



การศึกษาแผ่นขัดจากเส้นใยแกลบข้าวสำหรับกระบวนการขัดผิวโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกล

นายไมโท เกษสุวรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2568

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

การศึกษาแผ่นขัดจากเส้นใยแกลบข้าวสำหรับกระบวนการขัดผิวโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกล



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2568

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



ใบรับรองโครงงานวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การศึกษาแผ่นขัดจากเส้นใยแกลบข้าวสำหรับกระบวนการขัดผิวโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกล

โดย นายไมโท เกษสุวรรณ

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย / หัวหน้าภาควิชา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ จันทรวีวัฒน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ วิโรจน์นาภาพิศา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพล บุญอึ้ง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ สุขวิวัฒน์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวรรณ บริพัตรโกศล)

ชื่อ : นายไมโท เกษสุวรรณ
 ชื่อวิทยานิพนธ์ : การศึกษาแผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าวสำหรับกระบวนการ
 ขัดผิวโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกล
 สาขาวิชา : เทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพล บุญอึ้ง
 อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ สุขวิวัฒน์
 ปีการศึกษา : 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการปรับปรุงเส้นใยกลบข้าวด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อแผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าวสำหรับกระบวนการขัดผิวโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกล โดยเส้นใยกลบข้าวขนาด 80 เมช จะถูกนำไปผสมกับพอลิยูรีเทนในอัตราส่วนผสมกลบข้าว 2.5, 5, 7.5, 10 และ 12.5 ส่วนในร้อยส่วนของเรซิน เพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นขัด จากนั้นนำไปวัดค่าความแข็งของแผ่นขัด ทดสอบค่าความต้านทานการขัดถูและทดสอบการดูดซึมน้ำ จากนั้นทดสอบขัดผิวซัพไฟร์ด้วยกระบวนการขัดผิวโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกล จากผลการวิจัยพบว่ากลบข้าวทุกชนิดผสมพอลิยูรีเทนสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นขัดได้ และผลการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกไม่ส่งผลต่อค่าความแข็ง อีกทั้งยังเพิ่มค่าความต้านทานการขัดถู และดูดซึมน้ำน้อยลง ตรงข้ามกับการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีค่าความแข็งลดลง ค่าความต้านทานการขัดถูเพิ่มขึ้น และดูดซึมน้ำก็เพิ่มขึ้น ผลการทดลองขัดโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกล พบว่าแผ่นขัดทุกชนิดสามารถขัดผิวซัพไฟร์ได้ โดยแผ่นขัดที่ไม่ผ่านการปรับปรุงให้ค่าอัตราการขจัดเนื้อวัสดุได้สูงที่สุด รองลงมาคือปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ตามลำดับ

(มีจำนวนทั้งสิ้น 93 หน้า)

คำสำคัญ : กลบข้าว, การปรับปรุง, แผ่นขัด, ซัพไฟร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Name : Mr. Mighttho Ketsuwan
Thesis Title : STUDY ON RICE HUSK FIBER-BASED POLISHING PAD
FOR CHEMICAL MECHANICAL POLISHING PROCESS
Major Field : Mechanical Engineering Technology
King Mongkut's University of Technology North
Bangkok
Thesis Advisor : Assistant Professor Dr. Natthaphon Bun-athuek
Co-Advisor : Associate Professor Dr. Nathapong Sukhawipat
Academic Year : 2025

ABSTRACT

This study investigates the effects of hydrochloric acid (HCl) and sodium hydroxide (NaOH) treatments on rice husk fiber-based polishing pads for the Chemical Mechanical Polishing (CMP) process. Rice husk fibers (80 mesh) were mixed with polyurethane at loadings of 2.5, 5, 7.5, 10, and 12.5 parts per hundred of resin (phr) to fabricate polishing pads, which were then tested for hardness, abrasion resistance, water absorption, and CMP performance. The results showed that all types of rice husk fibers mixed with polyurethane could be successfully fabricated into polishing pads. In terms of mechanical properties, hydrochloric acid treatment had no significant effect on hardness but improved abrasion resistance and reduced water absorption. In contrast, sodium hydroxide treatment decreased hardness while increasing both abrasion resistance and water absorption. CMP testing results showed that all pads were capable of polishing sapphire surfaces. The non-treated pad achieved the highest material removal rate, followed by the pads treated with hydrochloric acid and sodium hydroxide, respectively.

(Total 93 Pages)

Keywords: Rice husk, Treatment, Polishing Pad, Sapphire

Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาเอื้อเฟื้ออย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ วิโรจรัตน ภาพิศาล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวรรณ บริพัตรโกศล กรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ ที่สละเวลาตรวจสอบความถูกต้อง และให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพล บุญอึ้ง อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และ รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐพงษ์ สุขวิวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งได้มอบคำแนะนำที่มีคุณค่าและสนับสนุน การศึกษาค้นคว้าวิจัย ตลอดจนช่วยชี้แนะแนวทางและตรวจแก้ไขด้วยความเอาใจใส่มาโดยตลอด ขอขอบคุณ หอองการประลองวัดละเลียดและสอบเทียบขนาด และ สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพอลิเมอร์และอุตสาหกรรม ยาง ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนคร เหนือ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ และการสนับสนุนด้านเทคนิคในการทดสอบชิ้นงานตัวอย่าง นอกจากนี้ ขอขอบคุณ คุณอุษมา บุญโสม ที่กรุณาให้อุปกรณ์สำหรับการหล่อชิ้นงานและงานวิจัยที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง สำหรับการศึกษาวิจัยเพิ่มเติม

สุดท้ายนี้ ขอน้อมกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่มอบกำลังใจและสนับสนุน การศึกษาอย่างสม่ำเสมอ ตลอดจนขอบคุณ บรรดาเพื่อน รุ่นพี่ รุ่นน้อง เจ้าหน้าที่ และวิศวกร ทุกท่านที่คอย ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้เสมอมา

ไมโท เกษสุวรรณ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูปภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.5 สถานะของปัญหาและวิธีการวิจัย	4
1.6 คำจำกัดความ.....	4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่สำคัญและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ทฤษฎีที่สำคัญ.....	6
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	35
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	36
3.2 การเลือกตัวแปรและการทดลองขั้นต้น	39
3.3 วิธีการสร้างแผ่นขัด	41
3.4 การทดสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติของแผ่นขัด	44
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	49
4.1 การวิเคราะห์ค่าความแข็งของแผ่นขัด.....	50
4.2 การวิเคราะห์ค่าความต้านทานการขัดถู.....	52
4.3 การวิเคราะห์การดูดซึมน้ำ.....	55
4.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการขัดผิว	57
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	59
5.1 สรุป.....	59
5.2 สรุปตามวัตถุประสงค์.....	59
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	60
บรรณานุกรม	61
ภาคผนวก ก. ส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ที่ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์เผยแพร่.....	67
ประวัติผู้เขียน	93

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 องค์ประกอบของเกลบข้าว	12
2-2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29
3-1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการขัดผิวซัพไฟร์โดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกล.....	46
4-1 ค่าความแข็งที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น.....	52



สารบัญรูปภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 ส่วนประกอบเครื่องเจียรผิวราบแบบแกนหมุนแนวนอน	6
2-2 ภาพตัดเต็มของการตัดเฉือนของเม็ดเกรนในกระบวนการเจียรระไน	7
2-3 ส่วนประกอบเครื่องขัดคลึง	8
2-4 ภาพตัดเต็มแสดงถึงพฤติกรรมของอนุภาคสารขัดในระหว่างกระบวนการขัดคลึง	8
2-5 ส่วนประกอบเครื่องขัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกล	9
2-6 ภาพตัดเต็มแสดงถึงพฤติกรรมของอนุภาคซิลิกาในระหว่างกระบวนการขัด โดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกล	9
3-1 วิธีการดำเนินงานวิจัย	35
3-2 พอลิยูรีเทนชนิดสองส่วน	36
3-3 กรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 12 โมล	37
3-4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 2.5 โมล	38
3-5 เส้นใยกลบข้าว	38
3-6 ค่าความแข็งของแผ่นที่อัตราส่วนกลบข้าว 2.5 ส่วนในร้อยละของเรซิน	41
ในแต่ละสูตรผสม	
3-7 ขั้นตอนการปรับกรูกลบข้าวด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์	42
3-8 กลบข้าวที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์	43
3-9 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าวผสมพอลิยูรีเทน	43
3-10 การทดสอบค่าความแข็งด้วยเครื่องวัดค่าความแข็ง (Shore Durometer)	44
3-11 การทดสอบค่าความต้านทานการขัดถูด้วยเครื่องทดสอบการขัดถู	45
(DIN Abrasion Tester AT150)	

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3-12 การทดสอบการดูดซึมน้ำ.....	45
3-13 เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ A&D BM20	47
3-14 การทดสอบประสิทธิภาพในการตัดผิวซัพไฟร์ด้วยเครื่องตัดด้วยสารเคมี	48
ร่วมกับแรงทางกล (MARUTO ML-160A)	
4-1 ภาพแผ่นขัดทั้งสามชนิดที่อัตราส่วนเกลบข้าว 0, 2.5, 5, 7.5, 10 และ 12.5	49
ส่วนในร้อยละของเรซิน	
4-2 ค่าความแข็งของแผ่นขัดทั้งสามชนิดที่อัตราส่วนเกลบข้าว	50
0, 2.5, 5, 7.5, 10 และ 12.5 ส่วนในร้อยละของเรซิน	
4-3 ค่าความต้านทานการขัดถูของแผ่นขัดทั้งสามชนิดที่อัตราส่วนเกลบข้าว.....	52
0, 2.5, 5, 7.5, 10 และ 12.5 ส่วนในร้อยละของเรซิน	
4-4 สภาพผิวของเส้นใยเกลบข้าวที่เปลี่ยนแปลงไปหลังปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	54
4-5 การดูดซึมน้ำของแผ่นขัดทั้งสามชนิดที่อัตราส่วนเกลบข้าว	55
0, 2.5, 5, 7.5, 10 และ 12.5 ส่วนในร้อยละของเรซิน	
4-6 แสดงถึงปริมาณ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และอื่น ๆ ที่เปลี่ยนไป.....	56
หลังผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	
4-7 แสดงถึงการดูดซึมน้ำและไฮดรอกซิลที่เปลี่ยนไปหลังผ่านการปรับปรุงด้วย.....	56
กรดอะคริลิกและโซเดียมไฮดรอกไซด์	
4-8 อัตราการขจัดเนื้อวัสดุของแผ่นขัดทั้งสามชนิดที่อัตราส่วนเกลบข้าว.....	58
10 ส่วนในร้อยละของเรซิน และแผ่นขัดในอุตสาหกรรม SUBA800	
4-9 แนวโน้มของอัตราการขจัดเนื้อวัสดุที่เปลี่ยนแปลงตามค่า pH.....	58
ของสารละลายขึ้นเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ X. Niu, et al. (2017)	

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ก-1 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ หน้า 1 (RESTCON 2024).....	68
ก-2 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ หน้า 2 (RESTCON 2024).....	69
ก-3 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ หน้า 3 (RESTCON 2024).....	70
ก-4 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ หน้า 4 (RESTCON 2024).....	71
ก-5 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ หน้า 5 (RESTCON 2024).....	72
ก-6 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม.....	73
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี หน้า 1	
ก-7 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม.....	74
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี หน้า 2	
ก-8 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม.....	75
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี หน้า 3	
ก-9 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม.....	76
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี หน้า 4	
ก-10 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม	77
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี หน้า 5	
ก-11 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม	78
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี หน้า 6	
ก-12 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม	79
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี หน้า 7	

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ก-13 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 80	
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี หน้า 8	
ก-14 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 81	
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี หน้า 9	
ก-15 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 82	
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี หน้า 10	
ก-16 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 83	
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี หน้า 11	
ก-17 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 84	
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี หน้า 12	
ก-18 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 85	
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี หน้า 13	
ก-19 หนังสือรับรองการตีพิมพ์ในวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 86	
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี	
ก-20 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ หน้า 1 (RI ² C 2025) 87	
ก-21 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ หน้า 2 (RI ² C 2025) 88	
ก-22 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ หน้า 3 (RI ² C 2025) 89	
ก-23 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ หน้า 4 (RI ² C 2025) 90	
ก-24 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ หน้า 5 (RI ² C 2025) 91	
ก-25 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ หน้า 5 (RI ² C 2025) 92	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ทุกวันนี้เราอยู่ในยุคดิจิทัลที่สมาร์ทโฟนและอุปกรณ์สื่อสารไร้สายกลายเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวันของมนุษย์ทั่วโลก หัวใจหลักของอุปกรณ์เหล่านี้คือ ไมโครชิป (Microchip) ซึ่งทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการประมวลผลข้อมูลและควบคุมการทำงานของระบบอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด โดยไมโครชิปส่วนใหญ่ผลิตบนแผ่น ซิลิกอน (Silicon Wafer) ซึ่งเป็นวัสดุหลักในอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์ แต่ยังมีไมโครชิปอีกกลุ่มหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นบนแผ่นซัพไฟร์ (Sapphire Wafer) เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเด่นหลายประการ เช่น มีความแข็งแรงสูง ความทนทานต่ออุณหภูมิสูง ความเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี และมีความเสถียรทางเคมี ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์เช่นกัน ซัพไฟร์จึงถูกนำมาใช้เป็นวัสดุฐาน (Substrate) สำหรับการสร้างผลึกสารกึ่งตัวนำประเภทแกเลียมไนไตรด์เพื่อผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างเช่น หลอดไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode: LED) ซึ่งมีมูลค่าการตลาดทั่วโลกอยู่ที่ประมาณ 3.4 ล้านล้านบาท ในปี 2025 (Mordor Intelligence, 2025) เลเซอร์ไดโอด (Laser Diode) และวงจรรวมความถี่วิทยุ (Radio Frequency Integrated Circuit: RF IC) แต่ก่อนที่จะสามารถนำซัพไฟร์ไปขึ้นแผงวงจรรขนาดเล็กได้ จำเป็นต้องมีการเตรียมและปรับคุณภาพผิวซัพไฟร์ให้ถึงความราบและเรียบสม่ำเสมอในระดับนาโนเมตร ไม่มีรอยขีดข่วนหรือรอยแตกร้าวใต้พื้นผิว (T. Doi et al., 2011; S. Dai et al., 2020) แต่ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวจึงทำให้วัสดุชนิดนี้จัดอยู่ในกลุ่มที่ขัดผิวได้ยาก การปรับสภาพผิวจึงจำเป็นต้องอาศัยกระบวนการ ขัดผิวโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกล (Chemical Mechanical Polishing: CMP) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ผสมผสานปฏิกิริยาเคมีกับแรงเชิงกล เพื่อทำให้พื้นผิวชิ้นงานมีความเรียบและราบในระดับที่เหมาะสมต่อการขึ้นลวดลายวงจรของไมโครชิปที่มีขนาดเล็กมากได้อย่างแม่นยำ (B. Zhang et al., 2017) แต่กระบวนการขัดผิวโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกลเป็นกระบวนการที่มีอัตราการขัดเนื้อวัสดุต่ำเมื่อเทียบกับกระบวนการขัดชนิดอื่นเช่น การเจียรระไน และการขัดคลึง จึงใช้ระยะเวลาในการขัดที่นานอีกทั้งในกระบวนการนี้จะมีวัสดุสิ้นเปลืองหลักอยู่สองประเภทได้แก่ สารละลายขุ่น (Slurry) และแผ่นขัด (Polishing Pad) ซึ่งมีต้นทุนรวมกันคิดเป็นประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ของค่าใช้จ่ายในกระบวนการทั้งหมด (M. Bahr et al., 2017) ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพในการในการขัดของกระบวนการขัดผิวดังกล่าวโดยงานวิจัยของ H. Lei, et al. (2017) ได้ทำการพัฒนาสารละลายขุ่นเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการขัดผิวด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกล โดยผสมธาตุสังกะสีลงในสารละลายขุ่นที่มีอนุภาคซิลิกาอยู่ พบว่าการ

เพิ่มปริมาณสังกะสีที่เหมาะสมสามารถเพิ่มอัตราการขจัดเนื้อวัสดุและเพิ่มคุณภาพผิวของซัพไฟร์ได้ดีกว่าสารละลายชั้นที่มีแต่อนุภาคซิลิกาอย่างเดียว และงานวิจัยของ Y. Zhou, et al. (2016) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการขัดซัพไฟร์ของสารละลายชั้นแบบไฮบริด โดยผสมสารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกาขนาด 10 นาโนเมตร และ 100 นาโนเมตร นำมาเปรียบเทียบกับการใช้อนุภาคซิลิกาขนาด 100 นาโนเมตร อย่างเดียว ผลการทดลองพบว่าการใช้ซิลิกาผสมสามารถเพิ่มอัตราการขจัดเนื้อวัสดุ และได้คุณภาพผิวที่ดีกว่า จากงานวิจัยข้างต้นเป็นการพัฒนาที่มุ่งเน้นไปที่การเพิ่มประสิทธิภาพของสารละลายชั้นเพื่อตอบโจทย์ในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพในการขัดแต่ยังไม่ตอบโจทย์ในด้านการลดค่าใช้จ่ายในการบวนการขัด จึงทำให้มีการวิจัยศึกษาเกี่ยวกับการสร้างแผ่นขัดจากเส้นใยธรรมชาติ โดยงานวิจัยของ S. Chansatapornkul, et al. (2019) ได้ทดลองสร้างแผ่นขัดจากเส้นใยธรรมชาติสี่ชนิด พบว่าแผ่นขัดจากเส้นใยชานอ้อยและไผ่สามารถขัดผิวซัพไฟร์ได้ดี เนื่องจากมีซิลิกาเป็นส่วนประกอบ ในขณะที่เส้นใยกล้วยและสับปะรดที่ไม่มีซิลิกาเป็นส่วนประกอบนั้นไม่สามารถขัดผิวซัพไฟร์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ N. Bun-athuek, et al. (2022) ได้สร้างแผ่นขัดจากวัสดุธรรมชาติ โดยใช้ เส้นใยพวงข้าวและกาบมะพร้าวพบว่าแผ่นขัดที่ทำจากวัสดุธรรมชาติทั้งสองชนิดสามารถขัดผิวซัพไฟร์ได้ เนื่องจากเส้นใยพวงข้าวและกาบมะพร้าวมีส่วนประกอบของซิลิกาในปริมาณสูง ซึ่งงานวิจัยข้างต้นเป็นการมุ่งเน้นไปที่การใช้วัสดุจากธรรมชาติที่เป็นวัสดุราคาถูกมาสร้างเป็นแผ่นขัดจากวัสดุธรรมชาติเพื่อที่จะทดแทนแผ่นขัดจากเส้นใยสังเคราะห์ในอุตสาหกรรมที่มีราคาสูง

จากงานวิจัยข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะใช้แกลบข้าวซึ่งเป็นวัสดุจากธรรมชาติที่เหมาะสมสำหรับสร้างแผ่นขัดทดแทน เนื่องด้วยประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกข้าวมากที่สุดเป็นอันดับสองของโลก ในปี พ.ศ. 2565 (S. Janepittaya, 2023) จึงมีแกลบข้าวที่เป็นเศษเหลือจากกระบวนการสีข้าวเป็นจำนวนมาก ประกอบกับในงานวิจัยของ Ugheoked & O. Mamat. (2012) ที่รายงานว่าสามารถเตรียมซิลิกาจากแกลบข้าวคิดเป็น 17 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของแกลบข้าวซึ่งมีซิลิกาที่เตรียมได้จากเถ้าอยู่ 94 เปอร์เซ็นต์ และมีลักษณะเป็นอสัณฐาน ซิลิกาจากแกลบข้าวมีทั้งความบริสุทธิ์และมีปริมาณซิลิกาสูงกว่าเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่น ๆ อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแผ่นขัดจากเส้นใยธรรมชาติที่ผ่านมายังไม่มีการกล่าวถึงกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย ซึ่งอาจเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการขัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกลและในด้านคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นขัดจากเส้นใยธรรมชาติ

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของกระบวนการปรับปรุงเส้นใยแกลบข้าวที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการขัดผิวซัพไฟร์ด้วยกระบวนการขัดโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกลและคุณสมบัติเชิงกล ของแผ่นขัดที่ทำจากเส้นใยแกลบข้าวที่ปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมกับพอลิยูรีเทนในอัตราส่วนต่าง ๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อสร้างแผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงและผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมกับพอลิยูรีเทน

1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของกระบวนการปรับปรุงเส้นใยกลบข้าวด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อ ค่าความแข็ง ค่าความต้านทานการขัดถู การดูดซึมน้ำของแผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าว

1.2.3 เพื่อศึกษาอิทธิพลของกระบวนการปรับปรุงเส้นใยกลบข้าวด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อประสิทธิภาพในการขัดผิวโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกลของแผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าว

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

กระบวนการปรับปรุงเส้นใยกลบข้าวด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถทำความสะอาดผิวและปรับสภาพผิวของเส้นใยกลบข้าวให้มีความขรุขระมากขึ้นซึ่งคาดว่าจะส่งผลต่อสมบัติทางกลของแผ่นขัด อีกทั้งยังส่งผลต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยกลบข้าว และมีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างผลึกของซิลิกาในเส้นใยกลบข้าวซึ่งส่งผลต่อกระบวนการขัดผิวโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกล กระบวนการปรับปรุงทั้งสองจึงมีความเป็นไปได้ในการเพิ่มสมบัติและประสิทธิภาพในการขัดผิวของแผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าว (Librea, et al., 2019; Chanda, et al., 2015; N. Stephen, et al., 2015; H. D. Rozman, et al., 2005; A. Ma'ruf, et al., 2017)

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ใช้พอลิยูรีเทน (Polyurethane: PU) ชนิดสองส่วน เป็นวัสดุเมทริกซ์ โดยกำหนดอัตราส่วนผสมระหว่าง A = Polyols และ B = Prepolymer Ended Capping with Isocyanate อยู่ที่ 1.6 : 1

1.4.2 ศึกษาแผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าวผสมพอลิยูรีเทนที่อัตราส่วนเส้นใยกลบข้าว 0, 2.5, 5, 7.5, 10 และ 12.5 ส่วนในร้อยส่วนของเรซิน (Part Per Hundred of Resin: phr)

1.4.3 ปรับปรุงเส้นใยกลบข้าวขนาด 80 เมช ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์

1.4.4 ศึกษาค่าความแข็งของแผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าวด้วยเครื่องวัดความแข็ง (Shore Durometer) แบบ (Shore A) ตามมาตรฐาน ASTM D 2240

1.4.5 ศึกษาค่าความต้านทานการขัดถูของแผ่นขัดจากเส้นใยแกลบข้าวด้วยเครื่องทดสอบการขัดถู DIN Abrasion Tester AT150 ตามมาตรฐาน DIN 53516

1.4.6 ทดสอบอัตราการขจัดเนื้อวัสดุด้วยเครื่องขัด CMP MARUTO ML-160A ด้วยแผ่นขัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 มิลลิเมตร หน้า 5 มิลลิเมตร

1.5 สถานะของปัญหาและวิธีการวิจัย

การนำเส้นใยแกลบข้าวที่เป็นเศษเหลือจากภาคเกษตรกรรมมาสร้างเป็นแผ่นขัดสำหรับขัดผิวซัพไฟร์ในกระบวนการขัดโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกลเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับแกลบข้าวเนื่องจากกระบวนการขัดผิวดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายที่สูงโดยเฉพาะสารละลายชั้นและแผ่นขัดที่มีค่าใช้จ่ายเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ ของกระบวนการขัด (M. Bahr, et al., 2017) จึงได้มีงานวิจัยที่พยายามจะนำเส้นใยธรรมชาติที่มีส่วนประกอบซิลิกาเหมาะสมกับพอลิยูรีเทนเพื่อสร้างเป็นแผ่นขัดทดแทนแผ่นขัดจากเส้นใยสังเคราะห์ในอุตสาหกรรมเพื่อลดค่าใช้จ่าย แต่ยังไม่มียางานถึงการปรับปรุงหรือทำความสะดวกเส้นใยธรรมชาติที่ก่อนนำมาสร้างเป็นแผ่นขัด ซึ่งบริเวณพื้นผิวของแกลบข้าวนั้นมี ฝุ่น หรือ สิ่งแปลกปลอม และโลหะหนักต่าง ๆ เกาะอยู่ (Librea, et al., 2019; Chanda, et al., 2015) สิ่งเหล่านี้ไปขัดขวางซิลิกาในแกลบข้าว ซึ่งปริมาณซิลิกาบริเวณพื้นผิวเส้นใยมีผลต่อประสิทธิภาพในการขัดผิวของแผ่นขัด งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของกระบวนการปรับปรุงเส้นใยแกลบข้าวด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อสมบัติและประสิทธิภาพในการขัดผิวซัพไฟร์ของแผ่นขัดจากเส้นใยแกลบข้าว เพื่อลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการขัดผิวซัพไฟร์โดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกล โดยจะแบ่งการดำเนินงานเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือ สร้างแผ่นขัดจากเส้นใยแกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับแผ่นขัดจากเส้นใยแกลบข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงเพื่อหาปริมาณเส้นใยแกลบข้าวที่เหมาะสมที่สุด ส่วนที่สองคือ ทดสอบประสิทธิภาพในการขัดผิวของแผ่นขัดและเปรียบเทียบแผ่นขัดทั้งสามชนิดเพื่อหากระบวนการปรับปรุงเส้นใยแกลบข้าวที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างแผ่นขัดจากเส้นใยแกลบข้าว

1.6 คำจำกัดความ

1.6.1 กระบวนการขัดผิวโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกล หมายถึง กระบวนการขัดผิววัสดุที่ผสมผสานระหว่างปฏิกิริยาเคมีและแรงทางกลเพื่อให้ผิววัสดุมีความเรียบและสม่ำเสมอ

1.6.2 แผ่นขัด หมายถึง วัสดุที่มีลักษณะเป็นแผ่นใช้ในกระบวนการขัดผิว

1.6.3 ซัพไฟร์ หมายถึง วัสดุหลักเดี่ยวของอะลูมินา (Al_2O_3)

1.6.4 อัตราการจัดเนื้อวัสดุ หมายถึง ปริมาณเนื้อวัสดุที่ถูกขจัดออกจากชิ้นงานต่อหน่วยเวลา

1.6.5 แกลบข้าว หมายถึง เปลือกชั้นนอกสุดของเมล็ดข้าว

1.6.6 เส้นใยแกลบข้าว หมายถึง ส่วนของแกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการบดละเอียดมีลักษณะเป็นเส้นใยขนาดเล็ก

1.6.7 ความแข็ง หมายถึง ความสามารถของวัสดุที่ต้านทานแรงกดหรือแรงขีดข่วน

1.6.8 ความต้านทานการกัดกร่อน หมายถึง ความสามารถของวัสดุในการต้านทานการสึกกร่อนจากการเสียดสีหรือกัดกร่อน

1.6.9 การดูดซึมน้ำ หมายถึง ปริมาณน้ำที่วัสดุดูดซึมเข้าไปในโครงสร้างเมื่อแช่ไว้ในน้ำช่วงเวลานึง

1.6.10 พอลิยูรีเทน หมายถึง พอลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดหนึ่งที่มีความยืดหยุ่น ทนทาน

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 เพิ่มมูลค่าให้กับแกลบข้าวที่เป็นเศษเหลือจากภาคเกษตรกรรม

1.7.2 ลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกลสำหรับขับไฟร์

1.7.3 ทราบคุณสมบัติของแผ่นขัดจากเส้นใยแกลบข้าวผสมกับพอลิยูรีเทน ในอัตราส่วนต่าง ๆ

1.7.4 ทราบอิทธิพลของกระบวนการปรับปรุงเส้นใยแกลบข้าวด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีผลต่อแผ่นขัดจากเส้นใยแกลบข้าว

บทที่ 2

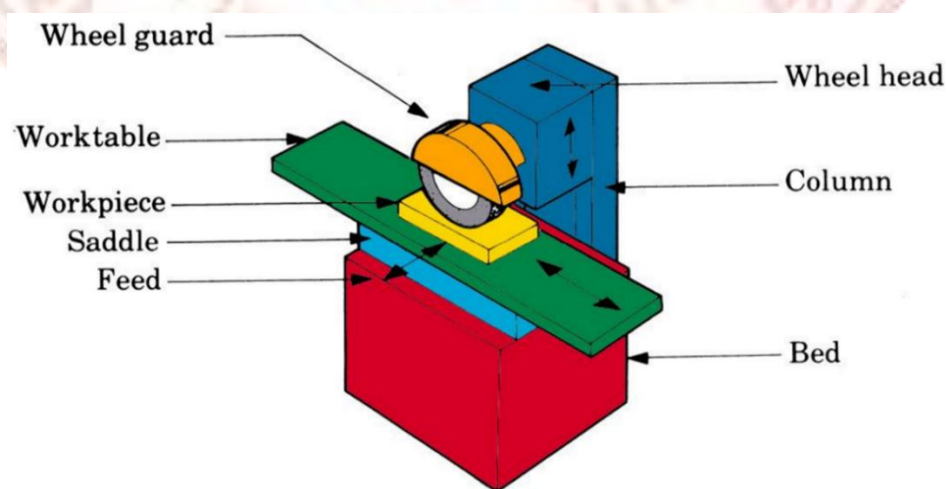
ทฤษฎีที่สำคัญและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่สำคัญ

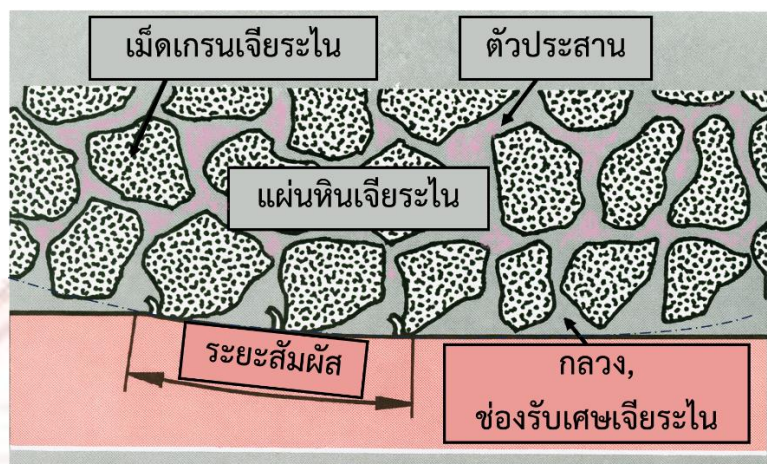
2.1.1 กระบวนการขัดผิว

2.1.1.1 เจียรระไน (Grinding) เป็นกระบวนการผลิตชิ้นงานที่ต้องการความแม่นยำสูงและค่าพิถีความเผื่อที่น้อย ซึ่งไม่สามารถดำเนินการโดยกระบวนการกลึงหรือกัดได้ กระบวนการเจียรระไนใช้คมตัดที่มีรูปร่างไม่แน่นอนของแผ่นหินเจียรระไน โดยแผ่นหินเจียรระไนจะหมุนด้วยความเร็วสูง และชิ้นงานจะถูกป้อนเข้าไปในแผ่นหินเจียรระไนเพื่อให้เกิดการกัดเนื้อของชิ้นงาน กระบวนการนี้ประกอบด้วยเม็ดเกรนเจียรระไนที่มีความละเอียดแตกต่างกัน ซึ่งทำมาจากวัสดุหลายชนิด เช่น คอรัลด์มิ่งบริสซูร์ คอรัลด์มิ่งบริสซูร์ ซิลิเซียคาร์ไบด์ โบรอนไนไตรด์ และเพชร โดยเม็ดเกรนเหล่านี้จะถูกเชื่อมติดกับวัสดุประสานต่าง ๆ เช่น เซรามิก เรซินแข็งเสริมใยแก้ว หรือโลหะ บนแผ่นหินเจียรระไนจะมีโพรงอากาศอยู่ระหว่างเม็ดเกรน ทำหน้าที่เป็นช่องรับเศษเจียรระไนและช่วยในเรื่องการระบายความร้อนระหว่างกระบวนการ แสดงในภาพที่ 2-2 (บรรเลง ศรีนิล, 2555)

ในการทำงาน เม็ดเกรนจะใช้แรงทางกลในการตัดเนื้อวัสดุของชิ้นงาน กระบวนการเจียรระไนจึงเหมาะสมสำหรับการตัดวัสดุที่แข็งและการกำหนดความแม่นยำของขนาดชิ้นงานได้ดี ส่งผลให้ผิวชิ้นงานมีความเป็นคลื่นและความละเอียดผิวที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม กระบวนการนี้อาจก่อให้เกิดรอยขีดข่วนและรอยแตกร้าวได้ผิวชิ้นงานในระดับนาโนเมตร เนื่องจากความเร็วสูงของคมตัด



ภาพที่ 2-1 ส่วนประกอบเครื่องเจียรผิวราบแบบแกนหมุนแนวนอน (M. Islam, 2020)



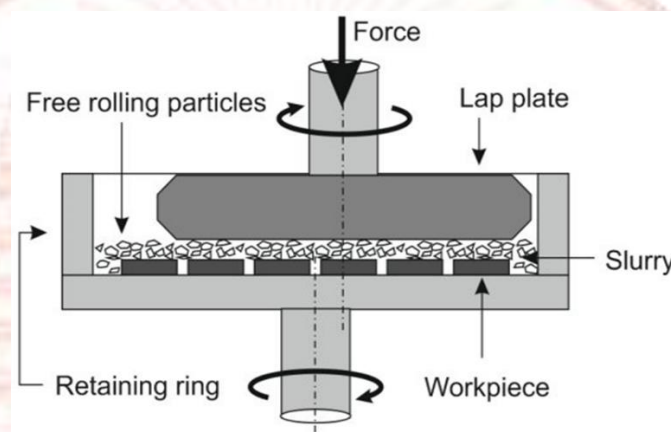
ภาพที่ 2-2 ภาพตัดเต็มของการตัดเฉือนของเม็ดเกรนในกระบวนการเจียรไน
(บรรเลง ศรีนิล, 2555)

แม้จะมีข้อจำกัดในการใช้งานแต่กระบวนการเจียรไนก็มีอัตราการขจัดเนื้อวัสดุที่สูงเมื่อเทียบกับกระบวนการขัดอื่น ๆ และสามารถสร้างผิวหน้าชิ้นงานที่เรียบในระดับไมครอน จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการปรับแต่งพื้นผิวของชิ้นงาน หรือการลดขนาดของชิ้นงานเพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับกระบวนการขัดผิวในระดับที่ละเอียดขึ้น ซึ่งมีอัตราการขจัดเนื้อวัสดุที่น้อยกว่า

2.1.1.2 การขัดคลึง (Lapping) เป็นกระบวนการปรับแต่งพื้นผิวของชิ้นงานโดยใช้แรงกลหรือแรงเสียดทานระหว่างชิ้นงานกับแผ่นขัดซึ่งประกอบด้วยสารขัดที่มีเกรนและของเหลวเป็นตัวช่วยชนิดของสารขัดที่นิยมใช้ได้แก่ ซิลิเซียมคาร์ไบด์ คอรัลัม โบรอนไนไตรด์ และผงเพชร โดยสารขัดเหล่านี้มีลักษณะเป็นเกรนแข็งที่ผิวมีความขรุขระและขนาดของเกรนจะต้องมีความสม่ำเสมอเพื่อป้องกันรอยขีดข่วนขนาดใหญ่ที่เกิดจากขนาดของเกรนที่ใหญ่เกินไป ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพผิวของชิ้นงาน ขนาดของเกรนและชนิดของวัสดุเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลโดยตรงต่อคุณภาพพื้นผิวและอัตราการขัด (บรรเลง ศรีนิล, 2555)

ในกระบวนการนี้สารขัดจะถูกป้อนลงบนแผ่นขัดซึ่งของเหลว เช่น น้ำ หรือน้ำมันขัด จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางพาเกรนเข้าสัมผัสกับพื้นผิวชิ้นงาน โดยปลายแหลมของเกรนจะยื่นออกมาจากของเหลวในระหว่างการขัดคลึง ทำให้เกิดแรงตัดเฉือนบนผิวของชิ้นงานอย่างต่อเนื่อง กระบวนการนี้ทำให้เกิดการขัดและบดบนพื้นผิวของชิ้นงาน แสดงในภาพที่ 2-4 ส่งผลให้พื้นผิวของชิ้นงานมีความเรียบและละเอียดมากขึ้น แผ่นขัดมีหน้าที่หลักในการพาเกรนให้เข้าไปสัมผัสและเกิดการตัดเฉือนบนพื้นผิวของชิ้นงาน การเลือกใช้แผ่นขัดมีผลต่อผลลัพธ์ เพราะแผ่นขัดที่ทำจากวัสดุอ่อนและมีเกรน

ขนาดเล็กจะสามารถให้พื้นผิวที่มีคุณภาพสูงขึ้น ซึ่งเป็นข้อดีของกระบวนการนี้ ข้อดีอีกประการหนึ่งคือการสร้างความเรียบของผิวที่ดีกว่ากระบวนการเจียระไน และมีรอยแตกร้าวใต้ผิวน้อยกว่าถึงแม้ว่าการขัดคลึงจะมีอัตราการขจัดเนื้อวัสดุจะน้อยกว่าการเจียระไน แต่อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของการขัดคลึงคือเป็นกระบวนการที่ใช้แรงทางกลเป็นหลักเช่นเดียวกับการเจียระไน ซึ่งอาจเหลือรอยขีดข่วนขนาดเล็กและรอยแตกร้าวบางส่วนใต้พื้นผิวนั่นเอง



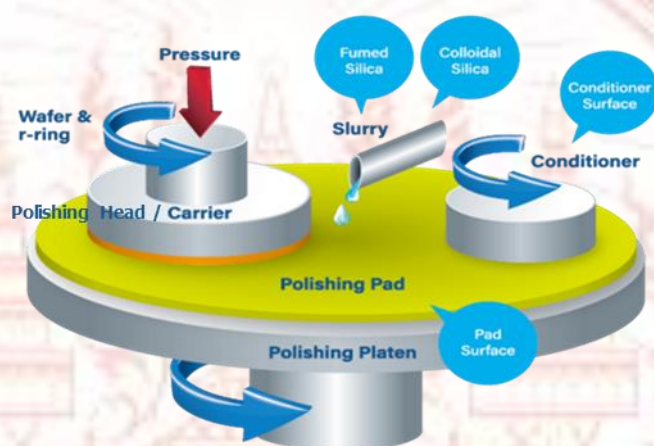
ภาพที่ 2-3 ส่วนประกอบเครื่องขัดคลึง (A. Deaconescu & T. Deaconescu, 2014)



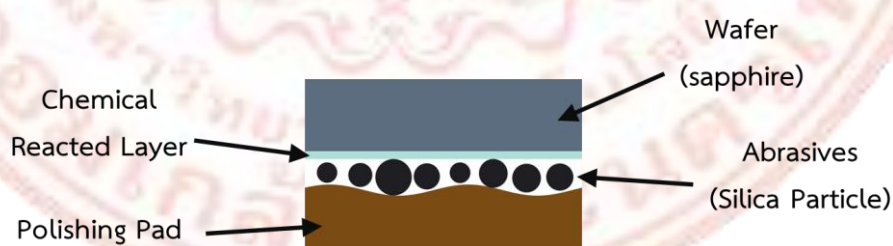
ภาพที่ 2-4 ภาพตัดเต็มแสดงถึงพฤติกรรมของอนุภาคสารขัดในระหว่างกระบวนการขัดคลึง

