

สภาวะที่เหมาะสมในการกัดผิวหน้าเรียบผลิตภัณฑ์วัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติก ต่อค่าความขรุขระผิว

Suitable Condition for Face Milling of Wood-Plastic Composite Products on Surface Roughness

ธนศ รัตนวิไล^{1,*} สมศักดิ์ จีนาพงษ์¹ และ ชัยณรงค์ ศรีวะบุตร²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คอหงส์ หาดใหญ่ สงขลา 90110

²สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

บ่อหยง เมืองสงขลา สงขลา 90000

Thanate Ratanawilai^{1,*} Somsak Jeenapong¹ and Chainarong Srivabutr²

¹Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University,
Kho Hong, Hat Yai, Songkhla, 90110, Thailand

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya,
Boyang, Muang, Songkhla, 90000, Thailand

*Corresponding Author E-mail: thanate.r@psu.ac.th

Received: Oct 28, 2022; Revised: Jan 03, 2023; Accepted: Jan 19, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อค่าความขรุขระผิวในกระบวนการกัดผลิตภัณฑ์วัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติกที่มีขายในเชิงพาณิชย์ โดยมีปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง คือ ความเร็วรอบ 250 500 และ 710 รอบ/นาที อัตราป้อนกัต 125 315 และ 630 มม./นาที ความลึกในการกัด 0.50 0.75 และ 1.00 มม. และวัสดุเชิงประกอบชนิดที่มีส่วนผสมหลักระหว่าง PE PP หรือ PVC และผงไม้ จากผลการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความขรุขระผิวของวัสดุเชิงประกอบ PE PP และ PVC พบว่า แนวโน้มค่าความขรุขระผิวระดับต่ำสุดสำหรับวัสดุเชิงประกอบ PP เมื่อทำการปรับค่าความเร็วรอบที่ 500 รอบ/นาที อัตราป้อนกัต 315 มม./นาที และความลึก 0.75 มม. โดยมีค่าความขรุขระผิว $1.70\ \mu\text{m}$ สำหรับวัสดุเชิงประกอบ PE เมื่อปรับค่าความเร็วรอบที่ 710 รอบ/นาที อัตราป้อนกัต 125 มม./นาที และความลึก 1.00 มม. ให้ค่าความขรุขระผิว $2.64\ \mu\text{m}$ และวัสดุเชิงประกอบ PVC เมื่อปรับค่าความเร็วรอบที่ 500 รอบ/นาที อัตราป้อนกัต 125 มม./นาที และความลึก 0.50 มม. ให้ค่าความขรุขระผิว $1.78\ \mu\text{m}$ นอกจากนี้ยังพบว่าชนิดของพลาสติกจะส่งผลต่อความขรุขระผิวของผลิตภัณฑ์ โดยที่วัสดุเชิงประกอบ PP ให้ค่าความขรุขระผิวต่ำสุด รองลงมา คือ วัสดุเชิงประกอบ PVC และ PE ตามลำดับ

คำสำคัญ: วัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติก, ความขรุขระผิว, เครื่องกัดแนวตั้ง

Abstract

This research aimed to study the suitable condition of a face milling and plastic types on surface roughness of commercial wood-plastic composites (WPCs). The experiment consisted of 4 factors; spindle speed, feeding rate, depth of

cut and types of WPCs. Three levels of cutting condition were the spindle speeds at 250, 500, and 710 rpm, feeding rates at 125, 315, and 630 mm/min, and depths of cut at 0.50, 0.75, and 1.00 mm whereas 3 types of WPCs were combination of PE, PP or PVC with wood-flour. The results show that the lowest surface roughness of WPCs was 1.70, 2.64, and 1.78 μm ., obtained from the composites PP, PVC, and PE at the cutting conditions of spindle speed 500, 710, and 500 rpm, the feeding rates 315, 125, and 125 mm per minute, and the depths of cut 0.75, 1.00, and 0.50 mm, respectively. Furthermore, the surface roughness value of the composites was affected by the different type of WPCs whereas the lowest to the highest surface roughness values were given by the PP, PVC, and PE composites, respectively.

Keywords: Wood-plastic composites, Surface roughness, Vertical milling machine

1. บทนำ

ไม้เป็นวัสดุที่มีบทบาทสำคัญต่อชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์ ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของไม้จึงมีความจำเป็นและมีการคิดค้นวิธีการใหม่ๆอย่างต่อเนื่อง เช่น กระบวนการผลิต การนำไปใช้งาน และการบำรุงรักษา โดยเฉพาะเทคโนโลยีในการนำประโยชน์ของวัสดุเหลือทิ้งอย่าง “ผงขี้เลื่อยไม้” มาพัฒนาเป็นไม้ทดแทน [1],[2] ที่เรียกว่า วัสดุเชิงประกอบ ไม้พลาสติก (Wood-plastic composites; WPCs) ซึ่งเป็นนวัตกรรมที่นำมทดแทนไม้ในธรรมชาติได้ โดยผลิตขึ้นจากพลาสติกที่ทำหน้าที่เป็นเนื้อพื้น (Matrix) และผงขี้เลื่อยไม้ที่ทำหน้าที่เป็นสารเสริมแรง (Reinforcement) [3] ซึ่งนับเป็นเทคโนโลยีทางด้านวัสดุที่กำลังได้รับความสนใจอยู่ในขณะนี้ โดยทั่วไปจะใช้ผงขี้เลื่อยประมาณร้อยละ 40 และผงพลาสติกรวมถึงส่วนผสมทางเคมีอื่น ๆ อีกประมาณร้อยละ 60 [4] ถือได้ว่าเป็นการนำเอาความรู้ทั้งในส่วน of ไม้และของพลาสติกมาประสานรวมกันทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ จัดเป็นวัสดุทางวิศวกรรมที่เข้ามามีบทบาทเพิ่มมากขึ้นแทนที่วัสดุที่ใช้ก่อสร้างแบบเดิม ๆ ข้อดีของการใช้วัสดุเชิงประกอบมาเป็นวัสดุทดแทน คือ มีความแข็งแรง น้ำหนักเบา อัตราการดูดซับน้ำน้อย ไม่มีเชื้อราและปราศจากจากมดและปลวก [5] วัสดุเชิงประกอบสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายวิธี เช่น การอัดขึ้นรูป การฉีดเข้าแม่พิมพ์ และการอัดรีด เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วการแปรรูปวัสดุเชิงประกอบจะมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเกิดจากข้อจำกัดของการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีด [6],[7] หรือชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดอื่น [8],[9]

