

การศึกษาการตัดทาบหมางด้วยชุดแม่พิมพ์ตัดฉื่อน



นายดุริยะเทพ พันธุ์วิเศษ

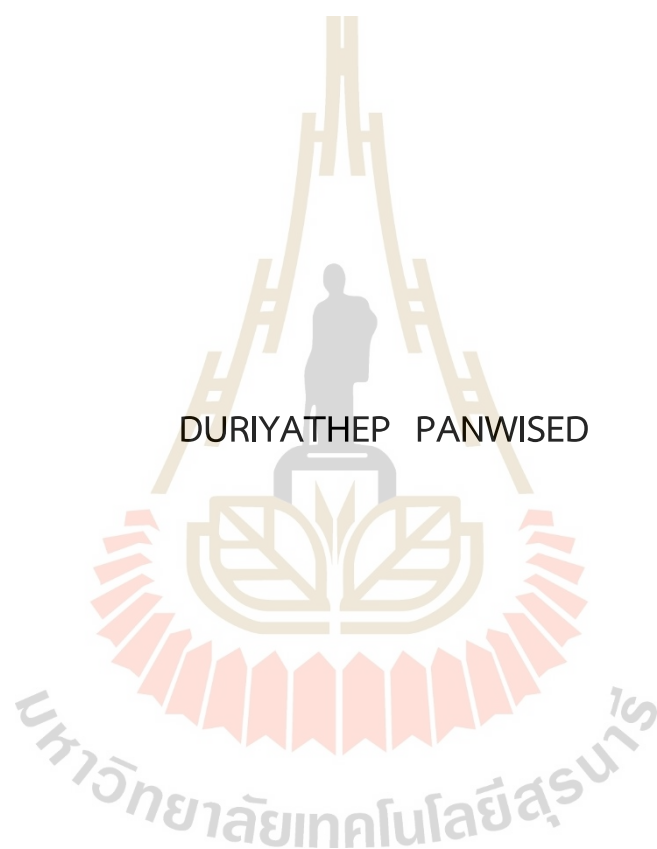
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2565

STUDY OF BETEL PALM SHEATH CUTTING
USING PUNCH/DIE SHEARING TOOL



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Material Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2022


การศึกษาการตัดกาบหมากส่งด้วยชุดแม่พิมพ์ตัดเฉือน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผศ. ดร.สุภานีย์ พิชิตวิชญ์)
ประธานกรรมการ




(ผศ. ดร.กฤษิต มิตรสมหวัง)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(ผศ. ดร.รัตน์ บริสุทธิกุล)
กรรมการ




(ผศ. ดร.อุษณีย์ กิตกัธร)
กรรมการ



(ผศ. ดร.เสกสรร ไชยจิตต์)
กรรมการ



(รศ. ดร.ฉัตรชัย โชติษฐียงกูร)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ



(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ดุริยะเทพ พันธุ์วิเศษ : การศึกษาการตัดกาบหมากสงด้วยชุดแม่พิมพ์ตัดเฉือน (STUDY OF BETEL PALM SHEATH CUTTING USING PUNCH/DIE SHEARING TOOL)

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภูษิต มิตรสมหวัง, 81 หน้า.

คำสำคัญ: บรรจุภัณฑ์จากธรรมชาติ/กาบหมากสง/สมบัติทางกล/การตัดเฉือน/ไฟไนต์เอลิเมนต์

จากปัญหาขยะพลาสติกบรรจุภัณฑ์ที่ตกค้างในสิ่งแวดล้อมเป็นจำนวนมาก ทำให้ในปัจจุบันมีการนำวัสดุธรรมชาติ ได้แก่ กาบหมากสงมาขึ้นรูปใช้งานทดแทนบรรจุภัณฑ์จากพลาสติก การตัดเฉือนกาบหมากสงเป็นขั้นตอนที่สำคัญหนึ่งในกระบวนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากกาบหมากสง โดยการตัดเฉือนถูกใช้ในการตัดแต่งกาบหมากก่อนการขึ้นรูปรวมไปถึงขอบของผลิตภัณฑ์หลังขึ้นรูป อย่างไรก็ตาม ผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์ยังขาดความรู้เกี่ยวกับการตัดเฉือนกาบหมากสงทำให้เกิดข้อบกพร่องขึ้นที่ขอบตัด เช่น ขอบตัดไม่เรียบ มีเสี้ยน งานวิจัยนี้ทำเพื่อศึกษาการตัดกาบหมากสงด้วยชุดแม่พิมพ์ตัดเฉือน เนื่องด้วยการตัดเฉือนเป็นการขึ้นรูปทางกลรูปแบบหนึ่ง สมบัติทางกลของกาบหมากสงจึงมีอิทธิพลต่อผลการตัดเฉือน ในลำดับแรก ผู้วิจัยจึงศึกษาสมบัติทางกลของกาบหมากสงโดยอาศัยการทดสอบแรงดึง จากนั้น จึงศึกษาการตัดเฉือนกาบหมากสงโดยทดลองปรับตัวแปรการของการตัดเฉือน ได้แก่ ความชื้นของกาบหมากสง ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ ความเร็วการตัด ทิศทางการตัด รูปร่างแม่พิมพ์ และตรวจสอบผลการตัดเฉือน ผลการทดลองตัดเฉือนแสดงให้เห็นว่า กาบหมากสงที่มีความชื้นอยู่ในช่วง 25 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ถูกตัดขาดได้ง่าย กล่าวคือ ขอบตัดเรียบ ไม่เกิดเสี้ยน ไม่เกิดรอยแตกบริเวณผิวด้านบนของชิ้นงานกาบหมากสง จากการเปลี่ยนระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ตัดพบว่า การตัดด้วยระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ที่มากขึ้น ทำให้รอยแตกบริเวณผิวบนของกาบหมากสงเกิดห่างออกจากรอยตัดมากขึ้น นอกจากนี้ตำแหน่งการเกิดรอยแตกบริเวณผิวบนของชิ้นงานกาบหมากสงขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์แล้ว ยังขึ้นอยู่กับขนาดมุมแม่พิมพ์บนด้วย การใช้มุมแม่พิมพ์บนที่มีขนาดเล็กส่งผลให้รอยแตกบริเวณผิวด้านบนของชิ้นงานกาบหมากเกิดใกล้ขอบตัดมากกว่ากรณีการใช้แม่พิมพ์บนขนาดมุมโต นอกจากการทดลอง ผู้วิจัยสร้างโมเดลจำลองการตัดเฉือนกาบหมากสงด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์และทำการจำลองการตัดเฉือน จากการจำลองพบว่า การใช้ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์มากและมุมแม่พิมพ์บนโตมีผลให้ตำแหน่งที่ค่าความเค้นหลักสูงสุด (Maximum principal stress) มีค่าสูงที่สุดเกิดห่างออกห่างจากรอยตัดเฉือนซึ่งส่งผลให้ตำแหน่งการเกิดรอยแตกบริเวณผิวด้านบนชิ้นงานกาบหมากสงเกิดห่างออกจากรอยตัด

สาขาวิชา วิศวกรรมโลหการ

ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อนักศึกษา ดุริยะ-เทพ พันธุ์วิเศษ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ภูษิต มิตรสมหวัง

DURIYATHEP PANWISED : STUDY OF BETEL PALM SHEATH CUTTING USING PUNCH/DIE SHEARING TOOL. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. PUSIT MITSOMWANG, Ph.D., 82 PP.

Keywords: Packaging/Betelpalm/Machanical Properties/Shearing/Finite Element

Due to a lot of packaging plastic remaining in the environment, to replace the plastic packaging, betel palm sheaths are currently utilized for making food packaging. Shear cutting is one of the most important operations in the palm sheath packaging forming process. It is used for preparing sheaths before forming and for trimming edges of formed workpieces. However, there is still lack of understanding of betel palm sheaths shear cutting. As a result, many types of sheared edge defects occurred such as uneven edges, whisker-like dust and cracking on workpiece surfaces. This research work was carried out to study the shear cutting of the palm sheath using punch/die shearing tools. Since the shearing is a mechanical forming, cutting results are strongly affected by mechanical properties of the palm sheaths. Thus, first, the researcher studied the mechanical properties of the palm sheath using tensile testing. After that, the shear cutting experiment of the palm sheath was carried out. The shear cutting parameters, moisture content of palm sheaths, punch/die clearance, cutting velocity, cutting direction, geometry of dies were varied and investigated. From the experimental results, the palm sheaths can be cut easily without the sheared edge defects when the moisture content ranging from 25 to 35%. It was also found that the crack on the upper surface of the palm sheath occurred far from the cutting line when using large punch/die clearance. Apart from the punch/die clearance, the position of the surface crack depended on the angle of the punch. When a large angle of punch is used, the position of the surface crack moved far from the cutting line. In addition to the experiment, the researcher developed a finite element model for simulating the palm sheath shear cutting. Simulation results revealed that when a larger punch/die clearance and a large punch angle were used, the position of the highest

maximum principal stress occurred far from the cutting line. Consequently, the crack on the surface of the palm sheath occurred far from the cutting line.



School of Metallurgical Engineering
Academic Year 2022

Student's Signature อุไรพร นินธิ์วิฑู
Advisor's Signature ดร. อ. อ. อ. อ. อ.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้จะสำเร็จสมบูรณ์ด้วยดีไม่ได้ หากไม่ได้รับคำแนะนำ และความช่วยเหลือในด้านปฏิบัติการ วิชาการ และการดำเนินงานวิจัยอย่างดียิ่งจากบุคคล และกลุ่มบุคคล และขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูษิต มิตรสมหวัง อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษาตลอดจนช่วยแนะนำและแก้ไขปัญหา และมอบกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งเสียสละเวลาอบรมสั่งสอนผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา ตลอดจนช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จสมบูรณ์

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ และแนวทางแก้ปัญหาในการดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จสมบูรณ์ ตลอดจนศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือทุกท่าน ที่ให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทำงานวิจัย

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ที่ส่งเสริมให้ศึกษาเล่าเรียนจนถึงทุกวันนี้ ตลอดจนอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัย ตลอดจนทำให้ประสบความสำเร็จในชีวิต

ศุริยะเทพ พันธุ์วิเศษ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฐ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	6
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย.....	6
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
2 ปรัชญาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 กระบวนการตัดโดยใช้แม่พิมพ์.....	8
2.2 ความเค้น ความเครียด และเกณฑ์การครากของวัสดุ.....	10
2.3 การวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมด้วยระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์.....	19
2.4 ผลของตัวแปรตัดต่อลักษณะขอบตัด.....	20
2.4.1 อิทธิพลของตัวแปรการตัดเฉือนในการตัดเฉือนวัสดุประเภทโลหะ.....	21
2.4.2 อิทธิพลของตัวแปรการตัดเฉือนในการตัดเฉือนวัสดุประเภทพอลิเมอร์.....	24
2.4.3 อิทธิพลของตัวแปรการตัดเฉือนในการตัดเฉือนวัสดุเชิงประกอบ.....	26
3 วัสดุ อุปกรณ์ วิธีการทดลอง และการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์.....	30
3.1 วัสดุและอุปกรณ์.....	30
3.1.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย.....	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	31
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	33
3.2.1 กาบเตรียมชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกล.....	34
3.2.2 การตรวจสอบความหนาของกาบหมากสง.....	35
3.2.3 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซึมน้ำของกาบหมากสง.....	36
3.2.4 การทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงาน.....	36
3.2.5 การตัดเฉือนชิ้นงาน.....	37
3.3 การตรวจสอบลักษณะขอบตัด.....	40
3.4 การวิเคราะห์ด้วยระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์.....	40
3.4.1 โมเดลไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับจำลองการตัดเฉือน	40
3.4.2 การตรวจสอบโมเดลวัสดุ.....	41
4 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของกาบหมากสง.....	43
4.1 ความหนาของกาบหมากสง.....	43
4.2 สมบัติทางกลของกาบหมากสง.....	44
4.2.1 ผลของทิศทางให้แรงดึงต่อสมบัติทางกลของกาบหมากสง.....	44
4.2.2 ผลของความชื้นของกาบหมากสงต่อสมบัติทางกลของกาบหมากสง	47
5 อิทธิพลของตัวแปรการตัดต่อผลการตัดเฉือนกาบหมากสง และการจำลอง	
กระบวนการตัดเฉือนกาบหมากสงด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์	49
5.1 อิทธิพลความชื้น ต่อผลการตัดเฉือนกาบหมากสง	49
5.2 ผลของระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ ต่อผลการตัดเฉือน	52
5.3 อิทธิพลของความเร็วการตัดต่อผลการตัดเฉือนกาบหมากสง.....	53
5.4 ผลของทิศทางการตัดต่อผลการตัดเฉือนกาบหมากสง.....	55
5.5 การทดลองตัดกาบหมากสงด้วยแม่พิมพ์มุมแหลม	56
5.6 การจำลองกระบวนการตัดเฉือนกาบหมากสง ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์.....	58
6 การออกแบบ ผลิตชุดแม่พิมพ์ต้นแบบสำหรับตัดขอบผลิตภัณฑ์กาบหมากสง.....	68
7 สรุป.....	71
รายการอ้างอิง.....	73

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.....	74
ประวัติผู้เขียน.....	81



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	ตัวแปรที่ใช้ในงานทดสอบการตัดเมื่อทำการเปลี่ยนระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์..... 39
3.2	ตัวแปรที่ใช้ในงานทดสอบการตัดเมื่อทำการเปลี่ยนทิศทางการตัด 39
3.3	ตัวแปรที่ใช้ในงานทดสอบการตัดเมื่อทำการเปลี่ยนความเร็วการตัดเฉือน 39
3.4	ตัวแปรที่ใช้ในงานทดสอบการตัดเมื่อเปลี่ยนค่าความชื้นของกาบหมากสง..... 39
3.5	ตัวแปรที่ใช้ในงานทดสอบการตัดเฉือนเมื่อทำการเปลี่ยนรูปร่างแม่พิมพ์ 40
4.1	ปริมาณพื้นที่ของแต่ละบริเวณที่ได้จากการวัดการกระจายตัวของความหนาแน่นบนกาบหมากสง 44



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แนวโน้มการเพิ่มปริมาณของขยะพลาสติกตั้งแต่ปี ค.ศ. 1950 - 2050.....	2
1.2	ผลิตภัณฑ์จากพลาสติกที่จะถูกยกเลิกการใช้งานในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2562 - 2568.....	2
1.3	ระยะเวลาการย่อยสลายของวัสดุแต่ละชนิด.....	3
1.4	ขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์จากกาบหมากสง.....	4
1.5	องค์ประกอบของชุดแม่พิมพ์ตัดเฉือน.....	5
1.6	ปัญหาที่เกิดจากการตัดขอบบรรจุภัณฑ์.....	5
2.1	ตัวอย่างชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการตัดเฉือนโดยใช้ชุดแม่พิมพ์.....	8
2.2	ตัวอย่างกล่องบรรจุภัณฑ์จากกระดาษ ที่ผ่านกระบวนการตัดเฉือน โดยใช้ชุดแม่พิมพ์ตัดเฉือน.....	9
2.3	ลำดับการเสียรูปและฉีกขาดของวัสดุขณะตัดเฉือน.....	9
2.4	ลักษณะของขอบผิวชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการตัดเฉือน.....	10
2.5	ลักษณะของแรงกระทำชนิดต่าง ๆ.....	12
2.6	ความเค้นที่กระทำกับเอลิเมนต์.....	12
2.7	ความเค้นระนาบ.....	13
2.8	ความเค้นในชิ้นงานทดสอบแรงดึงในแกนเดียว.....	17
2.9	ความเค้นเฉือนในชิ้นงานทดสอบแรงดึงในแนวแกนเดียว.....	18
2.10	ระเบียบการไฟไนต์เอลิเมนต์.....	19
2.11	สมการรูปทั่วไปของไฟไนต์เอลิเมนต์แบบเมทริกซ์ (Matrix).....	20
2.12	ความยาวเฉลี่ยของครีบทึบเทียบกับระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์.....	21
2.13	ผลการตรวจสอบขอบตัดเฉือนเมื่อเปลี่ยนแปลงระยะห่างแม่พิมพ์.....	22
2.14	ลักษณะผิวขอบตัดที่ได้จากการศึกษาผลของการวางตัวของชิ้นงานอลูมิเนียม.....	22
2.15	ลักษณะผิวขอบตัดของชิ้นงานอลูมิเนียมที่ได้จากการศึกษาผลของขนาดรัศมี.....	23
2.16	ลักษณะผิวขอบตัดของชิ้นงานอลูมิเนียมที่ได้จากการศึกษาผลของสารหล่อลื่น.....	24

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านการตัดเฉือนและระยะการกดลึก ในการตัดแผ่นพอลีคาร์บอเนต	24
2.18 แรงต้านการตัดเฉือนที่ความเร็วการตัด 0.05 ถึง 1.00 มิลลิเมตรต่อวินาที	25
2.19 รูปถ่ายขอบตัดเฉือนจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเมื่อ เปลี่ยนความเร็วการตัด	26
2.20 ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ที่เป็นลบ บวก และศูนย์ ตามลำดับ.....	27
2.21 ขอบตัดเฉือนของกระดาษแข็งเคลือบขาวเมื่อเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่าง แม่พิมพ์	27
2.22 แรงการตัดเฉือนเทียบกับทิศทางการตัด.....	28
2.23 โอกาสการพบเส้นใยหลุดออกจากขอบตัดเมื่อทำการเปลี่ยนทิศทางการตัด.....	28
3.1 ลักษณะของต้นหมากสงและลักษณะของกาบหมากสง	30
3.2 ชุดแม่พิมพ์ทดสอบการตัดเฉือนกาบหมากสง	32
3.3 ภาพรวมวิธีการดำเนินวิจัย ส่วนการศึกษาลักษณะ สมบัติกาบหมากสง และ การศึกษา อิทธิพลของตัวแปรการตัดเฉือนต่อผลการตัด.....	33
3.4 ภาพรวมวิธีการวิเคราะห์การตัดเฉือนด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์.....	34
3.5 ลักษณะและขนาดชิ้นงานกาบหมากสงสำหรับการทดสอบสมบัติทางกล และทดสอบการตัดเฉือน.....	35
3.6 ลักษณะการวัดความหนาของกาบหมากสง ด้วยไมโครมิเตอร์	36
3.7 การจำลองการเปลี่ยนระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์	37
3.8 ลักษณะการตัดในทิศทาง 0 45 และ 90 องศา	38
3.9 ลักษณะรูปร่างแม่พิมพ์ตัดเฉือน	38
3.10 ภาพจำลองการแบ่งส่วนของชิ้นงานกาบหมากสงของโมเดลไฟไนต์เอลิเมนต์.....	41
3.11 ภาพจำลองการระบุทิศทางในแกน xyz.....	42
4.1 การกระจายตัวของความหนาบนตัวอย่างในแต่ละบริเวณของกาบหมาก.....	44
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงต้านการดึงและระยะยึด สำหรับชิ้นงานทดสอบที่มี ทิศทางการวางตัวของเส้นใยกาบหมากสงที่แตกต่างกัน	45
4.3 องค์ประกอบทางกายภาพของกาบหมากสง.....	46

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4	ปริมาณความชื้นในกาบหมากสงตามระยะเวลาการแช่น้ำ 47
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างแรงต้านการดึงกับระยะยืดตัวของตัวอย่าง กาบหมากสงที่จุ่มน้ำ ในเวลาแตกต่างกัน 48
4.6	แรงต้านการดึงสูงสุด และระยะการขาดของตัวอย่างการหมากสง เทียบกับเวลาการจุ่มน้ำ..... 48
5.1	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านการตัดเฉือน และระยะยืด สำหรับชิ้นงานกาบหมาก ที่ผ่านการตัดเฉือนที่ถูกควบคุมด้วยความชื้น 50
5.2	ภาพถ่ายจากกล้องสเตอริโอของขอบตัดเฉือน เพื่อแสดงลักษณะขอบตัด ของชิ้นงานที่ถูกควบคุมด้วยระยะเวลาของการแช่น้ำ 51
5.3	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านการตัดเฉือนและระยะยืด สำหรับชิ้นงานกาบหมาก ที่ผ่านการตัดเฉือน ที่ถูกควบคุมด้วยระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ที่แตกต่างกัน 52
5.4	ลักษณะขอบตัดเฉือนที่ถูกตัดด้วยแม่พิมพ์ตัดที่ใช้ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ต่างกัน 53
5.5	ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงต้านการตัดเฉือน และระยะยืด สำหรับชิ้นงานกาบหมาก ที่ผ่านการตัดเฉือนที่ถูกควบคุมด้วยความเร็วในการตัดที่แตกต่างกัน 54
5.6	ภาพถ่ายชิ้นงานกาบหมากสงหลังจากการตัดเฉือนที่มีความเร็วตัดต่างกัน 54
5.7	ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงต้านการตัดเฉือน และระยะยืด สำหรับชิ้นงานกาบหมาก ที่ผ่านการตัดเฉือนที่ถูกควบคุมด้วยทิศทางการตัดที่แตกต่างกัน 55
5.8	ภาพถ่ายจากกล้องสเตอริโอ ของขอบตัดเฉือน เพื่อแสดงลักษณะขอบตัด ของชิ้นงานที่ถูกควบคุมด้วยระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ 80 ไมโครเมตร และทิศทาง การตัดเฉือนที่ 0 45 และ 90 56
5.9	ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงต้านการตัดเฉือน และระยะยืด สำหรับชิ้นงาน กาบหมากสงที่ผ่านการตัดเฉือนที่ถูกควบคุมด้วยมุมใบมีดของแม่พิมพ์ตัดที่มี มุมแหลมขนาดต่างกัน 57
5.10	รอยแตกบริเวณใกล้ขอบตัด ที่ถูกควบคุมด้วยลักษณะรูปร่างของแม่พิมพ์ตัด..... 58
5.11	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมของแม่พิมพ์ตัดตัวบนและระยะของรอยแตก เมื่อเทียบกับขอบตัด 58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
5.12	พฤติกรรมกรรมการตอบสนองของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้าน การตัดเฉือนกับระยะกดลิก.....	59
5.13	ตัวอย่างพฤติกรรมกรรมการตอบสนองของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้าน การตัดเฉือนกับระยะกดลิกจากการทดลองจริง.....	60
5.14	การวิเคราะห์ห่อหุ้มของรูปร่างแม่พิมพ์ต่อการเกิดรอยแตกที่ขอบตัดเฉือน ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	62
5.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Maximum Principal Value of Stress และ Arc Length ที่ได้จากการจำลองการตัดด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ สำหรับแม่พิมพ์ที่มีรูปร่างแตกต่างกัน.....	63
5.16	เปรียบเทียบตำแหน่งสูงสุด ที่เกิดความเค้นสูงสุดสำหรับแม่พิมพ์ตัดมีมุมใบมีด 45 60 และ 90 องศา ตามลำดับ	63
5.17	การวิเคราะห์ห่อหุ้มของระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ ต่อการเกิดรอยแตก ที่ขอบตัดเฉือนด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	66
5.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Maximum Principal Value of Stress และ Arc Length ที่ได้จากการจำลองการตัดด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ สำหรับแม่พิมพ์ที่มีช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์แตกต่างกัน	66
5.19	เปรียบเทียบตำแหน่งสูงสุด ที่เกิดความเค้นสูงสุดสำหรับการจำลองอิทธิพลของ ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	67
6.1	การวิเคราะห์ห่อหุ้มของรูปร่างแม่พิมพ์ต่อการเกิดรอยแตกที่ขอบตัดเฉือน ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	68
6.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Maximum Principal Value of Stress และ Arc Length ที่ได้จากการจำลองการตัดด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ สำหรับแม่พิมพ์ที่มีรูปร่างแตกต่างกัน.....	69
6.3	เปรียบเทียบตำแหน่งสูงสุด ที่เกิดความเค้นสูงสุดสำหรับแม่พิมพ์ตัด ที่มีมุมใบมีด 30 45 60 และ 90 องศา ตามลำดับ	70
6.4	รอยแตกบริเวณใกล้ขอบตัด ที่ถูกควบคุมด้วยลักษณะรูปร่างของแม่พิมพ์ตัวบน ที่มีมุมขนาด 30 องศา.....	70

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

σ_c	คือ	ความเค้นอัด (Compressive Stress)
P_c	คือ	แรงกระทำกับวัสดุ
A	คือ	พื้นที่หน้าตัดของวัสดุทดสอบ
τ	คือ	ความเค้นเฉือน (Shear Stress)
P_t	คือ	แรงกระทำขนานกับพื้นที่หน้าตัดของวัสดุ
A	คือ	พื้นที่หน้าตัดของวัสดุทดสอบ
e	คือ	ความเคียดทางวิศวกรรม
E	คือ	ความเคียดจริง
l_0	คือ	ความยาวเริ่มต้นของวัสดุทดสอบ
l	คือ	ความยาวสุดท้ายของวัสดุทดสอบ
k	คือ	เมทริกซ์ความแข็งแรง (Stiffness Matrix)
f	คือ	ค่าแรงที่มากกระทำต่อเอลิเมนต์
d	คือ	ค่าความอิสระของโหนดเอลิเมนต์ (DOF)

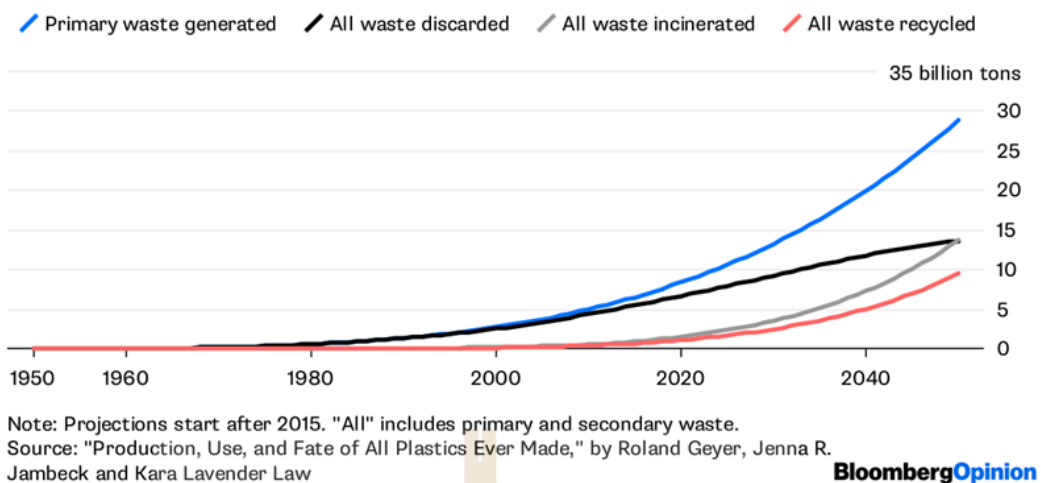
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

นับตั้งแต่กลางศตวรรษที่ 20 เป็นต้นมา มนุษย์ได้ผลิต และใช้ผลิตภัณฑ์จากวัสดุจำพวกพลาสติกเป็นจำนวนมาก และมีแนวโน้มเพิ่มปริมาณมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง [1] จากรูปที่ 1.1 ขยะมูลฝอยที่ถูกทิ้ง (Primary waste generated) มีปริมาณที่สะสมเพิ่มมากขึ้น โดยข้อมูลการเพิ่มขึ้นของขยะพลาสติกถูกรวบรวมไว้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1950 ถึง ปัจจุบัน และปริมาณขยะสะสมจากปัจจุบันจนถึงอนาคต ได้ถูกทำนายไว้ถึง ปี ค.ศ. 2050 ซึ่งมีปริมาณสะสมมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยถูกแสดงด้วยเส้นกราฟสีน้ำเงิน ขยะดังกล่าวถูกแยกย่อยออกมาเป็นขยะที่ถูกทิ้งโดยไม่มีกรำกำจัด หรือถูกนำไปใช้ใหม่ (All waste discarded) แสดงด้วยเส้นกราฟสีดำ ขยะที่ถูกเผาทำลายทิ้ง (All waste incinerated) แสดงด้วยเส้นกราฟสีเทา และปริมาณขยะทั้งหมดที่ถูกนำกลับมาใช้ใหม่ (All waste recycled) แสดงด้วยเส้นกราฟสีแดง ทั้งนี้ การใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกปริมาณมหาศาล ทำให้เกิดขยะพลาสติกที่ไม่ได้ถูกกำจัด และถูกนำกลับไปใช้ใหม่ที่มีปริมาณมากขึ้น ทุกๆปี ทำให้เกิดขยะพลาสติกสะสมมากขึ้น ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการดำรงชีวิตของมนุษย์หลายประการ เช่น ปัญหาจากขยะพลาสติกนอกชายฝั่งจำพวกถุงพลาสติก หลอดพลาสติก ฝาพลาสติก และภาชนะบรรจุอาหาร ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในทะเล และแหล่งน้ำ หรือหากนำขยะพลาสติกไปกำจัดโดยการเผา ก๊าซจากการเผาไหม้ยังก่อให้เกิดผลเสียกับอากาศ ยิ่งไปกว่านั้น ขยะที่ไม่สามารถกำจัดได้ยังเป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรคอีกด้วย [2]

ในปัจจุบัน หลายภาคส่วนเริ่มตระหนักถึงความรุนแรงของปัญหาจากการใช้วัสดุพลาสติก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากพลาสติก และพยายามหาแนวทางแก้ไขหรือบรรเทาความรุนแรงของปัญหา สำหรับประเทศไทย คณะอนุกรรมการบริหารจัดการขยะได้พิจารณาวางแผนปฏิบัติการจัดการขยะพลาสติก 20 ปี ดังแสดงรูปที่ 1.2 จากรูป แสดงให้เห็นถึงการมีนโยบายที่ชัดเจนให้ยกเลิกการใช้พลาสติกหลายชนิดในอนาคตอันใกล้ เช่น พลาสติกหุ้มฝาขวดน้ำ ในปี พ.ศ. 2562 จากนั้นให้ยกเลิกการใช้ถุงพลาสติกหูหิ้ว และกล่องโฟมในปี พ.ศ. 2565 และใน ปีพ.ศ. 2568 ให้ยกเลิกการใช้หลอดพลาสติก และแก้วน้ำพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว นอกจากนี้ในต่างประเทศ เช่น ประเทศอังกฤษและประเทศไอซ์แลนด์ ได้มีการทดลองลดการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกบรรจุผักสด โดยใช้ใบกล้วยห่อผักแทน [3]



รูปที่ 1.1 แนวโน้มการเพิ่มปริมาณของขยะพลาสติกตั้งแต่ปี ค.ศ. 1950 – 2050

ปี 2562 • 3 ชนิด

- พลาสติกหุ้มฝาขวดน้ำดื่ม (Cap Seal)
- ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่มีส่วนผสมของสารประเภทอ็อกโซ (Oxo)
- ไมโครบีดจากพลาสติก (Microbead)

ปี 2565 • 2 ชนิด

- ถุงพลาสติกหูหิ้ว ขนาดความหนา น้อยกว่า 36 ไมครอน
- กล่องโฟมบรรจุอาหาร

ปี 2568 • 2 ชนิด

- แก้วน้ำพลาสติก (ใช้ครั้งเดียว)
- หลอดพลาสติก

รูปที่ 1.2 ผลิตภัณฑ์จากพลาสติกที่จะถูกยกเลิกการใช้งานในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2562 -2568

เนื่องด้วยนโยบายการลด และยกเลิกการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกตั้งตัวอย่างข้างต้น ปัจจุบันมีการใช้วัสดุจากธรรมชาติทดแทนพลาสติก เช่น ใบไม้ ทดแทนภาชนะบรรจุอาหารหรือบรรจุภัณฑ์ และหลุดจากต้นข้าวทดแทนหลอดจากพลาสติก เป็นต้น ซึ่งวัสดุทดแทนจำพวกนี้สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ และมีอัตราการย่อยสลายได้เร็วกว่าพลาสติกมาก ดังแสดงในรูปที่ 1.3 ใบไม้ที่มาจากธรรมชาติโดยตรง จะเห็นว่ามีระยะเวลาการย่อยสลายตัวไม่เกิน 1 ปี โดยที่ บรรจุภัณฑ์จากพลาสติกมีระยะเวลาการย่อยสลายตัวถึง 500 ปี หรือมากกว่า [4]

