

# การปรับปรุง

## สมบัติทางกลของเส้นด้ายโพลีเอสเตอร์โดยใช้ตัวทำละลาย

### (Mechanical Property Improvement of PET Yarns by Solvent Setting)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา\*

ยุพา เรียรสถาพร\*\*

สมศักดิ์ จันทร์แสงดาว\*\*

สมบัติของเส้นด้ายโพลีเอสเตอร์ สามารถที่จะทำการปรับปรุงได้โดยอาศัยกระบวนการทางด้านความร้อนซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้กันมากในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้ จำเป็นต้องใช้พลังงานค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงได้มีการแสวงหาวิธีการเลือกใช้ตัวทำละลายแทนการใช้ความร้อนซึ่งจะสามารถประหยัดพลังงานได้ถึงประมาณ 1 ใน 3 ทั้งนี้ โดยอาศัยหลักการของทฤษฎีที่ต้องการให้เส้นด้ายอยู่ในสภาพที่มีค่า Glass Transition Temperature (Tg) ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง เพื่อให้โมเลกุลภายในของเส้นด้าย สามารถที่จะเกิดการเคลื่อนตัวและจัดเรียงให้ผลึกอยู่ในทิศทางตามต้องการ อันจะนำไปมีผลให้สมบัติทางกล เช่น ความเหนียว การหดตัว และการยืดตัวเปลี่ยนแปลงไป

ในการทดลองเพื่อศึกษาถึงการปรับปรุงสมบัติของเส้นด้ายโพลีเอสเตอร์ โดยใช้ตัวทำละลายนี้ได้ทำการทดลองโดยเลือกใช้เมทิลีนคลอไรด์เป็นตัวทำละลาย และเปลี่ยนแปลงตัวแปรที่สำคัญ คือ อัตราส่วนของการดึง (draw ratio) ที่ 1.00, 1.50, 1.75, และ 2.00 ขณะเดียวกันนั้นก็ทำการเปลี่ยนช่วงเวลาในการจุ่มเส้นด้ายอยู่ในตัวทำละลายที่เวลาต่างๆ กัน ดังนี้คือ 4, 7, 10 และ 20 วินาที

ผลจากการทดลองได้พบว่า ตัวทำละลายสามารถทำให้เส้นด้ายมีสมบัติบางประการเปลี่ยนไป คือ ความแข็งแรงของเส้นด้าย เมื่อผ่านการจุ่มในตัวทำละลายแล้วจะลดลง ในขณะที่ความเหนียวจะเพิ่มขึ้น ส่วนผลของเวลาในการจุ่มจะทำให้การหดตัวของเส้นด้ายลดลง เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีผลต่อสมบัติทางกลของเส้นด้าย

## 1. บทนำ

โพลีเอสเตอร์เป็นเส้นใยสังเคราะห์ที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทย ซึ่งมีโรงงานผลิตเส้นใยสังเคราะห์ดังกล่าวอยู่ เส้นใยโพลีเอสเตอร์นี้มักใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ทั้งอาจใช้ในรูปแบบของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ 100% หรือที่ผสมกับเป็นด้ายกับเส้นใยฝ้าย เส้น

ใยโพลีเอสเตอร์มีสัมประสิทธิ์ของการยืดหยุ่นตัวสูง มีความอยู่ตัวดีเหมาะสำหรับตัดเป็นเสื้อผ้านุ่มๆ อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตเส้นใยโพลีเอสเตอร์นี้ มักจะมีวิธีการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยให้ดีขึ้น ด้วยกระบวนการที่เรียกว่าการดึงในขณะร้อน หรือ hot drawing ทั้งนี้เพื่อให้โมเลกุลของ

\* รองผู้อำนวยการ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

\*\* ดิถีเด (ประเทศไทย) จำกัด 55/25 หมู่ 13 นิคมอุตสาหกรรมนวนคร ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง ปทุมธานี 12120

โพลีเอสเตอร์ภายใต้ความร้อนที่สูงกว่า  $T_g$  ได้รับการจัดเรียงตัวให้ผลึกมีทิศทางเดียวกัน โดยอาศัยแรงกระทำจากภายนอก คือ การดึงเข้าช่วยกระบวนการนี้ทำให้เส้นใยโพลีเอสเตอร์ มีสมบัติในด้านของความแข็งแรงสูง การหดตัวลดลงได้เส้นใยที่มีความยาวเพิ่มขึ้น ในขณะที่เส้นผ่าศูนย์กลางของพื้นที่ลดลง จุดที่นำสังเกตก็คือ จะต้องทำการดึงที่อุณหภูมิสูงกว่า  $T_g$  ของเส้นใยโพลีเอสเตอร์เท่านั้น ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในกระบวนการดังกล่าวก็จะมากขึ้น เมื่อครั้งที่เกิดวิกฤตการณ์น้ำมันในปี 1973 ก็ได้มีผู้พยายามหาวิธีการอื่นที่จะหลีกเลี่ยงการใช้พลังงานจากน้ำมัน ซึ่งวิธีการหนึ่งที่สามารถทำได้ คือ การอาศัยตัวทำละลายไปช่วยลด  $T_g$  ให้กับโพลีเอสเตอร์ให้ต่ำลงเพื่อที่จะทำการดึงโดยไม่ต้องอาศัยความร้อนเข้าช่วย

