเตอร์มีความเสถียรต่อความร้อนลดลง

3. ความเข้มข้นของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของผ้าพอลิเอสเตอร์ เมื่อความเข้มข้นของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 5 (น้ำหนัก/ปริมาตร) การเกิดไฮโดรลิซิสของผ้าพอลิเอสเตอร์ลดลง การปรับปรุงผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต จึงป้องกันการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของผ้าพอลิเอสเตอร์

4. การปรับปรุงผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ทำให้ผ้าพอลิเอสเตอร์มีสมบัติชอบน้ำเพิ่มขึ้น

5. การปรับปรุงผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ทำให้ผ้าพอลิเอสเตอร์ยึดติดกับปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาอิทธิพลของมอนอเมอร์ชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ในการปรับปรุงผ้าพอลิเอสเตอร์
2. ควรศึกษาโดยใช้วัสดุสิ่งทอชนิดต่าง ๆ เช่น พอลิโพรพิลีน
3. ควรศึกษาโดยใช้วัสดุสิ่งทอในรูปแบบต่าง ๆ เช่น รูปแบบการทอ อิทธิพลของเส้นใยต่อการเสริมแรงคอนกรีต

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงพาณิชย์. สถิติการค้าระหว่างประเทศของไทยตามโครงสร้างสินค้าสำคัญ ปี พ.ศ. 2553

[ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.moc.go.th>. (วันที่สืบค้น 21 มกราคม พ.ศ. 2554).

ณัฐเวช วิทิตสุทธาพร และรุ่งนภา สุกใส. การปรับปรุงสมบัติของผ้าพอลิเอสเตอร์

ด้วยพอลิเมอร์. ปรินญาณิพนธ์ปรินญาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ, 2549.

อนนท์ ป้อมประสิทธิ์. “ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคอนกรีต” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

http://www.dss.go.th/dssweb/st-d articles/file/pep_3_2545_concrete.pdf [2545].

สืบค้น 1 สิงหาคม 2551.

American Association of Textile Chemists and Colorists. **AATCC Technical Manual.**

Volume 68. North Carolina: American Association of Textile Chemists and Colorists, 1992.

Adwait, K., Pati, N. and Nayak, P.L. “Grafting Vinyl Monomer onto Polyester Fibers

III Graft Copolymerization of Methyl Methacrylate onto Poly(ethylene terephthalate)

Using Potassium Permanganate-Oxalic Acid Redox System” **Journal of Applied**

Polymer Science. 27 (1982): 2134.

Chansook, N. and Kiatkamjornwong, S. “Ce(IV)-Initiated Graft Polymerization of Acrylic

Acid onto Poly(ethylene terephthalate)” **Journal of Applied Polymer Science.**

89 (2003): 1952-1958.

Denes, F. et al. “Cementitious-Matrix Composites from SiCl₄-Plasma-Activated

Polypropylene Fibres” **Journal of Adhesion Science and Technology.**

10, 1 (1996): 61-77.

Hebeish, A., Shalaby, S.E. and Bayazeed, A.M.. “H₂O₂-Induced Graft Polymerisation of Acrylic

Acid on Poly(ethylene terephthalate) Fibers. **Journal of Applied Polymer Science.**

26 (1981 a): 3245

_____. “Graft Polymerisation of Methyl Methacrylate on Poly(ethylene terephthalate) Fibers

Using H₂O₂ as Initiator. **Journal of Applied Polymer Science.** 26 (1981 b): 3253-3269.

Horrocks, A.R. and Anand, S.C. **Handbook of Technical Textile.** New York: CRC Press, 2000.

Howard, L. and Park, M.L. “The Effect of *N,N*-Dimethylformamide and Polymer

Grafting on the Morphology of Polyester Fibers in Fabric Substrate” **Journal of**

Applied Polymer Science. 59 (1996): 1683-1698.