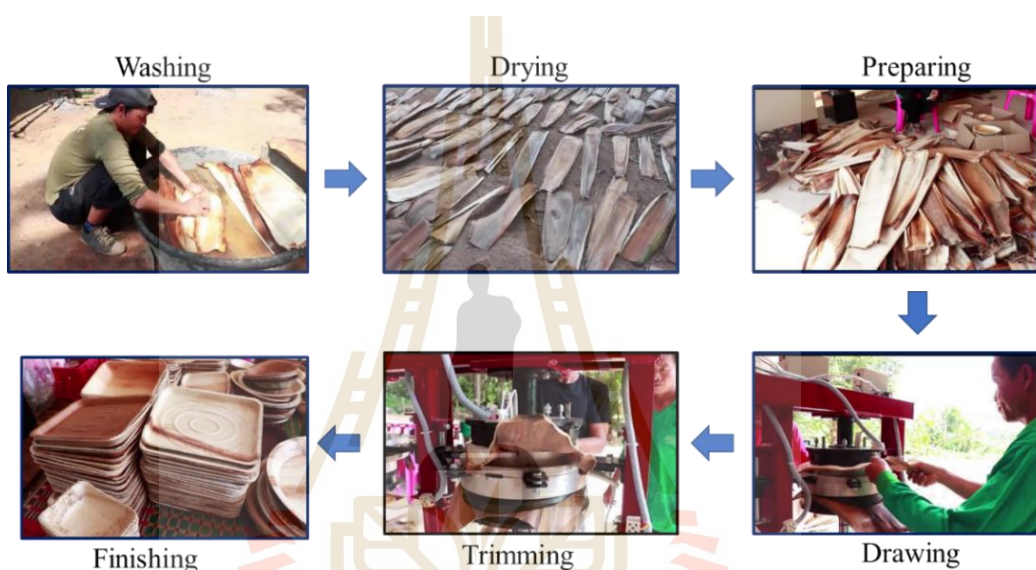
ทั้งนี้ ด้วยนโยบายการลด และยกเลิกการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติก และกระแสการใช้บรรจุภัณฑ์จากธรรมชาติ ส่งผลให้มีบุคคลบางกลุ่มในประเทศไทย และต่างประเทศเล็งเห็นถึงช่องทางธุรกิจโดยการนำวัสดุจากธรรมชาติมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์จำหน่าย เพื่อใช้ทดแทนบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกอื่นๆ จำพวก ถาดใส่อาหาร และบรรจุภัณฑ์สำหรับของใช้ต่าง ๆ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงคาดว่า กระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์จากวัสดุธรรมชาติจะแผ่ขยายเป็นวงกว้างขึ้น และยกระดับจากการผลิตในภาคครัวเรือนไปสู่อุตสาหกรรมภายในเวลาอันใกล้



รูปที่ 1.3 ระยะเวลาการย่อยสลายของวัสดุแต่ละชนิด

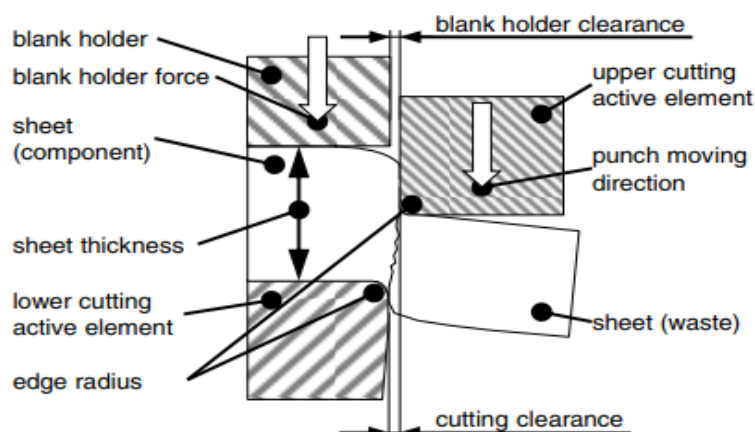
ในปัจจุบันมีการนำวัสดุจากธรรมชาติมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์หลายชนิด เช่น กาบหมากส่งต้นกล้วย ใบตอง ชานอ้อย เปลือกทุเรียน เปลือกมังคุด ข้าวโพด เป็นต้น ซึ่งในบรรดาวัสดุธรรมชาติ ผู้วิจัยเห็นว่ากาบหมากส่งเป็นวัสดุที่มีศักยภาพสูงเป็นอันดับต้น ๆ สำหรับนำมาใช้ในอุตสาหกรรม

ผลิตบรรจุภัณฑ์จากวัสดุธรรมชาติ เนื่องด้วยกาบหมากสงเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงสูง ไม่เสียรูปง่าย มีลักษณะเป็นแผ่นบางเอื้อต่อการนำมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ด้วยกระบวนการขึ้นรูปวัสดุแผ่นทั่วไป หาได้ง่ายในประเทศไทย ในปัจจุบัน ในหลายประเทศ เริ่มมีการนำกาบหมากสงมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์แล้ว เช่น ประเทศไทย และ ประเทศอินเดีย เป็นต้น ซึ่งกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์จากกาบหมากสงในปัจจุบันมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 1.4 เริ่มจากการนำกาบหมากสงหลังการเก็บเกี่ยวมาล้างให้สะอาด นำไปผึ่งให้หมาด นำไปตัดให้มีขนาดเหมาะต่อการขึ้นรูป หลังจากนั้น ชิ้นงานกาบหมากสงที่ได้จะถูกนำไปตากขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ ตัดขอบ ตกแต่ง และตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ



รูปที่ 1.4 ขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์จากกาบหมากสง

การตัดเฉือน (Shearing) ใช้ในกระบวนการผลิตหลายขั้นตอน ได้แก่ การตัดเพื่อเตรียมแผ่นกาบหมากสงก่อนการขึ้นรูป และตัดขอบของผลิตภัณฑ์หลังการขึ้นรูป การตัดเฉือนจึงจัดเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์จากกาบหมากสง โดยปกติการตัดเฉือนด้วยแม่พิมพ์ (Punch/die shearing) เป็นกระบวนการที่ถูกใช้เพื่อตัดวัสดุในหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมการขึ้นรูปโลหะแผ่น พลาสติกแผ่น फिल्मบาง กระดาษ เป็นต้น การตัดวัสดุด้วยวิธีการดังกล่าวมีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับกระบวนการตัดวัสดุอื่น ๆ เช่น มีกำลังการผลิตสูงมาก ต้นทุนการผลิตชิ้นงานต่ำ ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมต่ำด้วย เมื่อเทียบกับการตัดวัสดุด้วยความร้อน องค์ประกอบพื้นฐานของการตัดเฉือนด้วยแม่พิมพ์ได้แก่ 1) แม่พิมพ์บน (Punch) ซึ่งมักถูกกดให้เคลื่อนที่ลงมายังวัสดุขณะตัด 2) แม่พิมพ์ล่าง (Die) ซึ่งโดยปกติถูกยึดไม่ให้เคลื่อนที่ และ 3) วัสดุที่ต้องการตัด ดังแสดงในรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 องค์ประกอบของชุดแม่พิมพ์ตัดเฉือน

อย่างไรก็ตาม จากปัญหาจากการตัดขอบบรรจุภัณฑ์จริง ผู้วิจัย พบว่า การตัดขอบยังมีปัญหา ด้านคุณภาพอยู่หลายประการ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ขอบตัดปรากฏมีเสี้ยน ดังแสดงในรูปที่ 1.6 (a) หลายครั้งผู้ผลิตต้องนำขอบตัดมาตัดแต่งซ้ำอีกครั้งด้วยกรรไกรเพื่อกำจัดเสี้ยนจากการตัดเฉือน ซึ่ง การตัดแต่งด้วยกรรไกรเป็นกระบวนการที่ต้องใช้เวลา และแรงงานมากกว่าปกติ จึงส่งผลให้กำลังการผลิตของกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์กابหมากสงต่ำลงเป็นอย่างมาก และไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค นอกจากนี้ยังพบปัญหาการแตกบนผิวกابหมากสงด้วย ดังแสดงในรูปที่ 1.6 (b) ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์หลังการขึ้นรูปเกิดความเสียหาย และในปัจจุบัน ผู้ผลิตยังขาดความเข้าใจในสาเหตุของการเกิดรอยแตกนี้



(a) ปัญหาการเกิดเสี้ยนที่ขอบตัด

(b) ปัญหาการแตกที่ผิวกابหมากสง

รูปที่ 1.6 ปัญหาที่เกิดจากการตัดขอบบรรจุภัณฑ์

ด้วยเหตุนี้ เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการตัดเฉือนกาบหมากสง เกิดข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อการพัฒนากระบวนการตัดเฉือนให้ได้ขอบตัดที่มีคุณภาพสูงขึ้น และสามารถดำเนินการตัดเฉือนได้ในระดับอุตสาหกรรม ผู้วิจัยจึงมีความสนใจและศึกษาการตัดกาบหมากสงด้วยแม่พิมพ์ตัดเฉือน โดยจะเริ่มจากการศึกษาสมบัติพื้นฐานของกาบหมากสงหลังการเก็บเกี่ยว ศึกษาผลกระทบของตัวแปรการตัดเฉือนต่อคุณภาพขอบตัด ศึกษารูปร่างแม่พิมพ์ตัดเฉือนต่อคุณภาพของขอบตัด ศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดรอยแตกที่ผิวชิ้นงานกาบหมากสงหลังการตัดเฉือน และในที่สุดจะทำการพัฒนาชุดแม่พิมพ์ตัดเฉือนต้นแบบสำหรับตัดขอบกาบหมากสง

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะ และสมบัติของกาบหมากสงหลังการเก็บเกี่ยว ได้แก่ ความหนา ความแข็งแรง และความเหนียว

1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรการตัดเฉือนพื้นฐานที่มีผลต่อผลการตัดเฉือน โดยเฉพาะลักษณะขอบตัดเฉือน ได้แก่ ปริมาณความชื้นในกาบหมาก ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ ทิศทางการตัด ความเร็วในการตัด และรูปร่างของแม่พิมพ์ เป็นต้น

1.2.3 เพื่อพัฒนาแม่พิมพ์ตัดเฉือนต้นแบบสำหรับตัดขอบผลิตภัณฑ์กาบหมากสงหลังการขึ้นรูป

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 สมบัติความแข็งแรงและความเหนียวของกาบหมากสงในแต่ละบริเวณของกาบใบ น่าจะมีการแปรปรวนและไม่คงที่

1.3.2 ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ตัดเฉือนกาบหมากสง และทิศทางการวางตัวของเส้นใยในกาบหมากสง น่าจะมีผลต่อคุณภาพการตัดเฉือนเป็นอย่างมาก

1.3.3 จากตัวแปรการตัดเฉือนข้างต้น ถ้าสามารถหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการตัดกาบหมาก สงให้ให้มีคุณภาพดีที่สุดได้ ชุดแม่พิมพ์ตัดเฉือนกาบหมากสงต้นแบบ ก็น่าจะผลิตขอบผลิตภัณฑ์จากกาบหมากสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ในการศึกษาสมบัติของกาบหมากสง และอิทธิพลของตัวแปรการตัดเฉือน ผู้ทำวิจัย จะศึกษาเฉพาะในกาบหมากสงเท่านั้น

1.4.2 การทดสอบสมบัติทางกลของกาบหมากสง จะถูกทำโดยอาศัยการวิธีทดสอบแรงดึง

1.4.3 ตัวแปรการตัดเฉือนพื้นฐานที่จะทำการศึกษา ได้แก่ ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ตัดเฉือน ความเร็วการตัด และทิศทางการตัดเฉือนเมื่อเทียบกับทิศทางของเส้นใยบนกาบหมากสง

1.4.4 หลังจากทราบผลของตัวแปรการตัดเฉือนพื้นฐานที่มีผลต่อลักษณะขอบตัดแล้ว จะทำการออกแบบ ผลิตแม่พิมพ์ต้นแบบสำหรับตัดขอบผลิตภัณฑ์จากกาบหมากสงหลังการขึ้นรูป และทำการทดสอบตัดด้วยแม่พิมพ์ที่ถูกพัฒนาขึ้น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะ และสมบัติของกาบหมากสง อันเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญต่อการพัฒนากระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์จากกาบหมากสง

1.5.2 เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับอิทธิพลของตัวแปรการตัดเฉือนพื้นฐาน อาทิ ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ ความเร็วการตัด และทิศทางการตัด ที่มีต่อผลการตัดเฉือน ซึ่งข้อมูลนี้เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการพัฒนาชุดแม่พิมพ์ตัดอุตสาหกรรม

1.5.3 ได้แม่พิมพ์ตัดเฉือนต้นแบบ สำหรับตัดขอบผลิตภัณฑ์จากกาบหมากสงหลังการขึ้นรูป

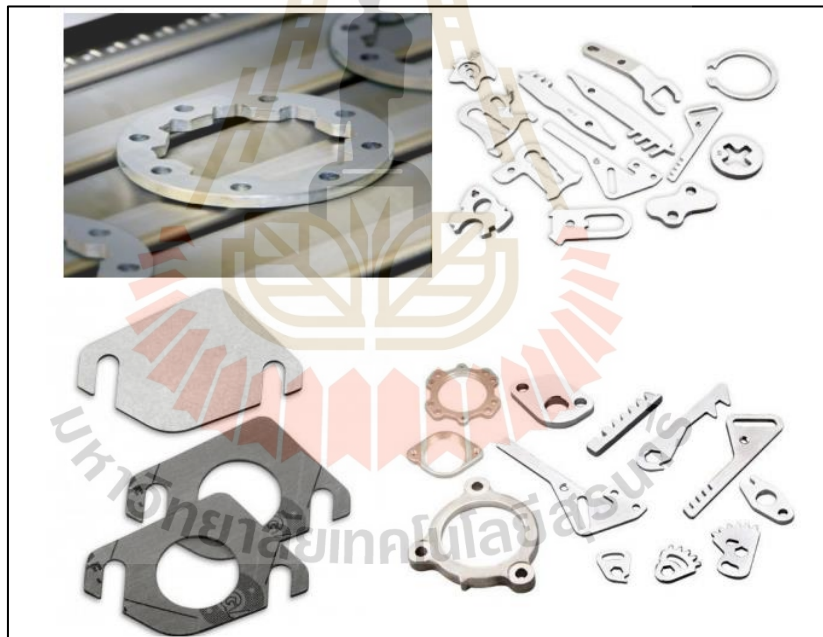


บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการตัดเฉือนโดยใช้แม่พิมพ์

กระบวนการตัดเฉือนโดยใช้แม่พิมพ์ตัดเฉือนนั้น ถูกใช้แพร่หลายในอุตสาหกรรมกระดาศ อุตสาหกรรมผลิตบรรจุภัณฑ์ อุตสาหกรรมการตัดโลหะ อุตสาหกรรมการตัดลวดโลหะ เนื่องจากเป็นกระบวนการหลักที่ถูกใช้ในการเตรียมชิ้นงานเริ่มต้นให้มีขนาดตามที่ต้องการ ก่อนที่จะผ่านกรรมวิธีขึ้นรูปหรือประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ตามแบบที่ต้องการ รูปที่ 2.1 และ 22 แสดงชิ้นส่วนโลหะที่ผ่านกระบวนการตัดเฉือน และกระดาศที่ผ่านการตัดเฉือนโดยใช้แม่พิมพ์ ตามลำดับ

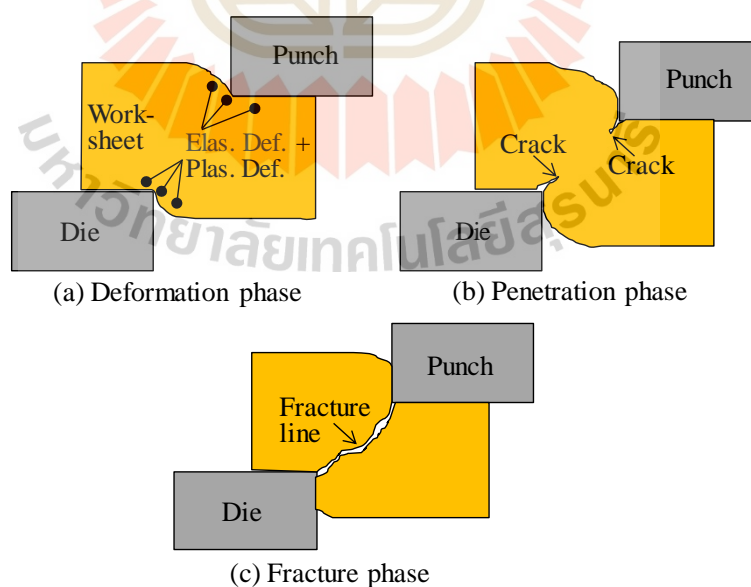


รูปที่ 2.1 ตัวอย่างชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการตัดเฉือนโดยใช้ชุดแม่พิมพ์ (Hans Weber Maschinenfabrik GmbH, 2019), (New Swan Pvt. Ltd., 2019) and (Tafmet Tadeusz Fita, 2019)



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างกล่องบรรจุภัณฑ์จากกระดาษ ที่ผ่านกระบวนการ ตัดเฉือนโดยใช้ชุดแม่พิมพ์

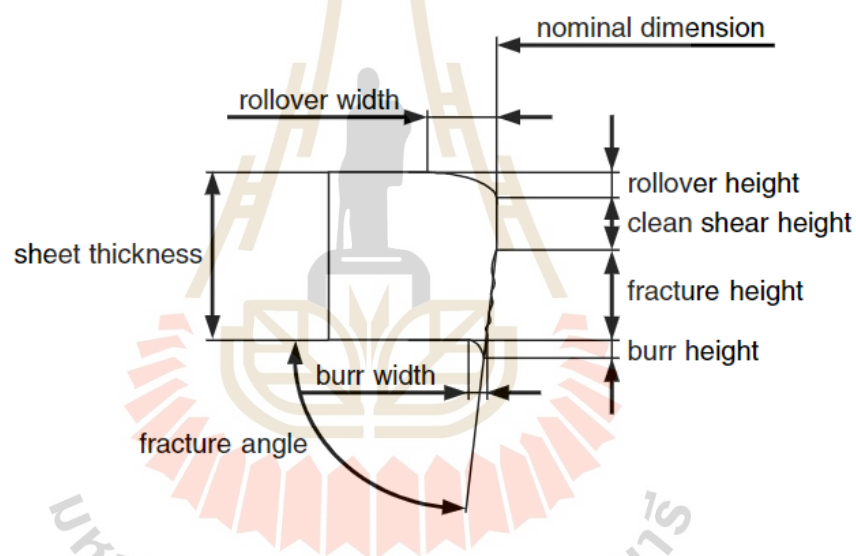
รูปที่ 2.3 แสดงการเสียรูป และการตัดขาดของวัสดุแผ่นในระหว่างการตัดเฉือน ขณะที่แม่พิมพ์บนเคลื่อนที่ลงมา และสัมผัสวัสดุแผ่น ดังแสดงในรูป 2.3 (a) ในช่วงแรกวัสดุแผ่นจะเกิดเฉพาะการเสียรูปเท่านั้น กรณีการตัดเฉือนวัสดุจำพวกโลหะ วัสดุจะเกิดการเสียรูปแบบยืดหยุ่น และแบบถาวร หลังจากนั้นเมื่อระยะกดแม่พิมพ์บนเพิ่มขึ้นอีก ความเค้นที่มีความเข้มข้นสูง (Stress concentration) จะเกิดขึ้นภายในเนื้อวัสดุในบริเวณใกล้กับคมตัดของแม่พิมพ์บนและแม่พิมพ์ล่าง เป็นผลให้เกิดรอยแตกขนาดเล็ก (Cracks) ขึ้น ณ บริเวณดังกล่าว ดังรูป 2.3 (b) เมื่อแม่พิมพ์บนเคลื่อนที่ลงอย่างต่อเนื่อง รอยแตกจะขยายตัวมาพบกันทำให้วัสดุเกิดการขาดออกจากกันที่สุดในที่สุด ดังแสดงในรูป 2.3 (c)



รูปที่ 2.3 ลำดับการเสียรูป และฉีกขาดของวัสดุขณะตัดเฉือน (ภูษิต มิตรสมหวัง)

ขอบตัดของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการตัดเฉือนในวัสดุประเภทโลหะ จะมีลักษณะจำเพาะ ดังรูป ที่ 2.4 ประกอบไปด้วย 4 บริเวณ กล่าวคือ

- บริเวณส่วนโค้งมน (Rollover Zone) เป็นผลมาจากการเสียรูปแบบพลาสติก หรือการเสียรูปอย่างถาวร ในช่วงแรกของการตัดเฉือน
- บริเวณผิวเรียบ (Burnish Zone) เป็นผลมาจากวัสดุเสียหายจากแรงเฉือน ทำให้เกิดผิวเรียบและมันวาว
- บริเวณที่ชิ้นงานเกิดการแตกหัก (Fracture Zone) เป็นผลมาจากการขยายตัวของรอยแตกขณะตัด ทำให้เกิดผิวขรุขระ
- บริเวณครีบ (Burr Zone) เป็นผลมาจากเนื้อโลหะส่วนท้ายสุดฉีกขาด มีลักษณะแหลม และยื่นเกินออกจากขอบของชิ้นงาน



รูปที่ 2.4 ลักษณะของขอบผิวชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการตัดเฉือน

(The Association of German Engineerings, 1994)

2.2 ความเค้น ความเครียด และเกณฑ์การครากของวัสดุ

ในงานวิจัยนี้ ต้องทำการทดสอบสมบัติทางกลของกาบหมากสง และทดสอบการตัดเฉือนด้วยแม่พิมพ์ นอกจากนี้ ยังมีการจำลองการตัดเฉือน เพื่อวิเคราะห์ความเค้นในกาบหมากสงขณะถูกตัด ดังนั้นความรู้ด้านความเค้น ความเครียด และเกณฑ์การครากของวัสดุ จึงมีความจำเป็น และถูกสรุปไว้ดังต่อไปนี้

ความเค้น (Stress) หมายถึง แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติ และความยากในการวัดค่านี้ เราจึง

มักจะพูดถึงความเค้นในรูปของแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ด้วยเหตุผลที่ว่า แรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านทานภายใน โดยทั่วไปความเค้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ

2.2.1 ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress)

เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อพยายามดึงให้วัสดุมีขนาดยืดยาวขึ้น ดังรูปที่ 2.5 (a) และแสดงดังสมการความสัมพันธ์ที่ 2.1

$$\sigma = dP / dA \quad (2.1)$$

โดยที่ σ คือ ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress)

P คือ แรงกระทำกับวัสดุ

A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัสดุทดสอบ

2.2.2 ความเค้นแรงอัด (Compressive Stress)

เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อพยายามอัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง ดังรูปที่ 2.5 (b) และแสดงดังสมการความสัมพันธ์ที่ 2.2

$$\sigma_c = dP_c / dA \quad (2.2)$$

โดยที่ σ_c คือ ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress)

P_c คือ แรงกระทำกับวัสดุ

A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัสดุทดสอบ

2.2.3 ความเค้นแรงเฉือน (Shear Stress)

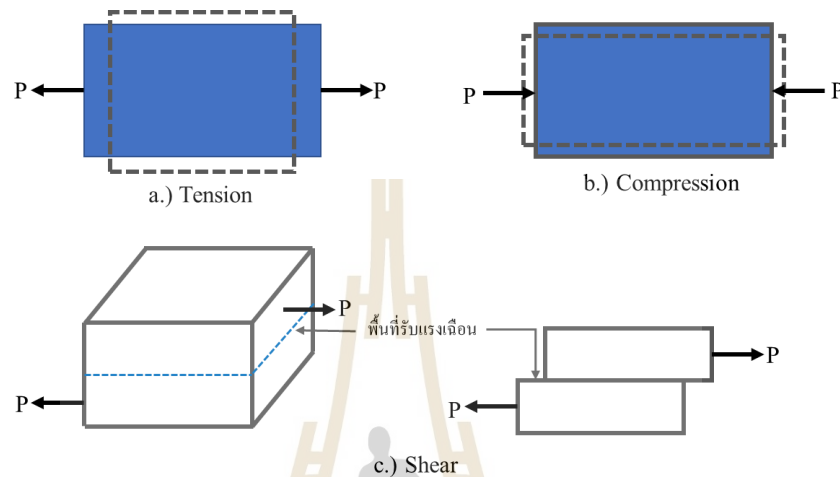
ใช้สัญลักษณ์ τ เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำให้ทิศทางขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อให้วัสดุเคลื่อนผ่านจากกันดังรูปที่ 2.5 (c) มีค่าเท่ากับแรงเฉือน (Shear Force) หารด้วยพื้นที่ภาคตัดขวาง A และแสดงดังสมการที่ 2.3

$$\tau = dP_r / dA \quad (2.3)$$

โดยที่ τ คือ ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress)

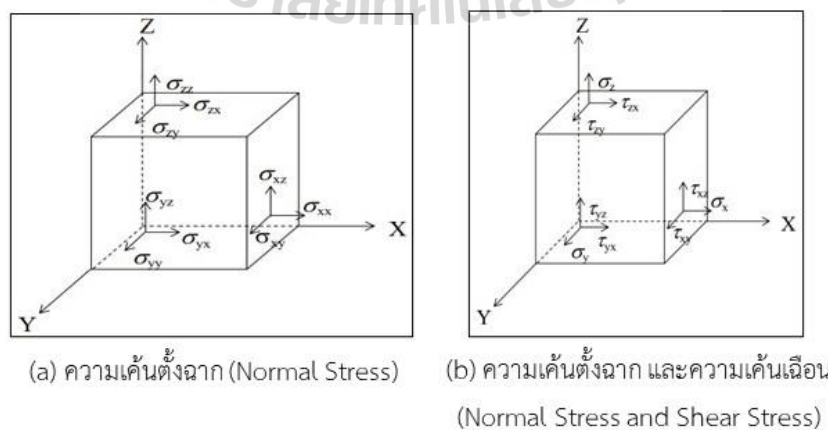
P_r คือ แรงกระทำกับวัสดุ

A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัสดุทดสอบ



รูปที่ 2.5 ลักษณะของแรงกระทำชนิดต่าง ๆ

เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำกับวัสดุ ณ บริเวณใด ๆ จะส่งผลให้เกิดความเค้นกระทำกับวัสดุ โดยแบ่งเป็นความเค้นตั้งฉากกับผิววัสดุหนึ่งส่วน และอีกสองส่วนเป็นความเค้นเฉือนตามแนวแกน เมื่อพิจารณาความเค้นที่กระทำกับเอลิเมนต์ในก้อนวัสดุสามมิติ ได้ว่าความเค้นที่กระทำกับเอลิเมนต์นั้น จะประกอบไปด้วยความเค้น 9 ส่วนด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (a) และ 2.6 (b) ซึ่งความเค้นทั้งหมดนี้สามารถที่จะเขียนออกมาในรูปแบบเมตริกซ์ได้ดังแสดงในสมการที่ 2.4 หรือ 2.5



(a) ความเค้นตั้งฉาก (Normal Stress)

(b) ความเค้นตั้งฉาก และความเค้นเฉือน (Normal Stress and Shear Stress)

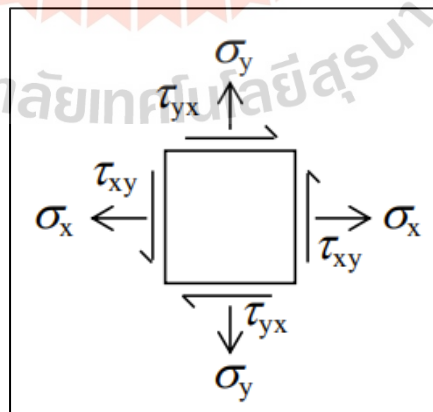
รูปที่ 2.6 ความเค้นที่กระทำกับเอลิเมนต์ (ภูษิต มิตรสมหวัง, 2561)

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{yx} & \sigma_{zx} \\ \sigma_{xy} & \sigma_{yy} & \sigma_{zy} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \sigma_{yx} & \sigma_{zx} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y & \sigma_{zy} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_z \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

โดยที่	σ_{xx}, σ_x	คือ	ความเค้นที่กระทำในแกน x
	σ_{yy}, σ_y	คือ	ความเค้นที่กระทำในแกน y
	σ_{zz}, σ_z	คือ	ความเค้นที่กระทำในแกน z
	σ_{xy}, σ_{yx}	คือ	ความเค้นที่กระทำในแกน x และ y
	σ_{yz}, σ_{zy}	คือ	ความเค้นที่กระทำในแกน y และ z
	σ_{zx}, σ_{xz}	คือ	ความเค้นที่กระทำในแกน z และ x

เมื่อพิจารณาเพียงความเค้นตั้งฉากที่กระทำกับระนาบ X และ Y ความเค้นหลักหรือความเค้นระนาบนี้แสดงดังรูปที่ 2.7 โดยความเค้นหลักนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในการวิเคราะห์การขึ้นรูปของวัสดุ โดยเฉพาะการวิเคราะห์การเกิด และการขยายตัวของรอยแตกอันเกิดจากความเค้นแรงดึง กล่าวคือ ณ จุดที่มีความเค้นแรงดึงสูงสุดกระทำกับเนื้อโลหะ รอยแตกมีโอกาที่จะเกิดขึ้นในลักษณะตั้งฉากกับความเค้นแรงดึงสูงสุดนั้น ซึ่งความเค้นตั้งฉากสูงสุดคำนวณได้ตามความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.6



รูปที่ 2.7 ความเค้นระนาบ (ภูษิต มิตรสมหวัง, 2561)

$$\sigma_{max}, \sigma_{min} = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y)^2 \pm \frac{1}{2}[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2]^{\frac{1}{2}} \quad (2.6)$$

โดยที่	σ_{max}	คือ	ความเค้นสูงสุด
	σ_{min}	คือ	ความเค้นต่ำสุด
	σ_x	คือ	ความเค้นในแนวแกน x
	σ_y	คือ	ความเค้นในแนวแกน y
	τ_{xy}	คือ	ความเค้นเฉือนในแนว xy

นอกจากความเค้นหลักที่กระทำตั้งฉากกับแนวระนาบแล้ว ความเค้นหลักที่เป็นความเค้นเฉือนก็มีส่วนสำคัญในการวิเคราะห์การขึ้นรูปของโลหะด้วย โดยขนาดของความเค้นหลักที่เป็นความเค้นเฉือนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.7

$$\tau_{max} = \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.7)$$

โดยที่	τ_{max}	คือ	ความเค้นเฉือนสูงสุด
	σ_x	คือ	ความเค้นในแนวแกน x
	σ_y	คือ	ความเค้นในแนวแกน y
	τ_{xy}	คือ	ความเค้นเฉือนในแนว xy

2.2.4 ความเครียด (Strain)

การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ (เกิดความเค้น) วัสดุก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างขึ้นพร้อม ๆ กัน ซึ่งลักษณะของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบ่งเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่

1. การเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น หรือความเครียดแบบคืนรูป (Elastic Deformation or Elastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปในลักษณะที่เมื่อปลดแรงกระทำ โครงสร้างของวัสดุที่เสียรูปไปเนื่องจากผลของความเค้นจะเคลื่อนกลับเข้าตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้
2. การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก หรือความเครียดแบบคงรูป (Plastic Deformation or Plastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ว วัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไป

นอกจากนี้เราสามารถคำนวณความเครียดทางวิศวกรรม และความเครียดจริง ได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ดังสมการ 2.8 และ 2.9 ตามลำดับ

$$e = \frac{l-l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.8)$$

$$d\varepsilon = \frac{dl}{l} \quad (2.9)$$

โดยที่	e	คือ	ความเครียดทางวิศวกรรม
	ε	คือ	ความเครียดจริง
	l_0	คือ	ความยาวเริ่มต้นของวัสดุทดสอบ
	l	คือ	ความยาวสุดท้ายของวัสดุทดสอบ

โดยเมื่อพิจารณาความเครียดนี้ ในระบบสามมิติสามารถแสดงได้ในรูปเมทริกซ์ ซึ่งความเครียดทั้งหมดมีจำนวนเท่ากับจำนวนความเค้นสามารถเขียนแสดงได้ดังสมการที่ 2.10 นอกจากนี้ ความเครียดตั้งฉากหรือความเครียดหลักนั้นสามารถคำนวณได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.11 และความเครียดเฉือนสูงสุดคำนวณได้จากสมการที่ 2.12

$$e_{ij} = \begin{bmatrix} e_{xx} & e_{yx} & e_{zx} \\ e_{xy} & e_{yy} & e_{zy} \\ e_{xz} & e_{yz} & e_{zz} \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

โดยที่	e_{xx}, e_x	คือ	ความเครียดที่กระทำในแกน x
	e_{yy}, e_y	คือ	ความเครียดที่กระทำในแกน y
	e_{zz}, e_z	คือ	ความเครียดที่กระทำในแกน z
	e_{xy}, e_{yx}	คือ	ความเครียดที่กระทำในแกน x และ y
	e_{yz}, e_{zy}	คือ	ความเครียดที่กระทำในแกน y และ z
	e_{zx}, e_{xz}	คือ	ความเครียดที่กระทำในแกน z และ x

$$e_{max}, e_{min} = \frac{1}{2}(e_x + e_y)^2 \pm \frac{1}{2}[(e_x - e_y)^2 + 4e_{xy}^2]^{\frac{1}{2}} \quad (2.11)$$

$$e_{max} = \frac{1}{2}\gamma_{max} = [(e_x - e_y)^2 + 4e_{xy}^2]^{\frac{1}{2}} \quad (2.12)$$

โดยที่	e_{max}	คือ	ความเครียดสูงสุด
	e_{min}	คือ	ความเครียดต่ำสุด
	e_x	คือ	ความเครียดในแนวแกน x
	e_y	คือ	ความเครียดในแนวแกน y
	e_{xy}	คือ	ความเครียดในแนว xy