จากการศึกษาที่ผ่านมา ได้มีผู้ค้นพบว่า ตัวทำละลาย (Solvent) ที่เหมาะสมคือ เมทิลีนคลอไรด์ ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ) สามารถที่จะลด  $T_g$  ของโพลีเอสเตอร์ลงได้ ซึ่งจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกกันว่า Solvent-Induced Crystallization (SINC) หรือ Liquid-Induced Crystallization ขึ้น [1,3,4] อันมีผลที่จะทำให้สามารถทำการดึงเส้นใยโพลีเอสเตอร์ภายใต้อุณหภูมิห้อง แทนที่จะต้องอาศัยความร้อนซึ่งจะให้ผลออกมาในลักษณะใกล้เคียงกัน แต่จะช่วยประหยัดพลังงานได้ถึงประมาณ 1 ใน 3

กระบวนการใช้ตัวทำละลายนี้ มักใช้เพื่อวัตถุประสงค์ทั้งในด้านของการปรับปรุงผิวสัมผัสของเส้นด้ายโพลีเอสเตอร์ [5] และสมบัติทางกลของมันไปพร้อม ๆ กัน ทั้งนี้เพราะตัวทำละลายจะไปทำให้ผิวของโพลีเอสเตอร์มีความพรุน อันเนื่องมาจากการแพร่ของตัวทำละลายเข้าสู่โพลีเอส-

เตอร์ ทำให้การหยิกงอของเส้นใยเป็นไปอย่างถาวร และเส้นใยมีความแข็งแรงสูงขึ้น อันเนื่องมาจากการจัดเรียงตัวของโมเลกุล ในเส้นใยดีขึ้น [2]

## 2. วัตถุประสงค์และการทดลอง

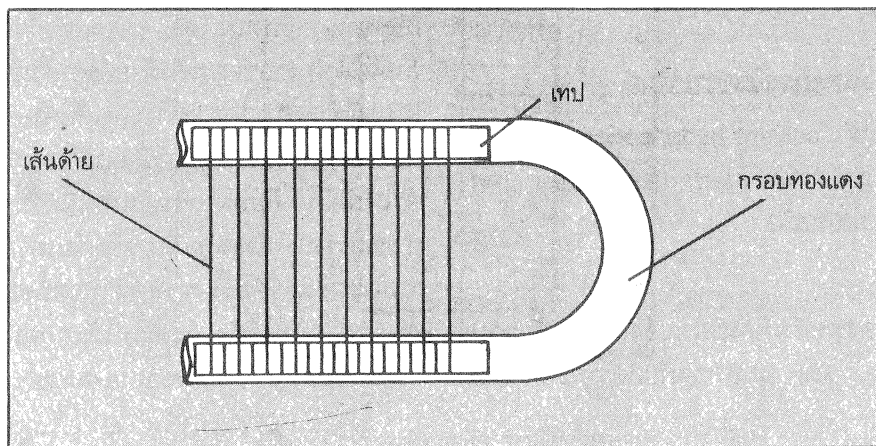
### 2.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้

เส้นด้ายโพลีเอทิลีนเทเรพทาเลท (PET) เป็นเส้นด้ายที่ปั่นมาจากเส้นใยยาว (filament) ซึ่งสังเคราะห์จากปฏิกิริยาระหว่างกรดเทเรพทาลิก และเอทิลีนไกลคอล แล้วจึงผ่านกระบวนการ melt-spinning ให้ได้เส้นใยออกมา ในเส้นด้าย 1 เส้นจะประกอบด้วยเส้นใยจำนวน 30 เส้น นำมาผ่านการดึงเพื่อให้โครงสร้างภายในเกิดเป็นผลึกบางส่วน (Partially Oriented Yarn หรือ POY) โดยมีความละเอียด 125 denier เส้นด้ายที่ใช้ในการทดลองนี้ผลิตโดยบริษัท โทเรไนลอนไทย จำกัด (Toray Nylon Thai, TNT) สำนักงานอยู่ที่ชั้น 10 อาคารนิยะ เลขที่ 62 ถนนสีลม กรุงเทพฯ

