

การลดรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์ที่เกิดจากเศษเลนส์



นายอุดมศักดิ์ เกตุอินทร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REDUCTION OF SCRATCHS ON LENS FROM LENS CHIPS

Mr. Udomsak Kate-in



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์ที่เกิดจากเศษเลนส์
โดย	นายอุดมศักดิ์ เกตุอินทร์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจันทร์ฉัย)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์สมชาย พวงเพิกคีย์)

อุดมศักดิ์ เกตุอินทร์ : การลดรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์ที่เกิดจากเศษเลนส์
(REDUCTION OF SCRATCHS ON LENS FROM LENS CHIPS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
หลัก: รศ. ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ, หน้า.

ในกระบวนการตัดขอบเลนส์ มีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของเลนส์และประสิทธิภาพการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปรับตั้งค่าของเงื่อนไขการเจียรขอบเลนส์ เป็นสาเหตุหลักของปัญหาที่พบบ่อยมากที่สุดก็คือ ปัญหารอยขีดข่วนบนผิวเลนส์จากเศษเลนส์ที่หลุดจากการตัดขอบ เศษเลนส์ที่มีความยาวมากกว่า 65 มิลลิเมตรมักจะก่อให้เกิดรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือเพื่อตรวจติดตามเงื่อนไขการเจียรขอบเลนส์และควบคุมความยาวของเศษเลนส์ เพื่อลดปัญหาการรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเงื่อนไขการเจียรขอบเลนส์ที่สำคัญ ได้แก่ อัตราการป้อน ความเร็วตัด และมุมคายเศษ จากผลการทดลองพบว่าเงื่อนไขการเจียรขอบเลนส์ที่เหมาะสม คือ อัตราการป้อน 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วตัด 4,780 รอบต่อนาที และมุมคายเศษ 10 องศา ซึ่งเงื่อนไขการเจียรขอบนี้สามารถควบคุมค่าความยาวของเศษเลนส์ให้มีค่าน้อยกว่า 65 มิลลิเมตร ช่วยลดปัญหาการรอยขีดข่วนบนเลนส์และส่งผลให้มีอัตราการผลิตที่สูงขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อนิติต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5471040521 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: MORNITORING / EDDING PROCESS / LENS SCRATCH / LENS CHIPS

UDOMSAK KATE-IN: REDUCTION OF SCRATCHS ON LENS FROM LENS CHIPS.

ADVISOR: ASSOC. PROF. DR.SOMKIAT TANGJITSITCHAROEN, pp.



Department: Industrial Engineering

Student's Signature

Field of Study: Industrial Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี โดยความช่วยเหลือจากรองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเสียสละเวลาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนข้อคิดต่างๆ ตลอดระยะเวลาของการจัดทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจันทร์ฉวีไชย รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกคีย์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ และผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	9
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	9
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	10
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	10
บทที่ 2	12
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยแนวคิดและทฤษฎี.....	12
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
บทที่ 3	27
วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	27
3.1 ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง.....	27
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	28
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง.....	31

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล	36
บทที่ 4	37
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	37
4.1 ผลการทดลอง.....	37
4.2 ทำการทดลองเงื่อนไขที่เหมาะสมในการตัดขอบเลนส์	52
บทที่ 5	55
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	55
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	55
5.2 อภิปรายผลการวิจัย.....	55
5.3 ข้อจำกัดและอุปสรรคในงานวิจัย.....	56
5.3 ข้อเสนอแนะ	56
.....	57
รายการอ้างอิง	57
ภาคผนวก ก	60
ตารางแสดงผลของเสียที่ตรวจพบที่เงื่อนไขของการตัดต่างๆ.....	60
ภาคผนวก ข	69
รูปพิเศษเลนส์ที่เงื่อนไขของการตัดต่างๆ.....	69
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	93

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 ความยาวเศษเลนส์จากการทดลองเบื้องต้น.....	8
ตารางที่ 2 แสดงระดับปัจจัยของการทดลอง	27
ตารางที่ 3 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ถูกกำหนดให้คงที่	32
ตารางที่ 4 แสดงลำดับการทดลองในระดับต่างๆของปัจจัยที่ศึกษา.....	32
ตารางที่ 5 ลักษณะของรอยขีดข่วนและของเสียหลังจากการตัดขอบเลนส์	35
ตารางที่ 6 แสดงรูปเศษเลนส์จากทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบทั่วไป	37
ตารางที่ 7 แสดงความยาวเฉลี่ยเศษเลนส์จากทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบทั่วไป	40
ตารางที่ 8 แสดงความยาวของเศษเลนส์ที่ความเร็วตัด 4,780 รอบต่อนาที	41
ตารางที่ 9 แสดงปัจจัยการทดลองมุกกายเศษในการทำ One way ANOVA.....	41
ตารางที่ 10 ผลการทดลองเปลี่ยนระดับมุกกายเศษ	42
ตารางที่ 11 แสดงปัจจัยการทดลองอัตราป้อนตัด ในการทำ One way ANOVA.....	44
ตารางที่ 12 ผลการทดลองเปลี่ยนระดับอัตราป้อนตัด	45
ตารางที่ 13 ปัจจัยที่ใช้ในการยืนยันผลการทดลอง	52
ตารางที่ 14 ผลยืนยันการทดลอง	53

สารบัญรูป

รูปที่ 1 แสดงกระบวนการผลิตเลนส์แว่นตาพลาสติกทนแรงกระแทกสูง.....	2
รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงชนิดของเสียหลักในการผลิตเลนส์แว่นตาพลาสติกทนแรงกระแทกสูง	3
รูปที่ 3 แผนภูมิแสดงชนิดของรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์แว่นตาพลาสติกทนแรงกระแทกสูง	4
รูปที่ 4 เศษเลนส์พันรอบตัวจับเลนส์และเลนส์ในขณะตัดขอบเลนส์	5
รูปที่ 5 ลักษณะรอยจากเศษเลนส์บนผิวเลนส์แว่นตาพลาสติกทนแรงกระแทกสูง	5
รูปที่ 6 เครื่องตัดขอบเลนส์แบบแนวตั้ง	6
รูปที่ 7 แกนตัวจับเลนส์.....	7
รูปที่ 8 เศษเลนส์ที่พันตัวจับเลนส์แล้วทำให้เกิดรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์	8
รูปที่ 9 บริเวณของโซน A และ โซน B บนผิวเลนส์.....	9
รูปที่ 10 หลักการพาเรโต (กิตติศักดิ์พลอยพานิชเจริญ, 2550).....	13
รูปที่ 11 พฤติกรรมแรงเค้นความเครียดของพอลิเมอร์ [3].....	15
รูปที่ 12 กราฟแรงเค้นความเครียดแสดงค่าความแข็งแรงดึงและจุดจำนวนของพอลิเมอร์ [3].....	16
รูปที่ 13 กราฟแรงเค้นความเครียดและขั้นตอนการเสียรูปของพอลิเมอร์กิ่งผลึก [3]	16
รูปที่ 14 การเกิดเศษที่ไม่ยาวต่อเนื่อง [4].....	17
รูปที่ 15 การเศษตัดที่ยาวต่อเนื่อง [4].....	18
รูปที่ 16 เศษตัดที่ยาวต่อเนื่องกับการก่อตัวของเศษที่คมตัด [4]	19
รูปที่ 17 รูปแบบระบบการทดลองทั่วไป [5].....	21
รูปที่ 18 มุมมองเชิงเรขาคณิต	22
รูปที่ 19 เครื่องตัดขอบเลนส์แว่นตาพลาสติกทนแรงกระแทกสูง	28
รูปที่ 20 ไบมีดพีซีบีเอ็นใช้ตัดขอบเลนส์แว่นตาพลาสติกทนแรงกระแทกสูง.....	29
รูปที่ 21 เลนส์แว่นตาพลาสติกทนแรงกระแทกสูง	29
รูปที่ 22 ตัวจับเลนส์ด้านล่าง	30

รูปที่ 23 ตัวจับเลนส์ด้านบน.....	30
รูปที่ 24 ไมโครมิเตอร์ (Micrometer) Mitutoyo	31
รูปที่ 25 ไม้บรรทัด	31
รูปที่ 26 เงื่อนไขการตัดเลนส์ ความเร็วตัด 3,590 4,185 และ 4,780 รอบต่อนาที อัตราป้อน ตัด 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที มุมคายเศษ 10 องศา และความลึกตัด 1.25 มิลลิเมตร.....	38
รูปที่ 27 เงื่อนไขการตัดเลนส์ อัตราป้อนตัด 1.0 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วตัด 3,590 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 0 องศา และความลึกตัด 1.25 มิลลิเมตร.....	39
รูปที่ 28 เงื่อนไขการตัดเลนส์ มุมคายเศษ 0 10 และ 20 องศา ความเร็วตัด 4,780 รอบต่อ นาที อัตราป้อนตัด 1.5 มิลลิเมตรต่อวินาที และความลึกตัด 1.25 มิลลิเมตร	39
รูปที่ 29 ขนาดตัวอย่างสำหรับการทำ One way ANOVA ของมุมคายเศษ.....	42
รูปที่ 30 ความสัมพันธ์ระดับมุมคายเศษและความยาวเศษเลนส์	43
รูปที่ 31 ผลการวิเคราะห์มุมคายเศษด้วย ANOVA.....	43
รูปที่ 32 ขนาดตัวอย่างสำหรับการทำ One way ANOVA ของอัตราป้อนตัด	44
รูปที่ 33 ความสัมพันธ์ระดับอัตราป้อนตัดและความยาวเศษเลนส์	46
รูปที่ 34 ผลการวิเคราะห์อัตราป้อนตัดด้วย ANOVA.....	46
รูปที่ 35 แสดงความเรียบผิวขอบเลนส์.....	47
รูปที่ 36 ความหนาของเศษเลนส์.....	48
รูปที่ 37 เงื่อนไขการตัดเลนส์ ความเร็วตัด 3,590 4,185 และ 4,780 รอบต่อนาที อัตราป้อน ตัด 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที มุมคายเศษ 10 องศา และความลึกตัด 1.25 มิลลิเมตร.....	49
รูปที่ 38 เงื่อนไขการตัดเลนส์ อัตราป้อนตัด 1.0 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วตัด 3,590 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 0 องศา และความลึกตัด 1.25 มิลลิเมตร.....	49
รูปที่ 39 เงื่อนไขการตัดเลนส์ มุมคายเศษ 0 10 และ 20 องศา ความเร็วตัด 4,780 รอบต่อ นาที อัตราป้อนตัด 1.5 มิลลิเมตรต่อวินาที และความลึกตัด 1.25 มิลลิเมตร	50
รูปที่ 40 แสดงการตรวจของเสียด้วยสายตาหลังการตัดขอบเลนส์.....	51

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในชีวิตประจำวันของคนเรานั้นจะใช้ประสาทสัมผัสทางตาในการมองเห็นสิ่งต่างๆ ซึ่งการมองเห็นในแต่ละคนนั้นจะมีค่าของสายตามาเกี่ยวข้อง บางคนมีค่าสายตาที่ยาวหรือบางคนมีค่าสายตาที่สั้นหรือบางคนมีค่าสายตาปกติ ค่าสายตาที่สั้นหรือยาวจะทำให้การมองเห็นภาพที่มีความชัดเจนแตกต่างกันออกไป เพื่อให้การมองเห็นของแต่ละคนที่มีค่าสายตาไม่ปกตินั้นมีความชัดเจนแบบปกติ ทางเลือกในการทำให้การมองเห็นภาพกลับมาชัดเจนอีกครั้งในปัจจุบันประกอบไปด้วยการสวมใส่แว่นตาที่เหมาะสม การสวมใส่คอนแทคเลนส์ การรักษาด้วยแสงเลเซอร์หรือเลสิก การเลือกวิธีการรักษาแต่ละแบบจะมีปัจจัยหลายๆด้านมาเกี่ยวข้องกันในการตัดสินใจ เช่น ค่าใช้จ่ายในการรักษา ความสะดวกสบายในการใช้งาน ปัจจัยเสี่ยงต่อดวงตาในการใช้งาน เป็นต้น ในปัจจุบันการสวมใส่แว่นตาเพื่อให้การมองเห็นภาพที่ชัดเจนนั้นเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการรักษาอีกทั้งยังมีการผลิตกรอบและเลนส์ออกมาเพื่อสวมเป็นแฟชั่นหรือเพื่อเป็นแว่นสายตาและยังสามารถสวมใส่เป็นแบบแฟชั่นได้อีกด้วย สำหรับแว่นตาที่เราเห็นกันในปัจจุบันจะประกอบไปด้วยสองส่วนประกอบหลักคือ เลนส์แว่นตา และกรอบแว่นตา โดยตัวเลนส์นั้นจะถูกผลิตมาจากพลาสติก กระຈก และโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) ซึ่งในร้านตรวจ วัดสายตา และประกอบแว่นจะทำการสั่งเลนส์มาจากบริษัทที่ทำการผลิตเลนส์สายตาทั้งในแบบการสั่งซื้อมาเก็บเพื่อตัดประกอบสำหรับเลนส์ที่มีค่าสายตาทั่วไป และการสั่งผลิตสำหรับเลนส์ที่มีค่าสายตาเฉพาะ