2.2.5 เกณฑ์การคราก (Yield Criteria)

ในกระบวนการตัด เกณฑ์การครากนับเป็นสิ่งที่สำคัญมากในการประเมินรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานตัด เนื่องจากโดยปกติในระหว่างกระบวนการตัด ชิ้นงานโลหะ หรือวัสดุอื่น ๆ จะอยู่ภายใต้สภาวะความเค้นซึ่งมีความซับซ้อน ด้วยเหตุนี้การระบุจุดที่โลหะ หรือวัสดุประเภทอื่นเริ่มเกิดการคราก หรือเริ่มเกิดการเสียรูปแบบถาวรจึงจำเป็นต้องอาศัยเกณฑ์การครากเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ สำหรับกรณีที่วัสดุมีสมบัติทางกลที่สม่ำเสมอทุกทิศทาง เกณฑ์การครากนั้นสามารถหาได้จากเกณฑ์การคราก วอน มิสเซส (Von Misses' Yield Criterion) และเกณฑ์การครากเทรสกา (Tresca's Yield Criterion)

เกณฑ์การครากวอนมิสเซส (Von Misses' Yield Criterion) วัสดุจะเกิดการครากเมื่อ Stress Deviator (J_2) มากกว่าค่าวิกฤติค่าหนึ่ง ดังมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.13 โดย Stress deviator สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.14

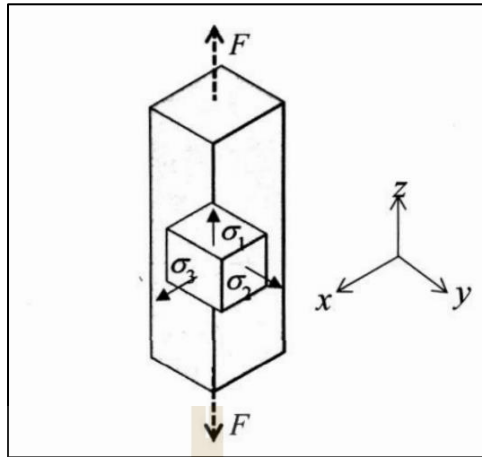
$$J_2 = k^2 \quad (2.13)$$

$$J_2 = \frac{1}{6} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] \quad (2.14)$$

เพื่อคำนวณค่าคงที่ k และสร้างความสัมพันธ์การครากในการทดสอบแรงดึงในแนวแกนเดียว ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ภายใต้สภาวะแรงดึงดังกล่าว ณ จุดที่วัสดุเริ่มเกิดการคราก ความเค้นหลักตั้งฉาก $\sigma_1 = \sigma_0$ (ความเค้นจุดครากของวัสดุ) ความเค้นหลักตั้งฉาก σ_2 และความเค้นหลักตั้งฉาก $\sigma_3 = 0$ จากนั้นแทนค่าความเค้นนี้ลงในสมการที่ 2.14 และจากสมการที่ 2.13 จะได้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.15 และ 2.16

$$\sigma_0^2 + \sigma_0^2 = 6k^2 \quad (2.15)$$

$$\sigma_0 = \sqrt{3}k \quad (2.16)$$



รูปที่ 2.8 ความเค้นในชิ้นงานทดสอบแรงดึงในแกนเดียว (ภูษิต มิตรสมหวัง, 2561)

แทนค่า ($J_2^{1/2} = k$) ลงในสมการที่ 2.16 ได้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.17 และ 2.18

$$\sigma_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{1/2} \quad (2.17)$$

$$\sigma_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)]^{1/2} \quad (2.18)$$

จากสมการที่ 2.17 และ 2.18 ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยการแทนความเค้นส่วนต่าง ๆ ทางฝั่งขวาของสมการเรียกว่า “ความเค้นสมมูล (Equivalent or Effective Stress)” สำหรับการเปรียบเทียบของสมการทั้งสองนี้ทำได้ด้วยการเปรียบเทียบความเค้นสมมูลกับความเค้นจุดครากที่ได้จากการทดสอบแรงดึงในแนวแกนเดียวของวัสดุ กล่าวคือ หากความเค้นสมมูลที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าความเค้นจุดครากของวัสดุแสดงว่าวัสดุไม่เกิดการครากหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวรในทางตรงกันข้ามหากความเค้นสมมูลมีค่าถึงค่าความเค้นจุดครากของวัสดุ แสดงว่าวัสดุเริ่มเกิดการครากแล้ว

เกณฑ์การครากเทรสกา (Tresca's Yield Criterion) เป็นเกณฑ์การครากอีกเกณฑ์หนึ่งที่นิยมใช้ เกณฑ์นี้อธิบายไว้ว่า การครากของวัสดุเกิดขึ้นเมื่อความเค้นเฉือนหลักสูงสุด (τ_{max}) มีค่าสูงถึงค่าความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นในแท่งวัสดุจากการทดสอบแรงดึง โดยค่าความเค้นเฉือนสูงสุดนี้สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.19

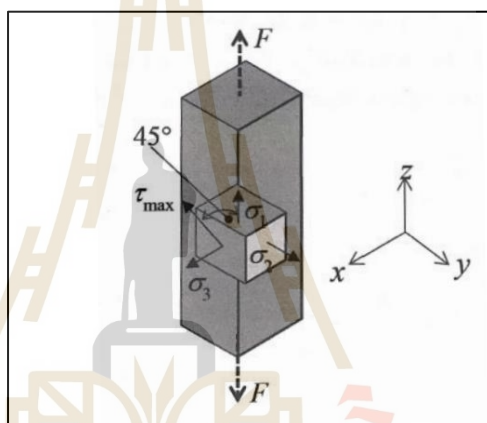
ในการทดสอบแรงดึงวัสดุในแนวแกนเดียวตามรูปที่ 2.9 ณ จุดที่วัสดุเริ่มเกิดการครากสามารถสรุปได้ว่าความเค้นหลักตั้งฉาก $\sigma_1 = \sigma_0$ (ความเค้นจุดครากของวัสดุ) ความเค้นหลัก ตั้งฉาก

σ_2 และ $\sigma_3 = 0$ ความเค้นเฉือนสูงสุดเท่ากับ $\sigma_0 / 2$ แทนค่าความเค้นเหล่านี้ลงในสมการที่ 2.19 เป็นผลให้ได้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.20 หรือ 2.21

$$\tau_{max} \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \tau_0 \quad (2.19)$$

$$\tau_{max} \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \tau_0 = \frac{\sigma_0}{2} \quad (2.20)$$

$$\sigma_0 = \sigma_1 - \sigma_3 \quad (2.21)$$



รูปที่ 2.9 ความเค้นเฉือนในชิ้นงานทดสอบแรงดึงในแนวแกนเดียว (ภูษิต มิตรสมหวัง, 2561)

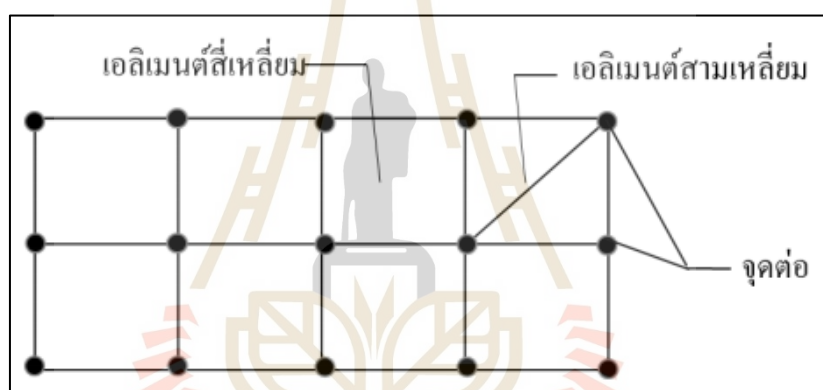
ผลการคำนวณจากฝั่งขวาของสมการเรียกว่า “ความเค้นสมมูล” เช่นเดียวกัน การประยุกต์ใช้ผลการคำนวณด้วยเกณฑ์การครากเทรסקาคัล้ายคลึงกับเกณฑ์การครากวอนมิสเสส กล่าวคือ หากความเค้นสมมูลที่คำนวณได้นั้น มีค่าสูงถึงความเค้นจุดครากของวัสดุที่ได้จากการทดสอบแรงดึงในแนวแกน แสดงว่า วัสดุเริ่มเกิดการคราก หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวรแล้ว

2.3 การวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis : FEA) วิธีการนี้มีความสำคัญต่องานวิจัยเป็นอย่างมาก ระเบียบวิธีนี้เป็นเทคนิคการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเพื่อให้ได้ผลลัพธ์โดยประมาณของปัญหาที่หลากหลาย ซึ่งประกอบด้วย สมการ

ควบคุมระบบ และใช้เงื่อนไขขอบเขตเพื่อแก้สมการ ในระเบียบการไฟไนต์เอลิเมนต์จะแบ่งโดเมนของปัญหาออกเป็นส่วนย่อย ๆ เรียกว่า เอลิเมนต์ (Element) ซึ่งแต่ละเอลิเมนต์จะเชื่อมกันด้วยจุดโหนด (Node) ดังแสดงในรูปที่ 2.10

ดังนั้น เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ของปัญหาโดยประมาณ ต้องนำสมการควบคุมระบบมาสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ของแต่ละเอลิเมนต์บนโดเมน จากนั้น จึงทำการแก้ปัญหาดังกล่าวซึ่งจะได้ผลเฉลยของปัญหาที่จุดต่อบนโดเมน แม้การพัฒนาระเบียบการไฟไนต์เอลิเมนต์แรกเริ่มเดิมทีจะเน้นไปที่การศึกษาความเค้นในโครงสร้างที่ซับซ้อน ตั้งแต่นั้นระเบียบการไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางในสายงานที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ การวิเคราะห์ปัญหาทางความร้อน การวิเคราะห์การไหล เพราะระเบียบการนี้มีความหลากหลายอีกทั้งเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่มีความยืดหยุ่น จึงทำให้ได้รับความสนใจในสถานศึกษาทางด้านวิศวกรรม และในอุตสาหกรรม



รูปที่ 2.10 ระเบียบการไฟไนต์เอลิเมนต์ (ปราโมทย์ เดชะอำไพ, 2555)

การใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Software) ในการวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรม โดยปกติประกอบด้วย 3 ขั้นตอนเรียงลำดับได้ดังนี้

1. ขั้นตอนการเตรียมกระบวนการ (Pre Processing)

โดยทั่วไปใช้สำหรับการสร้างแบบจำลองของส่วนที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งแบ่งรูปทรงเรขาคณิตออกเป็นชิ้นส่วนย่อย ๆ เรียกว่า เอลิเมนต์ โดยที่เอลิเมนต์แต่ละเอลิเมนต์จะเชื่อมต่อกันด้วยจุดโหนด นอกจากนี้จะต้องทำการกำหนดแรง หรือภาระที่มากระทำกับชิ้นงานที่ต้องวิเคราะห์ ซึ่งมักถูกเรียกว่า การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary conditions)

2. ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analysis)

ข้อมูลต่าง ๆ เช่นแบบจำลอง เอลิเมนต์ เงื่อนไข ต่าง ๆ ที่ได้ถูกเตรียมการจากขั้นตอนการเตรียมกระบวนการ จะถูกนำมาใช้ป้อนเข้าสู่ระเบียบการไฟไนต์เอลิเมนต์ ตามหลักการของ

ระเบียบการที่สร้าง และแก้ไขปัญหาแบบเชิงเส้น (Linear) หรือ ไม่เชิงเส้น (Nonlinear) ด้วยสมการทางพีชคณิต โดยไฟไนต์เอลิเมนต์มีสมการรูปทั่วไป ดังแสดงในสมการที่ 2.22 สมการเมทริกซ์ ดังรูปที่ 2.11

$$\{k\}\{d\} = \{f\} \quad (2.22)$$

โดยที่ k คือ เมทริกซ์ความแข็งแกร่ง (Stiffness Matrix)
 f คือ ค่าแรงที่มากระทำต่อเอลิเมนต์
 d คือ ค่าความอิสระของโหนดเอลิเมนต์ (DOF)

$$\begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ \vdots \\ f_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & \dots & k_{2n} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & \dots & k_{3n} \\ \vdots & & & & \vdots \\ k_{n1} & & & \dots & k_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \vdots \\ d_n \end{Bmatrix}$$

รูปที่ 2.11 สมการรูปทั่วไปของไฟไนต์เอลิเมนต์แบบเมทริกซ์ (Matrix)

(Bowden, F.P. and Tabor, D., 1971)

3. ขั้นตอนการนำเสนอกระบวนการ (Post Processing)

ขั้นตอนการนำเสนอกระบวนการนั้นเกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ของระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งการแสดงผลรูปแบบของการนำเสนอทางกราฟฟิกส์ จะแสดงเป็นระดับชั้นสี ลายเส้น กราฟฟิค หรือระบบตัวเลข ที่ได้จากการวิเคราะห์ อาทิ ค่าความเค้นสูงสุดที่ผิวชิ้นงาน สามารถถูกอ่านได้จากแถบกราฟฟิคระดับสี หรือสามารถแสดงผลแบบระบบตัวเลขก็ได้

2.4 ผลของตัวแปรการตัดต่อลักษณะขอบตัด

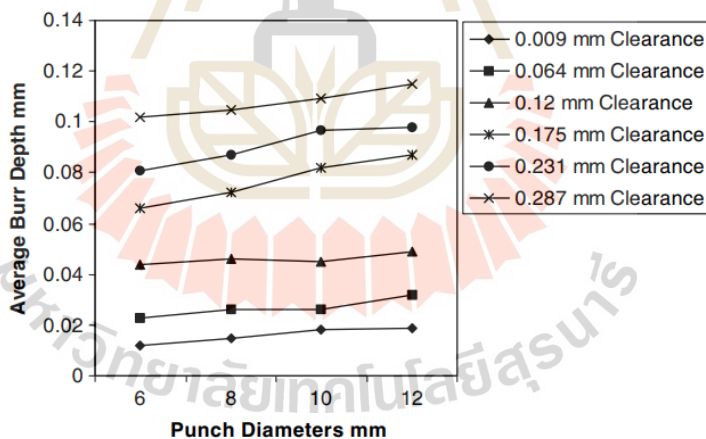
ในกระบวนการตัดเฉือนด้วยแม่พิมพ์ คุณภาพของชิ้นงานจะถูกพิจารณาจากลักษณะของขอบตัดเป็นหลัก ซึ่งมีหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อลักษณะขอบตัดได้ จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ในกระบวนการตัดเฉือนมีตัวแปรการตัดจำนวนหลายตัวที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้สำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และอธิบายรายละเอียดแยกเป็นกรณีการตัดเฉือนวัสดุ 3 กลุ่ม ได้แก่ วัสดุประเภท โลหะ พอลิเมอร์ และวัสดุเชิงประกอบดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.4.1 อิทธิพลของตัวแปรการตัดเฉือนในการตัดเฉือนวัสดุประเภทโลหะ

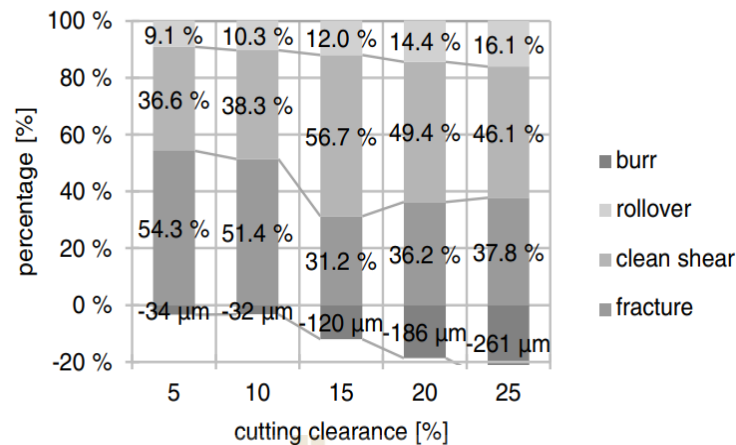
ผลของระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า มีงานวิจัยเกี่ยวกับการตัดเฉือนบนแม่พิมพ์ ซึ่งถูกกระทำบนวัสดุหลายชนิด Z.Tekiner และคณะ ได้ศึกษาอิทธิพลของระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ตัดเฉือนในงานตัดโลหะผสมอะลูมิเนียมแผ่นความหนา 0.8 มิลลิเมตร พวกเขาพบว่าเมื่อใช้ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์น้อย ขอบตัดเฉือนมีแนวโน้มมีคุณภาพดีกว่าการตัดด้วยระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพิจารณาการเกิดครีบบริเวณขอบตัด รูปที่ 2.12 แสดงผลของการตัดเฉือนโดยระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ต่างกัน จากรูปแสดงให้เห็นชัดเจนว่าการใช้ระยะห่างแม่พิมพ์ที่น้อย ทำให้ครีบที่เกิดขึ้นบริเวณขอบตัดสั้นกว่ากรณีใช้ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์มากกว่า [5]

ในทำนองเดียวกัน Michael Krinninger และคณะ ได้ทำการศึกษาผลของระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ (Punch/die clearance) ต่อการตัดเฉือนโลหะผสมอะลูมิเนียม (Aluminum alloys sheet) โดยทำการปรับระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ให้ต่างกัน จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อใช้ระยะห่างแม่พิมพ์ที่มากเกินไปจะทำให้เกิดรอยแตก (Initial crack) จากการตัดเฉือนเกิดขึ้นซ้ำ เกิดส่วนโค้งมน (Rollover) และครีบ (Burr) มากตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.13 [6]



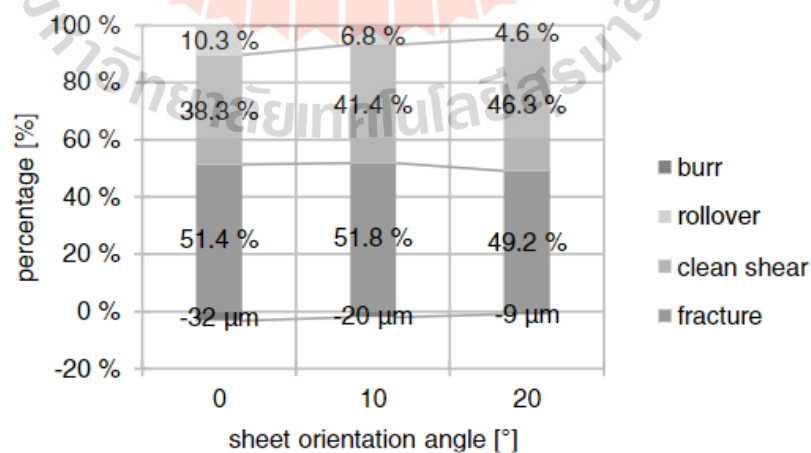
รูปที่ 2.12 ความยาวเฉลี่ยของครีบที่ขอบที่ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ต่าง ๆ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแม่พิมพ์ตัดในการตัดแผ่นอะลูมิเนียม



รูปที่ 2.13 ผลการตรวจสอบขอบตัดเฉือนเมื่อเปลี่ยนแปลงระหว่างแม่พิมพ์
(Michael Krinninger, 2017)

ผลของแนวรอยตัดเฉือนเมื่อเทียบกับทิศทางการเรียงตัวของเกรน

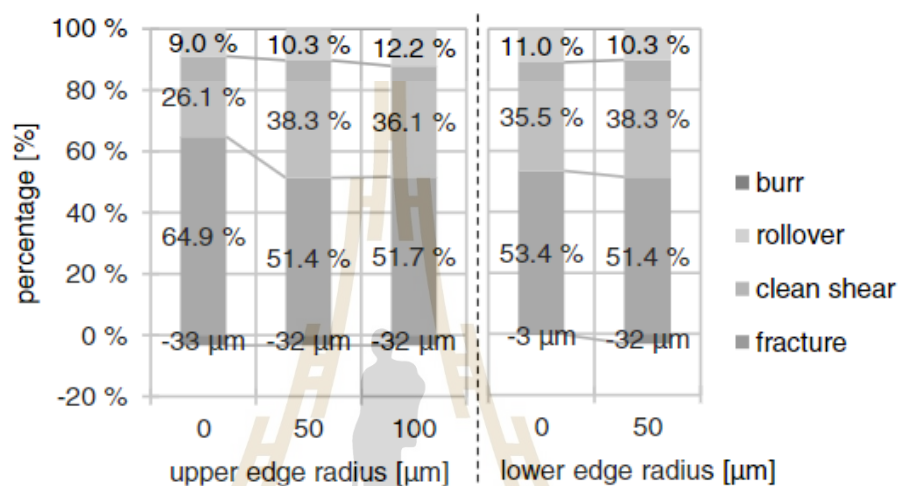
จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การกำหนดแนวรอยตัดเทียบกับการเรียงตัวของเกรนมีผลต่อลักษณะขอบตัดอย่างมากดังแสดงในรูปที่ 2.14 กล่าวคือ การเพิ่มขึ้นของมุมการตัดเมื่อเทียบกับทิศทางการเรียงตัวของเกรนที่ 0 องศา โดยใบมีดตัดจะตัดขนานไปกับแนวการเรียงตัวของเกรนของแผ่นอลูมิเนียม จะทำให้คุณภาพของขอบชิ้นงานดีกว่า ทำให้มีบริเวณที่เป็นส่วนโค้งมนน้อย มีบริเวณที่เป็นผิวเรียบที่เกิดจากการตัดเฉือนมาก บริเวณที่เป็นรอยแตกน้อย และมีส่วนที่เป็นครีบกหรือส่วนที่ยื่นออกมาจากขอบชิ้นงานน้อย



รูปที่ 2.14 ลักษณะผิวขอบตัดที่ได้จากการศึกษาผลของการวางตัวของชิ้นงานอลูมิเนียม
(Michael Krinninger, 2017)

ผลของขนาดรัศมีคมตัดของเครื่องมือตัด

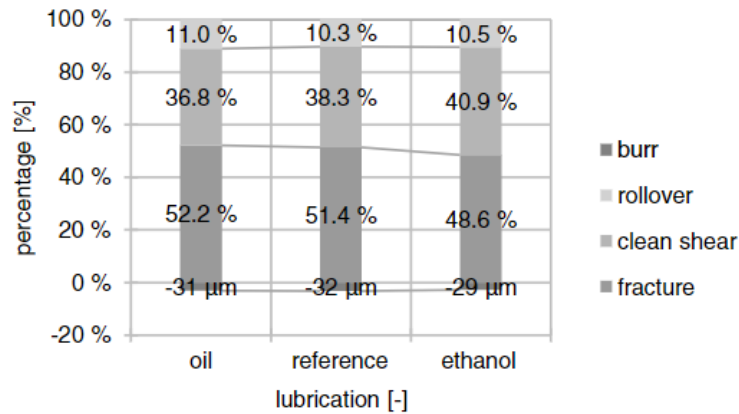
จากการศึกษางานวิจัยการตัดอลูมิเนียมแผ่น ของ Michael Krinninger พบว่าขนาดของรัศมีคมตัดมีผลต่อคุณภาพขอบตัดด้วยเช่นกัน กล่าวคือ ที่ขนาดรัศมีมุมคมตัดของแม่พิมพ์ตัวบน และแม่พิมพ์ตัวล่างเท่ากับ 50 ไมครอน จะให้คุณภาพขอบตัดที่ดี ซึ่งให้บริเวณผิวเรียบมากกว่าขนาดรัศมีอื่นดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ลักษณะผิวขอบตัวขอบตัดชิ้นงานอลูมิเนียมที่ได้จากการศึกษาผลของขนาดรัศมี

ผลของสารหล่อลื่น

นอกจากนั้น งานวิจัย ของ Michael Krinninger ยังได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสารหล่อลื่นในกระบวนการตัดด้วย ซึ่งในการทดลองใช้น้ำมันหล่อลื่น และเอทานอล เป็นสารหล่อลื่น จากการทดลองพบว่า เอทานอลจะไปช่วยเพิ่มแรงเสียดทาน และน้ำมันหล่อลื่นไปช่วยทำให้แรงเสียดทานลดลง และเอทานอลให้บริเวณที่เป็นผิวเรียบ (Clean shear) มากกว่าใช้น้ำมันหล่อลื่น และเงื่อนไขที่ไม่ใช้สารหล่อลื่น ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.16

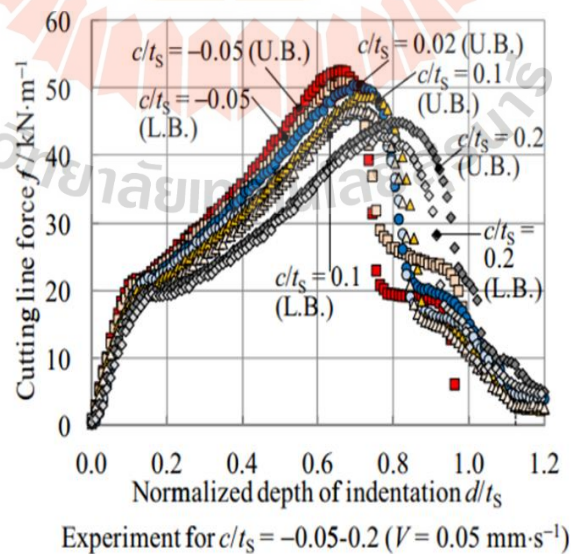


รูปที่ 2.16 ลักษณะผิวขอบตัวขอบตัดขึ้นงานอลูมิเนียมที่ได้จากการศึกษาผลของสารหล่อลื่น (Michael Krinninger)

2.4.2 อิทธิพลของตัวแปรการตัดเฉือนในการตัดเฉือนวัสดุประเภทพอลิเมอร์

ผลของระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์

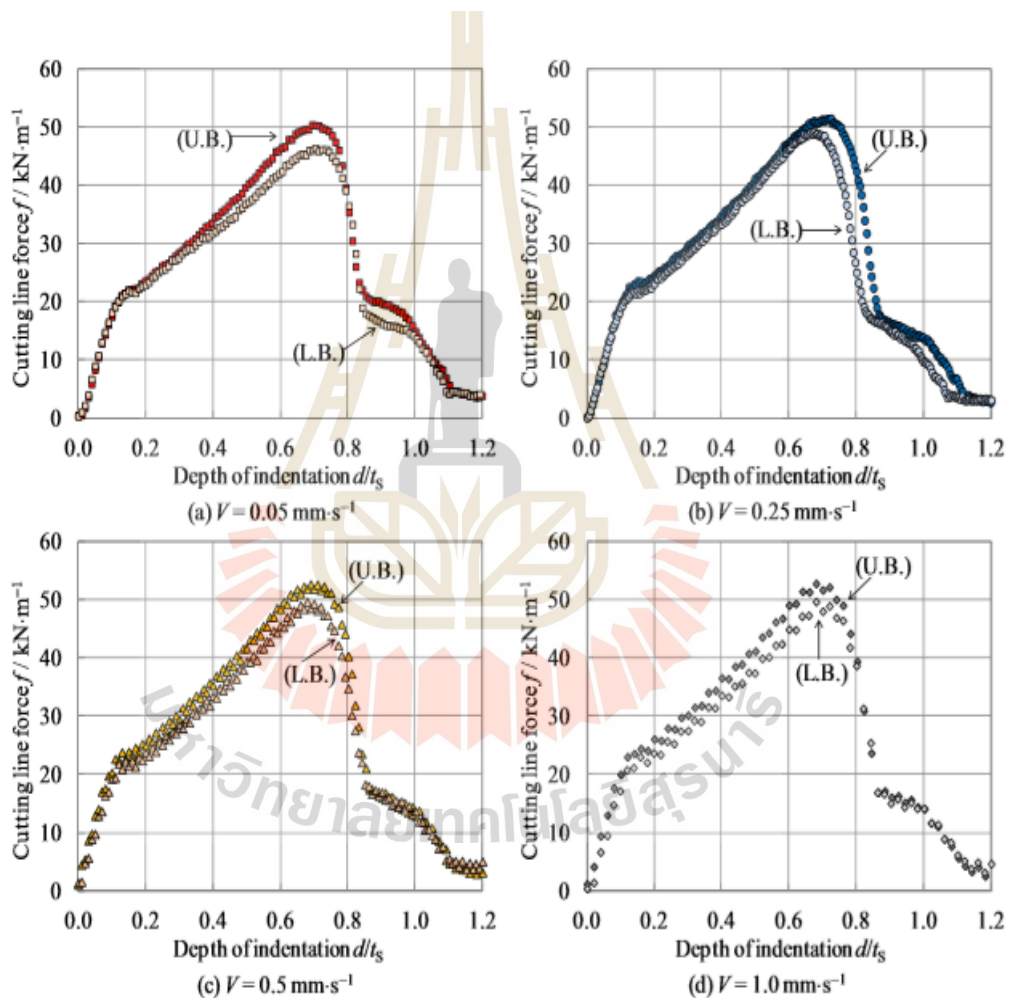
ภูษิต มิตรสมหวัง และคณะ ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ในการตัดเฉือนแผ่นพอลีคาร์บอเนต (Polycarbonate sheet) ต่อแรงต้านการตัดเฉือน จากผลการศึกษาพบว่า ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ มีผลต่อแรงต้านการตัดเฉือนเป็นอย่างมาก กล่าวคือแรงต้านการตัดเฉือนสูงสุดมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อใช้ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์เล็ก ดังแสดงในรูปที่ 2.17



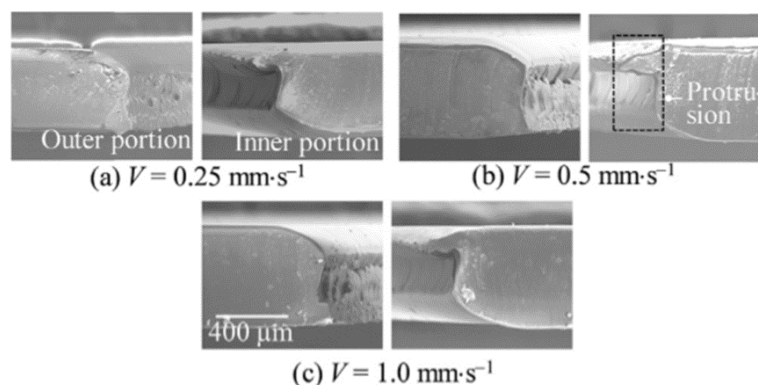
รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านการตัดเฉือนและระยะการกดลึกในการตัดแผ่นพอลีคาร์บอเนต[7]

ผลของความเร็วในการตัดเฉือน

นอกจากนี้ อิทธิพลของของความเร็วการตัดที่มีต่อแรงต้านการตัด และขอบตัดเฉือนยังได้ถูกศึกษาด้วย จากการศึกษาพบว่า แรงต้านการตัดสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเพิ่มความเร็วในการตัดจาก 0.05 ไปยัง 1.00 มิลลิเมตรต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 2.18 อย่างไรก็ตามผลการตรวจสอบขอบตัดเฉือนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นว่าลักษณะ ขอบตัดมีความคล้ายคลึงกันเมื่อตัดแผ่นโพลีคาร์บอเนตด้วยความเร็วในช่วง 0.05 ถึง 1.00 มิลลิเมตรต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 2.19 [7]



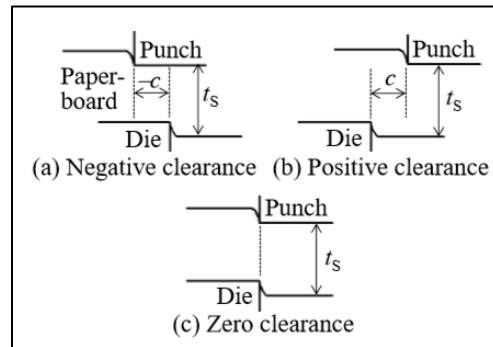
รูปที่ 2.18 แรงต้านการตัดเฉือนที่ความเร็วการตัดในช่วง 0.05 ถึง 1.00 มิลลิเมตรต่อวินาที



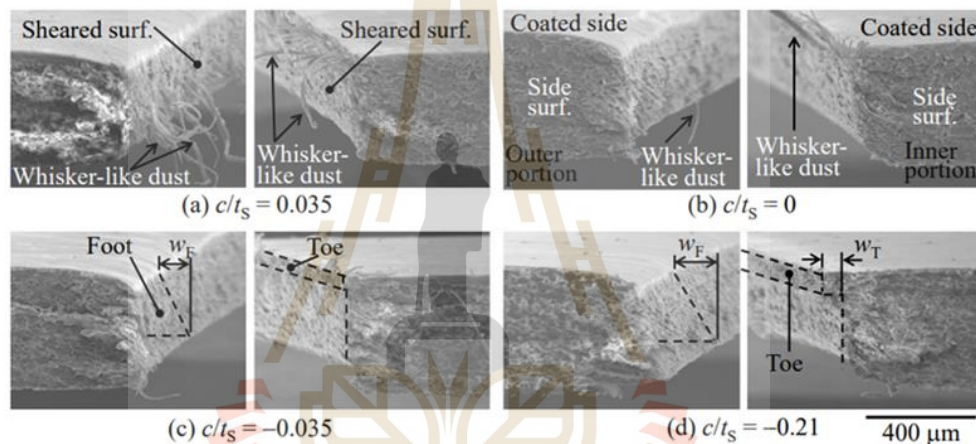
รูปที่ 2.19 รูปถ่ายขอบตัดเฉือนจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเมื่อเปลี่ยนความเร็วการตัด

