

การพัฒนาระเบียงยางปูพื้นจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์
และคลอรีเนตพอลิเอทิลีน

Development of Rubber Floor Tile from Polymer Blends between Polyvinyl
Chloride and Chlorinated Polyethylene

ชาตรี หอมเขียว^{1,2*}, สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์^{1,2}, จักรนรินทร์ ฉัตรทอง^{1,2}

Chatree Homkhiew^{1,2*}, Surasit Rawangwong^{1,2}, Jaknarin Chatthong^{1,2}

¹สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

²หน่วยวิจัยเทคโนโลยีการแปรรูปวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya

²Materials Processing Technology Research Unit, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya

*Corresponding authors e-mail: chatree.h@rmutsv.ac.th

(Received: 5 June 2020, Revised: 14 January 2021, Accepted: 25 January 2021)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของปริมาณสารคลอรีเนตพอลิเอทิลีนต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสม และมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาพอลิเมอร์ผสมในงานวิจัยนี้เป็นแผ่นกระเบื้องยางปูพื้น ในการผลิตพอลิเมอร์ผสมดำเนินการผสมส่วนผสมต่าง ๆ โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวคู่ และขึ้นรูปเป็นแผ่นขึ้นงานตัวอย่างโดยใช้เครื่องอัดรีด ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนชี้ให้เห็นว่า การเติมสารคลอรีเนตพอลิเอทิลีนปริมาณ 0-30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ต่อค่าความแข็งแรงดึง ค่าความดูลัสการดึง ค่าความเครียดสูงสุด ค่าความแข็ง และค่าการยุบตัวของพอลิเมอร์ผสม เมื่อเติมสารคลอรีเนตพอลิเอทิลีนเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความดูลัสการดึง ค่าความแข็ง ค่าการสูญเสียน้ำหนัก และค่าการยุบตัวของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงดึง ค่าความเครียดสูงสุดกลับมีค่าลดลงตามปริมาณสารคลอรีเนตพอลิเอทิลีน ขณะเดียวกันยังพบว่าพอลิเมอร์ผสมมีค่าความดูลัสการดึง ค่าความแข็ง และค่าการยุบตัวสูงกว่าพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ นอกจากนี้พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่เติมสารคลอรีเนตพอลิเอทิลีน 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีสมบัติทางกลและทางกายภาพดีกว่ากระเบื้องยางปูพื้นของบริษัท A

คำสำคัญ: พอลิไวนิลคลอไรด์, คลอรีเนตพอลิเอทิลีน, กระเบื้องยางปูพื้น, การวิเคราะห์สถิติ, การอัดรีด

Abstract

This research aimed to analyze the effect of chlorinated polyethylene contents on mechanical and physical properties of polymer blends. The goal of this research is to develop the polymer blends as rubber floor tile. In producing the polymer blends, a twin-screw extruder was used to blend mixture. The polymer blend pellets were then molded in a compression molding machine as sample panels. From results of experiment, analysis of variance (ANOVA) indicated that the addition of chlorinated polyethylene in range of 0-30 percentage by weight (wt%) significantly (P -value < 0.05) affected tensile strength, tensile modulus, maximum strain, hardness and residual indentation of the polymer blends. The increasing addition of the chlorinated polyethylene resulted an increase of tensile modulus, hardness, weight loss, residual indentation but a decrease of the tensile strength, maximum strain of the polymer blends. Likewise, the polymer blends gave clearly higher tensile modulus, hardness and residual indentation than polyvinyl chloride. Furthermore, the polymer blending with chlorinated polyethylene 10 wt% revealed better mechanical and physical properties than rubber floor tile of company A.

Keywords: Polyvinyl Chloride, Chlorinated Polyethylene, Rubber Floor Tile, Statistical Analysis, Hot Compression

1. บทนำ

กระเบื้องยางปูพื้นเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่อยู่ในแผนยกเลิกการนำเข้าการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีแร่ใยหินเป็นส่วนประกอบ ตามมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 12 เมษายน 2554 ว่าด้วยเรื่อง แนวทางการห้ามนำเข้าแร่ใยหินโครโซไทล์และผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของแร่ใยหินโครโซไทล์เฉพาะกรณี และห้ามผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของแร่ใยหินโครโซไทล์ที่ใช้วัตถุดิบอื่นหรือใช้ผลิตภัณฑ์อื่นทดแทนได้ (Thai Health on the Road to, 2013)

โดยทั่วไปกระเบื้องยางปูพื้นมักถูกผลิตขึ้นมาจากพลาสติกผสมกับแร่ใยหินและสารอื่น ๆ ซึ่งลักษณะที่โดดเด่นของกระเบื้องยางปูพื้น คือ มีความยืดหยุ่นพอสมควร และมีแรงหนืดในระหว่างที่สัมผัสกับกระเบื้องยางค่อนข้างสูง ทำให้สามารถลดโอกาสในการลื่นล้มหรือสะดุดล้มได้เป็นอย่างดี ขณะเดียวกันสามารถรองรับแรงกระแทกหรือน้ำหนักมาก ๆ ได้เป็นอย่างดี (Wood Grain Rubber Tiles, 2020) อย่างไรก็ตามเนื่องจากกระเบื้องยางปูพื้นมีส่วนผสมของแร่ใยหิน ทำให้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพคนและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นเพื่อตอบสนองนโยบายของรัฐและเพื่อสุขภาพที่ดีของผู้ใช้งานและผู้ผลิตกระเบื้องยางปูพื้น ทางคณะผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดพัฒนากระเบื้องยางปูพื้นจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์และสารคลอรีเนตพอลิเอทิลีน

พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride; PVC) เป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติกที่มีการผลิตเป็นอันดับสองรองจากพอลิเอทิลีน เนื่องจากสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทั้งในด้านก่อสร้าง อุปกรณ์ไฟฟ้า ของใช้ในบ้าน งานบรรจุภัณฑ์ และงานด้านเกษตรกรรม เป็นต้น (Page et al., 2007; Kongthan, 2015) อีกทั้งมีสมบัติที่โดดเด่นคือ ไม่มีสีใส ทนต่อสารเคมีและการขีดข่วน และเมื่อติดไฟสามารถดับไฟได้เอง (Kongthan, 2015) จากสมบัติที่ทนต่อสารเคมี การขีดข่วน และสามารถดับไฟได้เอง ทำให้นักวิจัยนี้เลือกใช้พลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์เป็นส่วนผสมหลัก เนื่องจากกระเบื้องยางปูพื้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่มักใช้ปูในบ้าน ซึ่งมีโอกาสสัมผัสกับสารเคมี การขีดข่วน หรือการติดไฟจากความร้อนสูง อีกทั้งพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ใช้เป็นพอลิไวนิลคลอไรด์คอมปาวด์ที่มีความยืดหยุ่นสูง เพื่อให้กระเบื้องยางมีความเหนียวและมีแรงหนืดในระหว่างที่สัมผัส

คลอรีเนตพอลิเอทิลีน (Chlorinated Polyethylene; CPE) เป็นสารที่มีส่วนผสมของคลอรีนประมาณ 30-42 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ซึ่งมักใช้ปรับปรุงสมบัติการกระแทก (Varma et al., 1999; Deanin & Chuang, 1987) ของพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์แบบแข็ง (Vrandecic et al., 2004) ในขณะเดียวกันพอลิเมอร์ชนิดนี้มีสมบัติการเสถียรทางความร้อนสูง ด้านทาน

การลามไฟ ด้านทานสารเคมี และทนต่อสภาพอากาศได้ดี อีกทั้งยังมีสมบัติทางกลที่ดีอีกด้วย (Bhagabati et al., 2015) นอกจากนี้ Wu et al. (2004) พบด้วยว่า การเติมสารคลอรีเนตพอลิเอทิลีนสามารถปรับปรุงความต้านทานแรงกระแทกแบบไอซอด (Izod) ของนาโนคอมโพสิตได้อย่างมีนัยสำคัญ ขณะเดียวกันความหนืดของนาโนคอมโพสิตลดลง เมื่อเติมสารคลอรีเนตพอลิเอทิลีนเป็นส่วนผสม ดังนั้นความสามารถทางกระบวนการสามารถปรับปรุงได้โดยการเติมสารคลอรีเนตพอลิเอทิลีนเป็นส่วนผสม นอกจากนี้ Vrandecic et al. (2004) พบว่าสารคลอรีเนตพอลิเอทิลีนมีผลต่อการลดการเสื่อมสภาพของพอลิไวนิลคลอไรด์ จากข้อดีดังกล่าวของสารคลอรีเนตพอลิเอทิลีน ทำให้นักวิจัยนี้มีการนำสารคลอรีเนตพอลิเอทิลีนมาใช้เป็นส่วนผสม เพื่อปรับปรุงสมบัติของพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ให้มีสมบัติที่เหมาะสมต่อการผลิตเป็นกระเบื้องยางปูพื้น

อย่างไรก็ตามก่อนการนำสารคลอรีเนตพอลิเอทิลีนไปใช้เป็นส่วนผสมในพอลิไวนิลคลอไรด์เพื่อให้มีสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ผลิตกระเบื้องยางปูพื้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องศึกษาวิจัยเพื่อทราบผลกระทบของปริมาณสารคลอรีเนตพอลิเอทิลีนต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมสุดท้ายผลจากงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่ออุตสาหกรรมผลิตกระเบื้องยางปูพื้น

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุที่ใช้พัฒนากระเบื้องยางปูพื้นประกอบด้วย พลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์คอมปาวด์ เกรด SFM3300 ผลิตโดย Teknor Apex Asia Pacific (Singapore) และสารคลอรีเนตพอลิเอทิลีน (Chlorinated Polyethylene) เกรด 135A ผลิตโดย Xingyang Shihua (China) นอกจากนี้มีการนำกระเบื้องยางปูพื้นที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ จำนวน 2 บริษัท ดังแสดงในรูปที่ 1 มาเปรียบเทียบกับสมบัติกับวัสดุที่ได้จากงานวิจัยนี้ด้วย