โดยรวมแล้ว การขัดคลึงเป็นกระบวนการที่สามารถสร้างผิวหน้าที่เรียบเนียนและสมบูรณ์แบบในระดับไมครอนและนาโนเมตร จึงถูกนำมาใช้ในงานที่ต้องการคุณภาพผิวสูง เช่น การผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ชิ้นส่วนทางเทคนิคขั้นสูง หรือชิ้นงานที่ทนทานต่อแรงกดดันสูง ทั้งนี้ควรพิจารณาเลือกชนิดของสารขัดและแผ่นขัดให้เหมาะสมกับลักษณะของวัสดุและความต้องการด้านคุณภาพผิวของชิ้นงานเพื่อผลลัพธ์สูงสุด

2.1.1.3 การขัดโดยสารเคมีร่วมกับแรงทางกล (Chemical Mechanical Polishing: CMP) เป็นเทคนิคการขัดผิวที่ผสมผสานการขัดด้วยแรงทางกลเข้ากับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของชิ้นงาน กระบวนการนี้มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตที่ต้องการความเรียบและความสม่ำเสมอของผิวชิ้นงานในระดับนาโนเมตร โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์ ซึ่งต้องการพื้นผิวที่มีความราบเรียบสูงสำหรับการพิมพ์ลวดลายของวงจรไฟฟ้าขนาดเล็ก



ภาพที่ 2-5 ส่วนประกอบเครื่องขัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกล
(บริษัท ฮอริบา (ประเทศไทย) จำกัด)



ภาพที่ 2-6 ภาพตัดเต็มแสดงถึงพฤติกรรมของอนุภาคซิลิกาในระหว่างกระบวนการขัด
โดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกล

ในกระบวนการขัดโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกลจะใช้สารละลายชั้นที่มีอนุภาคนาโนขนาดเล็กในระดับนาโนเมตรเป็นส่วนประกอบหลัก ทำหน้าที่เป็นเกรนขัดระหว่างแผ่นขัดและพื้นผิวของชิ้นงาน

อนุภาคจะทำปฏิกิริยาเคมีกับพื้นผิวของชิ้นงานในลักษณะของการสร้างฟิล์มบางที่มีความอ่อนนุ่มบนผิว เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ของแผ่นขัดร่วมกับแรงกดจากตุ้มน้ำหนัก อนุภาคจะสามารถขัดเอาชั้นฟิล์มที่นุ่มออกจากพื้นผิวชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงในภาพที่ 2-6 โดยไม่ทำให้เกิดรอยขีดข่วนลึกหรือความเสียหายใต้พื้นผิว กระบวนการขัดโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกลโดยทั่วไปประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก ดังนี้

2.1.1.3.1 Polishing Platen

เป็นฐานหมุนที่ทำหน้าที่รองรับแผ่นขัดและชิ้นงาน มีการหมุนเพื่อสร้างแรงเฉือนระหว่างแผ่นขัดกับชิ้นงานในระหว่างกระบวนการขัด

2.1.1.3.2 Polishing Pad (แผ่นขัด)

เป็นแผ่นรูปทรงกลมที่ติดตั้งอยู่บนฐานหมุน ทำหน้าที่ดูดซับและกระจายสารละลายชั้นให้สัมผัสกับผิวชิ้นงานอย่างทั่วถึง

2.1.1.3.3 Pad Conditioner

เป็นอุปกรณ์สำหรับปรับสภาพพื้นผิวของแผ่นขัดให้มีความหยาบที่เหมาะสมก่อนการขัดจริง เพื่อป้องกันการอุดตันจากเศษวัสดุและอนุภาคในสารละลายซึ่งอาจทำให้แผ่นขัดมีความลื่น ส่งผลให้อัตราการขัดลดลง

2.1.1.3.4 Wafer Carrier หรือ Polishing head

ทำหน้าที่เป็นตัวจับยึดและควบคุมแรงกดของชิ้นงาน เช่น แผ่นซิลิโคน ให้สัมผัสกับแผ่นขัดอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้การขัดมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งผิวชิ้นงาน

ถึงแม้ว่ากระบวนการขัดโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกลยังมีข้อจำกัดในด้านของอัตราการขจัดเนื้อวัสดุที่ต่ำเมื่อเทียบกับกระบวนการขัดคลึงและเจียรระไน แต่กระบวนการดังกล่าวถือเป็นเทคโนโลยีที่มีความแม่นยำสูง ใช้ในการปรับปรุงผิววัสดุให้มีความราบเรียบ และไร้ข้อบกพร่องในระดับนาโน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กในยุคปัจจุบัน (T. Doi, et al., 2011)

2.1.2 วัสดุสิ้นเปลืองในกระบวนการขัดโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกล

2.1.2.1 สารละลายชั้น (Slurry) เป็นสารละลายที่มีอนุภาคนาโนขนาดเล็กในระดับนาโนเมตรกระจายตัวอยู่ภายในอย่างสม่ำเสมอ โดยในกระบวนการขัดแบบสารเคมีร่วมกับแรงทางกล สารละลายชั้นจะถูกดูดผ่านระบบปั๊มและป้อนลงบนพื้นผิวของแผ่นขัด แทนยึดแผ่นขัดและหัวจับ

ชิ้นงานจะหมุนรอบตัวเองในระหว่างการขัด เพื่อให้เกิดการสัมผัสระหว่างแผ่นขัดกับชิ้นงานอย่างทั่วถึง โดยแผ่นขัดจะทำหน้าที่นำพาอนุภาคในสารละลายชั้นให้เข้าสัมผัสกับผิวของชิ้นงาน ซึ่งในบริเวณผิวสัมผัสนั้นจะเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างอนุภาคกับพื้นผิวของวัสดุ ทำให้เกิดชั้นฟิล์มบางที่มีลักษณะอ่อนนุ่มขึ้นมาเหนือพื้นผิว เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ผ่านเข้ามาสัมผัสกับชั้นฟิล์มจะสามารถขจัดวัสดุที่อ่อนนุ่มออกจากผิวชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ทำให้เกิดรอยขีดข่วนลึกหรือความเสียหายใต้พื้นผิว (Subsurface Damage) ซึ่งในอุตสาหกรรมทั่วไปนั้นจะสารละลายชั้นที่ใช้แล้วจะถูกระบายทิ้งแทนที่ไม่มีการนำกลับมาใช้ใหม่ สารละลายชั้นจึงเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ทำให้กระบวนการขัดโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกลมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่ากระบวนการขัดผิวอื่นๆ โดยราคาของสารละลายชั้นรุ่น CMP-1005 สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์ จากบริษัท Pace Technologies จะมีราคาอยู่ที่ 36 ดอลลาร์สหรัฐ ต่อ 16 ออนซ์ หรือ ประมาณ 2,497 บาท ต่อ 1 ลิตร (Pace Technologies, accessed September 2025)

2.1.2.2 แผ่นขัด (Polishing Pad) ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการนำพาสารละลายชั้นซึ่งมีอนุภาคกระจายตัวอยู่ ให้เข้าสัมผัสกับพื้นผิวของชิ้นงานอย่างทั่วถึง โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมการขัดแบบสารเคมีร่วมกับแรงทางกล แผ่นขัดมักผลิตจากวัสดุฐานประเภทพอลิยูรีเทนซึ่งมีคุณสมบัติทางกลและเคมีเหมาะสมต่อกระบวนการขัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกล โครงสร้างของแผ่นขัดประกอบด้วยชั้นของเส้นใยพอลิอิมิด (Polyimide) ที่มีพอลิเอสเตอร์ (Polyester) แทรกอยู่ภายในช่องว่างขนาดเล็กระหว่างเส้นใย เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและประสิทธิภาพในการดูดซับและกระจายสารละลายชั้นอย่างมีประสิทธิภาพ พื้นผิวของแผ่นขัดมักถูกออกแบบให้มีลวดลายเป็นร่องในลักษณะตาราง เพื่อช่วยนำพาสารละลายชั้นให้เคลื่อนที่ผ่านและสัมผัสกับพื้นผิวชิ้นงานได้อย่างสม่ำเสมอเมื่อแผ่นขัดเคลื่อนที่สัมผัสกับผิวชิ้นงาน อนุภาคในสารละลายชั้นจะถูกนำพาไปยังบริเวณผิวชิ้นงาน เกิดการปฏิกิริยาเคมีและกลไกการขัดร่วมกัน ส่งผลให้สามารถขจัดเนื้อวัสดุออกจากพื้นผิวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในอุตสาหกรรมทั่วไปนั้นแผ่นขัดจะไม่ถูกนำมาใช้ด้วยเหตุผลหลายประการ เช่น การเสื่อมสภาพของพื้นผิวแผ่นขัด การหลุดตันจากอนุภาคซิลิกาที่สะสมอยู่ในโพรงของแผ่นขัด โดยทั่วไปในระดับอุตสาหกรรมมักมีการเปลี่ยนแผ่นขัดใหม่ตามรอบการผลิตหรือตามระยะเวลาทำงาน ทำให้แผ่นขัดเป็นอีกหนึ่งวัสดุที่เป็นวัสดุสิ้นเปลืองในกระบวนการดังกล่าว

2.1.3 แกลบข้าว

แกลบข้าว คือ เปลือกของเมล็ดข้าวที่ถูกแยกออก หลังจากการสีข้าว ซึ่งเป็นขั้นตอนในการแปรรูปข้าวเปลือกให้เป็นข้าวสาร แกลบข้าวมีลักษณะเป็นเศษเปลือกแข็ง สีน้ำตาลอ่อนถึงเข้ม ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว แกลบข้าวเป็นวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการสีข้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ใช้ปรับปรุงดินในเกษตรกรรม นำไปเผาเป็นถ่านแกลบข้าว

(Rice Husk Ash) สำหรับใช้ในงานวัสดุก่อสร้างหรืออุตสาหกรรมต่าง ๆ หรือใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิต เช่น แผ่นซีตหรือพลาสติกเสริมเส้นใยธรรมชาติ

โดยทั่วไปแกลบข้าวประกอบด้วยสารอินทรีย์รวม 70 - 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ประกอบไปด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนินและสารสกัดอื่น ๆ และสารอนินทรีย์หรือเถ้าหลังจากผ่านกระบวนการทางความร้อนราว 15 - 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งเถ้าประกอบด้วยซิลิกาเป็นหลักอยู่ที่ 85 - 95 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และธาตุอื่น ๆ อีกราว 5 - 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ของมวลเถ้าโดยค่าดังกล่าวแปรผันตามพันธุ์ข้าว สภาพดิน และวิธีวิเคราะห์ องค์ประกอบของแกลบข้าวสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 2-1 ดังนี้

ตารางที่ 2-1 องค์ประกอบของแกลบข้าว (A. Ma'ruf, et al., 2017; B. I. Ugheoke and O. Mamat., 2012; Z. Wang, et al., 2016)

องค์ประกอบของแกลบข้าวโดยประมาณ	
ส่วนประกอบ	ปริมาณ (น้ำหนัก)
เซลลูโลส (Cellulose)	32 - 35%
เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)	22 - 30%
ลิกนิน (Lignin)	18 - 25%
โปรตีนดิบ (Crude protein)	3 - 8%
ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO ₂)	14 - 17%

2.1.4 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการปรับปรุงเส้นใย

2.1.4.1 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid) เป็นสารเคมีที่ นิยมใช้ในการปรับปรุงแกลบข้าว (Rice Husk Treatment) เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนอินทรีย์ โดยเฉพาะพวกโลหะหนักและเกลือโลหะบางชนิด ที่มีอยู่ในแกลบข้าวก่อนนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมหรือวัสดุวิจัยต่าง ๆ โดยสามารถกำจัดสิ่งเจือปนหรือโลหะหนักที่เกาะบนพื้นผิวแกลบข้าวได้ดี เช่น Fe, Ca, Mg, Al, Na, K อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความบริสุทธิ์ของซิลิกอนไดออกไซด์ ทำให้ซิลิกอนไดออกไซด์ในเถ้าแกลบข้าวสะอาดและมีโครงสร้าง ซิลิกาที่มีรูปอสัณฐาน (Amorphous Silica) มากขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดความเป็นด่างซึ่งเป็นผลดีสำหรับการใช้งานด้านวัสดุก่อสร้างหรือวัสดุพอลิเมอร์และยังช่วยปรับสภาพผิวทำให้พื้นผิวแกลบข้าวมีการยึดเกาะกับวัสดุเมทริกซ์ เช่น พอลิเมอร์ ได้ดีขึ้น

2.1.4.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) เป็นสารที่นิยมใช้ในการบำบัดเคลือบข้าว โดยเฉพาะเพื่อปรับปรุงโครงสร้างเส้นใยและขจัดสารอินทรีย์บางชนิดออกจากเคลือบ ซึ่งมีประโยชน์ในงานวิจัยด้านวัสดุพอลิเมอร์ คอมโพสิต โดยสามารถสลายสารอินทรีย์บางส่วนได้ โดยเฉพาะเฮมิเซลลูโลส และไขมันที่อยู่ในเคลือบทำให้เส้นใยเคลือบวมและเปิดผิวช่วยให้โครงสร้างเส้นใย (Cellulose) เปิดตัวส่งผลให้พื้นผิวหยาบมากขึ้น ช่วยเพิ่มการยึดเกาะกับวัสดุเมทริกซ์ เช่น พอลิเมอร์ อีกทั้งยังลดปริมาณลิกนิน ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เคลือบข้าวไม่สามารถเข้ากับวัสดุพอลิเมอร์ได้ดี

2.1.5 ทฤษฎีการทดสอบสมบัติเชิงกล

2.1.5.1 ค่าความแข็ง (Hardness)

หมายถึงความต้านทานต่อการเสียรูปถาวรบริเวณผิว ซึ่งนิยามวัดแบบกดด้วยหัวกดมาตรฐานตามชนิดของวัสดุต่าง ๆ สำหรับวัสดุพอลิเมอร์และอีลาสโตเมอร์มีการใช้ Shore Durometer อย่างแพร่หลายโดยมีการกำหนดสเกลหลายระดับดังนี้ Shore A เหมาะกับวัสดุที่แข็งกึ่งอ่อน ยกตัวอย่างเช่น ยางรถยนต์ ยางลบ และหนังยาง Shore OO เหมาะกับวัสดุอ่อน ยกตัวอย่างเช่น ฟองน้ำ โฟม และซิลิโคนอ่อน Shore D เหมาะกับวัสดุแข็งแต่ไม่ถึงโลหะ ยกตัวอย่างเช่น หมวกนิรภัยก่อสร้าง ล้อยางรถเข็น และยังมีสเกลวัดค่าความแข็งอื่น ๆ เพิ่มเติมอีก ในทางปฏิบัติการทดสอบควรควบคุมความหนาชิ้นงาน อุณหภูมิ และระยะเวลากดหัวทดสอบตามมาตรฐาน เช่น ASTM D2240 เพื่อให้ได้ค่าที่เปรียบเทียบกันได้

2.1.5.2 ค่าความต้านทานการขัดถู (Abrasion Resistance)

เป็นประเภทหนึ่งของการสึกหรอในชื่อว่าการสึกหรอแบบขัดถู (Abrasive Wear) เป็นการสึกหรออันเนื่องมาจากผิวสัมผัสที่แข็งและขรุขระหรืออนุภาคที่มีความแข็งเคลื่อนที่ผ่านไปบนผิววัสดุอีกชั้นที่มีความแข็งน้อยกว่า ทำให้เกิดความเสียหายของผิววัสดุทั้งแบบพลาสติก (Plastic Deformation) ที่เกิดกับวัสดุที่มีความยืดหยุ่น และแบบแตกหัก (Fracture) ที่เกิดกับวัสดุที่มีความแข็งเปราะ โดยการสึกหรอแบบพลาสติกเป็นการสึกหรอในลักษณะที่มักเกิดในวัสดุจำพวก โลหะ พอลิเมอร์ หรือ วัสดุผสม ซึ่งวัสดุเหล่านี้จะมีคุณสมบัติด้านความยืดหยุ่น (Ductile) ดี การเกิดการสึกหรอในลักษณะนี้แบ่งตามความรุนแรงได้สามแบบคือ

- Ploughing เป็นการสึกหรอโดยไม่สูญเสียเนื้อวัสดุแต่ให้แรงกระทำบนผิววัสดุจนเกิดการผิดรูปบนผิววัสดุ
- Wedge เป็นการสึกหรอแบบที่มีการสูญเสียเนื้อวัสดุไปเพียงเล็กน้อยและยังคงเกิดความเสียหายแบบพลาสติกบนผิววัสดุขึ้นด้วย

- Cutting เป็นการสึกหรอในแบบที่มีการสูญเสียเนื้อวัสดุไปมากที่สุดโดยเนื้อวัสดุที่หลุดออกจะมีลักษณะคล้ายริบป็น

ส่วนค่าความต้านทานการขัดถูในงานวิจัยนี้ จะหมายถึงความสามารถของวัสดุในการต้านทานการสูญเสียมวลหรือปริมาตรเมื่อถูกเสียดสีหรือครูดจากพื้นผิวหรืออนุภาคอื่น วัสดุที่มีค่าความต้านทานการขัดถูสูงจะสามารถรักษาสภาพพื้นผิวได้ดีแม้ในสภาวะที่มีการเสียดสีด้วยแรงเสียดทานซ้ำ ๆ สำหรับวัสดุพอลิเมอร์และคอมโพสิต การสึกหรอมักเกิดจากการขัดถูร่วมกับแรงเฉือน ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับสมบัติเชิงกลของวัสดุ โดยเฉพาะค่าความแข็งและโมดูลัสของยัง วัสดุที่มีค่าความแข็งและการยึดเกาะระหว่างเนื้อวัสดุกับสารเสริมแรงที่ดีจะมีความต้านทานการขัดถูสูงขึ้น

2.1.5.3 การดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

ความสามารถของวัสดุในการดูดและกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้าง ซึ่งเกิดจากการไหลซึมของโมเลกุลน้ำเข้าสู่ช่องว่างภายในวัสดุหรือการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างน้ำกับหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิว วัสดุแต่ละชนิดจะมีอัตราการดูดซึมน้ำที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับ โครงสร้างโมเลกุล ความพรุน ความหนาแน่น และสมบัติทางเคมีของพื้นผิว

ในกรณีของวัสดุคอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติ ปริมาณการดูดซึมน้ำขึ้นอยู่กับ ชนิดของเส้นใย การปรับสภาพพื้นผิว และการยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์พอลิเมอร์ การปรับสภาพเส้นใยด้วยสารเคมีสามารถเปลี่ยนสภาพพื้นผิวและลดหมู่ที่มีขั้วบางส่วน ทำให้ลดหรือเพิ่มการดูดน้ำได้ตามกลไกเคมีที่เกิดขึ้น วัสดุที่มีการกระจายตัวของเส้นใยสม่ำเสมอและการยึดเกาะที่ดีมักจะมีการดูดซึมน้ำต่ำกว่า เนื่องจากมีช่องว่างภายในน้อยกว่าและน้ำซึมเข้าไปได้ยากกว่า ทั้งนี้ การควบคุมการดูดซึมน้ำเป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์และคอมโพสิต เพื่อรักษาสสมบัติทางกลและความเสถียรของวัสดุในระยะยาว

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการขัดผิวโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกล

X. Niu, et al. (2017) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของพารามิเตอร์ของกระบวนการขัดผิวโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกลที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้อวัสดุ (Material Removal Rate: MRR) และความหยาบผิว (Surface Roughness) ได้แก่ ค่า pH, แรงกด (Polishing Pressure), ความเร็วหมุน (Rotational Speed) และ อัตราการไหลของสารละลายชั้น (Slurry Flow Rate) โดยพบว่า อัตราการขจัดเนื้อวัสดุจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 9.8 จนถึงประมาณ 10 - 11 แต่เมื่อค่า pH สูงเกิน 11 อัตราการขจัดเนื้อวัสดุกลับลดลง เนื่องจากเกิดการก่อตัวของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์บนผิว

มากเกินไปทำให้การขัดถูขัดขวาง ขณะที่ค่าความหยาบผิวลดลงเมื่อค่า pH เข้าใกล้ 10 แต่กลับสูงขึ้นอีกครั้งเมื่อ pH เกินค่าที่เหมาะสม อันเป็นผลจากปฏิกิริยาเคมีที่รุนแรงเกินไป การเพิ่มแรงกดจาก 2 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ไปยัง 8 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทำให้อัตราการขัดเนื้อวัสดุสูงขึ้น เนื่องจากความร้อนและปฏิกิริยาเคมีที่ลดลง แต่ถ้ามีแรงกดมากเกินไปก็จะทำให้สมดุลระหว่างทางกลและเคมีเสียไปและเกิดความเสียหายต่อผิว ส่งผลให้ค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเร็วจาก 20 รอบต่อนาที ไปยัง 40 รอบต่อนาที ทำให้อัตราการขัดเนื้อวัสดุและความหยาบผิวดีขึ้น เนื่องจากมีการสัมผัสมากขึ้นระหว่างผิวกับแผ่นขัดและอนุภาคซิลิกา อย่างไรก็ตามหากความเร็วรอบสูงเกินไป แรงเชิงกลที่มากเกินไปก่อให้เกิดรอยเสียหายบนผิวและมีค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้น การเพิ่มอัตราการไหลจาก 100 มิลลิลิตรต่อนาที ถึง 160 มิลลิลิตรต่อนาที ส่งผลให้อัตราการขัดเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้นเพราะมีจำนวนอนุภาคซิลิกาที่เข้ามามีส่วนร่วมในการขัดมากขึ้น แต่หากไหลมากเกินไปสารละลายชั้นจะถูกพัดออกจากบริเวณสัมผัสมากเกินไป ทำให้อัตราการขัดเนื้อวัสดุลดลง ด้านค่าความหยาบผิวพบว่าลดลงอย่างต่อเนื่องตามการเพิ่มของอัตราการไหล เนื่องจากการหล่อลื่นที่ดีขึ้นระหว่างผิวซัพไฟร์และแผ่นขัด จึงสามารถสรุปเงื่อนไขที่เหมาะสมจากงานวิจัยนี้ได้ว่า (pH 10.5, ความดัน 4 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว, ความเร็วหัวขัด 40 รอบต่อนาที, ความเร็วแท่น 45 รอบต่อนาที และอัตราการไหลสารละลาย 160 มิลลิลิตรต่อนาที) สามารถได้อัตราการขัดเนื้อวัสดุที่ 2.69 ไมโครเมตรต่อชั่วโมง และค่าความหยาบผิว (S_q) ที่ 0.184 นาโนเมตร ซึ่งถือว่ามีความหยาบผิวสูงและเหมาะสมต่อการประยุกต์ในระดับอุตสาหกรรม งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าพารามิเตอร์ของกระบวนการขัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกล มีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อสมดุลระหว่าง อัตราการขัดเนื้อวัสดุ และความหยาบผิวของซัพไฟร์ โดยมีลักษณะเป็นเพิ่มขึ้นแล้วลดลงเมื่อค่าพารามิเตอร์สูงเกินจุดที่เหมาะสม

Z. Zhang, et al. (2010) ได้เสนอวิธีขัดสองขั้นตอน เพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดของการขัดแบบขั้นตอนเดียว ซึ่งมักไม่สามารถให้ได้ทั้งอัตราการขัดเนื้อวัสดุที่สูง และคุณภาพผิวที่ดีไปพร้อมกันได้ ขั้นตอนการขัดสองขั้นตอนนี้ ขั้นแรก (Pre-Polishing) ใช้สารละลายชั้นที่มีอนุภาคอะลูมินาขนาดเฉลี่ย 500 นาโนเมตร พร้อมแผ่นขัดพอลิยูรีเทนแบบแข็ง พบว่าในช่วงแรกค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Coefficient of Friction: COF) ลดลงตามเวลา เพราะมีการกำจัดยอดผิวที่ขรุขระออกไปส่งผลให้ได้อัตราการขัดเนื้อวัสดุค่อนข้างสูง ที่ 42.3 นาโนเมตรต่อนาที แต่ค่าความหยาบผิว (RMS) ยังอยู่ที่ 2.198 นาโนเมตร ซึ่งยังไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้งาน การขัดขั้นที่สอง (Final Polishing) จะใช้สารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกาขนาด 50 นาโนเมตร พร้อมแผ่นขัดพอลิเมอร์ที่นุ่มกว่า พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเพิ่มขึ้นในช่วงแรกแล้วคงตัว และสามารถทำให้ค่าความหยาบผิวลดลงไปถึง 0.683 นาโนเมตร โดยอัตราการขัดเนื้อวัสดุลดลง อยู่ที่ 7.1 นาโนเมตรต่อนาที แต่ได้ผิวที่เรียบเนียนในระดับ UltrasMOOTH ในด้านการขัดที่ใช้อนุภาคอะลูมินาในสารละลายชั้น อนุภาคนี้อาจก่อให้เกิดโครงสร้างผลึกใกล้เคียงกับซัพไฟร์ทำให้เกิดการยึดเกาะและดึงชั้นปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ออกจากผิวได้ แต่

ยังคงสร้างรอยขีดข่วนเล็ก ๆ อยู่บ้าง ในส่วนของสารละลายชั้นที่มีซิลิกาแม้ความแข็งต่ำกว่าซัพไฟร์แต่สามารถขัดได้เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีกับผิวซัพไฟร์ เกิดชั้นปฏิกิริยาเคมีไฮดรเจน และอะลูมิเนียมซิลิเกตที่ถูกกำจัดออกด้วยแรงเฉือนส่งผลให้ได้คุณภาพผิวที่สูงมาก งานวิจัยนี้สามารถยืนยันได้ว่าการใช้สารละลายชั้นและแผ่นขัดต่างชนิดกันในแต่ละขั้นตอน เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพในการขัดผิวซัพไฟร์ และงานวิจัยนี้ยังตอกย้ำว่าการได้อัตราการขัดเนื้อวัสดุและคุณภาพผิวที่สูงของซัพไฟร์ต้องอาศัยการควบคุมชนิดของสารละลายชั้นและโครงสร้างของแผ่นขัด

H. Wang, et al. (2018) ได้ศึกษาอิทธิพลของคุณสมบัติซิลิกาต่อประสิทธิภาพการขัดซัพไฟร์ โดยเน้นไปที่การปรับขนาดของอนุภาค ความเข้มข้น ค่า pH อายุการใช้งานสารละลายชั้น และการผสมอนุภาคหลายขนาด ในส่วนของขนาดอนุภาคพบว่าอัตราการขัดเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้นตามขนาดอนุภาค ตั้งแต่ 2.02 ไมโครเมตรต่อชั่วโมง ที่ขนาดอนุภาค 20 นาโนเมตร ไปจนถึง 3.64 ไมโครเมตรต่อชั่วโมง ที่ขนาดอนุภาค 100 นาโนเมตร ผลลัพธ์นี้เกิดจากอนุภาคขนาดใหญ่สร้างรอยกดลึกกว่าอนุภาคขนาดเล็ก ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับความเข้มข้นของอนุภาคซิลิกาที่สูงขึ้น อัตราการขัดเนื้อวัสดุก็สูงขึ้นตามไปด้วย สูงสุดที่ 4.97 ไมโครเมตรต่อชั่วโมง ที่ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เนื่องจากที่ความเข้มข้นสูงจะเพิ่มโอกาสการสัมผัสระหว่างอนุภาคและผิวซัพไฟร์มากขึ้น ค่า pH น้อยกว่า 10 มี อัตราการขัดเนื้อวัสดุอยู่ที่ 3.6 ไมโครเมตรต่อชั่วโมง และค่า pH ที่ 11.5 ทำให้อัตราการขัดเนื้อวัสดุลดลงเหลือ 2.63 ไมโครเมตรต่อชั่วโมง เกิดจากค่า pH ที่สูงทำให้ซิลิกาและซัพไฟร์มีประจุลบเหมือนกันเกิดแรงผลักทางไฟฟ้าสถิตสูงขึ้น ทำให้การสัมผัสระหว่างอนุภาคกับผิวซัพไฟร์ลดลง แม้ว่าปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของซัพไฟร์จะเพิ่มขึ้นก็ตาม การใช้สารละลายชั้นต่อเนื่อง 14 ชั่วโมงพบว่าอัตราการขัดเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้นใน 5 ชั่วโมงแรก แต่หลังจากนั้นค่อย ๆ ลดลง และอนุภาคซิลิกามีขนาดเพิ่มจาก 100 นาโนเมตร เป็น 124 นาโนเมตร หลังการใช้งาน ซึ่งเกิดจากซิลิกาเกิดปฏิกิริยากับไฮโดรไลซิสของซัพไฟร์ทำให้ไซลาโนลบวมผิวลดลงและอนุภาคมีขนาดเพิ่มขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพการขัดลดลง การผสมอนุภาคขนาด 100 นาโนเมตร และ 20 นาโนเมตร ที่อัตราส่วน 5 : 1 ทำให้อัตราการขัดเนื้อวัสดุสูงสุด เกิดจากอนุภาคขนาดเล็กแทรกในช่องว่างระหว่างอนุภาคใหญ่ ทำให้พื้นที่สัมผัสระหว่างผิวซัพไฟร์กับอนุภาคเพิ่มขึ้นเกิดการขูดทับของอนุภาคที่แน่นขึ้น ส่งผลให้อัตราการขัดเนื้อวัสดุสูงกว่าการใช้อนุภาคขนาดเดียว งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าการควบคุมคุณสมบัติของซิลิกาในสารละลายชั้นเช่น ขนาดอนุภาค pH และการผสมหลายขนาด มีผลโดยตรงต่ออัตราการขัดเนื้อวัสดุและคุณภาพผิวของซัพไฟร์

Y. Zhou, et al. (2016) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการขัดซัพไฟร์โดยใช้สารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกาขนาด 10 นาโนเมตร และ 100 นาโนเมตร ผสมกันอยู่ โดยเปรียบเทียบกับการใช้อนุภาคซิลิกาขนาดเดียว ผลการทดลองยืนยันว่าการใช้ซิลิกาผสมสามารถเพิ่มอัตราการขัดเนื้อวัสดุ และได้

คุณภาพผิวที่ดีกว่า เมื่อเทียบกับการใช้ออนุภาคซิลิกาขนาดเดียว จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเติมซิลิกาขนาด 10 นาโนเมตร ลงในสารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกาขนาด 100 นาโนเมตร พบว่าอัตราการขจัดเนื้อวัสดุสูงขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กสามารถแทรกในช่องว่างของอนุภาคขนาดใหญ่ ทำให้พื้นที่สัมผัสกับผิวเพิ่มขึ้นและเกิดปฏิกิริยากับซัพไฟร์มากขึ้น จากผลคุณภาพผิวพบว่าการใช้ออนุภาค 100 นาโนเมตร เพียงอย่างเดียวให้ค่าความหยาบผิวอยู่ที่ 0.106 นาโนเมตร แต่เมื่อใช้ออนุภาคผสม 100 นาโนเมตร และ 10 นาโนเมตร ค่าความหยาบผิวลดลงเหลือเพียง 0.0686 นาโนเมตร จากผลการทดลองกลไกการขจัดเนื้อวัสดุของอนุภาคทั้งสองขนาดสามารถสรุปได้ว่า อนุภาคขนาดเล็ก 10 นาโนเมตร มีบทบาทในการเพิ่มปฏิกิริยาเคมีระหว่างซัด อนุภาคขนาดใหญ่ 100 นาโนเมตร มีบทบาทในการขัดเชิงกลมากกว่า การผสมสองขนาดจึงช่วยส่งเสริมการขัดและทำให้เกิดสมดุระหว่างการขจัดเนื้อวัสดุเชิงเคมีกับเชิงกล ทำให้ได้ผิวที่เรียบและอัตราการขจัดเนื้อวัสดุสูงขึ้น อย่างไรก็ตามหากเพิ่มปริมาณอนุภาคใหญ่ 100 นาโนเมตร มากเกินไปจะทำให้อนุภาคเล็กจับตัวกันระหว่างอนุภาคใหญ่ เกิดการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคและลดพื้นที่สัมผัสทำให้อัตราการขจัดเนื้อวัสดุลดลง งานวิจัยของ Zhou, et al. (2016) จึงมีความสอดคล้องกับ Wang, et al. (2018) ที่ชี้ว่าการผสมอนุภาคหลายขนาด สามารถเพิ่มการขัดเชิงกลและเพิ่มการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้

H. Lei, et al. (2017) ได้พัฒนาและศึกษาประสิทธิภาพของสารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกาผสมสังกะสี (Zn) สำหรับใช้ในกระบวนการขัดผิวด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกลสำหรับซัพไฟร์ โดยใช้เทคนิค Seed-Induced Growth Method เพื่อให้ได้อนุภาคที่เป็นรูปร่างทรงกลมและมีการกระจายตัวที่ดี โดยเติมซิงค์ไนเตรต $Zn(NO_3)_2$ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ลงในสารละลายชั้นเพื่อให้เกิดซิงค์ไฮดรอกไซด์ ($Zn(OH)_2$) โดยกำหนดปริมาณซิงค์ไฮดรอกไซด์ อยู่ที่ 0, 0.5, 1, 1.5 และ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา จากนั้นนำมาทดสอบขัดผิวซัพไฟร์ด้วยกระบวนการขัดโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกลด้วยเครื่อง UNIPOL-1502 จากผลการทดลองพบว่าอัตราการขจัดเนื้อวัสดุและคุณภาพผิวจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณ ซิงค์ไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นสูงสุดที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา ที่ให้อัตราการขจัดเนื้อวัสดุ สูงสุดอยู่ที่ 0.618 ไมโครเมตรต่อชั่วโมง และให้ความความหยาบผิว (RMS) ดีสุดอยู่ที่ 1.21 นาโนเมตร ซึ่งดีกว่าการขัดด้วยสารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกาอย่างเดียวที่ให้อัตราการขจัดเนื้อวัสดุอยู่ที่ 0.487 ไมโครเมตรต่อชั่วโมง และให้ความความหยาบผิว (RMS) อยู่ที่ 2.43 นาโนเมตร และเมื่อเพิ่มปริมาณ $Zn(OH)_2$ มากขึ้นอัตราการขจัดเนื้อวัสดุและคุณภาพผิวจะลดลงต่ำสุดที่ปริมาณซิงค์ไฮดรอกไซด์อยู่ที่ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค (XPS) พบว่าระหว่างการขัด ซิงค์ไฮดรอกไซด์เกิดปฏิกิริยากับผิวซัพไฟร์เกิดเป็นสารประกอบอะลูมิเนียมซินเกต (Al_2ZnO_4) ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการขจัดเนื้อวัสดุและช่วยให้พื้นผิวเรียบขึ้นในระดับนาโนเมตร จากงานวิจัยนี้จะสามารถสรุปได้ว่าการผสมสังกะสีลงในสารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกาในปริมาณที่เหมาะสม สามารถเพิ่มทั้งอัตราการขจัดเนื้อวัสดุและคุณภาพผิวของซัพไฟร์ได้

B. Zhang, et al. (2017) ได้พัฒนาสารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกาผสมด้วยซิลเวอร์ออกไซด์ (Ag_2O) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการขัดผิวโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกลสำหรับซีฟไฟร์ โดยใช้เทคนิค Seed-Induced Growth Method ในการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์ออกไซด์ให้มีลักษณะทรงกลมและกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ โดยกำหนดปริมาณซิลเวอร์ออกไซด์อยู่ที่ 0, 0.5, 1 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา ผลการทดสอบด้วยเทคนิค (SEM) พบว่าปริมาณซิลเวอร์ออกไซด์ไม่ส่งผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคซิลิกาในสารละลายชั้น ผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซิลเวอร์ออกไซด์จาก 0 ถึง 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา อัตราการขัดเนื้อวัสดุเพิ่มจาก 0.324 ไมโครเมตรต่อชั่วโมง ไปจนถึง 0.724 ไมโครเมตรต่อชั่วโมง อีกทั้งค่าความหยาบผิว (R_a) ดีขึ้นจาก 3.62 นาโนเมตร เหลือเพียง 0.85 นาโนเมตร การเพิ่มปริมาณซิลเวอร์ออกไซด์ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการขัดผิวซีฟไฟร์เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค (XPS) พบว่าซิลเวอร์ออกไซด์ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ช่วยเร่งปฏิกิริยาเคมีระหว่างอนุภาคซิลิกาและพื้นผิวซีฟไฟร์ โดยในระหว่างการขัดเกิดสารประกอบ Al_2SiO_5 บนผิวซีฟไฟร์ ซึ่งยืนยันว่ามีปฏิกิริยาทางเคมีร่วมกับแรงกลระหว่างกระบวนการขัดส่งผลให้การขัดเนื้อวัสดุมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น จึงสรุปได้ว่าการผสมสารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกาเข้ากับซิลเวอร์ออกไซด์ที่ปริมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา ให้ประสิทธิภาพในการขัดดีที่สุดทั้งในด้านอัตราการขัดเนื้อวัสดุและความหยาบผิว ซึ่งดีกว่าการใช้สารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกาอย่างเดียว

S. Dai, et al. (2020) ได้พัฒนาสารขัดแบบคอมโพสิตแกนแข็งเปลือกอ่อน Hard-Core Soft-Shell Abrasive ในสารละลายชั้นสำหรับใช้ในกระบวนการขัดโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกลสำหรับขัดผิวซีฟไฟร์สารขัดแบบคอมโพสิตถูกเตรียมโดยเคลือบผิวผงซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) ที่ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ด้วยอนุภาคซิลิกาในสัดส่วน 0, 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เพื่อให้ได้อนุภาคคอมโพสิตแกนซิลิคอนคาร์ไบด์ที่แข็งเปลือกซิลิกาที่อ่อน ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค (SEM) ยืนยันว่าซิลิกาเคลือบผิวซิลิคอนคาร์ไบด์ได้อย่างสม่ำเสมอทำให้อนุภาคกระจายตัวดีขึ้น ค่าความศักย์ซีตา (Zeta Potentials) มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณซิลิกาที่เพิ่มขึ้น โดยสารละลายชั้นชนิดซิลิคอนคาร์ไบด์อย่างเดียวที่ -44.6 mV ลดลงอยู่ที่ -61.1 mV ที่ปริมาณซิลิกา 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งบ่งชี้ถึงความเสถียรของการกระจายตัวที่ดีขึ้น จากการทดลองขัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกลโดยใช้เครื่อง UNIPOL-1502 และแผ่นขัดพอลิยูรีเทน พบว่าอัตราการขัดเนื้อวัสดุและคุณภาพผิวดีขึ้นตามปริมาณซิลิกาที่เพิ่มขึ้น โดยสารละลายชั้นที่มีซิลิคอนคาร์ไบด์อย่างเดียวมีอัตราการขัดเนื้อวัสดุอยู่ที่ 0.17 ไมโครเมตรต่อชั่วโมง และมีค่าความหยาบผิว (S_a) ที่ 1.974 นาโนเมตร เพิ่มขึ้นสูงสุดที่ปริมาณซิลิกา 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยมีอัตราการขัดเนื้อวัสดุอยู่ที่ 0.31 ไมโครเมตรต่อชั่วโมง และมีค่าความหยาบผิว (S_a) ที่ 1.525 นาโนเมตร จากนั้นอัตราการขัดเนื้อวัสดุและคุณภาพผิวลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกาอยู่ที่ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การเพิ่มประสิทธิภาพ