2.4.3 อิทธิพลของตัวแปรการตัดเฉือนในการตัดเฉือนวัสดุเชิงประกอบ ผลของระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์

ในกรณีการตัดเฉือนกระดาษแข็งเคลือบขาว ผู้วิจัย และคณะได้ศึกษาผลของระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ที่มีต่อลักษณะขอบตัดโดยการปรับตั้งระยะห่างให้เป็นลบ บวก และศูนย์ ดังแผนภาพรูปที่ 2.20 นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยดังกล่าว ได้ศึกษาในวัสดุนอกกลุ่มโลหะซึ่งศึกษาในกระดาษแข็งเคลือบขาว โดยในการศึกษาการตัดกระดาษแข็งเคลือบขาวนั้น ใช้ระยะห่างแม่พิมพ์ (c) ต่อความหนาของชิ้นงาน (t_s) เท่ากับ 0.035 0 - 0.035 และ -0.21 จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อใช้ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ที่แคบลง จาก 0.035 ลดลงเหลือ 0 พบว่าขอบตัดของชิ้นงานสะอาดปราศจากเส้นใยที่หลุดออกมาจากขอบชิ้นงาน แสดงให้เห็นในรูป 2.21 (a) และ (b) ตามลำดับ และเมื่อใช้ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ที่ติดลบ หรือเรียกว่าระยะที่แม่พิมพ์ตัวบน (Punch) และแม่พิมพ์ตัวล่าง (Die) เกยกัน ซึ่งพบว่า ผลการทดลองที่ได้นั้น ทำให้ขอบตัดของชิ้นงานสะอาด และไม่มีเส้นใยที่หลุดออกมาจากขอบของชิ้นงานหลงเหลือเลย แต่ในกรณีนี้อาจทำให้แม่พิมพ์ตัดมีอายุการใช้งานที่น้อยลง เนื่องจากการสัมผัส และการกระแทกกันระหว่างแม่พิมพ์ ทำให้มุมตัดของแม่พิมพ์สึกได้ง่าย[8]



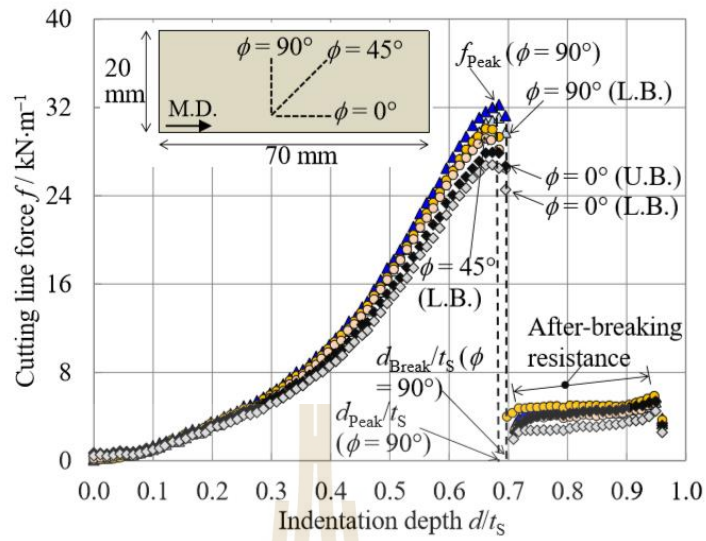
รูปที่ 2.20 ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ที่เป็นลบ บวก และศูนย์ ตามลำดับ



รูปที่ 2.21 ขอบตัดเฉือนของกระดาษแข็งเคลือบขาวเมื่อเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์

ผลของทิศทางการตัด

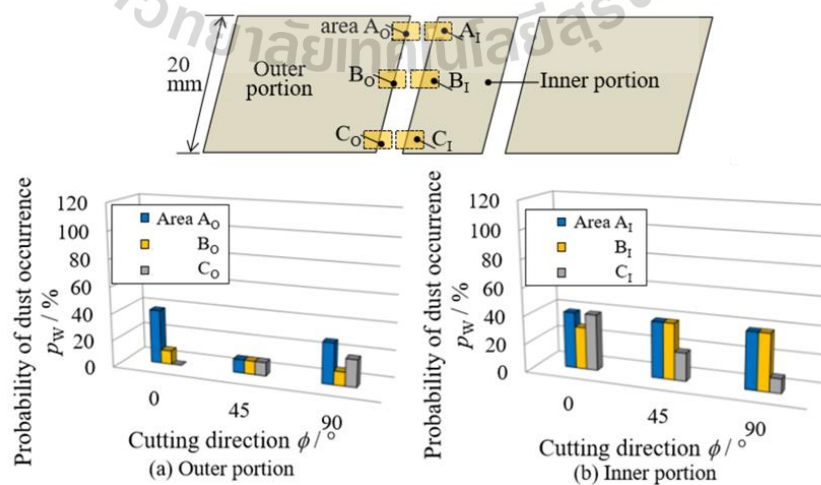
นอกจากวัสดุที่เนื้อมีความต่อเนื่อง (Uniform materials) กระบวนการตัดเฉือนยังถูกศึกษาบนวัสดุเชิงประกอบ (Composite materials) ภูเขา และคณะ ได้ศึกษาอิทธิพลของทิศทางการวางตัวของเส้นใยในกระดาษแข็งเคลือบขาว (White-coated paper board) ต่อผลการตัดเฉือน พวกเขาพบว่า แรงต้านการตัดเฉือนสูงสุดมีค่ามากที่สุดเมื่อทิศทางการตัดทำมุม 90 องศา กับทิศทางการเรียงตัวของเส้นใยกระดาษ โดยทิศทางการตัดที่มุม 45 และ 0 องศา มีผลให้แรงต้านการตัดเฉือนสูงสุดลดต่ำลง ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 แรงการตัดเฉือนเทียบกับทิศทางการตัด

ผลของลักษณะการจับยึดชิ้นงาน

นอกจากทิศทางการตัดเฉือนจะส่งผลต่อแรงต้านการตัดแล้ว พวกเขายังพบว่า การตัดเฉือนในทิศทางที่ต่างกันส่งผลให้ขอบตัดมีเส้นใยหลุดออกมาแตกต่างกันด้วย โดยจากการนำชิ้นงานกระดาศหลังการตัดทั้งสองชิ้น (Outer and inner portions) ที่ขาดออกจากกันมาตรวจสอบโอกาสในการเกิดเส้นใยที่หลุดออกมาพบว่า สำหรับชิ้นงานตัดฝั่งนอก ทิศทางการตัด 90 องศา มีโอกาสเกิดเส้นใยหลุดมากกว่าทิศทางการตัด 45 และ 0 องศา ในขณะที่โอกาสการเกิดเส้นใยหลุดสำหรับชิ้นงานตัดฝั่งด้านในใกล้เคียงกัน เมื่อทิศทางการตัดเปลี่ยนไป ดังแสดงในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 โอกาสการพบเส้นใยหลุดออกจากขอบตัดเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงทิศทางการตัด

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยเห็นว่า มีตัวแปรการตัดเฉือนหลายตัว ได้แก่ ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ ความเร็วการตัดเฉือน ทิศทางการตัดวัสดุ ลักษณะการจับยึดชิ้นงาน ตัด ที่ส่งผลต่อผลการตัดเฉือนทั้งในแง่แรงต้านการตัดเฉือน และลักษณะขอบตัด โดยผลการศึกษา ด้านบนเกือบทั้งหมดถูกกระทำบนวัสดุที่มีเนื้อต่อเนื่อง หรือในกรณีกระดาษแข็งเคลือบขาว เส้นใย ภายในอาจจัดเป็นเส้นใยที่มีขนาดเล็กละเอียดทำให้เกิดความแตกต่างของผลการตัดเฉือนในแต่ละ ทิศทางเล็กน้อย แต่ในกรณีกาบหมากสง เนื้อของกาบหมากมีความไม่สม่ำเสมออย่างมาก กล่าวคือ ผิวด้านบน และด้านล่างมีการเรียงตัวของเส้นใยไปในทิศทางเดียวกันแต่ลักษณะของเส้นใยบนผิวทั้งสองดูมีความแตกต่างกันอย่างมาก นอกจากนี้เนื้อใต้ผิวของกาบหมากยังมีลักษณะเป็นรูพรุนคล้าย ฟองน้ำอีกด้วย จากความแตกต่างของเนื้อกาบหมากสง เมื่อเทียบกับวัสดุโลหะ หรือกระดาษแข็ง เคลือบขาว ความเข้าใจในตัวแปรการตัดเฉือนในวัสดุดังกล่าวนี้ จึงไม่อาจนำมาใช้ทำนายคุณภาพขอบ ตัดหรือใช้เป็นแนวทางในการปรับตั้งตัวแปรการตัดกาบหมากสงได้อย่างสมบูรณ์ ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงมี ความสนใจทำการศึกษาการตัดเฉือนกาบหมากสง



บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ วิธีการทดลอง และการวิเคราะห์ ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาในงานวิจัยนี้มีเพียงชนิดเดียวคือ กาบหมากสง (Betel Palm Sheath) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ที่เก็บเกี่ยวได้จากต้นหมากสง ซึ่งตัวอย่างกาบหมากสงที่ถูกนำมาศึกษา ถูกเก็บรวบรวมมาจากอำเภอปักษ์ธงชัย จังหวัดนครราชสีมา โดยมีความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ 10 -13 เปอร์เซ็นต์ โดยจะใช้ช่วงความชื้นนี้ในการทดสอบการตัด เนื่องจากหลังจกการขึ้นรูป ความชื้นของ กาบหมากสงได้กลับมาอยู่ในช่วงความชื้นที่กำหนด หลังจากนั้น เป็นขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานจาก กาบหมากสง ไปทดสอบและศึกษาใน 2 ด้านหลัก ได้แก่ การทดสอบสมบัติทางกลของกาบหมากสง และการทดสอบการตัดเนื้อกาบหมากสง



รูปที่ 3.1 ลักษณะของต้นหมากสงและลักษณะของกาบหมากสง

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยตามลักษณะการใช้งานได้ดังนี้
 อุปกรณ์สำหรับเตรียมชิ้นงานกาบหมากสง

- มีดตัด (Cutter) สำหรับเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึง และชิ้นงานทดสอบการตัดเฉือน
- ไมโครมิเตอร์ (Micrometer) สำหรับวัดความหนา ที่จุดต่าง ๆ บนกาบหมากสง
- เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Caliper) ใช้วัดขนาดความกว้างและความยาวของชิ้นงานกาบหมากสง ก่อนการทดสอบสมบัติทางกล และทดสอบการตัดเฉือน

ก.) อุปกรณ์วัดความชื้นของวัสดุ

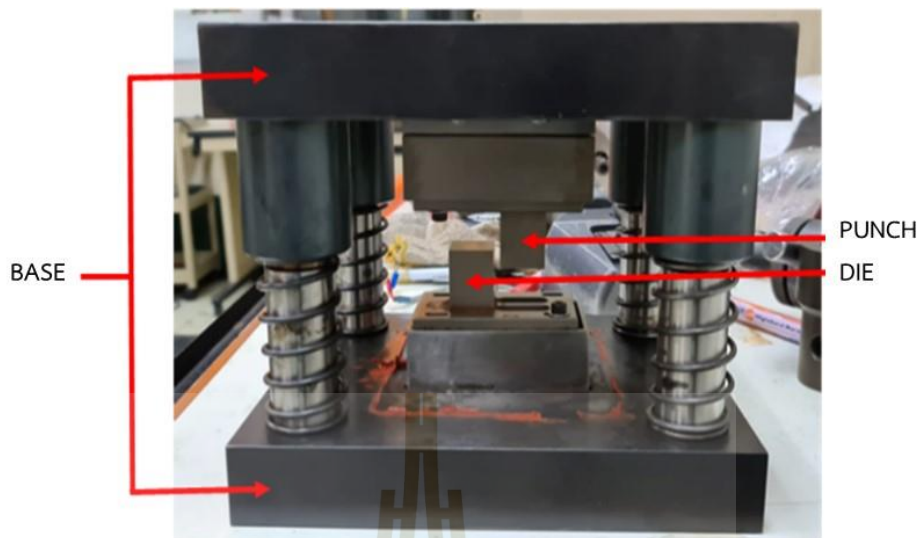
- เครื่องวัดความชื้น (Moisture Analyzer) รุ่น WBA-110M 0.01-110g. ใช้วัดความชื้นของกาบหมากสง เพื่อตรวจสอบค่าความชื้นของกาบหมากสง ก่อนการทดสอบ

ข.) ชุดเครื่องมือทดสอบทางกล

- เครื่องทดสอบ (Universal Testing Machine) รุ่น 5565 พร้อมโหลดเซลล์ ± 5 กิโลนิวตัน

ค.) ชุดอุปกรณ์สำหรับการตัดเฉือน

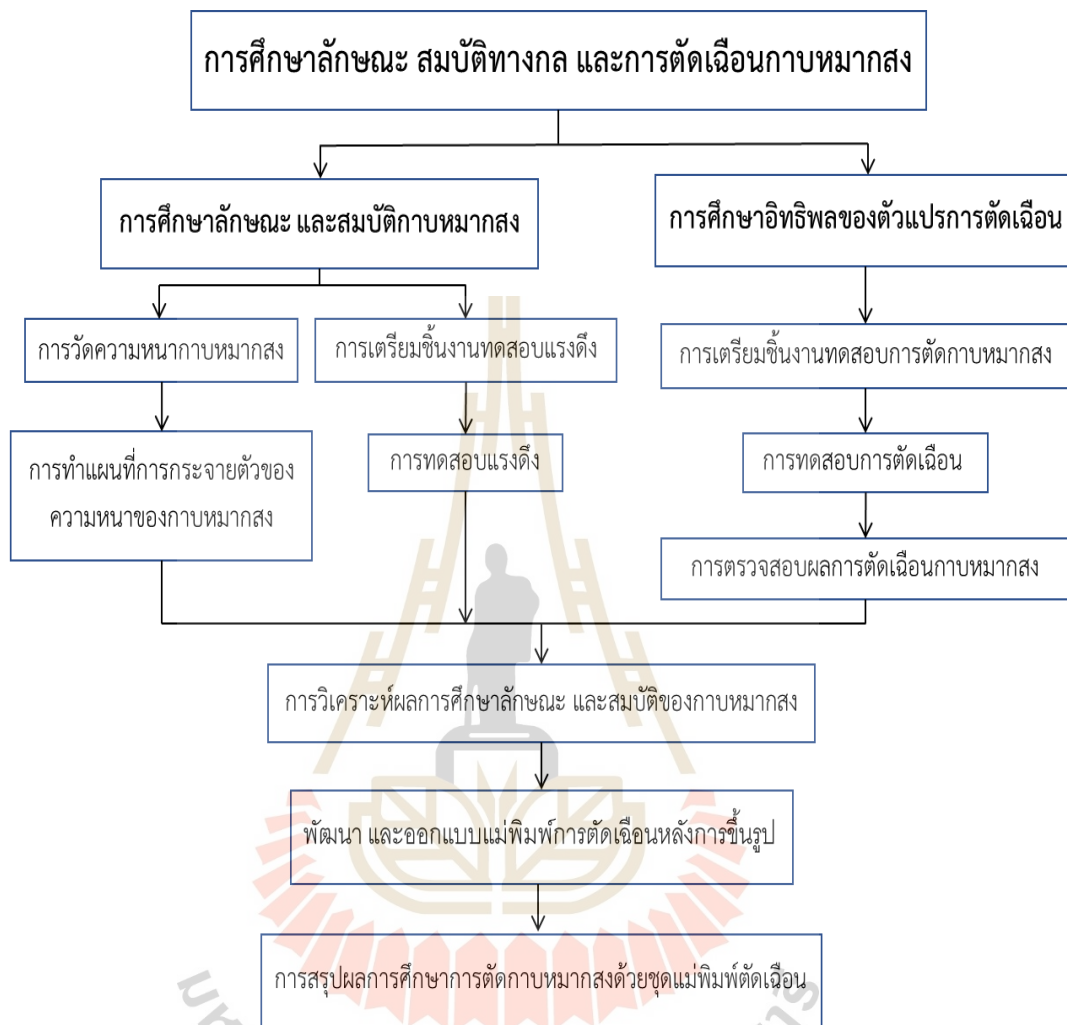
- ชุดแม่พิมพ์ตัด ประกอบด้วย แม่พิมพ์ตัวบน (Punch) และแม่พิมพ์ตัวล่าง (Die) ทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น (JIS SKD-11) และทำการชุบแข็ง ค่าความแข็งประมาณ 62 HRC เพื่อใช้สำหรับการทดสอบตัดกาบหมากสง ดังแสดงในรูปที่ 3.2
- ชุดฐานแม่พิมพ์ (Base) สำหรับทดสอบการตัดเฉือน ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนพร้อมเสาะและสปริง ใช้พยุงและรองรับการวางตัวของแม่พิมพ์ตัด ดังแสดงในรูปที่ 3.2
- เครื่องทดสอบ (Universal Testing Machine) ยี่ห้อ Instron รุ่น 5583 พร้อมโหลดเซลล์ ± 100 กิโลนิวตัน ใช้สำหรับให้แรงกดสู่ชุดแม่พิมพ์ทดสอบตัดเฉือนกาบหมากสง และบันทึกแรงต้านการตัดเฉือนระหว่างการตัด



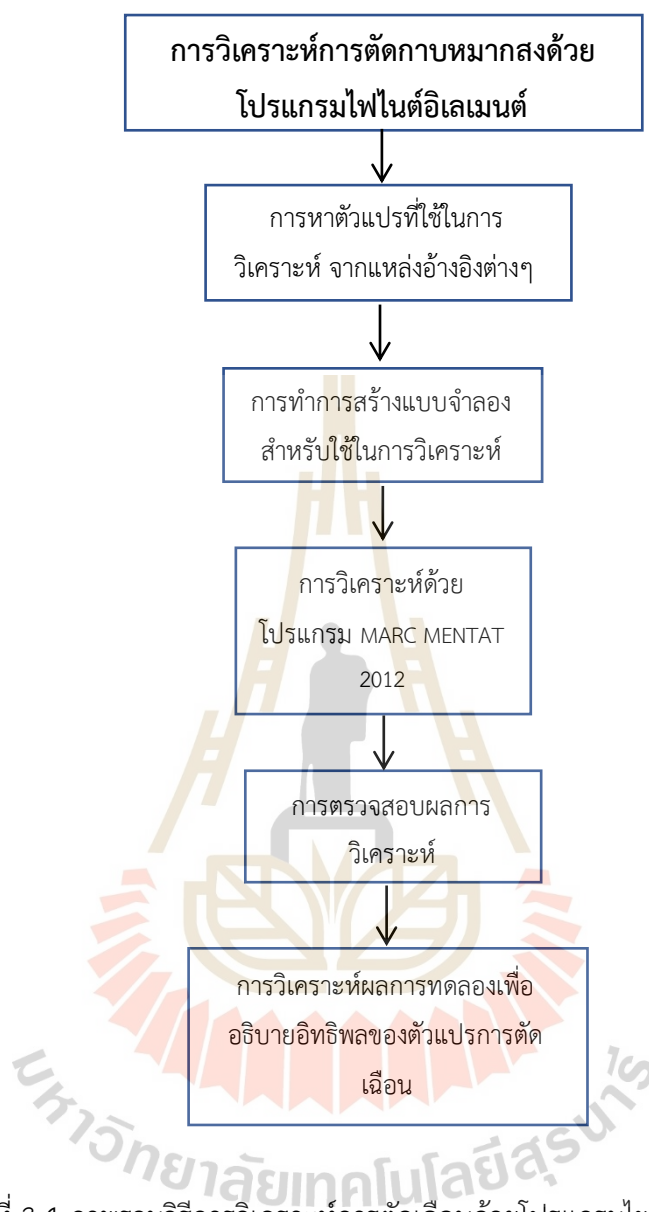
รูปที่ 3.2 ชุดแม่พิมพ์ทดสอบการตัดเฉือนกาบหมากสง

- จ.) ชุดอุปกรณ์ใช้ในการวัดขนาดระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ และตรวจสอบขอบตัด
- แผ่นโลหะทดสอบระยะ (Feeler Gauge) ความหนา 0.03 – 1.0 มม. ใช้วัดช่องว่างในการปรับระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ (Punch - Die Clearance)
 - กล้องสเตอริโอ (Stereo Microscope) ยี่ห้อ Leica รุ่น EZ4 พร้อมด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่าย ใช้สำหรับถ่ายภาพขอบตัดกาบหมากสง
 - กล้องดิจิทัล ใช้ในการบันทึกภาพ และวิดีโอของชิ้นงานในระยะใกล้ระหว่างการทดสอบการตัดเฉือน

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 3.3 ภาพรวมวิธีการดำเนินงานวิจัย ส่วนการศึกษาลักษณะ สมบัติกาบหมากสง และการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรการตัดเงื่อนไขต่อผลการตัด

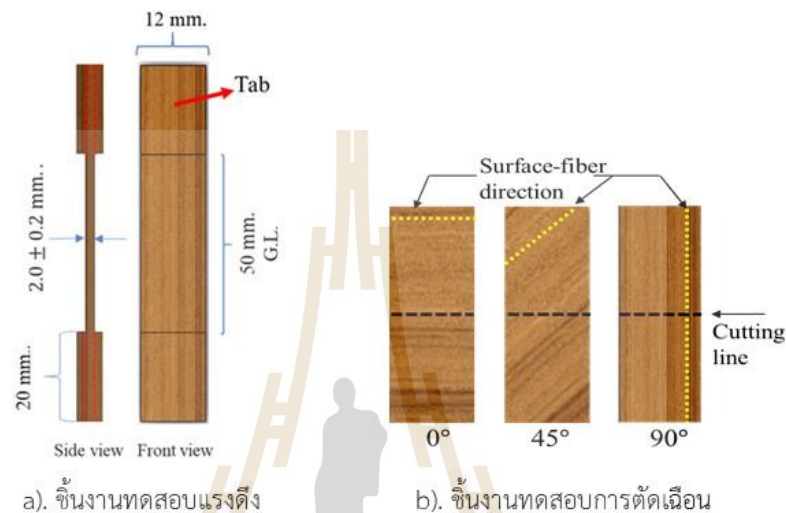


รูปที่ 3.4 ภาพรวมวิธีการวิเคราะห์การตัดเฉือนด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

3.2.1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกล

การเตรียมชิ้นงานทดสอบกาบหมากสด เริ่มจากกระบวนการเก็บรวบรวมกาบหมากแห้งจากต้นหมากสด หลังจากนั้นนำมาล้าง แช่น้ำ 5 นาที เพื่อให้ง่ายต่อการใช้คัตเตอร์ตัดเตรียมชิ้นงาน หลังจากแช่น้ำ และทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วนำไปผึ่งให้แห้งหมาด ๆ แล้วนำมารีดด้วยเตารีดให้เรียบแล้วทำการตัดเพื่อเตรียมชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบ ซึ่งขนาด และรูปร่างของชิ้นงานทดสอบแรงดึงถูกแสดงในรูปที่ 3.5 (a) สำหรับเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบตัดเฉือนกาบหมากสดในแนวการเรียงตัวของเส้นใยที่แตกต่างกัน ในทิศทางที่ทำมุมกับเส้นใยกาบหมากสดที่ 0 45 และ

90 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3.5 (b) และการศึกษาทดสอบแรงดึงกาบหมากสง ในทิศทางการวางตัวของเส้นใยหลัก (Surface Fiber) จะทำการเตรียมชิ้นงานที่มีแนวรับแรงดึงของชิ้นงานทำมุม 0 45 และ 90 องศา กับแนวการวางตัวของเส้นใย ดังแสดงในรูป 3.5 (c) ซึ่งชิ้นงานทดสอบทั้งหมด ถูกควบคุมความชื้นไว้ที่ 10 -13 เปอร์เซ็นต์ และความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร



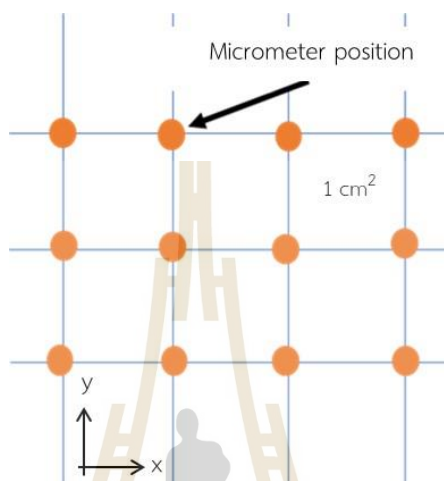
c). ลักษณะการตัดเตรียมตัวอย่างชิ้นงานทดสอบแรงดึง

รูปที่ 3.5 ลักษณะและขนาดชิ้นงานกาบหมากสงสำหรับการทดสอบสมบัติทางกลและทดสอบการตัดเฉือน

3.2.2 การตรวจสอบความหนาของกาบหมากสง

สำหรับกาบหมากสง นั้น เป็นวัสดุจากธรรมชาติโดยตรง ซึ่งมีขนาด และความหนาที่ไม่สม่ำเสมอกันทั่วทั้งกาบ ซึ่งในการวิจัยนี้จำเป็นต้องหาความหนาของกาบหมากสงในแต่ละบริเวณ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาสัดส่วนบริเวณที่สามารถใช้งานได้ให้มากที่สุด โดยขั้นตอนการหาสมบัติของความหนามีดังนี้

- i) ทำการวัดความหนาของกาบหมากสอง โดยวัดทุก 1 เซนติเมตร ตามแนวแกน y และ แกน x ให้ทั่วทั้งบริเวณของกาบหมากสองดังแสดงในรูปที่ 3.6 ซึ่งวัดด้วยไมโครมิเตอร์
- ii) ทำแผนภาพการกระจายตัวค่าความหนาของกาบหมาก (Thickness Distribution Mapping) ในแต่ละโซนของกาบหมาก



รูปที่ 3.6 ลักษณะการวัดความหนาของกาบหมากสอง ด้วยไมโครมิเตอร์

3.2.3 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซึมน้ำของกาบหมากสอง

การศึกษาพฤติกรรมการดูดซึมน้ำมีความสำคัญมาก เนื่องจากกาบหมากสองเป็นวัสดุจากธรรมชาติซึ่งโครงสร้างภายในมีลักษณะเป็นรูพรุน จึงมีโอกาสดูดซึมน้ำหรือคลายน้ำได้ง่าย และอาจส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกล และผลการตัดเฉือน ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการดูดซึมน้ำ โดยเริ่มจากการเตรียมชิ้นงานกาบหมากสองขนาด 4×4 เซนติเมตร ความหนา 2.0 ± 0.2 มิลลิเมตร 3 ชิ้น แล้วนำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักเริ่มต้น นำชิ้นงานกาบหมากสองแห้งจากการเตรียมชิ้นงานไปแช่น้ำ 3 5 10 30 60 และ 120 นาที สุดท้ายนำชิ้นงานชิ้นงานหลังจากแช่น้ำเสร็จ ไปทดสอบค่าความชื้นด้วยเครื่อง Moisture Analyzer

3.2.4 การทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงาน

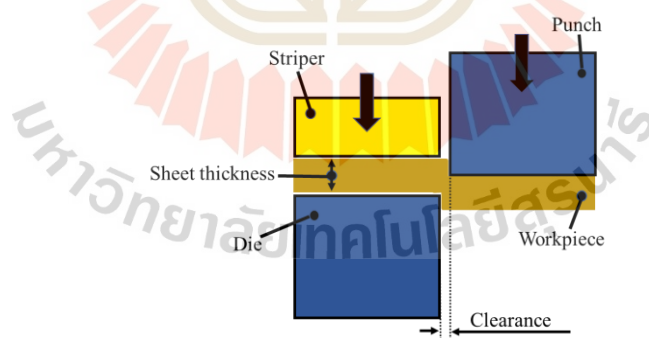
ในการทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงานทดสอบกาบหมากสองถูกดำเนินการด้วยเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine พร้อมโหลดเซลล์ขนาด ± 5 กิโลนิวตัน ในการเตรียมชิ้นงานอ้างอิงด้วยมาตรฐาน ASTM D - 828 ความเร็วการดึงชิ้นงานใช้ดำเนินการทดสอบกำหนดไว้ที่ 2 มิลลิเมตรต่อนาที ทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้องปกติ

โดยในการศึกษามีเงื่อนไขในการทดลอง 2 ตัว ได้แก่ การศึกษาการรับแรงดึงของชิ้นงานกาบหมากสงในทิศทางการวางตัวของเส้นใยหลัก (Surface Fiber) โดยทำการเตรียมชิ้นงานที่มีแนวรับแรงดึงของชิ้นงานทำมุม 0 45 และ 90 องศา กับแนวการวางตัวของเส้นใย ซึ่งกาบหมากสงถูกควบคุมความชื้นไว้ที่ 10-13 เปอร์เซ็นต์ และการศึกษาอิทธิพลของความชื้น ที่มีผลต่อสมบัติทางกลของกาบหมากสง และพฤติกรรมการเสียรูปของกาบหมาก ในการทดลองใช้ชิ้นงานที่มีแนวรับแรงดึงของชิ้นงานทำมุม 0 องศา กับแนวการวางตัวของเส้นใย โดยใช้ความชื้นอยู่ที่ประมาณ 11.5 34 41 50 และ 54 เปอร์เซ็นต์

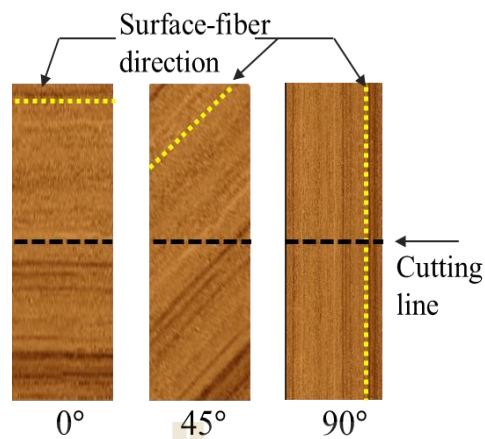
3.2.5 การตัดเฉือนชิ้นงาน

ในการตัดเฉือนชิ้นงาน ใช้เครื่อง Universal Testing Machine ในการกดเพื่อทำให้แม่พิมพ์ตัวบนเคลื่อนที่ลงมา ขณะตัดเฉือนได้มีการเก็บข้อมูลค่าแรงต้านการตัดโดยโหลดเซลล์ ซึ่งทำการตัดเฉือน ณ อุณหภูมิห้องปกติ

โดยในการศึกษานี้สนใจศึกษาตัวแปรการตัดเฉือนทั้งหมด 5 ตัวแปร ได้แก่ การศึกษาอิทธิพลของค่าระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ (Punch-Die Clearance, C) ซึ่งระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ถูกกำหนดให้มีขนาดเท่ากับ 80 160 และ 300 ไมโครเมตร ดังแผนภาพในรูปที่ 3.7 และตัวแปรควบคุมอื่น ๆ แสดงดังตารางที่ 3.1 แล้วจึงทำศึกษาการตัดเฉือนกาบหมากสงในทิศทางการวางตัวของเส้นใย (Cutting Directions) ในทิศทางที่ทำมุมกับเส้นใยที่ 0 45 และ 90 องศา ดังแผนภาพในรูปที่ 3.8 และตัวแปรควบคุมอื่น ๆ แสดงดังตารางที่ 3.2

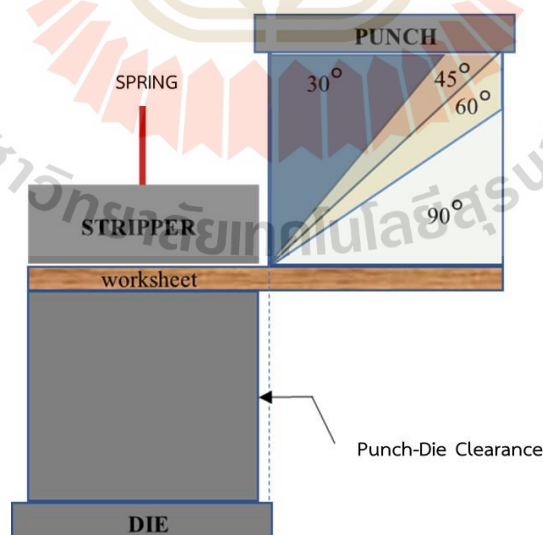


รูปที่ 3.7 การจำลองการเปลี่ยนระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์



รูปที่ 3.8 ลักษณะการตัดในทิศทาง 0 45 และ 90 องศา

นอกจากนี้ ยังทำการศึกษาอิทธิพลของความเร็วการตัดเฉือน (Feed Velocity) โดยตัวแปรความเร็วในการตัดที่ใช้แสดงดังตารางที่ 3.3 ทำการศึกษาอิทธิพลของความชื้นในกาบหมากสง (Moisture Content) โดยตัวแปรความชื้นที่ใช้ทดสอบแสดงดังตารางที่ 3.4 และสุดท้ายการศึกษาอิทธิพลของรูปร่างแม่พิมพ์ (Punch Geometry) โดยทำการเปลี่ยนแปลงมุมของแม่พิมพ์ตัวบน ซึ่งกำหนดมุมของแม่พิมพ์ตัวบนที่สัมผัสชิ้นงานไว้ที่ 30 45 60 และ 90 องศา ดังแผนภาพในรูปที่ 3.9 และตัวแปรควบคุมอื่น ๆ แสดงดังตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.9 ลักษณะรูปร่างแม่พิมพ์ตัดเฉือน

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรที่ใช้ในงานทดสอบการตัดเฉือนเมื่อทำการเปลี่ยนระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์

Item	Details
Clearance(varied)	80, 160 and 300 micrometers
Surface – fiber direction(fixed)	90 degrees
Moisture(fixed)	11.5 ±1.5 percent
Feed velocity(fixed)	15 mm./min.