ทำให้เป็นข้อจำกัดในการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้ประโยชน์ให้เกิดความหลากหลาย [10] ดังนั้น เพื่อที่จะลดข้อจำกัดดังกล่าว จำเป็นจะต้องเพิ่มแนวทางในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างวัสดุเชิงประกอบให้แตกต่างจากวัสดุเชิงประกอบที่ขึ้นรูปทั่วไป ให้สอดคล้องกับลักษณะการใช้งานที่ซับซ้อนยิ่งขึ้นและเป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภค โดยการนำวัสดุเชิงประกอบมาผ่านกระบวนการแปรรูปและการออกแบบผลิตภัณฑ์ การแปรรูปวัสดุเชิงประกอบให้ได้รูปทรงที่ต้องการนั้น [11] พื้นผิวสำเร็จของงานเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญที่จะช่วยให้รูปร่างของวัสดุเชิงประกอบมีความแตกต่าง สวยงาม และถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางมากยิ่งขึ้น [12] จึงเป็นที่มาของการศึกษางานวิจัยนี้ โดยทำการศึกษาปัจจัยการกัดหน้าเรียบของวัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติกโดยเลือกศึกษาพลาสติกต่างชนิดกัน ได้แก่ พอลิเอทิลีน (Polyethylene; PE) พอลิโพรพิลีน (Polypropylene; PP) พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride; PVC) และมีขี้เลื่อยไม้ที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมเป็นสารเสริมแรง

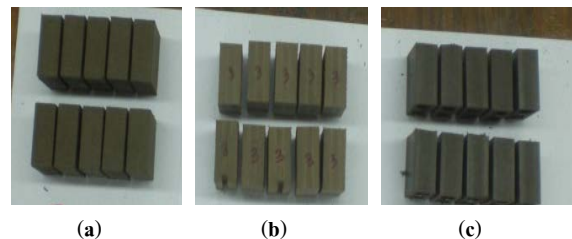
จากการสำรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กระบวนการกัดงานเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีผลต่อรูปร่างและคุณภาพผิวของชิ้นงาน โดยการใช้เครื่องมือตัดหรือมีดตัดในการกำจัดเนื้อวัสดุส่วนเกินออกจากชิ้นงานจนเกิดผิวชิ้นงานหรือรูปร่างงานใหม่ [13],[14] การศึกษาปัจจัยหรือสภาวะการกัดเป็นสิ่งสำคัญ เช่น การศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมรรถภาพการตัดไม้ในการผลิตเพอร์นิเจอร์ไม้อย่างพาราโดยใช้มีด Polycrystalline Diamond (PCD) ของกุศล พร้อมมูลและคณะ [15] โดยปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ ความเร็วรอบ อัตราป้อนและทิศ

ทางการป้อนตัดเทียบกับทิศทางเส้นไม้ที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานพบว่า ที่ความเร็วรอบ 15,000 รอบ/นาที และอัตราป้อน 8 มม./นาที จะให้ผิวชิ้นงานที่ปราศจากขุยและมีความเรียบผิวดีที่สุด ในขณะที่ สรสิทธิ์ ระวังวงศ์ และจักรนรินทร์ จักรทอง [16] ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของงานกัดตัวอักษรบนไม้ยางพาราด้วยเครื่องกัดควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ปัจจัยที่การศึกษาคือ ทิศทางในการเดินมีดที่ทำมุมกับแนวเส้นไม้ อัตราป้อน ความเร็วรอบและความลึกในการกัด ที่ให้ค่าความขรุขระพื้นผิวที่ยอมรับได้ โดยค่าความเรียบผิวก่อนนำไปขัดในการตัดแต่งเฟอร์นิเจอร์อยู่ในช่วง 3.0–9.0 ไมโครเมตร (μm) โดยกำหนดอัตราป้อนอยู่ในช่วง 100–750 มม./นาที ทิศทางในการเดินมีดที่ทำมุมกับแนวเส้นไม้ 0–90 องศา ความเร็วรอบอยู่ในช่วง 100–2,500 รอบ/นาที ความลึกในการกัด 1–3 มม. ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิว คือ อัตราป้อนและความเร็วรอบ โดยมีแนวโน้มว่าค่าความเรียบผิวจะลดลงเมื่ออัตราป้อนต่ำลงและความเร็วรอบเพิ่มขึ้น จากการศึกษาการกลึงไม้พลาสติกนาร่องของ S. Zuzana และคณะ [17] โดยการเปรียบเทียบความขรุขระของพื้นผิวของวัสดุเชิงประกอบ 5 ชนิด สังเกตความเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยความหยาบผิว (Surface Roughness; R_a) กับ การเปลี่ยนแปลงของอัตราป้อนในช่วง 0.10–0.61 มม./นาที ที่ระยะป้อนลึก 0.5 มม. พบว่าอัตราป้อนที่มีค่าน้อยจะส่งผลให้ค่าความขรุขระของพื้นผิวของวัสดุเชิงประกอบอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ในสภาพพื้นผิวละเอียดหรือหยาบสำหรับในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรและสภาวะที่เหมาะสมในการกัดหน้าเรียบของวัสดุเชิงประกอบ ไม้พลาสติกที่มีขายในเชิงพาณิชย์ ประกอบด้วย ความเร็วรอบ อัตราป้อนกัดและความลึกในการกัด เพื่อเป็นประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมและเป็นแนวทางในการกำหนดปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมในการกัดหน้าเรียบวัสดุเชิงประกอบให้มีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังเป็นการประหยัดเวลาและได้รูปร่างของชิ้นงานที่หลากหลายอีกด้วย