ดังกล่าวเกิดจากการที่ชั้นซิลิกาไปเคลือบซิลิคอนคาร์ไบด์ ทำให้ลดความแข็งแรงของซิลิคอนคาร์ไบด์ ส่งผลให้แรงทางกลระหว่างการขัดถูมีแนวโน้มสูงขึ้น และซิลิกายังคงทำปฏิกิริยาทางเคมีกับผิวซัพไฟร์ จึงช่วยเพิ่มทั้งอัตราการขัดเนื้อวัสดุและคุณภาพผิว นอกจากนี้ผลการเปรียบเทียบกับสารละลายชั้นที่มีปริมาณซิลิคอนคาร์ไบด์อย่างเดียว 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่ามีอัตราการขัดเนื้อวัสดุสูงกว่าและมีคุณภาพผิวใกล้เคียงกันกับสารละลายชั้นที่มีปริมาณอนุภาคซิลิกา 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก งานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่าการผสมซิลิกาลงในซิลิคอนคาร์ไบด์ในปริมาณที่เหมาะสมช่วยลดความแข็งแรงและเพิ่มการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับผิวซัพไฟร์ ทำให้เพิ่มทั้งอัตราการขัดเนื้อวัสดุและคุณภาพผิวอย่างมีประสิทธิภาพ

H. Lei, et al. (2015) ได้ศึกษาและพัฒนาสารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกาผสมธาตุเหล็ก (Fe) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการขัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกลสำหรับซัพไฟร์ สารละลายชั้นถูกเตรียมโดยใช้กระบวนการ Seed-Induced Growth Method โดยเติมเหล็ก III ไฮดรอกไซด์ Fe(OH)_3 ในปริมาณ 0, 0.48, 0.96 และ 1.91 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา ลงในสารละลายชั้นที่มีซิลิกาในปริมาณ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค (SEM) พบว่าเหล็ก III ไฮดรอกไซด์ แทรกเข้าไประหว่างอนุภาคซิลิกาได้อย่างสม่ำเสมอโดยไม่ทำให้ขนาดอนุภาคเปลี่ยนแปลง ทดสอบขัดซัพไฟร์ด้วยกระบวนการขัดผิวโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกลด้วยเครื่อง UNIPOL-1502 พบว่าอัตราการขัดเนื้อวัสดุและคุณภาพผิวดีขึ้นตามปริมาณเหล็ก III ไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น โดยสารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกาอย่างเดียวนี้อัตราการขัดเนื้อวัสดุอยู่ที่ 0.35 ไมโครเมตรต่อชั่วโมง และมีความหยาบผิว (RMS) อยู่ที่ 3.84 นาโนเมตร เพิ่มขึ้นสูงสุดที่ปริมาณเหล็ก III ไฮดรอกไซด์ 0.96 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา โดยมีอัตราการขัดเนื้อวัสดุอยู่ที่ 0.57 ไมโครเมตรต่อชั่วโมง และความหยาบผิว (RMS) อยู่ที่ 1.41 นาโนเมตร และอัตราการขัดเนื้อวัสดุและคุณภาพผิวลดลงเล็กน้อยที่ปริมาณเหล็ก III ไฮดรอกไซด์อยู่ที่ 1.91 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค (XPS) ยืนยันว่าในระหว่างกระบวนการขัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกลเกิดการสร้างสารประกอบอะลูมิเนียมเฟอร์ไรต์ (AlFeO_3) ระหว่างการขัด ซึ่งมาจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างพื้นผิวซัพไฟร์กับเหล็ก III ไฮดรอกไซด์ที่อยู่ในสารละลายชั้น ทำให้กระบวนการขัดมีการขัดเนื้อวัสดุได้เร็วขึ้นและได้ผิวเรียบขึ้นงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการเติมธาตุเหล็กลงในสารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกาสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการขัดผิวซัพไฟร์ได้ทั้งในด้านอัตราการขัดเนื้อวัสดุและความหยาบผิว

H. Lei and Q. Gu (2015) ได้พัฒนาสารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกาโดยผสมกับทองแดง (Cu) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการขัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกลสำหรับซัพไฟร์ สารละลายชั้นชนิดนี้จะถูกเตรียมด้วยวิธี Seed-Induced Growth Method โดยเติมสารละลายคอปเปอร์ II ไนเตรต ($\text{Cu(NO}_3)_2$) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ลงในสารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกา เพื่อให้

เกิดการตกตะกอนของคอปเปอร์ II ไฮดรอกไซด์ ($\text{Cu}(\text{OH})_2$) และแทรกตัวเข้าไประหว่างอนุภาคซิลิกา โดยกำหนดปริมาณคอปเปอร์ II ไฮดรอกไซด์อยู่ที่ 0 - 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค (SEM) แสดงให้เห็นว่าอนุภาคซิลิกาที่ได้มีลักษณะทรงกลมกระจายตัวดี ทดสอบประสิทธิภาพในการขัดด้วยกระบวนการขัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกลโดยใช้เครื่อง UNIPOL-1502 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณคอปเปอร์ II ไฮดรอกไซด์จาก 0 เป็น 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา อัตราการขัดเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้นจาก 0.55 ไมโครเมตรต่อชั่วโมง เป็น 0.83 ไมโครเมตรต่อชั่วโมง และค่าความหยาบผิว (RMS) ดีขึ้นจาก 2.82 นาโนเมตร เป็น 1.52 นาโนเมตร เมื่อเพิ่มปริมาณคอปเปอร์ II ไฮดรอกไซด์เกิน 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา อัตราการขัดเนื้อวัสดุลดลงเล็กน้อยและมีค่าความหยาบผิว (RMS) ดีขึ้นเล็กน้อยอยู่ที่ 1.5 นาโนเมตร ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค (XPS) หลังการขัดพบว่าเกิดปฏิกิริยาระหว่างคอปเปอร์ II ไฮดรอกไซด์กับผิวซัลไฟร์ เกิดสารประกอบไดอะลูมิเนียมคอปเปอร์เตตระออกไซด์ (Al_2CuO_4) และอะลูมิเนียมซิลิเกต (Al_2SiO_5) ซึ่งช่วยเพิ่มปฏิกิริยาเคมีในระหว่างการขัด ทำให้กระบวนการขัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกลมีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงสรุปได้ว่าการเติมทองแดงสารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกาช่วยเพิ่มอัตราการขัดเนื้อวัสดุและเพิ่มคุณภาพผิวของซัลไฟร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

P. Ma, et al. (2016) ได้พัฒนาสารละลายชั้นโดยที่มีอนุภาคซิลิกามสเมอไนต์ (Ni) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการขัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกลสำหรับแผ่นซัลไฟร์ สารละลายชั้นถูกเตรียมด้วยวิธี Seed-Induced Growth Method โดยเติมสารละลายนิกเกิล II ไนเตรตที่มีน้ำประกอบ 6 โมเลกุล ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของนิกเกิล II ไฮดรอกไซด์ ($\text{Ni}(\text{OH})_2$) และแทรกตัวอยู่ในอนุภาคซิลิกา โดยกำหนดปริมาณนิกเกิล II ไฮดรอกไซด์อยู่ที่ 0 - 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค (SEM) พบว่าอนุภาคซิลิกากระจายตัวได้ดีไม่มีการรวมตัวกันของอนุภาค ทดสอบขัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกลโดยใช้เครื่อง UNIPOL-1502 จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณนิกเกิล II ไฮดรอกไซด์จาก 0 ถึง 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา อัตราการขัดเนื้อวัสดุเพิ่มจาก 0.3868 ไมโครเมตรต่อชั่วโมง เป็น 0.7177 ไมโครเมตรต่อชั่วโมง และค่าความหยาบผิว (Ra) ดีขึ้นจาก 2.1 นาโนเมตร เป็น 1 นาโนเมตร หลังจากนั้นเมื่อปริมาณนิกเกิล II ไฮดรอกไซด์เพิ่มเกิน 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา อัตราการขัดเนื้อวัสดุเริ่มลดลงต่ำสุดที่ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา เนื่องจากความแข็งของอนุภาคลดลง และซัลไฟร์อาจเกิดตำหนิของการกัดกร่อนทางเคมีทำให้ค่าความหยาบผิวเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค (XPS) พบว่าเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างพื้นผิวซัลไฟร์กับนิกเกิล II ไฮดรอกไซด์ โดยเกิดสารประกอบนิกเกิล II อะลูมิเนียมที่มีน้ำประกอบ 1 โมเลกุล ($\text{NiAl}_2\text{O}_4 + \text{H}_2\text{O}$) และอนุภาคซิลิกาทำปฏิกิริยาเคมีกับซัลไฟร์เกิดสารประกอบอะลูมิเนียมไดซิลิเกต ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$) ซึ่งเป็นสารประกอบซิลิเกตและสปิเนลที่ช่วยส่งเสริมการเกิดชั้นปฏิกิริยาออกไซด์บนผิวซัลไฟร์ ทำให้ผิว

ซัพไฟร์อ่อนลงสามารถถูกขจัดออกได้ง่ายขึ้น จึงสรุปได้ว่าการเติมนิกเกิลลงในสารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกาช่วยเพิ่มทั้งอัตราการขจัดเนื้อวัสดุ และความหยาบผิว (Ra) ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเคมีร่วมระหว่างนิกเกิล II ไฮดรอกไซด์กับซัพไฟร์ที่ช่วยเร่งการเกิดชั้นออกไซด์ทำให้ผิวซัพไฟร์นุ่มและลดยึดขุ่น

W. Xie, et al. (2020) ได้พัฒนากระบวนการขัดผิวแบบใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกลที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Green CMP) สำหรับขัดผิวซัพไฟร์ โดยผู้วิจัยได้พัฒนาสารละลายชั้นชนิดใหม่ที่ประกอบด้วย อนุภาคซิลิกา, ซอร์บิทอล, อะมิโนเมทิลโพรพานอล และน้ำกลั่นบริสุทธิ์ โดยไม่ใช้กรดหรือด่างที่มีฤทธิ์กัดกร่อน ซึ่งเป็นการลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ผลการทดลองพบว่าสารละลายชั้นดังกล่าวสามารถขัดผิวซัพไฟร์ให้มีอัตราการขจัดเนื้อวัสดุอยู่ที่ 3.268 ไมโครเมตรต่อชั่วโมง และมีค่าความหยาบผิว (Ra) อยู่ที่ 0.098 nm ซึ่งดีกว่าสารขัดในอุตสาหกรรมทั่วไป นอกจากนี้ในระหว่างกระบวนการทำความสะอาดชิ้นงานซัพไฟร์หลังขัดใช้เพียงน้ำกลั่นในการล้างและลมในการเป่าให้แห้ง ทำให้กระบวนการทั้งหมดเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างแท้จริง กลไกการขัดของสารละลายชั้นดังกล่าวเกิดจากการที่อะมิโนเมทิลโพรพานอล ปลดปล่อยไอออนไฮดรอกซิลทำให้สารละลายชั้นเป็นด่างและสร้างอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์บนพื้นผิวซัพไฟร์ ซึ่งทำปฏิกิริยาเคมีกับซอร์บิทอล เกิดเป็นชั้นผิวที่นุ่มที่ประกอบด้วยอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์และอะลูมิเนียมซิลิเกตชั้นนี้จะถูกขจัดออกโดยอนุภาคซิลิกาในสารละลายชั้นส่งผลให้ได้ผิวเรียบระดับนาโนโดยไม่เกิดรอยขีดข่วนหรือรอยแตก งานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นว่าการใช้เติมซอร์บิทอลลงในสารละลายชั้นร่วมกับอะมิโนเมทิลโพรพานอลสามารถให้ผลการขัดที่มีประสิทธิภาพสูงและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

M. Zhou, et al. (2023) ได้พัฒนาเทคนิคการขัดผิวแบบใช้คลื่นอัลตราโซนิกร่วมกับการขัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกล (Ultrasonic Assisted Chemical Mechanical Polishing: UA-CMP) สำหรับผิวซัพไฟร์ โดยใช้แนวคิดการขัดที่อนุภาคสัมผัสตรงกับผิว (Two Body) และการขัดจากแรงกระแทกของอนุภาคที่ลอยในสารละลาย (Abrasive-Impact) โดยใช้สารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกาขนาด 60 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องขัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกล Tribo (Bruker, USA) ที่ถูกติดตั้งระบบอัลตราโซนิกขนาด 50 กิโลเฮิร์ตซ์ และแอมพลิจูด 2 ไมโครเมตร โดยใช้ความเร็วรอบของแท่นขัด 40, 60 และ 80 รอบต่อนาที แรงกด 4 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อัตราการไหลของสารละลายชั้น 80 มิลลิลิตรต่อนาที และใช้ระยะเวลาขัด 1 ชั่วโมง ใช้เทคนิค (Atomic Force Microscopy: AFM) เพื่อศึกษาการเกิดร่องรอยในระดับนาโนของอนุภาคที่สัมผัสตรงกับผิว ใช้เทคนิค (Computational Fluid Dynamics: CFD) เพื่อจำลองพฤติกรรมของการไหลของสารละลายชั้น และผลของคลื่นอัลตราโซนิกที่มีต่อแรงกระแทกของอนุภาคใช้เทคนิค (SEM-EDS) วิเคราะห์พื้นผิวของแผ่นขัดหลังการขัด เพื่อยืนยันว่ามีการขจัดวัสดุอะลูมิเนียมออกจากผิวซัพไฟร์จริง จากผลการ

ทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วยรอบจาก 40 จนถึง 80 รอบต่อนาที อัตราการขจัดเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้นจาก 1.24 ไมโครเมตรต่อชั่วโมง เป็น 2.03 ไมโครเมตรต่อชั่วโมง ค่าความหยาบผิว (Ra) ดีขึ้นจาก 0.10 นาโนเมตร เหลือเพียง 0.07 นาโนเมตร จากผลการจำลอง ด้วยเทคนิค (CFD) พบว่าเมื่อเพิ่มแอมพลิจูดของคลื่นอัลตราโซนิกจาก 1 ไมโครเมตร เป็น 3 ไมโครเมตร ความเร็วของสารละลายชั้นบริเวณศูนย์กลางเพิ่มจาก 0.26 เมตรต่อวินาที เป็น 0.55 เมตรต่อวินาที และ (Air Volume Fraction: AVF) เพิ่มขึ้นจาก 20 เปอร์เซ็นต์ เป็น 49 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้เกิดแรงเฉือนและแรงกระแทกมากขึ้น จึงช่วยเพิ่มอัตราการขจัดเนื้อวัสดุ ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค (SEM-EDS) พบว่าผิวของแผ่นขัดหลังการขัดมีธาตุอะลูมิเนียมปรากฏอยู่ แสดงถึงการขจัดสารประกอบอะลูมิเนียมจากผิวสัฟไฟร์ออกมาจริง จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค (AFM) พบว่าชั้นปฏิกิริยาเคมีบนผิวสัฟไฟร์มีความหนาเฉลี่ย 0.22 นาโนเมตร และถูกกำจัดออกได้ด้วยอนุภาคสัมผัสตรงกับผิว งานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่าการขจัดผิวแบบใช้คลื่นอัลตราโซนิกร่วมกับการขัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกล สามารถเพิ่มอัตราการขจัดเนื้อวัสดุและเพิ่มคุณภาพผิวสัฟไฟร์ได้

G. Zhao, et al. (2022) ได้พัฒนาสารขัดแบบคอมโพสิตสำหรับกระบวนการขัดผิวสัฟไฟร์ด้วยการเคลือบผิวแผ่นขัดเพชรแบบ (Semi Fixed) ด้วยชั้นซิลิกา โดยใช้กระบวนการ (Sol-Gel) ผ่านการไฮโดรไลซิสของ (Tetraethyl Orthosilicate: TEOS) จนได้อนุภาคแบบแกนแข็งผิวอ่อนที่มีการยึดเกาะระหว่างซิลิกาและอนุภาคเพชร ทดสอบประสิทธิภาพในการขัดสัฟไฟร์ด้วยเครื่อง UNIPOL-1200S โดยมีพารามิเตอร์การขัดคือ แรงกด 5 กิโลกรัม ความเร็วแท่นหมุน 120 รอบต่อนาที ความเร็วหัวขัด 60 รอบต่อนาที และขัดเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง โดยใช้น้ำกลั่นบริสุทธิ์เป็นสารหล่อเย็นไม่มีการผสมสารเคมีใด ๆ หลังการขัดทำความสะอาดสัฟไฟร์ด้วยน้ำกลั่นและเอทานอลด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค (TEM) แสดงให้เห็นโครงสร้างแบบแกนแข็งผิวอ่อนอย่างชัดเจน โดยมีลักษณะเป็นชั้นฟิล์มหนา 10 นาโนเมตร เคลือบอย่างสม่ำเสมอบนพื้นผิวเพชร เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แผ่นขัดแบบเพชรล้วน พบว่าแผ่นขัดที่เคลือบผิวด้วยซิลิกาให้ผลที่ดีกว่าอย่างชัดเจนโดยมีอัตราการขจัดเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้นจาก 1.35 นาโนเมตรต่อนาที เป็น 1.47 นาโนเมตรต่อนาที ค่าความหยาบผิว (Ra) ดีขึ้นจาก 7.16 นาโนเมตร เหลือเพียง 5.21 นาโนเมตร จากผลการวิเคราะห์เศษผงของเพชรที่หลุดออกจากแผ่นขัดด้วยเทคนิค (EDS) พบว่ามีการเกิดสารประกอบที่บ่งชี้ว่ามีปฏิกิริยาเคมีระหว่างซิลิกากับผิวเพชรกับผิวสัฟไฟร์ การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค (XPS) ยืนยันการเกิดสาร อะลูมิเนียมออกไซด์ไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มประมาณ 3 - 3.5 โมสส์เกลและอะลูมิเนียมซิลิเกต ที่มีความเข้มประมาณ 4 โมสส์เกล บนพื้นผิวซึ่งเป็นชั้นนิ่มที่ถูกขัดออกง่ายด้วยแรงกล งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การเคลือบซิลิกากับแผ่นขัดเพชรช่วยสามารถเพิ่มอัตราการขจัดเนื้อวัสดุและเพิ่มคุณภาพผิวสัฟไฟร์ได้

จากงานวิจัยข้างต้นจะเห็นได้ว่าความพยายามหลักของนักวิจัยคือการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการตัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกลสำหรับซัพไฟให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และลดค่าใช้จ่ายในการผลิต ไม่ว่าจะเป็นการหาพารามิเตอร์การตัดที่เหมาะสมเพื่อสร้างสมดุลระหว่างอัตราการจัดเนื้อวัสดุและความหยาบผิว การใช้เทคนิคตัดสองขั้นตอนเพื่อแก้ปัญหาที่การตัดแบบขั้นตอนเดียวไม่สามารถทำได้ การควบคุมคุณสมบัติของสารละลายชั้น เช่น ขนาดอนุภาค ความเข้มข้น ค่า pH อายุการใช้งาน และการผสมธาตุต่าง ๆ กับอนุภาคซิลิกาในสารละลายชั้น รวมถึงการผสมอนุภาคซิลิกาขนาดเล็กและใหญ่เพื่อเพิ่มทั้งอัตราการกำจัดเนื้อวัสดุและคุณภาพผิว แต่ละวิธีล้วนแต่สะท้อนแนวโน้มเดียวกัน คือการแสวงหาวิธีเพิ่มประสิทธิภาพการตัดโดยใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

จากบริบทดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะต่อยอดงานเหล่านี้ โดยมุ่งไปที่การ ลดค่าใช้จ่ายของกระบวนการตัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกลผ่านการพัฒนาแผ่นขัดจากเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากภาคการเกษตร เช่น เส้นใยกลบข้าวที่มีต้นทุนต่ำ การสร้างแผ่นขัดจากเส้นใยธรรมชาติ ไม่เพียงช่วยลดต้นทุนวัสดุ แต่ยังสอดคล้องกับแนวทางการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน และมีศักยภาพที่จะเป็นทางเลือกใหม่ในการทดแทนแผ่นขัดเชิงพาณิชย์ที่ใช้อยู่ในอุตสาหกรรมการตัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกลในปัจจุบัน

2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแผ่นขัดจากเส้นใยธรรมชาติ

นอกเหนือจากงานวิจัยที่เน้นการปรับพารามิเตอร์การตัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกลหรือการปรับปรุงคุณสมบัติของสารละลายชั้นแล้ว ยังมีแนวทางวิจัยที่สำคัญอีกด้านหนึ่งคือ การพัฒนาแผ่นขัดจากวัสดุธรรมชาติ โดยเฉพาะเส้นใยจากพืชหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อใช้ทดแทนแผ่นขัดสังเคราะห์เชิงพาณิชย์ที่มีราคาสูง

S. Chansatarnpornkul, et al. (2019) ได้ทำการศึกษาแผ่นขัดจากเส้นใยธรรมชาติ โดยเลือกใช้เส้นใยจากพืชสี่ชนิด ได้แก่ ใผ่ ขานอ้อย กล้วย และสับปะรด ผสมกับพอลิยูรีเทนเพื่อสร้างแผ่นขัดในกระบวนการตัดผิวด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกลสำหรับตัดผิวซัพไฟ โดยนำเส้นใยธรรมชาติผสมกับพอลิยูรีเทนและน้ำจากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แล้วปล่อยให้แห้งตัว 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปทดสอบประสิทธิภาพในการตัดซัพไฟ จากผลการทดลองแผ่นขัดที่ทำจาก ใผ่ และ ขานอ้อย ซึ่งมีซิลิกาตามธรรมชาติผสมอยู่ให้อัตราการกำจัดเนื้อวัสดุอยู่ที่ 255.22 นาโนเมตรต่อชั่วโมง และ 309.69 นาโนเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าของแผ่นขัดในอุตสาหกรรม SUBA600 ถึง 157 เปอร์เซ็นต์ และ 191 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ตรงข้ามกับแผ่นขัดจาก กล้วยและสับปะรด ที่ไม่มีซิลิกาผสมอยู่จึงไม่สามารถตัดซัพไฟได้ ประกอบกับการตรวจด้วยวิธีรามานสเปกโทรสโกปี แสดงให้เห็นว่าเส้นใยใผ่และขานอ้อยสามารถดูดซับซิลิกาจากสารละลายชั้นได้ ในขณะที่เส้นใยกล้วยและสับปะรดไม่สามารถดูดซับได้ จึงสนับสนุนทฤษฎีว่าการมีซิลิกาในเส้นใยเป็นปัจจัยหลักที่ช่วยเพิ่มอัตรา

การจัดเนื้อวัสดุ งานวิจัยนี้สามารถยืนยันได้ว่าเส้นใยธรรมชาติที่มี องค์ประกอบซิลิกาตามธรรมชาติ สามารถทำให้แผ่นขัดมีประสิทธิภาพสูงกว่าแผ่นขัดในอุตสาหกรรมได้จริง ในขณะที่เส้นใยที่ไม่มีซิลิกา ไม่สามารถขัดซัฟไฟร์ได้ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเลือกชนิดของเส้นใยธรรมชาติมีผลต่อประสิทธิภาพการ ขัดอย่างมาก งานวิจัยนี้จึงเป็นตัวอย่างสำคัญที่แสดงให้เห็นว่า เส้นใยจากพืชที่มีซิลิกาธรรมชาติผสม อยู่สามารถเป็นวัสดุทางเลือกในการสร้างแผ่นขัดสำหรับกระบวนการขัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทาง กลได้ การศึกษาเหล่านี้สอดคล้องกับแนวทางของงานวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ที่เลือก แกลบข้าว ซึ่งเป็น วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีซิลิกาผสมอยู่เป็นจำนวนมาก มาเป็นวัตถุดิบหลักในการสร้างแผ่นขัด จากเส้นใยธรรมชาติสำหรับการขัดซัฟไฟร์

N. Bun-athuek, et al. (2022) ได้ศึกษาและพัฒนาแผ่นขัดจากเส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ เส้นใย กาบมะพร้าว และ เส้นใยฟางข้าว ผสมกับพอลิยูรีเทนเพื่อใช้ขัดผิวซัฟไฟร์ในกระบวนการขัดด้วย สารเคมีร่วมกับแรงทางกล โดยนำเส้นใยธรรมชาติถูกคัดแยกขนาดและอบแห้งก่อนนำมาผสมกับ พอลิยูรีเทนที่อัตราส่วน 5, 7.5 และ 10 ส่วนในร้อยละของเรซิน จากนั้นขึ้นรูปเป็นแผ่นขัดขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง 120 มิลลิเมตร และทดสอบคุณสมบัติทางกลและประสิทธิภาพการขัด จากผลพบว่า ค่าความแข็งของแผ่นขัดที่สร้างขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้นจากพอลิยูรีเทนเปล่า 40 Shore A โดยเฉพาะแผ่นขัดที่ ใช้กาบมะพร้าวผสมที่ 7.5 ส่วนในร้อยละของเรซิน ซึ่งมีค่าความแข็งสูงถึง 63.5 Shore A แสดงให้ เห็นว่าเส้นใยธรรมชาติสามารถทำหน้าที่เป็นวัสดุเสริมแรงได้เป็นอย่างดี ในส่วนของประสิทธิภาพการ ขัดพบว่า แผ่นขัดจากกาบมะพร้าวที่ 10 ส่วนในร้อยละของเรซิน และ ฟางข้าว 7.5 ส่วนในร้อยละ ของเรซิน ให้ อัตราการขัดเนื้อวัสดุสูงสุดอยู่ที่ 0.015 ไมโครเมตรต่อนาที และ 0.0145 ไมโครเมตร ต่อนาที ตามลำดับหรือประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ของแผ่นขัดเชิงพาณิชย์ ค่าความหยาบผิวซัฟไฟร์หลัง การขัดดีที่สุดจากแผ่นขัดจากกาบมะพร้าวที่ 10 ส่วนในร้อยละของเรซิน และ ฟางข้าวที่ 10 ส่วนใน ร้อยละของเรซิน อยู่ที่ 1.0 นาโนเมตร และ 0.7 นาโนเมตร ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถใช้ งานได้ในอุตสาหกรรมขัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกล ถึงแม้ประสิทธิภาพการขัดจะยังต่ำกว่าแผ่น ขัดเชิงในอุตสาหกรรม แต่ผลการวิจัยนี้ยืนยันว่าเส้นใยเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีซิลิกาเป็น องค์ประกอบจากธรรมชาติ เช่น กาบมะพร้าวและฟางข้าว สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุสำหรับ ผลิตแผ่นขัดในกระบวนการขัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกลได้จริง ทั้งยังช่วยลดต้นทุนการผลิตและ เพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

U. Boonsom, et al. (2022) ได้ศึกษาการใช้เส้นใยแกลบข้าว และเส้นใยผักตบชวา ผสมกับ พอลิยูรีเทนเพื่อสร้างเป็นแผ่นขัดจากเส้นใยธรรมชาติสำหรับกระบวนการขัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรง ทางกลของซัฟไฟร์ โดยใช้เส้นใยขนาด 30, 40 และ 60 เมช และทดสอบคุณสมบัติทางกลพร้อมทั้ง ประสิทธิภาพการขัด โดยนำเส้นใยแกลบและผักตบชวามาบดและคัดขนาด จากนั้นผสมกับพอลิยูรี

เทนในอัตราส่วนที่กำหนดไว้ ขึ้นรูปเป็นแผ่นขัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 มิลลิเมตร ทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลได้แก่ ความแข็ง ความต้านทานขัดถู การดูดซึมน้ำ และทดสอบประสิทธิภาพการขัดในกระบวนการขัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกลจริงกับซัพไฟร์ จากผลการทดลองแผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าวมีอัตราการขัดเนื้อวัสดุดีกว่าแผ่นขัดจากเส้นใยผักตบชวา โดยเฉพาะ ขนาด 40 เมช ที่ให้อัตราการขัดเนื้อวัสดุสูงที่สุดอยู่ที่ 0.663 นาโนเมตรต่อนาที่ แผ่นขัดจากเส้นใยผักตบชวามีอัตราการขัดเนื้อวัสดุต่ำเนื่องจาก ปัญหาการดูดซึมน้ำในสารละลายชั้นทำให้แผ่นขัดบวมและเกิดแรงเสียดทานจนหมุนไม่สะดวก การทดสอบทางกลพบว่าแผ่นขัดจากกลบข้าวมีค่าความแข็งอยู่ที่ประมาณ 60 - 70 Shore A จึงมีความเหนียวทำให้ทนต่อการขัดถูได้ดีกว่า ขณะที่แผ่นขัดจากผักตบชวามีความแข็งมากกว่าอยู่ที่ประมาณ 70 - 90 Shore A แต่เปราะและต้านทานการขัดถูต่ำกว่า งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า ชนิดของเส้นใยธรรมชาติส่งผลต่อประสิทธิภาพของแผ่นขัดอย่างชัดเจน กลบข้าวที่มีซิลิกาสูง เหมาะสมกว่าสำหรับการใช้เป็นวัตถุดิบผลิตแผ่นขัด ในขณะที่ผักตบชวาซึ่งมีซิลิกาน้อยกว่า และตัวเส้นใยมีโครงสร้างเป็นรูพรุนทำให้ดูดซับน้ำในสารละลายชั้นจนทำให้ประสิทธิภาพการขัดต่ำ

จากงานวิจัยข้างต้นที่ได้มีการทดลองใช้ เส้นใยธรรมชาติหลายชนิด เช่น เส้นใยไผ่ เส้นใยชานอ้อย เส้นใยกล้วย เส้นใยสับปะรด เส้นใยฟางข้าว เส้นใยกาบมะพร้าวและเส้นใยกลบข้าว ในการสร้างแผ่นขัดจากเส้นใยธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทน โดยพบว่าเส้นใยที่มีองค์ประกอบของซิลิกาตามธรรมชาติสามารถใช้ในการขัดผิวซัพไฟร์ด้วยกระบวนการขัดโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกลได้ ซึ่งผลลัพธ์บางกรณีมีประสิทธิภาพใกล้เคียงหรือเหนือกว่าแผ่นขัดในอุตสาหกรรมประกอบกับการเลือกเส้นใยที่เหมาะสมอย่างเช่น กลบข้าวที่ถือเป็นวัสดุเหลือใช้ที่มีความโดดเด่น เนื่องจากประกอบด้วยซิลิกาประมาณ 15 - 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2.2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุคอมโพสิต

การศึกษาวัสดุคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุเสริมแรงเป็นการศึกษาที่มุ่งเน้นไปที่ผลกระทบของการผสมเส้นใยธรรมชาติเข้ากับวัสดุเมทริกซ์พอลิเมอร์ว่าจะส่งผลต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุที่ได้อย่างไร ทั้งในด้านความแข็งแรงเชิงกล การดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกลอื่น ๆ เส้นใยธรรมชาติ เช่น กลบข้าว กาบมะพร้าว ไผ่ หรือชานอ้อย เป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส ลิกนิน และในบางชนิดยังมีปริมาณซิลิกาสูง เส้นใยเหล่านี้จึงสามารถทำหน้าที่เป็นวัสดุเสริมแรงและเพิ่มคุณสมบัติให้กับวัสดุคอมโพสิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

H. D. Rozman, et al. (2005) งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการใช้เส้นใยกลบข้าวเป็นฟิลเลอร์ผสมกับพอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester: USP) เพื่อสร้างวัสดุคอมโพสิตและทำการทดสอบสมบัติเชิงกลได้แก่ ความต้านทานแรงดึง ความทนแรงดัด และความแข็งแรงต่อแรงกระแทก ทดสอบสมบัติการเปลี่ยนแปลงเชิงมิติได้แก่ การดูดน้ำและการขยายตัว โดยการเตรียมกลบข้าวที่มีขนาด

35 - 60, 60 - 80 และ 100 - 140 เมช ผสมกับพอลิเอสเตอร์ไม่อิมตัวในอัตราส่วนกลบข้าว 42 เปอร์เซ็นต์ 57 เปอร์เซ็นต์ และ 72 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ผลการทดลองสมบัติเชิงกลพบว่าค่า ความต้านทานแรงดึง ความทนแรงดัด และความแข็งแรงต่อแรงกระแทก มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ กลบข้าวเนื่องจากวัสดุเมทริกซ์น้อยลงจึงมีแรงยึดเกาะระหว่างกลบข้าวกับวัสดุเมทริกซ์ลดลง อย่างไรก็ดีตามเมื่อใช้กลบข้าวที่มีขนาดเล็ก 100 - 140 เมช พบว่าให้สมบัติทางกลดีกว่าเส้นใยขนาดใหญ่ เพราะพื้นที่ผิวสูงขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของกลบกับกลุ่มคาร์บอนิลของ พอลิเอสเตอร์มากขึ้น จากผลการทดลองสมบัติเชิงกลพบว่าการดูดน้ำและการขยายตัวเพิ่มขึ้นเมื่อแช่ น้ำเป็นเวลานานขึ้นและอัตราการดูดน้ำเพิ่มตามสัดส่วนของเส้นใยกลบข้าวแต่เมื่อใช้เส้นใยกลบข้าว ขนาดเล็ก พบว่าการดูดน้ำและการขยายตัวลดลง เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลของกลบข้าวจับตัวกับ พอลิเอสเตอร์ไม่อิมตัวมากขึ้น ทำให้เหลือหมู่ฟังก์ชันที่ดูดน้ำได้น้อย จากผลการสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าชิ้นงานที่ใช้เส้นใยกลบข้าวขนาดเล็กแสดงการยึดเกาะที่ ดีกว่าที่รอยต่อระหว่างพอลิเอสเตอร์ไม่อิมตัวกับกลบข้าว จากงานวิจัยจึงสรุปได้ว่าวัสดุคอมโพสิต จากเส้นใยกลบข้าวผสมพอลิเอสเตอร์ไม่อิมตัวสามารถเพิ่มสมบัติเชิงกลให้สูงกว่าพอลิเอสเตอร์ไม่อิม อย่างเป็นเดียว อีกทั้งขนาดและปริมาณของกลบข้าวก็ยังมีผลโดยตรงต่อสมบัติเชิงกลและการดูดน้ำอีก ด้วย งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของเส้นใยกลบข้าวในฐานะเศษเหลือจากภาคการเกษตร ราคาถูก ซึ่งเหมาะในการนำมาเป็นวัสดุเสริมแรงที่เพิ่มสมบัติของวัสดุคอมโพสิต ไม่ว่าจะเป็น พอลิเอสเตอร์ไม่อิมตัว หรือพอลิยูรีเทนก็ตาม

N. Stephen, et al. (2015) ได้ทำการพัฒนาหมวกนิรภัยทางการทหารโดยใช้เส้นใยมะพร้าว เป็นวัสดุเสริมแรงในพอลิเมอร์ชนิดอีพ็อกซีผลิตชิ้นงานทดสอบโดยใช้วิธีขึ้นรูปด้วยมือ โดยกำหนด สัดส่วนเส้นใย 20 - 85 เปอร์เซ็นต์กับอีพ็อกซีเรซิน จากนั้นทำการทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความต้านทานแรงดึง ความทนแรงดัด ความแข็งแรงต่อแรงกระแทก และความแข็ง จากผลการทดลอง พบว่าสมบัติโดยรวมของชิ้นงานดีขึ้นตามปริมาณเส้นใยมะพร้าวที่เพิ่มขึ้นจนถึงอัตราส่วนเส้นใย มะพร้าว 70 เปอร์เซ็นต์ อีพ็อกซีเรซิน 30 เปอร์เซ็นต์ ที่สามารถให้สมบัติรวมดีที่สุด แต่เมื่อปริมาณ เส้นใยมะพร้าวเกินกว่านี้กลับมีสมบัติโดยรวมลดลงเกิดจากการยึดเกาะระหว่างเส้นใยมะพร้าวและ อีพ็อกซีเรซินไม่สมบูรณ์เพราะปริมาณกาวมะพร้าวที่มากเกินไปจนอีพ็อกซีเรซินมีไม่เพียงพอที่จะยึด ชิ้นงานเข้าไว้ด้วยกัน จากการเปรียบเทียบกับหมวกมาตรฐาน พบว่าหมวกคอมโพสิตที่ผลิตจากเส้นใย มะพร้าวมีน้ำหนัก 3.15 กิโลกรัม และความหนาเฉลี่ยที่ 5 มิลลิเมตร ซึ่งเบากว่าหมวกนิรภัยของจีน และอังกฤษ แต่หนักกว่าหมวกบาลิสติก (Ballistic) ของประเทศสหรัฐอเมริกาเล็กน้อย คุณสมบัติทาง กลโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถใช้สำหรับการผลิตหมวกนิรภัยได้จริง งานวิจัยนี้ยืนยันได้ว่าเส้นใย มะพร้าวสามารถใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิตได้จริง โดยให้สมบัติที่เหมาะสมต่อการใช้งาน ในทางการทหาร เช่น หมวกนิรภัยทางการทหาร การวิจัยดังกล่าวจึงเป็นหลักฐานว่าการใช้เส้นใย

ธรรมชาติจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสามารถทดแทนวัสดุสังเคราะห์ที่มีต้นทุนสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงแลบข้าวด้วยกรดและเบส

ทั้งนี้ยังมีการศึกษาการปรับปรุงเส้นใยแลบข้าวด้วย กรดไฮโดรคลอริก หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าการปรับปรุงจะช่วยกำจัดสิ่งเจือปนอินทรีย์หรืออนินทรีย์ออก เพื่อเพิ่มความบริสุทธิ์ของซิลิกา และช่วยส่งเสริมการยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับพอลิยูรีเทน ซึ่งอาจทำให้แผ่นขัดมีสมบัติทางกลที่ดีขึ้น เช่น ค่าความแข็ง ความต้านทานการขัดถู และการดูดซึมน้ำ