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรที่ใช้ในงานทดสอบการตัดเฉือนเมื่อทำการเปลี่ยนทิศทางการตัด

Item	Details
Surface – fiber direction(varied)	0, 45 and 90 degrees
Moisture(fixed)	11.5 ±1.5 percent
Clearance(fixed)	30 micrometers
Feed velocity(fixed)	15 mm./min.

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรที่ใช้ในงานทดสอบการตัดเฉือนเมื่อทำการเปลี่ยนความเร็วการตัดเฉือน

Item	Details
Feed velocity(varied)	15, 35 and 60 mm./min.
Surface – fiber direction(fixed)	90 degrees
Moisture(fixed)	11.5 ±1.5 percent
Clearance(fixed)	30 micrometers

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรที่ใช้ในงานทดสอบการตัดเฉือนเมื่อเปลี่ยนค่าความชื้นของกابหมากสง

Item	Details
Moisture(varied)	11.5 ±1.5, 34 ± 1.5, 41 ± 1.5, 50 ± 1.5 and 54 ± 1.5 percent
Surface – fiber direction(fixed)	90 degrees
Clearance(fixed)	30 micrometers
Feed velocity(fixed)	15 mm./min.

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรที่ใช้ในงานทดสอบการตัดเฉือนเมื่อทำการเปลี่ยนรูปร่างแม่พิมพ์ตัดเฉือน

Item	Details
Surface – fiber direction(fixed)	90 degrees
Moisture(fixed)	11.5 ±1.5 percent
Clearance(fixed)	30 micrometers
Feed velocity(fixed)	15 mm./min.

3.3 การตรวจสอบลักษณะขอบตัด

ในการตรวจสอบลักษณะของขอบตัด ทำโดยนำชิ้นงานภายหลังการตัดเฉือนมาทำการตรวจสอบ และบันทึกภาพด้วยกล้องสตอร์ไอโอ Leica EZ4 เพื่อทำการตรวจสอบลักษณะ และข้อบกพร่องของขอบตัด

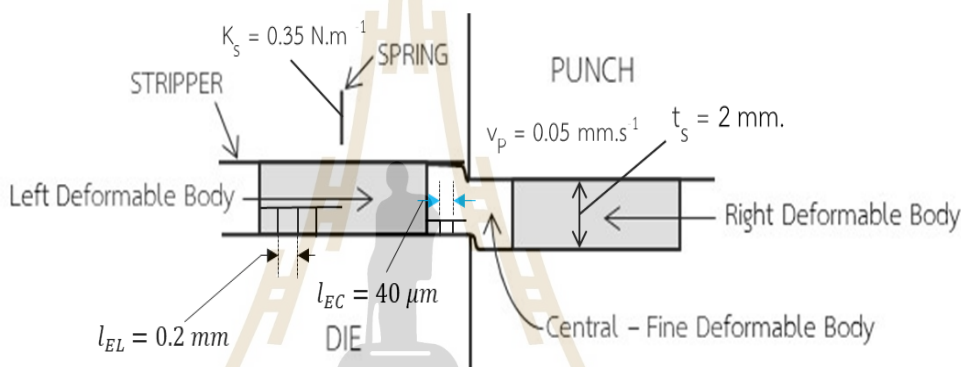
3.4 การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ในการศึกษานี้ได้ใช้การจำลองโดยใช้โปรแกรม MARC MENTAT 2012 เพื่อช่วยในการจำลองการตัดเฉือน และการจำลองการแตกที่ผิวบริเวณขอบตัด ในกรณี เปลี่ยนระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ และในกรณีเปลี่ยนรูปร่างแม่พิมพ์ในการจำลองการตัดด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อทำนายพฤติกรรมของการตัดเฉือนที่ก่อให้เกิดบริเวณของขอบตัด โดยในการจำลองนั้นโมเดลการจำลองที่ใช้เป็นโมเดล 2 มิติ

3.4.1 โมเดลไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับจำลองการตัดเฉือน (Finite Element Model)

โดยในกระบวนการจำลองด้วยโปรแกรม MARC MENTAT 2012 โมเดลการตัดเฉือนจะถูกสร้างในรูปแบบ 2 มิติ แม่พิมพ์ถูกสมมติให้เป็นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) ชิ้นงานถูกสมมติให้เป็นวัตถุที่สามารถเปลี่ยนรูปได้ (Deformable Body) โดยชิ้นงานทดสอบกอบหมากสองที่ใช้ในการจำลอง มีลักษณะเต็ม เท่ากับชิ้นงานของจริง แต่ใช้เทคนิคการในการลดเวลาการวิเคราะห์ โดยปรับขนาดของเอลิเมนต์ในส่วนที่จำเป็นให้เล็กที่สุด โดยการแบ่งชิ้นงานออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ปีกของชิ้นงานด้านขวา (Right Deformable Body) ปีกของชิ้นงานด้านซ้าย (Left Deformable Body) และส่วนที่อยู่กึ่งกลางของชิ้นงาน (Central – Fine Deformable Body) ดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยจะใช้ขนาดของเอลิเมนต์ในส่วนที่อยู่ตรงกลางขนาดเล็กกว่าส่วนปีกซ้าย-ขวา ถึง 8 เท่า เพราะต้องการความละเอียดในการวิเคราะห์ แล้วยังเป็นส่วนที่ได้ผลกระทบจากการตัดเฉือนมากที่สุด และในส่วนปีกซ้าย และขวา ของชิ้นงาน จะให้ขนาดของเอลิเมนต์ที่หยาบขึ้นมา เพื่อช่วยลดจำนวนเอลิเมนต์ของโมเดลได้อย่างมาก เป็นผลทำให้ระยะเวลาในการใช้วิเคราะห์ผลก็ลดลงไปด้วย โมเดลที่ใช้ในการ

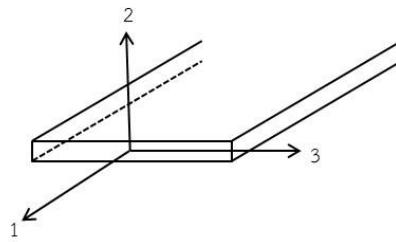
ทำนายมีจำนวนเอลิเมนต์ (Element) ทั้งหมดประมาณ 31,500 เอลิเมนต์ ชนิดของเมช (Mesh) ที่ใช้ มีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยม (Quad) ใน 1 เอลิเมนต์ประกอบไปด้วยโหนดทั้งหมด 4 โหนด ความเร็วที่ใช้ในการตัดคือ 0.05 มิลลิเมตรต่อวินาที สัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ใช้กับแม่พิมพ์ที่สัมผัสกับชิ้นงาน ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 0.25 และในส่วนชิ้นงานที่ถูกแบ่งเอลิเมนต์เป็น 3 ส่วน จะถูกยึดติดด้วยกาว ในตอนการเสียรูปของชิ้นงาน กำหนดให้มีการใช้เทคนิคการจัดการเอลิเมนต์แบบอัตโนมัติ (Auto-Remeshing) โดยจะมีการปรับเปลี่ยนเอลิเมนต์นั้นให้ถูกต้อง ในทุก ๆ 50 อินครีเมนต์ (Increment) โดยโมเดลจำลอง ถูกกำหนดในมีระยะเวลาในการตัดเฉือน 0.05 อินครีเมนต์ต่อวินาที เป็นเวลาทั้งหมด 40 วินาที ในส่วนปลายของมุมไบมีดตัด (Tip) สำหรับมุม 45 และ 60 องศา มีขนาดความกว้าง 0.15 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.10 ภาพจำลองการแบ่งส่วนของชิ้นงานกาบหมากสองของโมเดลไฟไนต์เอลิเมนต์

3.4.2 การตรวจสอบโมเดลวัสดุ (Verification of Material Model)

โมเดลวัสดุเป็นหนึ่งในตัวแปรที่จำเป็นอันดับต้น ๆ ที่ต้องการกำหนดให้กับโมเดล การจำลอง ในการจำลองผลการกำหนดตัวแปรโมเดลวัสดุที่ถูกต้อง และใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ย่อมส่งผลให้การทำนายโดยใช้โปรแกรมการจำลองนั้นมีความถูกต้อง และแม่นยำมากยิ่งขึ้น ดังนั้น การหาค่าโมเดลวัสดุที่ถูกต้องจึงเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นเป็นอย่างมาก โดยในการจำลองครั้งนี้ นำค่าโมเดลวัสดุมาจากการทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงานกาบหมากสอง โดยใช้ผลทดสอบแรงดึงในทิศทาง 0 องศา หรือทิศทางที่ขนานกับการวางตัวของเส้นใย โดยสมการที่ใช้คำนวณค่าอัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio) โมดูลัสของยัง (Young Modulus) และโมดูลัสของแรงเฉือน (Shear Modulus) จากสมการที่ 3.1 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ โดยรูปที่ 3.11 จะแสดงทิศทางในแต่ละแกน เพื่อใช้ในการคำนวณ ในขั้นตอนสุดท้ายนำค่าที่ได้ไปใส่ในโมเดลวัสดุ (Elastic-Plastic Orthotropic) ในโปรแกรมวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อทำการวิเคราะห์ผลต่อไป



รูปที่ 3.11 ภาพจำลองการระบุมิติทิศทางในแกน xyz

$$\nu_{12} = -\varepsilon_2/\varepsilon_1 \text{ หรือ } \nu_{21} = -\varepsilon_1/\varepsilon_2 \quad (3.1)$$

โดยที่ ν คือ อัตราส่วนปัวซอง
 ε คือ ความเครียดจริง (True strain)

$$E = \frac{FL_0}{A\Delta L} \quad (3.2)$$

โดยที่ E คือ มอดูลัสของยัง
 F คือ แรงดึง
 L_0 คือ ความยาวเริ่มต้นของวัสดุทดสอบ
 ΔL คือ ผลต่างของการเปลี่ยนแปลงความยาว
 A คือ พื้นที่หน้าตัด

$$\frac{1}{G_{12}} = \frac{1+\nu_{12}}{E_1} + \frac{1+\nu_{21}}{E_2} \quad (3.3)$$

โดยที่ E คือ มอดูลัสของยัง
 ν คือ อัตราส่วนปัวซอง
 G คือ มอดูลัสของแรงเฉือน

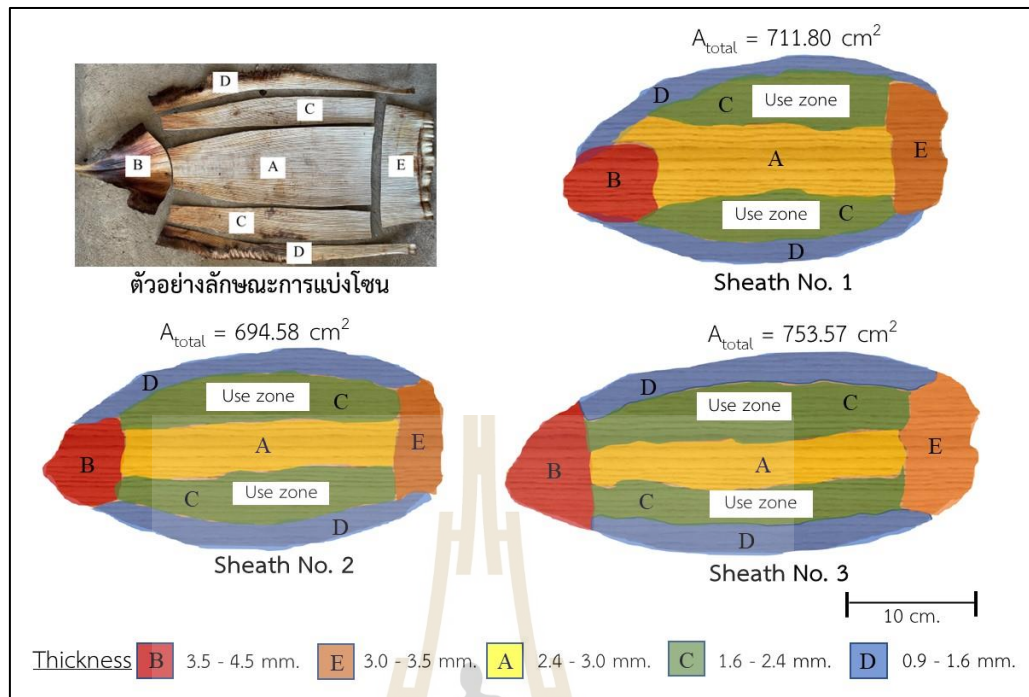
บทที่ 4

สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของกาบหมากสง

การตัดเฉือนเป็นการขึ้นรูปวัสดุด้วยแรงทางกลรูปแบบหนึ่ง ด้วยเหตุนี้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการตัดขาดรวมไปถึงการเกินข้อบกพร่อง นอกจากสมบัติทางกายภาพของกาบหมากสงแล้วยังจำเป็นต้องเข้าใจสมบัติทางกลของกาบหมากสงด้วย ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทดสอบสมบัติทางกลของกาบหมากสงก่อนการทดสอบตัดเฉือน โดยการศึกษาสมบัติทางกลเน้นไปที่พฤติกรรมการรับแรง และการยืดตัวของกาบหมากสงเมื่อกาบหมากสงมีความชื้นต่างกัน และการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงทางกลในทิศทางต่างๆ เทียบกับการวางตัวของเส้นใยบนกาบหมากสง การศึกษาสมบัติทางกลของกาบหมากสงทำโดยอาศัยวิธีทดสอบแรงดึง ซึ่งใช้ความเร็วในการดึงคงที่เท่ากับ 2 มิลลิเมตรต่อนาที และทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้องเท่านั้น

4.1 ความหนาของกาบหมากสง

ในการศึกษาความหนาของกาบหมากสง ทางผู้วิจัยมีจุดประสงค์ต้องการทราบบริเวณของกาบหมากสงที่มีความหนาเหมาะสม และสามารถใช้งานวิจัยได้ ซึ่งจากรูปที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.1 พบว่ากาบหมากสงตัวอย่างที่นำมาหาการกระจายตัวของความหนา จะได้ว่าบริเวณ B ที่มีความหนามากที่สุด(สีแดง) มีความหนาประมาณ 3.5 ถึง 4.5 มิลลิเมตร มีขนาดพื้นที่อยู่ในช่วง 9 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมดของกาบหมาก บริเวณ E (สีส้ม) มีความหนาอยู่ในช่วง 3.0 ถึง 3.5 เปอร์เซ็นต์ มีขนาดพื้นที่อยู่ในช่วง 9 ถึง 11 เปอร์เซ็นต์ บริเวณ A (สีเหลือง) มีความหนาอยู่ในช่วง 2.4 ถึง 3.0 มิลลิเมตร มีขนาดพื้นที่อยู่ในช่วง 20 ถึง 27 เปอร์เซ็นต์ บริเวณ C (สีเขียว) มีความหนาอยู่ในช่วง 1.6 ถึง 2.4 มิลลิเมตร มีขนาดพื้นที่อยู่ในช่วง 31 ถึง 36 เปอร์เซ็นต์ และบริเวณ D (สีฟ้า) มีความหนาอยู่ในช่วง 0.9 ถึง 1.6 มิลลิเมตร มีขนาดพื้นที่ 22 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยในปัจจุบัน ผู้ประกอบการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากกาบหมากสงใช้กาบหมากสงเฉพาะบริเวณ A -zone และ Use zone (C) แต่ในการทำการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยต้องการโซนที่มีความหนาที่มีความแปรปรวนต่ำ ควบคุมความหนาของกาบหมากสงง่าย เลยเลือกโซน C ในการทำวิจัย ซึ่งมีขนาดพื้นที่ 31 - 36 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของความหนาบนตัวอย่างในแต่ละบริเวณของกาบหมาก

ตารางที่ 4.1 ปริมาณพื้นที่ของแต่ละบริเวณ ที่ได้จากการวัดการกระจายตัวของความหนาแน่นบนกาบหมากสง

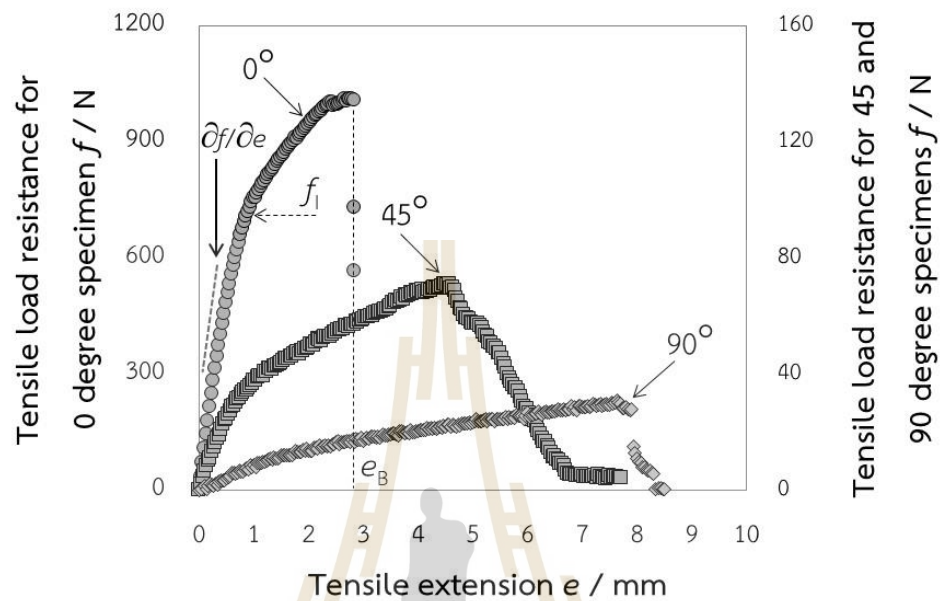
Sheath	%Area				
	Zone A	Zone B	Zone C	Zone D	Zone E
1	27	10	31	22	10
2	21	9	36	25	9
3	20	10	34	25	11

4.2 สมบัติทางกลของกาบหมากสง

4.2.1 ผลของทิศทางให้แรงดึงต่อสมบัติทางกลของกาบหมากสง

หลังจากดำเนินการทดสอบแรงดึงตัวอย่างกาบหมากสง ผลการทดสอบถูกนำมาสร้างกราฟในรูปความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านการดึง และระยะยืดของชิ้นงานทดสอบ ซึ่งในรูปที่ 4.2 แสดงแรงต้านการดึงเมื่อให้แรงดึงทิศทางเดียวกับทิศทางการวางตัวของเส้นใยบนกาบหมากสง (ทิศทาง 0 องศา) จากรูปนี้พบว่า ชิ้นงานตัวอย่างมีการเสียรูปแบบยืดหยุ่นเล็กน้อย ดังแสดงเป็น

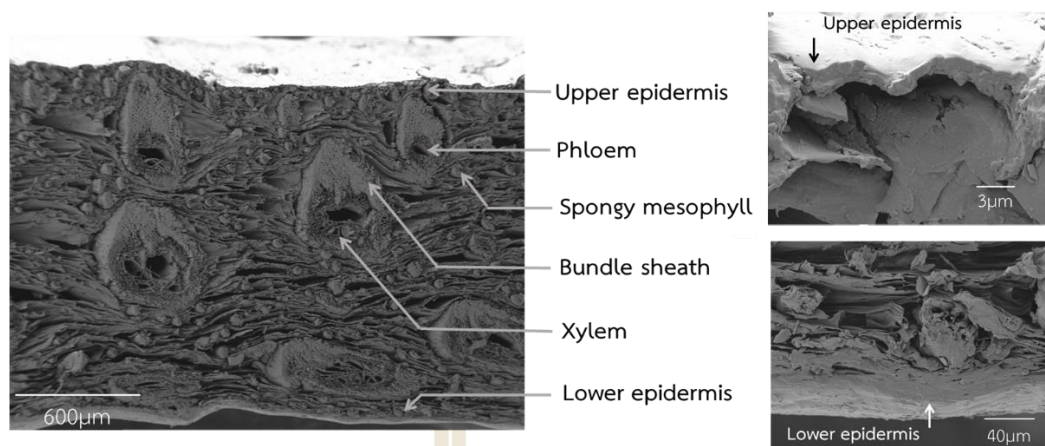
เส้นตรงในช่วงแรก ซึ่งในกรณีการดึงในทิศทาง 0 องศา จะเห็นว่า ความชันของการเปลี่ยนแปลงแรงต้านการดึงต่อระยะยืด (df/de) สูงกว่า การดึงในทิศทาง 45 องศา และ 90 องศา ตามลำดับ



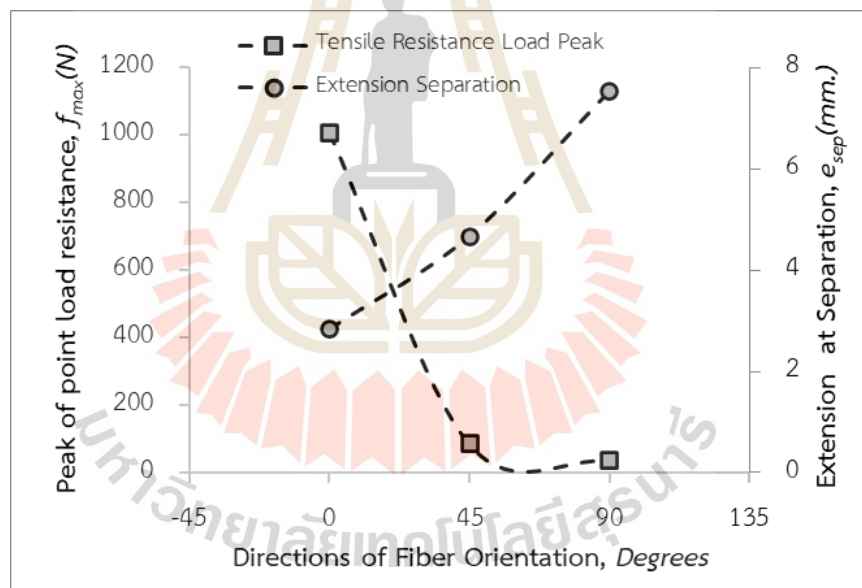
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงต้านการดึงและระยะยืด สำหรับชิ้นงานทดสอบที่มีทิศทาง การวางตัวของเส้นใยคาบหมากสองที่แตกต่างกัน

พฤติกรรมการเสียรูปแบบยืดหยุ่นไปเป็นแบบพลาสติก จะเกิดหลังจากผ่านจุดเปลี่ยนแรก (f_1) ซึ่งในเส้นโค้ง จะพบกับจุดเปลี่ยนที่ 2 เป็นแรงต้านแรงดึงสูงสุด (f_{Max}) ในการทดสอบแรงดึง ในกรณีชิ้นงานที่ให้แรงดึงทิศทาง 0 องศา สามารถรับแรงต้านแรงดึงได้สูงกว่า ทิศทาง 45 และ 90 องศา ตามลำดับ

ในการดึงชิ้นงานในทิศทาง 0 องศา การเกิดการขาดของชิ้นงานแบบฉับพลัน ซึ่งแตกต่างจาก ทิศทาง 45 และ 90 องศา ที่เกิดการขาดแบบช้าๆ เนื่องจาก ทิศทาง 0 องศา มีการวางตัวของเส้นใยหลักที่เป็นท่อลำเลียงน้ำและอาหาร (Main Fiber / Xylem - Phloem) ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ซึ่งสามารถรับแรงได้สูงแต่เมื่อเส้นใยหลักขาด ทำให้เส้นใยเล็กๆหรือ เนื้อเยื่อ ขาดอย่างทันทีทันใดไปด้วย ในส่วนของทิศทาง 45 องศา เส้นใยหลัก ไม่ได้รับแรงได้อย่างเต็มที่ จึงเกิดแรงต้านการดึงที่ต่ำกว่า และทำให้เกิดพฤติกรรมการขาดอย่างช้าๆ ด้วย และในกรณีสุดท้าย ที่ทิศทาง 90 องศาเส้นใยหลักไม่ได้รับแรงดึงเลย มีเพียงเส้นใยเล็กๆ หรือเนื้อเยื่อในคาบหมากเท่านั้นที่รับแรง จึงทำให้เกิดแรงต้านการตัดที่ต่ำที่สุด และมีการขาดแบบช้าๆในกรณีนี้ด้วย สามารถดูความแตกต่างแรงต้านการตัดสูงสุด และระยะยืดสูงสุดของชิ้นงานทั้งทดสอบทั้ง 3 กรณีข้างต้นได้ที่รูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 องค์ประกอบทางกายภาพของกาบหมากสง ที่ถูกตรวจสอบ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (ชยารพ, 2563)

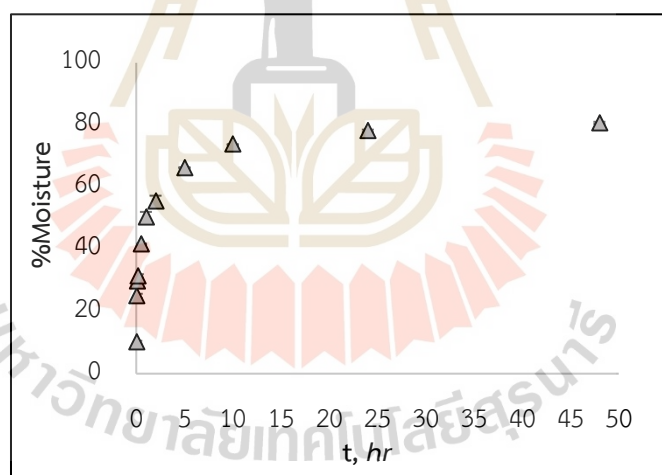


รูปที่ 4.3 แรงต้านการดึงสูงสุด และระยะยืดสูงสุดสำหรับชิ้นงานทดสอบที่มีทิศทางการตัดแตกต่างกัน

4.2.2 ผลของความชื้นกาบหมากสงต่อสมบัติทางกลของกาบหมากสง

กาบหมากสงเป็นวัสดุจากธรรมชาติ จึงหลีกเลี่ยงความชื้นที่สะสมในกาบไม่ได้ ความชื้นที่มาก หรือน้อยจะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ หรือฤดูกาลที่เก็บรวบรวมกาบหมากสงนั้น จึงเป็นปัญหาในการควบคุมความชื้นอย่างมาก ทางผู้วิจัยจึงต้องทำการศึกษาอิทธิพลของความชื้นต่อสมบัติทางกลของกาบหมากสง

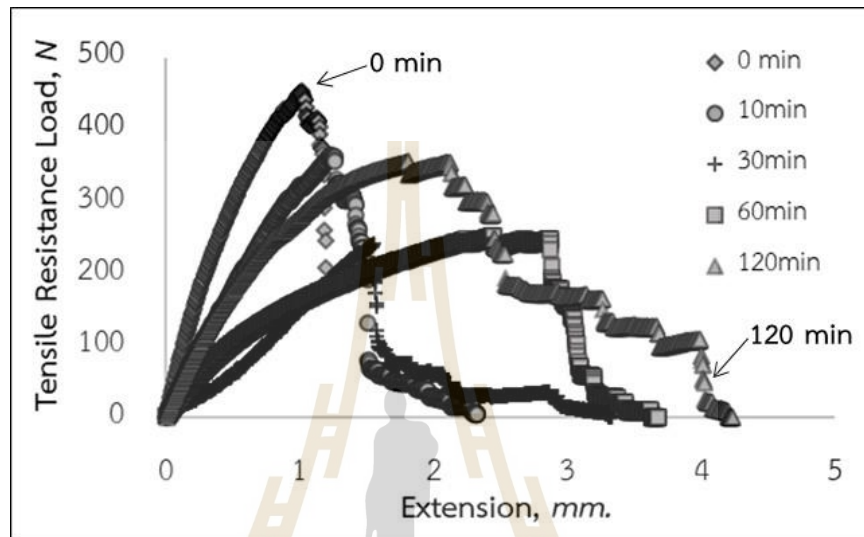
จากการทดลองวัดความชื้นในตัวอย่างกาบหมากด้วยเครื่องวัดความชื้น โดยนำกาบหมากไปจุ่มน้ำ โดยจับเวลาการจุ่ม (Dipping time) แล้วนำมาวัดความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้น (Moisture Analyzer) จากการทดสอบความชื้น ได้ผลดังรูปที่ 4.4 พบว่าความชื้นเริ่มต้นในกาบหมากอยู่ที่ 10 ถึง 13 เปอร์เซ็นต์โดยประมาณ ต่อมาพบว่า เมื่อนำตัวอย่างกาบหมากไปจุ่มน้ำแล้วนำมาวัดความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้น พบว่า ในช่วงเวลาการจุ่ม 3 นาที ถึง 2 ชั่วโมง ความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วงเวลาหลังจาก 5 ชั่วโมง อัตราเร่งของการเพิ่มขึ้นของความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ซึ่งค่าความชื้นของกาบหมากสงที่ถูกแช่น้ำ 5 ชั่วโมงอยู่ที่ประมาณ 66 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณความชื้นของกาบหมากสง สามารถทำได้โดยการแช่กาบหมากสงลงในน้ำได้



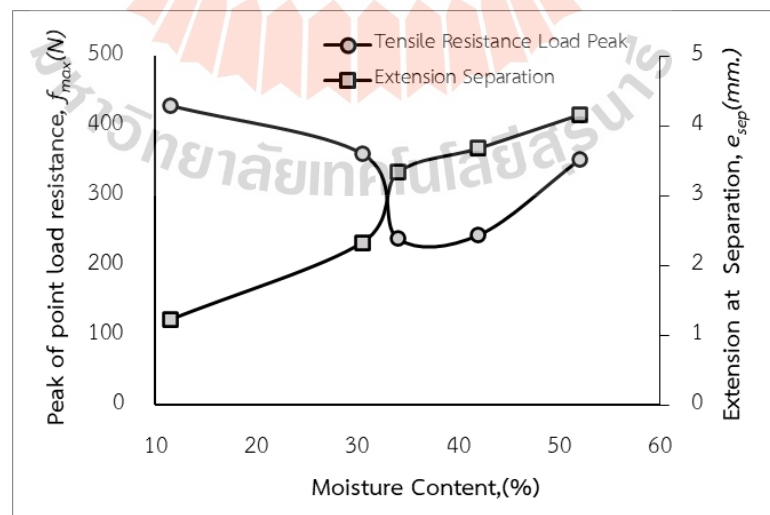
รูปที่ 4.4 ปริมาณความชื้นในกาบหมากสงตามระยะเวลาการแช่น้ำ

จากการทดลองการศึกษาตัวแปรความชื้นที่มีผลต่อสมบัติทางกล ดังแสดงในรูปที่ 4.5 พบว่า ชิ้นงานกาบหมากที่มีความชื้นต่ำ ในสภาวะสภาพแวดล้อมปกติจะรับแรงต้านสูงกว่าชิ้นงานที่ความชื้นมากกว่า และขาดแบบรวดเร็ว ชิ้นงานทดสอบกาบหมากสง ที่มีความชื้นสูง จะขาดออกจากกันในเวลาที่ยาวกว่าและขาดแบบช้า ๆ และชิ้นงานที่มีความชื้น 25 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์ การรับแรง และระยะเวลาขาดออกของชิ้นงานไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งจากผลการทดสอบสมบัติทางกลจากตัวแปร

ความชื้น จากความสัมพันธ์แรงต้านทานการดึงของชิ้นงาน และตำแหน่งที่ชิ้นงานทดสอบขาดเทียบกับระยะเวลาจุ่มน้ำ อธิบายได้ว่า เมื่อชิ้นงานกาบหมากสูงถูกใช้เวลาในการแช่น้ำมากขึ้น ทำให้เกิดการขาดช้าลง โดยใช้ระยะในการดึงมากขึ้น ในส่วนแรงต้านทานการดึงจะสูงในช่วงแรกที่เวลา 0 - 30 นาที และลดลง และกลับมาเพิ่มขึ้นอีกครั้งที่ระยะเวลา 60 - 120 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างแรงต้านทานการดึงกับระยะยืดตัวของตัวอย่างกาบหมากสูงที่จุ่มน้ำ ในเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 4.6 แรงต้านทานการดึงสูงสุด และระยะการขาดของตัวอย่างการหมากสูงเทียบกับเวลาการจุ่มน้ำ