เมทิลีนคลอไรด์ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่เลือกใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ เป็นชนิด reagent grade โดยถูก stabilized ด้วย 2-เมทิล-2-บิวทีน (ประมาณ 20 ppm ต่อเมทิลีนคลอไรด์ 1 ลิตร) ผลิตโดยบริษัท Merck

### 2.2 การทดลอง

เส้นด้ายโพลีเอทิลีนเทเรพทาเลท (PET) จะนำไปทำการตีเกลียวและดึง [5] การดึงเส้นด้ายนี้จะกระทำพร้อมกับการเตรียมตัวอย่างก่อนที่จะนำไปจุ่มลงในสารละลายเมทิลีนคลอไรด์ กล่าวคือ เส้นด้ายเมื่อผ่านการตีเกลียวมา



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างเส้นด้ายที่ผ่านการดึงและยึดติดกับกรอบทองแดงเรียบร้อยแล้ว

แล้วจะถูกนำมาดึงโดยอาศัยการแขวนน้ำหนักที่คำนวณได้จากอัตราส่วนการดึงที่ต้องการ (การทดลองนี้มี 4 ระดับ คือที่อัตราส่วนการดึง 1.00, 1.50, 1.75, และ 2.00) ทั้งนี้อัตราส่วนการดึงคำนวณได้จากสูตร

$$\text{อัตราส่วนการดึง (draw ratio)} = \frac{l - l_0}{l_0}$$

โดยที่  $l$  คือ ความยาวของเส้นด้ายที่ถูกดึงออก

$l_0$  คือ ความยาวของเส้นด้ายก่อนถูกดึง

ในกรณีที่อัตราส่วนการดึงมีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่า เส้นด้ายนั้นไม่ได้ผ่านการดึง

เส้นด้ายที่ผ่านการดึงทั้งหมดจะถูกนำไปยึดติดกับกรอบทองแดง (ดังแสดงในรูปที่ 2.1) เพื่อรักษาสภาพของเส้นด้ายเอาไว้

จากนั้นจึงนำมาจุ่มลงในอ่างที่บรรจุสารละลายเมทริลีนคลอไรด์ ในเวลาต่างๆ กันคือ 4, 7 10, และ 20 วินาที ภายใต้อุณหภูมิ หลังจากจุ่มครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว นำเส้นด้ายปล่อยให้แห้งในตู้ควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าเส้นด้ายแห้งสนิท แล้วจึงจะนำไปทำการทดสอบสมบัติอื่นๆ ต่อไป

### 2.3 การทดสอบสมบัติต่างๆ

2.3.1 ความละเอียดของเส้นด้าย วัดโดยใช้หน่วยเป็น denier ซึ่งก็คือน้ำหนักของเส้นด้าย (มีหน่วยเป็นกรัม) ในความยาว 9,000 เมตร ทำการทดลองด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักเส้นด้าย ซึ่งวัดให้ได้ความยาว 9 เมตร โดย

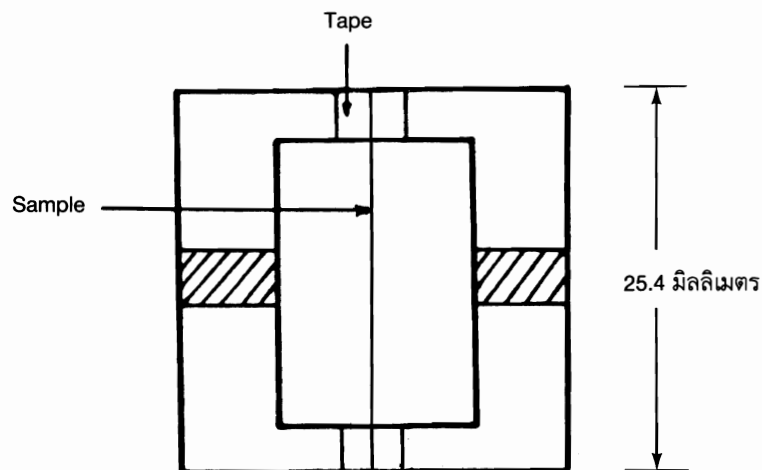
ใช้เครื่องชั่งที่บอกค่าละเอียดถึงตำแหน่งทศนิยมที่สี่ และคำนวณหาค่าเฉลี่ยจากการทดลองรวมทั้งสิ้น 6 ครั้ง

2.3.2 สมบัติเชิงกล การทดสอบสมบัติเชิงกลของเส้นด้าย ทำทั้งเส้นด้ายที่ไม่ได้ผ่านการทำ solvent texturing เปรียบเทียบกับเส้นด้ายที่ผ่านการทำ solvent texturing แล้ว โดยมีขั้นตอนการทดลองเหมือนกันคือ

