

โครงการ การศึกษาผลของทิศทางการวางเส้นใยแก้วที่มีต่อ

สมบัติเชิงกลของอีพ็อกซีคอมโพสิต

EFFECT OF FIBER DIRECTION ON MECHANICAL PROPERTIES OF EPOXY COMPOSITES

กาญจนา มากเพ็ง¹⁾ ยุพา สังข์ทอง ¹⁾ และ วราภรณ์ ตันรัตนกุล^{*1)}

¹⁾ สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

*E-mail : tvarapor@ratree.psu.ac.th

บทคัดย่อ

ท่ออีพ็อกซีคอมโพสิตขึ้นรูปแบบ filament winding ที่มีเส้นใยทำมุมต่างๆกัน (45 – 80 องศา) ถูกนำมาทดสอบสมบัติเชิงกลต่อไปนี้ tensile properties, notched Izod impact resistance, และ flexural properties (three-point bending mode) ตามมาตรฐานASTM ผลการทดสอบพบว่า สมบัติเชิงกลของชิ้นทดสอบขึ้นอยู่กับมุมของเส้นใยแก้วที่พันทำมุมกันรอบท่อ และจำนวนรอบของเส้นใยแก้วที่ใช้พันบนท่อ

คำสำคัญ อีพ็อกซีคอมโพสิต, เส้นใยแก้ว, มุมเส้นใย, ท่อคอมโพสิต, การพันเส้นใย

Keywords epoxy composites, glass fiber, fiber direction, filament winding

1. บทนำ

ปัจจุบันวัสดุคอมโพสิตได้เข้ามามีบทบาทมากขึ้นทั้งทางด้านงานวิศวกรรมโครงสร้าง โดยนำมาใช้ทดแทนวัสดุบางประเภท เช่น ไม้ เหล็ก และ โลหะชนิดอื่นๆ เนื่องจากสมบัติเฉพาะ เช่น มีน้ำหนักเบา อายุการใช้งานนาน มีความแข็งแรง ทนทานต่อการกัดกร่อน หรือการเป็นสนิม และมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า องค์ประกอบของวัสดุคอมโพสิต แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนเนื้อพลาสติก (Matrix) และ ส่วนเสริมแรง (Reinforcement) ส่วนพลาสติกจะให้ความแข็งแรง แต่เปราะ ได้แก่พลาสติกประเภทเทอร์โมเซตติง เช่น อีพ็อกซี โพลีเอสเตอร์ และในส่วนวัสดุเสริมแรง เช่น เส้นใยแก้ว (Glass Fiber) จะมีลักษณะอ่อนนุ่มแต่เหนียว รับแรงดึงได้ดี ทนความร้อนได้สูง ทนสารเคมี และ เป็นฉนวนความร้อนด้วยเหตุที่

สมบัติเชิงกลของพลาสติกเสริมแรงจะไม่สม่ำเสมอ (Anisotropy) ดังนั้นในการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อใช้งานวิศวกรรมหรือในการคาดคะเนสมบัติเชิงกล ยังไม่สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และใช้เวลานาน ดังนั้นการศึกษาทางด้านการจัดเรียงตัวของวัสดุเสริมแรงจึงมีความสำคัญมาก เพราะจะช่วยลดอัตราส่วนของเสียในช่วงออกแบบ ลดต้นทุนในการผลิต เพิ่มความสามารถในการออกแบบโครงสร้างที่ซับซ้อน และยังสามารถทำนายสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมกับงานเฉพาะด้านได้อย่างถูกต้องและแม่นยำขึ้น

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุ

ชิ้นทดสอบที่ใช้ทำมาจากท่อคอมโพสิตที่ขึ้นรูปแบบ filament winding ประกอบด้วยอีพ็อกซีและเส้น

ใยแก้ว ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ องค์ประกอบของเส้นใยแก้ว (45 – 80 องค์) จำนวนรอบของเส้นใยแก้วที่พันในท่อ (2 – 18 รอบ) และ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (2 – 8 นิ้ว) ชิ้นทดสอบจะถูกตัดตามความยาวของท่อให้มีขนาดตามมาตรฐานการทดสอบ สัญญาณลักษณะที่ใช้ในการเรียกชื่อท่อจะขึ้นต้นด้วยตัวอักษร (A – F) ซึ่งเป็นตัวแทนของมุมของเส้นใยตามด้วยตัวเลขที่เป็นตัวแทนของจำนวนรอบ (1 – 5) และ ตัวเลขโรมัน (I – VI) ซึ่งเป็นตัวแทนของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ดังเช่น B/3/I เป็นต้น

2.2 เครื่องมือในการทดสอบ

2.2.1 Universal testing machine AG-100

KNG SHIMADZU

2.2.2 Zwick Izod Impact Machine

2.2.3 Hounsfield Balanced Impact Machine

2.3 การเตรียมชิ้นทดสอบ

Tensile Tesing

ตัดชิ้นทดสอบจากท่อ ตามความยาวของท่อให้เป็นแท่งสี่เหลี่ยมขนาด 15x180 mm (กว้าง x ยาว) ฝนขอบด้านข้างของชิ้นทดสอบด้วยกระดาษทรายเพื่อให้ผิวเรียบ เนื่องจากชิ้นทดสอบถูกตัดมาจากท่อ จึงทำให้มีความโค้ง จำเป็นต้องปรับผิวที่ปลายชิ้นทดสอบทั้ง 2 ด้านให้เรียบเพื่อให้สอดเข้าไปใน grip ของเครื่องทดสอบได้ จึงมีการตัดชิ้นส่วนบางส่วนจากท่อเช่นเดียวกัน และฝนให้เรียบ เรียกว่า แผ่นยึดชิ้นทดสอบ นำประกบกันที่ปลายชิ้นทดสอบ 2 ด้าน และฝนทั้งหน้าและหลังเพื่อลบความโค้ง นำแผ่นยึดชิ้นทดสอบขนาด 25x40 mm ติดยึดกับชิ้นทดสอบโดยติดด้วยกาว epoxy ทิ้งไว้ 1 คืนก่อนนำชิ้นทดสอบไปทดสอบสมบัติเชิงกล ให้ชิ้นทดสอบมีระยะ gauge length เท่ากับ 115 mm ซึ่งใกล้เคียงกับขนาดชิ้นงานที่ระบุไว้ใน ASTM D3039 Standard test method for tensile properties of fiber-resin composites

Notched Izod Impact Testing

เตรียมชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D256 ปากเป็นรูปตัววี มุม 45 องศา ชิ้นงานตัดตามความยาวของท่อและมีขนาด 12.75 x 63.50 mm (กว้างxยาว)

Flexural Testing

เตรียมชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D790 ชิ้นงานตัดตามความยาวของท่อ ขนาดของชิ้นทดสอบขึ้นอยู่กับความหนา แบ่งได้เป็นสามกลุ่มดังนี้

กลุ่มที่ 1: B/3/I, C/3/II, C/2/IV, E/1/IV และ F/1/IV ชิ้นทดสอบขนาด 25x50 (กว้างxยาว)

กลุ่มที่ 2: C/3/II, C/2/II, C/3/IV, A/4/IV, B/2/IV และ D/3/IV ชิ้นทดสอบขนาด 25x60 (กว้างxยาว)

กลุ่มที่ 3: C/3/IV, C/3/VI, A/5/IV และ B/3/IV ชิ้นทดสอบขนาด 25x80 (กว้างxยาว)

2.4 วิธีการทดสอบ

Tensile Testing

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 638 โดยใช้ อัตราเร็วในการทดสอบเท่ากับ 12.5 mm/min กำหนดให้ ระยะความยาวเริ่มต้นใช้ในการคำนวณเท่ากับ 115 mm ค่า Young's modulus วัดระยะ 400 – 800 N

Notched Izod Impact Testing

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 256

Flexural Testing

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 790 แบบ three-point bending สภาวะการทดสอบขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นทดสอบ แบ่งเป็นสามกลุ่มตามชนิดของชิ้นทดสอบ ดังนี้

กลุ่มที่ 1: Support span 40 mm และ Rate of cross head motion 0.8 mm/min

กลุ่มที่ 1: Support span 50mm และ Rate of cross head motion 1.0 mm/min

กลุ่มที่ 1: Support span 60 mm และ Rate of cross head motion 1.3 mm/min

ค่าโมดูลัสวัดในระยะ 100 - 200 N

3. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

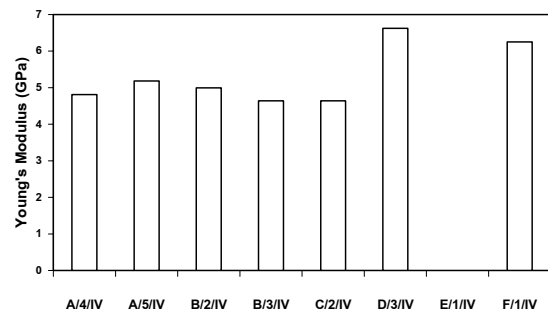
3.1 Tensile Properties

Tensile properties แสดงในตารางที่ 1 ค่าโมดูลัสมีค่าระหว่าง 3.7 – 6.6 GPa ส่วนค่า tensile strength มีค่าระหว่าง 23 – 81 MPa และค่าระยะยืดเมื่อขาดอยู่ในช่วง 0.4 – 10% สูตรที่ให้ค่ายังโมดูลัสสูงสุดคือ F/1/IV ส่วนสูตรที่ให้ tensile strength สูงสุดคือ A/4/IV สูตรที่ให้ค่าโมดูลัสและแข็งแรงในระดับดี คือ C/3 (ทุกสูตร) A/4/IV และ A/5/IV แต่ A/4/IV และ A/5/IV มีระยะยืดสูงมากเกินไป

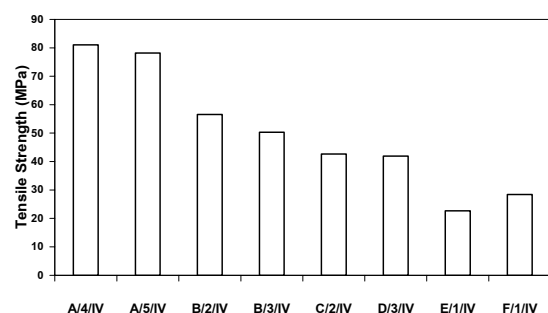
ตารางที่ 1 Tensile properties

Code	Thickness (mm)	Young's Modulus (GPa)	Tensile Strength(MPa)	Strain at break(%)
B/3/I	1.95	3.703±0.107	53.54±0.97	2.98±1.02
C/3/II	1.93	5.768±0.454	37.14±4.07	1.72±0.72
C/3/III	2.67	5.435±0.818	44.33±7.75	1.58±0.70
C/2/III	2.38	5.045±0.518	48.31±3.26	1.88±0.57
C/2/IV	1.90	4.642±0.824	42.63±3.32	1.85±1.18
C/3/IV	3.42	5.579±0.539	48.31±4.11	1.70±0.70
C/3/VI	3.09	5.813±0.268	41.29±8.57	1.17±0.36
A/4/IV	3.06	4.811±0.874	81.06± 3.69	9.72± 3.69
A/5/IV	3.84	5.181±0.302	78.18 ±8.07	10.13±6.76
B/2/IV	2.30	4.994±0.542	56.54±3.22	2.24±0.82
B/3/IV	3.43	4.638±0.647	50.31±8.41	3.23±1.07
D/3/IV	2.74	6.625±0.822	41.93 ±5.68	1.01 ±0.21
E/1/IV	1.68	-	22.66 ±6.77	0.44 ±0.09
F/1/IV	2.14	6.252±10.628	28.42±12.09	0.68±0.22