บทที่ 5

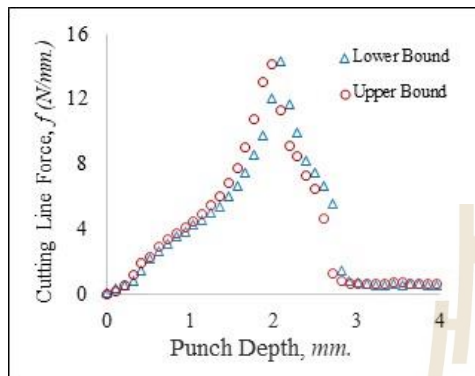
อิทธิพลของตัวแปรการตัดต่อผลการตัดเฉือนกาบหมากสูง และการจำลอง กระบวนการตัดเฉือนกาบหมากสูงด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

5.1 อิทธิพลของความชื้นต่อผลการตัดเฉือนกาบหมากสูง

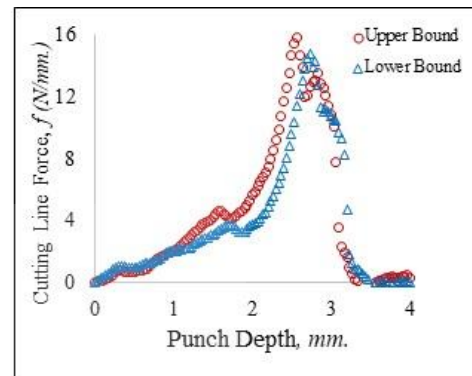
จากการทดลองการศึกษาตัวแปรการตัดเฉือนกาบหมากสูงที่มีความชื้นแตกต่างกัน ซึ่งได้ผลของผลแรงต้านการตัดเฉือน ดังแสดงในรูปที่ 5.1 พบว่า ชิ้นงานกาบหมากที่มีความชื้นต่ำเกิดแรงต้านการตัดเฉือนสูงสุดค่อนข้างสูงกว่าชิ้นงานที่มีความชื้นสูงกว่า ซึ่งในกรณีกาบหมากสูงที่มีความชื้นตั้งแต่ 10 ถึง 27 เปอร์เซ็นต์ เกิดแรงต้านการตัดเฉือนสูงสุดขณะตัดประมาณ 16 นิวตันต่อมิลลิเมตร ในกรณีกาบหมากสูงที่มีความชื้น 30 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์ เกิดแรงต้านการตัดเฉือนสูงสุดขณะตัดประมาณ 12 นิวตันต่อมิลลิเมตร และในกรณีกาบหมากสูงที่มีความชื้น 41 ถึง 53 เปอร์เซ็นต์ เกิดแรงต้านการตัดเฉือนสูงสุดขณะตัดประมาณ 9 นิวตันต่อมิลลิเมตร ซึ่งชิ้นงานทดสอบกาบหมากสูงที่มีความชื้นสูง จะขาดออกจากกันในเวลาที่ยาวกว่า และเกิดการขาดแบบช้า ๆ โดยสังเกตได้จากแรงต้านการตัดเฉือนที่ค่อย ๆ ลดลงดังรูป 5.1 (d) 5.1 (e) และ 5.1 (f) ซึ่งการขาดออกจากกันของกาบหมากสูงใช้เวลาในการขาดมากกว่า และมีความแตกต่างจากกาบหมากสูงที่มีความชื้นต่ำที่เกิดการขาดออกจากกันอย่างรวดเร็วดังแสดงในรูปที่ 5.1 (a) 5.1 (b) และ 5.1 (c) จากผลแรงต้านการตัดนี้ แสดงให้เห็นว่าลักษณะของแรงต้านการตัดเฉือนมีความแตกต่างกัน โดยความชื้นที่เป็นจุดแบ่งลักษณะของแรงต้านที่แตกต่างกันนี้อยู่ในช่วงประมาณ 30 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์

จากการทดลองการศึกษาตัวแปรการตัดเฉือนประเภทชิ้นงานที่มีความชื้นแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าตัวแปรนี้มีผลต่อขอบตัดเฉือนของกาบหมากสูงได้อย่างชัดเจนดังรูปที่ 5.2 จากรูปเห็นได้ว่าชิ้นงานที่มีความชื้นต่ำ (อยู่ในช่วง 10 ถึง 13 เปอร์เซ็นต์) เมื่อทำการตัดทำให้ผิวบนของชิ้นงาน ฝั่งที่มีการจับยึด บริเวณที่ใกล้ๆ ใบมีดตัดเกิดรอยแตกที่ผิวชิ้นงาน ดังรูปที่ 5.2 (a) เมื่อความชื้นของกาบหมากสูงเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 25 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์ ชิ้นงานกาบหมากสูงมีลักษณะขอบตัดที่ดีปราศจากเสี้ยน ไม่เกิดรอยแตกที่ผิวด้านบนใกล้ๆ มีดตัด และขอบลักษณะขอบตัดค่อนข้างเรียบ ดังรูปที่ 5.2 (b) ถึง (e) เมื่อชิ้นงานกาบหมากสูงถูกแช่น้ำให้มีความชื้นช่วง 51 ถึง 56 เปอร์เซ็นต์ ขอบตัดของกาบหมากสูงปรากฏมีเสี้ยนเกิดขึ้น ดังรูปที่ 5.2 (f) และ (g) เมื่อกาบหมากสูงถูกแช่น้ำจนมีความชื้นสูงกล่าวคือ ในช่วง 64 ถึง 67 เปอร์เซ็นต์ กาบหมากสูงไม่สามารถถูกตัดขาดออกจากกันได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.2 (f) โดยจากภาพผิวของกาบหมากด้านบน (Upper Epidermis) คล้ายกับมีความเหนียวสูงขึ้นเมื่อความชื้นมากขึ้น ซึ่งจากรูปถ่ายขอบตัดด้วยกล้องสเตอริโอซีซีให้เห็นว่า ความชื้นของการตัด

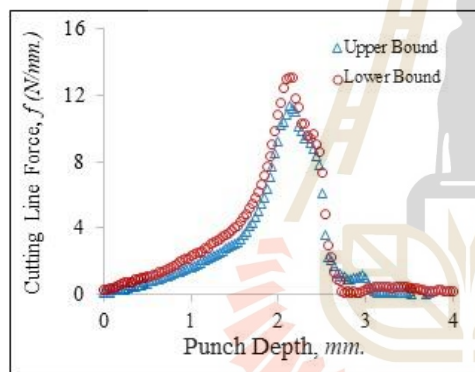
กาบหมากสงเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้ลักษณะขอบตัดเฉือนมีความแตกต่างกัน โดยความชื้นที่ทำให้เกิดขอบตัดที่ปราศจากรอยแตกที่ผิวด้านบนของกาบหมากสง และไม่เกิดเสี้ยนขึ้นที่ขอบตัดคือ ช่วงประมาณ 25 ถึง 43 เปอร์เซ็นต์



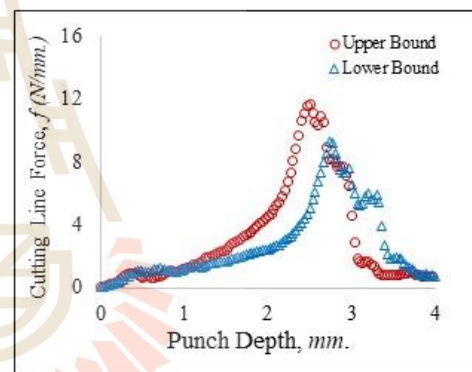
a). ความชื้น 10 - 13 เปอร์เซ็นต์



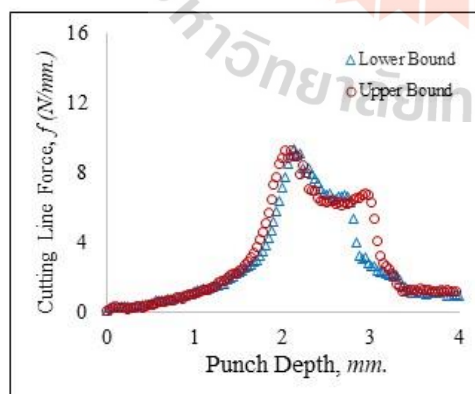
b). ความชื้น 25 - 27 เปอร์เซ็นต์



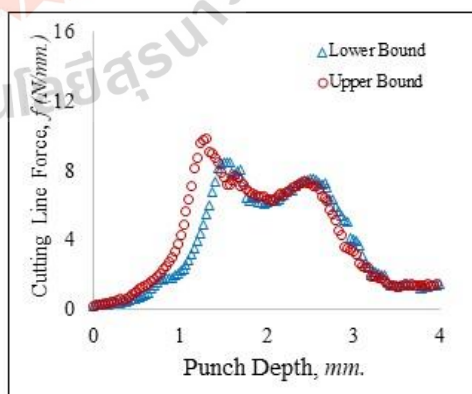
c). ความชื้น 30 - 32 เปอร์เซ็นต์



d). ความชื้น 33 - 35 เปอร์เซ็นต์

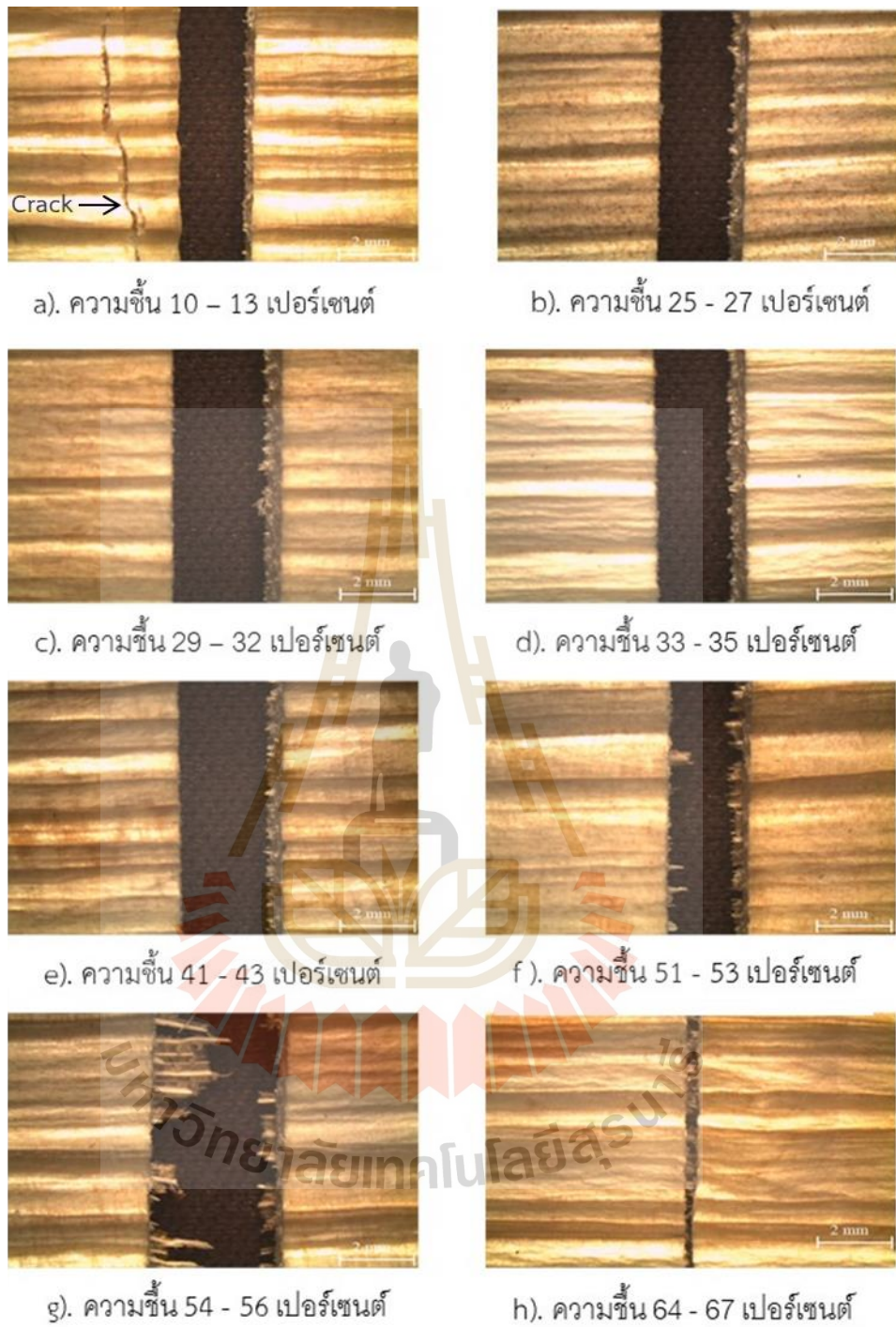


e). ความชื้น 41 - 50 เปอร์เซ็นต์



f). ความชื้น 51 - 53 เปอร์เซ็นต์

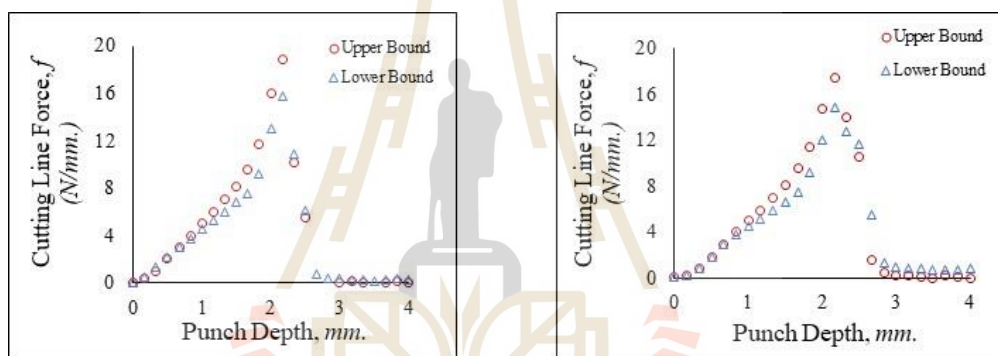
รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงต้านการตัดเฉือน และระยะยัด สำหรับชิ้นงานกาบหมากที่ผ่านการตัดเฉือนที่ถูกควบคุมด้วยความชื้น



รูปที่ 5.2 ภาพถ่ายจากกล้องสเตอริโอของขอบตัดเฉียง เพื่อแสดงลักษณะขอบตัดของชิ้นงานที่ถูกควบคุมด้วยระยะเวลาของการแช่น้ำ

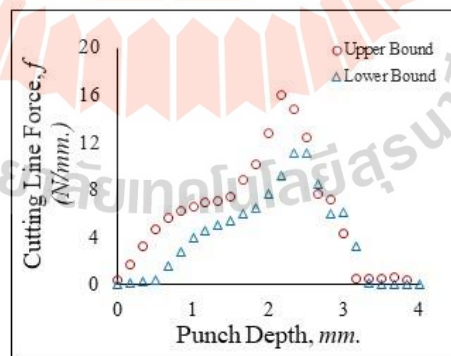
5.2 ผลของระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ต่อผลการตัดเฉือน

จากการทดลองการศึกษาตัวแปรการตัดเฉือนระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ที่มีขนาดแตกต่างกัน จากการทดลองพบว่า ตัวแปรนี้มีผลต่อแรงต้านการตัดเฉือน และตำแหน่งการขาดของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 5.3 พบว่าชิ้นงานกาบหมากที่ใช้ระยะห่างแม่พิมพ์ตัดเฉือนที่แคบกว่าจะเกิดแรงต้านการตัดเฉือนสูงสุดที่สูงกว่าชิ้นงานทดสอบกาบหมากที่ใช้ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ที่มากกว่า ซึ่งในกรณีที่ ใช้ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์เท่ากับ 80 160 และ 300 ไมโครเมตร ให้แรงต้านการตัดเฉือนสูงสุดขณะ ตัดประมาณ 19 17 และ 16 นิวตันต่อมิลลิเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ที่มี ขนาดแคบๆ จะมีผลทำให้ชิ้นงานขาดออกจากกันอย่างทันทีทันใด แต่ในส่วนชิ้นงานที่ใช้ระยะห่าง ระหว่างแม่พิมพ์กว้างๆ จะเกิดการขาดอย่างช้า ๆ โดยระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ที่ 80 160 และ 300 ไมโครเมตร จะให้ระยะกุดที่ทำให้ชิ้นงานขาดเท่ากับ 2.83 3.00 และ 3.33 มิลลิเมตร ตามลำดับ



a). 80 ไมโครเมตร

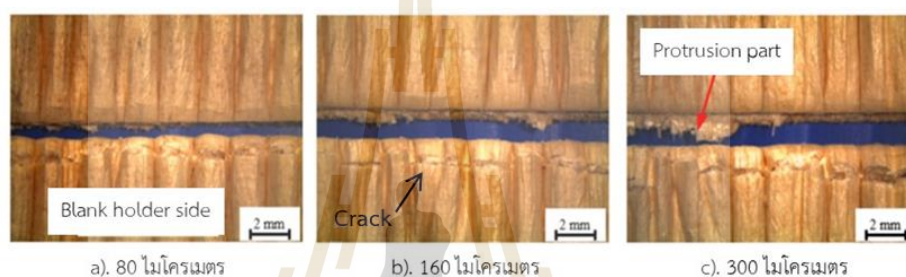
b). 160 ไมโครเมตร



c). 300 ไมโครเมตร

รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านการตัดเฉือนและระยะยึด สำหรับชิ้นงานกาบหมากที่ผ่านการ ตัดเฉือน ที่ถูกควบคุมด้วยระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ที่แตกต่างกัน

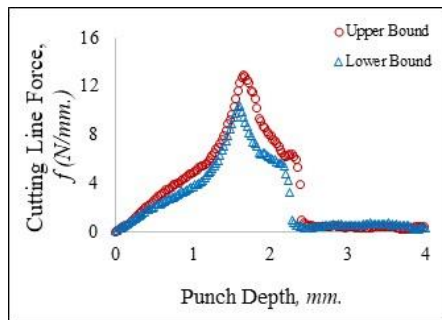
จากการศึกษาขอบตัดเฉือนของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบตัดโดยใช้กาบหมากสงที่ได้จากธรรมชาติที่มีความชื้นต่ำ ไม่มีการปรับแต่งความชื้น พบว่าการใช้ขนาดระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ที่แคบกว่าจะส่งผลดีต่อลักษณะของขอบตัด ซึ่งจะทำให้ขอบตัดมีลักษณะที่เรียกว่า เกิดเสี้ยนน้อยกว่า และยังลดการเกิดส่วนที่ตัดไม่ขาดที่ยื่นออกมาจากขอบตัดได้ดีด้วย และยังส่งผลต่อการแตกที่ผิวบริเวณขอบตัดอีกด้วย หากยังใช้ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ในการตัดมาก ก็ส่งผลให้เกิดรอยแตกที่มีระยะห่างจากขอบตัดมากขึ้นด้วย ซึ่งระยะห่างของรอยแตกที่เกิดบริเวณขอบตัดที่ใช้ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ 80 160 และ 300 ไมโครเมตร มีระยะห่างจากขอบ 1.02 1.38 และ 1.63 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5.4



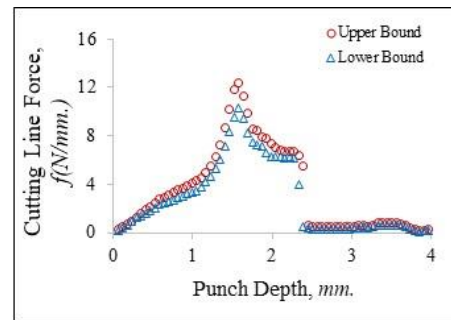
รูปที่ 5.4 ลักษณะขอบตัดเฉือนที่ถูกตัดด้วยแม่พิมพ์ตัดที่ใช้ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ต่างกัน

5.3 อิทธิพลของความเร็วการตัดต่อผลการตัดเฉือนกาบหมากสง

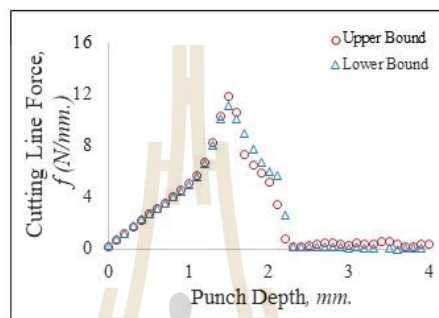
จากการทดลองการศึกษาตัวแปรการตัดเฉือน ประเภทชิ้นงานกาบหมากที่ถูกใช้ความเร็วในการตัดที่ 15 35 และ 60 มิลลิเมตรต่อวินาที พบว่า ความเร็วไม่มีผลต่อแรงต้านการตัดเฉือนสูงสุดอย่างเห็นได้ชัด โดยแรงต้านการตัดเฉือนสูงสุดในทุกความเร็วตัดค่อนข้างใกล้เคียงกันที่ประมาณ 12 นิวตันต่อมิลลิเมตร ซึ่งระยะการขาดของชิ้นงานกาบหมากสงในทุกความเร็วการตัดค่อนข้างใกล้เคียงกันที่ประมาณ 2.3 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 5.5



a). 15 mm./min.



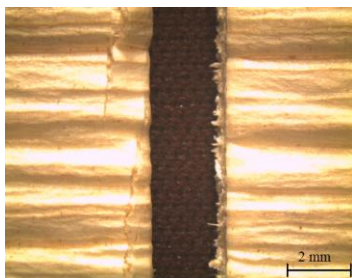
b). 35 mm./min.



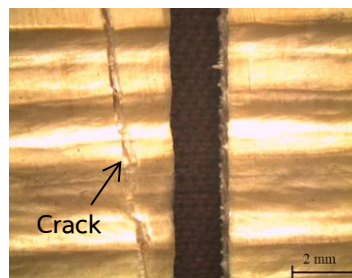
c). 60 mm./min.

รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงต้านการตัดเฉือน และระยะยึด สำหรับชิ้นงานกาบหมากที่ผ่านการตัดเฉือนที่ถูกควบคุมด้วยความเร็วในการตัดที่แตกต่างกัน

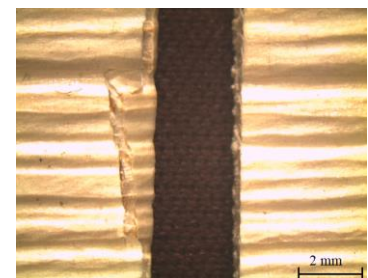
จากการถ่ายภาพขอบตัดจากกล้องสเตอริโอ จากการทดลองในกรณีที่ใช้ความเร็วในการตัดเฉือนแตกต่างกัน พบว่าคุณภาพของขอบตัดของชิ้นงานกาบหมากทั้ง 3 กรณีมีคุณภาพดี ปราศจากเสี้ยน ขอบตัดเรียบ แต่เกิดรอยแตกบนผิวด้านบนของกาบหมากที่บริเวณที่ใกล้กับขอบตัดในทุกความเร็วการตัดที่ใช้ ทำให้ยืนยันได้ว่าความเร็วในการตัดมีผลต่อแรงต้านการตัดเฉือน และลักษณะการเกิดรอยแตกที่ผิวบริเวณขอบตัด ดังแสดงในรูปที่ 5.6



a). 15 mm./min.



b). 35 mm./min.



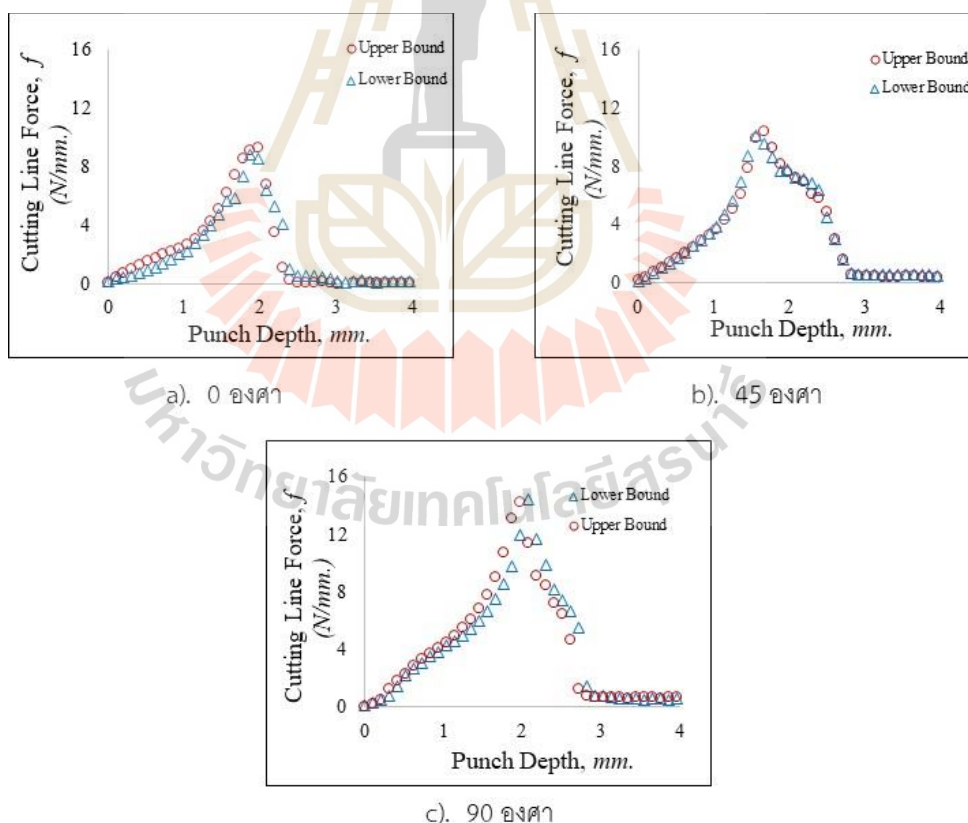
c). 60 mm./min.

รูปที่ 5.6 ภาพถ่ายชิ้นงานกาบหมากหลังจากการตัดเฉือนที่มีความเร็วตัดต่างกัน

5.4 ผลของทิศทางการตัดต่อผลการตัดเฉือนกาบหมากสง

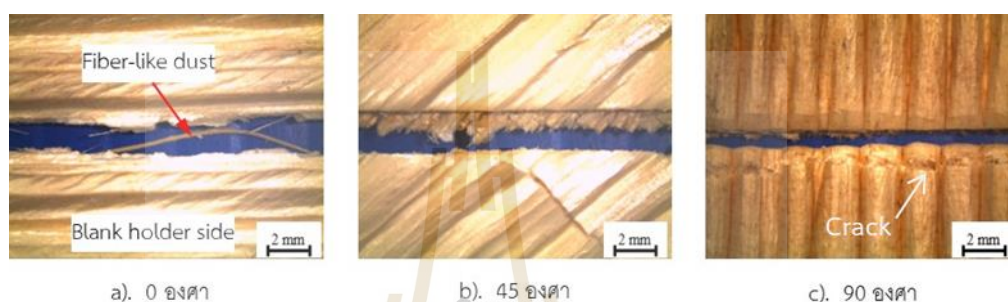
จากการทดลองศึกษาตัวแปรการตัดเฉือนที่ใช้ทิศทางในการตัดเฉือนที่แตกต่างกันพบว่า ทิศทางการตัดเฉือนเมื่อเทียบกับทิศทางการวางตัวของเส้นใยกาบหมากสงมีผลต่อแรงต้านการตัดเฉือนอย่างชัดเจน จากรูปที่ 5.7 พบว่า ชิ้นงานกาบหมากที่ตัดในทิศทาง 0 องศา หรือตัดขนานกับแนวการวางตัวของเส้นใย เกิดแรงต้านการตัดเฉือนสูงสุดที่ 9 นิวตันต่อมิลลิเมตร ซึ่งต่ำกว่ากรณีที่ใช้ทิศทางการตัดที่ 45 องศา และ 90 องศา ซึ่งได้แรงต้านการตัดเฉือนสูงสุดที่ 10 และ 14 นิวตันต่อมิลลิเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้ เนื่องจาก ในทิศทางการตัดที่ 0 องศา การตัดของใบมีดตัดจะขนานกับการวางตัวของเส้นใยหลัก ที่ให้ความแข็งแรงแก่กาบหมากสง ทำให้ใบมีดแม่พิมพ์มีโอกาสตัดโดนเส้นใยหลักน้อยกว่าในทิศทางการตัด 45 และ 90 องศาตามลำดับ

นอกจากนี้ ชิ้นงานทดสอบกาบหมาก ที่ทดสอบในทิศทาง 0 องศา จะมีระยะการขาดที่ระยะกต 2.5 มิลลิเมตร ซึ่งเร็วกว่าในกรณีที่ใช้ในทิศทาง 45 และ 90 องศา ที่ขาดที่ระยะ 2.8 และ 2.9 มิลลิเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงต้านการตัดเฉือน และระยะยึด สำหรับชิ้นงานกาบหมากที่ผ่านการตัดเฉือนที่ถูกควบคุมด้วยทิศทางการตัดที่แตกต่างกัน

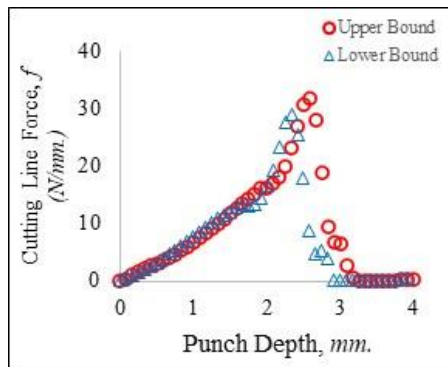
จากผลการทดลอง ในส่วนของผลทิศทางการตัดเฉือน 0 45 และ 90 องศา ที่ควบคุมด้วยระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ที่ 80 ไมโครเมตร จะเห็นได้ชัดว่าลักษณะขอบตัดของชิ้นงานที่ตัดในทิศทาง 0 และ 45 องศา เกิดจุดบกพร่องบนขอบตัด ดังแสดงในรูปที่ 5.8 (a) และ 5.8 (b) แสดงให้เห็นว่าการเรียงตัวของเส้นใยที่ไม่หนาแน่น ทำให้เส้นใยหลุดออกมาจากขอบตัดได้ง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับ การตัดในทิศทาง 90 องศา ที่มีการตัดผ่านเส้นใยที่มีการเรียงตัวอย่างหนาแน่นมากกว่า ดังแสดงในรูปที่ 5.8 (c)



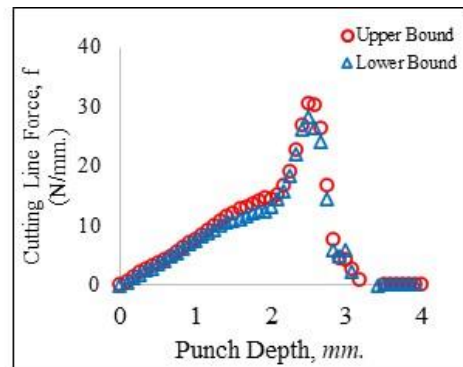
รูปที่ 5.8 ภาพถ่ายจากกล้องสเตอริโอ ของขอบตัดเฉือน เพื่อแสดงลักษณะขอบตัดของชิ้นงานที่ถูกควบคุมด้วยระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ 80 ไมโครเมตร และทิศทางการตัดเฉือนที่ 0 45 และ 90 องศา

5.5 การทดลองตัดกาบหมากสงด้วยแม่พิมพ์มุมแหลม

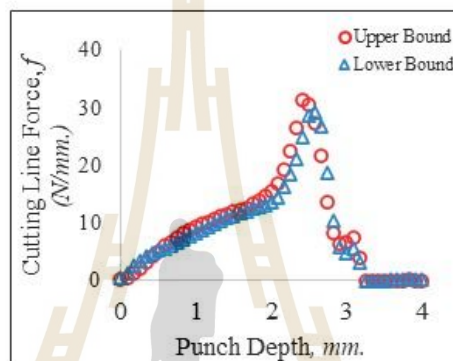
จากการทดลองพบว่า การศึกษาตัวแปรการตัดเฉือนด้วยมุมใบมีดของแม่พิมพ์ที่มีขนาดของมุมต่างกัน แสดงให้เห็นว่าแรงต้านการตัดเฉือนสูงสุดของชิ้นงาน ที่ใช้ใบมีดที่มีมุม 45 60 และ 90 องศา ในการทดสอบการตัด ไม่แตกต่างกันมาก ในส่วนตำแหน่งการขาดของชิ้นงานทดสอบที่ใช้มุมใบมีด 45 องศา เกิดการขาดแยกออกจากกันเร็วกว่ามุมใบมีดที่มีขนาด 60 และ 90 องศา



a). มุมแม่พิมพ์ 45 องศา



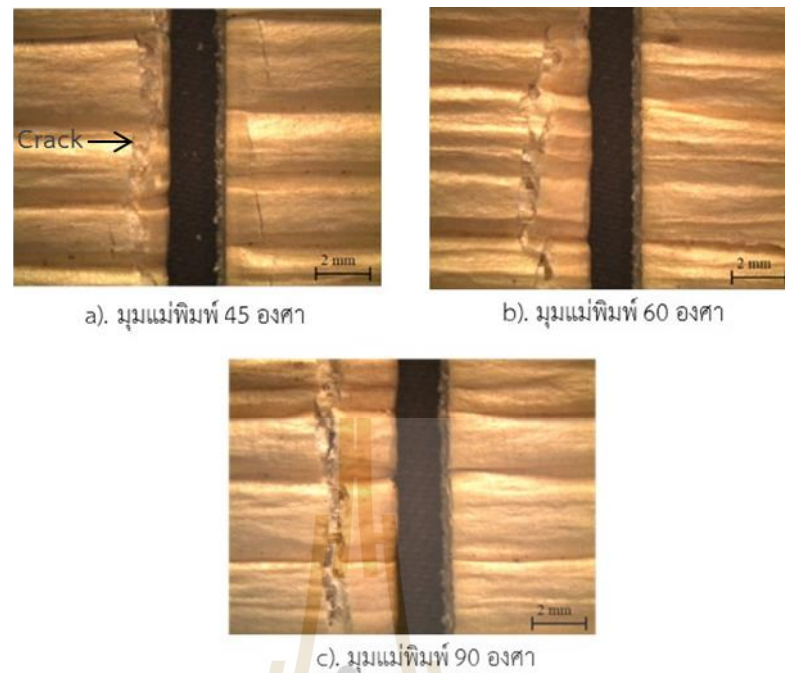
b). มุมแม่พิมพ์ 60 องศา



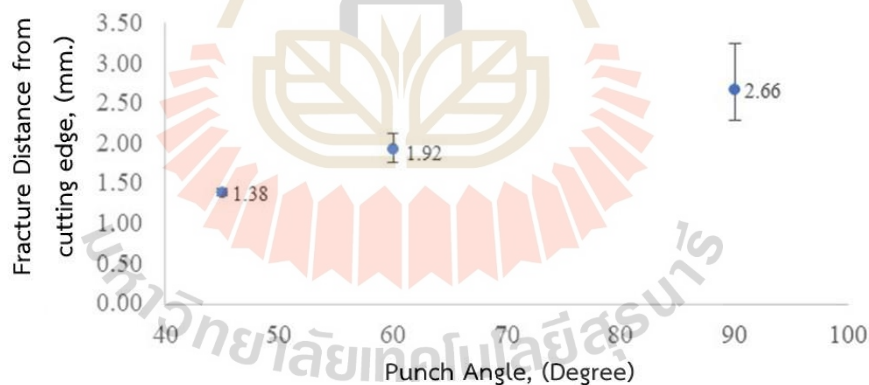
c). มุมแม่พิมพ์ 90 องศา

รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงต้านการตัดเฉือน และระยะยึด สำหรับชิ้นงานกาบหมากสองที่ผ่านการตัดเฉือนที่ถูกควบคุมด้วยมุมไบมัดของแม่พิมพ์ตัดที่มีมุมแหลมขนาดต่างกัน

จากการศึกษาลักษณะของขอบตัด เมื่อทำการทดลองโดยมีตัวแปรควบคุมเป็นลักษณะของแม่พิมพ์ตัด พบว่า มุมแม่พิมพ์ตัดตัวบนมีผลต่อการเกิดรอยแตกบนผิวของชิ้นงานกาบหมาก ดังแสดงในรูปที่ 5.10 กล่าวคือ ในกรณีที่มุมแม่พิมพ์ตัวบนมีขนาดมุมแคบ จะทำให้เกิดรอยแตกบนผิวขนานกับแนวการตัดในมุม 45 60 และ 90 องศา จะมีระยะเฉลี่ยอยู่ที่ 1.38 1.92 และ 2.66 มิลลิเมตรตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.10 รอยแตกบริเวณใกล้ขอบตัด ที่ถูกควบคุมด้วยลักษณะรูปร่างของแม่พิมพ์ตัด



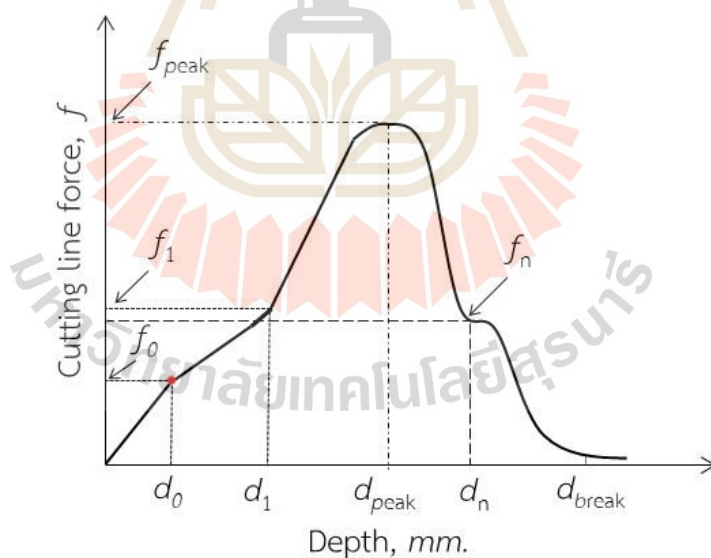
รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมของแม่พิมพ์ตัดตัวบนและระยะของรอยแตกเมื่อเทียบกับขอบตัด

5.6 การจำลองกระบวนการตัดเฉือนกาบหมากสง ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

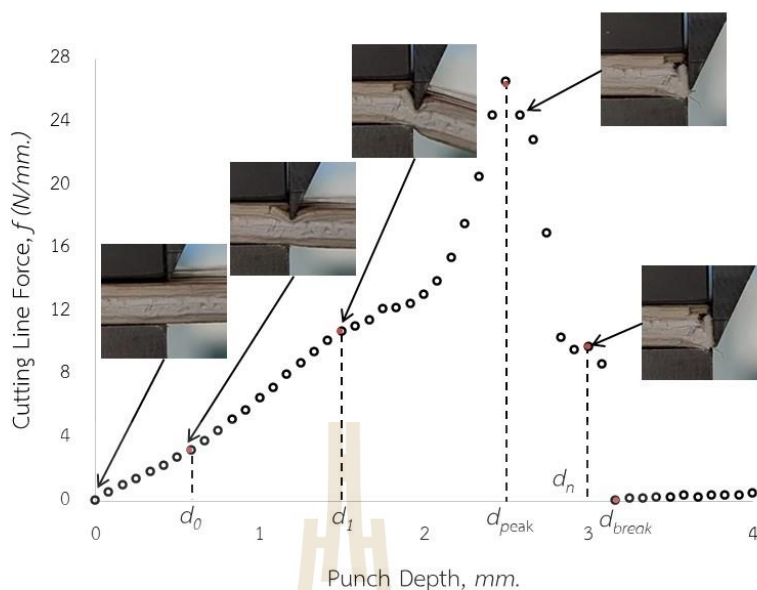
นอกจากการศึกษาผ่านการทดลองแล้ว ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อทำการจำลองกระบวนการตัดเฉือนกาบหมากสง โดยการจำลองในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการทำความเข้าใจการเกิดรอยแตกบริเวณผิวด้านบนของชิ้นงานกาบหมากสงขณะตัดเฉือนซึ่งเป็นข้อบกพร่องที่ทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหายดังที่ได้อธิบายไว้ในบทก่อนหน้า ผู้วิจัยได้ทำการสร้างโมเดลไฟไนต์เอลิเมนต์

ขึ้น และทำการจำลองโดยปรับเปลี่ยนตัวแปรการตัดเฉือนสองตัวแปร ได้แก่ ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ และมุมของแม่พิมพ์บน

เนื่องด้วยรอยแตกบนผิวของวัสดุขณะทำการขึ้นรูปด้วยแรงทางกลมักเกิดขึ้น เนื่องมาจากการเกิดความเค้นแรงดึงขึ้นบริเวณผิว ผู้วิจัยจึงได้ทำการตรวจสอบความเค้นที่กระจายตัวในบริเวณตัดเฉือน และเน้นไปยังบริเวณผิวของชิ้นงานซึ่งพบรอยแตกขณะตัดเฉือนจริง ณ ตำแหน่งการกดแม่พิมพ์บนที่ทำให้ผิวชิ้นงานเริ่มเกิดรอยแตกขึ้น โดยตำแหน่งนี้สามารถตรวจสอบได้จากเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านการตัดกับระยะกดลึงของแม่พิมพ์บน กล่าวคือ จากกราฟความสัมพันธ์แสดงพฤติกรรมของตัวอย่างชิ้นงานกาบหมากรุกขณะตัด กล่าวได้ว่า รอยแตกที่เกิดขึ้นบนผิวบนของกาบหมากรุก เกิดขึ้นที่จุดเปลี่ยนของกราฟจุดแรก (f_0) ขณะที่ระยะกดของแม่พิมพ์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ยังแสดงพฤติกรรมที่ชิ้นงานโดนบีบอัดโดยมุมของแม่พิมพ์ ซึ่งแสดงที่จุดเปลี่ยนของกราฟจุดที่ 1 (f_1) นอกจากนี้ยังแสดงตำแหน่งที่ชิ้นงานเกิดการขาดออกจากกันแต่ยังเหลือเส้นใยบางส่วน ดังจุดเปลี่ยนของกราฟจุดที่สูงที่สุด (f_{peak}) และจุดเปลี่ยนของกราฟที่ชิ้นงานขาดอย่างสมบูรณ์แสดง ณ จุดเปลี่ยนสุดท้าย (f_n) ดังแสดงในรูปที่ 5.12 และจากผลการทดลองจริงจะเห็นมีพฤติกรรมของกราฟที่แสดงจุดเปลี่ยน และแสดงตำแหน่งของการเกิดพฤติกรรมดังที่กล่าวมา ในรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.12 พฤติกรรมการตอบสนองของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านการตัดเฉือนกับระยะกดลึง



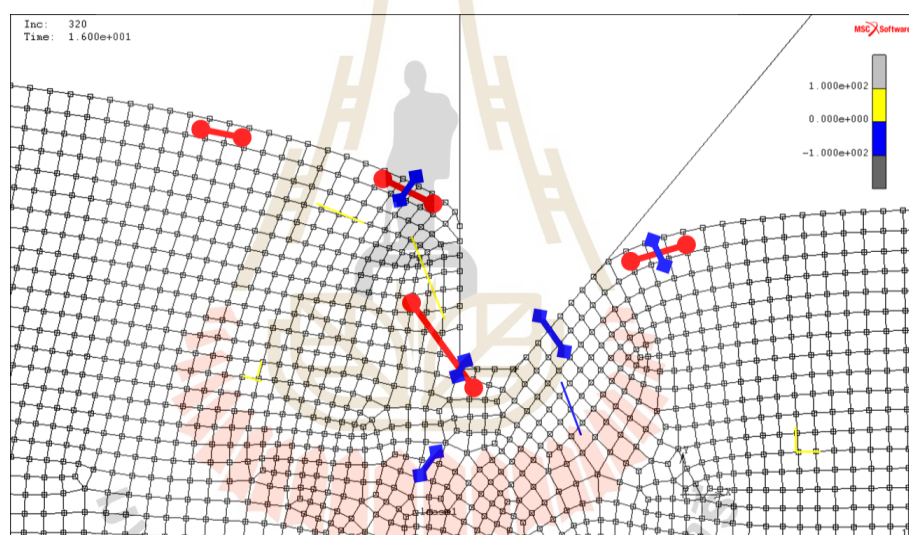
รูปที่ 5.13 ตัวอย่างพฤติกรรมกราฟตอบสนองของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านการตัดเนื้อไม้กับระยะกดลึกจากการทดลองจริง

การวิเคราะห์อิทธิพลของรูปร่างแม่พิมพ์ต่อการเกิดรอยแตกที่ขอบตัดเนื้อไม้

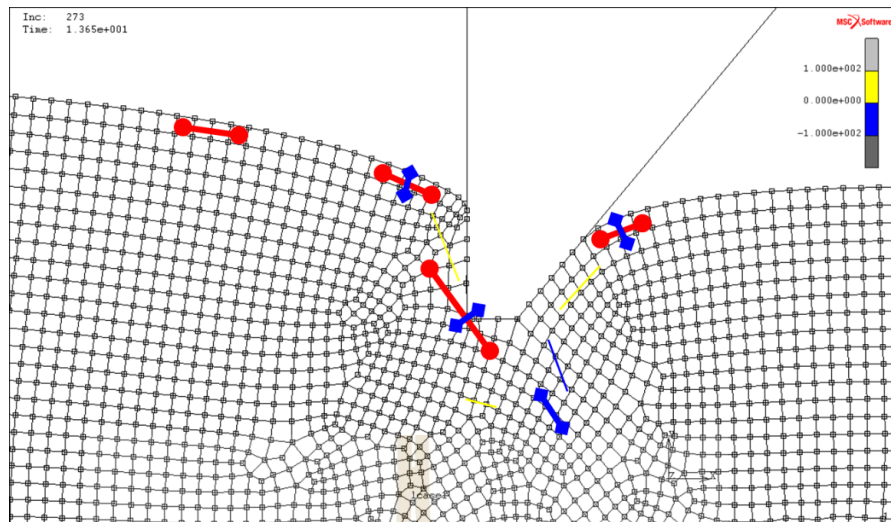
จากผลการทดลองจริงจะเห็นมีพฤติกรรมของกราฟที่แสดงจุดเปลี่ยน และแสดงตำแหน่งของการเกิดพฤติกรรมดังที่กล่าวมา แสดงในรูปที่ 5.12 และ รูปที่ 5.13 และรูป 5.14 แสดงเวกเตอร์ของความเค้นหลักทั้งความเค้นหลักสูงสุดและต่ำสุด (Maximum principal and minimum principal stresses) ที่กระจายตัวอยู่ในชิ้นงานบริเวณที่ทำการตัดเนื้อไม้เมื่อทำการเปลี่ยนรูปร่างแม่พิมพ์ตัวบนที่มีมุมเท่ากับ 45 60 และ 90 องศา โดยในรูป ลูกศรสีน้ำเงิน และสีแดงแสดงค่าความเค้นแรงอัด และแรงดึง ตามลำดับ ในส่วนหัวลูกศรกลม และเหลี่ยมแสดง ความเค้นต่ำสุด และความเค้นสูงสุดตามลำดับ จากผลการจำลองในรูปที่ 5.14 พบว่า ผิวของชิ้นงาน ณ บริเวณที่เกิดรอยแตกขึ้นขณะตัดเนื้อไม้ปรากฏมีความเค้นหลักสูงสุดเป็นความเค้นดึง โดยพบความลักษณะนี้ในทุกๆ รูปร่างแม่พิมพ์ที่ทำการจำลอง

จากนั้น ทำการตรวจสอบขนาดของความเค้นหลักตั้งฉากสูงสุดตามผิวของชิ้นงานโดยเริ่มตั้งแต่ตำแหน่งติดกับแม่พิมพ์บน (Arc length = 0) ออกไปจนพ้นตำแหน่งของการเกิดรอยแตกจริงบนผิวชิ้นงาน รูปที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นตั้งฉากสูงสุดกับตำแหน่งบนผิวด้านบนชิ้นงาน ณ ตำแหน่งการกดแม่พิมพ์บนซึ่งเกิดรอยแตกขึ้นบนชิ้นงานกาบหมางขณะตัดเนื้อไม้จริง จากรูปพบว่า ความเค้นหลักสูงสุดซึ่งเป็นความเค้นดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากบริเวณใกล้แม่พิมพ์บนจนกระทั่งมีค่าสูงสุดจากนั้นความเค้นค่อยๆ ลดลงตามระยะที่ห่างออกไปจากแม่พิมพ์บน เพื่อ

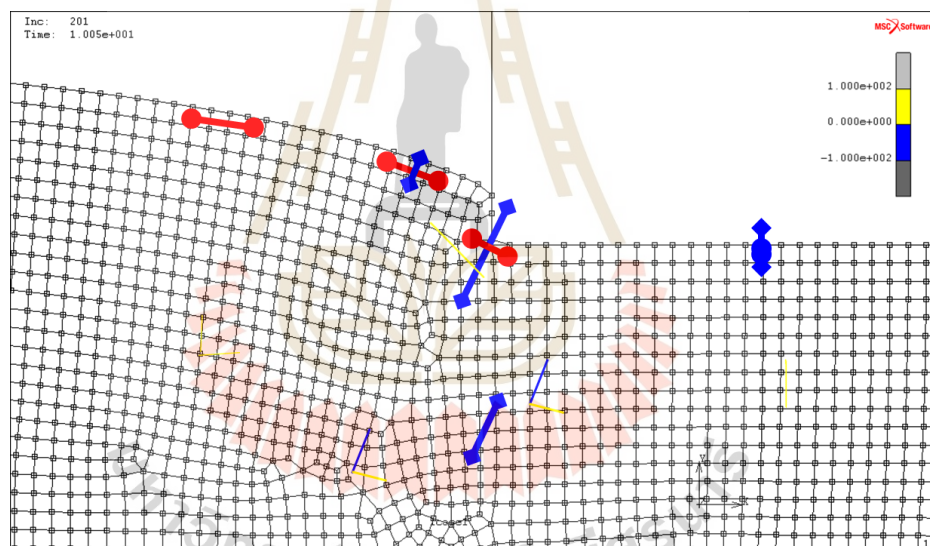
ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่เกิดค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดกับตำแหน่งการเกิดรอยแตกบนผิวชิ้นงานกาบหมากสงจึงทำการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่ความเค้นแรงดึงมีค่าสูงสุดเมื่อเปลี่ยนแปลงรูปร่างแม่พิมพ์ตัวบน ดังแสดงในรูปที่ 5.16 จากรูปพบว่าตำแหน่งที่ค่าความเค้นแรงดึงมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานห่างออกไปมากขึ้นเมื่อใช้รูปร่างแม่พิมพ์ที่มีมุม 90 60 และ 45 องศา ตามลำดับ ซึ่งมีความสอดคล้องกับตำแหน่งการเกิดรอยแตกบนผิวชิ้นงานกาบหมากสงขณะตัดเฉือนจริง จากการเปรียบเทียบผลการจำลองนี้ร่วมกับภาพถ่าย และผลการวัดตำแหน่งของรอยแตกบนการหมากสงทำให้เกิดความเข้าใจว่ารูปร่างของแม่พิมพ์ตัวบนที่มีขนาดมุมมากขึ้น ทำให้ตำแหน่งที่เกิดความเค้นแรงดึงสูงสุดบนผิวชิ้นงานกาบหมากสงขยับห่างออกไปจากคมตัดของแม่พิมพ์บนเป็นผลให้รอยแตกบนผิวชิ้นงานกาบหมากสงเกิดห่างออกไปจากรอยตัดมากขึ้นเมื่อตัดเฉือนกาบหมากสงโดยใช้แม่พิมพ์ตัวบนที่มีขนาดมุมตัดเพิ่มมากขึ้น



a.) มุมใบมีด 45 องศา

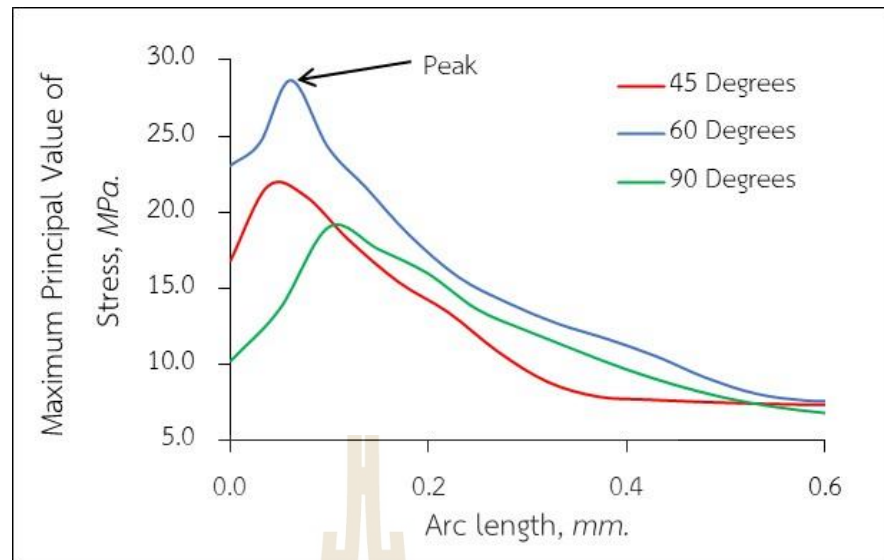


b.) มุมไปมีด 60 องศา

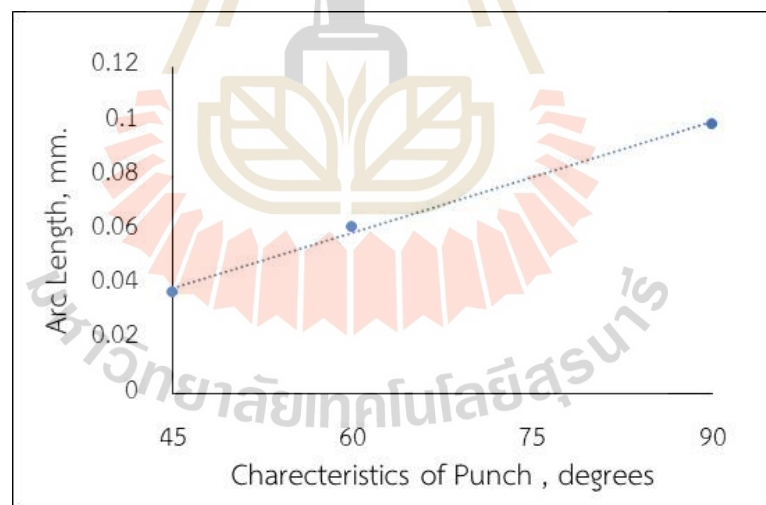


c.) มุมไปมีด 90 องศา

รูปที่ 5.14 การวิเคราะห์หัตถิพลของรูปร่างแม่พิมพ์ตัดต่อการเกิดรอยแตกที่ขอบตัดเฉือนด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 5.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Maximum Principal Value of Stress และ Arc Length ที่ได้จากการจำลองการตัดด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ สำหรับแม่พิมพ์ ที่มีรูปร่างแตกต่างกัน



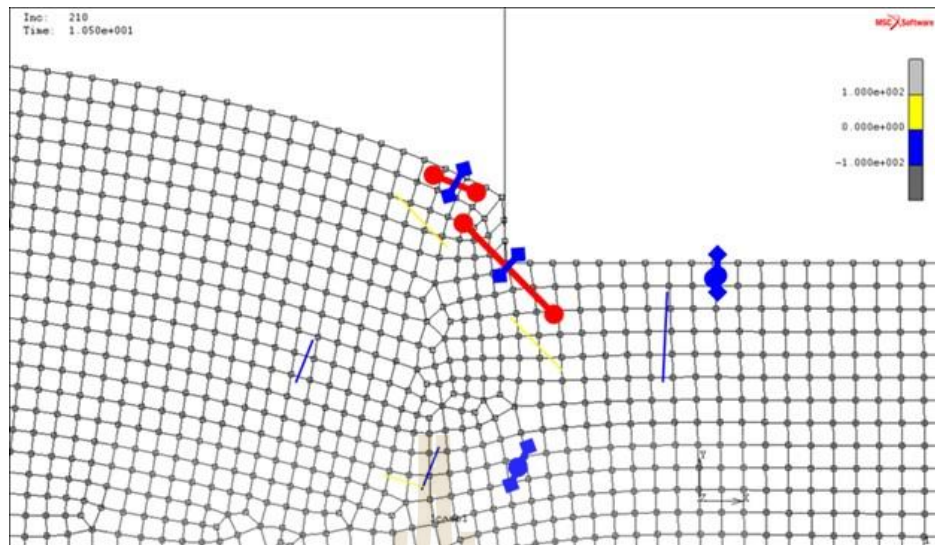
รูปที่ 5.16 เปรียบเทียบตำแหน่งสูงสุด ที่เกิดความเค้นสูงสุดสำหรับแม่พิมพ์ตัดมีมุมไบมีด 45 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

การวิเคราะห์อิทธิพลของระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ตัดต่อการเกิดรอยแตกที่ขอบตัด

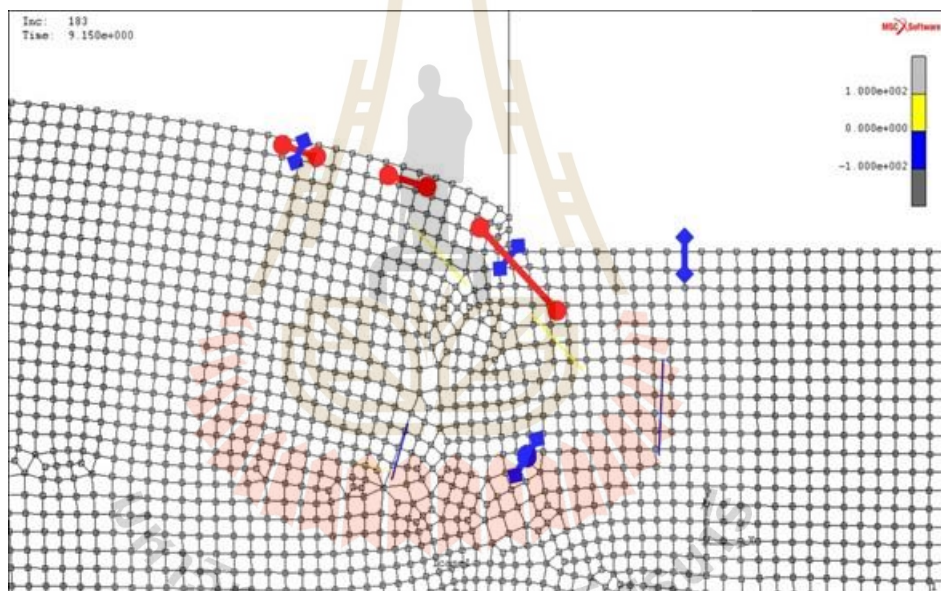
จากผลการทดลองจริงจะเห็นมีพฤติกรรมของกราฟที่แสดงจุดเปลี่ยน และแสดงตำแหน่งของการเกิดพฤติกรรมดังที่กล่าวมา แสดงในรูปที่ 5.12 และ รูปที่ 5.13 และรูป 5.17 แสดงเวกเตอร์ของ

ความเค้นหลักทั้งความเค้นหลักสูงสุดและต่ำสุด (Maximum principal and minimum principal stresses) ที่กระจายตัวอยู่ในชิ้นงานบริเวณที่ทำการตัดเฉือนเมื่อทำการเปลี่ยนระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์เท่ากับ 80 160 และ 300 ไมโครเมตร โดยในรูป ลูกศรสีน้ำเงิน และสีแดงแสดงค่าความเค้นแรงอัด และแรงดึง ตามลำดับ ในส่วนหัวลูกศรกลม และเหลี่ยมแสดง ความเค้นต่ำสุด และความเค้นสูงสุด ตามลำดับ จากผลการจำลองในรูปที่ 5.17 พบว่า ผิวของชิ้นงาน ณ บริเวณที่เกิดรอยแตกขึ้นขณะตัดเฉือนปรากฏมีความเค้นหลักสูงสุดเป็นความเค้นดึง โดยพบความลักษณะนี้ในทุกๆ ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ที่ทำการจำลอง

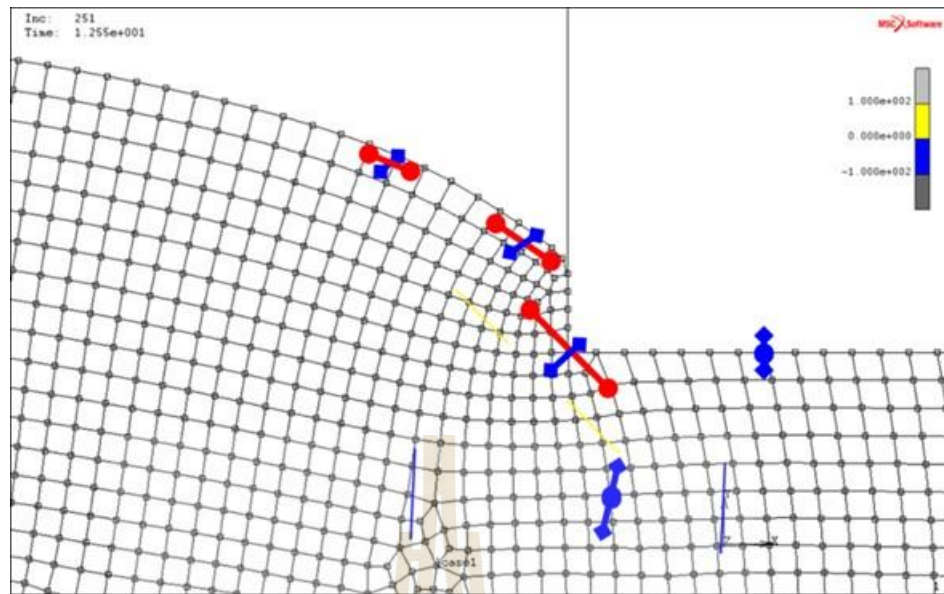
จากนั้นทำการตรวจสอบขนาดของความเค้นหลักตั้งฉากสูงสุดตามผิวของชิ้นงานโดยเริ่มตั้งแต่ตำแหน่งติดกับแม่พิมพ์บน (Arc length = 0) ออกไปจนพ้นตำแหน่งของการเกิดรอยแตกจริงบนผิวชิ้นงาน รูปที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นตั้งฉากสูงสุดกับตำแหน่งบนผิวด้านบนชิ้นงาน ณ ตำแหน่งการกดแม่พิมพ์บนซึ่งเกิดรอยแตกขึ้นบนชิ้นงานกาบหมากสงขณะตัดเฉือนจริง จากรูปพบว่า ความเค้นหลักสูงสุดซึ่งเป็นความเค้นดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากบริเวณใกล้แม่พิมพ์บนจนกระทั่งมีค่าสูงสุดจากนั้นความเค้นค่อยๆ ลดลงตามระยะที่ห่างออกไปจากแม่พิมพ์บน เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่เกิดค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดกับตำแหน่งการเกิดรอยแตกบนผิวชิ้นงานกาบหมากสงจึงทำการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่ความเค้นแรงดึงมีค่าสูงสุดเมื่อเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 5.19 จากรูปพบว่าตำแหน่งที่ค่าความเค้นแรงดึงมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานห่างออกไปมากขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์เพิ่มขึ้นซึ่งมีความสอดคล้องกับตำแหน่งการเกิดรอยแตกบนผิวชิ้นงานกาบหมากสงขณะตัดเฉือนจริงจากการเปรียบเทียบผลการจำลองนี้ร่วมกับภาพถ่ายและผลการวัดตำแหน่งของรอยแตกบนการหมากสงทำให้เกิดความเข้าใจว่าระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ที่มากขึ้น ทำให้ตำแหน่งที่เกิดความเค้นแรงดึงสูงสุดบนผิวชิ้นงานกาบหมากสงขยับห่างออกไปจากคมตัดของแม่พิมพ์บนเป็นผลให้รอยแตกบนผิวชิ้นงานกาบหมากสงเกิดห่างออกไปจากรอยตัดมากขึ้น เมื่อตัดเฉือนกาบหมากสงโดยใช้ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ที่มากขึ้น



a.) ระยะห่างระหว่างเม็พ 80 ไมโครเมตร

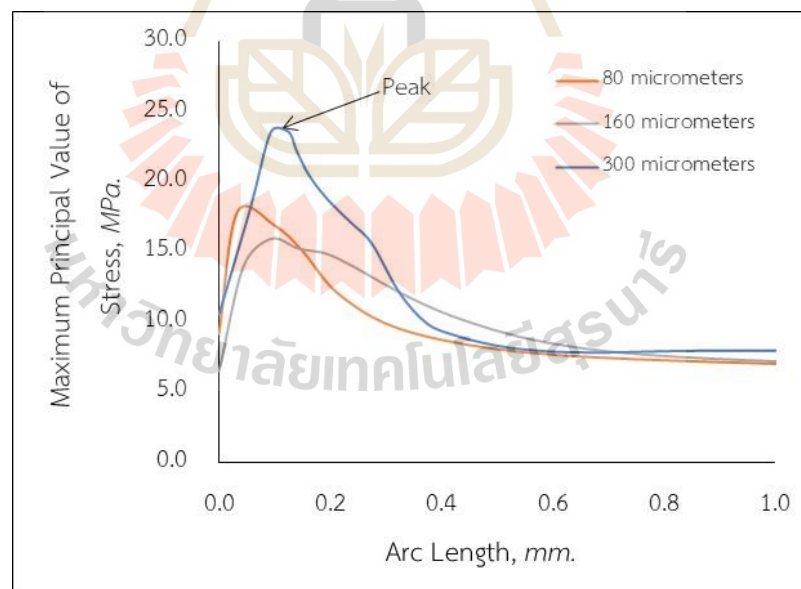


b.) ระยะห่างระหว่างเม็พ 160 ไมโครเมตร

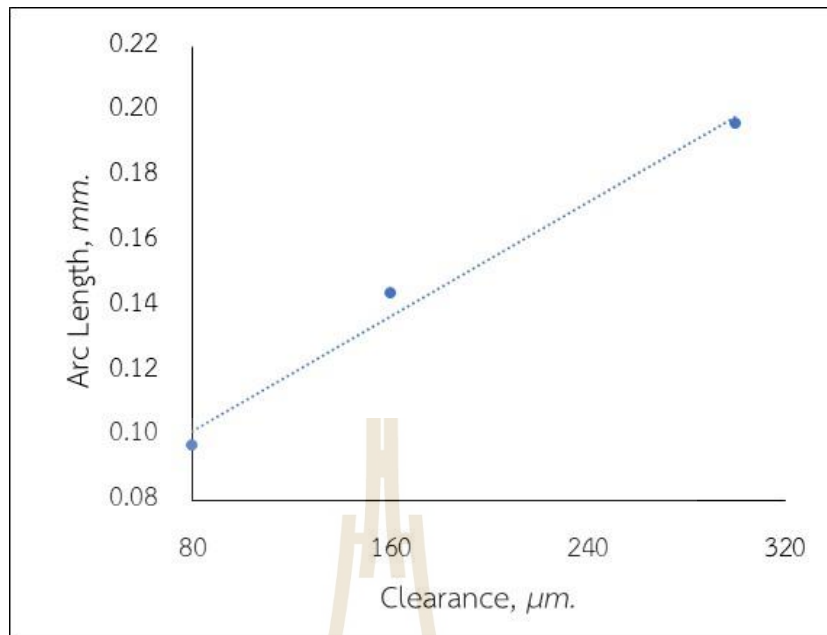


c.) ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ 300 ไมโครเมตร

รูปที่ 5.17 การวิเคราะห์อิทธิพลของระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ ต่อการเกิดรอยแตกที่ขอบตัดเฉือนด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Maximum Principal Value of Stress และ Arc Length ที่ได้จากการจำลองการตัดด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ สำหรับแม่พิมพ์ที่มีช่องห่างระหว่างแม่พิมพ์แตกต่างกัน