- Jasso, M. et al. "Grafting of Maleic Acid on the Polyester Fibres Initiated by Plasma at Atmospheric Pressure" **International Journal of Adhesion & Adhesives**. 26 (2006): 274-284.
- Kildal, K., Olafsen, K. and Stori, A. "Peroxide-Initiated Grafting of Acrylamide onto Polyethylene Surface" **Journal of Applied Polymer Science**. 44 (1992): 1893.
- Kroschwitz, J.I. **Polymer: Fibers and Textiles A Compendium**. New York: John Wiley & Sons, 1990.
- Li, V.C., Wu, H.C. and Chan, Y.W. "Effect of Plasma Treatment of Polyethylene Fibers on Interface and Cementitious Properties" **Journal of the American Ceramic Society**. 79, 3 (1996): 700-705.
- McCurdy, K.G. and Erno, B.P. "Influence of pH on the Kinetics of Hydration of Tricalcium Silicate" **Canadian Journal of Chemistry**. 49 (1971): 833.
- Mirzaden, H., Dadsetan, M. and Sharifl-Sanjani, N. "Platelet Adhesion on Laser-Induced Acrylic Acid-Grafted Poly(ethylene terephthalate)" **Journal of Applied Polymer Science**. 86, 13 (2002): 3191-3196.
- Ou, C.F., Ho M.T. and Lin, J.R. "Synthesis and Characterization of Poly(ethylene terephthalate) Nanocomposites with Organoclay" **Journal of Applied Polymer Science**. 91, 1 (2004): 140-145.
- Peled, A. "Pre-tensioning of Fabrics in Cement-Based Composites" **Cement and Concrete Research**. 37 (2007): 805-813.
- Peled, A. and Bentur, D. "Flexural Performance of Cementitious Composites Reinforced by Woven Fabrics" **Materials Civil Engineering**. 11, 4 (1999): 325-30.
- Peled, A., Sueki, S. and Mobasher, B. "Bonding in Fabric-Cement System: Effects of Fabrication Methods" **Cement and Concrete Research**. 36 (2006): 1661-1671.
- Peled, A. et al. "Influences of Textile Characteristics on the Tensile Properties of Warp Knitted Cement Based Composites" **Cement & Concrete Composites**. 30 (2008): 174-183.
- Sacak, M., Sertkaya, F. and Talu, M. "Grafting of Poly(ethylene terephthalate) Fibers with Methacrylic Acid Using Benzoyl Peroxide" **Journal of Applied Polymer Science**. 44 (1992): 1737-1742.
- Salomone, J.C. **Polymeric Materials Encyclopedia**. Volume 1. Boca Raton:

CRC Press, 1996.

- Sanchez, F. and Zhang, L. "Molecular Dynamics Modeling of the Interface Between Surface of Graphitic Structures and Calcium-Silicate-Hydrate: Interaction, Ennergies, Structure, and Dynamics" **Journal of Colloid and Interface Science**. 323, 2 (2008): 349-358.
- Sanli, O. and Pulat, E. "Solvent-Assisted Graft Copolymerization of Acrylamide on Poly(ethylene terephthalate) Films Using Benzoyl Peroxide Initiator" **Journal of Applied Polymer Science**. 47, 1 (1993): 1-6.
- Shukla, S.R. and Athalye, A.R. "Thermal Properties of 2-Hydroxyethyl Methacrylate Grafted Polypropylene" 49, 17 (1993): 2019-2024.
- Wang, J., Liu, X. and Choi, H.S. "Graft Copolymerization Kinetics of Acrylic Acid onto the Poly(ethylene terephthalate) Surface by Atmospheric Pressure Plasma Inducement" **Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics**. 46, 15 (2008): 1594-1601.
- Zeronian, S.H., Wang, Hui-Zhen and Alger, K.W. "Further Studied on the Moisture-Related Properties of Hydrolyzes Poly(ethylene terephthalate)" **Journal of Applied Polymer Science**. 41, 3 (1990): 527.
- Zhang, C., Gopalaratnam, V.S. and Yasuda, H.K. "Plasma Treatment of Polymeric Fibers for Improved Performance in Cement Matrics" **Journal of Applied Polymer Science**. 76 (2000): 1985-1996.