2. วิธีการวิจัย

2.1 วัสดุและการเตรียมตัวอย่างการทดลอง

วัสดุเชิงประกอบที่ใช้ในการทดลองเป็นวัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติกจำนวน 3 ชนิด ที่มีขายในท้องตลาด ได้แก่ 1) วัสดุเชิงประกอบ PVC ขนาด $1'' \times 2'' \times 118.11''$ 2) วัสดุเชิงประกอบ PE ขนาด $1'' \times 2'' \times 118.11''$ และ 3) วัสดุเชิงประกอบ PP ขนาด $1'' \times 6'' \times 118.11''$ นำวัสดุเชิงประกอบทั้ง 3 ชนิด มาตัดด้วยเครื่องเลื่อยสายพานแนวนอนให้มีขนาดความยาว 5 ซม. เพื่อเป็นชิ้นงานตัวอย่างในการนำไปกัดตามเงื่อนไขที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ชิ้นงานขนาดความยาว 5 ซม. (a) PE (b) PP
(c) PVC

2.2 เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) เครื่องเลื่อยสายพานแนวนอน ยี่ห้อ CARIF รุ่น 260 BSA (มิลาน ประเทศอิตาลี) สำหรับการเตรียมชิ้นงานเพื่อใช้ในการทดลองกัดชิ้นงาน

2) เครื่องกัดประเภทยูนิเวอร์แซลแบบกัดแนวตั้งแกนหมุนตั้งฉากกับงาน ยี่ห้อ Cugir รุ่น FU $25 \times 1,000$ มม. อัตราป้อนกัด 16–800 มม./นาที ระดับความเร็ว 12 ตำแหน่ง สามารถปรับความเร็วรอบตั้งแต่ 45–2000 รอบ/นาที

3) เครื่องทดสอบความขรุขระพื้นผิว ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SJ-210 โดยใช้ Cut-off Length และ Scan Length เท่ากับ 2.5 และ 20.0 มม. ตามลำดับ ทำการวัดความขรุขระพื้นผิววัสดุเชิงประกอบที่ผ่านการกัดหน้าผิวงาน ซึ่งจะบอกค่าละเอียดในหน่วยไมโครเมตร (μm) การใช้งานทุกครั้งจะสอบเทียบกับผิวทดสอบมาตรฐาน และปรับค่าให้ได้ $2.94 \mu\text{m}$ ค่ามาตรฐานในการเทียบ)

2.3 การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้มีตัวแปรที่ทำการทดลองในการกัดผิวหน้าเรียบชิ้นงาน คือ ความเร็วรอบ อัตราการป้อนกัตและระยะป้อนลึก ทั้งหมด 3 ระดับ ประกอบด้วย ความเร็วรอบที่ระดับ 250 500 และ 710 รอบ/นาที อัตราป้อนกัตที่ระดับ 125 315 และ 630 มม./นาที และระยะป้อนลึกที่ระดับ 0.50 0.75 และ 1.00 มม. โดยตัวแปรและการกำหนดค่าเหล่านี้ได้จากการทบทวนวรรณกรรม (Literature reviews) เกี่ยวกับการกัดวัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติก ดังแสดงในตารางที่ 1 จากนั้นทำการกัดผิวหน้าชิ้นงานตามการออกแบบการทดลอง เพื่อทำการศึกษาคูณภาพผิวงานโดยวัดค่าความขรุขระของพื้นผิวในการกัด ดังแสดงในรูปที่ 2

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ในการกัดชิ้นงานตัวอย่าง

Factors	-1	0	+1
Spindle speed (rev/min)	250	500	710
Feed (mm/min)	125	315	630
Depth of cut (mm)	0.50	0.75	1.00

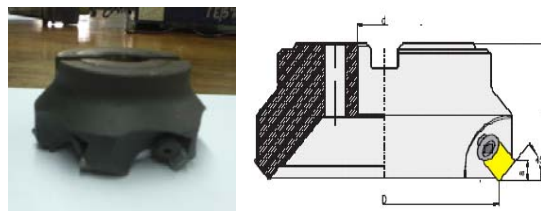


รูปที่ 2 ใบบิดคาร์ไบด์และมุมของคมตัด

สำหรับใบบิดตัดในการทดลอง ใช้ใบบิดคาร์ไบด์สำเร็จรูปที่สามารถถอดเปลี่ยนเม็ดมิดได้ ชนิดทั้งสแตนคาร์ไบด์ยี่ห้อ Yamaloy รุ่น SEKR 1203 AFTN เกรด K20 มีความกว้าง 12.7 มม. ความหนา 3.18 มม. มุมรัศมี 14 องศา มุมคายเศษ 15 องศา และมุมหลบ 20 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3 นอกจากนี้ตัวจับมิดกัตเป็นวัสดุคาร์ไบด์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 110 มม. จำนวน 6 คมตัด ยี่ห้อ Indexa-seiki โดยการคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางตัวจับมิด ดังสมการที่ (1)

$$d = v1000/n \quad (1)$$

เมื่อ d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของใบบิด (มม.) v คือ ความเร็วตัด (ม./นาที) และ n คือ ความเร็วรอบของมิดกัต (รอบ/นาที)



รูปที่ 3 ใบบิดคาร์ไบด์และมุมของคมตัด

2.4 การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสภาวะในการกัดผิวหน้าที่มีผลต่อค่าความขรุขระผิวหรือผิวสำเร็จของวัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติกชนิด PE PP และ PVC ที่มีขายในท้องตลาด โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ 1) การหาขนาดสิ่งตัวอย่าง 2) การออกแบบตำแหน่งและวิธีการวัด และ 3) การวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