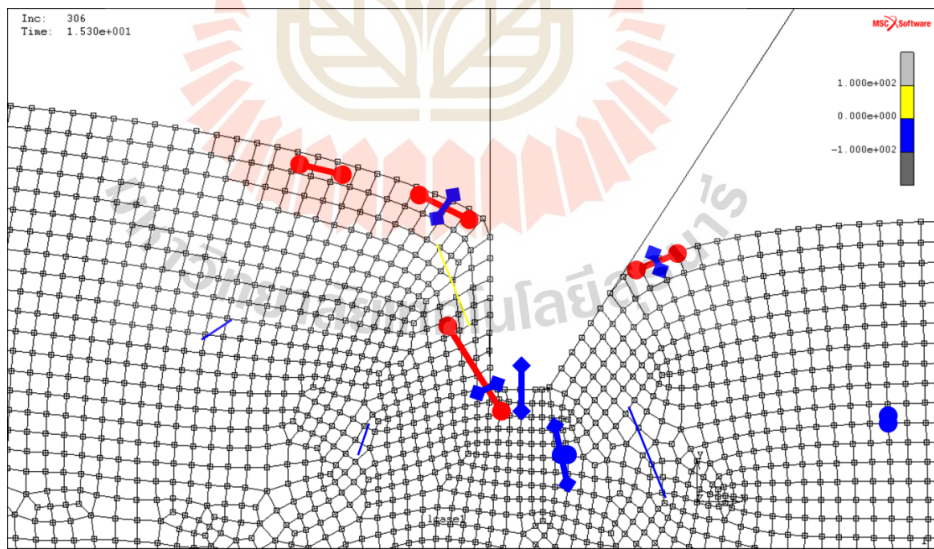
รูปที่ 5.19 เปรียบเทียบตำแหน่งสูงสุด ที่เกิดความเค้นสูงสุดสำหรับการจำลองอิทธิพลของระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

บทที่ 6

การออกแบบ ผลิตชุดแม่พิมพ์ต้นแบบสำหรับตัดขอบผลิตภัณฑ์ กาบหมากสง

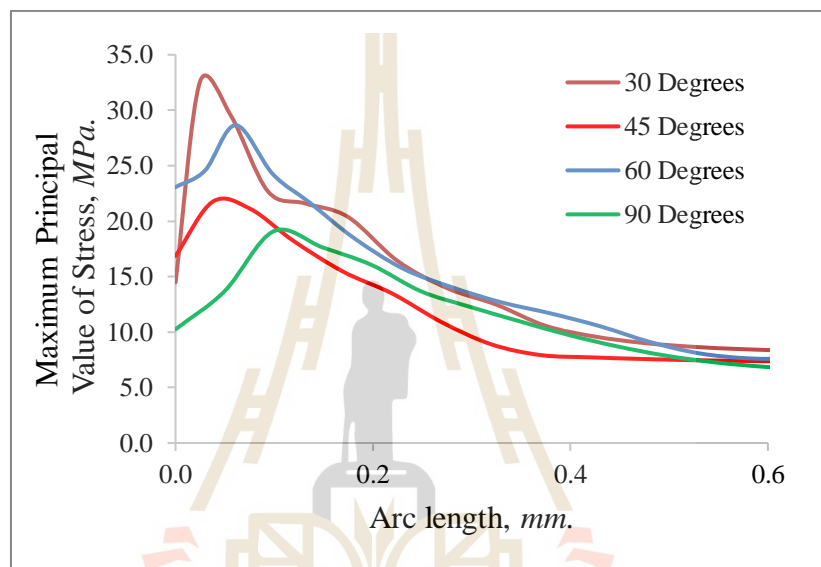
จากผลการทดลอง และการจำลองโมเดลการตัดเฉือนด้วยกระบวนการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ก่อนหน้านี้ แสดงให้เห็นว่า มุมแม่พิมพ์ที่เล็กลง ทำให้คุณภาพรอยแตกมีคุณภาพดีขึ้น ทางผู้วิจัยจึงทดลองศึกษา ออกแบบ และสร้างชุดแม่พิมพ์ใหม่ และทดสอบการตัด โดยใช้แม่พิมพ์บนที่มีมุม 30 องศา

จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ เมื่อเปลี่ยนรูปร่างแม่พิมพ์ให้มีมุม 30 องศา พบว่ามีความเค้นสูงสุดที่ผิวบริเวณใกล้ขอบตัดเป็นความเค้นแรงดึง การเกิดรอยแตกที่ขอบตัดเฉือนบนผิวกาบหมากสง วิเคราะห์ได้จากความเค้นสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ตามผิวของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 6.1 โดยในรูป ลูกศรสีน้ำเงิน และสีแดงแสดงค่าความเค้นแรงอัด และแรงดึง ตามลำดับ ในส่วนหัวลูกศรกลม และเหลี่ยมแสดง ความเค้นต่ำสุด และความเค้นสูงสุด ตามลำดับ

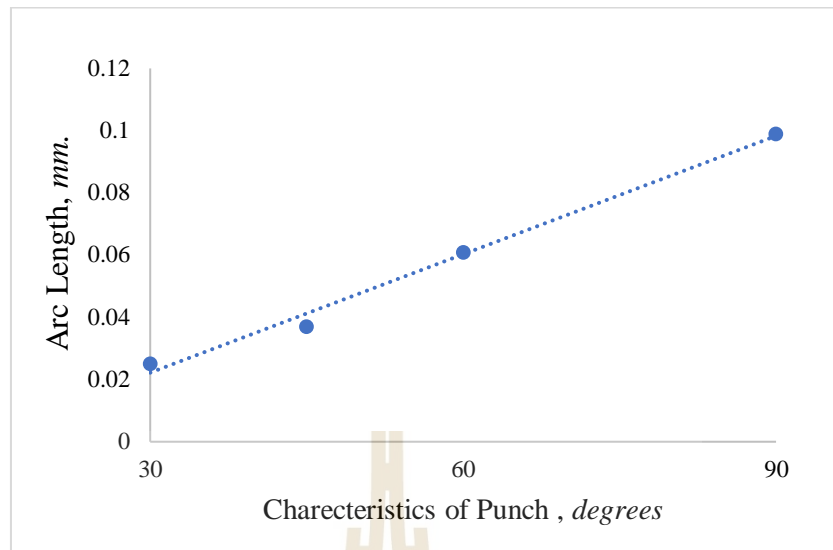


รูปที่ 6.1 การวิเคราะห์ห่อหุ้มของรูปร่างแม่พิมพ์ตัดต่อการเกิดรอยแตกที่ขอบตัดเฉือนด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

นอกจากนี้ จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Maximum Principal Value of Stress และ Arc Length ที่ได้จากการจำลองการตัดด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 6.2 ทำให้เห็นได้ว่า เมื่อใช้มุมแม่พิมพ์ตัวบนที่มีขนาดมุม 30 องศา ความเค้นสูงสุดที่เกิดบนผิวของชิ้นงาน มีตำแหน่งการเกิดเข้าใกล้ขอบตัดมากขึ้นเมื่อเทียบกับ มุม 45 60 และ 90 องศา ตามลำดับ ดังแสดงเปรียบเทียบในรูปที่ 6.3 ดังนั้น การพัฒนาชุดแม่พิมพ์ที่มีรูปร่างของมุมใบมีดตัด 30 องศา ของแม่พิมพ์ตัวบนมานั้น คาดว่าเป็นผลดี ช่วยให้อายุแตกขยับเข้าใกล้ขอบตัดมากขึ้น

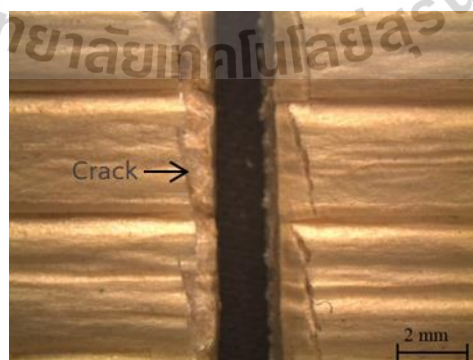


รูปที่ 6.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Maximum Principal Value of Stress และ Arc Length ที่ได้จากการจำลองการตัดด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ สำหรับแม่พิมพ์ที่มีรูปร่าง แตกต่างกัน



รูปที่ 6.3 เปรียบเทียบตำแหน่งสูงสุด ที่เกิดความเค้นสูงสุดสำหรับแม่พิมพ์ตัดที่มีมุมไบมีด 30 45 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ข้างต้น ทางผู้วิจัยคาดว่ามุมของแม่พิมพ์ตัวบน ที่มีขนาดเล็กลง จะทำให้คุณภาพขอบตัดดีขึ้น จึงทำการผลิตแม่พิมพ์ และทดสอบตัดเฉือน จากผลการทดลองการตัด ทำให้ทราบว่า การปรับขนาดมุมของแม่พิมพ์ตัวบนมาเป็น 30 องศา ทำให้ได้คุณภาพขอบตัดที่ดีขึ้นกว่าเดิม ซึ่งระยะของรอยแตกเข้าใกล้ขอบตัดมากขึ้น เฉลี่ยอยู่ที่ 0.96 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 6.3 จากเดิมมุมของแม่พิมพ์ตัวเดิมที่ 45 60 และ 90 องศา มีระยะการเกิดรอยแตกห่างจากขอบเฉลี่ย 1.38 1.92 และ 2.66 มิลลิเมตร



รูปที่ 6.4 รอยแตกบริเวณใกล้ขอบตัด ที่ถูกควบคุมด้วยลักษณะรูปร่างของแม่พิมพ์ตัวบนที่มีมุมขนาด 30 องศา

บทที่ 7

สรุป

จากการตรวจสอบความหนาของกาบหมากสงที่ได้จากการเก็บพบว่า ความหนาของกาบหมากสงไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งกาบ โดยขอบเขตความหนาจะอยู่ในช่วง 0.9 ถึง 4.5 มิลลิเมตร ซึ่งในการทำวิจัย ความหนาที่ถูกใช้คือ 2.0 มิลลิเมตร โดยความหนาของกาบหมากสงในแต่ละบริเวณบนกาบหมากสงจะไม่เท่ากัน ทางผู้วิจัยสามารถแบ่งโซนเพื่อแบ่งช่วงความหนาออกมาได้

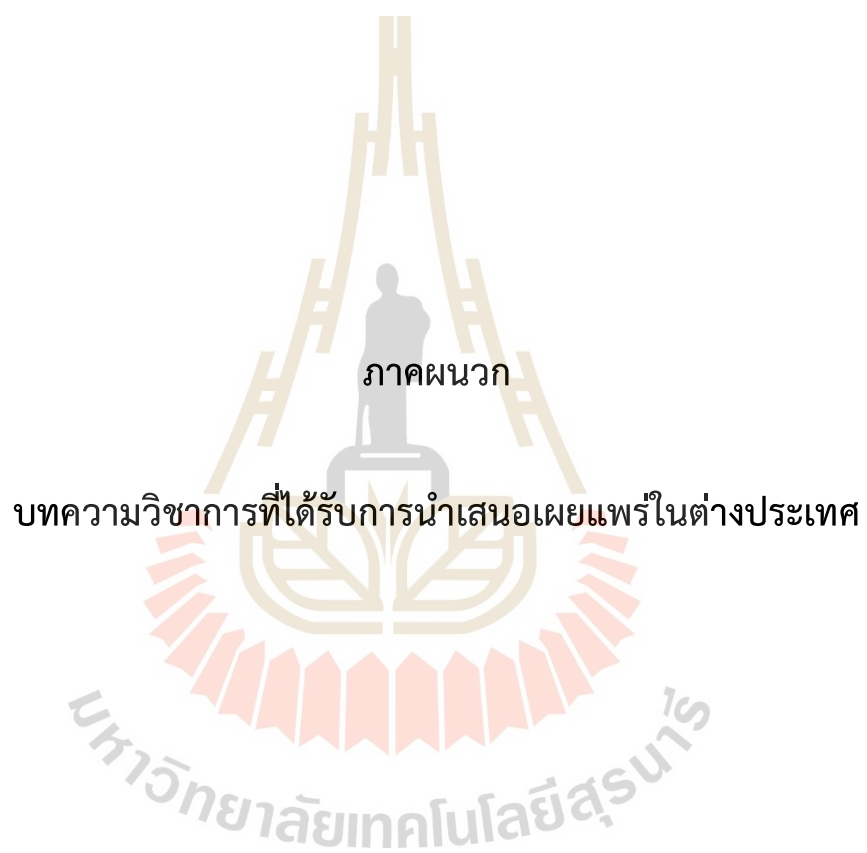
จากการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการตัดเฉือน กาบหมากสงที่ทำการทดสอบทั้ง 5 ตัวแปร พบว่า i). ความชื้นในกาบหมากมีผลต่อลักษณะขอบตัดของชิ้นงานทดสอบกาบหมากสงในช่วงความชื้นที่ 10 -13 ลักษณะของขอบตัดเรียบ แต่เกิดรอยแตกที่ผิวบนใกล้ขอบตัด เนื่องจากมีความเปราะ ในส่วนความชื้นที่ 25 - 43 เปอร์เซ็นต์ ให้คุณภาพขอบตัดเรียบ ไม่มีจุดบกพร่องที่ขอบตัด นอกจากนี้ในช่วงความชื้นที่ 43 ถึง 56 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะขอบตัดจะพบเสี้ยนที่หลุดออกมาจากขอบตัด และสุดท้ายในช่วงความชื้นที่มากกว่า 56 เปอร์เซ็นต์ ชิ้นงานทดสอบไม่สามารถถูกตัดขาดได้ เนื่องจากเกิดการรูดของชิ้นงาน เนื่องจากชิ้นงานอ่อนนุ่ม และเหนียวเกินไป ii). ผลของระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์มีผลต่อแรงต้านการตัด และลักษณะขอบตัด กล่าวคือ เมื่อใช้ ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ที่แคบกว่า จะให้ลักษณะขอบตัดที่ดีกว่า ปราศจากเสี้ยน นอกจากนี้ยังพบว่า มีรอยแตกบนผิวชิ้นงานบริเวณขอบตัดที่เกิดขึ้นจากการตัดในทุกเงื่อนไข แต่จากการวิเคราะห์ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่า รอยแตกจะเกิดขึ้นในทุกกรณี แต่จะมีระยะห่างจากขอบตัดไม่เท่ากัน ถ้าใช้ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ที่แคบกว่า จะเกิดรอยแตกในบริเวณที่ใกล้ขอบตัดมากกว่า iii). ผลของการเปลี่ยนทิศทางการตัด จะมีผลต่อแรงต้านการตัด และลักษณะขอบตัดอย่างชัดเจน กล่าวคือ เมื่อใช้ทิศทางการตัดที่ขนานกับแนวการเรียงตัวของเส้นใยในกาบหมากสง จะให้แรงต้านการตัดเฉือนที่ต่ำที่สุด และลักษณะขอบตัดที่มีเสี้ยน iv). ผลของอิทธิพลของรูปร่างแม่พิมพ์ จะมีผลต่อลักษณะการเกิดรอยแตกบริเวณขอบตัดอย่างชัดเจน และในกรณีแรงต้านการตัดเฉือนไม่แตกต่างกันมากนัก ในส่วนของรอยแตกที่เกิดขึ้นบริเวณขอบตัดนั้น จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ สามารถอ้างอิงได้ว่า ลักษณะของใบมีดตัดที่มีมุมแหลมมากๆ จะให้รอยแตกที่ใกล้ขอบตัดมากกว่า v). ผลของอิทธิพลความเร็วการตัด แทบจะไม่ได้มีผลต่อแรงต้านการตัดสูงสุด และลักษณะของขอบตัดในการตัดเฉือนกาบหมากสงเลย vi). การพัฒนาชุดแม่พิมพ์เพื่อแก้ไขปัญหาที่รอยแตกบนผิวบนของกาบหมากสงเกิดห่างจากขอบตัดมากเกินไป โดยทำการออกแบบ และผลิตชุดแม่พิมพ์ที่มีมุม 30 องศา ของแม่พิมพ์ตัวบนขึ้นมา ทำให้รอยแตกขยับเข้าใกล้ขอบตัดมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน

ในส่วนค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการตัดกาบหมากสงที่ให้ลักษณะขอบตัดที่ดี ขอบตัดเรียบ และรอยแตกบนผิวอยู่ใกล้กับขอบตัดมากที่สุด จะต้องใช้ความชื้นที่อยู่ในช่วง 10 – 43 เปอร์เซ็นต์ จะให้ขอบตัดที่เรียบ ซึ่งระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 80 ไมโครเมตร ในส่วนของอิทธิพลความเร็วในการตัดนั้นสามารถใช้ความเร็วที่สูงที่สุดได้ เพื่อลดเวลาในกระบวนการตัด นอกจากนี้ อิทธิพลของทิศทางการตัดจะได้ขอบตัดที่ดีที่สุดในทิศทางการตัดที่ 90 องศา และลักษณะมุมแหลมของแม่พิมพ์ตัวบนที่มีขนาดมุม 30 องศา ให้ลักษณะรอยแตกที่เกิดใกล้ขอบตัดมากที่สุด



รายการอ้างอิง

- [1] Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782.
- [2] Department Of Marine And Coastal Resources(2017): Marine Debris Database. Retrieved February, 8, 2019, from Department Of Marine And Coastal Resources Web Site: <http://tcc.dmcr.go.th/thaicoastalcleanup/>
- [3] M.Oliver .(2018). Iceland launches trial to reduce plastic packaging on fresh produce by over 90%. Retrieved February, 5, 2020, from:Futurism Web Site: <https://thestandard.co/>
- [4] Kriwichit A.(2018). Infographic: 7 plastics that will be discontinued. Retrieved February, 8, 2019, from: Futurism Web Site: <https://foodnavigator.com/> & <http://www.agro.mu.ac.th/departement/PKT/Packaging1>
- [5] Jolene C. (2014). Infographic: Here’s How Long Your Trash Will Be Around. Retrieved January, 28, 2019, from: Futurism Web Site: <https://futurism.com/plastic-decomposition>
- [6] Michael Krinninger, Florian Steinlehner , Daniel Opritescu , Roland Golle , Wolfram Volk(2017), On the influence of different parameters on the characteristic cutting surface when shear cutting aluminum, *Procedia CIRP* 63, 230 – 235
- [7] Pusit Mitsomwang, Shigeru Nagasawa(2015), Effects of shearing parameters on cutting characteristics of polycarbonate sheet subjected to straight punch/die shearing, *Journal of Materials Processing Technology* 220, 46–57
- [8] Z. Tekiner, M. Nalbant and H. Gürün (2006), An experimental study for the effect of different clearances on burr, smooth-sheared and blanking force on aluminium sheet metal, *Materials and Design* 27, 1134– 1138
- [9] Pusit MITSOMWANG* and Shigeru NAGASAWA*(2014), Cutting characteristics of white-coated paperboard subjected to straight punch/ die shearing under overlapped clearance, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing* Vol.8, No.3, 2014



ภาคผนวก

บทความวิชาการที่ได้รับการนำเสนอเผยแพร่ในต่างประเทศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทความวิชาการที่ได้รับการนำเสนอเผยแพร่ในต่างประเทศ

- (1) D. Panwised^{1, a}, C. Choonamchai^{1, b}, P. Mitsomwang^{1, c}, R. Borrisuttekul^{1, d}, Investigation of Mechanical Properties of Betel Palm Sheath and Its Punch/die Shear Cutting Characteristics 22rd International Conference On Advances in Materials & Processing Technologies(AMPT2019), Taipei, Taiwan, Oct., 20-24, 2019



Investigation of Mechanical Properties of Betel Palm Sheath and Its Punch/die Shear Cutting Characteristics

D. Panwised^{1, a}, C. Choonamchai^{1, b}, P. Mitsomwang^{1, c}, R. Borrisuttekul^{1, d}

¹Department of Metallurgical Engineering, Suranaree University of Technology 111 University Avenue, Muang District, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

^aDuriya.pan@outlook.com, ^bChayalop.art@gmail.com, ^cPusit@sut.ac.th, ^dRattana@g.sut.ac.th

Keywords: Natural packaging; Betel palm; Mechanical properties; Cutting; Punch/die shearing

Abstract. Due to the severe problems from plastic packaging wastes, policies on the reduction of plastic packaging usage are considered and implemented in many countries. The use of the packaging produced from environment-friendly materials, i.e. parts of plants seems to be an effective solution for reducing plastic packaging waste effects. In Thailand, the betel palm sheath, has been used to produce food packaging, successfully. However, the production is still limited to the household businesses. To promote the industrial-scale production, knowledge concerning the mechanical properties and the forming process of the betel palm sheath are highly required. This research work focuses on the investigation of the mechanical properties and the punch/die shear cutting of the palm sheath which is a necessary operation in the forming process. To investigate the mechanical properties, the palm sheath specimens were prepared and subjected to the uni-axial tension test. Testing results showed that the maximum load resistance and the elongation of the palm sheath remarkably varied with the loading direction. For the shear cutting investigation, the straight punch/die shearing tool was used to cut off the betel palm sheath samples. The cutting directions was varied, while the Betel palm sheath punch/die clearance was fixed to be 130 μm . After cutting the sheared edge was investigated by an optical microscope. This result revealed that the sheared edge of the palm sheath significantly different when varying the cutting direction. The clean sheared edge was obtained when the cutting direction was 45 and 90°, compared to the surface-fiber direction of the palm sheath. However, a lot of dust was observed at the sheared edge when the cutting direction was parallel to the surface-fibre direction.

I. Introduction

At present, people are aware of the impact from plastics waste. Founded mostly is plastic packaging waste, which is founded in offshore, beach, river, other water resource and garbage resource. This problem leads to a lot of impact on environment as seen present such as effect to marine ecosystem, water resource, pollution from combustion and etc[1]. All of this problem leads to begetting of the campaign and law about plastics cancellation in several country and cause to creation and development of new packaging from environmentally friendly materials with low decomposition period just 60 to 90 day, which cannot avoid using natural material to replace plastic materials, which plastics has a decomposition period about 50 to 450 years[2]. Natural material is used for replace plastic in present such as corn, bagasse, leaves, betel palm sheath, tapioca starch and etc. These renewable materials are produced to new environmentally friendly packaging, which are produced in several country. For production process of renewable packaging consist of 4 main part such as materials preparation, drawing, trimming and quality check[3]. In each of step for materials preparation have to use sheet natural from sheet material production process or directly from natural, prepared sheet are bring to forming process or drawing process for finishing shape, trimming

process for finishing product which this process is using shearing principle, because it has more advantages such as low cost, low manpower, less time to cutting and low pollution compared to cutting by heat and after that bring product to quality check process.

The shearing principle are used in many materials sheet and packaging industry, generally component of die set will consist of 4 part such as punch are attached with hydraulic, it can move down, die cannot move, counter punch or stripper for fixing specimen and materials sheet for shearing test[4].

This research will focus on mechanical and shearing effect in each condition of betel palm sheath, because it have suitable characteristics for production more than other type such as be directly natural sheet, high strength, can easily found in tropical countries and not use some glue or other chemical. Moreover, in trimming process of production process of betel palm sheath packaging, which has caused problems after cutting edge or trimming process. Sheared edge are generated burr and not smooth edge in parallel cutting direction with fiber orientation. Therefore, this study aims to study mechanical property of betel palm sheath in various cutting direction condition.



Fig.1 Betel palm and palm sheath.

II. Mechanical Conditions of Apparatus and Specimens

Betel palm sheath which had a thickness $t_s = 0.20 \pm 0.2$ mm. was chosen. Its basis weight was 680 g/m^2 . Physical and mechanical properties of the betel palm sheath were characterized by using an uniaxial tensile test by Universal Testing Machine(UTM) with feed velocity are used 2 mm/min , specimen size 12×90 mm. with tab 12×20 mm. base on ASTM-D828 and humidity in betel palm specimen be around 9%. Figure 2 shows tensile load resistance for betel palm sheath with various fiber directions (0° , 45° and 90°), which fiber

direction 0 degree compare with machine direction give highest tensile load resistance and lowest extension, when compare with fiber direction 45 and 90 degree.

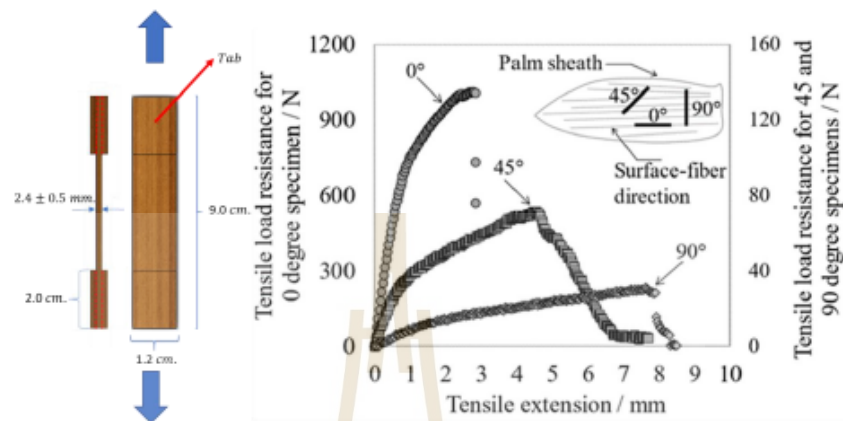


Fig.2 Mechanical property by tensile testing in 0°, 45° and 90° fiber direction compares with machine direction of betel palm sheath

For preparation of shear cutting betel palm sheath specimen which had a thickness $t_s = 0.20 \pm 0.2$ mm. and specimen size 20x50 mm. This testing process are varied cutting directions compare with fiber direction in each zone of sheath. Cutting direction are generated to 3 condition (0, 45 and 90 degree) compare with fiber direction in 3 zones of sheath. Figure 3 shows zoning of sheath, specimen size and cutting condition of betel palm sheath specimen. In cutting process, clearance is fixed at $130 \mu\text{m}$. and feed velocity are fixed also at 2mm/min

The conceptual schematic of cutting as shown in Figure. 4, which cutting tool consist of punch are attached with load cell can move to down and die cannot move, which specimen will lay on top of die. The cutting process consist of 3 main stage as before cutting are set up material on the die, the punch moves down to material cause to be deformed to start separation in during cutting stage and finally material will separate from each other.

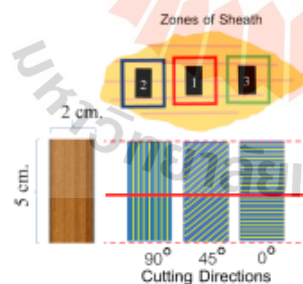


Fig.3 Zoning of sheath, size of specimen and cutting condition of specimens

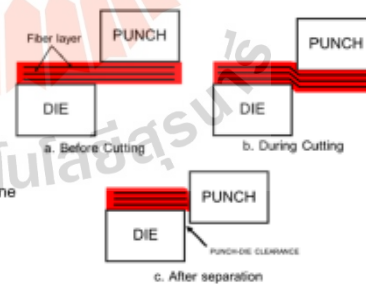


Fig.4 Conceptual schematic of cutting mechanism for shearing

III. Result and Discussion

Figure 5. shows the shear cutting result of betel palm sheath specimen (2.0x20x50 mm.) with various fiber direction in each zone of sheath, clearance are fixed at $130\ \mu\text{m}$ and feed velocity are fixed also at 2 mm/min. Result from cutting along different direction of specimen, which sheared edge 90-degree fiber direction give rather smooth all zone than other fiber direction, which are incomplete separated. Therefore, dust and rough edge are generated in 0 and 45 degree for all zones

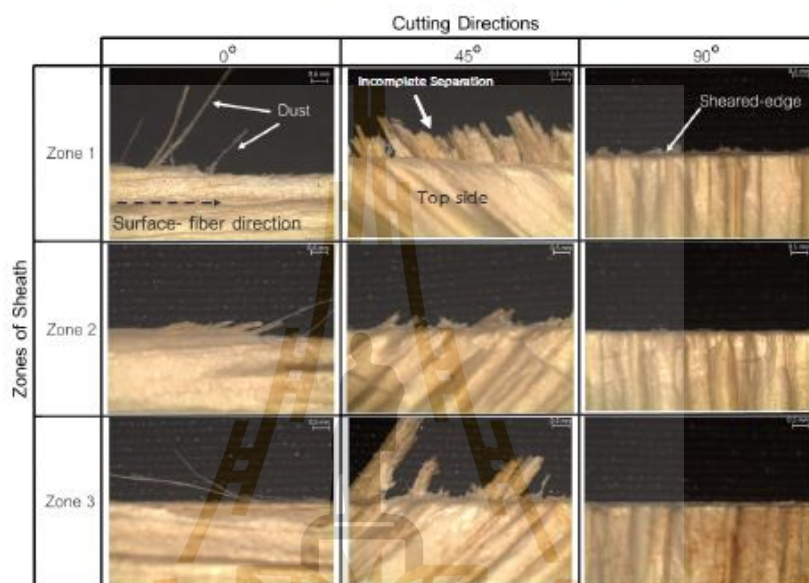


Fig.5 Sheared edge of palm sheath cut along different directions in each zone of sheath.

IV. Conclusion

Fiber direction condition have affected to shear cutting, which 90 degree of fiber direction give rather smooth, sheared edge 45 degree of fiber direction give sheared edge very rough and incomplete separation on bottom side and 0 degree of fiber direction give sheared edge with dust on the surface of sheared edge.

V. Acknowledgement

The author thanks Miss. Pirapa Natpukkana, Miss. Thanitha Ninrat, Mr. Sahapon Phirarach and Mr. Puwisit Teekhok-kruat in performing the experiment is gratefully acknowledged. The author would like to thank the Suranaree University of Technology for support machine and tool for this experiment.

VI. References

- [1] Information on <http://www.bioformthailand.com/TH/environment/>, accessed 11th April 2019.
- [2] Information on <https://futurism.com/plastic-decomposition>, accessed 11th April 2019.
- [3] Information on <http://www.gascognepapier.com/en/gascogne-papier-2/manufacturing-process/>, accessed 11th April 2019.
- [4] Pusit MITSOMWANG* and Shigeru NAGASAWA*, Cutting characteristics of white-coated paperboard subjected to straight punch/die shearing under overlapped clearance, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing Vol.8, No.3, 2014



ประวัติผู้เขียน

นายดุริยะเทพ พันธุ์วิเศษ เกิดเมื่อวันที่ 26 เดือน เมษายน ปีพุทธศักราช 2538 ได้สำเร็จการศึกษา ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น และตอนปลายที่โรงเรียนตะพานหิน อำเภอตะพานหิน จังหวัดพิจิตร จากนั้น ได้มาศึกษาต่อในระดับชั้นปริญญาตรี ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในสาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สังกัดสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ หลังจากจบการศึกษาปริญญาตรี ได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทในหลักสูตร วิศวกรรมวัสดุ สังกัดสำนักวิชาวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในปีพุทธศักราช 2560 โดยมีผลงานวิชาการที่เผยแพร่ดังนี้

- (1) D. Panwised^{1,a}, C. Choonamchai^{1,b}, P. Mitsomwang^{1,c}, R. Borrisuttekul^{1,d}, Investigation of Mechanical Properties of Betel Palm Sheath and Its Punch/die Shear Cutting Characteristics 22rd International Conference On Advances in Materials & Processing Technologies (AMPT2019), Taipei, Taiwan, Oct., 20-24, 2019

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี