

คอมโพสิตจำลองจากพอลิเอทิลีนที่เสริมแรงด้วยพอลิเมอร์ชนิดเดียวกัน

(Study of polyethylene self-reinforced model composite)

จุฬารัตน์ ปรัชญาวราร วัชรานันท์เพียรและวิชัย กิจเจริญวงศ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับคอมโพสิตจำลองที่ผลิตขึ้นจากพอลิเอทิลีนและนำมาเสริมแรงด้วยพอลิเมอร์ชนิดเดียวกัน พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำซึ่งเป็นเมทริกซ์นำมาเสริมแรงด้วยเส้นใยเส้นเดียวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเพื่อผลิตเป็นคอมโพสิตจำลอง เส้นใยนั้นผลิตได้จากวิธีการปั่นแบบหลอมเหลวและคอมโพสิตเตรียมได้จากเทคนิคการอัดรีดซึ่งสามารถลดการหดตัวของเมทริกซ์ลงได้ จากนั้นทำการศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อนและสัณฐานวิทยาของเส้นใยและคอมโพสิตที่เตรียมได้ จากการศึกษาพบว่าความแข็งแรงเฉือนระหว่างพื้นผิวของคอมโพสิตที่ทดสอบจากวิธีการดึงเส้นใยออกนั้นมีค่าสูงกว่าค่าความแข็งแรงดึงของเส้นใย

Abstract

This research has been focused on polyethylene self-reinforced model composite. Low-density polyethylene matrix was reinforced by a single high-density polyethylene fibre in order to produce a model composite. The fibre was obtained by melt spinning and the composite was prepared by hot-press technique that could reduce matrix shrinkage. The mechanical property, thermal property and morphology of both the prepared fibre and composite were then investigated. It was found that the interfacial shear strength of the composite from the fibre pull-out test was higher than the tensile strength of the fibre.

คำสำคัญ (Keywords): คอมโพสิตจำลอง (Model composite) พอลิเอทิลีน (Polyethylene) สมบัติเชิงกล (Mechanical property)

1. บทนำ

เส้นใยพอลิเอทิลีนเป็นเส้นใยที่มีความหนาแน่นต่ำและมีค่าความแข็งแรงดึงจำเพาะที่สูงจึงเหมาะที่จะนำเส้นใยชนิดนี้มาใช้เป็นส่วนเสริมแรงในเมตริกซ์พอลิเมอร์ ซึ่งเมตริกซ์ที่นิยมใช้กัน ได้แก่ เรซินอีพอกซี พอลิเอสเตอร์ เป็นต้น [1] เส้นใยพอลิเอทิลีนจะช่วยให้เกิดสมบัติที่ดีแก่เมตริกซ์ แต่ปัญหาแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพื้นผิวของเส้นใยพอลิเอทิลีนและเมตริกซ์ยังมีค่าต่ำ ดังนั้นจึงเกิดมีแนวความคิดที่จะผลิตพอลิเมอร์คอมโพสิตจากวัสดุชนิดเดียวกัน โดยส่วนที่เป็นเมตริกซ์และส่วนเสริมแรงนั้นทำมาจากวัสดุชนิดเดียวกัน [2-4] ความคิดนี้ได้รับการพัฒนาเพื่อที่จะนำมาปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยพอลิเอทิลีนเสริมแรงในพอลิเอทิลีนเมตริกซ์ในคอมโพสิต

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าการผลิตคอมโพสิตในระบบนี้โดยวิธีการหล่อแบบ (Casting) ที่ยังคงพบปัญหาการหดตัวของเมตริกซ์ [2-4] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาการผลิตคอมโพสิตโดยเทคนิคการขึ้นรูปแบบอัดร้อน (Hot-press technique) ซึ่งคาดว่าจะลดปัญหาการหดตัวของเมตริกซ์ลงได้ และจะศึกษาแรงยึดเหนี่ยวในคอมโพสิตระหว่างส่วนเสริมแรงและเมตริกซ์ ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลยังไม่พบรายงานเกี่ยวกับการศึกษาแรงยึดเหนี่ยวของคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยพอลิเมอร์ชนิดเดียวกันนี้แต่อย่างใด

คอมโพสิตที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้เป็นคอมโพสิตจำลองซึ่งคือคอมโพสิตที่เสริมแรงโดยใช้เส้นใยเพียงหนึ่งเส้นและเป็น

คอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงและเมตริกซ์มาจากพอลิเอทิลีน โดยใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเป็นส่วนเสริมแรงและใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเป็นเมตริกซ์ ทำการผลิตเป็นคอมโพสิตโดยใช้เทคนิคการอัดร้อน จากนั้นทำการทดสอบสมบัติเชิงกลสมบัติทางความร้อนและสถานะวิธานของเส้นใยและคอมโพสิตที่ผลิตได้ โดยจะเน้นไปที่การหาค่าความแข็งแรงเฉือนระหว่างวัฏภาคโดยใช้เทคนิคการดึงเส้นใยออก (Fibre pull-out test) [1]

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมเส้นใย

นำเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (เกรด GA 3750, TPI) มาหลอมเหลวโดยใช้เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหมุนเดียว จากนั้นทำการอัดรีดเป็นเส้นใยโดยใช้หัวอัดรีดเส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 มิลลิเมตร โดยใช้อุณหภูมิในช่วง 160-190 องศาเซลเซียสและความเร็วในการปั่นเก็บต่าง ๆ กัน ได้แก่ 5.0 7.4 และ 14.1 เมตร/นาที ตามลำดับ

2.2 การเตรียมเมตริกซ์

ทำการอัดร้อนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (เกรด D 2024, TPI) ให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องอัดรีด ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 นาที [5]

2.3 การเตรียมคอมโพสิต

นำเส้นใยพอลิเอทิลีนจำนวน 1 เส้นที่ได้จากข้อ 2.1 วางระหว่างแผ่นเมตริกซ์ที่เตรียมได้ในข้อ 2.2 จำนวน 2 แผ่นซึ่งประกบกันอยู่

จากนั้นนำเข้าเครื่องอัดรีดเพื่อผลิตเป็นคอมโพสิต โดยใช้สภาวะเช่นเดียวกับข้อ 2.2

2.4 การทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของเส้นใยและคอมโพสิต

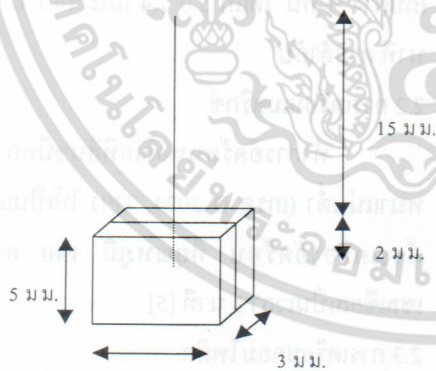
เส้นใยและคอมโพสิตที่เตรียมได้จะนำมาทำการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

- สมบัติเชิงกล (ASTM D368) โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (LR30K: LLOYD Instrument)

- สมบัติทางความร้อน โดยใช้ Differential Scanning Calorimeter (DSC 822)

- สันฐานวิทยา โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (S260 Leica Cambridge) และกล้องจุลทรรศน์ (Olympus B-061)

นอกจากนี้การทดสอบความแข็งแรงเฉือนระหว่างเส้นใยและเมตริกซ์ของคอมโพสิตทำได้โดยเทคนิคการดึงเส้นใยออก โดยชิ้นงานที่เตรียมได้จะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1 [6] นำชิ้นงานที่ได้มาทดสอบหาค่าความแข็งแรงเฉือนโดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล



รูปที่ 1 ชิ้นงานที่ใช้สำหรับการทดสอบความแข็งแรงเฉือนระหว่างเส้นใยและเมตริกซ์ โดยใช้เทคนิคการดึงเส้นใยออก [6]

3. ผลการทดลอง

3.1 สมบัติของเส้นใย

3.1.1 สมบัติเชิงกล

จากการอัดรีดเส้นใยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงโดยใช้ความเร็วในการปั่นเก็บต่าง ๆ กัน พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วในการปั่นเก็บทำให้ค่ามอดูลัส 5% และความแข็งแรงดึงของเส้นใยมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดต่ำลง ดังแสดงใน ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติเหล่านี้เกิดขึ้นเนื่องจากการเพิ่มความเร็วในการปั่นเก็บเป็นการทำให้โมเลกุลของเส้นใยมีการจัดเรียงตัวในทิศทางของแรงดึงเนื่องจากการปั่นเก็บเพิ่มขึ้น เส้นใยจึงสามารถรับแรงในแนวแรงดึงได้เพิ่มขึ้น [7] โดยทั้งค่ามอดูลัสและความแข็งแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 37 ส่วนค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลงประมาณร้อยละ 19 เมื่อความเร็วในการปั่นเก็บเพิ่มขึ้นจาก 5.0 เป็น 14.1 เมตร/นาที

ตารางที่ 1 สมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ได้จากความเร็วในการปั่นเก็บ

ความเร็วในการปั่น เก็บ (เมตร/นาที)	มอดุลัส 5% (MPa)	ความแข็งแรงดึง (MPa)	ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%)
5.0	114 ± 33	38 ± 3	1028 ± 124
7.6	125 ± 37	48 ± 4	865 ± 73
14.1	177 ± 43	61 ± 7	835 ± 95

3.1.2 สมบัติทางความร้อน

จากการวิเคราะห์หาสมบัติทางความร้อนของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่ผลิตได้โดยใช้เทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) พบว่า เส้นใยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงแสดงค่าอุณหภูมิเริ่มต้นก่อนการหลอมเหลวและอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกที่ 124 และ 133 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนค่าความร้อนของการหลอมเหลวผลึกมีค่าเท่ากับ 175 จูล/กรัม

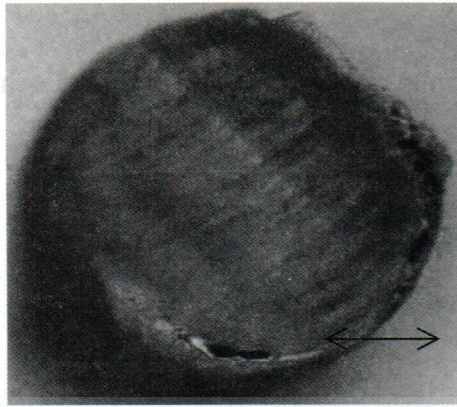


รูปที่ 2 ลักษณะของเส้นใยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ได้จากการอัดรีด โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.1.3 สัณฐานวิทยา

จากการดูลักษณะพื้นผิวของเส้นใยที่ผลิตได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่า เส้นใยมีพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบ และมีความสม่ำเสมอไปตลอดตามความยาวของเส้นใย ดังแสดงในรูปที่ 2

นอกจากนี้จากการดูพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยด้วยการใช้กล้องจุลทรรศน์นั้น พบว่าเส้นใยที่ได้จากการอัดรีดมีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลมซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากหัวอัดรีดเส้นใย (Spinneret) (รูปที่ 3)



200μm.

รูปที่ 3 พื้นที่หน้าตัดของเส้นใยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ได้จากคล่องจุลทรรศน์

3.2 สมบัติของคอมโพสิต

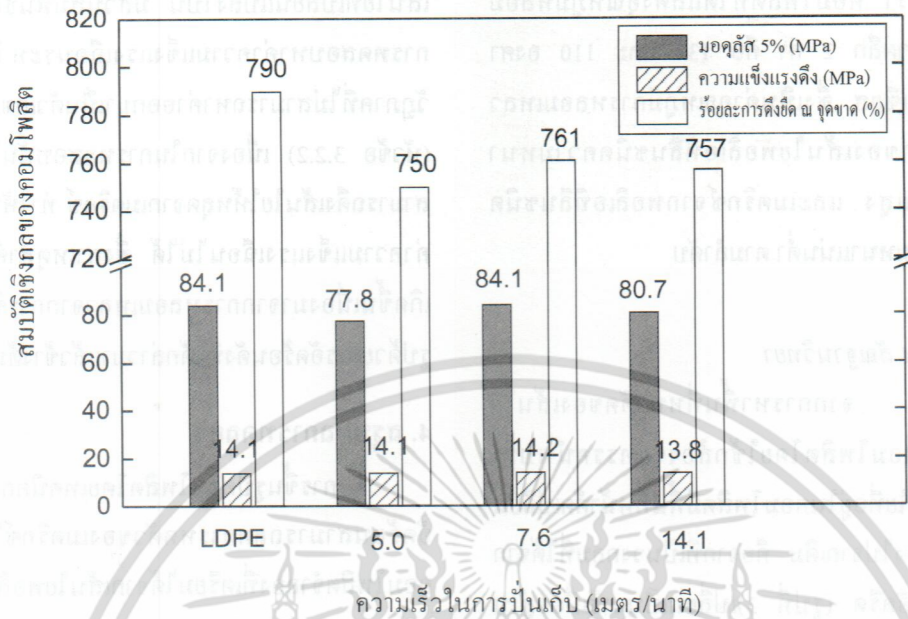
จากการขึ้นรูปโดยเทคนิคการอัดร้อนกับระบบคอมโพสิตจำลองจากพอลิเมอร์ชนิดเดียวกันพบว่าสามารถแก้ปัญหาการหดตัวของเมตริกซ์ที่พบได้จากการขึ้นรูปโดยการหล่อแบบเนื่องจากการระเหยของตัวทำละลายได้ สำหรับการขึ้นรูปโดยการอัดร้อนนั้นไม่เกี่ยวข้องกับการใช้ตัวทำละลาย ดังนั้นเมตริกซ์และคอมโพสิตที่ได้จึงไม่เกิดการหดตัวแต่อย่างใด

3.2.1 สมบัติเชิงกล

จากการทดสอบสมบัติของคอมโพสิตจำลองที่เตรียมได้โดยใช้เส้นใยที่ได้จาก

ความเร็วในการปั่นเก็บต่าง ๆ กันพบว่า ค่ามอดูลัส 5% ความแข็งแรงดึงและร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของคอมโพสิตมีค่าไม่แตกต่างไปจากค่ามอดูลัส 5% ความแข็งแรงดึงและร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ไม่มีการเสริมแรง (รูปที่ 4) นอกจากนี้ความเร็วที่ใช้ในการปั่นเก็บเส้นใยซึ่งส่งผลให้เส้นใยมีสมบัติเชิงกลที่เปลี่ยนไป (หัวข้อ 3.1) ไม่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิตจำลองที่

ผลิตได้เช่นกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากการเสริมแรงนั้นเป็นการเสริมแรงของเส้นใยเพียงเส้นเดียวในระบบคอมโพสิตจำลอง ดังนั้นเส้นใยเดี่ยวนี้จึงไม่ส่งผลให้กับสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตอย่างเด่นชัด หรือเป็นผลมาจากการขึ้นรูปคอมโพสิตโดยวิธีการอัดร้อนอาจทำให้เกิดการหลอมเหลวพื้นผิวบางส่วนระหว่างเส้นใยและเมตริกซ์เข้าด้วยกัน ซึ่งพื้นฐานวิทยาของคอมโพสิตนั้นจะได้กล่าวในหัวข้อที่ 3.2.4 ต่อไป



รูปที่ 4 สมบัติเชิงกลของคอมพอสิตจำลองจากพอลิเอทิลีน เมื่อใช้ความเร็วในการปั่นเก็บเส้นใยเป็น 5.0 7.6 และ 14.1 เมตร/นาที ตามลำดับ

3.2.2 ความแข็งแรงเหนือนระหว่างวัฏภาค

เนื่องจากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ ต้องการแก้ปัญหาแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเมตริกซ์และส่วนเสริมแรงที่มีค่าต่ำ ดังนั้นจึงทำการผลิต คอมพอสิตที่ทำจากพอลิเมอร์ชนิดเดียวกัน คือ พอลิ เอทิลีน ซึ่งคาดว่าคอมพอสิตที่ได้จะมีค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัฏภาคที่สูงเนื่องจากมีโครงสร้างทางเคมีเหมือนกันจากการทดสอบหาค่าความแข็งแรงเหนือนระหว่างวัฏภาคโดยใช้วิธีการดึงเส้นใยเส้นเดียวออกนั้น พบว่าทุกตัวอย่างที่ทำการทดสอบเกิดการขาดที่ตัวของเส้นใยเอง โดยเส้นใยจะเกิดการยึดตัวออกจนกระทั่งขาด แต่ไม่เกิดการหลุดของเส้นใยออกจากเมตริกซ์ดังที่คาดไว้ ดัง

นั้นจึงไม่สามารถหาค่าแรงเหนือนที่เกิดขึ้นระหว่างวัฏภาคทั้งสองได้ แต่สามารถคาดคะเนได้ว่าแรงเหนือนระหว่างวัฏภาคนั้นมีค่ามากกว่าความแข็งแรงดึงของเส้นใยซึ่งมีค่ามากกว่า 40 MPa (ตารางที่ 1)

ส่วนสาเหตุที่ไม่สามารถหาค่าแรงเหนือนระหว่างวัฏภาคได้นั้นอาจเกิดขึ้นเนื่องมาจากความแข็งแรงดึงของเส้นใยยังมีค่าต่ำเกินไป จึงไม่ทำให้เกิดการหลุดของเส้นใยออกจากเมตริกซ์ [1] หรืออีกส่วนหนึ่งอาจเกิดจากระบวนการผลิตคอมพอสิตที่ใช้วิธีการอัดร้อน อาจทำให้เกิดการหลอมเหลวพื้นผิวบางส่วนระหว่างวัฏภาคทั้งสองเข้าด้วยกัน (หัวข้อที่ 3.2.4) ตามแนวคิดของเฮนรีฟงกอลกินเชก (Henri

3.2.3 สมบัติทางความร้อน

จากการศึกษาด้วยเทคนิคของ DSC พบว่า คอมโพลิตที่ได้แสดงอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก 2 ค่า คือ 132 และ 110 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึกของเส้นใยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเมตริกซ์จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ตามลำดับ

3.2.4 สัมฐานวิทยา

จากการหาพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยในคอมโพลิตโดยใช้กล้องจุลทรรศน์พบว่า เส้นใยที่อยู่ในคอมโพลิตมีพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม คือจากที่เป็นวงกลมที่ได้จากการอัดรีด (รูปที่ 3) เปลี่ยนเป็นวงรีเมื่ออยู่ในคอมโพลิต ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 พื้นที่หน้าตัดของเส้นใยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในคอมโพลิตที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์

การเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดนี้มีส่วนมาจากการขึ้นรูปคอมโพลิตที่ใช้เทคนิคการอัดรีด ทำให้เส้นใยที่รอยต่อระหว่างภูมิภาคบางส่วนเกิดการหลอมเหลวติดกับส่วนที่

เป็นเมตริกซ์ จึงทำให้เส้นใยที่เหลืออยู่มีพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนแปลงไป จากพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยที่เปลี่ยนแปลงไปนี้ มีส่วนสัมพันธ์กับการทดสอบหาค่าความแข็งแรงเฉือนระหว่างภูมิภาคที่ไม่สามารถหาค่าออกมาเป็นตัวเลขได้ (หัวข้อ 3.2.2) เนื่องจากในการทดสอบนั้นไม่สามารถดึงเส้นใยให้หลุดจากเมตริกซ์ ทำให้หาค่าความแข็งแรงเฉือนไม่ได้ ซึ่งสาเหตุสำคัญเกิดขึ้นเนื่องมาจากการหลอมเหลวจากการขึ้นรูปด้วยการอัดรีดดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

4. สรุปผลการทดลอง

การขึ้นรูปคอมโพลิตโดยเทคนิคการอัดรีดสามารถลดการหดตัวของเมตริกซ์ได้ คอมโพลิตจำลองที่เตรียมได้จากเส้นใยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและเมตริกซ์จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำนั้น แสดงสมบัติเชิงกลที่ไม่ต่างไปจากเมตริกซ์ที่ไม่มีเสริมแรง ส่วนอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึกของคอมโพลิตแสดงอุณหภูมิ 2 ค่า คือ อุณหภูมิการหลอมเหลวผลึกของเมตริกซ์และส่วนเสริมแรง นอกจากนี้ค่าความแข็งแรงเฉือนระหว่างเส้นใยและเมตริกซ์มีค่ามากกว่าความแข็งแรงดึงของตัวเส้นใยเอง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่อง Melt-flow indexer, DSC และ SEM สำหรับงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hull, D. and Clyne, T.W., in "An introduction to composite materials", 2nd edn., Cambridge University Press, Cambridge, 1996.
- [2] Loo, J., Schimanski, T., Hofman, J., Peijs, T. and Lemstra, P. J., "Morphological investigations of polypropylene single-fibre reinforced polypropylene model composite", *Polymer*, 2001, 42, 3827-3834.
- [3] Lacroix, F.V., Werwer, M. and Schutle, K., "Solution impregnation of polyethylene fibre/polyethylene matrix composites", *Composite Part A*, 1998, 29A, 371-376.
- [4] Teishev, A., Incardona, S., Migliaresi, C. and Marom, G., "Polyethylene fibres-polyethylene matrix composite: preparation and physical properties", *J. of Appl. Polym. Sci.*, 1993, 50, 503-512.
- [5] วิชรา จันทร์เพ็ญและวิชัย กิจเจริญวงศ์ "การศึกษาคอมโพสิตจำลองจากพอลิเอทิลีนที่เสริมแรงด้วย พอลิเมอร์ชนิดเดียวกัน" โครงการพิเศษภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2544.
- [6] Patrikis, A.K., Andrews, M.C. and Young, R. J., "Analysis of the single-fibre pull-out test by the use of Raman spectroscopy: Part 1 Pull-out of Aramid fibres from an epoxy resin", *Comp. Sci. & Tech.*, 1994, 52, 387-396.
- [7] Napolitano, M.J. and Moet, A., "The effect of processing conditions on structural evolution in melt spun poly(ethylene terephthalate)", *J. of Appl. Polym. Sci.*, 42, 1986, 2469-2484.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้