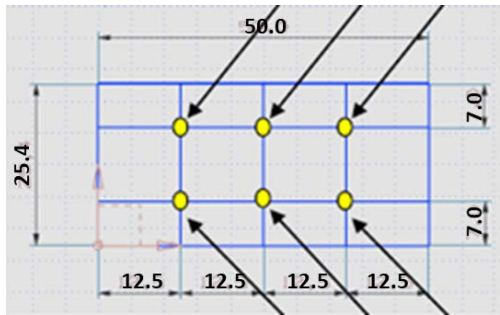
1) การหาขนาดสิ่งตัวอย่าง

ทำการทดลองโดยใช้โปรแกรม Design Expert (Version 8) เพื่อกำหนดตัวแปรและสภาวะในการทดลอง ซึ่งมีปัจจัยทั้งหมด 4 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบ อัตราป้อนกัต ระยะป้อนลึก และชนิดของพลาสติก โดยออกแบบการทดลองแบบ 3^4 แฟกทอเรียล (3^4 Factorial Design Expert) จะได้สภาวะการทดลองทั้งหมด 81 สภาวะ (Run) จากนั้นทำการสุ่มเลือกมา 1 สภาวะ เพื่อทำการกัดและหาขนาดสิ่งตัวอย่าง

2) การออกแบบตำแหน่งและวิธีการวัด

การวัดค่าความขรุขระผิวของวัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติกใช้เครื่องมือวัด ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SJ-210 (คานาวาระ ประเทศญี่ปุ่น) ตามการออกแบบการทดลองและทำซ้ำ 3 ครั้งในแต่ละเงื่อนไข มีความยาวของการกัดทิศทางตามเข็มนาฬิกาความยาว 5 ซม. โดยแต่ละชิ้นจะทำการวัด 6 ตำแหน่งเพื่อลดความแปรปรวนของการวัด โดยแต่ละตำแหน่งห่างกันจากขอบชิ้นงานด้านแนวยาว 12.50 มม. และจากขอบชิ้นงานด้านแนวขวาง 7 มม. ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยวัดค่า

ความขรุขระผิวที่ผ่านการกัดหน้าเรียบด้วยค่าความหยาบของผิว (R_a) เพราะเป็นค่าที่ใช้กันอย่างกว้างขวางทางอุตสาหกรรมสำหรับวัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติก



รูปที่ 4 แสดงตำแหน่งการวัดค่าความขรุขระ

3) การวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาโดยมีการตั้งข้อสังเกตว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อค่าความขรุขระผิวของวัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติกที่มีพลาสติกเป็นส่วนผสม 3 ชนิด คือ PE PP และ PVC ตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลของผลการทดลองโดยวิเคราะห์คุณสมบัติของข้อมูล 3 ประการ คือ การตรวจสอบข้อสมมุติทางด้านการกระจายแบบปกติของข้อมูล (Normal probability plot) การทดสอบความมีเสถียรภาพของข้อมูล (Variance stability test) และการทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent test) นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยหลักโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) อีกด้วย

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ผลการหาขนาดของสิ่งตัวอย่าง

การวิเคราะห์ในขั้นตอนที่ 1 เป็นการหาขนาดของสิ่งตัวอย่างใช้ค่าสถิติสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\alpha = 0.05$) [4],[10],[13] โดยการเก็บข้อมูลค่าความขรุขระผิวชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง ตามเงื่อนไขการทดลอง ประกอบด้วยความเร็วรอบ 250 500 และ 710 รอบ ต่อนาที อัตราป้อนกัด 125 315 และ 630 มม.ต่อนาที และความลึกในการกัด 0.50 0.75 และ 1.00 มม.โดยเงื่อนไขในการกัดเพื่อกำหนดขนาดสิ่งตัวอย่าง คือ ความเร็วรอบที่ 500 รอบต่อนาที อัตราป้อนกัด 315 มม.ต่อนาที และความ

ลึกในการกัด 0.75 มม. ทำการทดลองในสภาวะการกัดแปดผิวเดียวกัน จำนวน 10 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่าง ผลการวัดค่าความขรุขระผิวของชิ้นงานเพื่อหาขนาดสิ่งตัวอย่างจากการทดลองเบื้องต้น โดยใช้ Minitab Release 16 ช่วยในการคำนวณค่าทางสถิติ พบว่าจำนวนขนาดสิ่งตัวอย่างของวัสดุเชิงประกอบเท่ากับ 3 และ 4 ตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 2 ดังนั้น จึงเลือกใช้ขนาดสิ่งตัวอย่างเท่ากับ 3 ตัวอย่าง สำหรับวัสดุเชิงประกอบที่มีส่วนผสมของ PE และ PVC และขนาดสิ่งตัวอย่างเท่ากับ 4 ตัวอย่าง สำหรับวัสดุเชิงประกอบที่มีส่วนผสมของ PP ตามลำดับ

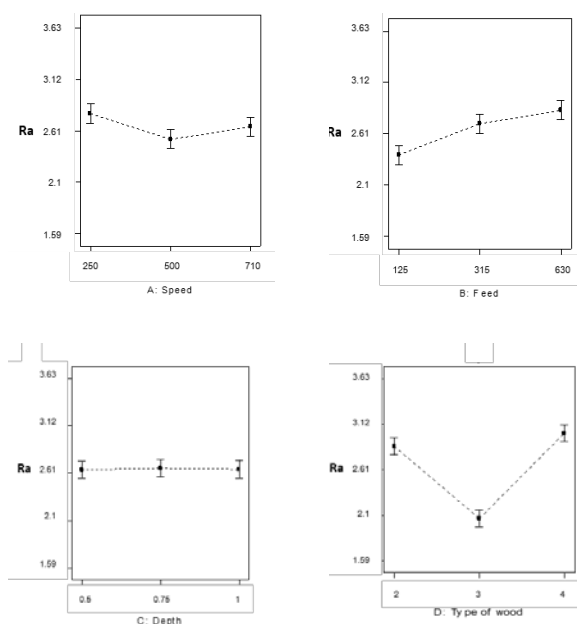
ตารางที่ 2 การหาขนาดสิ่งตัวอย่างของวัสดุเชิงประกอบ