ภาคผนวก ก

การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย
2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ

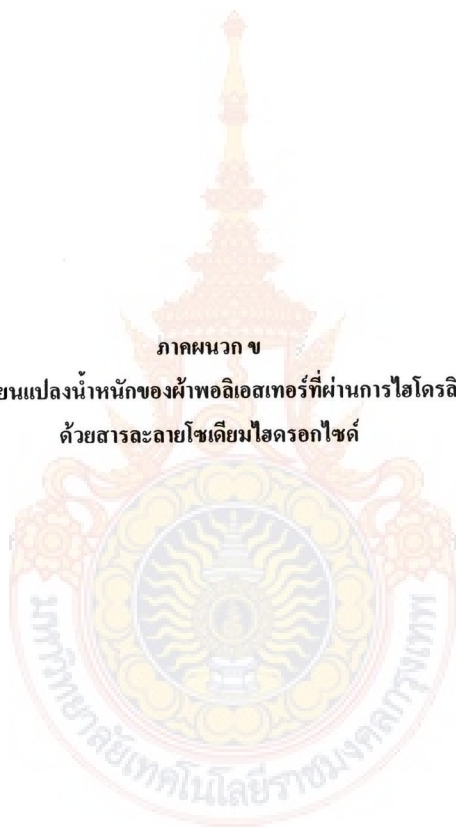


ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (HEMA) ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น ของ [HEMA]	การทดลอง ครั้งที่	น้ำหนัก เริ่มต้นของผ้า พอลิเอสเตอร์ (กรัม)	น้ำหนัก ของผ้า พอลิเอสเตอร์ หลังปรับปรุง (กรัม)	ร้อยละของ น้ำหนักผ้า พอลิเอสเตอร์ ที่เพิ่มขึ้น	ค่าเฉลี่ยของ ร้อยละของ น้ำหนักผ้า พอลิเอสเตอร์ ที่เพิ่มขึ้น
5	1	13.078	13.227	1.14	1.42
	2	13.364	13.554	1.42	
	3	12.756	12.973	1.70	
10	1	12.649	12.863	1.69	1.79
	2	12.670	12.897	1.79	
	3	12.848	13.090	1.88	
15	1	12.850	13.033	1.42	1.34
	2	12.404	12.569	1.33	
	3	12.917	13.081	1.27	
20	1	12.744	13.041	2.33	2.34
	2	12.772	13.062	2.27	
	3	12.997	13.313	2.43	
25	1	12.616	13.054	3.47	3.44
	2	12.765	13.202	3.42	
	3	13.843	14.316	3.42	
30	1	12.683	13.433	5.91	5.81
	2	12.924	13.670	5.77	
	3	13.253	14.015	5.75	

ภาคผนวก ข

การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผ้าพอลิเอสเตอร์ผ่านการไฮโดรลิซิส
ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