เส้นด้ายที่จะทำการทดสอบ ต้องนำไปติดเข้ากับกรอบสี่เหลี่ยมกระดาษแข็ง (ตามรูปที่ 2.2) ซึ่งจะทำให้ระยะห่างของการทดลองดึงเส้นด้ายให้ขาดจากกัน (gauge length) เป็น 25.4 มิลลิเมตร ทั้งนี้จะต้องควบคุมแรงดึงเบื้องต้น (initial loading) ขณะที่ทำการยึดติดเส้นด้ายเข้ากับกรอบด้วยน้ำหนักที่คงที่ (3.5 กรัม) แต่แต่ละครั้งจะเตรียม 15 ตัวอย่าง เพื่อคำนวณค่าเฉลี่ยต่อไป

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบนั้นใช้เครื่อง Instron Universal Testing Instrument, model 1026 โดยควบคุมความเร็วในการดึงให้คงที่ ที่ 50 มิลลิเมตรต่อนาที ผลที่ได้จากการทดลองอ่านได้จากกราฟที่บันทึกจากเครื่อง Instron แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่ใช้ดึงเส้นด้ายและการยืดตัวของเส้นด้าย โดยน้ำหนักที่ใช้ดึงมีหน่วยเป็นกรัม ซึ่งสามารถนำไปคำนวณเป็นค่า Tenacity ซึ่งมีหน่วยเป็นกรัมต่อเดเนียร์ (g/den.) ดังนั้น Elastic Modulus (E) ก็จะสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$E = \frac{\text{Tenacity (g./den.)}}{\text{Elongation (mm./mm.)}}$$



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างเส้นด้ายที่ติดอยู่บนกรอบกระดาษแข็ง เพื่อจะนำไปทดสอบแรงดึงต่อไป

### 3. ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล

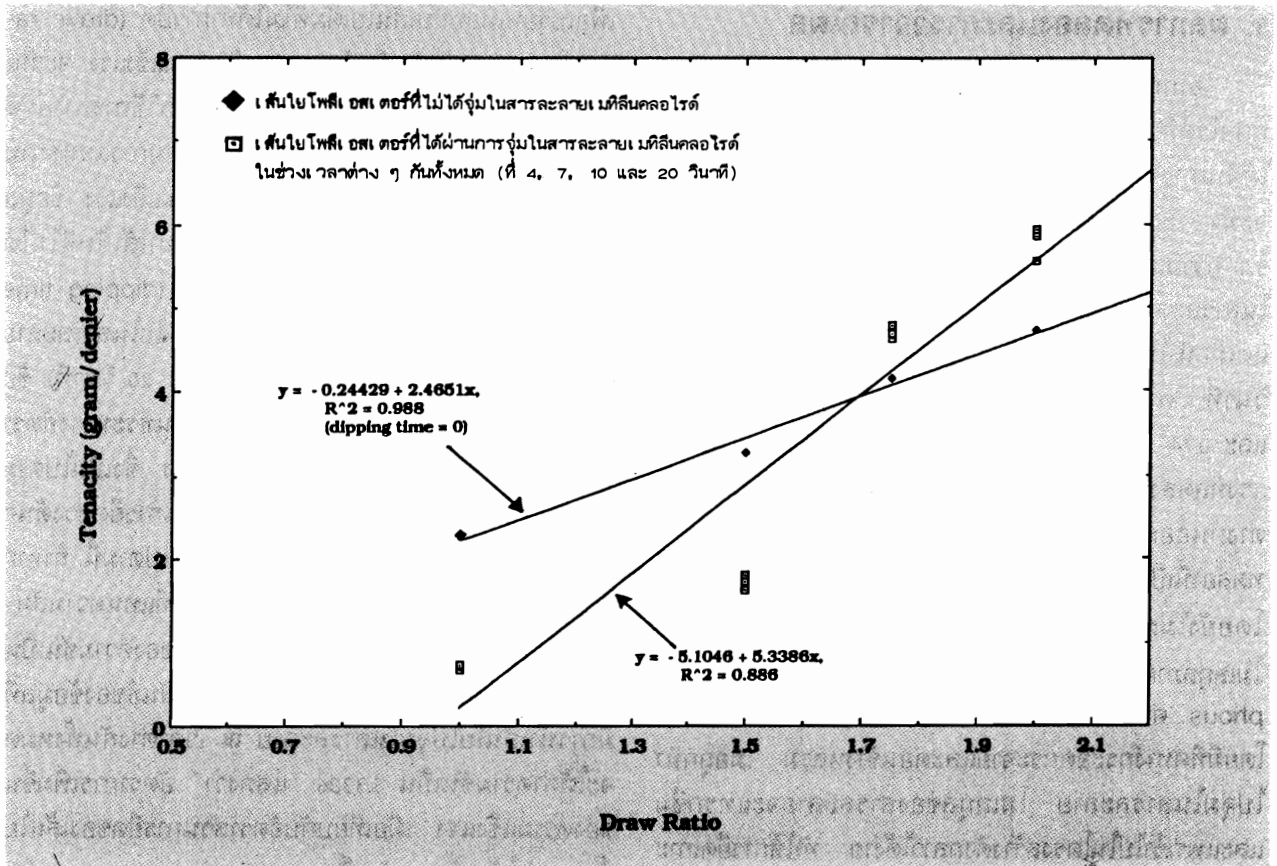
จากการทดลองจุ่มเส้นใยไว้ในสารละลายเมทิลีน-คลอไรด์ที่เวลาต่าง ๆ กัน เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการจุ่ม ปรากฏว่าเส้นใยเมื่อผ่านการจุ่มในสารละลาย จะมีความแข็งแรงลดลง ดังผลที่ได้สรุปเอาไว้ในตารางที่ 3.1 ความแข็งแรงของเส้นใย (Tenacity) ที่ไม่ผ่านการจุ่มในสารละลายจะมีค่า 2.29 gram per denier (g./den.) แต่เมื่อนำไปจุ่มที่ช่วงเวลาต่าง ๆ กัน คือ 4, 7, 10 และ 20 วินาที ความแข็งแรงจะลดลงมาเป็น 0.72, 0.67, 0.74, และ 0.74 g./den. ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงที่ลดลงนั้น ในช่วงเวลาในการจุ่มที่ต่างกันไม่ได้ให้ผลที่ต่างกันออกมาด้วย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเส้นใยที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเส้นใยชนิด POY (Partially Oriented Yarn) โดยยังไม่ผ่านกระบวนการยืดตัวมาอย่างเต็มที่ ดังนั้น โมเลกุลภายในของเส้นใย จึงประกอบด้วยส่วนที่เป็น amorphous ค่อนข้างมากที่มีการกระจายผสมกับส่วนที่เป็นผลึก โดยมีทิศทางการจัดกระจายและค่อนข้างหลวม เมื่อถูกนำไปจุ่มในสารละลาย โมเลกุลของสารละลายจะแทรกซึมและแพร่เข้าไปในโครงสร้างดังกล่าวได้ง่าย ทำให้การยืดเกาะระหว่างกันของโมเลกุลลดน้อยลง