รูปที่ 1 กระเบื้องยางปูพื้นของ (ก) บริษัท A และ (ข) บริษัท B

2.2 การขึ้นรูปแผ่นขึ้นงานตัวอย่าง

นำพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ผสมกับสารคลอรีนเทฟลูออรีนตามสูตรที่กำหนด ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยการเข้าผสมประมาณ 3 นาที เพื่อให้วัสดุเกิดการกระจายตัวกันระหว่างวัสดุทั้งสอง จากนั้นนำวัสดุที่ผ่านการผสมเบื้องต้นใส่ในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวคู่ (รุ่น CTE-D25L40 บริษัท เจริญทัศน์ จำกัด สมุทรปราการ ประเทศไทย) ที่มีการควบคุมอุณหภูมิอยู่ในช่วง 165-190 องศาเซลเซียส และความเร็วหมุนของเกลียว คือ 60 รอบต่อนาที หลังจากนั้นนำเส้นพอลิเมอร์ที่ออกจากเครื่องอัดรีดไปตัดเป็นเม็ด (Pellets) ดังแสดงในรูปที่ 2

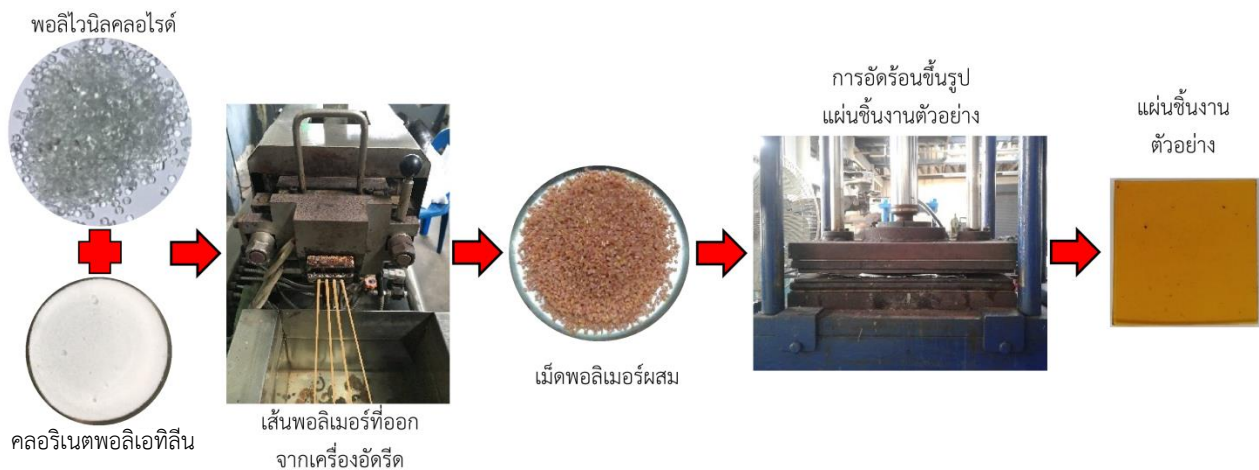
ในขั้นตอนต่อไปนำเม็ดพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปขึ้นรูปเป็นแผ่นขึ้นงานตัวอย่างโดยใช้เครื่องอัดรีด ซึ่งในการขึ้นรูปจะทำการอุ่นแม่พิมพ์จนมีอุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส จากนั้นนำเม็ดพอลิเมอร์ผสมใส่ในแม่พิมพ์และอัดด้วยแรงดัน 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบเวลาทำการอัดซ้ำด้วย

แรงดัน 1000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 10 นาที และเมื่อครบเวลาที่กำหนด นำแม่พิมพ์และแผ่นขึ้นงานตัวอย่างใส่ในเครื่องอัดเย็นที่มีน้ำหมุนเวียน และอัดด้วยแรงดัน 1000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เช่นกันเป็นเวลา 10 นาที เพื่อระบายความร้อนออกจากแผ่นขึ้นงานตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 2 หลังจากนั้นถอดแผ่นขึ้นงานตัวอย่างออกจากแม่พิมพ์และตัดเตรียมเป็นชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบต่าง ๆ ต่อไป

ตารางที่ 1 สูตรส่วนผสมของพอลิเมอร์ผสม

Code	PVC (wt%)	CPE (wt%)
P100	100	-
P90C10	90	10
P80C20	80	20
P70C30	70	30

หมายเหตุ: PVC คือ พอลิไวนิลคลอไรด์, CPE คือ สารคลอรีนเทฟลูออรีน และ wt% คือ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



รูปที่ 2 กรรมวิธีการขึ้นรูปแผ่นขึ้นงานตัวอย่างจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์และคลอรีนเทฟลูออรีน

2.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลกระทบของปริมาณสารคลอรีนเทฟลูออรีนต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมดำเนินการวิเคราะห์ทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และการเปรียบเทียบเชิงซ้อนทุกคู่ (Tukey's Multiple Comparison Test) ซึ่งในการวิเคราะห์ทางสถิตินี้ดำเนินการที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha=0.05$)

2.4 การทดสอบสมบัติทางกล

การทดสอบการดึง (Tensile Test) และการทดสอบความแข็ง (Hardness Test) เป็นการทดสอบที่ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D638 (ASTM, 2014) และ ASTM D2240 (ASTM, 2015) ตามลำดับ ในการทดสอบการดึง ใช้ชิ้นงาน