วัสดุที่ใช้ทำเลนส์แว่นตาพลาสติกนั้นจะทำให้ได้เลนส์แว่นตาที่มีคุณสมบัติต่างกันอย่างคือ

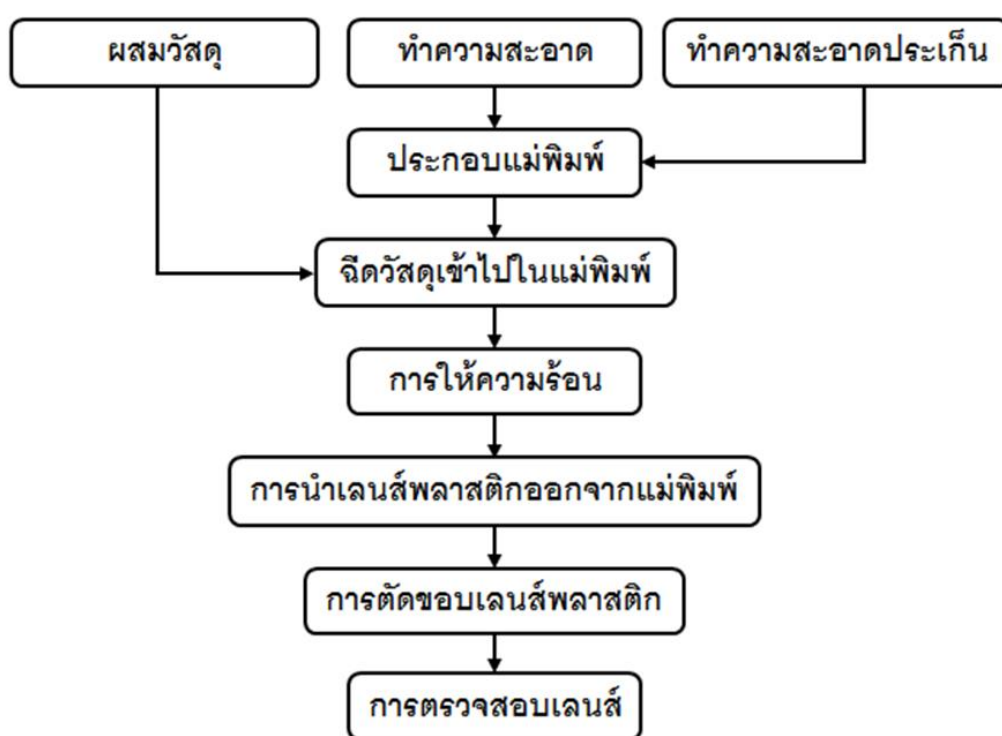
1. เลนส์แว่นตาพลาสติกธรรมดา คือ เลนส์พลาสติกที่มีค่าดัชนีหักเหแสงหรืออินเด็กซ์ (Index) ต่ำ ใช้และมีราคาถูกที่สุด
2. เลนส์แว่นตาพลาสติกบางพิเศษ คือ เลนส์พลาสติกที่มีค่าดัชนีหักเหแสงหรืออินเด็กซ์ (Index) สูง ทำให้เลนส์มีความบางกว่าเลนส์แว่นตาพลาสติกธรรมดาเมื่อเทียบกำลังขยายเท่ากันแต่มีราคาสูงกว่า
3. เลนส์แว่นตาพลาสติกทนแรงกระแทกสูง คือ เลนส์พลาสติกที่สามารถทนแรงกระแทกสูงกว่ามาตรฐานเลนส์พลาสติกโดยทั่วไปมีคุณสมบัติเด่น 3 ประการ ความชัดใส ปลอดภัย และมีน้ำหนักเบา เป็นเลนส์ที่ได้รับการแนะนำให้ใช้ในเด็กและผู้ที่ต้องการความแข็งแรงของเลนส์และน้ำหนักเบา

เป็นพิเศษ แต่ผิวของเลนส์นั้นมีผิวที่อ่อนกว่าเลนส์ที่ทำจากวัสดุชนิดอื่นๆ ทำให้เกิดรอยขีดข่วนได้ง่ายกว่าเลนส์ชนิดอื่นๆ

4. เลนส์แว่นตาพลาสติกเปลี่ยนสี คือ เลนส์ที่สามารถปรับความเข้มสีของเลนส์ได้ตามความเข้มของแสง การเปลี่ยนสีความเข้มของเลนส์ขึ้นอยู่กับแสง UV

5. เลนส์โพลาไรซ์คือเลนส์ที่สามารถตัดแสงสะท้อนของดวงอาทิตย์ในแนวระนาบที่อาจเกิดความพร่ามัว

โดยในกระบวนการผลิตเลนส์แว่นตาพลาสติกทนแรงกระแทกสูงนั้นมีขั้นตอนในการผลิตหลักดังนี้



รูปที่ 1 แสดงกระบวนการผลิตเลนส์แว่นตาพลาสติกทนแรงกระแทกสูง

1. ผสมวัสดุ เป็นกระบวนการนำวัสดุที่จะใช้ทำเลนส์ซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมต่างๆ มาทำการผสมและคนให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องผสมวัสดุ

2. ทำความสะอาดประเก็น เป็นกระบวนการทำความสะอาดประเก็นด้วยเครื่องจักรเพื่อขจัดสิ่งแปลกปลอมที่ติดอยู่ให้ออกไป

3. ทำความสะอาดแม่พิมพ์เป็นกระบวนการนำแม่พิมพ์มาผ่านการล้างทำความสะอาดด้วยเครื่องจักรเพื่อขจัดสิ่งแปลกปลอมที่ติดอยู่ให้ออกไป

4. ประกอบแม่พิมพ์เป็นกระบวนการนำแม่พิมพ์สองชิ้น มาประกอบรวมกันโดยใช้ประเก็นทำการยึดแม่พิมพ์ทั้งสองชิ้นให้สนิท

5. ฉีดวัสดุเข้าไปในแม่พิมพ์เป็นกระบวนการฉีดวัสดุที่ผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันแล้วผ่านเข้าไปในช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ที่ถูกประกอบแล้ว

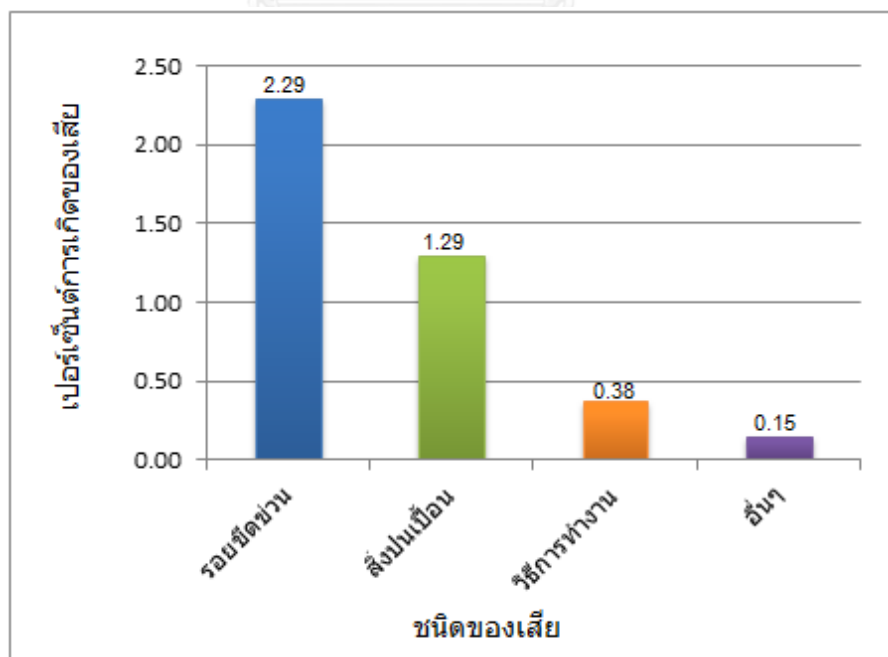
6. การให้ความร้อน เป็นกระบวนการนำแม่พิมพ์ที่ถูกฉีดวัสดุเข้าไปแล้วมาเข้าเครื่องให้ความร้อนเพื่อให้วัสดุที่เป็นของเหลวเกิดการแข็งตัว

7. การนำเลนส์พลาสติกออกจากแม่พิมพ์เป็นกระบวนการนำเลนส์ที่เกิดจากการแข็งตัวของวัสดุซึ่งอยู่ระหว่างแม่พิมพ์ทั้งสองชิ้นออกมาและตรวจสอบรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์

8. การตัดขอบเลนส์พลาสติก เป็นกระบวนการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเลนส์ด้วยเครื่องลดขนาดของเลนส์ให้มีขนาดตามมาตรฐานที่กำหนด

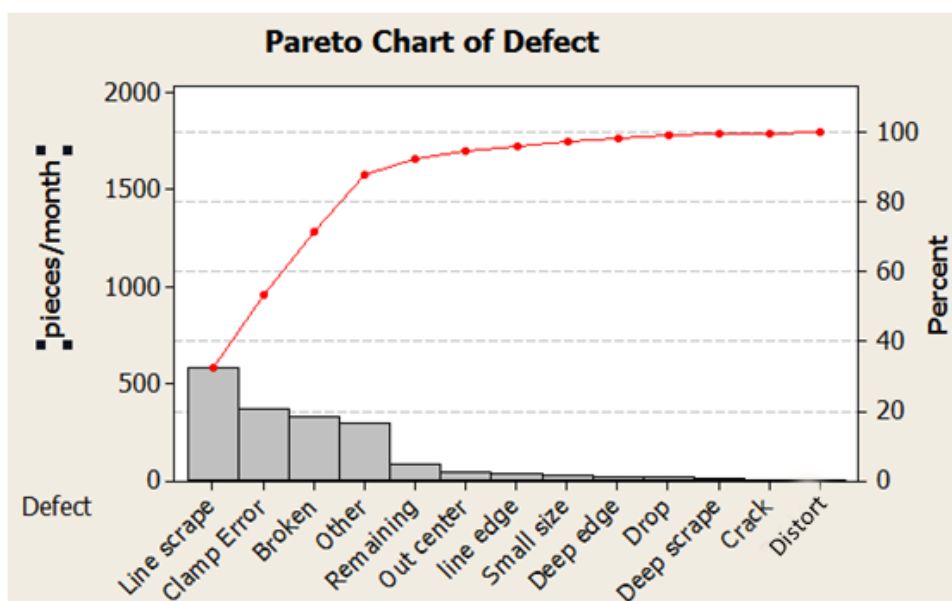
9. การตรวจสอบเลนส์พลาสติกเป็นกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของเลนส์ด้วยสายตา เช่น การตรวจสอบรอยขีดข่วน สิ่งแปลกปลอมในเนื้อเลนส์ และการตรวจสอบคุณภาพเลนส์ด้วยเครื่องมือ เช่น ค่ากำลัง ค่าความหนาของจุดกึ่งกลางเลนส์ เป็นต้น

จากสัดส่วนของเสียในรอบ 1 ปี ของโรงงานแห่งหนึ่งในการผลิตเลนส์แว่นตาพลาสติกทนแรงกระแทกสูง พบว่าของเสียหลักที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์คือ การเกิดรอยขีดข่วนบนผิวของเลนส์แว่นตา (Scratch) ประมาณ 2.29 เปอร์เซ็นต์ต่อเดือน



รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงชนิดของเสียหลักในการผลิตเลนส์แว่นตาพลาสติกทนแรงกระแทกสูง

เมื่อวิเคราะห์จากกระบวนการหลัก เลนส์ที่จะเกิดรอยขีดข่วนหลังจากการนำไปให้ความร้อน แล้วนั้นจะมีขั้นตอนที่จะทำให้เกิดรอยขีดข่วนได้คือ ขั้นตอนการนำเลนส์พลาสติกออกจากแม่พิมพ์ ขั้นตอนการตัดขอบเลนส์พลาสติก และขั้นตอนการตรวจสอบเลนส์พลาสติก จึงได้ตรวจสอบลักษณะ รอยขีดข่วนที่เกิดขึ้นซึ่งสามารถแบ่งย่อยลักษณะและที่มาของการเกิดรอยขีดข่วนได้ทั้งหมด 13 ลักษณะ



รูปที่ 3 แผนภูมิแสดงชนิดของรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์แว่นตาพลาสติกทนแรงกระแทกสูง