J. T. Librea, et al. (2019) ได้เปรียบเทียบผลของการทำความสะอาดแลบข้าวด้วยน้ำและกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 1.0 และ 2.0 โมล เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง และวิเคราะห์สภาพผิวและองค์ประกอบของแลบข้าวเพื่อเพิ่มความบริสุทธิ์ของซิลิกา โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM-EDS) ตรวจสอบสภาพผิวด้านนอกและด้านในของแลบ และใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ (X-ray fluorescence: XRF) วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุก่อนและหลังปรับสภาพ จากผลการศึกษาพบว่าหลังผ่านการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริกและน้ำ ผิวเปลือกชั้นนอกมีความเรียบขึ้นและยังมีโครงสร้างเป็นเส้นใยส่วนผิวด้านในเห็นเส้นใยเดี่ยวชัดเจนแสดงถึงการกำจัดชั้นอินทรีย์ออกได้บางส่วน จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค (SEM-EDS) พบว่า การล้างเส้นใยด้วยกรดไฮโดรคลอริกและน้ำสามารถกำจัดธาตุ Mg และ Al ที่ผิวด้านนอกให้หายไปได้ อีกทั้งการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริกยังสามารถกำจัด K และ Ca ออกไปได้ด้วย และจากผลของผิวด้านในพบว่าการล้างทั้งสองชนิดให้ผลที่ใกล้เคียงกันกับการล้างที่ผิวด้านนอก และที่ผิวทั้งสองยังมีสัดส่วนของ Si เพิ่มขึ้น จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค (XRF) พบว่ากรดไฮโดรคลอริกมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักสูงกว่าน้ำ ในการกำจัด Ca, Fe, Mn, Zn, Rb และ Ti ส่วนน้ำสามารถกำจัดได้เพียง Br, Rb และ Ti กรดไฮโดรคลอริกที่เข้มข้นไปที่ 2 โมล กลับทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดธาตุโลหะลดลงเมื่อเทียบกับที่ความเข้มข้น 0.5 โมล ซึ่งเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมพอลิเมอร์ของซิลิกาที่รับวากนกลไกแลบเปลี่ยนไอออนในการกำจัดโลหะ จากงานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่าการปรับปรุงแลบข้าวด้วยกรดไฮโดรคลอริกเป็นกระบวนการเตรียมแลบข้าวที่สำคัญที่ช่วยกำจัดทั้งสิ่งเจือปนต่าง ๆ ที่ไม่จำเป็น เช่น K, Na, Ca ฯลฯ ก่อนนำไปใช้ ซึ่งโลหะเหล่านี้มีผลต่อคุณภาพของซิลิกาและอาจทำให้เกิดปัญหาการยึดเกาะหรือความเสถียรเชิงเคมีในเมทริกซ์พอลิเมอร์ อีกทั้งยังช่วยเปิดผิวเส้นใย (Surface Activation) กำจัดชั้นอินทรีย์บนผิวช่วยเพิ่มพื้นที่ยึดเกาะทำให้ยึดกับเครือข่ายพอลิยูรีเทนได้ดีขึ้น โดยคาดหวังให้แผ่นขัดจากแลบข้าวผสมพอลิยูรีเทนมีสมบัติทางกลที่ดีขึ้น

K. A. Chanda, et al. (2015) ได้ศึกษาการบำบัดเส้นใยแลบข้าวและเส้นใยปอกระเจาด้วยกรดอะคริลิกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อนำมาผลิตเป็นวัสดุคอมโพสิตจากเส้นใยธรรมชาติ โดยผสม

กับพอลิเอสเทอร์ไม่อึดตัว จากนั้นทดสอบ การดูดซึมน้ำ ความต้านทานแรงดัดสูงสุด วิเคราะห์ผิวด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และวิเคราะห์องค์ประกอบผิวด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ องค์ประกอบของสารด้วยการใช้แสงอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectroscopy: FTIR) พบว่าการบำบัดเกลบข้าวและเส้นใยปอกระเจาด้วยกรดอะคริลิก ช่วยลดการดูดซึมน้ำของ ชิ้นงาน โดยผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลมีเพียงเล็กน้อย เนื่องจากกรดอะคริลิกไปลดหมู่ไฮดรอกซิลใน เส้นใยจึงดูดน้ำน้อยลง กลับกันการบำบัดเกลบข้าวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ กลับมีแนวโน้มการดูดซึมน้ำ เพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลที่สูงขึ้น จากผลความต้านทานแรงดัด การบำบัดเกลบข้าว ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ช่วยเพิ่มความความต้านทานแรงดัด เนื่องจากผิวที่หยาบขึ้นช่วยเพิ่มกลไกการ ยึดเกาะแบบอินเตอร์เฟสดีขึ้น แต่การบำบัดเกลบข้าวด้วยกรดอะคริลิกช่วยเพิ่มความความต้านทาน แรงดัดเพียงเล็กน้อย จากผลการวิเคราะห์ทางเคมีบนผิวด้วยเทคนิค (FTIR) พบว่าการบำบัดเส้นใยทั้ง สองด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถกำจัดอินทรีย์สาร ลิกนินและเฮมิเซลลูโลส จึงไปเพิ่มสัดส่วน เซลลูโลสและหมู่ไฮดรอกซิลบนผิวเส้นใยจึงยึดกับวัสดุเมทริกซ์ได้ดีขึ้น การบำบัดเส้นใยทั้งสองด้วย กรดอะคริลิกทำให้ปริมาณ ลิกนิน เฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส ไม่เปลี่ยนแปลงและยังลดหมู่ไฮดรอกซิ ลบนพื้นผิวเส้นใยอีกด้วย จากผลการวิเคราะห์ผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าการบำบัดเส้นใยทั้งสองด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ช่วยกำจัดสิ่งเจือปนที่มีลักษณะคล้ายกาที่ไม่ใช่ เซลลูโลสออกจากรอยแตก ร้าวบนผิวของเกลบข้าวซึ่งส่งผลให้เกิดการยึดเกาะทางกลระหว่างเส้นใย กับวัสดุเมทริกซ์ดีขึ้น ส่วนผิวของเกลบข้าวที่ผ่านการบำบัดด้วยกรดอะคริลิกพบว่ามีความสะอาดขึ้น ในระดับหนึ่ง ส่วนเส้นใยปอกระเจาเมื่อพิจารณาจากภาพที่ถ่ายด้วยเทคนิค (SEM) พบว่ารอยแตก ร้าว และขอบต่าง ๆ มีความคมลดลง จากงานวิจัยจึงสรุปได้ว่าการบำบัดเส้นใยเกลบข้าวทั้งสองวิธีให้ ผลลัพธ์ที่ต่างกันออกไปโดนมีจุดเด่นและจุดด้อยคือ การบำบัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้ความ ต้านทานแรงดัดสูงขึ้นแต่ทำให้เส้นใยดูดน้ำเยอะขึ้น กลับกันกรดอะคริลิกทำให้เส้นใยดูดน้ำน้อยลงแต่ ไม่ส่งผลต่อความต้านทานแรงดัดมากนัก

2.2.5 ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 2-2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชื่องานวิจัย	การทดลอง	ผลการทดลอง
“Influence of different polishing parameters on sapphire substrate CMP” X. Niu, et al. (2017)	ปรับพารามิเตอร์ในกระบวนการขัดด้วยสาเคมีร่วมกับแรงทางกล - ค่า pH ของสารละลายชั้น - แรงกดที่ใช้ในการขัด - ความเร็วหมุน - อัตราการไหลของสารละลายชั้น	- ค่า pH ที่ 10.5 - แรงกดที่ 4 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว - ความเร็วหัวขัดที่ 40 และความเร็วก้อนที่ 45 รอบต่อนาที - อัตราการไหลของสารละลายชั้นที่ 160 มิลลิลิตรต่อนาที ให้อัตราการขัดเนื้อวัสดุและความหยาบผิวดีที่สุด
“Two-Step Chemical Mechanical Polishing of Sapphire Substrate” Z. Zhang, et al. (2010)	- ขัดด้วยอนุภาคอะลูมินาขนาดเฉลี่ย 500 นาโนเมตร - ขัดด้วยอนุภาคซิลิกาขนาด 50 นาโนเมตร	การขัดด้วยวิธีขัดสองขั้นตอนให้ประสิทธิภาพดีกว่าการขัดด้วยขั้นตอนเดียว
“Study of Several Silica Properties Influence on Sapphire CMP” H. Wang, et al. (2018)	ศึกษาคุณสมบัติอนุภาคซิลิกา - ขนาดอนุภาค - ความเข้มข้น - ค่า pH - อายุการใช้งานสารละลายชั้น - ผสมอนุภาคซิลิกาสองขนาดในสารละลายชั้น	- อัตราการขัดเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้นตามขนาดอนุภาคซิลิกาที่เพิ่มขึ้น - อัตราการขัดเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของอนุภาคซิลิกาที่เพิ่มขึ้น - ค่า pH ที่ 10 ให้อัตราการขัดเนื้อวัสดุสูงที่สุด - อัตราการขัดเนื้อวัสดุลดลงตามเวลาการใช้งานที่เพิ่มขึ้น - อนุภาคขนาด 100 และ 20 นาโนเมตร ที่อัตราส่วน 5 : 1 ให้อัตราการขัดเนื้อวัสดุสูงที่สุด

ตารางที่ 2-2 (ต่อ)

ชื่องานวิจัย	การทดลอง	ผลการทดลอง
“Chemical Mechanical Polishing of Sapphire Wafer Using Mixed Silica Nanoparticles” Y. Zhou, et al. (2016)	- ขัดด้วยอนุภาคซิลิกาขนาด 100 nm - ผสมอนุภาคซิลิกาขนาด 100 nm และ 10 nm ในสารละลายชั้น	- การผสมอนุภาคซิลิกาให้อัตราการขัดเนื้อวัสดุและค่าความหยาบผิวดีกว่าขัดด้วยอนุภาคซิลิกาขนาดเดียว
“Synthesis of Zn-doped Colloidal SiO ₂ Abrasives and Their Applications in Sapphire Chemical Mechanical Polishing Slurry” H. Lei, et al. (2017)	พัฒนาสารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกา โดยผสมซิงค์ไฮดรอกไซด์ที่ปริมาณ 0.5 - 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา ลงในสารละลายชั้น	สารละลายชั้นที่ผสมซิงค์ไฮดรอกไซด์ในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา ให้อัตราการขัดเนื้อวัสดุและคุณภาพผิวดีที่สุด และดีกว่าสารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกาชนิดเดียว
“Preparation of Ag ₂ O Modified Silica Abrasives and Their Chemical Mechanical Polishing Performances on Sapphire” B. Zhang, et al. (2017)	พัฒนาสารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกา โดยผสมซิลเวอร์ออกไซด์ 0 - 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา ลงในสารละลายชั้น	สารละลายชั้นที่ผสมซิลเวอร์ออกไซด์ในปริมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา ให้อัตราการขัดเนื้อวัสดุและคุณภาพผิวดีที่สุด และดีกว่าสารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกาชนิดเดียว
“Preparation of SiC/SiO ₂ Hard Core-Soft Shell Abrasive and Its CMP Behavior on Sapphire Substrate” S. Dai, et al. (2020)	พัฒนาสารละลายชั้นคอมโพสิตโดยเคลือบอนุภาคซิลิกาที่ปริมาณ 0 - 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ลงบนผิวซิลิคอนคาร์ไบด์ ที่ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	สารละลายชั้นซิลิคอนคาร์ไบด์เคลือบอนุภาคซิลิกาที่ปริมาณ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ให้อัตราการขัดเนื้อวัสดุและคุณภาพผิวดีที่สุด

ตารางที่ 2-2 (ต่อ)

ชื่องานวิจัย	การทดลอง	ผลการทดลอง
“Preparation of Fe-doped colloidal SiO₂ abrasives and their chemical mechanical polishing behavior on sapphire substrates” H. Lei, et al. (2015)	พัฒนาสารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกา โดยผสมเหล็ก III ไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0 - 1.91 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา ลงในสารละลายชั้น	สารละลายชั้นที่ผสมเหล็ก III ไฮดรอกไซด์ในปริมาณ 0.96 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา ให้อัตราการขจัดเนื้อวัสดุและคุณภาพผิวดีที่สุด และดีกว่าสารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกาชนิดเดียว
“Preparation of Cu-doped colloidal SiO₂ abrasives and their chemical mechanical polishing behavior on sapphire substrates” H. Lei and Q. Gu (2015)	พัฒนาสารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกา โดยผสมคอปเปอร์ II ไฮดรอกไซด์ 0 - 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา ลงในสารละลายชั้น	สารละลายชั้นที่ผสมคอปเปอร์ II ไฮดรอกไซด์ในปริมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา ให้อัตราการขจัดเนื้อวัสดุที่สุด และที่ปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกาให้คุณภาพผิวดีที่สุด
“Preparation of Ni-doped colloidal silica abrasives and their chemical mechanical polishing performances on sapphire” P. Ma, et al. (2016)	พัฒนาสารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกา โดยผสมนิกเกิล II ไฮดรอกไซด์ อยู่ที่ 0 – 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา ลงในสารละลายชั้น	สารละลายชั้นที่ผสมนิกเกิล II ไฮดรอกไซด์ในปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา ให้อัตราการขจัดเนื้อวัสดุและคุณภาพผิวดีที่สุด และดีกว่าสารละลายชั้นที่มีอนุภาคซิลิกาชนิดเดียว
“Green chemical mechanical polishing for sapphire wafers using a novel developed slurry” W. Xie, et al. (2020)	พัฒนาสารละลายชั้นชนิดใหม่ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย อนุภาคซิลิกา, ซอร์บิทอล, อะมิโนเมทิลโพรพานอล และน้ำกลั่นบริสุทธิ์	สารละลายชั้นชนิดใหม่สามารถให้อัตราการขจัดเนื้อวัสดุและคุณภาพผิวดีกว่าสารขัดในอุตสาหกรรมทั่วไป สามารถล้างซัพไพร์หลังขัดด้วยน้ำกลั่นและลมอัดโดยไม่ต้องใช้สารเคมี

ตารางที่ 2-2 (ต่อ)

ชื่องานวิจัย	การทดลอง	ผลการทดลอง
“Novel model of material removal rate on ultrasonic-assisted chemical mechanical polishing for sapphire” M. Zhou, et al. (2023)	พัฒนาเทคนิคการขัดผิวแบบใช้คลื่นอัลตราโซนิกร่วมกับการขัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกล	การใช้คลื่นอัลตราโซนิกร่วมกับ การขัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกลให้อัตราการขัดเนื้อวัสดุและคุณภาพผิวดีกว่า เทคนิคการขัดทั่วไป
“Polishing Performance and Removal Mechanism of Core–Shell Structured Diamond/SiO ₂ Abrasives on Sapphire Wafer” G. Zhao, et al. (2022)	พัฒนาสารขัดแบบคอมโพสิต สำหรับกระบวนการขัดผิวซัพไฟร์ด้วยการเคลือบผิวแผ่นขัด เพชรแบบ (Semi Fixed) ด้วยชั้นซิลิกา	การเคลือบซิลิกาบนแผ่นขัด เพชรช่วยเพิ่มอัตราการขัดเนื้อวัสดุและเพิ่มคุณภาพผิวซัพไฟร์ได้ดีกว่าแผ่นขัดเพชรที่ไม่เคลือบซิลิกา
“Study on Organic Fibers in the Polishing Pad for Sapphire Chemical Mechanical Polishing” S. Chansatarnpornkul, et al. (2019)	สร้างแผ่นขัดจากเส้นใย - ใย - ชานอ้อย - กล้าย - สับปะรด ทดสอบ - ค่าความแข็ง - ประสิทธิภาพในการขัด	- แผ่นขัดจากเส้นใยไผ่และชานอ้อยมีซิลิกาผสมอยู่จึงสามารถขัดซัพไฟร์ได้ - แผ่นขัดจากเส้นใยกล้ายและสับปะรดไม่มียซิลิกาผสมอยู่ จึงไม่สามารถใช้ขัดผิวซัพไฟร์ได้
“Natural Fiber-Based Polishing Pad for Chemical Mechanical Polishing of Sapphire Substrate” N. Bun-athuek, et al. (2022)	สร้างแผ่นขัดจากเส้นใย - ฟางข้าว - กาบมะพร้าว ทดสอบ - ค่าความแข็ง - ประสิทธิภาพในการขัด	- เส้นใยฟางข้าวและกาบมะพร้าวเพิ่มค่าความแข็งให้แผ่นขัดได้ - แผ่นขัดจากเส้นใยฟางข้าวและกาบมะพร้าวสามารถใช้ขัดผิวซัพไฟร์ได้

ตารางที่ 2-2 (ต่อ)

ชื่องานวิจัย	การทดลอง	ผลการทดลอง
“Utilization of Rice Husk Fiber and Water Hyacinth Fiber Forming Polishing Pad for Sapphire Chemical Mechanical Polishing (CMP)” U. Boonsom, et al. (2022)	สร้างแผ่นขัดจากเส้นใย - แกลบข้าว - ผักตบชวา ทดสอบ - ค่าความแข็ง - ค่าความต้านทานการขัดถู - การดูดซึมน้ำ - ประสิทธิภาพในการขัด	- แผ่นขัดจากเส้นใยผักตบชวามีค่าความแข็งมากกว่าและต้านทานการขัดถูน้อยกว่าเส้นใยแกลบข้าว - ผักตบชวาดูดซึมน้ำมากกว่าแกลบข้าว - แผ่นขัดจากเส้นใยแกลบข้าวและผักตบชวาสามารถใช้ขัดผิวซัพไฟร์ได้
“The Mechanical and Dimensional Properties of Rice Husk–Unsaturated Polyester Composites” H. D. Rozman, et al. (2005)	ใช้พอลิเอสเตอร์ไม่อิ่มตัวผสม แกลบข้าว ทดสอบ - ความต้านทานแรงดึง - ความทนแรงดัด - ความแข็งแรงต่อแรงกระแทก - การดูดซึมน้ำ - การขยายตัว	- ค่าความต้านทานแรงดึงความทนแรงดัดและความแข็งแรงต่อแรงกระแทกลดลงตามปริมาณแกลบข้าวที่สูงขึ้น และเพิ่มขึ้นตามขนาดเส้นใยที่เล็กลง - การขยายตัวและการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณแกลบข้าวที่เพิ่มขึ้น
“Development of a Military Helmet Using Coconut Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite” N. Stephen, et al. (2015)	พัฒนาหมวกนิรภัยทางทหารโดยใช้เส้นใยมะพร้าวผสมอีพ็อกซี ทดสอบ - ความต้านทานแรงดึง - ความทนแรงดัด - ความแข็งแรงต่อแรงกระแทก - ค่าความแข็ง	- ที่อัตราส่วนเส้นใยมะพร้าว 70 เปอร์เซ็นต์ อีพ็อกซีเรซิน 30 เปอร์เซ็นต์ ให้คุณสมบัติโดยรวมสูงที่สุด - คุณสมบัติทางกลโดยรวมสามารถใช้ผลิตหมวกนิรภัยได้จริง

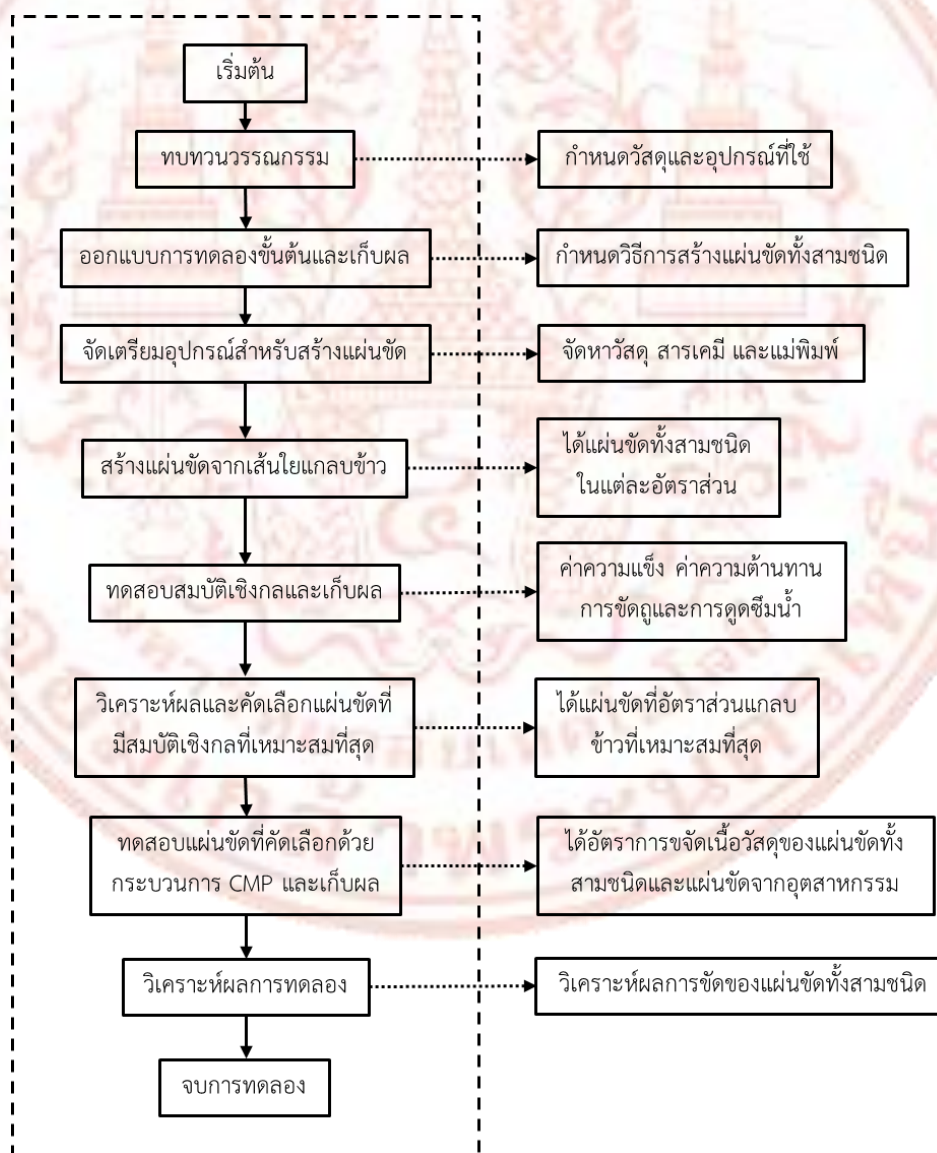
ตารางที่ 2-2 (ต่อ)

ชื่องานวิจัย	การทดลอง	ผลการทดลอง
“Effect of Water and Acid Pre-treatment on the Physicochemical Properties of Rice Husk for Silica Extraction” <i>J. T. Librea, et al. (2019)</i>	ทำความสะอาดแกลบข้าวด้วยน้ำและกรดไฮโดรคลอริก ทดสอบ - SEM/EDS - XRF	- น้ำสามารถกำจัด Br, Rb และ Ti - กรดไฮโดรคลอริกสามารถกำจัด Ca, Fe, Mn, Zn, Rb และ Ti
“Chemical Treatments of Rice Husk Filler and Jute Fiber for the Use in Green Composites” <i>K. A. Chanda, et al. (2015)</i>	บำบัดแกลบข้าวและปอกระเจาด้วยกรดอะคริลิกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมพอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว ทดสอบ - การดูดซึมน้ำ - ความต้านทานแรงดัดสูงสุด - SEM - FTIR	- กรดอะคริลิกลดการดูดซึมน้ำในเส้นใยทั้งสองและมีผลกระทบท่อสมบัติเชิงกลเล็กน้อย - โซเดียมไฮดรอกไซด์ลดการดูดซึมน้ำในปอกระเจาและเพิ่มการดูดซึมน้ำในแกลบข้าวและเพิ่มสมบัติทางกลให้กับแกลบข้าว - โซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มหมู่ไฮดรอกซิลในแกลบข้าวและปอกระเจ้า - กรดอะคริลิกลดหมู่ไฮดรอกซิลในแกลบข้าวและปอกระเจ้า

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้ผู้วิจัยได้อธิบายขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยอย่างเป็นลำดับ แสดงในภาพที่ 3-1 อีกทั้งยังอธิบายขั้นตอนการเลือกใช้วัสดุและอุปกรณ์ การเตรียมตัวอย่างทดลองไปจนถึงการเลือกตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาพร้อมระบุเหตุผลของการเลือกเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยโดยมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 3-1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้สร้างแผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยนำกลบข้าวมาล้างน้ำกลั่นและอบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนจากนั้นนำกลบข้าวมาปั่นและนำมาร้อนผ่านตะแกรงกรอง แล้วนำเส้นใยกลบข้าวมาผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นขัดโดยผสมกับพอลิยูรีเทน โดยจะสร้างแผ่นขัดทั้งหมดสามชนิด ได้แก่ แผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุง แผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก และ แผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นนำแผ่นขัดทั้งสามชนิดมาทดสอบคุณสมบัติของแผ่นขัด ได้แก่ ค่าความแข็ง ค่าความต้านทานการขัดถู ค่าความการดูดซึมน้ำ และประสิทธิภาพในการขัดผิวซัพไฟร์ด้วยกระบวนการขัดโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกล

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 พอลิยูรีเทน (Polyurethane: PU) ชนิดสองส่วน A = พอลิออล (Polyols) และ B = พรีพอลิเมอร์ (Prepolymer Ended Capping with Isocyanate) จากบริษัท รุ่งอาร์ท จำกัด แสดงในภาพที่ 3-2 ทำหน้าที่เป็นวัสดุเนื้อพื้นหรือวัสดุประสาน (Matrix Phase Material) สำหรับสร้างแผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าว โดยพอลิยูรีเทนเป็นวัสดุยางเนื้อแข็งปานกลางโดยค่าความแข็งจะขึ้นอยู่กับปริมาณสารไอโซไซยานาตที่ผสมเข้ากับพอลิออล อีกทั้งพอลิยูรีเทนยังสามารถทนต่อสารเคมีและยังเป็นวัสดุที่แผ่นขัดในอุตสาหกรรม SUBA800 เลือกใช้สำหรับสร้างแผ่นขัดผิวซัพไฟร์



ภาพที่ 3-2 พอลิยูรีเทนชนิดสองส่วน (บริษัท รุ่งอาร์ท จำกัด)

3.1.2 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid: HCl) เข้มข้น 12 โมล จากบริษัท แกมมาโก้ จำกัด แสดงในภาพที่ 3-3 กรดไฮโดรคลอริก หรือที่รู้จักกันดีในชื่อ กรดเกลือ มีฤทธิ์เป็นกรดแก่ ใช้สำหรับปรับความเป็นกรด-ด่างในสารเคมี มีความสามารถในการกัดกร่อนสูงใช้ทำความสะอาดผิวโลหะ อีกทั้งยังนิยมใช้ในกระบวนการปรับปรุงเกลบข้าวก่อนนำไปเผาในเตาเพื่อสกัดซิลิกาจากเกลบข้าว นอกจากนี้กรดไฮโดรคลอริกยังสามารถเปิดผิวเส้นใยและกำจัดสิ่งเจือปนบนผิวช่วยเพิ่มพื้นที่ยึดเกาะ กรดไฮโดรคลอริกจึงเหมาะสำหรับนำมาใช้ในการปรับปรุงเกลบข้าว

3.1.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide: NaOH) เข้มข้น 2.5 โมล จากบริษัท แกมมาโก้ จำกัด แสดงในภาพที่ 3-4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือที่รู้จักกันดีในชื่อ โซดาไฟ มีฤทธิ์เป็นด่างแก่ ใช้สำหรับปรับความเป็นกรด-ด่างในสารเคมี มีความสามารถในการกัดกร่อนสูง สามารถกัดกร่อนโลหะและเนื้อเยื่อได้ อีกทั้งโซเดียมไฮดรอกไซด์ยังสามารถกำจัดสิ่งเจือปนที่มีลักษณะคล้ายกากที่ไม่ใช่เซลล์ulosออกจากรอยแตกร้าวบนผิวของเกลบข้าวซึ่งส่งผลให้เกิดการยึดเกาะทางกลระหว่างเส้นใยกับวัสดุเมทริกซ์ดีขึ้นโซเดียมไฮดรอกไซด์จึงเหมาะสำหรับนำมาใช้ในการปรับปรุงเกลบข้าว



ภาพที่ 3-3 กรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 12 โมล (บริษัท แกมมาโก้ จำกัด)



ภาพที่ 3-4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 2.5 โมล (บริษัท แกมมาโก้ จำกัด)

3.1.4 แกลบข้าว (Rice Husk: RH) จากแกลบข้าวเจ้า แสดงในภาพที่ 3-5 เป็นวัสดุเป็นเศษเหลือจากกระบวนการสีข้าว มีส่วนประกอบหลักคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เมื่อนำแกลบข้าวไปผ่านกระบวนการทางความร้อน (Combustion Treatment) จะสามารถเตรียมเถ้าจากแกลบข้าวคิดเป็น 17 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแกลบข้าว ซึ่งมีซิลิกาที่เตรียมได้จากเถ้าอยู่ 94 เปอร์เซ็นต์ และมีลักษณะเป็นอสัณฐาน (Ugheoked & O. Mamat, 2012)



ภาพที่ 3-5 เส้นใยแกลบข้าว

3.2 การเลือกตัวแปรและการทดลองขั้นต้น

3.2.1 การเลือกอัตราส่วนและขนาดของเกลบข้าวสำหรับสร้างแผ่นขัด

การกำหนดอัตราส่วนฟิลเลอร์หรือเส้นใยในวัสดุคอมโพสิตมีหลายวิธีเช่น อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ต่อทั้งชิ้นงานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (wt.%) อัตราส่วนโดยปริมาตร (vol%) และอัตราส่วนในร้อยละของ น้ำหนักเรซิน (phr) ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แบบ อัตราส่วนใน ร้อยส่วนของน้ำหนักเรซิน เนื่องจากวิธีดังกล่าวเป็นวิธีที่ตั้งวัสดุเมทริกซ์พอลิเมอร์ไว้เป็นฐานแล้วจึง ค่อยเพิ่มสารตัวเติมเข้าไปภายหลัง มักนิยมใช้ในแวดวงวัสดุเมทริกซ์พอลิเมอร์ที่เป็นยางอีกทั้งยังม ีความง่ายในการระบุอัตราส่วนสารตัวเติมอย่างเช่น ที่ 12.5 ส่วนในร้อยละของเรซิน จะสามารถ ทราบได้ทันทีว่าในวัสดุนี้มี สารตัวเติมที่ 12.5 กรัม ในวัสดุเมทริกซ์พอลิเมอร์ที่ 100 กรัม อีกทั้งวิธีนี้ ยังง่ายต่อการเพิ่มสารตัวเติมหลายชนิดโดยสามารถระบุแยกเป็น สารตัวเติม A จำนวน 10 อัตราส่วน ในร้อยละของน้ำหนักเรซิน + สารตัวเติม B จำนวน 4 อัตราส่วนในร้อยละของน้ำหนักเรซิน ต่อ วัสดุเมทริกซ์พอลิเมอร์ที่ 100 ส่วน (W. M. Stewart., 2020) นอกจากนั้นวิธีนี้สามารถช่วยลดความ ผิดพลาดในการชั่งน้ำหนักอีกด้วยเนื่องจากไม่ต้องใช้สูตรคำนวณที่ซับซ้อน

การเลือกขนาดของเกลบข้าวสามารถเลือกได้ตั้งแต่ขนาดหยาบที่ 40 - 60 เมช ไปจนถึงขนาด ละเอียดที่ 80 - 200 เมช ขนาดเกลบข้าวส่งผลต่อการกระจายตัวในวัสดุวัสดุเมทริกซ์พอลิเมอร์ โดย เกลบข้าวต้องมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งการกระจายตัวของเกลบข้าวยังส่งผลต่อทั้งอัตรา การขจัดเนื้อวัสดุอีกทั้งยังส่งผลต่อสมบัติเชิงกล ถ้าเส้นใยมีขนาดใหญ่เกินไปจะส่งผลให้เกลบข้าว กระจายตัวได้อย่างไม่ทั่วถึงและลดพื้นที่สัมผัสของเกลบข้าว (W. Z. Wan Mohamed, et al., 2018) เส้นใยขนาดเล็กจะสามารถกระจายตัวได้ดีและสามารถแทรกตัวออกมาภายนอกแผ่นขัดได้ มากกว่า และสามารถเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างเกลบข้าวในแผ่นขัดและชิ้นงานซีฟไฟร์แต่ขนาดเส้นใย ต้องไม่เล็กเกินไปจนส่งผลเสียต่อสมบัติเชิงกลมากเกินไป ทางผู้วิจัยจึงเลือกเกลบข้าวที่ขนาด 80 เมช เนื่องจากที่ขนาดดังกล่าวเป็นขนาดที่ไม่เล็กและไม่ใหญ่จนเกินไป ลักษณะเกลบข้าวยังคงมีความเป็น เส้นใยเหลืออยู่เล็กน้อย แสดงในภาพที่ 3-8 โดยคาดว่าในระหว่างกระบวนการขัดด้วยสารเคมีร่วมกับ แรงทางกล เส้นใยขนาดเล็กที่แทรกตัวออกมาจากแผ่นขัดจะสามารถพออนุภาคซิลิกาไปสัมผัสกับผิว ซีฟไฟร์ได้มากกว่าเส้นใยที่มีขนาดใหญ่และจะเพิ่มอัตราการขจัดเนื้อวัสดุมากขึ้น

3.2.2 การเลือกอัตราส่วนผสมของพอลิยูรีเทน

พอลิยูรีเทนที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นแบบชนิด 2 ส่วน ค่าความแข็งของตัวพอลิยูรีเทนจะขึ้นอยู่กับ อัตราส่วน A = Polyols และ B = Prepolymer Ended Capping with Isocyanate โดยค่าความ แข็งจะแปรผันตามปริมาณส่วน B ที่เพิ่มขึ้น โดยทางผู้วิจัยได้กำหนดอัตราส่วน A : B ไว้ที่ 1.6 : 1

เนื่องจากที่ปริมาณดังกล่าวเป็นอัตราส่วนที่มีความแข็งของพอลิยูรีเทนที่ยังไม่ผสมเส้นใยกลบข้าวอยู่ที่ประมาณ 50 Shore A ซึ่งผู้วิจัยเลือกค่าความแข็งนี้เพราะมีความใกล้เคียงกับแผ่นขัดจากอุตสาหกรรม SUBA800 ที่ประมาณ 59 Shore A และทางผู้วิจัยคาดว่าเมื่อผสมกลบข้าวเข้าไปแล้วจะเป็นการเพิ่มค่าความแข็งให้แผ่นขัดได้ใกล้เคียงกับแผ่นขัดจากอุตสาหกรรม

3.2.3 การเลือกความเข้มข้นของสารละลายในกระบวนการปรับปรุง

การปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ล้วนแต่มีจุดประสงค์เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนในกลบข้าวออกถ้าหากใช้สารละลายดังกล่าวที่ความเข้มข้นสูงเกินไปจะทำลายโครงสร้างของเซลลูโลสในเส้นใยทำให้เส้นใยเปราะหรือละลายซิลิกาถ้าเข้มข้นมากเกินไป ทางผู้วิจัยจึงเลือกความเข้มข้นที่ 1 โมล สำหรับสารละลายทั้งสอง ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่สมดุลไม่เข้มข้นมากเกินไปจนทำลายเส้นใยและไม่น้อยเกินไปที่จะส่งผลต่อแผ่นขัด อีกทั้งที่ความเข้มข้น 1 โมล ของกรดไฮโดรคลอริกยังเป็นการเพิ่มความเข้มข้นที่สามารถเพิ่มความบริสุทธิ์ให้ซิลิกาในกลบข้าว (J. T. Librea, et al., 2019; N. Nimaje, et al., 2016; N. S. M. Zarib et al., 2019)

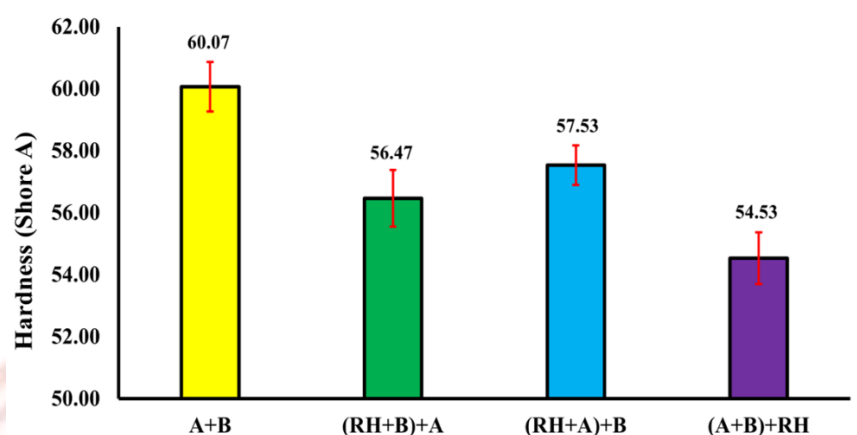
3.2.4 การเลือกลำดับผสมระหว่างพอลิยูรีเทนชนิดสองส่วน และกลบข้าว

ในการสร้างแผ่นขัดจากกลบข้าวผสมพอลิยูรีเทนต้องทำการผสมกลบข้าวและเข้ากับส่วนประกอบอันใดอันหนึ่งของพอลิยูรีเทนก่อนแล้วจึงผสมกับอีกส่วนที่เหลือ เนื่องจากต้องชั่งตวงส่วนผสมให้เป็นไปตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ก่อน จึงไม่สามารถผสมสารทุกอย่างพร้อมกันได้ทีเดียว ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองผสมกลบข้าวกับพอลิยูรีเทนโดยมีลำดับการผสมสารอยู่สามสูตร โดยมีแทนตัวอักษรย่อ RH คือ กลบข้าว A คือ พอลิเออร์ และ B คือ พรีลิเมอร์ โดยกำหนดอัตราส่วน A : B อยู่ที่ 1.2 : 1 เนื่องจากทางผู้วิจัยต้องการเพิ่มปริมาณสาร B เพื่อสังเกตค่าความแข็งของแผ่นขัดที่เปลี่ยนไปทั้งแบบที่ผสมกลบข้าวที่อัตราส่วนที่ 2.5 ส่วนในร้อยละของเรซิน และแบบไม่ผสมกลบข้าว โดยมีสูตรทั้งหมดสามสูตร แสดงในภาพที่ 3-6

3.2.4.1 สูตรที่หนึ่งคือ $(RH+B) + A$ เป็นการผสมกลบข้าวเข้ากับตัวสาร B ก่อนแล้วจึงผสมกับสาร A วิธีนี้ให้ค่าความแข็งลดลงมา 3.6 Shore A จากตัวอย่างพอลิยูรีเทนที่ไม่ผสมกลบข้าว

3.2.4.2 สูตรที่สองคือ $(RH+A) + B$ เป็นการผสมกลบข้าวเข้ากับตัวสาร A ก่อนแล้วจึงผสมกับสาร B วิธีนี้ให้ค่าความแข็งลดลงมา 2.5 Shore A จากตัวอย่างพอลิยูรีเทนที่ไม่ผสมกลบข้าว

3.2.4.3 สูตรที่สามคือ $(A+B) + RH$ เป็นการผสมสาร A และ B ก่อนแล้วจึงผสมกลบข้าวเข้าไป วิธีนี้ให้ค่าความแข็งลดลงมา 5.5 Shore A จากตัวอย่างพอลิยูรีเทนที่ไม่ผสมกลบข้าว



ภาพที่ 3-6 ค่าความแข็งของแผ่นที่อัตราส่วนกลบขาว 2.5 ส่วนในร้อยละของเรซินในแต่ละสูตรผสม