Composites	Sample Size	Power
PE	3	0.94615
PVC	3	0.98438
PP	4	0.95870

3.2 การศึกษาปัจจัยหลักที่มีผลต่อความขรุขระของผิววัสดุเชิงประกอบ PE PP และ PVC

การวิเคราะห์ในขั้นตอนที่ 2 เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความขรุขระผิวทั้งปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมของวัสดุเชิงประกอบ โดยการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล [9] มีปัจจัยในการทดลอง คือ ความเร็วตัด (Speed) อัตราป้อนกัด (Feed) ความลึกในการกัด (Depth of cut) และชนิดของวัสดุเชิงประกอบ (Type of wood plastic composites) จากนั้น ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยค่าทางสถิติ ซึ่งการวิเคราะห์ค่าความขรุขระผิวและปัจจัยหลักของการทดลอง คือ ความเร็วรอบ อัตราป้อนกัด ความลึกในการกัด และชนิดของวัสดุเชิงประกอบ สรุปได้ว่า ปัจจัยหลักของการทดลอง คือ ความเร็วรอบ อัตราป้อนกัด และชนิดของวัสดุเชิงประกอบ มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ต่อค่าความขรุขระผิวของ WPCs โดยค่า P -Value เท่ากับ 0.0332 0.0001 และ 0.0001 ตามลำดับ ยกเว้นความลึกในการกัดที่มีผลอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ต่อค่าความขรุขระผิวของวัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติก โดยค่า P -Value เท่ากับ 0.9774 ดังแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 5 ตามลำดับ

จากรูปที่ 5 พบว่า อิทธิพลของปัจจัยหลักมีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ต่อค่าความขรุขระผิวของวัสดุเชิงประกอบ ยกเว้นความลึกของกระบวนการกัด [10] ดังแสดงในตารางที่ 4 การปรับเพิ่มความเร็วรอบจาก 250 รอบ/นาที เป็น 500 รอบ/นาที ส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวอยู่ในระดับต่ำสุด และเมื่อมีการปรับความเร็วในการกัดเพิ่มขึ้นเป็น 710 รอบ/นาที ส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวมีค่าสูงขึ้น โดยความเร็วรอบที่ 500 รอบ/นาที โดยตั้งข้อสังเกตว่ามีความเหมาะสมมากที่สุดในการกระบวนการกัด นอกจากนี้ เมื่อปรับเพิ่มอัตราป้อนกัดจาก 125 เป็น 630 มม./นาที ส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวมีค่าสูงขึ้น ตามลำดับ สำหรับวัสดุเชิงประกอบต่างชนิดกันให้ค่าความขรุขระผิวที่ต่างกัน โดยพบว่า ค่าความขรุขระผิวที่ต่ำสุดคือ วัสดุเชิงประกอบที่มีส่วนผสมของ PP สำหรับความลึกในการกัดจะไม่ส่งผลกระทบต่อความขรุขระของผิวของวัสดุเชิงประกอบทั้ง 3 ชนิด



รูปที่ 5 ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าความขรุขระผิวสำหรับการกัด WPCs

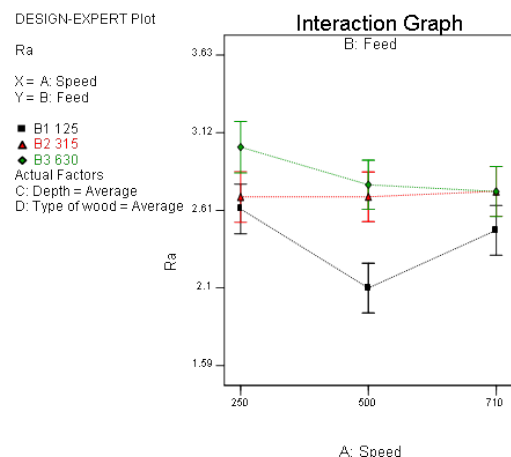
3.3 การศึกษาปัจจัยร่วมที่มีผลต่อความขรุขระของผิววัสดุเชิงประกอบ PE PP และ PVC

การวิเคราะห์ในขั้นตอนที่ 3 เป็นการศึกษาปัจจัยร่วมที่มีผลต่อความขรุขระของผิวของวัสดุเชิงประกอบที่มีส่วนผสมของ PE PP และ PVC โดยมีปัจจัยในการทดลอง

คือ ความเร็วตัด อัตราป้อนกัด ความลึกในการกัด และชนิดของวัสดุเชิงประกอบ จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยค่าทางสถิติ ซึ่งการวิเคราะห์ค่าความขรุขระผิวและปัจจัยร่วมของปัจจัยทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 3

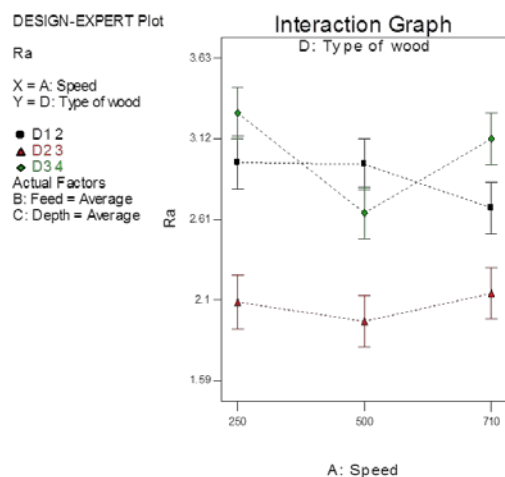
โดยพบว่า ปัจจัยร่วมที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ต่อค่าความขรุขระผิวมีเพียงคู่เดียว คือ ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วรอบและชนิดของวัสดุเชิงประกอบ โดยค่า P -Value เท่ากับ 0.0120 นอกจากนี้ ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วรอบและอัตราป้อน ความเร็วรอบและความลึกในการกัด อัตราป้อนและความลึกในการกัด อัตราป้อนและชนิดของวัสดุเชิงประกอบ ความลึกในการกัดและชนิดของวัสดุเชิงประกอบ มีผลอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ต่อค่าความขรุขระผิวของ WPCs โดยค่า P -Value เท่ากับ 0.1390 0.4491 0.4517 0.2281 และ 0.2769 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยผลจากการทดลอง แสดงดังรูปที่ 6-11 ตามลำดับ

รูปที่ 6 อิทธิพลของปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วรอบและอัตราป้อนกัด โดยผลการวิเคราะห์ พบว่า ปัจจัยร่วมดังกล่าวมีผลอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) [8],[13] ที่ค่า P -Value เท่ากับ 0.1390 ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยระดับความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที อัตราป้อน 125 มม./นาที ส่งผลให้ค่าความขรุขระของพื้นผิวมีค่าต่ำสุด เมื่อปรับค่าความเร็วรอบเพิ่มขึ้นที่ 500 และ 710 รอบ/นาที อัตราป้อนกัด 630 มม./นาที ส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวมีค่าสูงสุด



รูปที่ 6 ผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วรอบและค่าอัตราป้อนต่อค่าความขรุขระของผิวของ WPCs

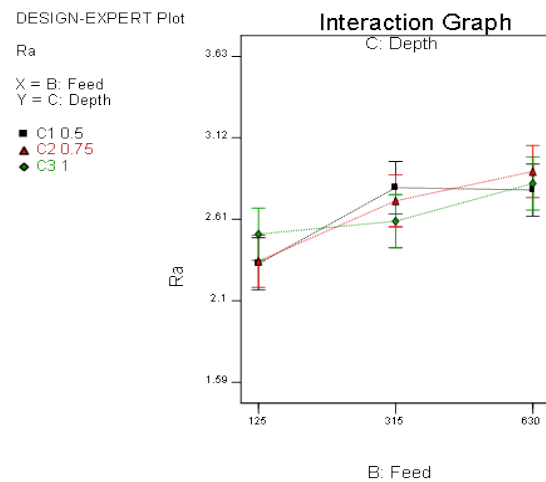
จากรูปที่ 8 แสดงปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วรอบและชนิดของวัสดุเชิงประกอบ ผลการทดลอง พบว่า ปัจจัยร่วมที่ประกอบด้วยความเร็วรอบ คือ 250 500 และ 710 รอบ/นาที่ และชนิดของวัสดุเชิงประกอบ PE PP และ PVC มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ต่อค่าความขรุขระผิวของ WPCs [9] โดยค่า P -Value เท่ากับ 0.0120 โดยที่ระดับความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที่ จะให้ค่าความขรุขระผิวต่ำสุด ในการกัดวัสดุที่มีส่วนประกอบของ PP รองลงมา คือ PVC และ PE ตามลำดับ นอกจากนี้ เมื่ออัตราป้อนเพิ่มขึ้นจาก 250 รอบ/นาที่ เป็น 710 ส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวของวัสดุเชิงประกอบ PE และ PVC มีค่าลดลง และวัสดุเชิงประกอบ PP มีค่าเพิ่มขึ้น ตามลำดับ



รูปที่ 8 ผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่างระหว่างความเร็วรอบและชนิดของวัสดุเชิงประกอบ PE PP และ PVC

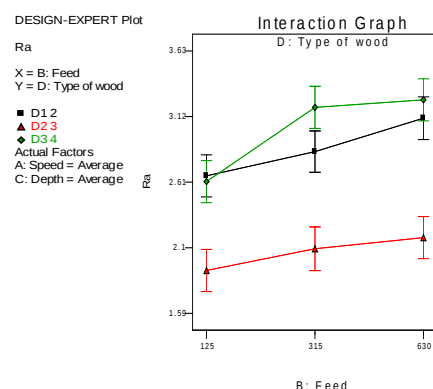
จากรูปที่ 9 แสดงปัจจัยร่วมระหว่างอัตราป้อนกัดและความลึกในการกัด ผลการทดลอง พบว่า ปัจจัยร่วมดังกล่าวมีผลอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ต่อค่าความขรุขระผิวของ WPCs ที่ค่า P -Value เท่ากับ 0.4517 โดยกล่าวได้ว่า อัตราป้อนกัด 125 มม./นาที่ ความลึกในการกัดที่ 0.50 มม. ส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวมีค่าต่ำที่สุด นอกจากนี้ เมื่อปรับค่าอัตราป้อนกัดเพิ่มขึ้นที่ 315 มม./นาที่ ที่ความลึกในการกัดทั้ง 3 ระดับ ส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวของ WPCs มีค่าเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับเมื่อปรับค่าอัตราป้อนกัดเพิ่มขึ้นที่ 315 มม./นาที่ เป็น 630 มม./นาที่ ส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวมี

ค่าที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นที่ระดับความลึกในการกัด 0.05 มม. ส่งผลให้ค่าความขรุขระผิว มีค่าลดลง ตามลำดับ



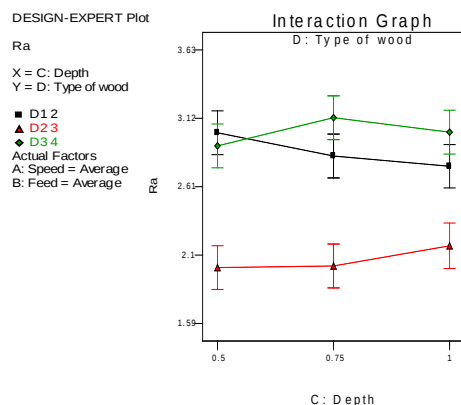
รูปที่ 9 ผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่างอัตราป้อนกัดและความลึกในการกัดของ WPCs

จากรูปที่ 10 แสดงปัจจัยร่วมระหว่างอัตราป้อนกัดและชนิดของวัสดุเชิงประกอบ PE PP และ PVC ตามลำดับ ผลการทดลอง พบว่า ปัจจัยร่วมดังกล่าวมีผลอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ต่อค่าความขรุขระผิวของ WPCs ที่ค่า P -Value เท่ากับ 0.2881 พบว่า วัสดุเชิงประกอบทั้ง 3 ชนิด จะให้ค่าความขรุขระผิวที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปรับอัตราป้อนกัดจาก 125 มม./นาที่ เป็น 315 และ 630 มม./นาที่ ตามลำดับ



รูปที่ 10 ผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่างอัตราป้อนกัดและชนิดของวัสดุเชิงประกอบ PE PP และ PVC

จากรูปที่ 11 แสดงปัจจัยร่วมระหว่างความลึกในการกัด และชนิดของวัสดุเชิงประกอบ PE PP และ PVC ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยร่วมดังกล่าวมีผลอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ต่อค่าความขรุขระผิวของ WPCs ที่ค่า P -Value เท่ากับ 0.2769 โดยมีปัจจัยที่ประกอบด้วยความลึกในการกัด คือ 0.50 0.75 และ 1.00 มม. และวัสดุเชิงประกอบ PE PP และ PVC สรุปได้ว่า วัสดุเชิงประกอบ PP ที่ระดับความลึกในการกัด 0.50 มม. ให้ค่าความขรุขระผิวที่มีค่าต่ำที่สุด และเมื่อปรับค่าความลึกในการกัดเพิ่มขึ้นเป็น 0.75 และ 1.00 มม. ส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวของวัสดุเชิงประกอบเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งตรงกันข้ามกับวัสดุเชิงประกอบ PE ให้ค่าความขรุขระผิวลดลง เมื่อความลึกในการกัดเพิ่มขึ้น ตามลำดับ



รูปที่ 11 ผลกระทบร่วมของปัจจัยระหว่างความลึกในการกัดและชนิดของวัสดุเชิงประกอบ PE PP และ PVC

3.4 อภิปรายผลงานวิจัย

จากผลการทดลองการกัดผิวหน้าของ WPCs โดยมีปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง คือ ความเร็วรอบ อัตราป้อน กัด ความลึกในการกัด และชนิดของวัสดุเชิงประกอบ โดยทำการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Design)

ด้วยโปรแกรม Design Expert (Version 8) [4],[10] จำนวน 81 เงื่อนไขและทำซ้ำ 3 ครั้ง โดยแต่ละ ตัวอย่างจะทำการวัดค่าความขรุขระของพื้นผิวจำนวน 6 จุด ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยหลักที่ใช้ในการทดลองทั้ง 4 ชนิด มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ต่อค่าความขรุขระผิวของวัสดุเชิงประกอบ ยกเว้นความลึกในการกัดในการกัดที่มีผลอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) [10] จากการเปรียบเทียบระหว่างชนิดของวัสดุเชิงประกอบ PE PP และ PVC แนวโน้มค่าความขรุขระผิวของ PP อยู่ในระดับต่ำสุดคือ 1.70 μm . [4],[18] ที่ระดับสภาวะความเร็วรอบที่ 500 รอบ/นาที อัตราป้อนกัดที่ 315 มม./นาที และค่าความลึกที่ 0.75 มม. สำหรับวัสดุเชิงประกอบที่มีส่วนผสมของ PE ที่ระดับสภาวะความเร็วรอบที่ 710 รอบ/นาที อัตราป้อนกัดที่ 125 มม./นาที และค่าความลึกที่ 1.00 มม. ให้ค่าความขรุขระผิว 2.64 μm . และวัสดุเชิงประกอบที่มีส่วนผสมของ PVC ที่ระดับสภาวะความเร็วรอบที่ 500 รอบ/นาที อัตราป้อนกัดที่ 125 มม./นาที และค่าความลึกที่ 0.5 มม. ให้ค่าความขรุขระผิว 1.78 μm . แสดงดังตารางที่ 4 นอกจากนี้ ปัจจัยที่ส่งผลต่อความขรุขระผิว คือ ประเภทของพลาสติกที่เป็นส่วนผสมของวัสดุเชิงประกอบทั้ง 3 ชนิด โดยที่วัสดุเชิงประกอบ PP ให้ค่าความขรุขระผิวต่ำสุด [9],[18] รองลงมา คือ วัสดุวัสดุเชิงประกอบ PVC และ PE ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองที่ต่างกันนี้จะขึ้นอยู่กับสองปัจจัยหลัก คือ คุณสมบัติเฉพาะตัวของพลาสติก เช่น อัตราการไหล ความหนาแน่น อุณหภูมิหลอมเหลว และความเข้ากันได้กับวัสดุเสริมแรง และวิธีการของการออกแบบการทดลอง โดยกำหนดความเร็วรอบ อัตราป้อนกัด และระยะป้อนลึก ซึ่งมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมที่ต่างกันของพลาสติก อาทิเช่น PE อุณหภูมิหลอมเหลวที่สูงกว่า PP และ PVC ดังนั้น ความเร็วรอบในการกัด PE จึงมีค่าที่สูงกว่า PP และ PVC เป็นต้น

ตารางที่ 4 การตั้งข้อสังเกตสภาวะที่เหมาะสมโดยมีค่าความขรุขระผิวที่ต่ำที่สุดของวัสดุเชิงประกอบ PE PP และ PVC

Composites	Spindle speed (rev/min)	Feed (mm/min)	Depth of Cut (mm)	Surface Roughness (μm)	SD.
PE	710	125	1.00	2.64	0.17
PP	500	315	0.75	1.70	0.21
PVC	500	125	0.50	1.78	0.18

4. สรุปผล

จากการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยและการหาสภาวะที่เหมาะสมที่มีผลต่อค่าความขรุขระผิวของวัสดุเชิงประกอบ และทำการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ผลการศึกษา พบว่า ปัจจัยหลักที่ใช้ในการทดลองทั้ง 4 ชนิด มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ต่อค่าความขรุขระผิวของวัสดุเชิงประกอบ ยกเว้นความลึกในการกัดในการกัด สำหรับการวิเคราะห์ปัจจัยร่วมของการทดลอง พบว่า อิทธิพลร่วมที่ส่งผลต่อค่าความขรุขระผิวของวัสดุเชิงประกอบมากที่สุด คือ ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วรอบ คือ 250 500 และ 710 รอบ/นาที และชนิดของวัสดุเชิงประกอบ PE PP และ PVC นอกจากนี้ หากต้องการเปรียบเทียบระหว่างชนิดของพลาสติกที่เป็นส่วนผสมของวัสดุเชิงประกอบ สามารถตั้งข้อสังเกตว่า สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการกัดระหว่างวัสดุเชิงประกอบทั้ง 3 ชนิดมีค่าที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะตัวของพลาสติกและอัตราส่วนของวัสดุเชิงประกอบ ซึ่งการศึกษาสภาวะการกัดที่เหมาะสมของการวิจัยนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านการขึ้นรูป โครงสร้าง และกระบวนการผลิตวัสดุเชิงประกอบที่มีรูปทรงที่หลากหลายและซับซ้อน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มวิจัยเทคโนโลยีไม้ยางพาราและการจัดการ (Rubberwood Technology and Management Research Group) และสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม และการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ได้ให้อาณูเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ เครื่องจักรและสถานที่ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

[1] M. Chaharmahali, M. Tajvidi and S. K. Najafi, "Mechanical properties of wood plastic composite panels made from waste fiberboard and particleboard," *Polymer Composites*, vol. 10, no 3, pp. 606- 610, 2008. doi: 10.1002/pc.20434.

[2] S. Tamrakar and R. A. Lopez-Anido, "Water absorption of wood polypropylene composite sheet piles and its influence on mechanical properties," *Construction and Building Materials*, vol. 25, no. 10, pp. 3977–3988, 2011. doi: 10.1016/j.conbuildmat. 2011.04.031.

[3] S. Sriarkarin, S. Suksard, W. Hoamuangkaew, and S. Jarusombuti, "Marketing of wood plastic composite products in Thailand," *Thai Journal of Forestry*, vol 31, no 1, pp. 46–54, 2022.

[4] C. Srivabut, T. Ratanawilai and S. Hiziroglu, "Response surface optimization and statistical analysis of composites made from calcium carbonate filler-added recycled polypropylene and rubberwood fiber," *Journal of Thermoplastic Composites Material*, vol 35, no 3, pp. 391–415, 2022, doi: 10.1177/0892705719889988.

[5] N. Ayilimis, U. Buyuksari and T. Dundar, "Waste pine cones as a source of reinforcing fillers for thermoplastic composites," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 117, no. 4, pp. 2324–2330, 2010, doi: 10.1002/app.32076.

[6] R. Z. Huang, B. J. Kim, S. Lee, Z. Yang and Q. L. Wu, "Co-extruded wood-plastic composites with talc-filled shells: morphology, mechanical, and thermal expansion performance," *BioResources*, vol. 8, no. 2, pp. 2283–2299, 2013, doi: 10.15376/biores. 8.2.2283-2299.

[7] S. Rimdusit, W. Smittakorn, S. Jittarom and S. Tiptipakorn, "Highly filled polypropylene rubber wood flour composites," *Engineering Journal*, vol 15, no. 2, pp. 17–30, 2011, doi: 10.4186/ej.2011.15.2.17.

[8] C. Homkhiew and T. Ratanawilai, "Optimal proportions of composites from polypropylene and rubberwood flour after water immersion using experimental design," *KKU Research Journal*, vol. 19, no. 6, pp. 780–793, 2014.

[9] T. Ratanawilaia, P. Pitsuwan, S. Jirasampata and C. Homkhiew, "Influence of Milling Factors on Surface

- Finish of Wood-Plastic Composites,” *Ladkrabang Engineering Journal*, vol. 32, pp. 43–48, 2015.
- [10] C. Srivabut, S. Rawangwong, C. Homkhiew and J. Rodjananugoon, “Optimal condition on surface roughness in side milling of high-density polyethylene and rubberwood flour composites using response surface methodology,” *Ladkrabang Engineering Journal*, vol 39, no 1, pp. 23–34, 2022.
- [11] E. O. Olakanmi, E. A. Ogunesan, E. Vunain, R. A. Lafia-Araga, M. Doyoyo and R. Meijboom, “Mechanism of fiber/matrix bond and properties of wood polymer composites produced from alkaline-treated daniella oliveri wood flour,” *Journal of Polymer Composites*, vol. 37, no.9, pp. 2657–2672, 2016, doi: 10.1002/pc.23460
- [12] C. Srivabut, C. Homkhiew and S. Rawangwong, “Optimal composition on surface roughness of wood-plastic composites using mixture design and response surface methodology,” *Ladkrabang Engineering Journal*, vol 38, no 4, pp. 151–165, 2021.
- [13] J. Lamaming, R. Hashim, O. Sulaiman, T. Sugimoto, M. Sato and S. Hiziroglu, “Measurement of some properties of binderless particleboards made from young and old oil palm trunks,” *Measurement*, vol 47, pp. 813–819, 2014. doi: 10.1016/j.measurement.2013.10.007
- [14] C. Srivabut, A. T. Kamnerdwam, C. Homkhiew, S. Rawangwong and T. Ratanawilai, “Response Surface Optimization on Flexural Properties of Wood-Plastic Composites for Structure Materials Exposed to High Moisture Content,” *The Journal of Industrial Technology*, vol 18, no 1, pp. 1–20, 2022, doi: 10.14416/j.ind.tech.2022.02.001
- [15] S. Rawangwong and J. Chatthong, “The study favorable conditions for the cutting text on Para wood by computer numerical controlled milling”, in *16th IE Network Conference*, Phuket, Thailand, Oct. 24–26, 2007, pp. 121–129.
- [16] Z. Hutyrova, J. Zajac, P. Michalik, D. Mital, J. Duplak and S. Gajdos, “Study of surface roughness of machined polymer composite material,” *International Journal of Polymer Science*, vol. 1, pp. 1–6, 2015, doi: 10.1155/2015/303517
- [17] C. Tasdemir, I. H. Basboga and S. Hizirogiu, “Surface Quality of wood plastic composites as function of water exposure,” *Applied Sciences*, vol. 10, pp.156–167, 2020. doi: 10.3390/app10155122
- [18] Wechsler and S. Hiziroglu, “Some of the properties of wood-plastic composites,” *Building and Environment*, vol. 42, pp.2637–2644, 2007, doi: 10.1016/j.buildenv.2006.06.018