จากการสุ่มตรวจเลนส์แว่นตาพลาสติกทนแรงกระแทกสูงที่เกิดรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์เป็นเวลา 4 เดือน พบว่าเลนส์ที่มีลักษณะเป็นรอยจากเศษเลนส์ (Line scrape) พันรอบๆตัวจับเลนส์ (Holder) ในรูปที่ 4 ทำให้เกิดรอยขีดข่วนรอบๆผิวเลนส์ พบในสัดส่วนที่สูงที่สุด 32.45% ของของเสียชนิดรอยขีดข่วนหรือประมาณ 583 ชิ้นต่อเดือน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาเฉพาะรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์จากเศษเลนส์เท่านั้นเพื่อความชัดเจนในแนวทางและความถูกต้องในส่วน of ผลการศึกษา



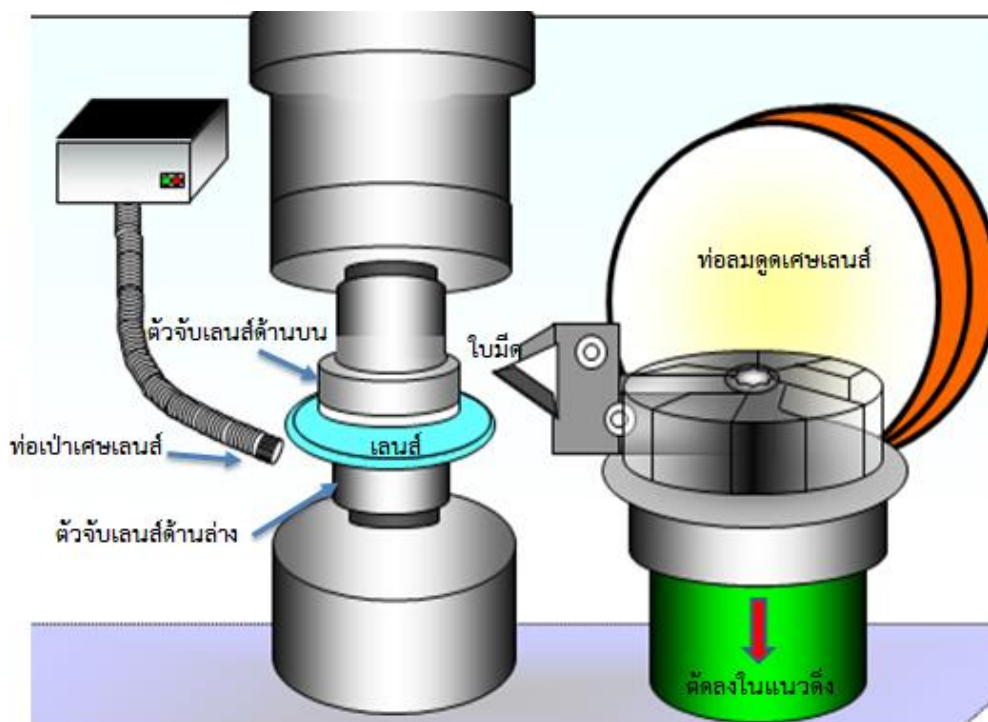
รูปที่ 4 เศษเลนส์พันรอบตัวจับเลนส์และเลนส์ในขณะที่ตัดขอบเลนส์



รูปที่ 5 ลักษณะรอยจากเศษเลนส์บนผิวเลนส์แว่นตาพลาสติกทนแรงกระแทกสูง

การกระบวนการตัดขอบเลนส์นั้นใช้เครื่องตัดขอบเลนส์แบบแนวตั้งซึ่งเป็นการนำเครื่องตัดขอบเลนส์ที่ใช้กับการเจียรขอบเลนส์อีกชนิดหนึ่งที่เป็นวัสดุที่ใช้ทำเลนส์ต่างกัน เมื่อเริ่มมีการนำมาใช้ในการตัดเลนส์แว่นตาพลาสติกทนแรงกระแทกสูงจึงยังไม่ได้มีการกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ซึ่งตัวแปรของเครื่องเจียรขอบเลนส์ที่สามารถปรับค่าได้ ประกอบไปด้วย

1. ความเร็วในการตัด ที่ระดับ 2,392 2,990 3,590 4,185 และ 4,780 mm/s
2. อัตราป้อน ที่ระดับ 1.0 1.5 และ 2.0 rpm
3. มุมคายเศษ ที่ระดับ 0 10 และ 20 องศา



รูปที่ 6 เครื่องตัดขอบเลนส์แบบแนวตั้ง

โดยพนักงานจะทำการปรับตั้งค่าปัจจัยเหล่านี้เองทำให้เศษเลนส์ที่ออกมาในขณะการตัดขอบเลนส์นั้นไปพันกับตัวจับเลนส์และแกนตัวจับเลนส์

จากการวัดแกนตัวจับเลนส์พบว่า มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.81 นิ้ว หรือ 20.5 มิลลิเมตร ดังนั้นความยาวรอบแกนประมาณ 65 มิลลิเมตร



รูปที่ 7 แกนตัวจับเลนส์

หาจำนวนตัวอย่างเพื่อหาความยาวของเศษเลนส์ที่สั้นที่สุดที่พันรอบแกนตัวจับเลนส์ซึ่งส่งผลให้เกิดรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์

$$n = \frac{z_{\alpha/2}^2 \sigma^2}{e^2}$$

(1.1)

n = ขนาดตัวอย่าง

σ = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร

$z_{\alpha/2}$ = ค่ามาตรฐานใต้โค้งปกติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($z_{\alpha/2}$ หรือ $z_{0.025} = 1.960$)

e = ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับให้เกิดได้

จากการวัดความยาวเศษเลนส์โดยกำหนดค่าความเร็วตัดที่ 4,780 รอบต่อนาที อัตราป้อนตัดที่ 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที และมุมคายเศษที่ 10° ได้ผลดังตารางที่ 1.1

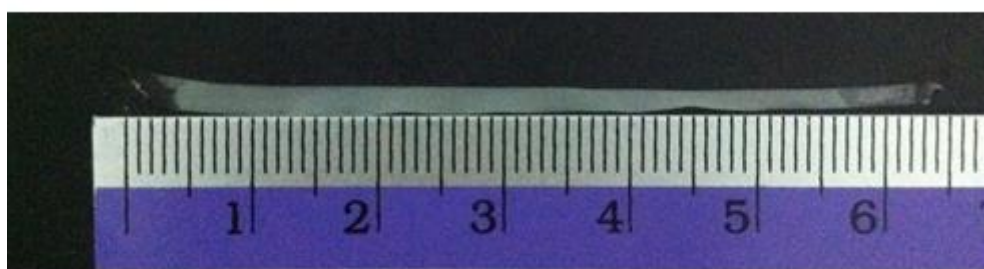
ตารางที่ 1 ความยาวเศษเลนส์จากการทดลองเบื้องต้น

ครั้งที่	ความยาวเศษเลนส์
1	49
2	50
3	50
4	49
5	51

ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 0.83 กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้คือ 0.1 แทนค่าในสมการที่ 1

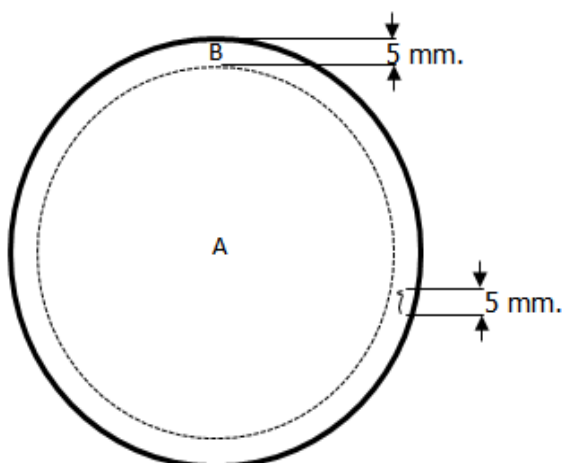
$$n = 265 \text{ ตัวอย่าง}$$

ในงานวิจัยนี้ได้รับจำนวนตัวอย่างทั้งหมดเป็น 265 ตัวอย่าง จากการวัดความยาวของเศษเลนส์ที่สั้นที่สุดที่ทำให้เกิดรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์พบว่ามีความยาวประมาณ 65 มิลลิเมตรตามรูปที่ 1.8



รูปที่ 8 เศษเลนส์ที่พันตัวจับเลนส์แล้วทำให้เกิดรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์

เกณฑ์ที่ใช้ในการยอมรับรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์นั้นจะต้องเป็นรอยที่บางมากๆ เมื่อทดสอบโดยใช้กระดาษชุ่มอะซิโตนเช็ดจะต้องไม่เห็นรอย โดยขนาดของความยาวต้องไม่เกิน 5 มิลลิเมตร โดยยอมให้มีได้ในโซน B เท่านั้นถ้าพบรอยขีดข่วนในโซน A ไม่ว่าจะกรณีใดๆ จะไม่ยอมรับเลนส์ชิ้นนั้น



รูปที่ 9 บริเวณของโซน A และ โซน B บนผิวเลนส์

สำหรับโซน B นั้น จะเป็นบริเวณซึ่งวัดจากขอบด้านนอกสุดของเลนส์เข้ามาด้านในเลนส์เป็นระยะ 5 มิลลิเมตร และบริเวณโซน A นั้น จะเป็นบริเวณพื้นที่ด้านในถัดจากโซน B ของเลนส์เข้ามาทั้งหมด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาเงื่อนไขการตัดและควบคุมความยาวของเศษเลนส์ที่ไม่ส่งผลต่อการเกิดรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์
- 2) เพื่อหาเงื่อนไขการตัดที่ให้อัตราการผลิตสูงโดยไม่เกิดรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์จากเศษเลนส์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเฉพาะปัญหาการเกิดจากรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์จากเศษเลนส์เท่านั้น
2. ทำการศึกษาปรับปรุงปัจจัยที่ได้กำหนดสำหรับการทดลอง ได้แก่
 - 2.1 อัตราการป้อน (Feed rate)
 - 2.2 ความเร็วตัด (Cutting Speed)
 - 2.3 มุมคายเศษ (Rake angle)
3. กำหนดพารามิเตอร์ควบคุมของกระบวนการ โดยทำการกำหนดค่าไว้ให้คงที่ ได้แก่
 - 3.1 ความลึกในการตัด (Depth of cut) จะถูกคงที่ไว้ เนื่องจากเป็นการตัดขอบเลนส์

จากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 77.50 มิลลิเมตร ให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75.00 มิลลิเมตร

- 3.2 มุมเอียง (Inclination angle) จะถูกกำหนดคงที่ไว้ที่ -45° ซึ่งขนาดของมุมตัดนี้ไม่สามารถปรับได้เนื่องจากการออกแบบของเครื่องจักรได้กำหนดมุมตัดไว้คงที่
- 3.3 ความแรงของท่อเป่าเศษเลนส์ (Blower) ส่งผลต่อทิศทางของเศษเลนส์ที่ถูกตัดออกมา ซึ่งทิศทางการเป่าลมและระดับความแรงอาจมีผลทำให้เศษเลนส์มาพัน Holder ใบมีดหรือเลนส์ได้ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์
- 3.4 ความแรงของท่อดูดเศษเลนส์ (Vacuum hole) ถ้าความแรงของท่อดูดเศษเลนส์ที่น้อยเกินไปอาจทำให้เศษเลนส์ที่เกิดจากการตัดไม่ถูกดูดออกมาจากบริเวณ Holder ใบมีดหรือเลนส์ได้ และแรงของท่อดูดเศษเลนส์ที่มากเกินไปอาจทำให้เศษเลนส์ติดกับ Holder ใบมีดหรือเลนส์ได้เช่นกัน
4. ควบคุมเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
 - 4.1 ใช้เครื่องตัดขอบเลนส์ โมเดล A เครื่องที่ 14 เพียงเครื่องเดียวในการวิจัย
 - 4.2 ใบมีดชนิด พีซีบีเอ็น (PCBN, Polycrystalline Cubic Boron Nitride as above, but coated)
 - 4.3 ใบมีดมีสภาพดี มีการใช้งานตัดเลนส์มาแล้วอยู่ระหว่าง 500 ถึง 1,000 ชิ้น
6. ใช้ไม้บรรทัดในการวัดความยาวเศษเลนส์
5. ควบคุมวัตถุดิบในการทำลองเป็นวัตถุดิบชนิดเดียวกันทั้งหมด มีค่าดัชนีหักเหแสง (index) เดียวกัน
6. ควบคุมสภาพแวดล้อมในการทดลองอุณหภูมิในห้องทดลอง 21 – 26 องศาเซลเซียส

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ช่วยปรับปรุงขั้นตอนการตัดขอบเลนส์ที่เกิดจากรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์จากเศษเลนส์
2. ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
3. ผลจากการศึกษาสามารถใช้เป็นแนวทางในการแก้แบบการปรับปรุงขั้นตอนการตัดขอบเลนส์หรือกระบวนการผลิตอื่นๆ

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วยการทำงานต่างๆ ดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

2. ศึกษากระบวนการตัดขอบเลนส์และปัญหาของการเกิดรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์จาก
เศษเลนส์
3. ออกแบบการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบทั่วไป
4. ทำการทดลองตามแผนการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบทั่วไป
5. วิเคราะห์ผลการเพื่อหาเงื่อนไขการตัดที่ให้อัตราการผลิตสูงโดยไม่เกิดรอยขีดข่วน
บนผิวเลนส์จากเศษเลนส์
6. ทำการทดลองปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อยืนยันผลที่ได้จากการทดลอง
7. สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการค้นหาปัจจัยที่ส่งผลต่อรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดเลนส์แว่นตา จำเป็นต้องอาศัยการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆเข้ามาช่วยในการแก้ไขปัญหาเพื่อนำไปสู่การบรรลุถึงวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยแนวคิดและทฤษฎี

1. คุณสมบัติของเลนส์พลาสติกกันกระแทกสูง

เลนส์กันกระแทกสูง เป็นโพลิเมอร์ประเภทเทอร์โมเซทที่มีโครงสร้างเป็นร่างแหยาว เมื่อได้รับความร้อนจะเสื่อมสภาพ ไม่สามารถหลอมใหม่ได้ การหดตัวหลังจากการขึ้นรูปน้อยกว่าเทอร์โมพลาสติกและทนความร้อนและสารเคมีได้สูงกว่าเทอร์โมพลาสติก เลนส์พลาสติกกันกระแทกสูงจะมีค่า Abbe Number ที่ 43 ซึ่งมากกว่าเลนส์ทั่วไป เช่น เลนส์โพลีคาร์บอเนต มีค่า Abbe Number ที่ 31 โดยค่า Abbe Number จะมีค่าระหว่าง 20 จนถึง 60 ค่า Abbe Number ที่สูงจะใช้เป็นเลนส์สายตาได้ดีกว่าเลนส์ที่มีค่า Abbe Number ต่ำ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการมองเห็น อีกทั้งยังมีน้ำหนักเบากว่าเลนส์โพลีคาร์บอเนต 10 เปอร์เซ็นต์ โดยมีความถ่วงจำเพาะ 1.11 ส่วนประกอบหลักเป็นยูรีเทน เนื่องจากเป็นเลนส์ที่สามารถทนแรงกระแทกได้สูงและมีน้ำหนักเบาจึงนิยมใช้เป็นเลนส์สายตาสำหรับเด็ก

2. แผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram) [1]

เป็นเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของข้อมูลที่มีการจำแนกประเภททั่วโลก การวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพ (เพื่อการคาดการณ์) แบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ

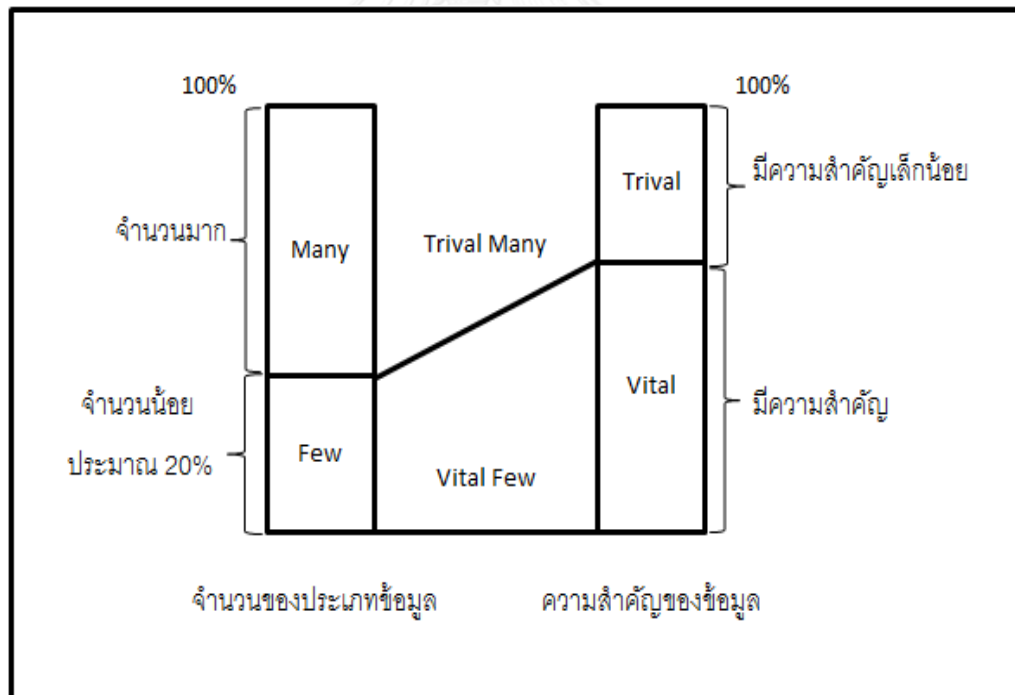
กรณีข้อมูลมีเสถียรภาพในระยะเวลาหนึ่งจะสามารถคาดการณ์ได้ว่าข้อมูลประเภทใดควรมีค่ามากที่สุดซึ่งหากมีการเก็บข้อมูลนานๆจะเกิดการสะสมและทำให้ค่าสะสมของข้อมูลแต่ละประเภทมีความแตกต่างกันค่อนข้างชัดเจน

กรณีข้อมูลไม่มีเสถียรภาพที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ในแต่ละช่วงเวลาจะไม่สามารถกำหนดได้ว่าข้อมูลแบบใดจะมีความถี่มากที่สุดซึ่งเป็นลักษณะของความไร้เสถียรภาพโดยลักษณะดังกล่าวจะพบว่าข้อมูลจะมีการสะสมและค่าสะสมจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันคือแตกต่างกันอย่างไม่เด่นชัด

ประโยชน์ของแผนผังพาเรโต

1. สามารถบ่งชี้ให้เห็นว่าหัวข้อใดเป็นปัญหามากที่สุด
2. สามารถเข้าใจว่าแต่ละหัวข้อมียัตราส่วนเป็นเท่าใดในส่วนทั้งหมด
3. ใช้กราฟแท่งบ่งชี้ขนาดของปัญหาทำให้โน้มน้าวจิตใจได้ดี
4. ไม่ต้องใช้การคำนวณที่ยุ่งยากก็สามารถจัดทำได้และใช้ในการเปรียบเทียบผลได้
5. ใช้สำหรับการตั้งเป้าหมายทั้งตัวเลขและปัญหา

ถ้าหากข้อมูลอยู่ในสถานะเสถียรภาพข้อมูลที่มีความสำคัญจะมีจำนวนเพียงเล็กน้อย (Vital Few) ในขณะที่ข้อมูลที่เหลืออีกจำนวนมากจะมีความสำคัญเพียงเล็กน้อย (Trivial Many) ตัวแบบของความมีเสถียรภาพของข้อมูลนั้นจะมีลักษณะข้อมูลที่มีความสำคัญมาก (ประมาณ 80% ของตัววัดความสำคัญทั้งหมด) มาจากประเภทข้อมูลจำนวนเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 20% ของประเภทของข้อมูลทั้งหมด) เรียกกฎหลักการพาเรโตนี้ว่ากฎ 80-20 อธิบายได้ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 หลักการพาเรโต (กิตติศักดิ์พลอยพานิชเจริญ, 2550) [2]

การตีความหมายแผนภาพพาเรโต

แผนภาพพาเรโตใช้ในการตีความหมายความมีเสถียรภาพหรือไม่ของข้อมูลที่

พิจารณาโดยมีข้อกำหนดคือถ้าตัวแบบของข้อมูลเป็นไปตามหลักการพาเรโตแสดงว่าข้อมูลนั้นอยู่ในสถานะเสถียรภาพและสามารถใช้คาดการณ์ได้แต่ถ้าตัวแบบของข้อมูลไม่ได้เป็นไปตามหลักการของพาเรโตแสดงว่าข้อมูลไร้เสถียรภาพอันเนื่องจากข้อมูลที่เก็บมาอยู่ในสถานะการปรับตัว (Transient State) จึงควรมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมหรืออีกกรณีหนึ่งคือข้อมูลนั้นมาจากกระบวนการที่ไร้เสถียรภาพมีความจำเป็นต้องแก้ไขด้วยการทำให้กระบวนการมีมาตรฐาน

3. กระบวนการกลึง(Turning) [3]

การกลึงเป็นกระบวนการสร้างผิวหน้าใหม่ด้วยการกำจัดเนื้อวัสดุที่ไม่ต้องการออกจากพื้นผิวของชิ้นงานทรงกระบอก (Cylindrical Shape) ที่กำลังหมุนอยู่โดยใช้เครื่องมือตัดที่มีคมตัดเดียว (Single Cutting Edge) เคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงาน การกลึงมีสองลักษณะใหญ่ๆ คือ การกลึงปาดหน้า เป็นการตัดวัสดุโดยให้คมตัดชิ้นงานไปตามแนวขวาง (Across the Work) และการกลึงปอก เป็นการตัดวัสดุโดยให้คมตัดเคลื่อนที่ตัดชิ้นงานไปตามแนวขนานกับแนวแกนของชิ้นงาน

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดกระบวนการของการกลึงปอกคืออัตราป้อนตัด (Feed Rate) ความเร็วตัด (Cutting Speed) ความลึกตัด (Depth of Cut) มีดกลึง (Cutting Tool) และชิ้นงานที่ต้องการทำการตัดเฉือน (Work piece)

ความเร็วตัด (Cutting Speed) คือความเร็วชิ้นผิวที่ต้องการกำจัดออกจากชิ้นงานเคลื่อนที่ผ่านขอบคมตัดของใบมีดกลึง (Cutting Edge) มีหน่วยเป็น เมตรต่อนาที (m/min) หรือฟุตต่อนาที (ft/min)

อัตราการป้อน (Feed Rate) คือ อัตราเร็วของการเดินมีดไปในทิศทางตามแกนการหมุนของชิ้นงาน กล่าวคือระยะทางที่ใบมีดกลึงเคลื่อนที่ไปได้ต่อการหมุนของชิ้นงานหนึ่งรอบ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรต่อรอบ (mm/r) หรือนิ้วต่อรอบ (in/r)

ความลึกตัด (Depth of Cut) คือ ระยะกินลึก คือ ความหนาของชั้นผิวชิ้นงานที่ต้องการจะกำจัดออก วัดในแนวรัศมีและตั้งฉากกับแกนการหมุนของชิ้นงาน โดยทั่วไปมีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm) หรือนิ้ว (in)

ผลที่จะเกิดขึ้นตามมาก็คือ ขนาดของชิ้นงาน (Work piece Dimension) ความละเอียดของผิวชิ้นงาน (Surface Roughness) เศษกลึง (Chip) การสึกหรอของมีดกลึง (Tool Wear)

4. สมบัติทางกลของพอลิเมอร์ [4]

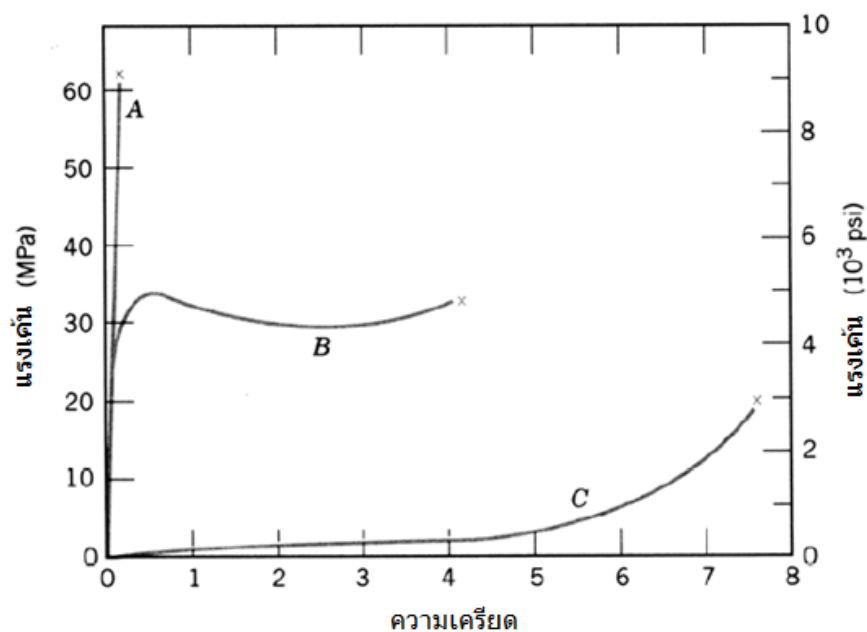
สมบัติทางกลของพอลิเมอร์จะมีพารามิเตอร์หลายอย่างเหมือนกับโลหะได้แก่โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ความแข็งแรงดึงความแข็งแรงอัดและความแข็งแรงการล้าโดยค่าพารามิเตอร์ทางกลต่างๆเหล่านี้จะหาค่าด้วยการทดสอบแรงเค้นความเครียดคุณลักษณะทางกล