จากการวิเคราะห์ทั้งสามสูตรทางผู้วิจัยได้เลือกสูตรที่หนึ่งเนื่องจากการผสมกลบขาวเข้ากับสาร B ที่มีความหนืดน้อยกว่าสาร A ทำให้กลบขาวสามารถกระจายตัวได้ดีกว่าสาร A และไม่จับตัวกันเป็นก้อน ซึ่งการกระจายตัวของกลบขาวมีผลต่อการนำไปใช้ในกระบวนการขัดผิวด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกลดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ถึงแม้ว่าสูตรที่สองจะทำให้ค่าความแข็งลดลงไปน้อยที่สุดก็ตาม ส่วนสูตรที่สามทางผู้วิจัยไม่แนะนำให้ใช้เนื่องจากเมื่อสาร A และ B ผสมกันแล้วจะเป็นการเริ่มปฏิกิริยาทางเคมีของพอลิยูรีเทนทำให้ตัวเนื้อสารที่ผสมกันมีความหนืดสูงจนกลบขาวไม่สามารถกระจายตัวได้อย่างทั่วถึง

และจากผลการสังเกตค่าความแข็งเมื่อเพิ่มปริมาณสาร B ในแผ่นขัดตัวอย่างพบว่า ค่าความแข็งของแผ่นขัดเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 60 Shore A และเมื่อเติมกลบขาวที่อัตราส่วน 2.5 ส่วนในร้อยละของเรซิน ส่งผลให้ค่าความแข็งของแผ่นขัดลดลงน้อยกว่าที่อัตราส่วน A : B ที่ 1.6 : 1 ที่อัตราส่วนกลบขาว 2.5 ส่วนในร้อยละของเรซิน เช่นเดียวกันจึงสามารถสรุปได้ว่าปริมาณสาร B มีผลต่อค่าความแข็งของแผ่นขัดทั้งที่ผสมและไม่ผสมกลบขาว

3.3 วิธีการสร้างแผ่นขัด

3.3.1 การเตรียมกลบขาว

กลบขาวในงานวิจัยนี้เตรียมโดยนำเส้นใยกลบขาวมาล้างด้วยน้ำกลั่น (Distilled Water) แล้วจึงนำไปอบในตู้อบลมร้อน (Oven Air) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักของเส้นใยคงที่ เนื่องจากการอบกลบขาวที่อุณหภูมิดังกล่าวทำให้น้ำระเหยอย่างช้า ๆ เป็นการรักษาสภาพ

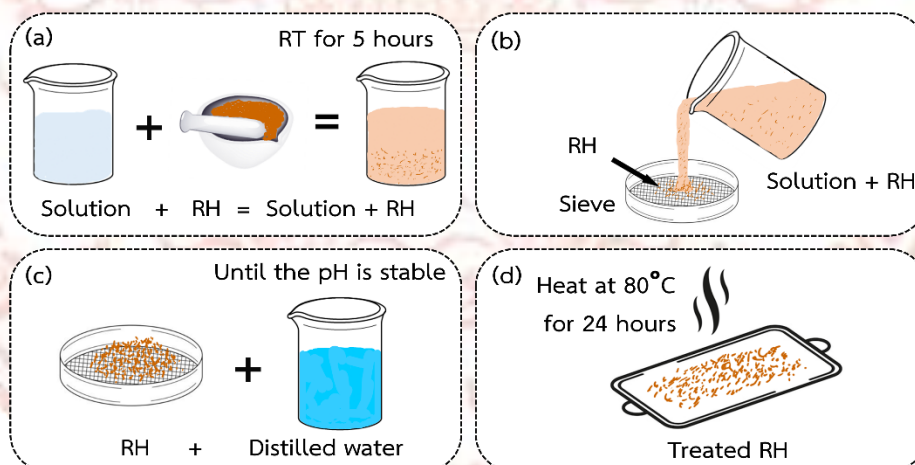
เส้นใยแกลบข้าวให้คงเดิมไว้มากที่สุด จากนั้นนำเส้นใยแกลบข้าวที่แห้งแล้วเข้าเครื่องบดเพื่อลดขนาด จากนั้นนำไปคัดแยกขนาดโดยร่อนผ่านตะแกรงกรองเบอร์ 80 เมช

3.3.2 การเตรียมกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์

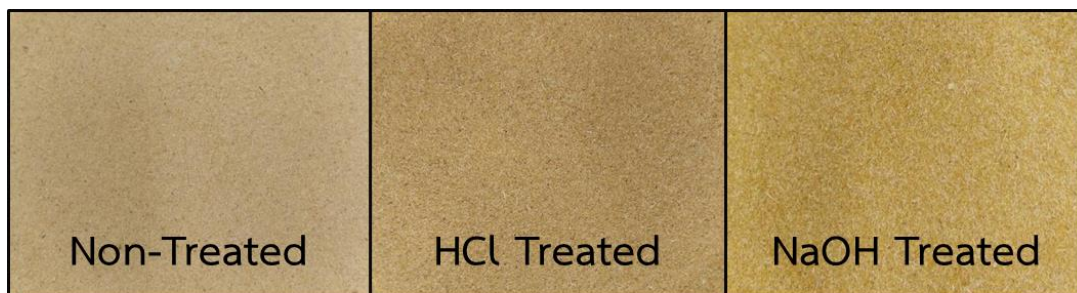
สารละลายกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ในงานวิจัยนี้เตรียมโดยนำสารละลายมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นอยู่ที่ 1 โมล

3.3.3 การปรับปรุงแกลบข้าวด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์

การปรับปรุงแกลบข้าวในงานวิจัยนี้ดำเนินการโดย นำแกลบข้าวไปแช่ในกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นของสาร 1 โมล ในอัตราส่วนแกลบข้าวต่อสารละลายอยู่ที่ 10 กรัม : 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นนำแกลบข้าวมากรองผ่านตะแกรง และล้างด้วยน้ำกลั่นให้ค่า pH อยู่ระหว่าง 6.5 – 7.5 แล้วจึงนำแกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุง นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แสดงในภาพที่ 3-7 และได้แกลบข้าวทั้งสามชนิดแสดงในภาพที่ 3-8



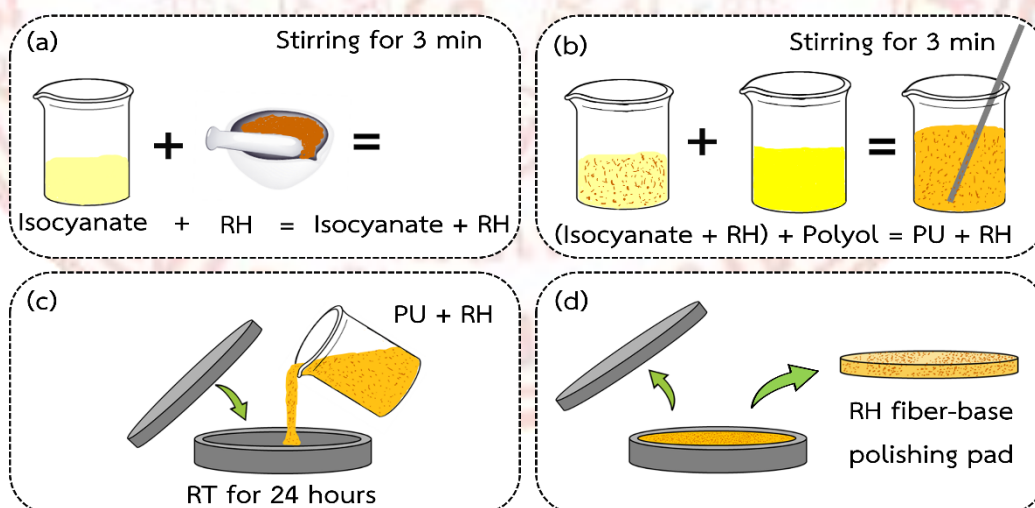
ภาพที่ 3-7 ขั้นตอนการปรับปรุงแกลบข้าวด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์



ภาพที่ 3-8 แกลบข้าวที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.3.4 การเตรียมแผ่นขัด

แผ่นขัดในงานวิจัยนี้เตรียมโดยใช้พอลิยูรีเทนกำหนดอัตราส่วนผสมระหว่าง A = พอลิออล และ B = พรียพอลิเมอร์ อยู่ที่ 1.6 : 1 เป็นอัตราส่วนที่มีความแข็งของพอลิยูรีเทนที่ยังไม่ผสมแกลบข้าวอยู่ที่ 50 shore A จากนั้นนำเส้นใยแกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงมาแล้วผสมเข้ากับไอโซไซยาเนตในอัตราส่วน 0, 2.5, 5, 7.5, 10 และ 12.5 ส่วนในร้อยละของเรซิน แล้วจึงผสมเข้ากับพอลิออลตามอัตราส่วนที่กำหนด จากนั้นเทลงบนแม่พิมพ์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 มิลลิเมตรหนา 5 มิลลิเมตร ปิดฝาแม่พิมพ์ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำแผ่นขัดออกจากแม่พิมพ์ แสดงในภาพที่ 3-9

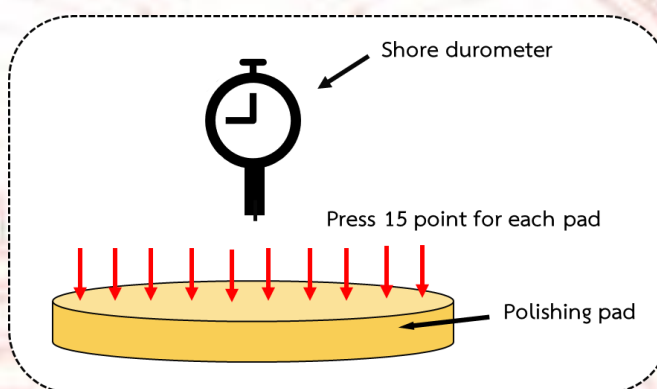


ภาพที่ 3-9 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นขัดจากเส้นใยแกลบข้าวผสมพอลิยูรีเทน

3.4 การทดสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติของแผ่นขัด

3.4.1 ค่าความแข็ง (Hardness)

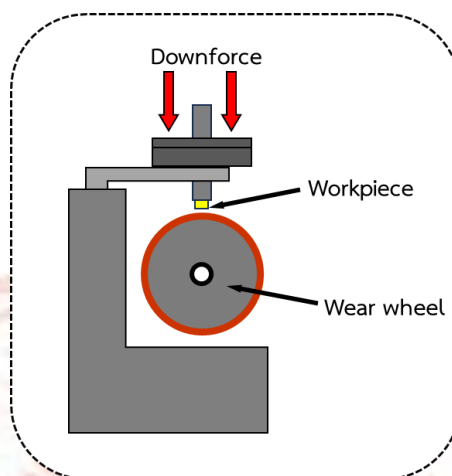
ค่าความแข็งทดสอบโดยใช้เครื่องวัดความแข็ง (Shore Durometer) แบบ (Shore A) แสดงในภาพที่ 3-10 ด้วยมาตรฐาน ASTM D 2240 วัดโดยกดเครื่องวัดความแข็งลงบนแผ่นขัด 15 จุดทั่วทั้งแผ่นขัดจากนั้นจึงคำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 3-10 การทดสอบค่าความแข็งด้วยเครื่องวัดค่าความแข็ง (Shore Durometer)

3.4.2 ค่าความต้านทานการขัดถู (Abrasion Resistance)

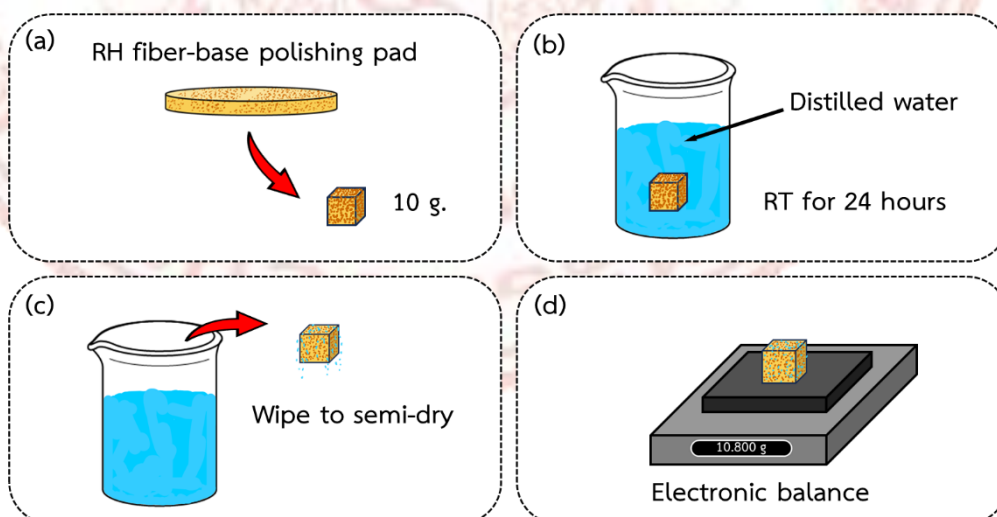
ความต้านทานต่อการขัดถูทดสอบโดยเครื่องทดสอบการขัดถู (DIN Abrasion Tester AT150) แสดงในภาพที่ 3-11 ด้วยมาตรฐาน DIN 53516 ภายใต้เงื่อนไขทดสอบ แรงกดหัวทดสอบ 7.5 นิวตัน ความเร็วล้อหมุน 40 รอบต่อนาที และความเร็วในการเคลื่อนที่ของตัวอย่าง 4.2 มิลลิเมตรต่อรอบ หมุน ชิ้นงานทดสอบมีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร สูง 16 มิลลิเมตร โดยมีชิ้นงานทดสอบชนิดละสามตัวอย่าง ชิ้นงานจะถูกชั่งน้ำหนักก่อนทดสอบเพื่อหาค่าความต่างมวลที่วัดได้หลังการทดสอบ จากนั้นจึงคำนวณค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 3-11 การทดสอบค่าความต้านทานการขัดถูด้วยเครื่องทดสอบการขัดถู
(DIN Abrasion Tester AT150)

3.4.3 การดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

การดูดซึมน้ำทดสอบโดยตัดแบ่งแผ่นขัดให้มีน้ำหนัก 10 กรัม ชนิดละสามตัวอย่าง แฉน้ำทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นงานไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณน้ำหนักของน้ำที่เส้นใยดูดซึม แล้วจึงนำค่ามาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงในภาพที่ 3-12



ภาพที่ 3-12 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

3.4.4 ประสิทธิภาพในการขัดผิว (Polishing Performance)

ประสิทธิภาพในการขัดผิวถูกทดสอบด้วยกระบวนการขัดผิวโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกล โดยใช้เครื่อง MARUTO ML-160A โดยทดสอบแผ่นขัดทั้งสามชนิดที่อัตราส่วน 10 ส่วนในร้อยละของเรซิน มาทำการทดสอบขัดผิวชนิดละสามรอบ ในกระบวนการขัดจะใช้ระบบหมุนเวียนสารละลายชั้นที่ผ่านการใช้งานแล้วนำกลับมาใช้ใหม่โดยไม่ผ่านกระบวนการกรอง แสดงในภาพที่ 3-14 โดยใช้เงื่อนไขในการทดลองขัดผิวโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกลตามตารางที่ 3-1 โดยประสิทธิภาพในการขัดผิวจะถูกพิจารณาโดยการชั่งน้ำหนักซ์ไฟร์ก่อนขัดและหลังขัดด้วยเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ A&D BM20 แสดงในภาพที่ 3-13 เทียบกับเวลาที่ใช้ขัดจากนั้นนำมาคำนวณเป็นอัตราการขัดเนื้อวัสดุ โดยใช้สมการที่ 3-1 และนำมาเปรียบเทียบกับแผ่นขัดในอุตสาหกรรม (SUBA800)

$$MRR = \frac{\Delta m}{tA\rho} \quad (3-1)$$

MRR = อัตราการขัดเนื้อวัสดุ

A = พื้นที่หน้าตัดของแผ่นซ์ไฟร์

Δm = ผลต่างมวลซ์ไฟร์ก่อนขัดและหลังขัด

ρ = ความหนาแน่นของซ์ไฟร์

t = ระยะเวลาในการขัด

ตารางที่ 3-1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการขัดผิวซ์ไฟร์โดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกล

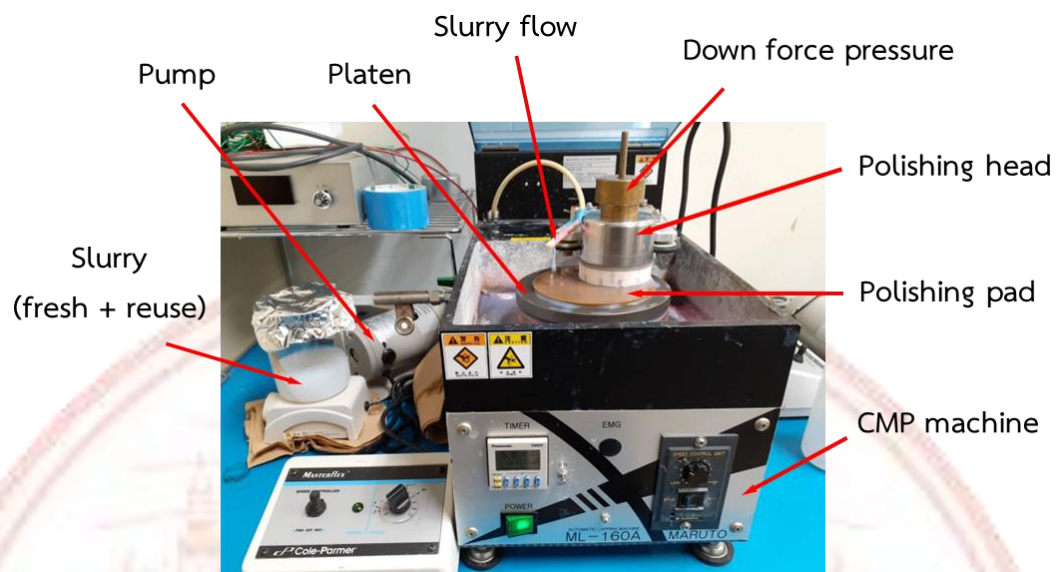
พารามิเตอร์ที่ใช้ขัด	
ประเภทของแผ่นขัด (Type of polishing pad) ที่อัตราส่วน 10 ส่วนในร้อยละของเรซิน	1. แผ่นขัดจากเส้นใยแกลบข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุง 2. แผ่นขัดจากเส้นใยแกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3. แผ่นขัดจากเส้นใยแกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก 4. แผ่นขัดในอุตสาหกรรม (SUBA800)
ประเภทของเวเฟอร์ (Wafer type)	ซ์ไฟร์ ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$)

ตารางที่ 3-1 (ต่อ)

ขนาดของเวเฟอร์ (Wafer size)	เส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 มิลลิเมตร ความหนา 1 มิลลิเมตร
แรงกดในการขัด (Down force pressure)	46.5 กิโลพาสคาล
เวลาในการขัด (Polishing time)	60 นาที
จำนวนครั้งที่ทดสอบในแต่ละประเภทแผ่นขัด	3 ครั้ง
ความเร็วของแท่นหมุนขัด/หัวขัด	60/60 รอบต่อนาที
ประเภทของสารละลายขัด (Slurry type)	5 wt% SiO ₂ ขนาด 105 นาโนเมตร
อัตราการไหลของสารละลายขัด (Slurry flow rate)	60 มิลลิลิตรต่อนาที
ค่า pH ของสารละลายขัด (pH value)	11



ภาพที่ 3-13 เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ A&D BM20 (บริษัท A&D จำกัด)

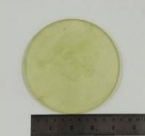
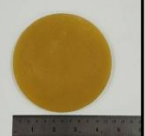
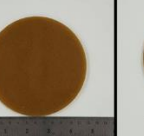
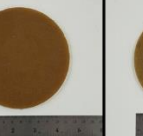
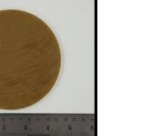
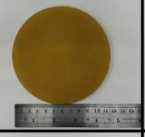
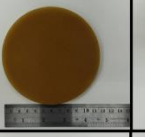
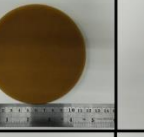
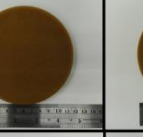
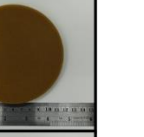
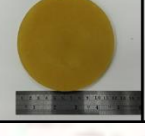
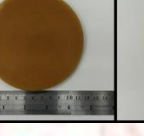
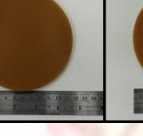
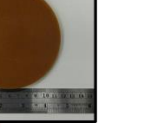


ภาพที่ 3-14 การทดสอบประสิทธิภาพในการขัดผิวซีพไฟร์ด้วยเครื่องขัดด้วยสารเคมี
ร่วมกับแรงทางกล (MARUTO ML-160A)

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในบทนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการวิจัยและอภิปรายผลในแต่ละการทดลองที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ได้แก่ ผลการสร้างแผ่นขัด ค่าความแข็ง ค่าความต้านทานการขัดถู การดูดซึมน้ำ และผลการขัดโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกลบนผิวซีฟไฟร์ โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของเกลบข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงและผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมพอลิยูรีเทนที่อัตราส่วน 0, 2.5, 5, 7.5, 10 และ 12.5 ส่วนในร้อยละของเรซิน

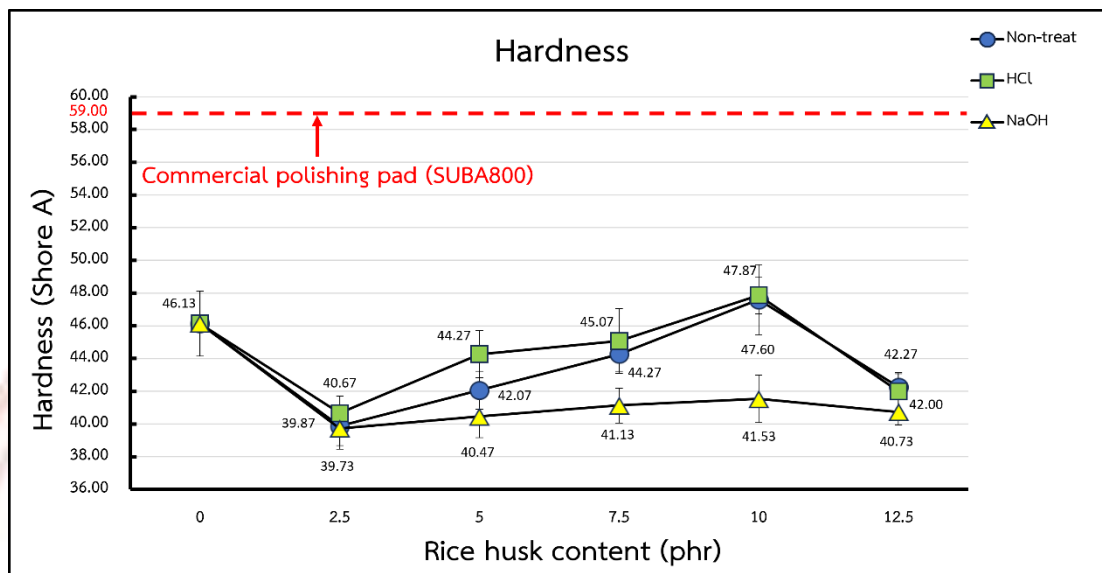
	0 phr	2.5 phr	5 phr	7.5 phr	10 phr	12.5 phr
Non-Treated						
NaOH Treated						
HCl Treated						

ภาพที่ 4-1 ภาพแผ่นขัดทั้งสามชนิดที่อัตราส่วนเกลบข้าว 0, 2.5, 5, 7.5, 10 และ 12.5

ส่วนในร้อยละของเรซิน

จากผลการขึ้นรูปแผ่นขัดพบว่าแผ่นขัดสามารถขึ้นรูปและคงตัวได้เนื่องจากพอลิยูรีเทนทำหน้าที่เป็นวัสดุเมทริกซ์ที่ยึดเกาะเกลบข้าวที่ผสมไว้ด้วยกัน นอกจากนี้ในแผ่นขัดทั้งสามชนิด มีการกระจายตัวของเกลบข้าวอย่างสม่ำเสมอเนื่องจากเส้นใยมีขนาดเล็กและมีลักษณะเป็นผงจึงกระจายตัวได้ทั่วทั้งแผ่นขัด แสดงในภาพที่ 4-1

4.1 การวิเคราะห์ค่าความแข็งของแผ่นขัด



ภาพที่ 4-2 ค่าความแข็งของแผ่นขัดทั้งสามชนิดที่อัตราส่วนแกลบข้าว 0, 2.5, 5, 7.5, 10 และ 12.5 ส่วนในร้อยส่วนของเรซิน

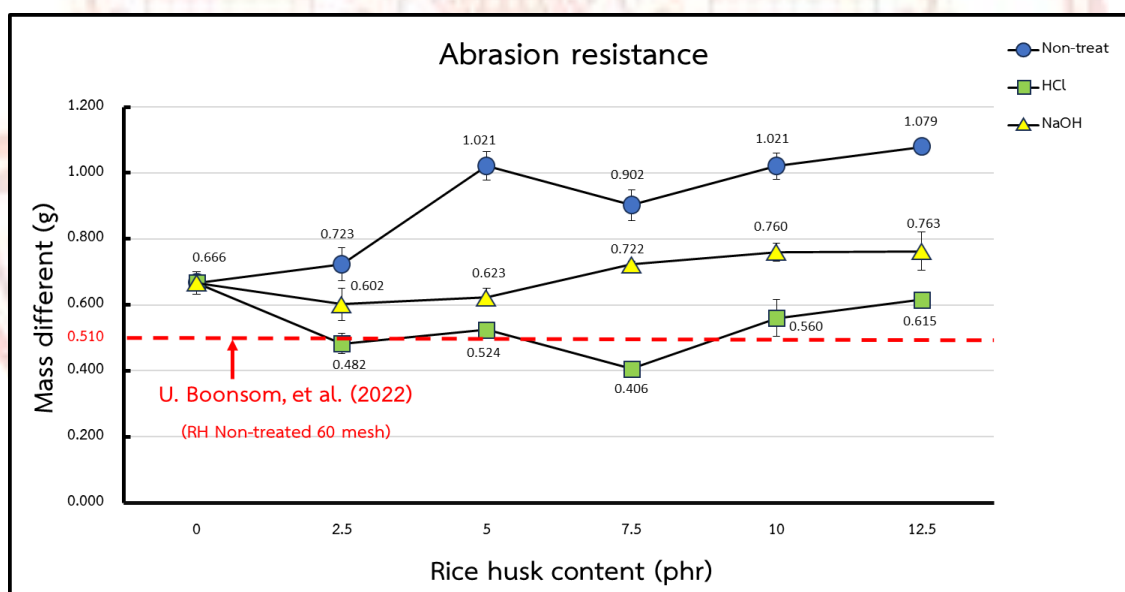
ผลของการทดสอบค่าความแข็ง แสดงในภาพที่ 4-2 พบว่าค่าความแข็งของแผ่นขัดลดลงทันทีเมื่อผสมแกลบข้าวทั้งสามชนิดที่อัตราส่วน 2.5 ส่วนในร้อยส่วนของเรซิน เกิดจากไอโซไซยาเนตที่เป็นหนึ่งในส่วนประกอบของพอลิยูรีเทนทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลในแกลบข้าว ในขณะที่ความสามารถในการแข็งตัวของพอลิยูรีเทนจำเป็นต้องพึ่งปริมาณไอโซไซยาเนตซึ่งแปรผันกับค่าความแข็งของพอลิยูรีเทน เมื่อไอโซไซยาเนตมีปริมาณลดลงค่าความแข็งของพอลิยูรีเทนจึงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ H. D. Rozman, et al. (2003) ที่ได้สร้างวัสดุคอมโพสิตที่ทำจากพอลิยูรีเทนผสมแกลบข้าวและพอลิเอทิลีนไกลคอล เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตพบว่าไอโซไซยาเนตทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของแกลบข้าวในปริมาณที่เหมาะสมจะสามารถเพิ่มสมบัติเชิงกลของวัสดุได้ แต่หากมีปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลในแกลบข้าวมากเกินไปคุณสมบัติเชิงกลจะลดลง ประกอบกับแกลบข้าวที่นำมาใช้มีลักษณะเป็นผงขนาด 80 เมช ทำให้พื้นผิวสัมผัสของแกลบข้าวเพิ่มมากขึ้นจึงมีปริมาณไฮดรอกซิลที่จะทำปฏิกิริยากับไอโซไซยาเนตได้มากกว่าเส้นใยที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าความแข็งของแผ่นขัดที่ทำจากแกลบข้าวลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ U. Boonsom, et al. (2022) ที่สร้างแผ่นขัดจากเส้นใยแกลบข้าวและเส้นใยผักตบชวา ขนาด 30,

40 และ 60 เมช ที่พบว่า ยิ่งเส้นใยมีขนาดเล็กลงค่าความแข็งของแผ่นขัดก็จะมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน ในขณะที่ในงานวิจัยนี้ เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยกลบข้าวมากขึ้นที่อัตราส่วน 5, 7.5 และ 10 ส่วนในร้อยละของเรซิน พบว่า ค่าความแข็งของแผ่นขัดทั้งสามชนิดมีแนวโน้มสูงขึ้น ผลการทดลองข้างต้นเกิดจากเส้นใยกลบข้าวที่ทำหน้าที่เป็นวัสดุเสริมแรงให้กับพอลิยูรีเทน ในขณะที่อัตราส่วน 12.5 ส่วนในร้อยละของเรซิน ค่าความแข็งของแผ่นขัดที่ทำจากเส้นใยกลบข้าวทั้งสามชนิด มีแนวโน้มลดลงเกิดจากปริมาณเส้นใยกลบข้าวที่มากเกินไปจนพอลิยูรีเทนไม่สามารถยึดเหนี่ยวเส้นใยกลบข้าวไว้ด้วยกันได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ N. Bun-athuek, et al. (2022) ที่ได้รายงานถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาณของเส้นใยในอัตราส่วนผสมของแผ่นขัดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งที่แตกต่างกัน โดยค่าความแข็งของแผ่นขัดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของเส้นใยเพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ N. Stephen, et al. (2015) ที่ทำการพัฒนาหมวกทหารจากเส้นใยมะพร้าวผสมอีพ็อกซีเรซิน และศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพพบว่า ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นทำหน้าที่เป็นวัสดุเสริมแรง อย่างไรก็ตามเมื่อมีปริมาณเส้นใยมากเกินไปทำให้วัสดุเมทริกซ์มีไม่เพียงพอที่จะสามารถยึดเหนี่ยวเส้นใยเหล่านั้นได้ ส่งผลให้วัสดุคอมโพสิตมีค่าความแข็งลดลง แสดงในตารางที่ 4-1 เมื่อเปรียบเทียบแผ่นขัดที่ทำจากเส้นใยกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก และไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุง พบว่าค่าความแข็งของแผ่นขัดทั้งสองชนิดไม่ต่างกัน ในขณะที่แผ่นขัดที่ทำจากเส้นใยกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าความแข็งต่ำที่สุด เนื่องจากการปรับปรุงด้วยกระบวนการดังกล่าวมีส่วนผสมของไฮดรอกไซด์ซึ่งทำปฏิกิริยากับไอโซไซยาเนตจึงทำให้ค่าความแข็งโดยรวมลดลงทั้งหมด เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับแผ่นขัดในอุตสาหกรรมจะพบว่า แผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกและไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุง ที่อัตราส่วน 10 ส่วนในร้อยละของเรซิน มีค่าความแข็งสูงสุดและใกล้เคียงกันอยู่ที่ 47.87 และ 47.60 Shore A ตามลำดับ มีค่าความแข็งน้อยกว่าแผ่นขัดในอุตสาหกรรม SUBA 800 ที่มีความแข็งอยู่ที่ 80 Asker หรือประมาณ 59 Shore A

ตารางที่ 4-1 ค่าความแข็งที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น (N. Stephen, et al., 2015)

รหัสตัวอย่าง	ปริมาณเส้นใย (โดยน้ำหนัก)	ปริมาณเรซิน	ค่าความแข็ง (HRF)
A	20	80	25.01
B	40	60	26.23
C	50	50	27.23
D	60	40	28.70
E	70	30	30.03
F	80	20	15.32
G	85	15	14.49

4.2 การวิเคราะห์ค่าความต้านทานการขัดถู

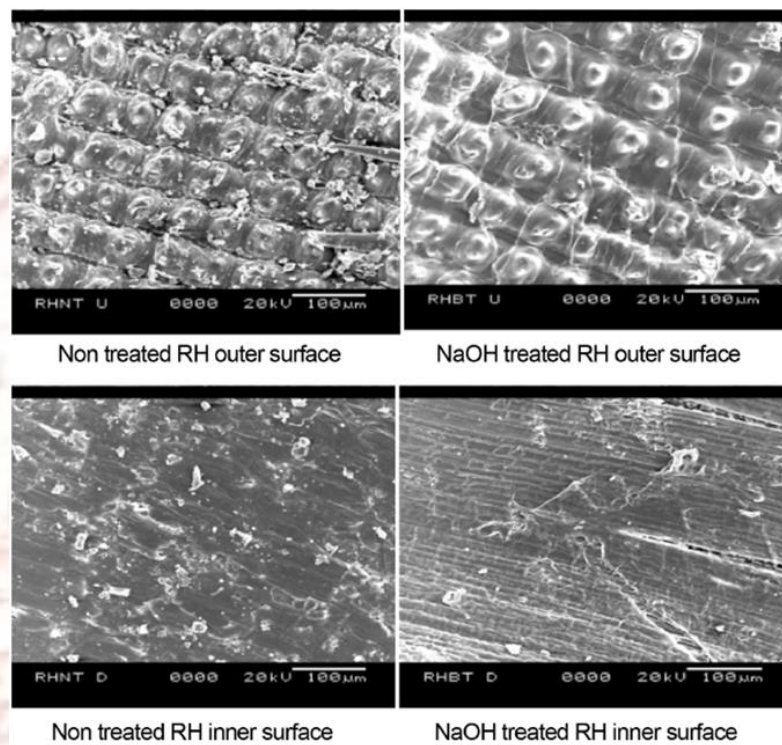


ภาพที่ 4-3 ค่าความต้านทานการขัดถูของแผ่นขัดทั้งสามชนิดที่อัตราส่วนเกลบข้าว 0, 2.5, 5, 7.5, 10 และ 12.5 ส่วนในร้อยส่วนของเรซิน

ผลของค่าความต้านทานการขัดถู แสดงในภาพที่ 4-3 พบว่าแผ่นขัดจากเส้นใยเกลบข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงทุกอัตราส่วนผสมมีความต้านทานการขัดถูลดลง เนื่องจากแผ่นขัดมีค่า

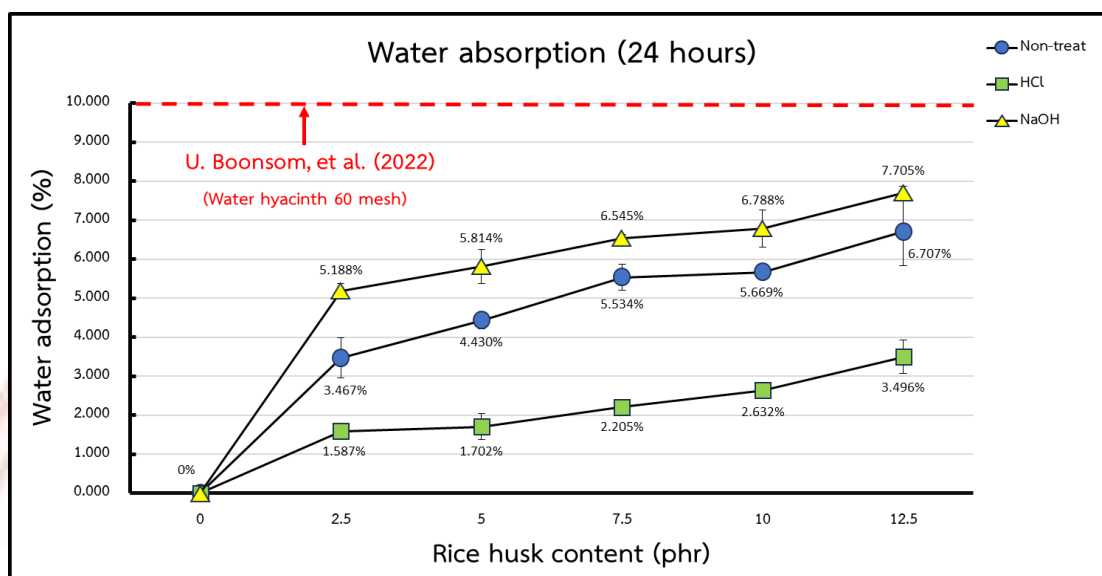
ความแข็งแรงลดลงในช่วงอัตราส่วน 2.5 และ 5 ส่วนในร้อยส่วนของเรซิน จึงมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ส่งผลให้เมื่อทดสอบชิ้นงานเกิดการเสียรูปได้ง่ายส่งผลให้ค่าความต้านทานการขาดลดลง เมื่อปริมาณเส้นใยกลบข้าวเพิ่มมากขึ้นเส้นใยกลบข้าวที่มีลักษณะเป็นผงจึงไม่มีพื้นที่ผิวเพียงพอที่จะยึดวัสดุเมทริกซ์ไว้ด้วยกันได้แผ่นขัดจึงมีความต้านทานการขาดลดลงต่ำสุดที่อัตราส่วน 12.5 ส่วนในร้อยส่วนของเรซิน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ K. Yongmalwong & I. Jangchud (2012) ที่ได้ปรับปรุงสมบัติการต้านการขาดของยางธรรมชาติด้วยการผสมพอลิเอทิลีนพบว่า การเติมปริมาณพอลิเอทิลีนมากเกินไปจะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างยางธรรมชาติและพอลิเอทิลีนมากขึ้นความสามารถในการยึดเกาะจึงลดลง เมื่อได้รับแรงขาดจึงส่งผลให้เกิดการหลุดออกของชิ้นงานมากขึ้น ขณะที่งานวิจัยนี้พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานการขาดที่อัตราส่วน 7.5 ส่วนในร้อยส่วนของเรซิน เนื่องจากสมดุลระหว่างความสามารถในการยึดเกาะของเส้นใยกลบข้าวและความสามารถในการเป็นวัสดุเสริมแรงของเส้นใยกลบข้าว ถึงแม้ว่าค่าความแข็งแรงที่อัตราส่วน 7.5 ส่วนในร้อยส่วนของเรซิน จะน้อยกว่าที่อัตราส่วน 10 ส่วนในร้อยส่วนของเรซิน ก็ตาม ในขณะที่แผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีแนวโน้มค่าความต้านทานการขาดสูงขึ้นกว่าเส้นใยกลบข้าวชนิดอื่น ๆ และสูงที่สุดที่อัตราส่วน 7.5 ส่วนในร้อยส่วนของเรซิน ซึ่งเกิดจากกระบวนการปรับปรุงดังกล่าวสามารถการจัดโลหะหนักหรือสิ่งแปลกปลอมบนพื้นผิวของกลบข้าว จึงทำให้เส้นใยกลบข้าวสามารถยึดเกาะวัสดุเมทริกซ์ได้ดีขึ้น ค่าความต้านทานการขาดของแผ่นขัดดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยกลบข้าวเพิ่มขึ้นที่อัตราส่วน 10 และ 12.5 ส่วนในร้อยส่วนของเรซิน สอดคล้องกับผลของค่าความต้านทานการขาดของแผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุง ค่าความต้านทานการขาดของแผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตามปริมาณเส้นใยกลบข้าวที่เพิ่มขึ้นโดยเพิ่มขึ้นที่อัตราส่วน 2.5 และ 5 ส่วนในร้อยส่วนของเรซิน และลดลงที่อัตราส่วน 7.5, 10 และ 12.5 ส่วนในร้อยส่วนของเรซิน เนื่องจากค่าความแข็งแรงของแผ่นขัดลดลงทำให้แผ่นขัดมีความยืดหยุ่นสูงและไม่เกิดการลื่นไถลส่งผลให้แผ่นขัดเสียรูปกว่าแผ่นขัดชนิดอื่น ๆ ในระหว่างทดสอบ อย่างไรก็ตามการปรับปรุงกลบข้าวด้วยกระบวนการดังกล่าวส่งผลให้ผิวกลบข้าวมีความขรุขระและสะอาดมากขึ้น แสดงในภาพที่ 4-4 เส้นใยกลบข้าวจึงสามารถยึดเกาะกับพอลิยูรีเทนได้มากขึ้น ค่าความต้านทานการขาดจึงสูงกว่าแผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุง ซึ่งสอดคล้องกับงานของ J. A. Halip, et al. (2021) ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงเส้นใยกลบข้าวด้วยเคมีสำหรับวัสดุคอมโพสิต กล่าวว่า การปรับปรุงเส้นใยกลบข้าวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่งผลให้กลบข้าวมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น เส้นใยกลบข้าวจึงสามารถยึดเกาะวัสดุเมทริกซ์ได้ดีขึ้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้จะพบว่า แผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่อัตราส่วน 7.5 ส่วนในร้อยส่วนของเรซิน มีค่าความต้านทานการขาดสูงที่สุดอยู่ที่ 0.406 กรัม ซึ่งสูง

กว่า แผ่นขัดจากเส้นใยเกลบข้าว ขนาด 60 เมช ที่มีค่าความต้านทานการขัดถูอยู่ที่ 0.51 กรัม ของงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ผ่านการใช้งานในกระบวนการขัดผิวมาแล้ว (U. Boonsom, et al., 2022)



ภาพที่ 4-4 สภาพผิวของเส้นใยเกลบข้าวที่เปลี่ยนแปลงไปหลังปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (K. A. Chanda, et al., 2015)

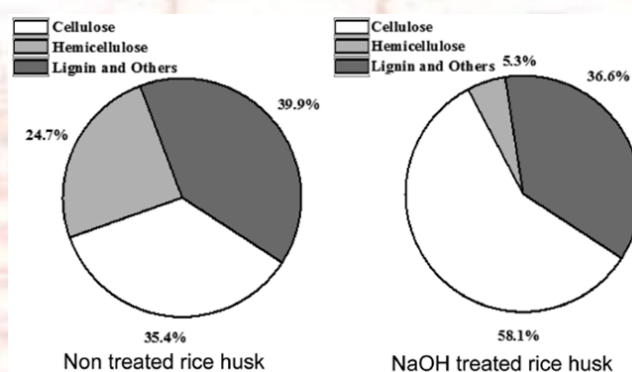
4.3 การวิเคราะห์การดูดซึมน้ำ



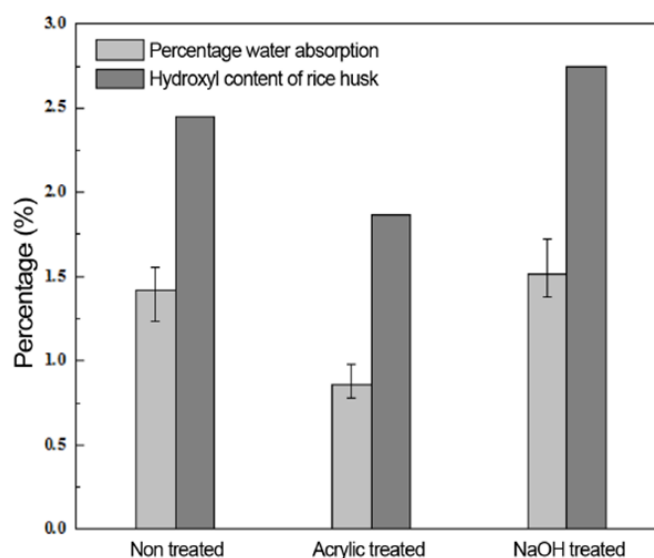
ภาพที่ 4-5 การดูดซึมน้ำของแผ่นขัดทั้งสามชนิดที่อัตราส่วนแกลบข้าว 0, 2.5, 5, 7.5, 10 และ 12.5 ส่วนในร้อยละของเรซิน

ผลของการทดสอบการดูดซึมน้ำ แสดงในภาพที่ 4-5 พบว่าแผ่นขัดที่ทำจากพอลิยูรีเทนอย่างเดียวไม่สามารถดูดซึมน้ำได้ ขณะที่แผ่นขัดผสมเส้นใยแกลบข้าวทั้งสามชนิด สามารถดูดซึมน้ำได้ นอกจากนี้ปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้แปรผันตามปริมาณเส้นใยแกลบข้าวที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากแกลบข้าวเป็นวัสดุจากธรรมชาติที่ประกอบไปด้วย เซลลูโลส และ เฮมิเซลลูโลส ซึ่งล้วนมีส่วนประกอบของผนังเซลล์ที่สามารถดูดซึมน้ำได้ แผ่นขัดที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำสูงเนื่องจากกระบวนการดังกล่าวสามารถลดสัดส่วนของลิกนินและเฮมิเซลลูโลสในแกลบข้าว ซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกับการศึกษาของ K. A. Chanda, et al. (2015) ที่ได้ปรับปรุงเส้นใยแกลบข้าวและเส้นใยปอกระเจาด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์สำหรับวัสดุพอลิเมอร์รายงานว่ แกลบข้าวประกอบไปด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน ซิลิกา และแวกซ์ โดยผลกระทบจากการปรับปรุงเส้นใยแกลบข้าวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ส่งผลให้ปริมาณ เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน ลดลงแสดงดังภาพที่ 4-6 ส่งผลให้แกลบข้าวมีปริมาณเซลลูโลสสูงขึ้นเส้นใยแกลบข้าวจึงดูดน้ำได้มากขึ้น แสดงในภาพที่ 4-7 ตรงข้ามกับกระบวนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ดูดซึมน้ำได้น้อยที่สุด เนื่องจากกระบวนการข้างต้นมีการขจัดโลหะหนักที่ผิวของแกลบข้าวส่งผลให้หมู่ไอออนที่มีขั้วหลุดออกไปด้วย (J. T. Librea, et al., 2019) และเซลลูโลสภายในเส้นใยมีความเป็นผลึกมากขึ้น (O. A. Battista,

1950) ทำให้น้ำแทรกตัวเข้าไประหว่างเซลล์ได้ยากขึ้นประกอบกับกระบวนการดังกล่าวทำให้แกลบข้าวไม่มีขี้ซึ่งส่งผลให้แกลบข้าวละลายน้ำได้ยากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการดูดซึมน้ำลดลงได้ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้จะพบว่าแผ่นขัดจากเส้นใยแกลบข้าวทุกชนิดดูดซึมน้ำน้อยกว่าแผ่นขัดที่ทำจากเส้นใยผักตบชวา ที่ดูดซึมน้ำอยู่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้แผ่นขัดเกิดการขยายตัวและไม่สามารถใช้งานต่อได้ (U. Boonsom, et al., 2022) แผ่นขัดทั้งทุกชนิดจึงสามารถใช้ในกระบวนการขัดผิว



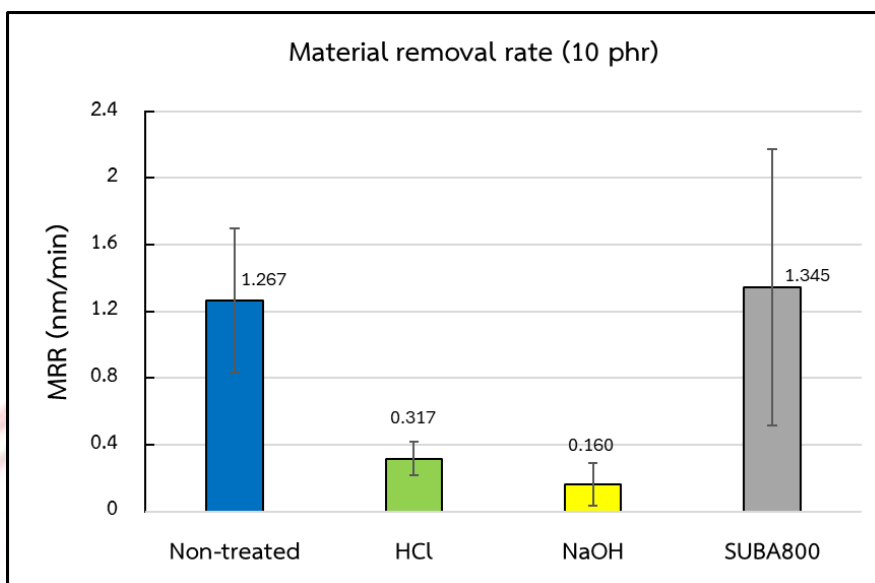
ภาพที่ 4-6 แสดงถึงปริมาณ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และอื่น ๆ ที่เปลี่ยนไปหลังผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (K. A. Chanda, et al., 2015)



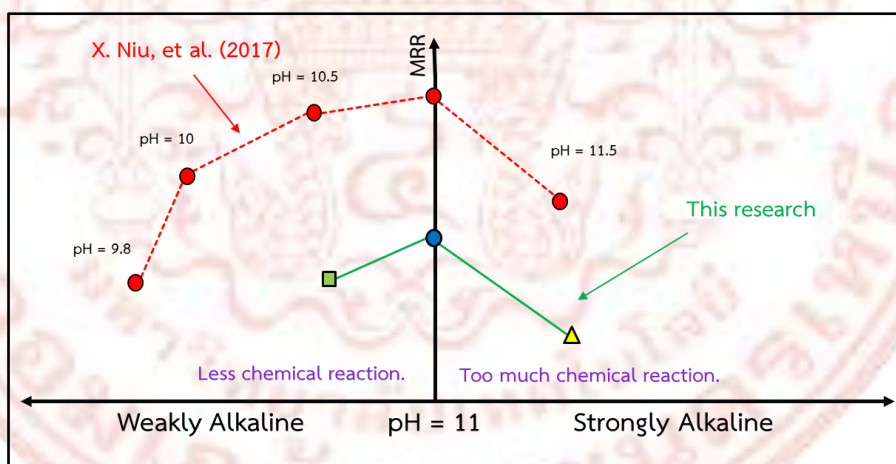
ภาพที่ 4-7 แสดงถึงการดูดซึมน้ำและไฮดรอกซิลที่เปลี่ยนไปหลังผ่านการปรับปรุงด้วยกรดอะคริลิกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ (K. A. Chanda, et al., 2015)

4.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการขัดผิว

จากผลการทดลองพบว่า แผ่นขัดที่ผลิตจากเส้นใยแกลบข้าวทุกชนิด มีความสามารถในการขัดผิวซัพไฟร์แสดงในภาพที่ 4-8 ในกระบวนการขัดผิวโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยแผ่นขัดจากเส้นใยแกลบข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงมีอัตราการขจัดเนื้อวัสดุใกล้เคียงกับแผ่นขัดในอุตสาหกรรม SUBA800 ซึ่งเป็นแผ่นขัดที่ใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์ ผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเส้นใยแกลบข้าวเมื่อผ่านกระบวนการที่เหมาะสมสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับสร้างแผ่นขัดได้ โดยเส้นใยแกลบข้าวที่อยู่ในแผ่นขัดทำหน้าที่เป็นตัวพาซิลิกาที่อยู่ในสารละลายชั้นให้กลิ้งบนผิวซัพไฟร์และเกิดกระบวนการขจัดเนื้อวัสดุในขณะเดียวกันเส้นใยแกลบข้าวยังทำหน้าที่เป็นวัสดุเสริมแรงในแผ่นด้วย อย่างไรก็ตามผลการขัดของแผ่นขัดที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงอีกสองชนิดพบว่าอัตราการขจัดเนื้อวัสดุลดลงอย่างเห็นได้ชัดโดยเฉพาะแผ่นขัดจากเส้นใยแกลบข้าวที่ปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ เกิดจากการเพิ่มขึ้นของหมู่ไฮดรอกซิลหรือไฮโดรเจนไอออนที่ยังหลงเหลืออยู่ในเส้นใยแกลบข้าวจากกระบวนการปรับปรุงทั้งสอง เมื่อแผ่นขัดอยู่ในกระบวนการขัดโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกล จะมีทั้งแรงกดจากหัวจับชิ้นงานและมีการขัดถูเสียดสีกับชิ้นงาน ทำให้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ยังเหลืออยู่ในเส้นใยแกลบข้าวซึมออกมาผสมกับสารละลายชั้นส่งผลให้ค่า pH ของสารละลายชั้นสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในกระบวนการขัดผิวมากเกินไป ทำให้เกิดชั้นปฏิกิริยาเคมีอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งไม่สามารถถูกกำจัดออกได้ด้วยแรงขัดทางกลเพียงอย่างเดียว และสารนี้ยังทำหน้าที่ยับยั้งปฏิกิริยาเคมีที่ควรเกิดขึ้นต่อไป ส่งผลให้อัตราการขจัดเนื้อวัสดุลดลง ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการลดลงของอัตราการขจัดเนื้อวัสดุของแผ่นขัดจากเส้นใยแกลบข้าวที่ปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่อาจมีกรดไฮโดรคลอริกที่หลงเหลือจากกระบวนการปรับปรุงเข้าไปผสมกับสารละลายชั้นส่งผลให้ปฏิกิริยาเคมีในกระบวนการขัดลดลง จึงเกิดภาวะไม่สมดุลระหว่างผลของปฏิกิริยาเคมีและแรงขัดเชิงกลในกระบวนการขัดดังแสดงในภาพที่ 4-9 (X. Niu, et al., 2017; H. Wang, et al., 2018)



ภาพที่ 4-8 อัตราการขจัดเนื้อวัสดุของแผ่นขัดทั้งสามชนิดที่อัตราส่วนแกลบข้าว 10 ส่วนในร้อยละของเรซิน และแผ่นขัดในอุตสาหกรรม SUBA800



ภาพที่ 4-9 แนวโน้มของอัตราการขจัดเนื้อวัสดุที่เปลี่ยนแปลงตามค่า pH ของสารละลายชั้นเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ X. Niu, et al. (2017)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุป

จากผลการศึกษาแผ่นขัดจากพอลิยูรีเทนที่ผสมเส้นใยกลบข้าวทั้งสามชนิดสรุปได้ว่า แผ่นขัดสามารถขึ้นรูปและคงตัวได้ดีไม่มีการหลุดร่อนของเส้นใยกลบข้าว กระบวนการปรับปรุงเส้นใยกลบข้าวส่งผลต่อค่าความแข็งของแผ่นขัด โดยกระบวนการปรับปรุงเส้นใยกลบข้าวด้วยกรดไฮโดรคลอริกส่งผลให้ค่าความแข็งของแผ่นขัดไม่แตกต่างกับแผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามกระบวนการดังกล่าวยังส่งผลให้แผ่นขัดมีความต้านทานการขัดถูสูงกว่าและดูดซึมน้ำน้อยกว่าแผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุง ตรงกันข้ามกับกระบวนการปรับปรุงเส้นใยกลบข้าวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ส่งผลให้แผ่นขัดมีค่าความแข็งลดลงในทุกอัตราส่วน ถึงแม้ว่าค่าความต้านทานการขัดถูของแผ่นขัดชนิดดังกล่าวจะสูงกว่าแผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุง แต่ความสามารถในการดูดซึมน้ำกลับเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นกระบวนการปรับปรุงเส้นใยกลบข้าวด้วยกรดไฮโดรคลอริกส่งผลให้แผ่นขัดมี ค่าความต้านทานการขัดถูดีขึ้น ดูดซึมน้ำได้น้อยลง และไม่ส่งผลต่อค่าความแข็ง กระบวนการปรับปรุงดังกล่าวจึงเหมาะสมสำหรับเพิ่มคุณสมบัติให้กับแผ่นขัดได้มากกว่ากระบวนการปรับปรุงเส้นใยกลบข้าวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และแผ่นขัดทุกชนิดที่อัตราส่วน 10 ส่วนในร้อยละของเรซิน สามารถขัดผิวซีพไฟร์ในกระบวนการขัดโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกลได้ ถึงแม้การปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกจะเพิ่มคุณสมบัติให้กับแผ่นขัดได้ดีแต่แผ่นขัดที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงกลับให้อัตราการขจัดเนื้อวัสดุได้ดีที่สุดจากนั้นจึงเป็นแผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีอัตราการขจัดเนื้อวัสดุน้อยลงตามลำดับ

5.2 สรุปตามวัตถุประสงค์

5.2.1 เพื่อสร้างแผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงและผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมกับพอลิยูรีเทน

พบว่าเส้นใยกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถนำมาผสมกับพอลิยูรีเทนเพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นขัดได้

5.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของกระบวนการปรับปรุงเส้นใยกลบข้าวด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อ ค่าความแข็ง ค่าความต้านทานการขัดถู การดูดซึมน้ำของแผ่นขัดจากเส้นใยกลบข้าว

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าการปรับปรุงเส้นใยเคลือบข้าวด้วยไฮโดรคลอริก ส่งผลให้แผ่นขั้วมีค่าความแข็งไม่เปลี่ยนแปลง มีค่าความต้านทานการขีดถูสูงขึ้นและความสามารถในการดูดซึมน้ำลดลง ในขณะที่แผ่นขั้วจากการปรับปรุงเส้นใยเคลือบข้าวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่งผลให้แผ่นขั้วมีค่าความแข็งลดลง มีค่าความต้านทานการขีดถูสูงขึ้นและความสามารถในการดูดซึมน้ำสูงขึ้น

5.2.3 เพื่อศึกษาอิทธิพลของกระบวนการปรับปรุงเส้นใยเคลือบข้าวด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อประสิทธิภาพในการขัดผิวโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกลของแผ่นขั้วจากเส้นใยเคลือบข้าว

แผ่นขั้วจากเส้นใยเคลือบข้าวที่ปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์มีอัตราการขจัดเนื้อวัสดุน้อยกว่าแผ่นขั้วจากเส้นใยเคลือบข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุง

5.3 ข้อเสนอแนะ

เพื่อเป็นการเพิ่มความเข้าใจผลกระทบของการปรับปรุงเส้นใยเคลือบข้าวสำหรับแผ่นขั้ว ควรเพิ่มการวิเคราะห์ผลกระทบในเชิงเคมีของเส้นใยเคลือบข้าวที่มีผลต่อพอลิยูรีเทน ควรศึกษาผลกระทบของการปรับปรุงเส้นใยเคลือบข้าวที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และควรศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของแผ่นขั้วจากเส้นใยเคลือบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงชนิดต่าง ๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อดูลักษณะพื้นผิวของเส้นใยเคลือบข้าวและความเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยเคลือบข้าวและพอลิยูรีเทน

เพื่อพิสูจน์ผลกระทบของการปรับปรุงเส้นใยเคลือบข้าวด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ในแผ่นขั้วสำหรับการขัดผิวซัพไฟร์ด้วยกระบวนการขัดด้วยสารเคมีร่วมกับแรงทางกล ควรเพิ่มการศึกษาเกี่ยวกับค่า pH ในสารละลายชั้นที่เปลี่ยนแปลงไปทั้งก่อนและหลังขัดด้วยแผ่นขั้วชนิดต่าง ๆ

เพื่อเป็นการยืนยันว่าแผ่นขั้วจากเส้นใยเคลือบข้าวสามารถใช้ขัดผิวซัพไฟร์ในกระบวนการขัดผิวโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกลได้อย่างมีประสิทธิภาพจริง ควรเพิ่มการตรวจสอบคุณภาพผิวซัพไฟร์ก่อนขัดและหลังขัด โดยวัดค่าความหยาบผิวด้วยเครื่องออฟติคอลโปรไฟล์มิเตอร์ (Optical Profilometer)

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

บรรเลง ศรีนิล, ทฤษฎีงานโลหะ เล่ม 1 (Fachkunde Metall). กรุงเทพฯ: ศูนย์ผลิตตำราเรียนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2555. ISBN 978-974-620-780-5.

ภาษาอังกฤษ

A. Deaconescu and T. Deaconescu, “Improving the quality of surfaces finished by lapping by robust parameter design,” *Journal of Economics, Business and Management*, vol. 2, no. 1, pp. 1–4, 2014.

A. Ma'ruf, B. Pramudono, and N. Aryanti, “Lignin isolation process from rice husk by alkaline hydrogen peroxide: Lignin and silica extracted,” *AIP Conference Proceedings*, vol. 1823, no. 1, Art. no. 020013, Mar. 2017, doi: 10.1063/1.4978086.

B. I. Ugheoke and O. Mamat, “A Critical Assessment and New Research Directions of Rice Husk Silica Processing Methods and Properties,” *Maejo International Journal of Science and Technology*, vol. 6, no. 3, pp. 430–448, Nov. 2012, doi: 10.14456/mijst.2012.31.

B. Zhang, H. Lei, and Y. Chen, “Preparation of Ag₂O Modified Silica Abrasives and Their Chemical Mechanical Polishing Performances on Sapphire,” *Friction*, vol. 5, no. 4, 2017,

G. Zhao, Y. Xu, Q. Wang, J. Liu, Y. Zhan, and B. Chen, “Polishing Performance and Removal Mechanism of Core–Shell Structured Diamond/SiO₂ Abrasives on Sapphire Wafer,” *Micromachines*, vol. 13, no. 12, p. 2160, Dec. 2022, doi: 10.3390/mi13122160

- H. D. Rozman, L. Musa, and A. Abubakar, "The Mechanical and Dimensional Properties of Rice Husk–Unsaturated Polyester Composites," *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, vol. 44, no. 3, pp. 489–500, Mar. 2005, doi: 10.1081/PTE-200048306.
- H. D. Rozman, Y. S. Yeo, G. S. Tay, and A. Abubakar, "The mechanical and physical properties of polyurethane composites based on rice husk and polyethylene glycol," *Polymer Testing*, vol. 22, no. 6, pp. 617–623, 2003, doi: 10.1016/S0142-9418(02)00165-4.
- H. Lei, L. Q. Huang, and Q. Gu, "Synthesis of Zn-doped Colloidal SiO₂ Abrasives and Their Applications in Sapphire Chemical Mechanical Polishing Slurry," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 28, pp. 1229–1237, 2017, doi: 10.1007/s10854-016-5650-7.
- H. Lei and Q. Gu, "Preparation of Cu-doped colloidal SiO₂ abrasives and their chemical mechanical polishing behavior on sapphire substrates," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 27, no. 12, pp. 13158–13167, 2016, doi: 10.1007/s10854-015-3708-6.
- H. Lei, Q. Gu, R. Chen, and Z. Wang, "Preparation of Fe-doped colloidal SiO₂ abrasives and their chemical mechanical polishing behavior on sapphire substrates," *Applied Optics*, vol. 54, no. 24, pp. 7188–7194, 2015, doi: 10.1364/AO.54.007188.
- H. Wang, Z. Zhang, and S. Lu, "Study of Several Silica Properties Influence on Sapphire CMP," *Journal of Electrical Engineering & Technology*, vol. 13, no. 2, pp. 886–891, 2018, doi: 10.5370/JEET.2018.13.2.886.
- J. A. Halip, S. H. Lee, P. M. Tahir, L. T. Chuan, M. A. Selimin, and H. A. Saffian, "Chemical Treatments of Rice Husk for Polymer Composites," *Article in Biointerface Research in Applied Chemistry*, Vol. 11, Issue 4, pp. 12425–12433, 2021. doi.org/10.33263/BRIAC114.1242512433

- J. T. Librea, F. D. Dacanay, Z. Z. Martin, and L. L. Diaz, "Effect of Water and Acid Pre-treatment on the Physicochemical Properties of Rice Husk for Silica Extraction," In Conference Series: Materials Science and Engineering, Apr. 19–20, 2019, doi:10.1088/1757-899X/540/1/ 012007
- K. A. Chanda, A. Hazra, M. P. Kumar, S. Neogi, and S. Neogi, "Chemical Treatments of Rice Husk Filler and Jute Fiber for the Use in Green Composites," Article in Fibers and Polymers, 16(4), 902-910, 2015. doi: 10.1007/s12221-015-0902-3
- K. Yongmalwong and I. Jangchud, "Improving Abrasion Resistance of Natural Rubber by Blending with Linear Low-Density Polyethylene (LLDPE): Effects of Compatibilizers," The 9 th KU KPS National Conference, Nakhon Pathom, Thailand, Dec. 6-7, 2012.
- LED Lighting Market Size & Share Analysis - Growth Trends and Forecast (2025 - 2030), Mordor Intelligence, Available: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/led-lighting-market>. Accessed: Oct. 22, 2025
- M. Bahr, Y. Sampurno, R. Han, and A. Philipossian, "Slurry Injection Schemes on the Extent of Slurry Mixing and Availability During Chemical Mechanical Planarization," Micromachines, vol. 8, no. 6, 2017, doi: 10.3390/mi8060170.
- M. Islam, "PRODUCTION PROCESS – 08 [Rolling Operation, Forging Operation, Finishing Operation, Sheet Metal Forming, Extrusion Process, Drilling Operation]," presentation slides, Feb. 2020, doi: 10.13140/RG.2.2.12169.16488.
- M. Zhou, M. Zhong, and W. Xu, "Novel model of material removal rate on ultrasonic-assisted chemical mechanical polishing for sapphire," Friction, vol. 11, no. 11, pp. 2073–2090, 2023, doi: 10.1007/s40544-022-0713-7.
- N. Bun-athuek, S. Boripatkosol, A. Rattanapan, P. Kajornrungruang, K. Suzuki, and T. Somthong, "Natural Fiber-Based Polishing Pad for Chemical Mechanical Polishing of Sapphire Substrate," Journal of Science and Technology: for Local Development, vol. 1, pp. 99-116, 2022.

- N. Nimaje, A. Tiwary, and D. Kumar, "Acid leaching of rice husk for silica extraction," *Journal of Cleaner Production*, vol. 112, pp. 1704–1711, 2016. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.08.123.
- N. S. M. Zarib, S. A. Abdullah, and N. H. Jamil, "Extraction of Silica from Rice Husk via Acid Leaching Treatment," *The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences (EpSBS), Asia International Multidisciplinary Conference (AIMC 2018)*, pp. 176–183, 2019, doi: 10.15405/epsbs.2019.05.02.16
- N. Stephen, J. O. Akindapo and D. K. Garba, "Development of a Military Helmet Using Coconut Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite," *European Journal of Engineering and Technology*, Vol. 3, No. 7, pp. 55-65, 2015.
- O. A. Battista, "Hydrolysis and Crystallization of Cellulose," *Industrial and engineering chemistry*, Vol. 42, No. 3, pp. 502-507, 1950.
- P. Ma, H. Lei, Y. Chen, and R. Chen, "Preparation of Ni-doped colloidal silica abrasives and their chemical mechanical polishing performances on sapphire," *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, vol. 5, no. 5, pp. Q132–Q136, 2016, doi: 10.1149/2.0221605jss.
- S. Chansatarnpornkul, P. Khajornrungruang, & K. Suzuki, "Study on Organic Fibers in the Polishing Pad for Sapphire Chemical Mechanical Polishing," in *JSPE Autumn Conference*, Sep. 4-6, 2019, pp. 18-19.
- S. Dai, H. Lei, and J. Fu, "Preparation of SiC/SiO₂ Hard Core–Soft Shell Abrasive and Its CMP Behavior on Sapphire Substrate," *Journal of Electronic Materials*, vol. 49, no. 2, pp. 1301–1307, 2020. doi: 10.1007/s11664-019-07683-9.
- S. Janepittaya, "Where are Thai Rice Exports in the World Market in an Era When 'India-Vietnam' are Still Strong," *Bangkokbiznews*. [Online]. Available: <https://www.bangkokbiznews.com/business/1080192> [Accessed: Jul. 24, 2023].

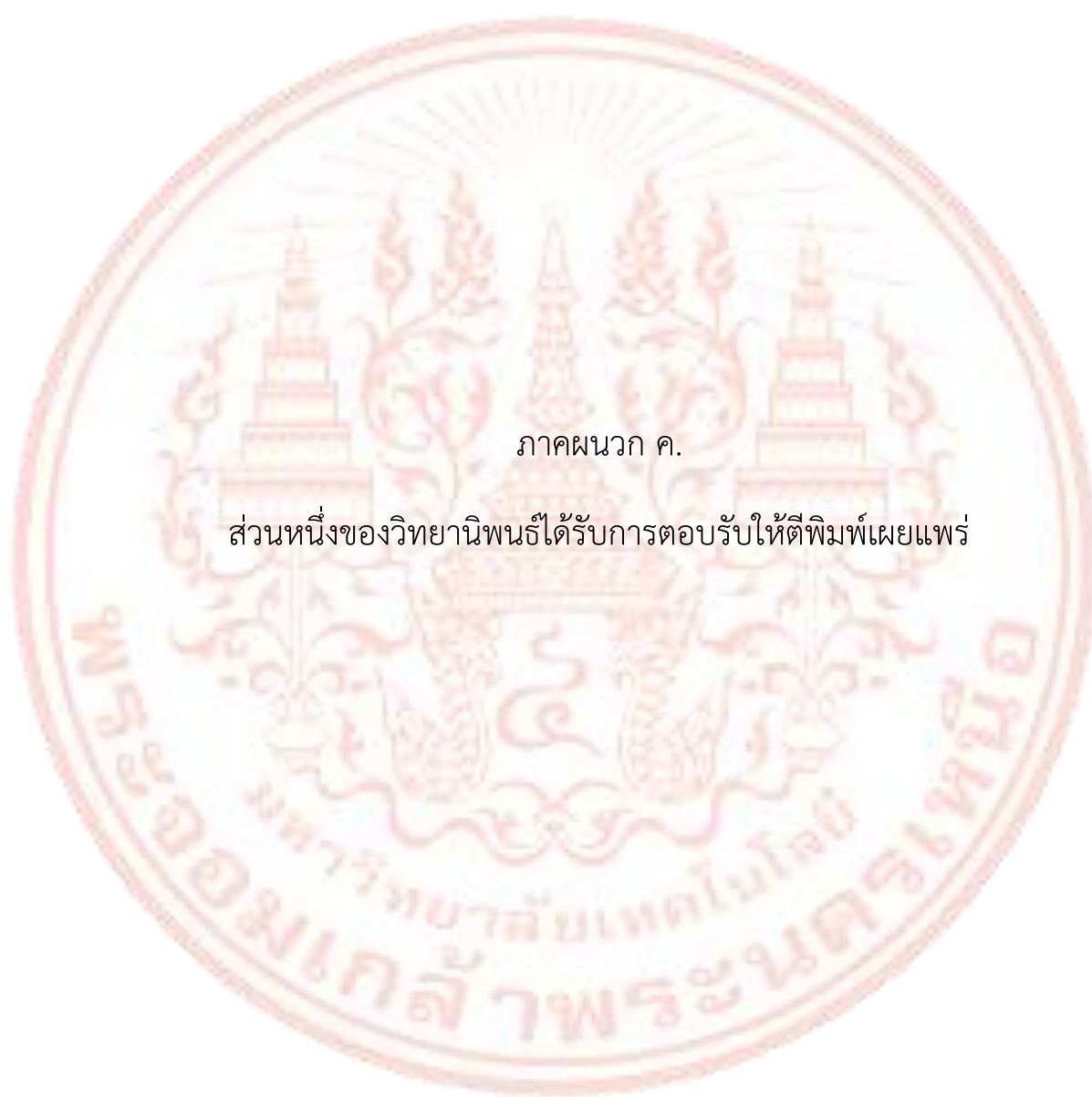
- T. Doi, I. D. Marinescu, and S. Kurokawa, Eds., "Advances in CMP/Polishing Technologies for the Manufacture of Electronic Devices. Oxford," U.K.: William Andrew (Elsevier), 2011. ISBN: 978-1-4377-7859-5.
- U. Boonsom, S. Boripatkosol, A. Rattanapan, N. Bun-athuek, and P. Boonsong, "Utilization of Rice Husk Fiber and Water Hyacinth Fiber Forming Polishing Pad for Sapphire Chemical Mechanical Polishing (CMP)," *KKU Research Journal: Graduate Studies*, Vol. 22, No. 4, 2022.
- W. M. Stewart, "Understanding and Selecting Performance Additives for Rubber Compounding," Harwick Standard Distribution Corporation, Akron, OH, USA, 2020, p. 4.
- W. Xie, Z. Zhang, L. Liao, J. Liu, H. Su, S. Wang, and D. Guo, "Green chemical mechanical polishing for sapphire wafers using a novel developed slurry," *Nanoscale*, vol. 12, pp. 1–22, 2020, doi: 10.1039/D0NR04705H.
- W. Z. Wan Mohamed, A. Baharum, I. Ahmad, I. Abdullah, and N. E. Zakaria, "Effects of fiber size and fiber content on mechanical and physical properties of Mengkuang reinforced thermoplastic natural rubber composites," *Bioresources*, vol. 13, no. 2, pp. 2945-2959, 2018.
- X. Niu, X. Zhao, D. Yin, J. Wang, and C. Wang, "Influence of different polishing parameters on sapphire substrate CMP," in *Proc. Int. Conf. Planarization/CMP Technology (ICPT)*, Leuven, Belgium, Oct. 11–13, 2017, pp. 317–322. ISBN 978-3-8007-4462-6.
- Y. Zhou, G. Pan, H. Gong, C. Zou, and L. Xu, "Chemical Mechanical Polishing of Sapphire Wafer Using Mixed Silica Nanoparticles," *Extended Abstract*, in *STLE 71st Annual Meeting & Exhibition, Surface Engineering track*, 2016.
- Z. Wang, J. Li, J. P. Barford, K. Hellgradt, and G. McKay, "A Comparison of Chemical Treatment Methods for the Preparation of Rice Husk Cellulosic Fibers," *International Journal of Environmental & Agriculture Research (IJOEAR)*, vol. 2, no. 1, pp. 67–77, Jan. 2016.

Z. Zhang, W. Liu, Z. Song, and X. Hua, "Two-Step Chemical Mechanical Polishing of Sapphire Substrate," *Journal of The Electrochemical Society*, vol. 157, no. 6, pp. H688–H691, May 2010, doi: 10.1149/1.3410116.



ภาคผนวก ค.

ส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์เผยแพร่



Study on mechanical properties of rice husk fiber-based polishing pad for chemical mechanical polishing of sapphire substrate

Mighttho Ketsuwan
Mechanical Engineering Technology
King Mongkut's University of
Technology North Bangkok
Bangkok, Thailand
s6503017810075@email.kmutnb.ac.th

Natthaphon Bun-athuek
Mechanical Engineering Technology
King Mongkut's University of
Technology North Bangkok
Bangkok, Thailand
natthaphon.b@cit.kmutnb.ac.th

Nathapong Sukhawipat
Mechanical Engineering Technology
King Mongkut's University of
Technology North Bangkok
Bangkok, Thailand
nathapong.s@cit.kmutnb.ac.th

Siriwan Boripatkosol
Mechanical Engineering Technology
King Mongkut's University of
Technology North Bangkok
Bangkok, Thailand
siriwan.b@cit.kmutnb.ac.th

Chanthapichaya Parung
Mechanical Engineering Technology
King Mongkut's University of
Technology North Bangkok
Bangkok, Thailand
chanthapichaya.p@cit.kmutnb.ac.th

Abstract—This research studies the possibility of creating a rice husk fiber-based polishing pad for sapphire substrate in chemical mechanical polishing; (CMP), including mechanical properties. It is a way to reduce the rice husk that was left over from the rice milling process and decrease the costs for LED bulbs to meet the growing demand every year. After washing and sizing (80 mesh), rice husk fiber will be mixed with polyurethane content 0, 2.5, 5, 7.5, and 10 phr rice husk fiber. As a result, it shows that the rice husk fiber-based polishing pad could be formed with good dispersibility. The hardness of the rice husk fiber-based polishing pad was lower than pure polyurethane by 13.6% at a mixing ratio of 2.5 phr and higher linearly when the rice husk increased. Similarly, the abrasion test of the rice husk fiber-based polishing pad shows the lowest abrasion resistance at 5 and 10 phr rice husk content.

Keywords—sapphire, chemical mechanical polishing, pad, rice husk fiber, mechanical properties

I. INTRODUCTION

Currently, the world is experiencing global warming. Every country has given precedence to LED, Light Emitting Diode, to conserve the world's fuel resources as much as possible [1]. Therefore, the LED lighting industry has been growing rapidly at an average of 13 percent per year and is expected to be worth up to 580 billion US dollars in 2024 [2]. This increases the demand for sapphire, commonly known as corundum, which is the component of LED light base. The sapphire substrate used for making the base must have a high surface quality. As sapphire has high hardness, good heat resistance, and chemical stability, Chemical Mechanical Polishing; CMP is used to produce the sapphire substrate [3,4,5]. There are

two expensive materials in the sapphire CMP processing: slurry and polishing pads, which cost 50 percent of the total production costs [6]. Studies about composite abrasives have been conducted to reduce the cost of the sapphire polishing process. Dai et al. [3] prepared hard core-soft shell abrasive with silicon carbide (SiC) coated with silicon dioxide (SiO₂) and investigated their CMP behavior on a sapphire substrate. From the experimental results, composite abrasives can significantly improve the polishing performance, increase the polishing rate, and good surface roughness due to SiO₂ reducing the hardness of composite abrasives while increasing the chemical reaction in the polishing process. Lei et al. [4] Synthesize composite abrasives with zinc (Zn) doped silicon dioxide (SiO₂) abrasives by seed-induced growth method and investigate their applications in CMP for sapphire. The composite abrasives show a lower root mean square surface roughness and a higher material removal rate; (MRR) due to the increasing chemical effects between zinc and sapphire substrates. Zhang et al. [5] Synthesis of composite abrasives with silver oxide (Ag₂O) modified silicon dioxide (SiO₂) abrasives by a seed-induced growth method and studies polishing performance on sapphire. Experiment results show that composite abrasives' material removal rate (MRR) is higher than that of pure silica abrasives and reduces surface roughness. From the result, they found the element Ag from Ag₂O increases the chemical reactions, which is the cause of increasing MRR and surface quality. Lei et al. [7] prepared a composite abrasive with copper (Cu) doped silicon dioxide (SiO₂) by seed-induced growth method and studied CMP behavior on sapphire substrates. CMP results show an increase in polishing rate higher than pure silica abrasives.