ทดสอบประเภทที่ 4 โดยชิ้นงานทดสอบมีขนาด 115 มิลลิเมตร $\times$ 19 มิลลิเมตร $\times$ 1.3 มิลลิเมตร และความเร็วที่ใช้ดึง คือ 5 มิลลิเมตรต่อนาที โดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติทางกลอเนกประสงค์ (รุ่น NRI-TS500-50 บริษัท นรินทร์ อินสทราแมนท์ จำกัด สมุทรปราการ ประเทศไทย) สำหรับการทดสอบความแข็ง ชิ้นงานทดสอบมีขนาด 30 มิลลิเมตร $\times$ 30 มิลลิเมตร $\times$ 1.3 มิลลิเมตร และวัดความแข็งด้วย Durometer แบบ Shore D Scale (รุ่น GS-702G บริษัท Teclock Corporation จำกัด Nagano, Japan) ในการทดสอบสมบัติทางกลทั้ง 2 ประเภท ดำเนินการที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส และทดลองแบบสุ่ม 5 ตัวอย่าง ของแต่ละสูตรการทดลอง

การทดสอบการสึกหรอ (Abrasion Test) ของวัสดุ ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D3389 (ASTM, 2016) ซึ่งดำเนินการทดสอบโดยศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยใช้เครื่อง Taber Abrasion (TABER Industries, USA) ในการทดสอบชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นบางกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 105 มิลลิเมตร และดำเนินการทดสอบ 1000 รอบ (Cycle) โดยมีก้อนน้ำหนัก ขนาด 500 กรัม กดในขณะทดสอบ ซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบ คือ ค่าการสูญเสียน้ำหนัก (Weight Loss)

2.5 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

การทดสอบการรับแรง เป็นการปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM F970 (ASTM, 2017) โดยนำชิ้นงานทดสอบขนาด 30 มิลลิเมตร × 30 มิลลิเมตร × 1.3 มิลลิเมตร วัดความหนา เริ่มต้น จากนั้นใช้น้ำหนักประมาณ 250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กดทับชิ้นงานทดสอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนด ปลดปล่อยให้ชิ้นงานคืนตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และวัดความหนาซ้ำอีกครั้ง เพื่อคำนวณหาค่าการยุบตัวของแผ่น ชิ้นงานตัวอย่าง ซึ่งในการทดสอบกระทำที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส

3. ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

งานวิจัยการพัฒนากระเบื้องยางปูพื้นจากพอลิเมอร์ผสม ระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์และคลอริเนตพอลิเอทิลีนได้ผลจากการทดลองของงานวิจัย ดังต่อไปนี้

3.1 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติในผลกระทบของปริมาณสารคลอริเนตพอลิเอทิลีนต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสม แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่า จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน ปริมาณสารคลอริเนตพอลิเอทิลีนในช่วง 10-30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ต่อทุกสมบัติทางกลและทางกายภาพคือ ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัสการดึง ค่าความเครียดสูงสุด ค่าความแข็ง และค่าการยุบตัว ของพอลิเมอร์ผสม นอกจากนี้ในตารางที่ 2 ยังชี้ให้เห็นด้วยว่า ค่า Coefficient of Determination (R^2) ของความแข็งแรงดึง มอดูลัสการดึง ความเครียดสูงสุด และความแข็ง มีค่าอยู่ในช่วง 92.3 เปอร์เซ็นต์ ถึง 95.6 เปอร์เซ็นต์ นั่นหมายความว่า ความผันแปรทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการทดลองที่ไม่สามารถอธิบายได้มีเพียง 4.6 เปอร์เซ็นต์ 7.7 เปอร์เซ็นต์ 4.8 เปอร์เซ็นต์ และ 4.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ในสมบัติการยุบตัวมีค่า R^2 ค่อนข้างน้อยเพียง 63.1 เปอร์เซ็นต์ นั้น

หมายความว่า ประมาณ 36.1 เปอร์เซ็นต์ เป็นความผันแปรที่ไม่ได้มีผลมาจากปริมาณสารคลอริเนตพอลิเอทิลีน

เมื่อวิเคราะห์โดยใช้การเปรียบเทียบเชิงซ้อนทุกคู่ แสดงให้เห็นว่า ในค่ามอดูลัสการดึง การเติมสารคลอริเนตพอลิเอทิลีนเป็นส่วนผสมในพอลิไวนิลคลอไรด์ปริมาณ 10 ปริมาณ 20 และปริมาณ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ให้ค่ามอดูลัสการดึงสูงกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ไม่เติมสารคลอริเนตพอลิเอทิลีนอย่างมีนัยสำคัญ ($\alpha = 0.05$) อย่างไรก็ตาม การเติมสารคลอริเนตพอลิเอทิลีนเป็นส่วนผสมปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ให้ค่ามอดูลัสการดึงน้อยกว่าการเติมสารคลอริเนตพอลิเอทิลีนปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อย่างไม่มีนัยสำคัญ และการเติมสารคลอริเนตพอลิเอทิลีนเป็นส่วนผสมปริมาณ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ให้ค่ามอดูลัสการดึงสูงกว่าการเติมสารคลอริเนตพอลิเอทิลีนปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ตัวอักษร B) อย่างมีนัยสำคัญ ($\alpha = 0.05$)