อย่างไรก็ดี เมื่อทำการทดลองในลักษณะเดียวกันนี้ แต่เพิ่มกระบวนการในการยืดเส้นใยเข้าไปด้วยโดยเปลี่ยนอัตราส่วนการยืดตัว (draw ratio) ที่ 1.50, 1.75 และ 2.00

เพื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยเดิมที่ไม่ได้ทำการยืด (draw ratio เป็น 1) ผลที่ได้ เมื่อนำมาพลอตกับความแข็งแรง จะเห็นได้จาก รูปที่ 3.1 ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ โดยการใช้ regression analysis เพื่อหาสมการแทนความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน การยืด และความแข็งแรง ข้อมูลในรูปที่ 3.1 ประกอบด้วยชุดที่ทดสอบจากเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการจุ่มในสารละลายเมทิลีนคลอไรด์ (dipping time = 0) และข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการจุ่มเส้นใยในสารละลาย ดังกล่าว (dipping time ที่ 4, 7, 10 และ 20 วินาที) ข้อมูลทั้งสองชุดต่างก็สามารถแทนความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการยืด และความแข็งแรงด้วยเส้นตรง ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของการยืดเส้นใย ในช่วงอัตราส่วนการยืดช่วงต้นๆ อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะไม่เป็นไปตามนี้ ถ้าหากมีการยืดที่อัตราส่วนสูงๆ ขึ้นไป เส้นตรงที่แทนความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ไม่ได้จุ่มในสารละลายมีค่าของความชันเป็น 2.4651 ในขณะที่เส้นตรงที่แทนความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีการนำเส้นใยไปจุ่มในสารละลาย ณ เวลาต่างกันทั้งหมด จะให้ค่าความชันเป็น 5.3386 แสดงว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรง เมื่อเทียบกับอัตราส่วนการยืดของเส้นใยนั้นถูกทำให้สูงขึ้น อันเป็นการแสดงว่าสารละลายเมทิลีนคลอไรด์สามารถที่จะไปช่วยเร่งให้ความแข็งแรงของเส้นใยเพิ่มเร็วขึ้นและสิ่งที่น่าสนใจก็คือ ความแข็งแรงของเส้นใยที่ผ่านการจุ่มในสารละลายเมทิลีนคลอไรด์ ในอัตราส่วน

ตารางที่ 3.1 ผลของสารละลายเมทิลีนคลอไรด์ที่มีต่อความแข็งแรง และความเหนียวของเส้นใยเมื่อทำการทดลองในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน เปรียบเทียบกับเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการจุ่มในสารละลาย (เวลาในการจุ่มเป็น 0 วินาที)

เวลาในการจุ่มเส้นใยในสารละลายเมทิลีนคลอไรด์ (วินาที)	ความแข็งแรง (g./den)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	Elastic Modulus (g./den)
0	2.29	155.04	1.48
4	0.72	83.11	0.88
7	0.67	75.10	0.90
10	0.74	73.58	1.00
20	0.74	81.98	0.90

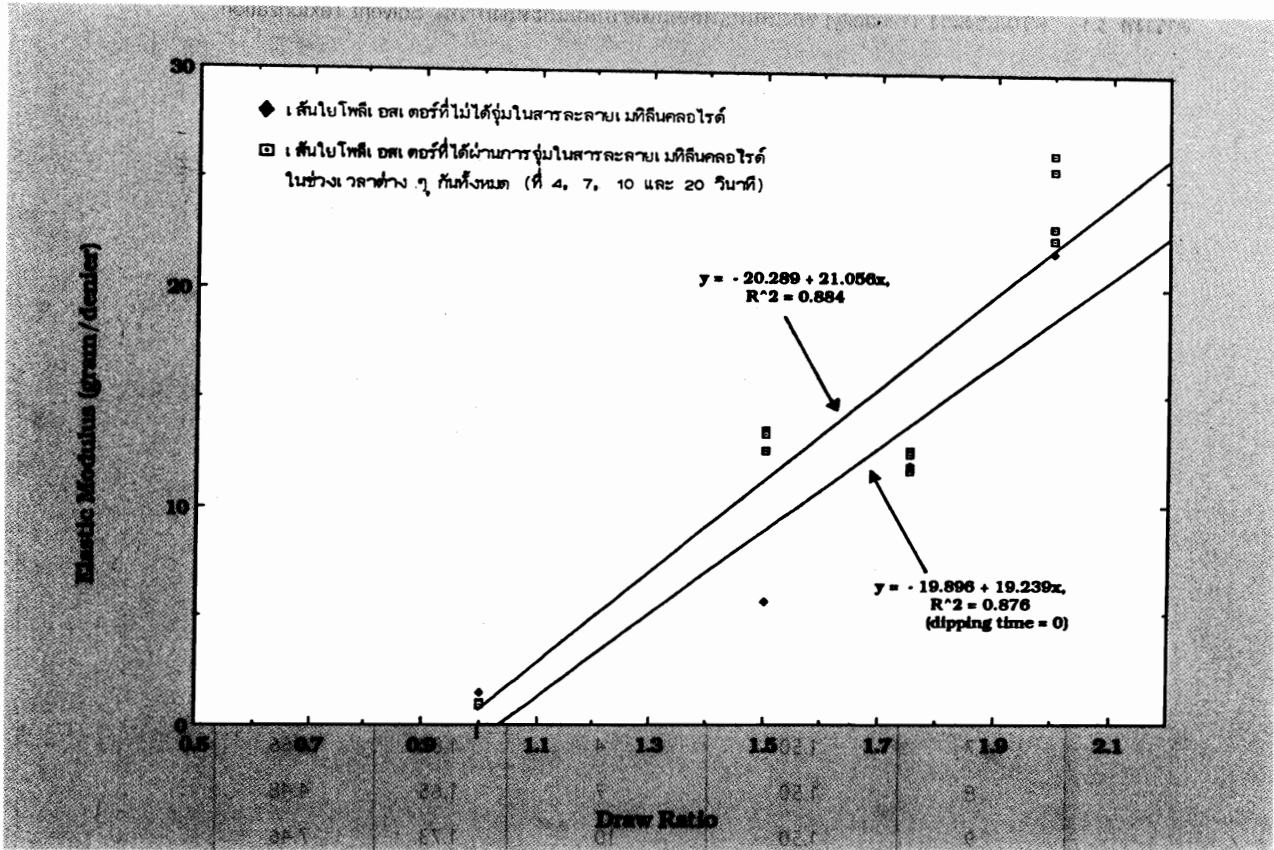


รูปที่ 3.1 ผลของการยัดเส้นใยที่มีต่อความแข็งแรง เปรียบเทียบระหว่างเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการจุ่มในสารละลายเมทิลีน-คลอไรด์ (dipping time = 0) กับเส้นใยที่ถูกนำไปจุ่มในสารละลายดังกล่าว