Furthermore, the surface roughness is increasing also. From the X-ray photoelectron spectroscopy and analytical results, they found that copper (Cu) elements in composite abrasives could react with the sapphire substrate, promoting chemical effects during CMP and leading to improved polishing performance. Ma et al. [8] modified pure silicon dioxide (SiO_2) abrasives with magnesium (Mg) by seed-induced growth method and studied the influence of composite abrasive in CMP on sapphire. The results indicate that the polishing rate of the composite abrasive is higher than that of pure silica abrasive, which is the same as the increase in surface quality. The X-ray photoelectron spectroscopy analysis shows that magnesium can react with sapphire substrates and increase chemical function during the CMP process. Their research on composite abrasives found that the abrasives containing metal ions could gain more chemical reactions with the sapphire substrate. Modification of abrasives seems to be a good way to improve polishing performance. However, synthesizing composite abrasives remains a challenging and costly process. Therefore, it was changed to study the polishing pads from natural fibers. The research of Chansatapornkul et al. [9] experimented with and made polishing pads from 4 types of natural fibers. They found out that bagasse and bamboo fibers were able to polish the sapphire surface well because they contained silica. Meanwhile, banana and pineapple fibers, which do not contain silica, were unable to polish the sapphire. This corresponds to the study of Bun-athuek et al. [10], who made polishing pads from renewable materials: rice straw fibers and coconut coir. It was found that polishing pads made of these natural materials could polish the sapphire surface due to the large amount of silica inside. Likewise, Boonsom et al. [11] prepared a fiber-based polishing pad with rice husk fiber and water hyacinth fiber. The result shows that the fiber-based polishing pad could polish the sapphire because rice husk and water hyacinth contained silica. According to the studies, it was found that polishing pads made of natural materials containing high levels of silica are effective in polishing sapphire surfaces. Thailand is a country which is the world's second-largest exporter of rice in 2022 [12]. Therefore, a lot of rice husk is left over from the rice milling process. In the past, people tried to utilize rice husks for agriculture and industry, such as soil conditioning, composting, making bricks and charcoal as fuels, etc. According to research by Ugheoke et al., [13] they were able to prepare silica from rice husks. It accounted for 17% by the weight of rice husks. The prepared silica is amorphous and has over 94% purity. As a result, the researcher assumed that rice husks would be a suitable natural material for making replaceable polishing pads. However, the previous research about making polishing pads from natural fibers did not mention the mechanical properties, which could be a variant affecting the efficiency of polishing pads.

Therefore, this research aims to study the mechanical properties of rice husk fibers mixed with polyurethane in various ratios. The mechanical properties were tested to find the appropriate ratio. This will increase the possibility

of using natural fibers to make polishing pads with suitable properties and performance, which can replace industrial polishing pads.

II. EXPERIMENTAL METHODS

A. Preparation of Rice Husk Fiber-based Polishing Pad

The preparation process was as follows: first, Rinse untreated rice husk fibers with deionized water. Then, bake in a hot air oven at 80°C until the fiber weight stabilizes. Put the fibers into the blender to reduce the size and screen the size through an 80 mesh sieve (Mesh80) and then prepare the polyurethane by mixing the ratio of A=polyol and B=Prepolymer ended capping with isocyanate 1.6 : 1. Rice husk fiber was added in the polyurethane containing 0, 2.5, 5, 7.5 and 10 (Part per hundred resin; phr). After the rice husk fiber was wholly added, the mixture was poured into the mold for 24 hours, as shown in Fig. 1, and then the polishing pad was removed from the mold. A rice husk fiber-based polishing pad was obtained.

B. Mechanical Properties Test

- Hardness was measured using a Shore durometer (shore A, ASTM D 2240) pressed onto the workpiece at 15 points across the polishing pad. Then, the average value and standard deviation are calculated.

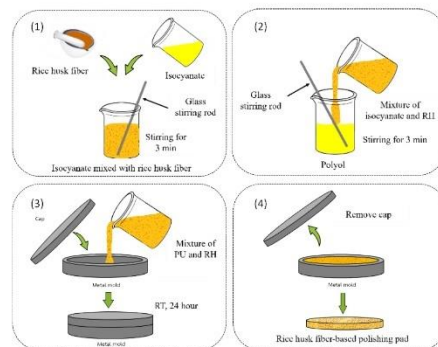


Fig. 1. Preparation processes of rice husk fiber-based polishing pad.

- Abrasion resistance was performed by the DIN abrasion tester AT150 (DIN 53516), shown in Fig. 2, under conditions as follows: the downforce is 7.5 N, the wear wheel speed is 40 rpm/min, and the moving speed of the sample is 4.2mm/rotate. There are six workpieces, each sample with a diameter 15x16 mm cylinder test piece. The test focuses on the difference in mass measured before and after the test. Then, the average value and standard deviation are calculated.

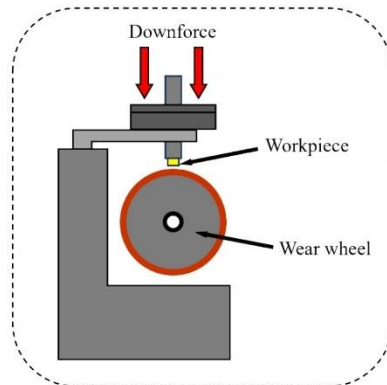


Fig. 2. Diagram of the DIN abrasion tester AT150 device.

III. RESULTS

A. Fiber-based Polishing Pad

Fig. 3 shows the polyurethane containing 0, 2.5, 5, 7.5, and 10 phr rice husks. It was found that the polishing pad could be formed and remain stable. The dispersion of the rice husk in the polishing pad is good, and the color of the polishing pad darkens according to the amount of rice husk added.

B. Mechanical Properties

- Hardness is shown in Fig. 4. The hardness of pure polyurethane is 46.13 (shore A). When adding rice husk to polyurethane at 2.5 phr, the hardness of the polishing pad decreased by 13.6%. However, the hardness of the polishing pad increased with increasing rice husk fiber until the hardness returned nearly to polyurethane at 10 phr.
- Abrasion resistance is shown in Fig. 5. The Abrasion resistance pure polyurethane is 0.666 g. When rice husk was added, the abrasion resistance of the rice husk fiber-based polishing pad decreased accordingly. The rice husk fiber-base polishing pad content of 5 and 10 phr rice husk fiber gave the lowest abrasion resistance at 1.021 g.

C. Order of Mixing

Fig.6 shows the hardness of each order to mix polyurethane and rice husk fiber. The hardness of pure polyurethane is 60.07 (shore A). The hardness of polyurethane tends to decrease when rice husks are added. Orders ((RH+B) +A), ((RH+A) +B), and ((A+B) +RH) had a lower hardness compared to polyurethane by 6%, 4.2%, and 9.2%, respectively.

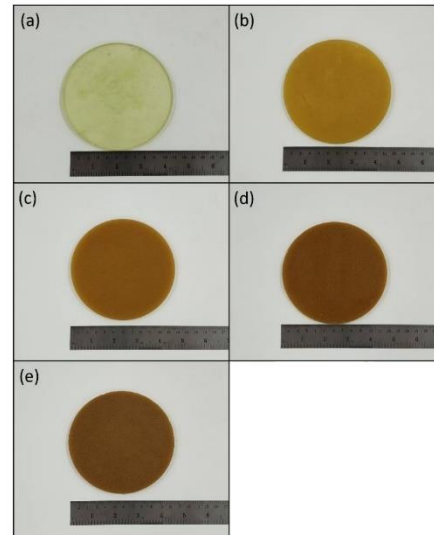


Fig. 3. Images of (a) pure polyurethane and rice husk fiber-based polishing pad containing (b) 2.5 phr rice husk, (c) 5 phr rice husk, (d) 7.5 phr rice husk, (e) 10 phr rice husk.

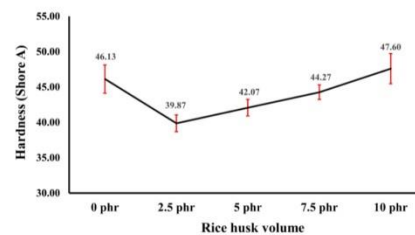


Fig. 4. The relationship between hardness and rice husk fiber added to the polishing pad.

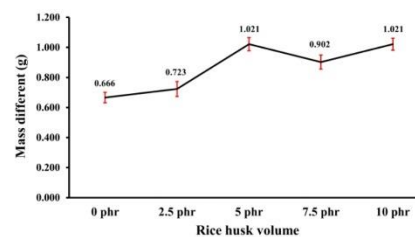


Fig. 5. The abrasion resistance of rice husk fiber-based polishing pad.

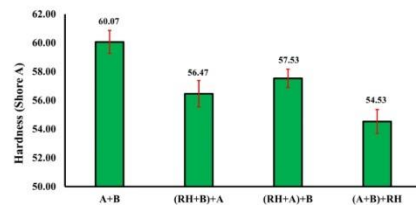


Fig. 6. Order of mixing polyurethane and rice husk content of 2.5 phr rice husk fiber by mixing the ratio 1.2 : 1. [A] = Polyol, [B] = Isocyanate, RH = Rice husk fiber.

IV. DISCUSSION

To test mechanical properties, this research aims to study rice husk fiber-based polishing pads containing 0, 2.5, 5, 7.5, and 10 phr rice husk. We found that a polishing pad could be formed and stable because the polyurethane is the binder that holds the rice husk together. The rice husk in polishing pads is distributed evenly.

From the mechanical properties results, hardness decreased immediately with the mass content of rice husk ranging from 0 phr to 2.5 phr. All hardness values of the rice husk fiber-based polishing pad containing rice husk decreased compared to the pure polyurethane pad except for 10 phr. The reduced hardness may be from the OH in the rice husk's cellulose part, and the isocyanate's NCO has more interaction. This would block the OH groups of polyols from being accessible to isocyanate, thus decreasing urethane linkage from polyurethane [14]. When rice husk is added, the hardness increases linearly until the content of rice husk reaches 10 phr due to the rice husk fiber acting as a reinforcing material. [10,14].

The abrasion of the rice husk fiber-based polishing pad is shown in Fig. 5. The polishing pad containing rice husk leads to reduced abrasion resistance. This trend is also due to the smaller size of rice husk fiber, giving rise to a larger surface area and improving the tensile modulus in polyurethane [14]. This would render more elastomers to the rice husk fiber-based polishing pad [11]. Moreover, the rice husk is in powder form that could not tie matrix material together. The higher abrasion resistance at 7.5 phr than 5 and 10 phr may be due to the balance of the reaction and the relationship between rice husk fiber and polyurethane.

The mixing ratio between A and B must be changed to observe the influence of OH from rice husk fiber reacting with NCO. Fig. 6 shows the three orders for mixing polyurethane and rice husk to prove the influence of the OH group from rice husk fiber. The two polyurethane components have an OH group from polyol and an NCO group from isocyanate. From the first order ((RH+B)+A), OH from rice husk has interacted with NCO before; thus, there is not enough NCO to interact with OH from polyol.

But the second order ((RH+A)+B) could gain more hardness than the first mixing order because the OH from rice husk fiber couldn't interact with OH from polyol. After that, the NCO from isocyanate tends to interact more with polyols. The third order ((A+B)+RH) may be explained for two reasons: on the one hand, the increased curing urethane linkage leads to decreased interaction between the NCO and OH from rice husk fiber. On the other hand, the increased viscosity from increasing curing urethane linkage, thus making less interlock between polyurethane and rice husk contact surface. It is causing a decrease in hardness and abrasion resistance for several reasons. From the analysis of Figure 4 and Figure 6, it was found that the decrease in hardness values between pure polyurethane and the ratio of 2.5 phr were similar. This indicates that the decreased NCO interacts with OH from rice husk fiber.

V. CONCLUSIONS

From this research, it can be concluded that rice husk directly affects the mechanical properties of polyurethane. As the content of rice husk fiber increases, the hardness of the rice husk fiber-based polishing pad first decreases and then increases nearly pure polyurethane at the content of 10 phr rice husk fiber. When rice husk fiber is added, the abrasion resistance tends to decrease. At the content of 2.5 phr rice husk fiber, the hardness was reduced by 13.6%. At 5 and 10 phr rice husk fiber content, the abrasion resistance decreased from 0.666 g to 1.021 g.

VI. FUTURE PLAN

This research is the starting point for creating polishing pads from rice husk fibers. The researcher needs to conduct further studies and experiments to understand the potential of the rice husk fiber-based polishing pad to replace industrial polishing pads. Further study topics include material removal rate (MRR), surface roughness (Ra), and the modification of rice husk fiber.

ACKNOWLEDGMENT

This research was funded by King Mongkut's University of Technology North Bangkok. We would like to say thank you to Wantanan Kitikunanon for her help in this research.

REFERENCES

- [1] (2016) SunneryLED website. [Online]. Available: www.sunneryled.com/article/6
- [2] (2020) Thairath online website. [Online]. Available: https://www.thairath.co.th/money/economics/thailand_econ/1757591
- [3] S. Dai, H. Lei, and J. Fu, "Preparation of SiC/SiO₂ Hard Core-Soft Shell Abrasive and Its CMP Behavior on Sapphire Substrate," *Journal of Electronic Materials*, vol. 49, no. 2, pp. 1301–1307, 2020.
- [4] H. Lei, L. Q. Huang, and Q. Gu, "Synthesis of Zn-doped colloidal SiO₂ abrasives and their applications in sapphire chemical mechanical polishing slurry," *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 28, no. 2, 2017.

- 
- [5] B. Zhang, H. Lei, and Y. Chen, "Preparation of Ag₂O modified silica abrasives and their chemical mechanical polishing performances on sapphire," *Friction*, vol. 5, no. 4, 2017.
 - [6] M. Bahr, Y. Sampurno, R. Han, and A. Philipossian, "Slurry injection schemes on the extent of slurry mixing and availability during chemical mechanical planarization," *Micromachines*, vol. 8, no. 6, 2017.
 - [7] H. Lei and Q. Gu, "Preparation of Cu-doped colloidal SiO₂ abrasives and their chemical mechanical polishing behavior on sapphire substrates," *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 26, no. 12, 2015.
 - [8] P. Ma, H. Lei, and R. Chen, "Preparation of Mg-Doped colloidal silica abrasives and their chemical mechanical polishing performances on sapphire," *J. Nanosci. Nanotechnol.*, vol. 16, no. 9, 2016.
 - [9] S. Chansatarnpornkul, P. Khajornrungruang, & K. Suzuki, "Study on organic fibers in the polishing pad for sapphire chemical mechanical polishing". 2019 JSPE Autumn Conference, pp.18-19, 2022.
 - [10] N. Bun-athuck, S. Boripatkosol, A. Rattanapan, P. Khajornrungruang, K. Suzuki, and T. Somthong, "Natural fiber-based polishing pad for chemical mechanical polishing of sapphire substrate". *Journal of Science and Technology: for Local Development*, 2022.
 - [11] U. Boonsom, S. Boripatkosol, A. Rattanapan, N. Bun-athuek, and P. Boonsong, "Utilization of rice husk fiber and water hyacinth fiber forming polishing pad for sapphire chemical mechanical polishing (CMP)". *KKU Research Journal: Graduate Studies*, 2022.
 - [12] (2023) Bangkokbiznews website. [Online]. Available: <https://www.bangkokbiznews.com/business/1080192>
 - [13] I. B. Ugheoke and O. Mamat, "A critical assessment and new research directions of rice husk silica processing methods and properties," *Macjo International Journal of Science and Technology*, vol. 6, no. 3, 2012.
 - [14] H. D. Rozman, L. Musa, and A. Abubakar, "The mechanical and dimensional properties of rice husk-unsaturated polyester composites," *Polym. - Plast. Technol. Eng.*, vol. 44, no. 3, pp. 489–500, 2005.

ผลกระทบของการปรับปรุงเส้นใยกลบข้าวที่มีต่อคุณสมบัติของแผ่นขัดจากเส้นใย กลบข้าวผสมพอลิยูรีเทน

ไมโท เกษสุวรรณ^{1*} ณัฐพล บุญอึ้ง¹ ณัฐพงษ์ สุขวิวัฒน์¹ สิริวรรณ บริพัตรโกศล¹ ฉันทพิชา พารุ่ง¹
ธรรมรัตน์ สมทอง² และนรินทร์ จันทวงศ์²

¹วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

²สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (ประเทศไทย)

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ อีเมล : s6503017810075@email.kmutnb.ac.th

วันที่รับบทความ 26 สิงหาคม 2567

วันที่แก้ไขบทความ 18 มกราคม 2568

วันที่ตอบรับบทความ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการปรับปรุงเส้นใยกลบข้าวผสมพอลิยูรีเทนด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยกลบข้าวขนาด 80 mesh จะถูกนำไปผสมกับพอลิยูรีเทนในอัตราส่วน 0 2.5 5 7.5 10 และ 12.5 phr เพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นขัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 มม.หนา 5 มม. จากนั้นนำไปวัดค่าความแข็งของแผ่นขัดแล้วจึงนำไปทดสอบค่าความต้านทานการขัดถูด้วยชิ้นงานทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มม. สูง 16 มม. และตัดแบ่งแผ่นขัดให้มีน้ำหนัก 10 กรัม เพื่อทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำ จากผลการวิจัยพบว่า พอลิยูรีเทนผสมกลบข้าวชนิดต่าง ๆ สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นขัดได้ โดยแผ่นขัดจากกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกและจากกลบข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงมีค่าความแข็งไม่ต่างกันอย่างมากมีนัยสำคัญ ในขณะที่แผ่นขัดจากกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีค่าความต้านทานการขัดถูสูงและดูดซึมน้ำน้อยกว่าแผ่นขัดจากกลบข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุง ตรงข้ามกับแผ่นขัดจากกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์พบว่า แผ่นขัดมีค่าความแข็งลดลงในทุกอัตราส่วน ถึงแม้ว่าค่าความต้านทานการขัดถูเพิ่มขึ้นแต่การดูดซึมน้ำก็เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นกระบวนการปรับปรุงกลบข้าวด้วยกรดไฮโดรคลอริกส่งผลให้แผ่นขัดมีค่าความต้านทานการขัดถูดีขึ้นดูดซึมน้ำได้น้อยลง และไม่ส่งผลต่อค่าความแข็ง

คำสำคัญ : กลบข้าว ปรับปรุง แผ่นขัด สมบัติ

Effects of Rice Husk Fiber Treatment on the Polishing Pad from Rice Husk Fiber Mixed with Polyurethane.

Mighttho Ketsuwan^{1,*} Natthaphon Bun-athuek¹ Nathapong Sukhawipat¹ Siriwan Boripatkosol¹
Chanthapichaya Parung¹ Thammarat Somthong² and Narin chanthawong²

¹College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

²National Institute of Metrology (Thailand)

*Corresponding author e-mail: s6503017810075@email.kmutnb.ac.th

Received: August 26, 2024

Revised: January 18, 2025

Accepted:

Abstract

This research aimed to study the effects of treating rice husk fiber with hydrochloric acid and sodium hydroxide mixed with polyurethane on the properties of polishing pads. Rice husk fibers, sized to 80 mesh, were mixed with polyurethane at ratios of 0, 2.5, 5, 7.5, 10, and 12.5 parts per hundred resin (phr) to create polishing pads with a diameter of 120 mm and thickness of 5 mm for hardness testing. Abrasion resistance was assessed using cylindrical specimens with a diameter of 15 mm and height of 16 mm, while water absorption tests were conducted on 10 g samples of the polishing pads. The results indicated that polyurethane mixed with each type of rice husk treatment could be molded into a polishing pad. The hardness of the pads made from rice husks treated with hydrochloric acid and untreated husks showed no significant difference. However, the polishing pads made from hydrochloric acid-treated rice husks exhibited higher abrasion resistance and lower water absorption compared to those made from untreated husks. In contrast, polishing pads made with sodium hydroxide-treated rice husks demonstrated decreased hardness across all ratios, although their abrasion resistance and water absorption both increased. From the research study, it can be concluded that treating rice husks with hydrochloric acid improved abrasion resistance and reduced water absorption without affecting hardness.

Keywords: rice husk, treatment, polishing pad, properties

ภาพที่ ก-7 บทความที่ได้ตีพิมพ์ในวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

1. บทนำ

ปัจจุบันมนุษย์เริ่มต้นตัวเกี่ยวกับภาวะโลกร้อนที่นับวันจะยิ่งรุนแรงมากขึ้น ทั้งภาครัฐและเอกชนต่างพยายามเสนอนโยบายประหยัดพลังงานต่าง ๆ เช่น การเลือกเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีฉลากประหยัดไฟ การปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าหรือถอดปลั๊กเมื่อไม่ได้ใช้งาน แต่ยังมีเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่ใช้พลังงานอย่างต่อเนื่องมากที่สุดที่มนุษย์มีอาจขาดได้ นั่นก็คือหลอดไฟซึ่งให้แสงสว่างยามค่ำคืนเป็นตัวขับเคลื่อนเศรษฐกิจและวิถีชีวิตของมนุษย์ ในอดีตหลอดไฟมักทำมาจากหลอดไส้โลหะความร้อนหรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูง เมื่อเมืองและเศรษฐกิจมีการขยายตัวความต้องการแสงสว่างจึงเพิ่มมากขึ้น กิจกรรมเหล่านี้ล้วนเป็นตัวเร่งภาวะโลกร้อน มนุษย์จึงเริ่มแสวงหาวิธีที่จะประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการส่องสว่างจนกระทั่งมนุษย์คิดค้นหลอดไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode: LED) ด้วยอัตราการใช้พลังงานต่ำและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าหลอดไฟชนิดอื่น ๆ ทำให้หลอดไฟ LED ได้รับความนิยมมากขึ้น ปัจจุบันจึงมีความต้องการหลอดไฟ LED ที่สูงขึ้น [1] ทำให้ความต้องการของซัพไฟร์ (sapphire) ซึ่งเป็นส่วนประกอบฐานของหลอดไฟ LED สูงขึ้น โดยซัพไฟร์ที่นำมาใช้จะมีลักษณะเป็นแผ่นบางและจำเป็นต้องมีคุณภาพพื้นผิวที่สูง

อย่างไรก็ตาม ซัพไฟร์เป็นวัสดุที่มีความแข็งสูง ทนความร้อนได้ดี มีความเสถียรทางเคมีสูง จึงต้องใช้กระบวนการขัดผิวแบบใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกล (Chemical Mechanical Polishing: CMP) ในกระบวนการผลิตแผ่นซัพไฟร์ดังกล่าว [2], [3], [4] ซึ่งในการขัดผิวซัพไฟร์ด้วยกระบวนการใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกลนั้นวัสดุสิ้นเปลืองอยู่ 2 ชนิด คือ สารละลายขุ่น (slurry) และแผ่นขัด (polishing pad) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 50 ของค่าใช้จ่ายในการผลิตทั้งหมด [5]

มีการวิจัยศึกษาเกี่ยวกับการสร้างแผ่นขัดจากเส้นใยธรรมชาติเพื่อที่จะลดต้นทุนของการขัดผิวซัพไฟร์และลดต้นทุนการผลิตให้กับหลอดไฟ LED โดยก่อนหน้านี้ได้มีการทดลองสร้างแผ่นขัดจากเส้นใยธรรมชาติ 4 ชนิด พบว่า เส้นใยชานอ้อยและใผ่สามารถขัดผิวซัพไฟร์ได้ดี เนื่องจากมีซิลิกาเป็นส่วนประกอบ ในขณะที่เส้นใยกล้วยและสับปะรดที่ไม่มีซิลิกาเป็นส่วนประกอบนั้นไม่สามารถขัดผิวซัพไฟร์ได้ [6] ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยที่สร้างแผ่นขัดจากเส้นใยฟางข้าวและเส้นใยกาบมะพร้าวพบว่า แผ่นขัดที่ทำจากวัสดุทดแทนทั้ง 2 ชนิดสามารถขัดผิวซัพไฟร์ได้ เนื่องจากเส้นใยฟางข้าวและกาบมะพร้าวมีส่วนประกอบของซิลิกาในปริมาณสูง ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยดังกล่าวพบว่า แผ่นขัดที่สร้างจากวัสดุธรรมชาติที่มีซิลิกาเป็นส่วนประกอบในปริมาณสูงจะมีประสิทธิภาพในการขัดผิวซัพไฟร์ที่ดี [7] โดยประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกข้าวมากที่สุดเป็นอันดับ 2 ของโลก ในปี พ.ศ. 2565 [8] จึงมีแกลบข้าวที่เป็นเศษเหลือจากกระบวนการสีข้าวเป็นจำนวนมาก ซึ่งที่ผ่านมาได้มีความพยายามนำแกลบข้าวไปใช้ประโยชน์ทั้งในด้านเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม เช่น การปรับปรุงสภาพดิน การทำปุ๋ยหมัก การใช้เป็นส่วนผสมในการทำอิฐ และถ่านอัดแท่ง เป็นต้น โดยสามารถเตรียมได้จากแกลบข้าวคิดเป็น 17% โดยน้ำหนักของแกลบข้าวซึ่งมีซิลิกาที่เตรียมได้จากแกลบอยู่ 94% และมีลักษณะเป็นอสัณฐาน [9]

จากงานวิจัยข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดว่ากลบข้าวจะเป็นวัสดุจากธรรมชาติที่เหมาะสมสำหรับสร้างแผ่นขัดทดแทน เนื่องด้วยซิลิกาจากกลบข้าวมีทั้งความบริสุทธิ์และมีปริมาณซิลิกาสูงกว่าเส้นใยชนิดอื่น ๆ อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแผ่นขัดจากเส้นใยธรรมชาติที่ผ่านมายังไม่มีการกล่าวถึงกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย ซึ่งอาจเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของแผ่นขัด เช่น ลดการดูดซับน้ำ เพิ่มค่าความแข็งและความต้านทานการขีดของแผ่นขัด ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและทดสอบคุณสมบัติของแผ่นขัดที่ทำจากเส้นใยกลบข้าวผสมพอลิยูรีเทนตามหลักการอิทธิพลการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมกับพอลิยูรีเทนในอัตราส่วนต่าง ๆ ซึ่งมีขอบเขตการวิจัยดังนี้ ใช้เส้นใยกลบข้าวขนาด 80 mesh ใช้อัตราส่วนผสมกลบข้าวกับพอลิยูรีเทนที่ 0 2.5 5 7.5 10 และ 12.5 phr โดยทดสอบ ค่าความแข็ง ค่าความต้านทานการขีดและความสามารถในการดูดซับน้ำ เพื่อศึกษาอิทธิพลของกระบวนการปรับปรุงที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของแผ่นขัด

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 การปรับปรุงกลบข้าว

ใช้เส้นใยกลบข้าว (Rice Husk: RH) มาล้างด้วยน้ำกลั่น (distilled water) แล้วจึงนำไปอบในตู้อบลมร้อน (oven air) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักของเส้นใยคงที่ นำเส้นใยกลบข้าวที่แห้งแล้วเข้าเครื่องปั่นเพื่อลดขนาด จากนั้นนำไปคัดแยกขนาดโดยร่อนผ่านตะแกรงกรองเบอร์ 80 (mesh 80) หลังจากนั้นแบ่งกลบข้าวไปแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นของสาร 1 โมล ในอัตราส่วนกลบข้าวต่อสารละลายอยู่ที่ 10 กรัม : 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นนำกลบข้าวมากรองผ่านตะแกรงและล้างด้วยน้ำกลั่นให้ค่า pH อยู่ระหว่าง 6.5 – 7.5 แล้วจึงนำกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุง นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แสดงใน Fig. 1.

2.2 การเตรียมแผ่นขัด

เตรียมพอลิยูรีเทน (Polyurethane: PU) ชนิด 2 ส่วน โดยกำหนดอัตราส่วนผสมระหว่าง A = polyols และ B = prepolymer ended capping with isocyanate อยู่ที่ 1.6 : 1 เป็นอัตราส่วนที่ผู้ผลิตกำหนดให้ค่าความแข็งของพอลิยูรีเทนอยู่ที่ 40 shore A จากนั้นนำเส้นใยกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงมาแล้วผสมเข้ากับไอโซไซยานเตในอัตราส่วน 0 2.5 5 7.5 10 และ 12.5 ส่วนในร้อยส่วนของเรซิน (Part per Hundred Resin: phr) แล้วจึงผสมเข้ากับพอลิอีโธลตามอัตราส่วนที่กำหนด จากนั้นเทลงบนแม่พิมพ์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 มม.หนา 5 มม. ปิดฝาแม่พิมพ์ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำแผ่นขัดออกจากแม่พิมพ์ แสดงใน Fig. 2.

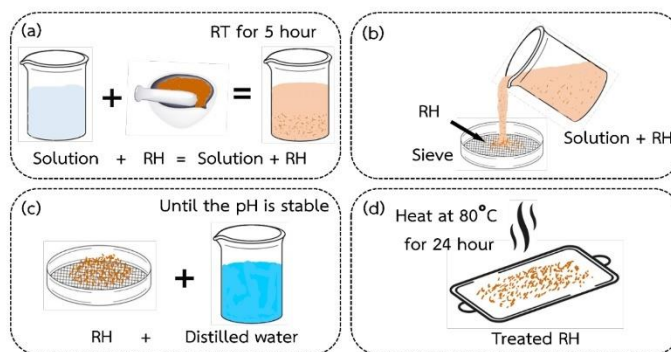


Fig. 1. Rice husks treatment process.

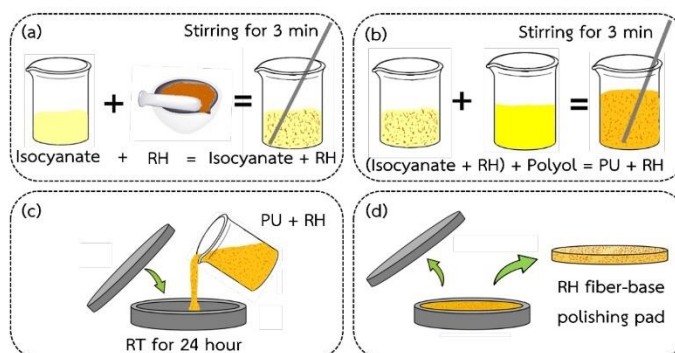


Fig. 2. Preparation of rice husk fiber-based polishing pads.

2.3 การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นขัด

2.3.1 ค่าความแข็ง (hardness) ทดสอบโดยใช้เครื่องวัดความแข็ง (shore durometer) แบบ (shore A) ด้วยมาตรฐาน ASTM D 2240 วัดโดยกดลงบนแผ่นขัด 15 จุดทั่วทั้งแผ่นขัดจากนั้นจึงคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.3.2 ความต้านทานต่อการขัดถู (abrasion resistance) ทดสอบโดยเครื่องทดสอบการขัดถู DIN abrasion tester AT150 ด้วยมาตรฐาน DIN 53516 ภายใต้เงื่อนไขทดสอบ แรงกดหัวทดสอบ 7.5 N ความเร็วล้อหมุน 40 รอบ/นาที และความเร็วในการเคลื่อนที่ของตัวอย่าง 4.2 มม./รอบหมุน ชิ้นงานทดสอบมีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มม. สูง 16 มม. โดยมีชิ้นงานทดสอบชนิดละ 3 ตัวอย่าง ชิ้นงานจะถูกชั่งน้ำหนักก่อนทดสอบเพื่อหาค่าความต่างมวลที่วัดได้หลังการทดสอบ จากนั้นจึงคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.3.3 การดูดซึมน้ำ (water absorption) ทดสอบโดยตัดแบ่งแผ่นขัดให้มีน้ำหนัก 10 กรัม ชนิดละ 3 ตัวอย่าง แช่น้ำทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นงานไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณน้ำหนักของน้ำที่เส้นใยดูดซึม แล้วจึงนำค่ามาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการเตรียมแผ่นขัด

Fig. 3. แสดงถึงแผ่นขัดที่สร้างจากพอลิยูรีเทนผสมเกล็ดข้าวและจากพอลิยูรีเทนผสมเกล็ดข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในอัตราส่วน 0 2.5 5 7.5 10 และ 12.5 phr พบว่า แผ่นขัดสามารถขึ้นรูปตามแบบได้ดีไม่มีเส้นใยเกล็ดข้าวหลุดร่อนออกมาและมีการกระจายตัวของเกล็ดข้าวในแผ่นขัดที่ดี โดยที่บริเวณพื้นผิวด้านบนมีฟองอากาศเล็กน้อย สีของแผ่นขัดจากเส้นใยเกล็ดข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงนั้นมีความเข้มแตกต่างกันเมื่อเทียบกับแผ่นขัดที่ทำจากเส้นใยเกล็ดข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการปรับปรุง โดยแผ่นขัดจากเส้นใยเกล็ดข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความเข้มขึ้น ในขณะที่แผ่นขัดจากเส้นใยเกล็ดข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีสีที่อ่อนลง และแผ่นขัดทุกชนิดมีแนวโน้มที่สีจะเข้มขึ้นเมื่อปริมาณเกล็ดข้าวมากขึ้น

	0 phr	2.5 phr	5 phr	7.5 phr	10 phr	12.5 phr
Non-Treated						
NaOH						
HCl						

Fig. 3. Appearance of polishing pads with various non-treated, NaOH and HCl treated rice husk content from 0 – 12.5 phr.

3.2 ผลการทดสอบค่าความแข็ง

ค่าความแข็งของเส้นใยทั้ง 3 ชนิด แสดงใน Fig. 4. พบว่า แผ่นขัดที่ทำมาจากพอลิยูรีเทนอย่างเดียว มีค่าความแข็งอยู่ที่ 46.13 shore A โดยแผ่นขัดทุกชนิดมีค่าความแข็งต่ำสุดที่อัตราส่วนแกลบข้าว 2.5 phr ค่าความแข็งของแผ่นขัดที่สร้างจากแกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกและไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงมีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณแกลบข้าวที่เพิ่มขึ้นสูงสุดที่อัตราส่วน 10 phr และค่าลดลงที่อัตราส่วน 12.5 phr ตามลำดับ ในขณะที่ แผ่นขัดที่สร้างจากแกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์พบว่าปริมาณแกลบข้าวที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งของแผ่นขัดอย่างมีนัยสำคัญ

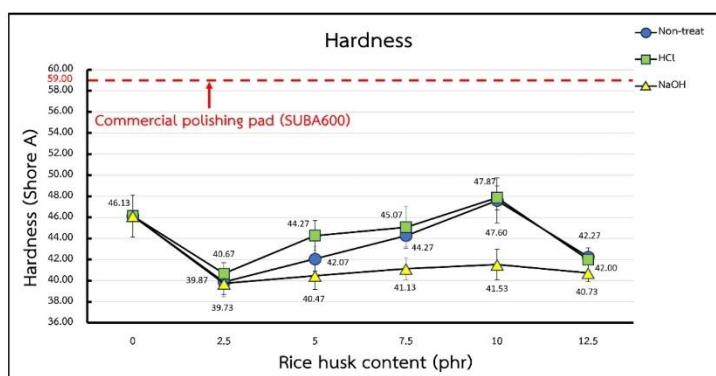


Fig. 4. Hardness of polishing pads with various non-treated, NaOH and HCl treated rice husk content from 0 – 12.5 phr.

3.3 ผลการทดสอบค่าความต้านทานการขัดถู

ค่าความต้านทานการขัดถูของเส้นใยทั้ง 3 ชนิด แสดงใน Fig. 5. พบว่า แผ่นขัดที่ทำมาจากพอลิยูรีเทนอย่างเดียว มีค่าความต้านทานการขัดถูอยู่ที่ 0.666 กรัม โดยแผ่นขัดพอลิยูรีเทนผสมแกลบข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงมีค่าความต้านทานการขัดถูลดลงในทุกชนิดและต่ำสุดที่อัตราส่วน 12.5 phr ในขณะที่แผ่นขัดที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกค่าความต้านทานการขัดถูมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยมีค่าความต้านทานการขัดถูดีขึ้นในทุกอัตราส่วนและสูงสุดที่อัตราส่วน 7.5 phr แผ่นขัดที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าความต้านทานการขัดถู เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตามอัตราส่วนแกลบข้าวที่เพิ่มขึ้น

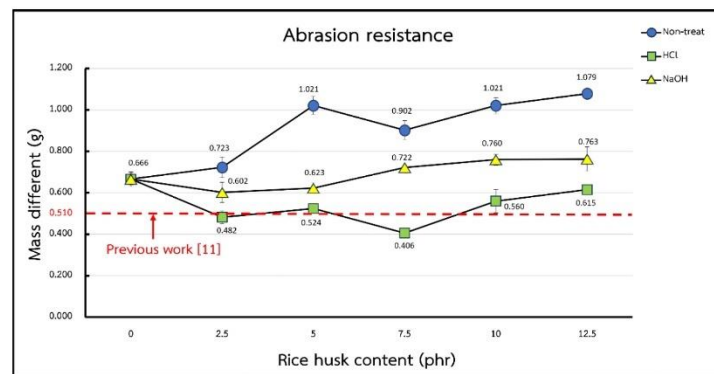


Fig. 5. Abrasion resistance of polishing pads with various non-treated, NaOH and HCl treated rice husk content from 0 – 12.5 phr.

3.4 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ

Fig. 6. แสดงถึงปริมาณการดูดซึมน้ำของแผ่นขัดพบว่า แผ่นขัดที่ทำมาจากพอลิยูรีเทนอย่างเดียวไม่สามารถดูดซึมน้ำได้ โดยแผ่นขัดทุกชนิดจะมีความสามารถในการดูดซึมน้ำสูงขึ้นเมื่อปริมาณแกลบข้าวเพิ่มมากขึ้น แผ่นขัดที่ทำจากแกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยไฮโดรอกไซด์ดูดซึมน้ำได้มากกว่าแผ่นขัดที่ทำจากแกลบข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุง และแผ่นขัดที่ทำจากแกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกตามลำดับ

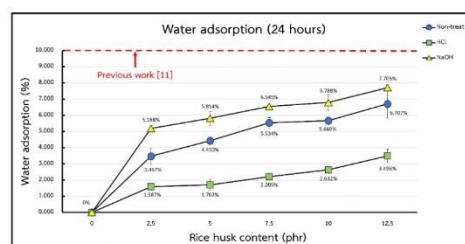


Fig. 6. Water absorption of polishing pads with various non-treated, NaOH and HCl treated rice husk content from 0 – 12.5 phr.

4. อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของเกลบข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงและผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมพอลิยูรีเทนที่อัตราส่วน 0 2.5 5 7.5 10 และ 12.5 phr พบว่า แผ่นขัดสามารถขึ้นรูปและคงตัวได้เนื่องจากพอลิยูรีเทนทำหน้าที่เป็นวัสดุเสริมที่ยึดเกาะเกลบข้าวที่ผสมไว้ด้วยกัน นอกจากนี้ในแผ่นขัดมีการกระจายตัวของเกลบข้าวชนิดต่าง ๆ อย่างสม่ำเสมอเนื่องจากเส้นใยที่มีขนาดเล็กและมีลักษณะเป็นผงจึงกระจายตัวได้อย่างอิสระทั่วทั้งแผ่นขัด

จากผลของการทดสอบค่าความแข็งแรงพบว่า ค่าความแข็งแรงของแผ่นขัดลดลงทันทีเมื่อผสมเกลบข้าวทั้ง 3 ชนิดที่อัตราส่วน 2.5 phr เกิดจากไอโซไซยานตที่เป็นหนึ่งในส่วนประกอบของพอลิยูรีเทนทำปฏิกิริยากับเซลล์โลสในเกลบข้าว ในขณะที่ความสามารถในการแข็งตัวของพอลิยูรีเทนจำเป็นต้องพึ่งปริมาณไอโซไซยานตซึ่งแปรผันกับค่าความแข็งแรงของพอลิยูรีเทน เมื่อไอโซไซยานตมีปริมาณลดลงค่าความแข็งแรงของแผ่นขัดจึงลดลง ซึ่งเป็นไปในทางเดียวกับผลงานวิจัยก่อนหน้าของผู้วิจัย [10] ที่ได้ศึกษาคุณสมบัติของแผ่นขัดจากเส้นใยเกลบข้าวโดยสร้างแผ่นขัดจากเกลบข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงที่อัตราส่วนต่าง ๆ และได้ทำการปรับอัตราส่วนผสมของไอโซไซยานตเพื่อดูอิทธิพลของปริมาณไอโซไซยานตที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของแผ่นขัดจากเส้นใยเกลบข้าวพบว่า ไอโซไซยานตในพอลิยูรีเทนมีแนวโน้มที่จะเกิดปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลในพอลิยูรีเทนมากกว่าไฮดรอกซิลในเกลบข้าว แต่ไฮดรอกซิลในเกลบข้าวยังสามารถเข้าขัดขวางปฏิกิริยาการสร้างโครงข่ายยูรีเทน ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของแผ่นขัดที่ทำจากเกลบข้าวลดลง ประกอบกับเกลบข้าวที่นำมาใช้มีลักษณะเป็นผงขนาด 80 mesh ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสของเกลบข้าวเพิ่มมากขึ้นจึงมีปริมาณไฮดรอกซิลที่จะทำปฏิกิริยากับไอโซไซยานตได้มากกว่าเส้นใยที่มีขนาดใหญ่ สอดคล้องกับการสร้างแผ่นขัดจากเส้นใยเกลบข้าวและเส้นใยผักตบชวา ขนาด 30 40 และ 60 mesh ที่พบว่า ยิ่งเส้นใยมีขนาดเล็กลงค่าความแข็งแรงของแผ่นขัดก็จะมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน [11] เมื่อเพิ่มปริมาณเกลบข้าวมากขึ้นที่อัตราส่วน 5 7.5 และ 10 phr พบว่า ค่าความแข็งแรงของแผ่นขัดทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มสูงขึ้น ผลการทดลองข้างต้นเกิดจากเกลบข้าวที่ทำหน้าที่เป็นวัสดุเสริมแรงให้กับพอลิยูรีเทน ในขณะที่อัตราส่วน 12.5 phr ค่าความแข็งแรงของแผ่นขัดที่ทำจากเกลบข้าวทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มลดลงเกิดจากปริมาณเส้นใยเกลบข้าวที่มากเกินไปจนพอลิยูรีเทนไม่สามารถยึดเหนี่ยวเกลบข้าวไว้ด้วยกันได้ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณของเส้นใยในอัตราส่วนผสมของแผ่นขัดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงที่แตกต่างกัน โดยค่าความแข็งแรงของแผ่นขัดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของเส้นใยเพิ่มขึ้น [7] เช่นเดียวกับการพัฒนาและศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของหมวกทหารจากเส้นใยมะพร้าวผสมอีพ็อกซีเรซินพบว่า ค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นทำหน้าที่เป็นวัสดุเสริมแรง อย่างไรก็ตามเมื่อมีปริมาณเส้นใยมากเกินไปทำให้วัสดุเสริมที่มีไม่เพียงพอที่จะสามารถยึดเหนี่ยวเส้นใยเหล่านั้นได้ ส่งผลให้วัสดุคอมโพสิตมีค่าความแข็งแรงลดลง [12] เมื่อเปรียบเทียบแผ่นขัดที่ทำจากเกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกและไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงพบว่า ค่าความแข็งแรงของแผ่นขัดทั้ง 2 ชนิด ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่แผ่นขัดที่ทำจากเกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าความแข็งแรงต่ำที่สุดอาจมาจากการปรับปรุงด้วยกระบวนการดังกล่าวมีส่วนผสมของไฮดรอกไซด์ซึ่งทำปฏิกิริยากับไอโซไซยานตจึงทำให้ค่า

ความแข็งแรงรวมลดลงทั้งหมด เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับแผ่นขัดในอุตสาหกรรมจะพบว่า แผ่นขัดจากเกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกและไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุง ที่อัตราส่วน 10 phr มีค่าความแข็งแรงที่สุดและใกล้เคียงกันอยู่ที่ 47.87 และ 47.60 shore A ตามลำดับ มีค่าความแข็งแรงน้อยกว่าแผ่นขัดในอุตสาหกรรม SUBA 600 ที่มีค่าความแข็งแรงอยู่ที่ 80 asker หรือประมาณ 59 shore A [7] ซึ่งสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับแผ่นขัดได้โดยการเพิ่มอัตราส่วนไอโซไซยานตลงในแผ่นขัด

จากผลของค่าความต้านทานการขีดถูพบว่า แผ่นขัดจากเกลบข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงทุกอัตราส่วนมีความต้านทานการขีดถูลดลง เนื่องจากแผ่นขัดมีความแข็งแรงลดลงในช่วงอัตราส่วน 2.5 และ 5 phr จึงมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ส่งผลให้เมื่อทดสอบชิ้นงานเกิดการเสียดสีได้ง่ายส่งผลให้ค่าความต้านทานการขีดถูลดลง เมื่อปริมาณเกลบข้าวเพิ่มมากขึ้นเกลบข้าวที่มีลักษณะเป็นผงจึงไม่มีพื้นที่ผิวเพียงพอที่จะยึดวัสดุเมทริกซ์ไว้ด้วยกันได้ แผ่นขัดจึงมีความต้านทานการขีดถูลดลงต่ำสุดที่อัตราส่วน 12.5 phr สอดคล้องกับการปรับปรุงสมบัติความต้านทานการขีดถูของยางธรรมชาติด้วยการผสมพอลิเอทิลีน พบว่า การเติมปริมาณพอลิเอทิลีนมากเกินไปทำให้เกิดช่องว่างระหว่างยางธรรมชาติและพอลิเอทิลีนมากขึ้นความสามารถในการยึดเกาะจึงลดลง เมื่อได้รับแรงขีดถูจึงส่งผลให้เกิดการหลุดออกของชิ้นงานมากขึ้น [13] การเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานการขีดถูที่อัตราส่วน 7.5 phr อาจมาจากสมดุลระหว่างความสามารถในการยึดเกาะของเกลบข้าวและความสามารถในการเป็นวัสดุเสริมแรงของเกลบข้าว ถึงแม้ว่าค่าความแข็งแรงที่อัตราส่วน 7.5 phr จะน้อยกว่าที่อัตราส่วน 10 phr ก็ตาม ในขณะที่แผ่นขัดจากเกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีแนวโน้มค่าความต้านทานการขีดถูสูงขึ้นกว่าเกลบข้าวชนิดอื่น ๆ และสูงที่สุดที่อัตราส่วน 7.5 phr ซึ่งอาจมาจากกระบวนการปรับปรุงดังกล่าวสามารถกำจัดโลหะหนักหรือสิ่งแปลกปลอมบนพื้นผิวของเกลบข้าว จึงทำให้เกลบข้าวสามารถยึดเกาะวัสดุเมทริกซ์ได้ดีขึ้น ค่าความต้านทานการขีดถูของแผ่นขัดดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเกลบข้าวเพิ่มขึ้นที่อัตราส่วน 10 และ 12.5 phr สอดคล้องกับผลของค่าความต้านทานการขีดถูของแผ่นขัดจากเกลบข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุง ค่าความต้านทานการขีดถูของแผ่นขัดจากเกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยไฮโดรอกไซด์มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตามปริมาณเกลบข้าวที่เพิ่มขึ้นโดยเพิ่มขึ้นที่อัตราส่วน 2.5 และ 5 phr และลดลงที่อัตราส่วน 7.5 10 และ 12.5 phr เนื่องจากค่าความแข็งแรงของแผ่นขัดลดลงทำให้แผ่นขัดมีความยืดหยุ่นสูงและไม่เกิดการลื่นไถลส่งผลให้แผ่นขัดเสียดสีกว่าแผ่นขัดชนิดอื่น ๆ ในระหว่างทดสอบ อย่างไรก็ตามการปรับปรุงเกลบข้าวด้วยกระบวนการดังกล่าวส่งผลให้ผิวเกลบข้าวมีความขรุขระมากขึ้นเกลบข้าวจึงสามารถยึดเกาะกับพอลิยูรีเทนได้มากขึ้น ค่าความต้านทานการขีดถูจึงสูงกว่าแผ่นขัดจากเกลบข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการปรับปรุงเส้นใยเกลบข้าวด้วยเคมีสำหรับวัสดุคอมโพสิต กล่าวว่าการปรับปรุงเส้นใยเกลบข้าวด้วยไฮโดรอกไซด์ ส่งผลให้เกลบข้าวมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นเกลบข้าวจึงสามารถยึดเกาะวัสดุเมทริกซ์ได้ดีขึ้น [14] เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้จะพบว่า แผ่นขัดจากเกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่อัตราส่วน 7.5 phr มีค่าความต้านทานการขีดถูสูงที่สุดอยู่ที่ 0.406 กรัม ซึ่งสูงกว่า แผ่นขัดจากเกลบข้าว ขนาด 60 mesh ที่มีค่าความต้านทานการขีดถูอยู่ที่ 0.51 กรัม [11]

จากผลของการทดสอบการดูดซึมน้ำพบว่า แผ่นซีตที่ทำจากพอลิยูรีเทนอย่างเดียวไม่สามารถดูดซึมน้ำได้ ขณะที่แผ่นซีตผสมเกลบข้าวทั้ง 3 ชนิด สามารถดูดซึมน้ำได้ นอกจากนี้ปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้แปรผันตามปริมาณเกลบข้าวที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากเกลบข้าวเป็นวัสดุจากธรรมชาติที่ประกอบไปด้วย เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ซึ่งล้วนมีส่วนประกอบของผนังเซลล์ที่สามารถดูดซึมน้ำได้ แผ่นซีตที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยไฮโดรอกไซด์มีค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำสูงเนื่องจากกระบวนการดังกล่าวสามารถลดสัดส่วนของลิกนินและเฮมิเซลลูโลสในเกลบข้าว ซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกับการปรับปรุงเส้นใยเกลบข้าวและเส้นใยปอกระเจ้ายด้วยไฮโดรอกไซด์สำหรับผสมกับวัสดุพอลิเมอร์ที่รายงานไว้ เกลบข้าวประกอบไปด้วย เซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลส, ลิกนิน, ซิลิกา และ แร่พืช โดยผลกระทบจากการปรับปรุงเกลบข้าวด้วยไฮโดรอกไซด์ส่งผลให้ ปริมาณ เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้เกลบข้าวมีปริมาณเซลลูโลสสูงขึ้น เส้นใยเกลบข้าวจึงดูดน้ำได้มากขึ้น [15] ตรงข้ามกับกระบวนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ดูดซึมน้ำได้น้อยที่สุด เนื่องจากกระบวนการข้างต้นมีการขจัดโลหะหนักที่ผิวของเกลบข้าวส่งผลให้หมู่ไอออนที่มีขั้วหลุดออกไปด้วย [16] และเซลลูโลสภายในเส้นใยมีความเป็นผลึกมากขึ้น [17] ทำให้น้ำแทรกตัวเข้าไประหว่างเซลล์ได้ยากขึ้นประกอบกับกระบวนการดังกล่าวทำให้เกลบข้าวไม่มีขั้ว ซึ่งส่งผลให้เกลบข้าวละลายน้ำได้ยากขึ้น ซึ่งอาจส่งผลให้ความสามารถในการดูดซึมน้ำลดลงได้ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้จะพบว่า แผ่นซีตจากเกลบข้าวทุกชนิดดูดซึมน้ำได้น้อยกว่าแผ่นซีตที่ทำจากเส้นใยผักตบชวา ที่ดูดซึมน้ำอยู่ที่ 10% ซึ่งส่งผลให้แผ่นซีตเกิดการขยายตัวและไม่สามารถใช้งานต่อได้ [11]

5. สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาแผ่นซีตจากพอลิยูรีเทนที่ผสมเกลบข้าวทั้ง 3 ชนิดสรุปได้ว่า แผ่นซีตสามารถขึ้นรูปและคงตัวได้ดีไม่มีการหลุดร่อนของเกลบข้าว กระบวนการปรับปรุงเส้นใยเกลบข้าวส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของแผ่นซีต โดยกระบวนการปรับปรุงเกลบข้าวด้วยกรดไฮโดรคลอริก ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของแผ่นซีตไม่แตกต่างกับแผ่นซีตจากเกลบข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามกระบวนการดังกล่าวยังส่งผลให้แผ่นซีตมีความต้านทานการขีดถูสูงกว่าและดูดซึมน้ำน้อยกว่าแผ่นซีตจากเกลบข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุง ตรงกันข้ามกับกระบวนการปรับปรุงเกลบข้าวด้วยไฮโดรอกไซด์ ที่ส่งผลให้แผ่นซีตมีค่าความแข็งแรงลดลงในทุกอัตราส่วน ถึงแม้ว่าค่าความต้านทานการขีดถูของแผ่นซีตชนิดดังกล่าวจะสูงกว่าแผ่นซีตจากเกลบข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุง แต่ความสามารถในการดูดซึมน้ำกลับเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นกระบวนการปรับปรุงเกลบข้าวด้วยกรดไฮโดรคลอริกส่งผลให้แผ่นซีตมี ค่าความต้านทานการขีดถูดีขึ้น ดูดซึมน้ำได้น้อยลง และไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของกระบวนการปรับปรุงดังกล่าวจึงเหมาะสมสำหรับเพิ่มคุณสมบัติให้กับแผ่นซีตได้มากกว่ากระบวนการปรับปรุงเกลบข้าวด้วยไฮโดรอกไซด์

5.1 ข้อเสนอแนะ

เพื่อเป็นการเพิ่มความเข้าใจผลกระทบของการปรับปรุงเกลบข้าวสำหรับแผ่นซีตซีพีไฟร์ ควรเพิ่มการวิเคราะห์ผลกระทบในเชิงเคมีของเกลบข้าวที่มีผลต่อพอลิยูรีเทน ควรศึกษาผลกระทบของการปรับปรุงเส้นใย

แกลบข้าวที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และควรศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของแผ่นขัดจากแกลบข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงชนิดต่าง ๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) เพื่อดูลักษณะพื้นผิวของแกลบข้าวและความเข้ากันได้ระหว่างแกลบข้าวและพอลิยูรีเทน

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณหน่วยงานประลองวัดละเอียดและสอบเทียบขนาด และสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพอลิเมอร์ และอุตสาหกรรมยาง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่อำนวยความสะดวกสถานที่และอุปกรณ์ในการทดสอบชิ้นงาน

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Suriyothin "LED: a Bright and Colourful Light Source ... that Needs to Be Veried," *Academic Journal of Architecture*. Chulalongkorn University, vol. 60, pp. 11-24, 2011. (in Thai)
- [2] B. Zhang, H. Lei, and Y. Chen, "Preparation of Ag₂O modified silica abrasives and their chemical mechanical polishing performances on sapphire," *Friction*, vol. 5, no. 4, 2017,
- [3] S. Dai, H. Lei, and J. Fu, "Preparation of SiC/SiO₂ Hard Core-Soft Shell Abrasive and Its CMP Behavior on Sapphire Substrate," *Journal of Electronic Materials*, vol. 49, no. 2, pp. 1301–1307, 2020. doi: 10.1007/s11664-019-07683-9.
- [4] H. Lei, L. Q. Huang, and Q. Gu, "Synthesis of Zn-doped colloidal SiO₂ abrasives and their applications in sapphire chemical mechanical polishing slurry," *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 28, no. 2, 2017, doi: 10.1007/s10854-016-5650-7
- [5] M. Bahr, Y. Sampurno, R. Han, and A. Philipossian, "Slurry injection schemes on the extent of slurry mixing and availability during chemical mechanical planarization," *Micromachines*, vol. 8, no. 6, 2017, doi: 10.3390/mi8060170.
- [6] S. Chansatarnpornkul, P. Khajornrungruang, & K. Suzuki, "Study on organic fibers in the polishing pad for sapphire chemical mechanical polishing," in *JSPE Autumn Conference*, Sep. 4-6, 2019, pp. 18-19.
- [7] N. Bun-athuek, S. Boripatkosol, A. Rattanapan, P. Kajornrungruang, K. Suzuki, and T. Somthong, "Natural fiber-based polishing pad for chemical mechanical polishing of sapphire substrate," *Journal of Science and Technology: for Local Development*, vol. 1, pp. 99-116, 2022. (in Thai)



- [8] S. Janepittaya, "Where are Thai rice exports in the world market in an era when 'India-Vietnam' are still strong," Bangkokbiznews Accessed: Jul. 24, 2023. [Online]. Available: <https://www.bangkokbiznews.com/business/1080192>
- [9] I. B. Ugheoke and O. Mamat, "A critical assessment and new research directions of rice husk silica processing methods and properties," *Maejo International Journal of Science and Technology*, vol. 6, no. 3. 2012.
- [10] M. Ketsuwan, N. Bun-athuek, N. Sukhawipat, S. Boripatkosol, and C. Parung, "Study on mechanical properties of rice husk fiber-based polishing pad for chemical mechanical polishing of sapphire substrate," in *1st International Conference on Robotics, Engineering, Science, and Technology*, Pattaya, Thailand, Feb. 16, 2024.
- [11] U. Boonsom, S. Boripatkosol, A. Rattanapan, N. Bun-athuek, and P. Boonsong, "Utilization of rice husk fiber and water hyacinth fiber forming polishing pad for sapphire chemical mechanical polishing (CMP)," *KKU Research Journal: Graduate Studies*, Vol. 22, No. 4, 2022. (in Thai)
- [12] N. Stephen, J. O. Akindapo and D. K. Garba, "Development of a military helmet using coconut fiber reinforced polymer matrix composite," *European Journal of Engineering and Technology*, Vol. 3, No. 7, pp. 55-65, 2015.
- [13] K. Yongmalwong and I. Jangchud, "Improving Abrasion Resistance of Natural Rubber by Blending with Linear Low Density Polyethylene (LLDPE): Effects of Compatibilizers," in *The 9th KU KPS National Conference*, Nakhon Pathom, Thailand, Dec. 6-7, 2012.
- [14] J. A. Halip, S. H. Lee, P. M. Tahir, L. T. Chuan, M. A. Selimin, and H. A. Saffian, "Chemical Treatments of Rice Husk for Polymer Composites," *Article in Biointerface Research in Applied Chemistry*, Vol. 11, Issue 4, pp. 12425-12433, 2021. doi.org/10.33263/BRIAC114. 1242512433
- [15] K. A. Chanda, A. Hazra, M. P. Kumar, S. Neogi, and S. Neogi, "Chemical Treatments of Rice Husk Filler and Jute Fiber for the Use in Green Composites," *Article in Fibers and Polymers*, 16(4), 902-910, 2015. doi: 10.1007/s12221-015-0902-3
- [16] J. T. Librea, F. D. Dacanay, Z. Z. Martin, and L. L. Diaz, "Effect of Water and Acid Pre-treatment on the Physicochemical Properties of Rice Husk for Silica Extraction," in *Conference Series: Materials Science and Engineering*, Apr. 19-20, 2019, doi:10.1088/1757-899X/540/1/ 012007
- [17] O. A. Battista, "Hydrolysis and Crystallization of Cellulose," *Industrial and engineering chemistry*, Vol. 42, No. 3, pp. 502-507, 1950.

ที่ อว ๐๖๒๖.๐๓/๐๖๕๑



วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
๒ ถนนราชธานี อำเภอเมือง
จังหวัดอุบลราชธานี ๓๕๐๐๐

๑๕ พฤษภาคม ๒๕๖๘

เรื่อง หนังสือรับรองการตีพิมพ์

เรียน คุณไมโท เกษสุวรรณ และคณะฯ

ตามที่ ท่านได้จัดส่งบทความ เรื่อง “ผลกระทบของการปรับปรุงเส้นใยแก้วที่มีต่อคุณสมบัติของแผ่นขัดจากเส้นใยแก้วผสมพอลิยูรีเทน” เพื่อขอตีพิมพ์และเผยแพร่ในวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี นั้น

บัดนี้ บทความของท่าน ได้ผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบบทความ อย่างน้อย ๓ ท่าน ซึ่งเป็นบุคคลภายนอกมหาวิทยาลัยที่หลากหลายสถาบันและไม่ได้สังกัดมหาวิทยาลัยที่ผู้วิจัยสังกัดอยู่ และผ่านการพิจารณาจากกองบรรณาธิการวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม เรียบร้อยแล้ว บทความของท่านได้รับการรับรองให้ตีพิมพ์ลงในวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ ๑๕ ฉบับที่ ๒ (กรกฎาคม – ธันวาคม) ๒๕๖๘

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุระเจตน์ อ่อนฤทธิ์)
บรรณาธิการวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
สำนักงานคณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
โทร. ๐ ๔๕๓๕ ๒๐๐๐-๒๙ ต่อ ๑๓๐๐
โทรสาร ๐ ๔๕๓๕ ๒๑๐๘
E-mail: ind-journal@ubru.ac.th

ภาพที่ ก-19 หนังสือรับรองการตีพิมพ์ในวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ
อุบลราชธานี

Rice husk fiber-based polishing pad for chemical mechanical polishing (CMP) of sapphire

Sethavut Duangchan^{1,a}, Natthaphon Bun-athuek^{2,b*}, Mighttho Ketsuwan^{2,c}, Muhammad Mudden^{3,d}, Panart Khajornrungruang^{4,e} and Keisuke Suzuki^{4,f}

¹Department of Industrial Physics and Medical Instrumentation, Faculty of Applied Science

King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand

²Department of Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology,

King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand

³National Institute of Metrology (Thailand), Prathumthani, Thailand

⁴Department of Intelligent and Control Systems,

Faculty of Computer Science and Systems Engineering,

Kyushu Institute of Technology, Fukuoka, Japan

^asethavut.d@sci.kmutnb.ac.th, ^bnatthaphonb@kmutnb.ac.th, ^cmighttho.k@cit.kmutnb.ac.th,

^dmuhummad@nimt.or.th, ^epanart@ics.kyutech.ac.jp, ^fke_suzuki@mse.kyutech.ac.jp

Keywords: Rice husk, polyurethane, polishing pad, sapphire, hydrochloric acid

Abstract. This research aims to study the properties of polishing pads made from polyurethane mixed with rice husk fiber for use in chemical mechanical polishing (CMP) of sapphire. After cleaning and sizing, the rice husk fiber was modified using hydrochloric acid (HCl). Then, both unmodified and modified rice husk fibers were mixed with polyurethane at ratios of 7.5, 10, and 12.5 phr to form polishing pads. The hardness and polishing performance of these pads in sapphire CMP were then tested. The experimental results showed that polishing pads from rice husk fiber could be successfully formed and remained stable. The natural fibers were evenly distributed across the contact surface of the pads. The hardness of polishing pads from rice husk fiber was smaller than conventional polishing pad (SUBA800) in range of 40.5–47.5%. Polishing results revealed that pads made from polyurethane mixed with unmodified and modified rice husk fiber achieved the highest material removal rates (MRR) of 94.2% and 64.7%, respectively, compared to the conventional pad. These results indicate that both types of fibers able to be used as a material for manufacturing polishing pads for adding value and reducing the waste from the agricultural.

Introduction

Thailand is one of the world's largest producers of agricultural products, particularly rice, a key export. Consequently, vast amounts of agricultural waste, such as rice husks and rice straw, are generated. Rice husks are typically utilized as fuel for heat generation, additives in construction materials (e.g., bricks, concrete blocks), or soil amendments in agriculture. However, due to the large volume of rice husks produced in Thailand, their economic value remains low. Moreover, their current applications are insufficient to significantly enhance their value. Our studies indicate that rice husks contain approximately 15–20% silicon dioxide (SiO₂), which can be used in silica manufacturing. These properties suggest that rice husks have the potential to be utilized in the production of polishing pads for chemical mechanical polishing (CMP) of sapphire. Sapphire is an important material in the manufacturing of semiconductors and light-emitting diodes (LEDs) [1, 2]. However, the sapphire exhibits the properties of very high hardness, low thermal expansion, strong anticorrosion, inert in chemical reactivity and high melting point [2, 3]. Therefore, the sapphire is one of the hard to process material. Due to these characteristics [4-6], CMP is a critical process for achieving a highly planarized and extremely smooth sapphire surface without subsurface damage.

CMP combines chemical reactivity and mechanical action. Silica slurry is dispensed onto the polishing pad and carried into contact with the sapphire surface, which is pressed under the polishing head. The silica particles play a key role in forming a softer reaction layer on the sapphire surface, which is subsequently removed by the same particles [7]. Based on the process as mentioned above, the polishing pad is a crucial component in CMP.

However, the polishing pad is also one of the highest-cost components in this process [8]. Consequently, many researchers have explored the development of polishing pads using low-cost materials while maintaining high performance in the polishing process. Our previous research found that the natural fibers such as coconut coir and rice straw could be mixed with polyurethane to fabricate polishing pads. These pads were effective in polishing sapphire in the CMP process, as the SiO_2 content in the fibers enhanced the chemical reaction. However, those fibers were used without modification to improve their properties. Therefore, in this research, we aim to study the properties of polishing pad fabricated from polyurethane mixed with rice husk both unmodified and modified rice husk fibers by hydrochloric acid (HCl). We hypothesize that the silica element in rice husk, and fiber modification, will enhance the chemical reactivity and increase the material removal rate (MRR) of sapphire.

Experimental method

A. Preparation of rice husk fiber. The rice husk fibers were cleaned using distilled water and then dried in a hot air oven at 80°C for 24 hours to remove moisture until the fiber weight stabilizes. After drying, the fibers are placed in a blender to reduce their size, followed by sieving through an 80-mesh to achieve uniform sizing. The fibers are then divided into two parts. The first part consists of unmodified rice husk fibers, which can be used directly to create polishing pads. The other part, which is soaked in hydrochloric acid with the concentration of 1 mole for 5 hours. The mixing ratio of rice husk fiber and hydrochloric acid is 10 g : 100 ml. After soaking, the fibers are filtered through a sieve and washed with distilled water to adjust the pH to between 6.5 and 7.5. Finally, the fibers are dried in a hot air oven at 80°C for 24 hours to remove any remaining moisture before being used in the polishing pad fabrication process.

B. Fabrication the polishing pad. Prepare the polyurethane type 2-components by using the ratio between polyols (Substance A) and prepolymer (Substance B) at 1.6:1. After that, the fibers (From section A.) will be mixed into polyurethane with the mixing ratio of 7.5, 10 and 12.5 phr respectively. The first step of the mixing process is to put the fiber into substance B. After that, stir it for 3 minutes until the fiber is well distributed. Then, substance A will be filled together and stir it for 3 minutes again. Cast the mixed material into the mold with diameter size of 120 mm, the thickness is 5 mm before close the mold lid for 24 hours. Finally, remove the polishing pad from the mold. The creating process as shown in Fig.1.

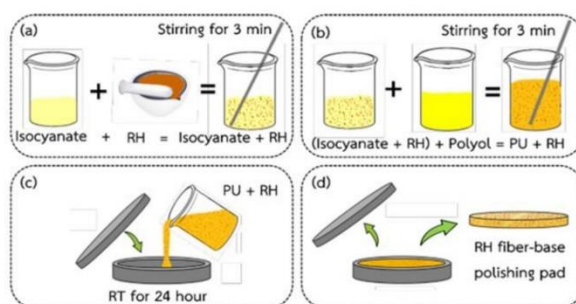


Fig. 1 Creating process of polishing pad.

C. Hardness Measurement. This test is performed using a shore durometer (shore A) according to ASTM D 2240 standard. After polishing pad preparation, the hardness measurements were performed by pressing the indenter head perpendicular to the polishing pad with the proper force to make presser foot attach to the surface of polishing pad at the time of 1 second. In this test, we measured the hardness totally 10 points in each polishing pad.

D. Polishing Test. The polishing experiments were conducted using a CMP machine (MARUTO ML-160A) under the conditions shown in Table I. All experiments were performed using a reuse slurry system without a filter, as shown in Fig. 2. The MRR was calculated by considering the sapphire wafer mass before and after CMP, measured using an electronic balance (A&D BM-20).

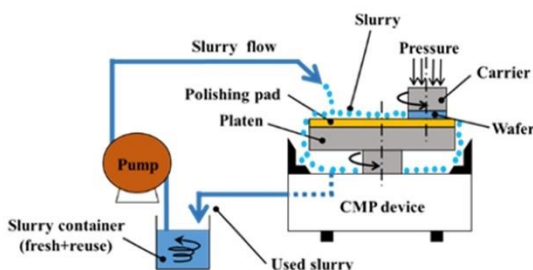


Fig. 2 Schematic of CMP device with reuse slurry system.

Table 1 Polishing conditions.

Types of polishing pad	1. Rice husk fiber mixed with polyurethane 2. SUBA800
Wafer	
- Wafer type	Sapphire ($\alpha - Al_2O_3$)
- Wafer size	ϕ 12 mm, t = 1 mm
Down force pressure	46.5 kPa
Polishing time	60 minutes
Number of wafer	3 pieces
Platen and polishing head speed	60/60 rpm
Slurry	
- Slurry type	5 wt% SiO_2 size 105 nm (NALCO 2329 Plus)
- Slurry flow rate	60 ml/min
- pH value	11

Experimental results and discussion

A. Characteristics of polishing pad from rice husk fiber mixed with polyurethane. Fig. 3 illustrates the characteristics of polishing pads made from polyurethane mixed with both unmodified and modified rice husk fibers at different mixing ratios. The polishing pads were successfully formed into a uniform round shape, with the fibers well-distributed throughout the pad. It was observed that as the amount of rice husk increased, the color of the polishing pads became progressively darker.

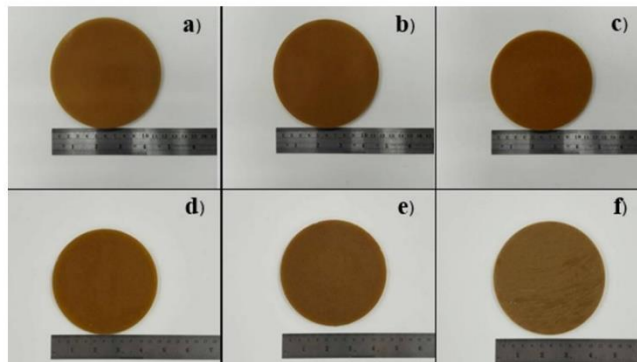


Fig. 3 polishing pads made from polyurethane mixed with rice husk fibers both modified using HCL with the ratio of (a) 7.5 phr, (b) 10 phr and (c) 12.5 phr, and unmodified with the ratio of (d) 7.5 phr, (e) 10 phr and (f) 12.5 phr.

B. Hardness of polishing pad from rice husk fiber mixed with polyurethane. Fig.4 exhibited the hardness of polishing pads made from polyurethane and rice husk fiber, both unmodified and modified with HCL. It was found that the hardness values of both types of polishing pads were nearly identical. Furthermore, the hardness of the rice husk fiber-based polishing pads was lower than that of the conventional polishing pad (SUBA800) by 40.5–47.5%. This reduction may be attributed to the increased presence of rice husk fiber, which enhances the chemical reactivity between cellulose and isocyanate in polyurethane, leading to a decrease in the amount of isocyanate in the polyurethane matrix [9]. Additionally, the hardness slightly decreased with increasing rice husk content from 0 to 7.5 phr. These results indicate that the reduction in isocyanate is a key factor in the decreased hardness. The hardness increased to the highest value of 47.6 shore A at the content of 10 phr before [10] decreased with increasing rice husk content from 10 to 12.5 phr. These results suggest that rice husk fiber acts as a reinforcing material in the polishing pad at 10 phr. Beyond this content, the matrix material could not bind the reinforce material. In our pre-experiment, the ratio was increased to 15 phr. As a result, the polishing pad failed to form, suggesting that the matrix material was insufficient. This might be the reason for a decrease in hardness at the content of fiber at 12.5 phr.

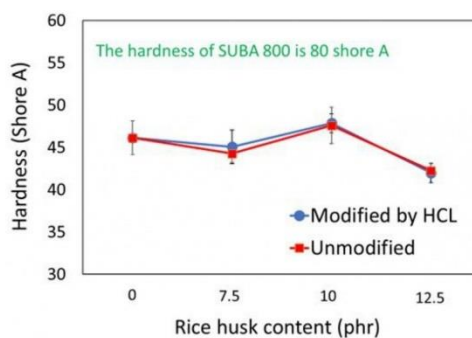


Fig. 4 Hardness of polishing pads from polyurethane mixed with rice husk fiber.

C. Material removal rate of sapphire produced by polishing pad from rice husk fiber mixed with polyurethane. Fig. 5 revealed the material removal rates (MRRs) of sapphire. These results showed the polishing pad from pure polyurethane was unable to polish a sapphire. However, polishing pads from polyurethane mixed with rice husk fibers, both unmodified and modified, could polish a sapphire substrate in CMP process. The MRR using pads with unmodified rice husk fiber increased from 0.7 to 1.2 nm/min with the increase in rice husk fiber content from 7.5 to 10 phr. After that, the MRR decreased to 0.7 nm/min at a rice husk fiber content of 12.5 phr. These results suggest that increasing the rice husk content may enhance the chemical reactivity on the sapphire surface, and increase the MRR. However, the large amount of fiber and chemical reactivity might disrupt the balance between the chemical and mechanical factors, leading to a decrease in MRR [11]. For pads made from polyurethane mixed with modified rice husk fiber, the MRR decreased from 0.71 to 0.31 nm/min from the rice husk fiber content of 7 to 10 phr respectively. Then, The MRR then increased to 0.84 nm/min at a fiber content of 12.5 phr. These might be caused by pH value and chemical reactivity decreased because of the increasing number of HCl at 10 phr. However, the increase in MRR at 12.5 phr occurred because the loss of chemical effectiveness was compensated by an increase in the contact area between the rice husk (RH) and the wafer. Furthermore, polishing pad from rice husk fiber before modified at the content of 10 phr gave the largest MRR which was close to that achieved by the conventional SUBA 800 polishing pad. The MRRs that obtained by polishing pad from rice husk fiber before and after modified were 94.2 and 64.7% of SUBA 800 respectively.

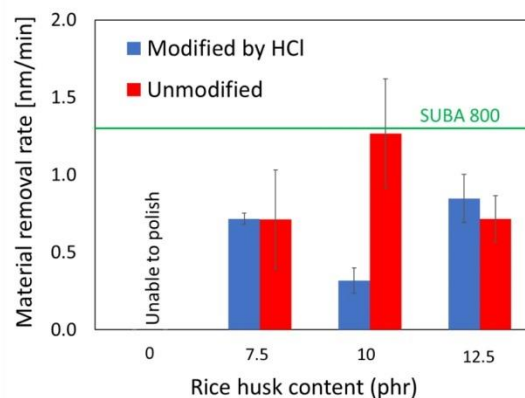


Fig. 5 Material removal rate of sapphire.

Conclusion

In this research, the polishing pads from polyurethane mixed with rice husk fiber before and after modified by HCl were studied. We found that

1. Rice husk fibers, both unmodified and modified, could be used as a material for manufacturing polishing pads in the chemical mechanical polishing (CMP) of sapphire.
2. The hardness of polishing pads from polyurethane mixed with rice husk fibers, both unmodified and modified with HCl, did not show the significantly difference and was lower than that of SUBA 800.
3. At the content of 10 phr, the highest MRR of sapphire was found using polishing pad from polyurethane mixed with rice husk fiber modified by HCl which was close to that produced by SUBA 800

Acknowledgements

This research was funded by King Mongkut's University of Technology North Bangkok. Contract no. KMUTNB-68-BASIC-25.

References

- [1] H. Wang, Z. Lin, J. Han, L. Zhong and G. Li, Design of patterned sapphire substrates for GaN-based light-emitting diodes, *Chinese Phys. B.* 24 (2015) 067103.
- [2] N. Xin-huan, L. Yu-ling, T. Bai-mei, H. Li-ying and Z. Jian-xin, Method of surface treatment on sapphire substrate, *Trans. Nonferrous. Met. Soc. China.* 16 (2006) s732-s734.
- [3] J. Wang, B. Guo, Q. Zhao, C. Zhang, Q. Zhang, H. Chen and J. Sun, Dependence of material removal on crystal orientation of sapphire under cross scratching, *J. Eur. Ceram. Soc.* 37 (2017) 2465-2472.
- [4] C. Park, H. Kim, S. Lee and H. Jeong, The Influence of Abrasive Size on High-Pressure Chemical Mechanical of Sapphire Wafer, *Int. J. Pr. Eng. Man-Gt.* 2 (2015) 157-162.
- [5] H. Lei and K. Tong, "Preparation of La-doped colloidal SiO₂ composite abrasives and their chemical mechanical polishing behavior on sapphire substrates," *Pre. Eng.* 44 (2016) 124-130.
- [6] M. Uneda, K. Takano, K. Koyama, H. Aida and K. Ishikawa, Investigation into Chemical Mechanical Polishing Mechanism of Hard-to-Process Materials Using a Commercially Available Single-Sided Polisher, *Int. J. of Autom. Technol.* 9 (2015) 573-579.
- [7] E. A. Vovk, A. T. Budnikov, M. V. Dobrotvorskaya, S. I. Krivonogov and A. Ya. Dan'ko, Mechanism of the interaction between Al₂O₃ and SiO₂ during the chemical-mechanical polishing of sapphire with silicon dioxide, *J. Surf. Investig.* 6 (2012) 115-121.
- [8] M. Bahr, Y. Sampurno, R. Han and A. Philipossian, Slurry Injection Schemes on the Extent of Slurry Mixing and Availability during Chemical Mechanical Planarization, *Micromachines.* 8 (2017) 170 - 182.
- [9] M. Ketsuwan, N. Bun-Athuek, N. Sukhawipat, S. Boripatkosol, C. Parung, Study on mechanical properties of rice husk fiber-based polishing pad for chemical mechanical polishing of sapphire substrate, 2024 1st International Conference on Robotics, Engineering, Science, and Technology (RESTCON), Pattaya, Thailand, 2024, pp. 214-217.
- [10] S. Natsa, J. O. Akindapo and D. K. Garba, Development of a military helmet using coconut fiber reinforced polymer matrix composite, *EJ-Eng* 3 (2015) 55-65
- [11] Y. Cui, X Niu, J. Zhou, Z. Wang, R. Wnag and J. Zhang, Effect of Chloride Ions on the Chemical Mechanical Planarization Efficiency of Sapphire Substrate, *ECS J. Solid State Sci. Technol.* 8 (2019) 488-495.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายไมโท เกษสุวรรณ
ชื่อวิทยานิพนธ์	การศึกษาแผ่นขัดจากเส้นใยเกลบข้าวสำหรับกระบวนการขัดผิวโดยใช้สารเคมีร่วมกับแรงทางกล
สาขาวิชา	เทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล (MMET)
ประวัติ	สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาเครื่องกล โรงเรียนเตรียมวิศวกรรมศาสตร์ ไทย – เยอรมัน วิทยาลัยเทคโนโลยี อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมซ่อมบำรุง อากาศยาน วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ