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในผลกระทบของปริมาณสารคลอริเนตพอลิเอทิลีนต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสม

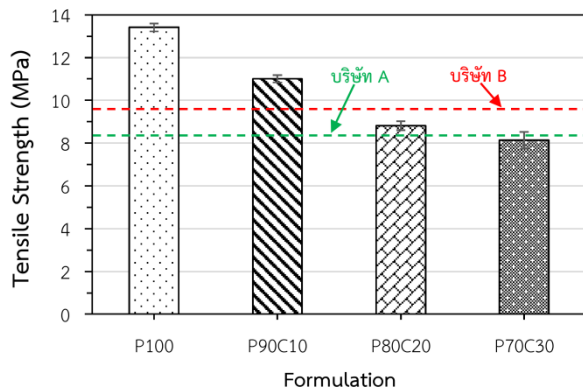
Property	CPE (wt%)				P-value	R^2 (%)
	0	10	20	30		
TS (MPa)	13.4 A	11.0 B	8.8 C	8.1 C	0.000*	95.4
TM (MPa)	22.5 A	59.2 B	70.9 B	121.2 C	0.000*	92.3
Strain (%)	372 A	270 B	234 C	173 D	0.000*	95.2
Hardness (Shore D)	51.4 A	54.8 B	56.5 C	58.1 D	0.000*	95.6
Residual (mm)	0.015 A	0.025 AB	0.034 AB	0.047 B	0.038*	63.1

หมายเหตุ: CPE คือ สารคลอริเนตพอลิเอทิลีน และ wt% คือ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในขณะเดียวกัน * หมายถึง ปริมาณสารคลอริเนตพอลิเอทิลีนมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($P < 0.05$) และในแต่ละสมบัติที่มีตัวอักษรเหมือนกัน (A-D) หมายถึง มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($\alpha = 0.05$)

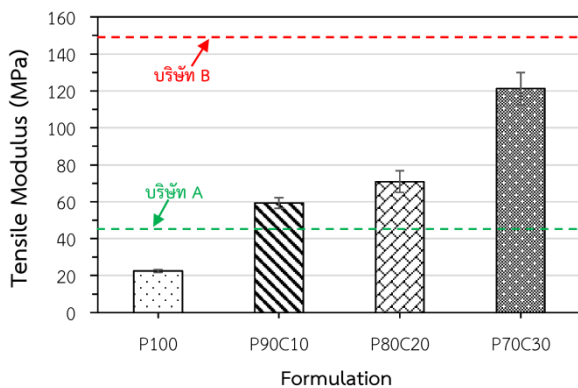
3.2 สมบัติการดึงของพอลิเมอร์ผสม

ผลกระทบปริมาณสารคลอริเนตพอลิเอทิลีนต่อค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสการดึงของพอลิเมอร์ผสม แสดงดังรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ โดยพบว่า การเติมสารคลอริเนตพอลิเอทิลีนเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้นในช่วง 10-30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลงตามปริมาณสารคลอริเนตพอลิเอทิลีนที่เติมเป็นส่วนผสม เนื่องจากสารคลอริเนตพอลิเอทิลีนไม่สามารถผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิไวนิลคลอไรด์ (Wu et al., 2004; Maksimov et al., 2004) ทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายทอดแรงภายในโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมลดลง แต่

ค่ามอดูลัสการดึงกลับเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารคลอรีนเตฟลูเอทิลีน สิ่งนี้เป็นไปได้ว่า คลอรีนเตฟลูเอทิลีนมีความแข็งแรงสูงกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์แบบยืดหยุ่น ในขณะเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสการดึงระหว่างพอลิเมอร์ผสมกับกระเบื้องยางปูพื้นของบริษัท A และ B พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่เติมสารคลอรีนเตฟลูเอทิลีน 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่ากระเบื้องยางปูพื้นของบริษัท A และ B แต่เมื่อเติมสารคลอรีนเตฟลูเอทิลีน 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กลับทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าความแข็งแรงดึงน้อยกว่ากระเบื้องยางปูพื้นของทั้ง 2 บริษัท และเมื่อพิจารณาค่ามอดูลัสการดึงพบว่า กระเบื้องยางปูพื้นของบริษัท A มีค่ามอดูลัสการดึงต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสมทุกอัตราส่วน แต่กระเบื้องยางปูพื้นของบริษัท B มีค่ามอดูลัสการดึงสูงกว่าในทุกอัตราส่วน



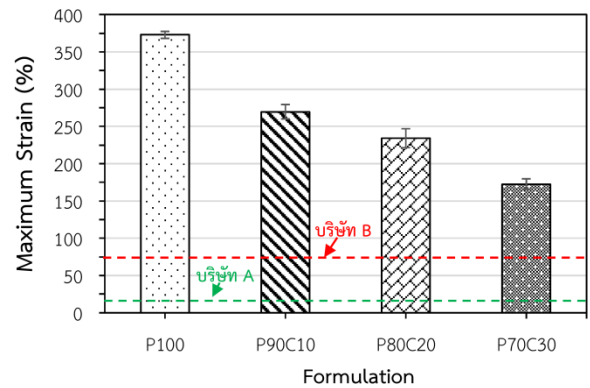
รูปที่ 3 ผลกระทบปริมาณสารคลอรีนเตฟลูเอทิลีนต่อค่าความแข็งแรงดึง