การยัดที่ต่ำกว่า 1.72 จะมีค่าต่ำกว่าเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการจุ่มในสารละลาย แต่หลังจากจุดนั้นขึ้นไปความแข็งแรงจะกลับสูงกว่าและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้จากกล่าวได้ว่า ถ้าหากนำเส้นใยโพลีเอสเตอร์ไปจุ่มในสารละลายเมทิลีน-คลอไรด์โดยไม่ได้ทำการยัดเส้นใยในอัตราส่วนที่สูงพอแล้ว สารละลายเมทิลีนคลอไรด์นอกจากจะไปเหนียวทำให้โมเลกุลภายในของเส้นใยแตกพวกลึกแล้ว ตัวสารละลายเองก็แทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างด้วย ทำให้แรงยึดเกาะระหว่างโมเลกุลแม้จะมีผลึกเพิ่มขึ้น ก็จะมีแรงยึดเกาะต่ำลง ทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยต่ำลง เมื่อเทียบกับเส้นใยที่ไม่ผ่านการจุ่ม แต่ถ้าหากเพิ่มอัตราส่วนการยัดตัวขึ้นไปมากพอที่จะเห็นจุดดังกล่าว จะเห็นว่าผลึกที่เกิดจากการเหนียวหน้าของตัวทำละลายนั้นจะจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ เกิดความแข็งแรงที่เสริมกันไปในทิศทางเดียวกัน ความแข็งแรงของเส้นใยจึงเพิ่มมากขึ้น

เมื่อนำผลของการยัดตัวของเส้นใย (Elongation) เข้ามาคำนวณด้วย โดยคำนวณสมบัติของเส้นใยในรูปของ

(Elastic Modulus) หน่วยเป็น gram per denier (g/den.) เพื่อดูความเหนียวของเส้นใยนั้น ผลการคำนวณได้นำเสนอเอาไว้ตามรูปที่ 3.2 ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับผลที่ได้ในด้านความแข็งแรง ความสัมพันธ์ระหว่าง Draw Ratio และ Elastic Modulus ยังสามารถแทนได้ด้วยเส้นตรงเหมือนเดิม แต่สิ่งที่น่าสังเกตก็คือ ความชันของเส้นตรงทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน (19.239 ของเส้นใยที่ไม่ผ่านการจุ่มในสารละลาย เปรียบเทียบกับ 21.056 ของเส้นใยที่ผ่านการจุ่มสารละลายแล้ว) จึงมีลักษณะเกือบจะขนานกันไป โดยเส้นตรงที่แทนความสัมพันธ์ของ Draw Ratio และ Elastic Modulus สำหรับเส้นใยที่ผ่านการจุ่มในสารละลายจะอยู่สูงกว่าเส้นตรงที่แทนความสัมพันธ์เดียวกันของเส้นใยที่ไม่ผ่านการจุ่มในสารละลาย แสดงว่าสารละลายเมทิลีนคลอไรด์เนื่องจากไปเหนียวทำให้เกิดผลึกขึ้นภายในโครงสร้างของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันก็จะทำให้เส้นใยดังกล่าวมีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยที่ไม่ผ่านการจุ่มในสารละลายด้วย



รูปที่ 3.2 ผลของการยัดเส้นใยที่มีต่อค่า Elastic Modulus เปรียบเทียบระหว่างเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการจุ่มในสารละลายเมทิลีนคลอไรด์ (dipping time = 0) กับเส้นใยที่ถูกนำไปจุ่มในสารละลายดังกล่าว

#### 4. สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ผลของการทดลองทั้งหมด สรุปได้ว่าตัวทำละลายเมทิลีนคลอไรด์ นอกจากจะสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงผิวสัมผัสของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ได้ และทำให้การหดตัวของเส้นใยมีค่าลดลง [5] แล้ว ยังมีผลต่อสมบัติทางกลของเส้นใยด้วย คือ เมื่อนำกระบวนการยัดตัวเข้ามาทำพร้อมกับการจุ่มเส้นใยในตัวทำละลายนั้น จะทำให้ผลึกที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของตัวทำละลายมีการจัดเรียงตัวกันเป็นระเบียบในทิศทางเดียวกัน ทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามก็ดี อัตราส่วนการยัดตัวที่

จะทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นนั้นจะต้องทำการยัดให้มีอัตราส่วนการยัดตั้งแต่ 1.72 ขึ้นไป จากผลการทดลองก็ยังคงชี้ให้เห็นว่าเส้นใยที่ผ่านการจุ่มในตัวทำละลายเมทิลีนคลอไรด์แล้วนั้นจะมีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการจุ่มในตัวทำละลาย