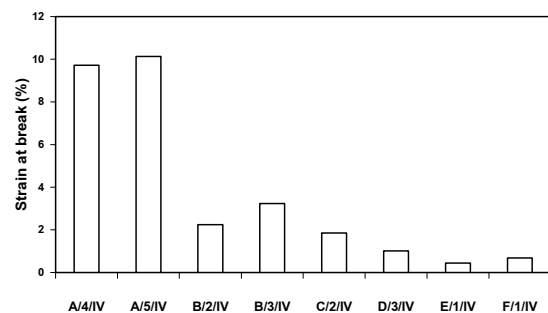
หากเปรียบเทียบ tensile properties ของท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากันที่มีเส้นใยทำมุมต่างๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 1 – 3 จะเห็นว่ามุม A ให้ความแข็งแรงสูง แต่มีระยะยืดสูงมาก ส่วนมุม B และ C ให้ค่าโมดูลัสสูงแต่ค่า tensile strength ต่ำลง ถึงแม้ว่า มุม D จะให้ค่าโมดูลัสสูงที่สุด แต่ค่า tensile strength ค่อนข้างต่ำ



รูปที่ 1 Young's modulus ของท่อที่มีขนาดเท่ากันและมีมุมของเส้นใยต่างกัน



รูปที่ 2 Tensile strength ของท่อที่มีขนาดเท่ากันและมีมุมของเส้นใยต่างกัน



รูปที่ 3 Strain at break ของท่อที่มีขนาดเท่ากันและมีมุมของเส้นใยต่างกัน

3.2 Notched Izod Impact Resistance

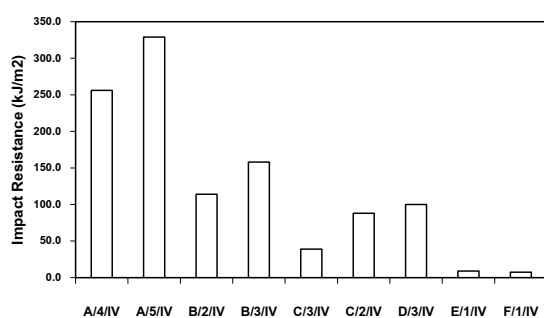
การทดสอบ Impact resistance นั้นมีการใช้เครื่องทดสอบสองเครื่อง โดยเครื่อง Zwick Izod Impact Machine จะมีตุ้มกระแทกขนาด 4 J ส่วนเครื่อง Hounsfield Balanced Impact Machine จะเป็นเครื่องที่

มีขนาดใหญ่มาก ค่าที่อ่านได้ไม่ละเอียดมากนัก จะใช้ทดสอบชิ้นงานที่ไม่แตกหักจากการทดสอบด้วยเครื่องเล็ก และอาจมีการทดสอบซ้ำจากทั้งสองเครื่องเพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูล ขึ้นทดสอบส่วนใหญ่ให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกในช่วงมากกว่า 100 kJ/m² สูตรที่ให้ค่าต่ำมากที่สุดคือ E/1/IV และ F/1/IV ส่วนสูตรที่ให้ค่าสูงมากที่สุดคือ A/4/IV และ A/5/IV ในขณะที่สูตร C/3 ให้ค่าความต้านทานอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันทุกสูตร ตารางที่ 2 และ 3 แสดงค่า impact resistance

ตารางที่ 2 Notched Izod Impact Resistance ทดสอบด้วยเครื่อง Zwick Izod Impact Machine

Code	Thickness (mm)	Impact Resistance	
		J/m	kJ/m ²
C/3/I	1.95	631.06±94.57	65.00±9.00
C/3/III	1.93	1412.05±169.08	139.00±16.00
C/2/III	2.38	1022.17±198.99	101.0±19.0
C/3/IV	3.05	1254.74±83.14	124.00±8.00
C/2/IV	1.9	1103.46±103.34	108.00±9.00
C/3/V	3.42	1081.85±179.35	107.00±17.00
E/1/IV	1.68	92.99±35.01	9.00±3.00
F/1/IV	2.14	74.89±18.22	7.40±2.20

จากการเปรียบเทียบท่อที่มีขนาดเท่ากันแล้ว มุม A จะแสดงค่าความต้านทานแรงกระแทกสูงสุด ในขณะที่มุม E และ F ให้ค่าต่ำสุด ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 Impact resistance ของท่อที่มีขนาดเท่ากันและมีมุมของเส้นใยต่างกัน

ตารางที่ 3 Notched Izod Impact Resistance ทดสอบด้วยเครื่อง Hounsfield Balanced Impact Machine

Code	Thickness (mm)	Impact Resistance	
		ft.lb/in ²	kJ/m ²
B/3/I	1.95	24.55±4.94	39.00±8.00
C/3/II	1.93	38.08±6.70	61.00±11.00
C/3/III	2.67	78.04±14.55	125.00±23.00
C/2/III	2.38	80.18±19.42	128.00±31.00
C/3/IV	3.05	24.34±3.53	39.00±6.00
C/2/IV	1.90	54.86±6.37	88.00±10.00
C/3/V	3.42	71.15±11.64	114.00±19.00
C/3/VI	3.09	15.88±3.68	25.00±6.00
A/4/IV	3.06	118.14±18.02	256.00 ±39.00
A/5/IV	3.84	151.16±7.66	329.00±38.00
B/2/IV	2.30	71.48±13.32	114.00 ±21.00
B/3/IV	3.43	99.30 ±19.82	158.00 ±33.00
D/3/IV	2.74	41.43±8.32	90.00±18.00

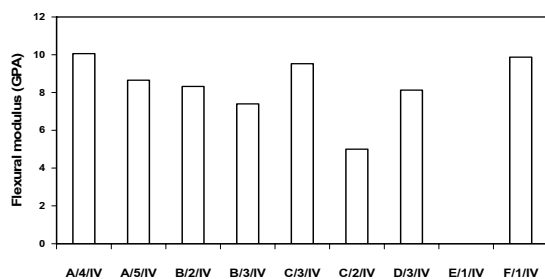
3.3 Flexural Properties

ตารางที่ 4 แสดง Flexural Properties ค่า Flexural modulus มีค่าอยู่ในช่วง 5 – 10 GPa ส่วนค่า Flexural strength อยู่ในช่วง 44 – 293 MPa สูตรที่ให้สมบัติด้านนี้ดีที่สุดคือ A/4/IV ถัดมาคือ C/3/III และ C/2/III รูปที่ 5 - 7 แสดงการเปรียบเทียบ Flexural properties ของท่อที่มีมุมต่างกันและมีขนาดเท่ากัน ค่า flexural modulus ของมุมต่างๆยังคงมีค่าสูง ยกเว้น C/2/V มีค่าต่ำสุด ในขณะที่มุมอื่นๆมีค่าอยู่ในช่วง 8 – 10 GPa ค่า flexural strength มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับค่า tensile strength และ ค่า impact resistance คือ มุม A จะให้ความแข็งแรงสูง ในขณะที่มุม E และ F ให้ค่าต่ำสุด ส่วนค่า flexural strain นั้น มีค่าค่อนข้างสูงยกเว้นมุม E และ F

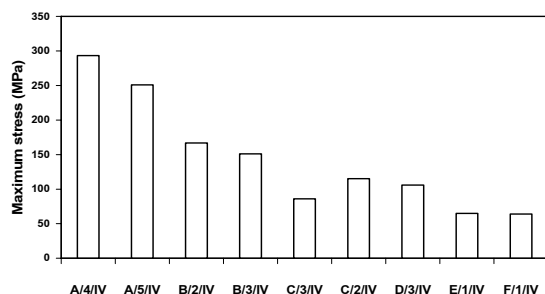
ตารางที่ 4 Flexural Properties

Code	Flexural Modulus (GPa)	Maximum Stress(MPa)	Strain at break(%)
B/3/I	7.770±2.256	163.88±46.44	12.67±10.26
C/3/II	5.907±0.346	98.56±5.15	6.72±2.11
C/3/III	10.414±2.937	133.59±24.23	15.19±1.77
C/2/III	9.684±1.371	154.46±15.91	31.36±26.42
C/3/IV	9.525±0.419	85.70±19.45	7.43±3.17
C/2/IV	5.044±3.043	114.70±35.91	13.95±6.69
C/3/V	8.912±0.949	143.27±6.46	16.18±2.57
C/3/VI	6.953±3.143	44.37±18.99	12.52±2.73
A/4/IV	10.057±3.218	293.40±45.51	12.50±5.19
A/5/IV	8.654±0.909	250.90±16.95	17.17±2.37
B/2/IV	8.323±0.953	166.99±23.35	11.29±4.83
B/3/IV	7.397±2.035	151.11±34.78	17.33±4.69
D/3/IV	8.129±4.168	105.91±11.56	13.39±2.97
E/1/IV*	-	64.84±1.46	0.64±0.12
F/1/IV	9.874±0.931	63.97±7.9	2.88±2.62

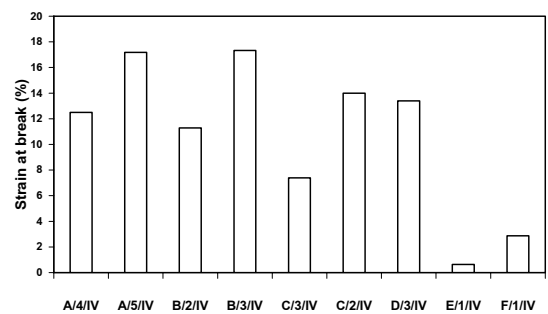
* E/1/IV ไม่สามารถหาค่า Flexural Modulus ได้เนื่องจาก Load ต่ำกว่า 100 N



รูปที่ 5 Flexural modulus ของท่อที่มีขนาดเท่ากัน และมีมุมของเส้นใยต่างกัน



รูปที่ 6 Flexural strength ของท่อที่มีขนาดเท่ากัน และมีมุมของเส้นใยต่างกัน



รูปที่ 7 Flexural strain ของท่อที่มีขนาดเท่ากัน และมีมุมของเส้นใยต่างกัน

เป็นที่น่าสังเกตว่าความหนาไม่มีผลต่อค่าสมบัติเชิงกลที่ปรากฏ เนื่องจากมุม A มีจำนวนรอบมากกว่ามุมอื่นๆ จึงทำให้มีปริมาณเส้นใยแก้วมากกว่า จึงมีผลทำให้แข็งแรงที่สุด แต่ในการทดลองนี้สามารถเปรียบเทียบอิทธิพลของมุมเส้นใยได้จากท่อที่มีจำนวนรอบเส้นใยเท่ากัน คือ มุม B C และ D แต่อย่างไรก็ตามการวางมุมเส้นใยต่างกันอาจมีผลต่อปริมาณเส้นใยบนท่อต่างกันได้ ถึงแม้ว่าจะมีจำนวนรอบเท่ากันก็ตาม

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองนี้พบว่า มุมของเส้นใยแก้วมีผลต่อสมบัติเชิงกลของท่ออีพ็อกซีคอมโพสิต มุมหนึ่งๆอาจให้สมบัติเชิงกลด้านหนึ่งดีกว่าอีกมุมหนึ่ง และให้สมบัติบางประการด้อยกว่ามุนั้นๆได้

เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการทดลองเปลี่ยนมุมการพันของเส้นใย โดยใช้เครื่องมือขึ้นรูปของโรงงาน และยังไม่ได้ควบคุมความหนาของท่อให้เท่าที่ควร ดังนั้นในอนาคตควรจะทำการทดลองท่อที่มีความหนาเท่ากันสำหรับมุมต่างๆ

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการอุตสาหกรรมสำหรับนักศึกษาปริญญาตรีนี้ ได้รับทุนอุดหนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการโครงการอุตสาหกรรมสำหรับปริญญาตรี ประจำปี 2546 ขอขอบคุณบริษัทไทยคอมโพสิต จำกัด คุณประสงค์ เพิ่มอารยวงศ์ และคุณคุณธร งามสำอางค์ ที่ให้การสนับสนุนโครงการและให้ความอนุเคราะห์ในการเยี่ยมชมโรงงานและให้ความรู้แก่นักศึกษาโครงการ ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์การใช้ครุภัณฑ์และสถานที่ในการทดลอง