รูปที่ 4 ผลกระทบปริมาณสารคลอรีนเตฟลูเอทิลีนต่อค่ามอดูลัสการดึง

รูปที่ 5 แสดงผลกระทบปริมาณสารคลอรีนเตฟลูเอทิลีนต่อค่าความเครียดสูงสุดของพอลิเมอร์ผสม โดยชี้ให้เห็นว่า ค่าความเครียดสูงสุดของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลงตามปริมาณสารคลอรีนเตฟลูเอทิลีนที่เติมเป็นส่วนผสม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Maksimov et al. (2004) ที่พบว่า ค่าความเครียด

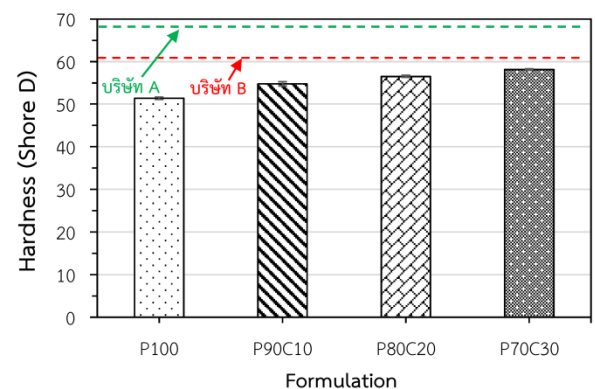
สูงสุดของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงลดลงตามปริมาณคลอรีนเตฟลูเอทิลีนที่เติมเป็นส่วนผสม เนื่องจากวัสดุทั้งสองไม่สามารถผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ ทำให้ความสามารถในการยึดตัวของพอลิเมอร์ผสมลดลง นอกจากนี้พบว่า พอลิเมอร์ผสมทุกอัตราส่วนมีค่าความเครียดสูงสุดมากกว่ากระเบื้องยางปูพื้นของทั้งบริษัท A และ B



รูปที่ 5 ผลกระทบปริมาณสารคลอรีนเตฟลูเอทิลีนต่อค่าความเครียดสูงสุด

3.3 สมบัติความแข็งของพอลิเมอร์ผสม

รูปที่ 6 แสดงผลกระทบปริมาณสารคลอรีนเตฟลูเอทิลีนต่อค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสม ซึ่งพบว่า การเติมสารคลอรีนเตฟลูเอทิลีนเป็นส่วนผสมในพอลิเมอร์ผสมมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ตามปริมาณของสารคลอรีนเตฟลูเอทิลีนที่เติมเป็นส่วนผสมในช่วง 10-30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สิ่งนี้เป็นไปได้ว่า คลอรีนเตฟลูเอทิลีนมีความแข็งแรงมากกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์แบบยืดหยุ่น นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งระหว่างพอลิเมอร์ผสมกับกระเบื้องยางปูพื้นของบริษัท A และ B พบว่า พอลิเมอร์ผสมมีค่าความแข็งน้อยกว่ากระเบื้องยางปูพื้นของบริษัท A และ B

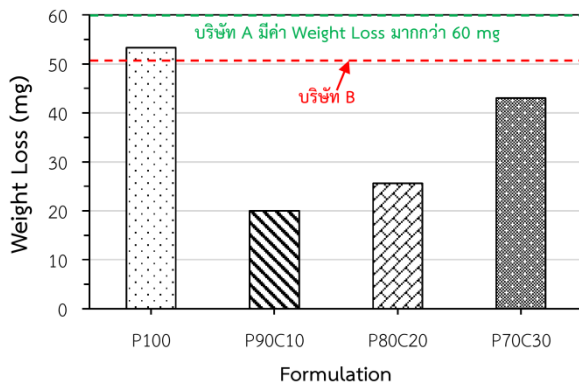


รูปที่ 6 ผลกระทบปริมาณสารคลอรีนเตฟลูเอทิลีนต่อค่าความแข็ง

3.4 สมบัติการสึกหรอของพอลิเมอร์ผสม

ผลกระทบปริมาณสารคลอรีนตพอลิเอทิลีนต่อค่าการสูญเสียน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสม แสดงดังรูปที่ 7 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า การเติมสารคลอรีนตพอลิเอทิลีนปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมลดลงอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แต่เมื่อเติมสารคลอรีนตพอลิเอทิลีนเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้นในช่วง 20-30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กลับทำให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารคลอรีนตพอลิเอทิลีน ในความเป็นจริงกลไกการสึกหรอของพอลิเมอร์เกิดจากการเสียดสีที่รุนแรงระหว่างผิวหน้าที่ยื่นของพอลิเมอร์กับพื้นผิวที่แข็งและหยาบของล้อหิน (Abu-Abdeen & Elamer, 2010) ดังนั้นวัสดุที่มีผิวหน้าที่อ่อน และมีการประสานที่ไม่แข็งแรงภายในโครงสร้าง จะมีการสูญเสียน้ำหนักได้ง่ายกว่า

นอกจากนี้พบว่า พอลิเมอร์ผสมสารคลอรีนตพอลิเอทิลีนทุกสูตรมีค่าการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่ากระเบื้องยางปูพื้นของทั้งบริษัท A และ B และพบว่า พลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ไม่ผสมสารคลอรีนตพอลิเอทิลีนมีค่าการสูญเสียน้ำหนักมากกว่ากระเบื้องยางปูพื้นของบริษัท B นั่นหมายความว่า การเติมสารคลอรีนตพอลิเอทิลีนในช่วง 10-30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สามารถปรับปรุงค่าการสูญเสียน้ำหนักของพอลิไวนิลคลอไรด์ได้



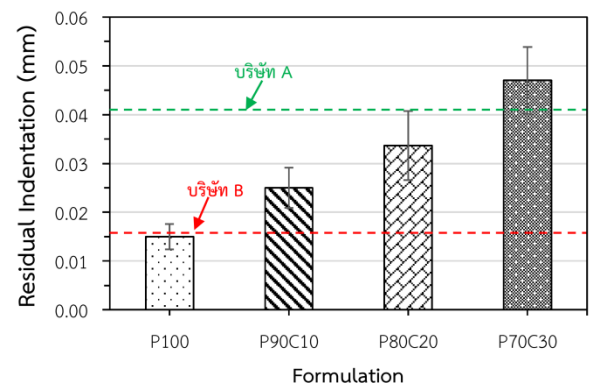
รูปที่ 7 ผลกระทบปริมาณสารคลอรีนตพอลิเอทิลีนต่อค่าการสูญเสีย น้ำหนัก

3.5 สมบัติการรับแรงของพอลิเมอร์ผสม

รูปที่ 8 แสดงผลกระทบปริมาณสารคลอรีนตพอลิเอทิลีนต่อค่าการยุบตัวของพอลิเมอร์ผสม โดยพบว่า การเติมสารคลอรีนตพอลิเอทิลีนเพิ่มขึ้นในช่วง 10-30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ค่าการยุบตัวของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารคลอรีนตพอลิเอทิลีนที่เติมเป็นส่วนผสม สิ่งนี้เป็นไปได้ว่า การเติมคลอรีนตพอลิเอทิลีนในพอลิไวนิลคลอไรด์แบบยืดหยุ่น ส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมมีความยืดหยุ่นลดลง ซึ่งสังเกตได้จากค่า

มอดูลัสการดึงและค่าความแข็ง ทำให้เมื่อรับแรงกดทับเป็นเวลานาน ความสามารถในการคืนตัวของพอลิเมอร์ผสมลดลงตามปริมาณสารคลอรีนตพอลิเอทิลีนที่เติมเป็นส่วนผสม ในขณะเดียวกันพบว่า พอลิเมอร์ผสมมีค่าการยุบตัวมากกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

เมื่อเปรียบเทียบค่าการยุบตัวของพอลิเมอร์ผสมกับกระเบื้องยางปูพื้นของบริษัท A และ B พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่เติมสารคลอรีนตพอลิเอทิลีน 10-20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าการยุบตัวสูงกว่ากระเบื้องยางปูพื้นของบริษัท B และเมื่อเติมสารคลอรีนตพอลิเอทิลีนเพิ่มขึ้นเป็น 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าการยุบตัวมากกว่ากระเบื้องยางปูพื้นของทั้งบริษัท A และ B



รูปที่ 8 ผลกระทบปริมาณสารคลอรีนตพอลิเอทิลีนต่อค่าการยุบตัว

4. สรุปผล

ผลจากการศึกษาผลกระทบของปริมาณสารคลอรีนตพอลิเอทิลีนต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสม เพื่อพัฒนาพอลิเมอร์ผสมเป็นกระเบื้องยางปูพื้นพบว่า ปริมาณสารคลอรีนตพอลิเอทิลีนในช่วง 10-30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัสการดึง ค่าความเครียดสูงสุด ค่าความแข็ง และค่าการยุบตัวของพอลิเมอร์ผสม โดยค่ามอดูลัสการดึง ค่าความแข็ง ค่าการสูญเสีย น้ำหนัก และค่าการยุบตัวของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น เมื่อเติมสารคลอรีนตพอลิเอทิลีนเป็นส่วนผสมในพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์เพิ่มขึ้นในช่วง 10-30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามค่าความแข็งแรงดึง ค่าความเครียดสูงสุดกลับมีค่าลดลง พฤติกรรมนี้เกิดจากสารคลอรีนตพอลิเอทิลีนไม่สามารถผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิไวนิลคลอไรด์ได้ ทำให้ความสามารถในการยึดตัวและประสิทธิภาพการถ่ายทอดแรงภายในโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมลดลง ในขณะเดียวกันพบว่า การเติมสารคลอรีนตพอลิเอทิลีนสามารถปรับปรุงสมบัติค่ามอดูลัสการดึง ค่าความแข็ง และค่าการสูญเสีย น้ำหนัก

ของพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นอกจากนี้จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า พอลิเมอร์ผสมที่เติมสารคลอรีนในพอลิเอทิลีน 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีความเหมาะสมในการนำไปใช้พัฒนาเป็นกระเบื้องยางปูพื้นต่อไป เนื่องจากมีค่าความแข็งแรงดึงและค่าความเครียดสูงสุดมากกว่า และค่าการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่ากระเบื้องยางปูพื้นของทั้งบริษัท A และ B

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินแผ่นดิน (รหัสข้อเสนองานวิจัย 2562A17102147) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ประจำปี 2562 และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และคณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่สนับสนุนการดำเนินงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- Abu-Abdeen, M., & Elamer, I. (2010). Mechanical and swelling properties of thermoplastic elastomer blends. *Materials and Design*, 31(2), 808-815. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.07.059>
- ASTM. (2014). ASTM D638-14. *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D0638-14>
- ASTM. (2015). ASTM D2240-15e1. *Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D2240-15>
- ASTM. (2016). ASTM D3389-16. *Standard Test Method for Coated Fabrics Abrasion Resistance (Rotary Platform Abrader)*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D3389-16>
- ASTM. (2017). ASTM F970-17. *Standard Test Method for Measuring Recovery Properties of Floor Coverings after Static Loading*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/F0970-17>
- Bhagabati, P., Chaki, T. K., & Khastgir, D. (2015). Chlorinated polyethylene (CPE) / ethylene methacrylate copolymer (EMA) / sepiolite nanocomposite via a facile one- step covalent modification technique. *RSC Advances*, 5, 60294-60306. <https://doi.org/10.1039/C5RA06488K>
- Deanin, R. D., & Chuang, W. L. (1987). ABS and CPE modifiers in rigid PVC. *Journal of Vinyl Technology*, 9(2), 60- 65. <https://doi.org/10.1002/vnl.730090206>
- Kongthan, J. (2015). *Physical properties of poly(vinyl chloride)/poly(butylene succinate)/wood flour composites*. Chulalongkorn University. <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/61491>

- Maksimov, R. D., Ivanova, T., Kalnins, M., & Zicans, J. (2004). Mechanical properties of high- density polyethylene/ chlorinated polyethylene blends. *Mechanics of Composite Materials*, 40, 331-340. <https://doi.org/10.1023/B:MOCM.0000039749.59104.7d>
- Page, D. J. Y. S., Cunningham, N., Chan, N., Carran, G., & Kim, J. (2007). Mechanical and heat deflection properties of PVC/ PMMA/ montmorillonite composites. *Journal of Vinyl & Additive Technology*, 13(2), 91-97. <https://doi.org/10.1002/vnl.20108>
- Thai Health on the Road to. (2013). *Thai society without asbestos*. <https://thaipublica.org>
- Varma, A. J., Deshpade, S. V., & Kondapalli, P. (1999). A comparative study of the thermal behavior of PVC, a series of synthesized chlorinated polyethylenes and HDPE. *Polymer Degradation and Stability*, 63(1), 1-3. [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(98\)00051-2](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(98)00051-2)
- Vrandecic, N. S., Klaric, I., & Kovacic, T. (2004). Kinetics of thermooxidative degradation of poly(vinyl chloride) / chlorinated polyethylene blends. *Polymer Degradation and Stability*, 84(1), 31-39. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2003.08.013>
- Vrandecic, N. S., Klaric, I., & Kovacic, T. (2004). Thermooxidative degradation of poly(vinyl chloride) / chlorinated polyethylene blends investigated by thermal analysis methods. *Polymer Degradation and Stability*, 84(1), 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2003.08.012>
- Wood Grain Rubber Tiles. (2020). *Wood grain rubber tiles FLEX MASTER*. www.9000Group.com/ Wood grain rubber tiles
- Wu, D., Wang, W., Song, Y., & Jin, R. (2004). Nanocomposites of poly(vinyl chloride) and nanometric calcium carbonate particles: Effects of chlorinated polyethylene on mechanical properties, morphology, and rheology. *Journal of Applied Polymer Science*, 92(4), 2714-2723. <https://doi.org/10.1002/app.20295>

7. ชีวประวัติ



รองศาสตราจารย์ ดร.ชาตรี หอมเขียว สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ และดำรงตำแหน่งหัวหน้าหน่วยวิจัยเทคโนโลยีการแปรรูปวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งานวิจัยที่สนใจ คือ วัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้ แผ่นใยไม้อัด และการออกแบบการทดลอง



รองศาสตราจารย์สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ สำเร็จ
การศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรม
ระบบการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าธนบุรี ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรอง
ศาสตราจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลศรีวิชัย งานวิจัยที่สนใจ คือ วิศวกรรม
การผลิต การยศาสตร์ และการออกแบบ
ผลิตภัณฑ์



ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรนรินทร์ ฉัตรทอง
สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชา
วิศวกรรมการผลิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าพระนครเหนือ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วย
ศาสตราจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลศรีวิชัย งานวิจัยที่สนใจ คือ วิศวกรรม
การผลิต และการออกแบบชิ้นส่วนการผลิต