#### 5. ภาคผนวก

ตารางแสดงผลที่ได้จากการทดลองตามที่ได้นำไปทำการวิเคราะห์ และวิจารณ์ในหัวข้อที่ 3

ตารางที่ 5.1 ความแข็งแรง (Tenacity) ของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ก่อนและหลังการทำ Solvent Texturization

Batch Number	Condition		Tenacity (g/den.)	
	draw ratio	dipping time (sec)	$\bar{X}$	% C.V.
1	1.00	0	2.29	3.92
2	1.00	4	0.72	7.62
3	1.00	7	0.67	10.52
4	1.00	10	0.74	3.06
5	1.00	20	0.74	10.86
6	1.50	0	3.28	3.87
7	1.50	4	1.80	4.66
8	1.50	7	1.65	4.48
9	1.50	10	1.73	7.46
10	1.50	20	1.62	12.08
11	1.75	0	4.14	3.72
12	1.75	4	4.63	4.24
13	1.75	7	4.74	4.31
14	1.75	10	4.68	3.75
15	1.75	20	4.79	5.17
16	2.00	0	4.72	3.38
17	2.00	4	5.93	2.13
18	2.00	7	5.56	2.46
19	2.00	10	5.86	2.22
20	2.00	20	5.93	2.94

ตารางที่ 5.2 การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at Break) ของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ก่อนและหลังการทำ Solvent Texturization

Batch Number	Condition		Breaking Elongation (%)	
	draw ratio	dipping time (sec)	$\bar{x}$	% C.V.
1	1.00	0	155.04	6.74
2	1.00	4	83.11	11.19
3	1.00	7	75.10	13.63
4	1.00	10	73.58	8.21
5	1.00	20	81.98	14.82
6	1.50	0	58.86	10.67
7	1.50	4	13.47	13.70
8	1.50	7	12.53	11.75
9	1.50	10	13.86	13.45
10	1.50	20	12.36	19.11
11	1.75	0	34.87	7.28
12	1.75	4	36.70	6.65
13	1.75	7	40.68	7.83
14	1.75	10	37.98	10.08
15	1.75	20	40.72	6.49
16	2.00	0	22.10	12.91
17	2.00	4	26.83	9.59
18	2.00	7	21.35	8.63
19	2.00	10	23.16	9.49
20	2.00	20	26.27	10.50



ตารางที่ 5.3 ค่า Elastic Modulus ของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ก่อนและหลังการทำ Solvent Texturization

Batch Number	Condition		Elastic Modulus (g/den.)	
	draw ratio	dipping time (sec)	$\bar{x}$	% C.V.
1	1.00	0	1.48	5.40
2	1.00	4	0.88	5.50
3	1.00	7	0.90	10.93
4	1.00	10	1.00	6.64
5	1.00	20	0.90	10.67
6	1.50	0	5.61	8.08
7	1.50	4	13.49	9.90
8	1.50	7	13.33	13.62
9	1.50	10	12.63	13.07
10	1.50	20	13.34	13.28
11	1.75	0	11.93	5.99
12	1.75	4	12.63	4.01
13	1.75	7	11.69	7.37
14	1.75	10	12.43	8.84
15	1.75	20	11.84	10.35
16	2.00	0	21.64	12.06
17	2.00	4	22.29	10.07
18	2.00	7	26.21	8.48
19	2.00	10	25.46	8.20
20	2.00	20	22.77	9.79

### เอกสารอ้างอิง

1. Desai, A.B. and Garth L.Wilkes, Solvent-Induced Crystallization of Polyethylene Terephthalate, *J.Polym. Sci: Symposium No.46*, 291-319 (1974)
2. Gupta, V.B. and M.Kumar, Change in Structure of Polyethylene Terephthalate Yarn on Texturing, *Textile Res. J.*, vol.45, 382-388 (1975)
3. Lawton, E.L. and D.M. Cates, Liquid-Induced Crystallization of Poly (Ethylene Terephthalate), *J.Appl.Polym. Sci.*, vol.63, 899-909 (1969)
4. Sengupta, A.K., Studies on Texturing with The Aid of Solvents, *Indian J.Textile Res.*, vol.1, 53-59 (1979)
5. วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา, ยุพา เขียวสภพร, และสมศักดิ์ จันทร์แสงดาว การปรับปรุงผิวสัมผัสของเส้นด้ายโพลีเอสเตอร์โดยใช้ตัวทำละลาย, วารสารโลหะ วัสดุ และแร่, ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 สิงหาคม 2533, 71-78.