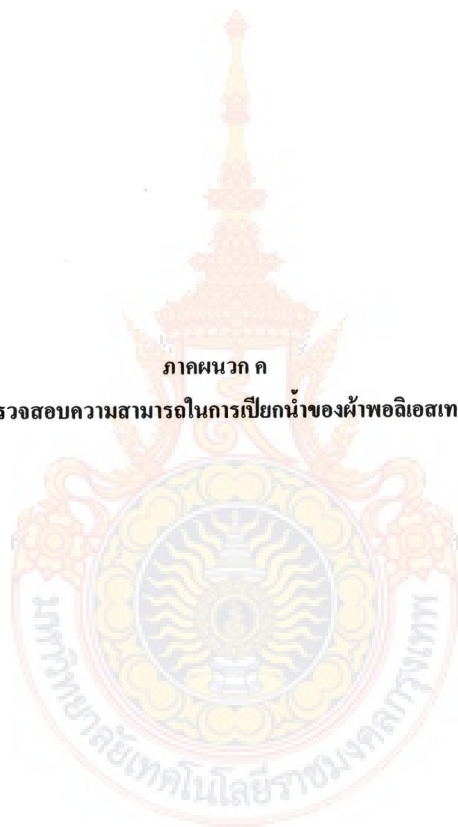


ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ความเข้มข้น ของ [HEMA]	ครั้งที่	น้ำหนัก เริ่มต้น ของผ้า พอลิเอสเตอร์ (กรัม)	น้ำหนัก ของผ้า พอลิเอสเตอร์ หลังจาก ไฮโดรลิซิส (กรัม)	ร้อยละของ น้ำหนักผ้า พอลิเอสเตอร์ ที่ลดลง	ค่าเฉลี่ย ของร้อยละ ของ น้ำหนักผ้า พอลิเอสเตอร์ ที่ลดลง
0	1	3.547	3.511	1.01	1.38
	2	3.363	3.306	1.69	
	3	3.652	3.599	1.45	
5	1	2.825	2.759	2.34	2.14
	2	2.750	2.696	1.96	
	3	2.735	2.677	2.12	
10	1	2.888	2.844	1.52	1.72
	2	3.571	3.506	1.82	
	3	3.686	3.619	1.82	
15	1	3.128	3.084	1.41	1.06
	2	3.075	3.044	1.01	
	3	2.881	2.859	0.76	
20	1	3.139	3.114	0.80	0.84
	2	3.098	3.073	0.81	
	3	3.054	3.026	0.92	
25	1	3.212	3.194	0.56	0.43
	2	2.926	2.917	0.31	
	3	3.005	2.992	0.43	
30	1	3.253	3.240	0.40	0.40
	2	3.025	3.014	0.36	
	3	3.049	3.036	0.43	

ภาคผนวก ค

การตรวจสอบความสามารถในการเปียกน้ำของผ้าพอลิเอสเตอร์



ตารางที่ 1 ระยะเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนน้ำโดยสมบูรณ์ของผ้าพอลิเอสเตอร์

ร้อยละของ ความเข้มข้นของ HEMA*	ระยะเวลาที่ผ้าพอลิเอสเตอร์เปลี่ยนน้ำโดยสมบูรณ์ (วินาที)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	15.84	15.94	16.84	16.20
5	12.36	11.61	12.21	12.06
10	9.38	8.88	9.38	9.21
15	8.72	8.81	7.90	8.47
20	6.34	6.68	7.53	6.85
25	5.64	5.77	6.68	6.03
30	5.93	6.56	5.54	6.01

* HEMA = 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต



ภาคผนวก ง

การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการย้อมติดกับปูนซีเมนต์



ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการซัสดีกับปูนซีเมนต์

ความเข้มข้น ของ [HEMA]	ครั้งที่	น้ำหนัก เริ่มต้น ของผ้า พอลิเอสเตอร์ (กรัม)	น้ำหนัก ของผ้า พอลิเอสเตอร์ หลังจาก ซัสดีกับ ปูนซีเมนต์ (กรัม)	ร้อยละของ น้ำหนักผ้า พอลิเอสเตอร์ ที่เพิ่มขึ้น	ค่าเฉลี่ย ของร้อยละ ของ น้ำหนักผ้า พอลิเอสเตอร์ ที่เพิ่มขึ้น
0	1	13.984	14.303	2.281	2.34
	2	13.615	13.951	2.468	
	3	13.984	14.303	2.281	
5	1	12.923	13.291	2.848	2.43
	2	12.469	12.737	2.149	
	3	13.572	13.883	2.291	
10	1	13.269	13.607	2.547	2.47
	2	12.897	13.197	2.326	
	3	13.269	13.607	2.547	
20	1	14.008	14.409	2.863	3.00
	2	13.055	13.456	3.072	
	3	13.141	13.543	3.059	
30	1	13.833	14.251	3.022	3.34
	2	14.433	14.937	3.492	
	3	14.209	14.707	3.505	

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวบุญศรี คู่สุขธรรม
วัน เดือน ปี เกิด	20 กรกฎาคม พ.ศ. 2507
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	
ปริญญาตรี	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปทุมวัน (2525-2528) การศึกษามหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์-เคมี)
ปริญญาโท	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (2528-2531) การศึกษามหาบัณฑิต (เคมี)
ปริญญาโท	มหาวิทยาลัยมหิดล (2536-2539) วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์)
ปริญญาเอก	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2544-2547) วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วัสดุศาสตร์)
ประวัติการทำงาน	
	2532-ปัจจุบัน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