ของพอลิเมอร์ส่วนใหญ่จะว่องไวมากต่ออัตราการเสียรูป (อัตราความเครียด) อุณหภูมิและธรรมชาติทางเคมีของสิ่งแวดล้อมเช่นในสถานะที่มีน้ำออกซิเจนตัวทำละลายอินทรีย์

พฤติกรรมแรงเค้นความเครียด (Stress-strain Behavior)

สำหรับวัสดุพอลิเมอร์พบพฤติกรรมแรงเค้นความเครียดสามแบบที่แตกต่างกันดังแสดงในรูป

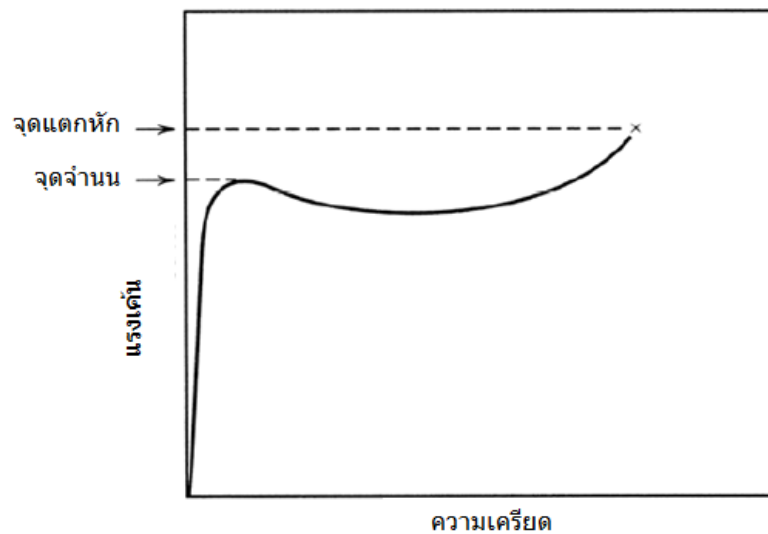
ที่ 11



รูปที่ 11 พฤติกรรมแรงเค้นความเครียดของพอลิเมอร์ [4]

กราฟ A พฤติกรรมแบบเปราะ B พฤติกรรมแบบพลาสติกและ C พฤติกรรมแบบอีลาสติกทั้งหมด (อีลาสโตเมอร์) กราฟ A เป็นลักษณะแรงเค้นความเครียดของพอลิเมอร์ชนิดที่แข็งเปราะโดยจะเกิดการแตกหักในช่วงที่เกิดการเสียรูปแบบยืดหยุ่นกราฟ B เป็นพฤติกรรมของวัสดุพลาสติกซึ่งเป็นแบบเดียวกันกับที่พบในวัสดุกลุ่มโลหะกล่าวคือช่วงแรกจะเกิดการเสียรูปแบบยืดหยุ่นตามด้วยการเกิดการจำนและบริเวณที่มีการเสียรูปแบบถาวรก่อนที่จะเกิดการแตกหักสุดท้ายการเสียรูปแบบกราฟ C เป็นการเสียรูปแบบยืดหยุ่นทั้งหมดจนกระทั่งเกิดการแตกหักซึ่งเป็นลักษณะการเสียรูปของยางคือวัสดุที่สามารถที่ยืดออกแบบคืนรูปได้อย่างมากภายใต้แรงเค้นต่ำซึ่งจะพบในพอลิเมอร์กลุ่มอีลาสโตเมอร์ (Elastomers)

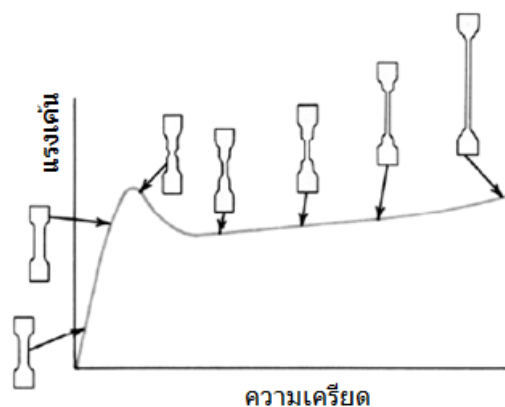
โมดูลัสความยืดหยุ่นในเทอมของโมดูลัสการดึงซึ่งบางครั้งเรียกว่าโมดูลัสพอลิเมอร์และความเหนียว (Ductility) ในเทอมของร้อยละการยืดจะวัดค่าในแบบเดียวกับโลหะสำหรับพอลิเมอร์กลุ่มพลาสติก (กราฟ B ในรูปที่ 11) จุดจำนเป็นจุดสูงสุดของกราฟซึ่งเกิดขึ้น



รูปที่ 12 กราฟแรงเค้นความเครียดแสดงค่าความแข็งแรงดึงและจุดจำนนของพอลิเมอร์ [4]

การเสียรูประดับมหภาค (Macroscopic Deformation)

การเสียรูประดับมหภาคของพอลิเมอร์ที่ผลึกอธิบายได้ด้วยกราฟแรงเค้นความเครียดในการทดสอบแรงดึงการเสียรูปช่วงแรกเป็นการจัดเรียงทิศทางของโครงสร้างออสัญฐานและเป็นการเสียรูปแบบออสัญฐานจนถึงจุดจำนนบนโดยการเสียรูประดับมหภาคจะเกิดขึ้นน้อยรูปที่ 12 พลาสติกยืดออกเล็กน้อยและเมื่อแรงเค้นเพิ่มถึงจุดจำนนบนและกลางการเสียรูปช่วงนี้เป็นการจัดเรียงทิศทางของสายโซ่ในส่วนของผลึกซึ่งเป็นการเสียรูปแบบพลาสติกและสังเกตเห็นได้ชัดในระดับมหภาคโดยเหนือจุดจำนนบนจะมีคอคอดภายในบริเวณคอคอดสายโซ่จะเริ่มจัดเรียงตัวซึ่งทำให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและต้านทานการเสียรูปในบริเวณนี้จากนั้นพลาสติกจะยืดออกจากที่เกิดคอคอดลุกลามตลอดช่วงจนถึงจุดแตกหัก

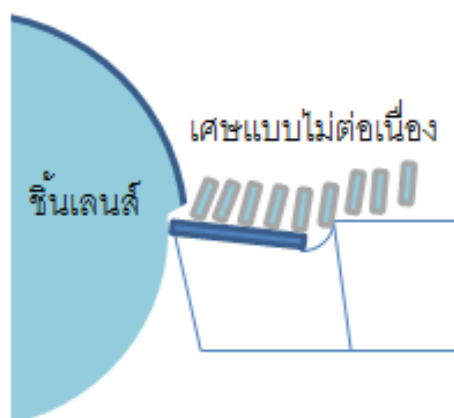


รูปที่ 13 กราฟแรงเค้นความเครียดและขั้นตอนการเสียรูปของพอลิเมอร์ที่ผลึก [4]

5. การเกิดเศษในกระบวนการตัด [5]

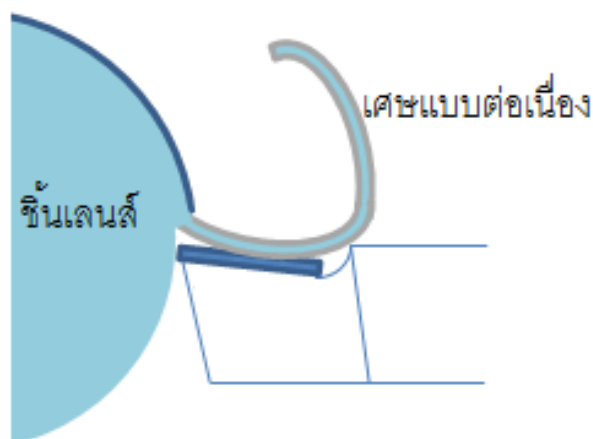
เศษ (Chip) หรือทั่วไปอาจเรียกว่าเศษชิ้นนั้นเป็นผลที่เกิดจากกระบวนการทางกลที่เรียกว่าการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic Deformation) การเปลี่ยนรูปร่างนี้จะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุถูกเฉือนออกด้วยแรงที่มากกว่า Elastic Limit ผลึกของโลหะจะยึดตัวออกตามแนวแรงที่กระทำให้เกิดการเฉือน ซึ่งเกิดขึ้นภายในตัวผลึกเองและระหว่างผลึกโดยรอบๆ ในกระบวนการตัดวัสดุต่างๆ ไปนั้น อย่างเช่นการกลึง (Turning) จะมีมุมตัด 2 มุมหรือมากกว่าที่ระดับองศาต่างกันเทียบกับทิศทางการตัด อย่างไรก็ตามกลไกพื้นฐานสามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีของคมตัดเดี่ยว (Single Cutting Edge) การเกิดเศษในลักษณะที่เป็นเส้นยาวต่อเนื่องนั้น อาจเกิดได้จากการตัดด้วยมีดตัดที่คมตัดทำมุม ตั้งฉากกับทิศทางการตัด (Orthogonal Cutting) สำหรับมีดตัดที่คมตัดมีค่ามุมต่างไป (Oblique Cutting) นั้น เมื่อวัสดุจะไหลตัวผ่านหน้าคมตัดด้วยมุมหนึ่งๆ ทำให้เกิดเศษที่มีลักษณะเป็นเกลียวขึ้น ลักษณะของเศษที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดวัสดุนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบด้วยกันคือ

1. เศษที่ไม่ยาวต่อเนื่อง (Discontinuous Chip) เศษที่ยาวไม่ต่อเนื่องหรือขาดเป็นท่อนๆ เกิดจากการตัดวัสดุเปราะเช่น เหล็กหล่อหรืออาจเกิดจากการตัดวัสดุเหนียวที่ตั้งสภาวะการตัดที่ไม่ถูกต้อง เมื่อคมตัดสัมผัสเข้ากับชิ้นงาน แรงกดปริมาณหนึ่งเกิดขึ้นที่คมตัดและเศษก็เกิดการไหลตัวไปตามหน้ามีดตัด เมื่อมีความเค้นมากกระทำมากขึ้นบนวัสดุเปราะอันเนื่องมาจากกระบวนการตัด วัสดุจะถูกอัดตัวจนกระทั่งถึงจุดของการแตกหัก เศษจึงหักออกเป็นท่อนๆ กลไกนี้จะเกิดขึ้นเป็นวัฏจักรที่ซ้ำๆ กันไปเรื่อยๆ ในระหว่างการตัดโดยการหักของเศษนั้นจะเกิดขึ้นที่ระนาบของการเฉือน โดยทั่วไปนั้นคุณภาพผิวงานตัดที่ได้เมื่อเกิดการหักตัวของเศษ Chip แบบนี้จะไม่ดี



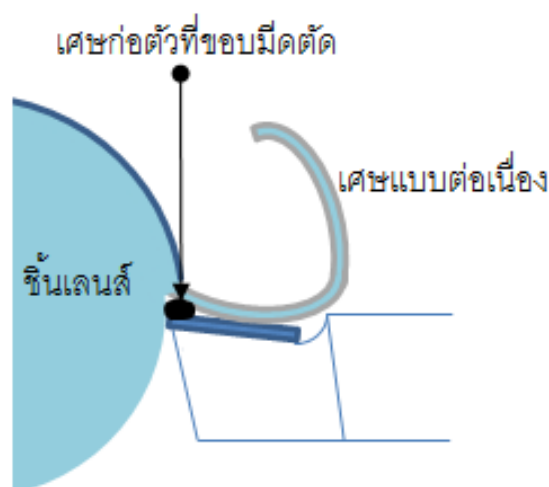
รูปที่ 14 การเกิดเศษที่ไม่ยาวต่อเนื่อง [5]

2. เศษตัดที่ยาวต่อเนื่อง (Continuous Chip) ลักษณะเศษแบบนี้จะยาวเป็นแถบต่อเนื่อง ซึ่งเกิดจากการไหลตัวของวัสดุอย่างต่อเนื่องโดยไม่ถูกขัดขวางด้วยแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่หน้ามีดตัดหรือเศษวัสดุที่พอกขึ้นตามคมตัด (Built-up Edge) เศษที่ยาวเป็นแถบนี้อาจเป็นลักษณะที่ดีและให้ผลลัพธ์ของการตัดที่ดีที่สุดเนื่องจากผิวงานที่ได้จะดีมากกว่าการเกิดในแบบแรก



รูปที่ 15 การเศษตัดที่ยาวต่อเนื่อง [5]

3. เศษตัดที่ยาวต่อเนื่องกับการพอกตัวของเศษที่คมตัด (Continuous Chip with a Built-up Edge (BUE)) เมื่อวัสดุงานเกิดการไหลตัวไปตามหน้ามีดจะทำให้เกิดอุณหภูมิที่สูงขึ้นที่หน้ามีดตัด รวมถึงแรงดันและแรงเสียดทานที่พยายามต้านการไหลตัวของเศษที่มีความต่อเนื่องนี้ เศษฝงเล็กๆ ที่เกิดขึ้นจากการตัดจึงไปก่อตัวติดอยู่ที่คมตัดในระหว่างที่เศษส่วนใหญ่ไหลตัวไปตามหน้ามีด เมื่อกระบวนการตัดดำเนินไปเรื่อยๆ ฝงวัสดุงานเหล่านี้ก็ก่อตัวติดกับคมตัดมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้มีผลต่อกลไกในการตัด เศษก่อตัวที่ขอบตัดนี้เรียกว่า Built-up Edge ซึ่งทำให้กลไกในการตัดมีความไม่เสถียรเกิดขึ้น เมื่อเศษก่อตัวมากขึ้นจนถึงจุดๆหนึ่ง Built-up Edge ก็จะหลุดออกติดไปตามเศษที่ไหลผ่านและผิวหน้าของชิ้นงาน การก่อตัวของเศษและการแตกหักหรือหลุดของ Built-up Edge นี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมากในระหว่างการตัด และเศษ Built-up Edge ก็จะไปเกาะตัวอยู่ที่ผิวงานที่ตัดแล้วทำให้คุณภาพผิวงานตัดที่ได้ไม่ดี



รูปที่ 16 เศษตัดที่ยาวต่อเนื่องกับการก่อตัวของเศษที่คมตัด [5]

โดยปกติแล้ว เศษที่ได้จะมีความหนาและสั้นกว่าชั้นของชิ้นงานที่ถูกตัดออกไปเนื่องจากมุมเฉือนที่เกิดขึ้นและการอัดตัวของวัสดุที่เกิดการเฉือนทำให้เศษมีความหนามากขึ้น ความหนาที่มากขึ้นนี้ส่งผลให้แรงที่ใช้ตัดมากขึ้นตามไปด้วยสำหรับความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการตัดวัสดุนั้น พลังงานทางกลที่ใช้ในการตัดจะถูกเปลี่ยนไปเป็นความร้อน ความร้อนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มาจาก 3 แหล่งคือ บริเวณของระนาบการเฉือน ผิวสัมผัสระหว่างหน้ามีดและเศษที่ไหลตัวผ่านและหน้ามีดด้านที่สัมผัสกับผิวงานที่ตัดแล้ว ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้ร่วมกับเรขาคณิตของมีดตัดและรูปร่างของ เศษที่เกิดขึ้น

6. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม [6]

การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment) หมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสม สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้วิธีการออกแบบการทดลองในเชิงสถิติเป็นสิ่งที่จำเป็นถ้าเราสามารถหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่มีอยู่และถ้ายังปัญหาที่สนใจนั้นเกี่ยวข้องกับความต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่มีอยู่ และถ้าปัญหาที่สนใจนั้นเกี่ยวข้องกับความผิดพลาดในการทดลอง (Experimental Error) วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการเพียงอย่างเดียวเท่านั้นจะสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ ดังนั้นสิ่งสำคัญ 2 ประการสำหรับปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการทดลองคือการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ทั้งสองอย่างนี้มีความเกี่ยวข้องกันอย่างมาก ทั้งนี้เพราะวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบการทดลองที่จะนำมาใช้ โดยจะพบว่าในงานวิจัยหลายๆด้าน การออกแบบการ

ทดลองนั้นช่วยให้ผู้วิจัยสามารถหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหาซึ่งนำไปสู่การหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาต่อไป การออกแบบการทดลองแตกต่างจากการทดลองโดยทั่วไปที่มีลักษณะการทดลองผิดถูกหรือเป็นการตั้งค่าปัจจัยทีละระดับ (One Factor at a time) ทำให้การได้ค่าที่เหมาะสมตรงตามวัตถุประสงค์ต้องใช้เวลา นาน บางครั้งทรัพยากรถูกใช้ไปเกินความจำเป็น ความหมายต่างๆเกี่ยวกับการทดลองมีดังนี้

การทดลอง(Experiment) คือ การค้นหาความจริง โดยการกระทำอย่างใดอย่างหนึ่งกับตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ที่เราศึกษาหรือเรียกว่าตัวแปรทดลอง (Experimental Variable) เพื่อดูผลค่าของตัวแปรตามซึ่งเป็นผลที่เกิดขึ้นจากตัวแปรอิสระนั่นเอง

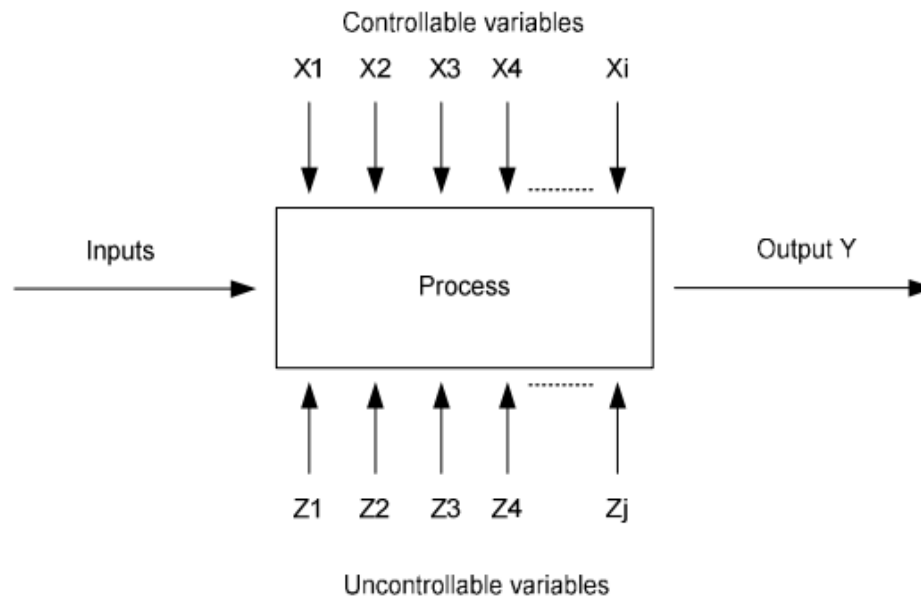
การออกแบบทดลอง (Experiment Design) คือการวางแผนการทดลองที่สอดคล้องกับสมมติฐาน โดยกำหนดจำนวนและการจัดการตัวแปรอิสระ วิธีการสุ่มตัวอย่าง การกำหนดเงื่อนไขในการทดลองเพื่อควบคุมตัวแปรต่างๆ ที่อาจมีผลต่อการทดลอง

ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น (Independent Variable) คือ ปัจจัยเริ่มต้นที่เป็นสาเหตุให้เกิดผลในการทดลองหรือสิ่งที่ต้องศึกษาว่าเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดผล

ตัวแปรตาม (Dependent Variable) คือตัวแปรที่เปลี่ยนไปตามตัวแปรอิสระ เป็นผลที่ได้จากการสังเกตการเก็บข้อมูลในการทดลอง

ตัวแปรควบคุม (Control Variable) คือปัจจัยที่ไม่ต้องการศึกษาในการทดลองที่มีผลต่ออัตราค่าที่คลาดเคลื่อนของการทดลอง จึงต้องควบคุมหรือขจัดตัวแปรนั้นออกไปเพื่อป้องกันหรือให้ผลการทดลองเกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

ปัจจัย (Factor) คือตัวแปรอิสระที่เราสนใจศึกษาว่าส่งผลถึงตัวแปรตามในการทดลองหรือไม่ กระบวนการ คือ การรวมเอาคนงาน เครื่องจักร วิธีการและทรัพยากรอื่นๆเข้าด้วยกัน เมื่อมีสิ่งป้อนเข้า (Input) เข้าสู่กระบวนการจะถูกเปลี่ยนเป็นผลลัพธ์ที่มีผลตอบออกมาในรูปแบบหนึ่งหรือมากกว่านอกจากนี้ในกระบวนการยังประกอบด้วยปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ (Controllable Factor) และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factor)



รูปที่ 17 รูปแบบระบบการทดลองทั่วไป [6]

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. หาดั้วแปรที่มีผลมากที่สุดต่อค่าตอบสนอง y
2. กำหนดค่าของ x ที่มีผลต่อค่าตอบสนอง y เพื่อให้ค่า y อยู่ในค่าที่ต้องการ
3. กำหนดค่าของ x ที่มีผลต่อค่าตอบสนอง y เพื่อให้ค่า y มีค่าน้อย
4. กำหนดค่าของ x ที่มีผลต่อค่าตอบสนอง y เพื่อให้ค่า y ให้ผลตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้มีค่าน้อยที่สุด

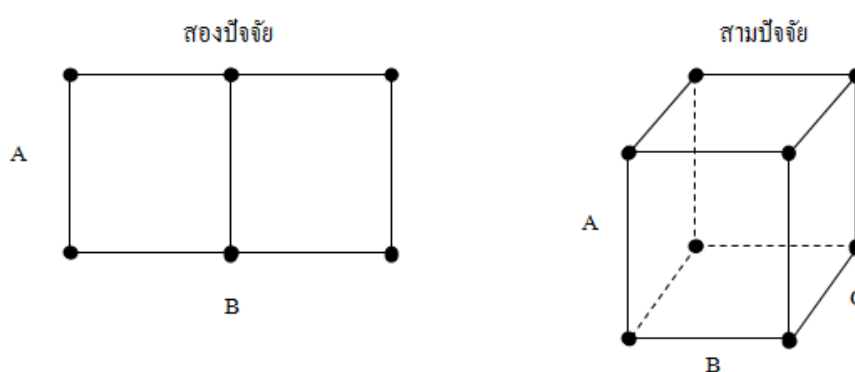
การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Designs: FD)

สามารถทำการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีต่อกระบวนการที่เกิดขึ้นพร้อมกันได้เมื่อทำการทดลองครบเปลี่ยนค่าระดับปัจจัยไปพร้อมๆกันมากกว่าทำการเปลี่ยนค่าระดับปัจจัยตัวใดตัวหนึ่ง เพราะจะทำให้ได้งานที่มีประสิทธิภาพมากกว่าทั้งในเรื่องการประหยัดเวลาและต้นทุนและยังสามารถวิเคราะห์เรื่องอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัยโดยอิทธิพลร่วมคือผลของการที่ปัจจัยร่วมกันที่มีอยู่ในหลายกระบวนการถ้าไม่ได้ทำการทดลองแบบแฟคทอเรียลอาจจะไม่เห็นผลของอิทธิพลร่วมได้ชัดเจนโดยจะต้องเก็บข้อมูลที่ทุกระดับของปัจจัยและยอมรับว่าการอยู่ร่วมกันของปัจจัยอาจมีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของข้อมูลเช่นเดียวกับปัจจัยตัวใดตัวหนึ่ง

ดังสมการที่ 2.1

$$Y = \mu + \tau_i + \beta_j + T\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad i = 1, 2, \dots, a \quad j = 1, 2, \dots, b \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (2.1)$$

(1) การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial) จะวัดค่าตอบสนองที่ทุกเงื่อนไขของทุกค่าระดับปัจจัยที่มีในการทดลองเงื่อนไขการทดลอง (Combination of factor levels) เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้ทำการทดลองเพื่อวัดค่าตอบสนองโดยที่เงื่อนไขการทดลองแต่ละอันจะเรียกว่ารัน (Run) และมีการทำการทดลองเพื่อวัดค่าตอบสนองและชุดข้อมูลทั้งหมดในทุกรันจะเรียกว่าแบบการทดลอง (Design)



รูปที่ 18 มุมมองเชิงเรขาคณิต [6]

จากภาพ 18 แสดงตัวแบบของการทดลองแบบ 2 และ 3 ปัจจัยโดยจุดแสดงถึงเงื่อนไขการทดลอง (Combination) ของแต่ละการทดลองตัวอย่างเช่นในตัวแบบ 2 ปัจจัย (Two-factor design) จุดที่มุมล่างด้านซ้ายและรันของการทดลองที่มีค่าระดับปัจจัย A เป็นค่าต่ำ (Low) และค่าระดับปัจจัย B เป็นค่าต่ำ

(2) การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบสองระดับ (Two-level full factorial) ในทุกการทดลองของทุกปัจจัยจะมีค่าระดับเพียงแค่ 2 ระดับเท่านั้นการทดลองแต่ละรันจะมีทุกค่าระดับของทุกปัจจัยถึงแม้ว่าจะไม่สามารถทำการทดลองที่ค่าปัจจัยย่าน (Range) กว้างมากได้แต่ก็สามารถให้สาระข้อมูลที่มีประโยชน์ได้โดยที่จำนวนรันไม่มากนักต่อหนึ่งปัจจัยและเพราะว่าการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบสองระดับสามารถที่จะแสดงค่าแนวโน้มได้จึงสามารถนำมาใช้เพื่อ

นำไปเป็นแนวทางในการสร้างการทดลองเช่นเมื่อต้องการที่จะทำการทดลองในย่านที่กว้างขึ้นซึ่งมีสมมุติฐานว่าจะมีค่าที่ดีที่สุดอยู่อาจใช้ตัวแบบแฟคทอเรียลเพิ่มเติมจากจุดนี้โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบเซ็นทรัลคอมโพสิท (Central composite)

(3) การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (General full factorial) ในการทดลองแต่ละครั้งในแต่ละปัจจัยจะมีค่าระดับหลายค่าเช่นปัจจัย A มี 2 ระดับ B มี 3 ระดับและ C มี 5 ระดับการทดลองในทุกวันจะทำครบทุกค่าระดับของทุกปัจจัยและอาจนำไปใช้ในการทดลองขนาดเล็กเพื่อทำการคัดเลือกปัจจัยหรือเพื่อทำการหาค่าที่ดีที่สุด

(4) การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเชิงเศษส่วน (Fractional Factorial) ในการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบทำการวัดค่าตัวตอบสนองในทุกเงื่อนไขการทดลองซึ่งจะเป็นทุกค่าระดับของทุกปัจจัยทำให้ต้องทำการทดลองจำนวนหลายครั้งเช่นการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบสองระดับของ 6 ปัจจัยอย่างน้อยต้องมีการทดลองจำนวน 64 วันหรือกรณีที่มี 9 ปัจจัยจะมีการทดลองอย่างน้อย 512 วันดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดเวลาและต้นทุนอาจทำการออกแบบการทดลองให้ทำการทดลองเฉพาะบางเงื่อนไข

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชญาณี หวังประดิษฐ์ [7]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาสาเหตุและลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการเบี่ยงเบนแนวแกนของเลนส์ในกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตา การกำหนดสาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพก้างปลา มีการนำหลักการทางสถิติ การวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการ การวิเคราะห์ระบบการวัด และการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการบล็อกเลนส์และกระบวนการตัดเลนส์ โดยหาปัจจัยและระดับของปัจจัยที่เหมาะสมในแต่ละกระบวนการ

สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์, จักรนรินทร์ ฉัตรทอง และวิทยา ศิริคุณ [8]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะการตัดที่เหมาะสมในการกลึงปาดหน้าพลาสติกไนลอนหล่อด้วยเครื่องกลึงอัตโนมัติเพื่อนำไปใช้ทำชิ้นส่วนอุปกรณ์ในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนเครื่องจักรที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารและที่เกี่ยวข้องปัจจัยที่ทำการศึกษาคือความเร็วรอบอัตราป้อนมีดและความลึกในการตัดที่ให้ค่าความขรุขระพื้นผิว (Ra) ที่ยอมรับได้การทดลองนี้ใช้ความเร็วรอบ (Speed) ที่ 600, 750 และ 900 รอบต่อนาทีอัตราป้อนมีด (Feed) ที่ 150, 300 และ 600 มิลลิเมตรต่อนาทีและความลึกในการตัด (Depth of Cut) ที่ 0.1, 0.2 และ 0.3 มิลลิเมตรจากนั้นนำมาทำการวัดค่าความขรุขระพื้นผิวเพื่อนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของเงื่อนไขที่ต้องการ จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าในการกลึงปาดหน้าพลาสติกไนลอนหล่ออัตราป้อนมีดมีผลต่อค่าความขรุขระพื้นผิวส่วนความเร็วรอบและความลึกในการตัดนั้นไม่มีผลต่อค่าความขรุขระพื้นผิว

อิสรา วีระวัฒน์สกุล และสมพร ตี๋บซัด [9]

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาสภาวะการณ์ทำงานของเครื่องกลึงซีเอ็นซีในการสร้างต้นแบบที่ทำจากพลาสติกโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยและค่าที่เหมาะสมที่ส่งผลต่อค่าความหยาบของผิวชิ้นงานโดยใช้มีดกลึงสำหรับกลึงอลูมิเนียม (Cutting Inserts for Aluminum – CCGT 32.50.5 FL) ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ ความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกในการกลึงนอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อหาความคุ้มค่าในการนำเอาเครื่องกลึงซีเอ็นซีมาใช้ในกระบวนการสำหรับขึ้นรูปพลาสติกเพื่อสร้างต้นแบบเซรามิกทดแทนปูนปลาสเตอร์แบบเดิม

ผลจากการวิจัยนี้พบว่าปัจจัยหลักที่สำคัญเกี่ยวข้องซึ่งกันสองปัจจัยคืออัตราป้อนและความลึกในการกลึงตัด

ธีรพร เสนพรหม [10]

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์แนวคิดซิกซ์ซิกมาเข้ามาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเลนส์พลาสติกโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียจากข้อตำหนิประเภทรอยขีดข่วนของแม่แบบแก้วที่ใช้ในการผลิตเลนส์สายตานิเวศบางพิเศษซึ่งเป็นแม่แบบที่มีราคาสูงและไม่สามารถซ่อมแก้ไขได้เมื่อเกิดรอยตำหนิจึงกระทบต่อต้นทุนในการผลิตเลนส์ค่อนข้างมาก การดำเนินงานวิจัยประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนตามระยะของซิกซ์ ซิกมา เริ่มจากระยะการนิยามปัญหาได้ทำการศึกษาสภาพปัญหา กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการปรับปรุง ต่อมาในระยะการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาได้วิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับข้อมูลตามลักษณะซึ่งทำการวิเคราะห์ทั้งความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัดและทำการพิจารณาความสามารถของกระบวนการผลิตในปัจจุบันจากนั้นทำการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลต่อการเกิดรอยขีดข่วนบนแม่แบบโดยใช้แผนภาพแสดงสาเหตุและผลและจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าโดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลและการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบจากนั้นในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาได้ทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อสัดส่วนของเสียระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการได้ทำการทดลองเพิ่มบางส่วนจากการออกแบบการทดลองก่อนหน้านี้เพื่อให้ได้ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าสัดส่วนของแม่แบบเสียต่ำที่สุดและระยะสุดท้ายคือระยะการติดตามควบคุม ได้ทำการทดสอบยืนยันผลเป็นเวลา 1 เดือนและจัดทำแผนควบคุมโดยประยุกต์ใช้เครื่องมือคุณภาพที่เหมาะสมในการตรวจติดตามและควบคุมทั้งปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองเพื่อรักษามาตรฐานหลังการปรับปรุงผลหลังการปรับปรุง พบว่าสัดส่วนของแม่แบบเสียลดลงจาก 0.25% หรือ 2,512 PPM เหลือ 0.083% หรือ 826 PPM ซึ่งมีค่าลดลง 66.8% เมื่อเปรียบเทียบกับ

สัดส่วนของแม่แบบเสียก่อนการปรับปรุงโดยระดับซิกมาของกระบวนการได้ปรับปรุงจาก 4.31 เป็น 4.65 และจากปริมาณการผลิตที่พยากรณ์ไว้

นพวรรณ พรพิมาน และสุวิษภรณ์ วิชกุล [11]

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดในกระบวนการผลิตถุงพลาสติกโดยของเสียที่พบคือถุงพลาสติกที่ผลิตออกมาจะมีรูรั่วหรือฉีกขาดประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์อาจเกิดจากหลายสาเหตุโดยอาจเกิดจากพนักงานเครื่องจักรวัสดุที่ใช้และกรรมวิธีในการผลิตดังนั้นจึงได้นำเทคนิคการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบมาใช้โดยหลังจากทำการทดลองแล้วพบว่าปัจจัยหลักที่มีผลคือชนิดของเม็ดพลาสติกและปัจจัยร่วมที่มีผลคืออุณหภูมิขณะตัดถุงพลาสติกและความเร็วขณะม้วนถุงพลาสติกเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยค่าของปัจจัยที่เหมาะสมคือเม็ดพลาสติกใหม่ผสมในอัตราส่วน 10:90 และอุณหภูมิขณะตัดถุงพลาสติกที่ 200°C ความเร็วขณะม้วนถุงพลาสติกควรใช้ความเร็วที่สเกล 43 ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณถุงพลาสติกที่ผลิตได้มีค่าเท่ากับ 24.220 กิโลกรัมและมีของเสียลดลงจากเดิม 30 เปอร์เซ็นต์เหลือ 19.27 เปอร์เซ็นต์

Tuncay and Hasan [12]

งานวิจัยนี้เปรียบเทียบความแม่นยำที่ได้จากวิธีการในการพยากรณ์ความขรุขระผิวของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ระหว่างวิธีพื้นผิวผลตอบสนองกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ในกระบวนการกัดอลูมิเนียม (7075-T6) โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Full factorial design) กับปัจจัยการตัดห้อย่าง คือ อัตราป้อนตัด ความเร็วตัด ความลึกตัดในแนวแกน ความลึกตัดในแนวรัศมี และค่าความเผื่อในการตัด จากผลการทดลองสรุปได้ว่าวิธีพื้นผิวผลตอบสนองให้ความผิดพลาดประมาณ 2.05% ขณะที่วิธีโครงข่ายประสาทเทียมให้ความผิดพลาดเพียง 1.48% ซึ่งถือว่าแตกต่างกันไม่มาก แต่อย่างไรก็ตามวิธีโครงข่ายประสาทเทียมใช้จำนวนการคิดคำนวณมากกว่าวิธีพื้นผิวผลตอบสนองซึ่งมีเพียงขั้นตอนเดียว หรืออาจกล่าวได้ว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมใช้หน่วยประมวลผลกลางนานกว่าวิธีพื้นผิวผลตอบสนอง และอาจนำมาซึ่งต้นทุนที่สูงกว่า

ศิริลักษณ์ พานโคกสง [13]

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการฉีดขึ้นรูปและคุณสมบัติของพอลิเมอร์ชีวภาพผสมระหว่างวัตถุดิบชีวภาพได้แก่แป้งข้าวและเกลบข้าวโดยออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบสองระดับ 2^5 โดยใช้ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่มีผลต่อคุณสมบัติความแข็งแรงดึงและความสามารถในการดูดซึมความชื้นเพิ่มขึ้นในขณะบีบอัดตัว ณ จุด

ขาดลดลงพบว่าปัจจัยอัตราส่วนผสมระหว่างวัตถุดิบชีวภาพต่อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เป็นร้อยละ 70/30 โดยน้ำหนักค่าที่เหมาะสมในกระบวนการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ชีวภาพผสมระหว่างแป้งข้าว/LDPE คือใช้ความเร็วในการฉีด 80% ความดันฉีดสูงสุด 40 บาร์ ความดันย้ำ 60 บาร์ และอุณหภูมิในการฉีด 175 องศาเซลเซียส โดยให้ค่าความแข็งแรงดึง 15.62 เมกกะปาสคาล ส่วนพอลิเมอร์ชีวภาพผสมระหว่างกลบข้าว/LDPE ใช้ความเร็วในการฉีด 45% ความดันฉีดสูงสุด 85 บาร์ ความดันย้ำ 75 บาร์ และอุณหภูมิในการฉีด 175 องศาเซลเซียส โดยให้ค่าความแข็งแรงดึง 13.95 เมกกะปาสคาล

ณัฐกานต์ รสดี และสมเกียรติ จงประสิทธิ์พร [14]

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการขัดเลนส์ด้วยการออกแบบการทดลอง เริ่มต้นด้วยการใช้แผนภูมิพาเรโตหาสาเหตุของปัญหาพบว่า ผลิตภัณฑ์ Z340 ของเลนส์ L3 ที่กระบวนการขัดหยาบเลนส์ เกิดเลนส์ที่เป็นของเสียที่เกิดจากการบิ่นที่ขอบเลนส์ พบว่ามีปัญหามากที่สุด จึงนำเอาปัญหาดังกล่าวมาวิเคราะห์หาสาเหตุที่เป็นไปได้ด้วยแผนภูมิแกงปลา และสรุปปัจจัยหลักจากการระดมสมองผู้ที่เกี่ยวข้อง พบว่าปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดของเสียคือ แรงกดในการเจียรเลนส์และความเร็วรอบของล้อหินขัดเพชร จึงนำปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยมาทำการออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลแบบ 3^k มาใช้ประยุกต์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมเครื่องขัดหยาบเลนส์ พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปัญหาเลนส์บิ่น โดยระดับที่ส่งผลให้เกิดชิ้นงานเสียน้อยที่สุด คือแรงกดในการเจียรเลนส์ที่ 10 กิโลกรัม และค่าความเร็วรอบของล้อหินขัดเพชรที่ 16,000 รอบต่อนาที ลดจำนวนของเสียจากของเดิมได้ถึง 55.6%

J.-D. Kim and O.-B. Kweu [15]

ทำการศึกษาเกี่ยวกับตัวหักเศษ (Chip Breaker) และลักษณะการไหลของเศษที่เกิดขึ้นสำหรับเหล็กอ่อนซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมมากกว่า 40% โดยปกติเหล็กอ่อนที่ทำการกลึงด้วยเครื่องกลึงจะให้เศษแบบต่อเนื่องการควบคุมเศษทำได้ยาก ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองออกแบบตัวหักเศษและปัจจัยการตัดสามตัวคือ ความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกตัด ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดเศษหักคือทิศทางไหลของเศษจากการออกแบบตัวหักเศษ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองของเครื่องตัดเลนส์ที่เครื่องสามารถปรับค่าได้คือ ความเร็วตัด อัตราป้อนตัดและมุมคายเศษโลหะ ระดับปัจจัยที่สามารถปรับค่าได้แสดงตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงระดับปัจจัยของการทดลอง

ปัจจัย	ค่าของปัจจัย		
ความเร็วตัด (รอบต่อนาที)	2,392	2,990	3,590
อัตราป้อนตัด (มิลลิเมตรต่อวินาที)	1.0	1.5	2.0
มุมคายเศษ (องศา)	0	10	20

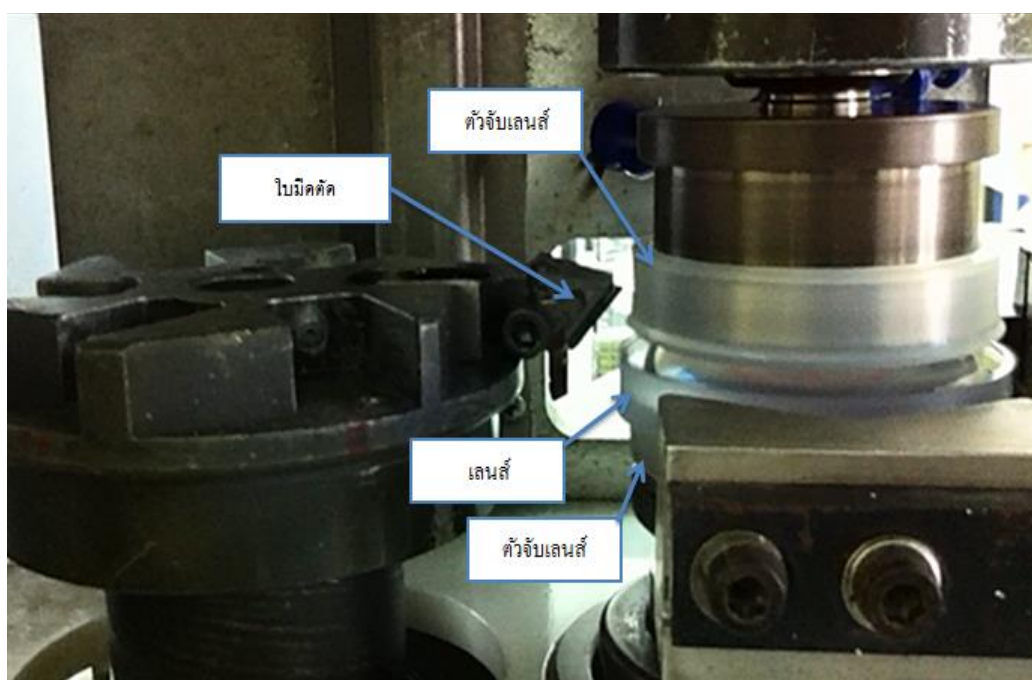
1) ความเร็วตัด กำหนดระดับปัจจัยความเร็วตัด เป็น 5 ระดับ ได้แก่ 2,392 2,990 3,590 4,185 และ 4,780 รอบต่อนาที ระดับปัจจัย 5 ระดับ เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องตัดในการจำกัดความเร็วตัดของเครื่องตัดสำหรับการตัดเลนส์ทนแรงกระแทกสูง ต้องความเร็วตัดของเครื่อง ตั้งแต่ 2,392 รอบต่อนาทีขึ้นไป รอบการตัดที่ต่ำจะทำให้เกิดของเสียชนิดเลนส์สไลด์ (Slide) เลนส์จะถูกใบมีดกระแทกเลื่อนออกจากตัวจับเลนส์

2) อัตราป้อนตัด กำหนดระดับอัตราป้อนตัด เป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1.0 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ระดับปัจจัย 3 ระดับ เนื่องจากเครื่องถูกกำหนดให้ใช้อัตราป้อนตัดได้ 3 ระดับ

3) มุมคายเศษ กำหนดระดับปัจจัยมุมคายเศษ เป็น 3 ระดับ ได้แก่ 0 10 และ 20 องศา ระดับปัจจัย 3 ระดับ กำหนดจากค่าการปรับมุมมองาได้ของเครื่องระหว่าง 0 ถึง 20 องศา

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องตัดขอบเลนส์ ในกระบวนการตัดขอบเลนส์แว่นตาพลาสติกทนแรงกระแทกสูงในงานวิจัยนี้ ใช้เครื่องตัดขอบเลนส์แบบแนวตั้ง เมื่อทำการตัดขอบเลนส์ตัวจับเลนส์จะหมุนทวนเข็มนาฬิกาด้วยมอเตอร์ซึ่งอยู่ด้านบนของตัวจับเลนส์ ในขณะที่ใบมีดตัดถูกยึดติดอยู่กับด้ามมีดบนป้อมมีดจะเคลื่อนที่ลงตัดขอบเลนส์



รูปที่ 19 เครื่องตัดขอบเลนส์แว่นตาพลาสติกทนแรงกระแทกสูง

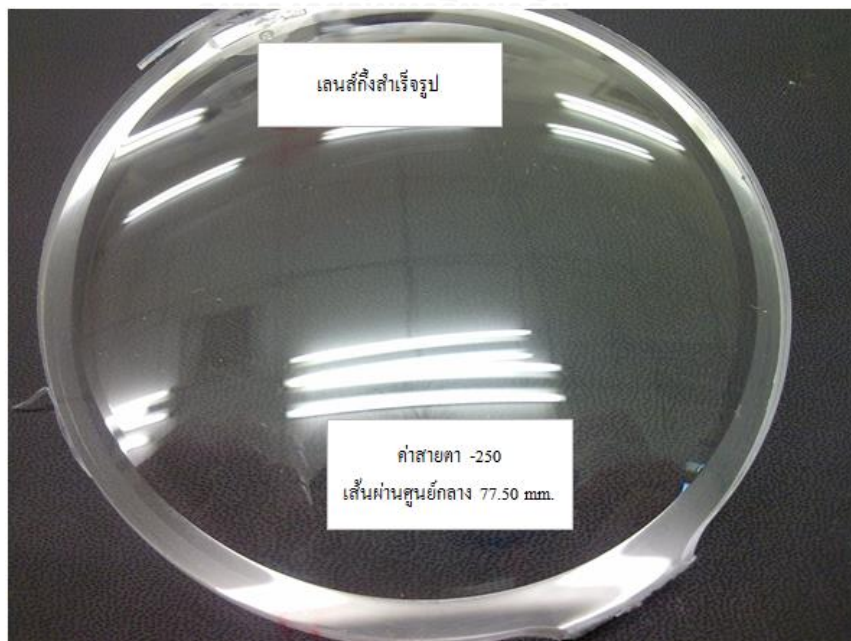
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2. ใบมีดตัดขอบเลนส์ ใบมีดชนิด พีซีบีเอ็น (PCBN, Polycrystalline Cubic Boron Nitride) รัศมีมุมตัด 0.4 มิลลิเมตร ใบมีดมีสภาพดี มีการใช้งานตัดเลนส์มาแล้วอยู่ระหว่าง 500 ถึง 1,000 ชิ้น มาทำการทดลอง จากการจดบันทึกการใช้งานใบมีดของพนักงานพบว่าเมื่อใบมีดตัดเลนส์มาแล้วมากกว่า 500 ชิ้น จะให้เศษเลนส์ที่สั้นกว่าใบมีดใหม่หรือใบมีดที่มีการใช้งานตัดเลนส์น้อยกว่า 500 ชิ้น เมื่อใบมีดตัดเลนส์มากขึ้นใบมีดตัดจะเกิดการสึกหรอโดยรัศมีมุมตัด (Nose Radius) จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น ทำให้แรงตัดใบมีดมากขึ้นส่งผลต่อผิวและเศษเลนส์เกิดความร้อนอ่อนตัวและฉีกขาดได้ง่ายขึ้น ใบมีดที่มีการตัดเลนส์มากกว่า 1,000 ชิ้น จากการบันทึกพบว่าจะพบการสึกหรอของใบมีดและมองเห็นด้วยตาอย่างชัดเจน การตัดเลนส์ด้วยใบมีดที่สึกหรอจะส่งผลต่อผิวของขอบเลนส์เป็นรอยขีดข่วนบนผิวขอบเลนส์ โดยรอยขีดข่วนบนผิวขอบเลนส์ทำให้เกิดการฉีกขาดของกระดาษเซ็ดเลนส์ได้ง่ายในขั้นตอนการเซ็ดเลนส์ของกระบวนการตรวจสอบเลนส์



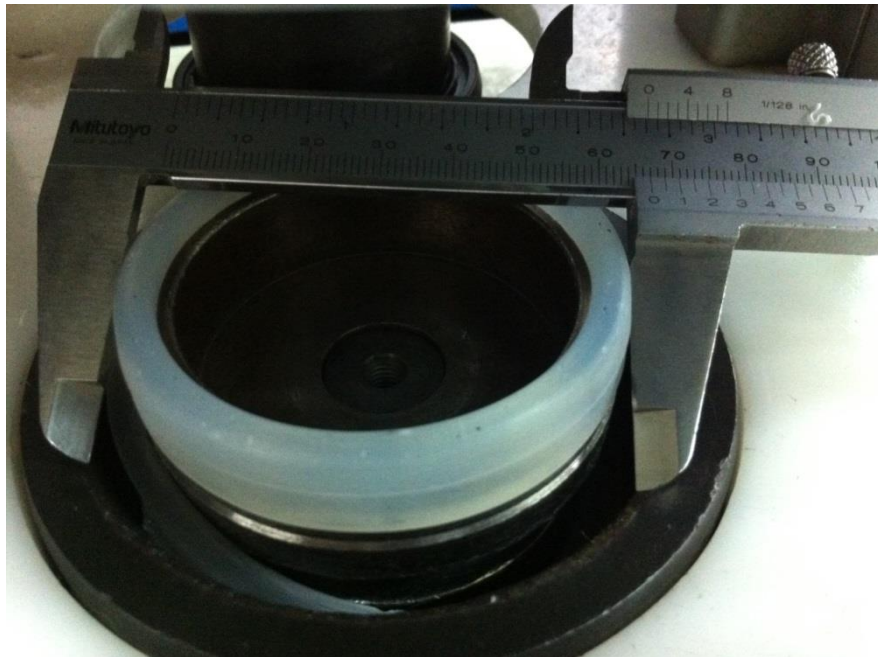
รูปที่ 20 ใบมีดพีซีบีเอ็นใช้ตัดขอบเลนส์แว่นตาพลาสติกทนแรงกระแทกสูง

3. เลนส์แว่นตาพลาสติกทนแรงกระแทกสูง เลนส์ชนิดกึ่งสำเร็จรูป (Semi Finish Lens) เส้นผ่านศูนย์กลาง 77.50 มิลลิเมตร ผ่านการตรวจสอบรอยขีดข่วนตามเกณฑ์ที่ใช้ในการยอมรับรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์ของบริษัทที่ทำการวิจัยมาใช้ในการทดลอง



รูปที่ 21 เลนส์แว่นตาพลาสติกทนแรงกระแทกสูง

4. ตัวจับเลนส์ หุ้มด้วยซิลิโคน (Silicone) ทั้งตัวจับเลนส์ด้านบนและตัวจับเลนส์ด้านล่าง โดยตัวจับเลนส์ด้านล่างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65.00 มิลลิเมตร ตัวจับเลนส์ด้านบนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 68.50 มิลลิเมตร



รูปที่ 22 ตัวจับเลนส์ด้านล่าง



รูปที่ 23 ตัวจับเลนส์ด้านบน

5. ไมโครมิเตอร์ (Micrometer) สำหรับวัดความหนาของเศษเลนส์จากการตัดขอบเลนส์



รูปที่ 24 ไมโครมิเตอร์ (Micrometer) Mitutoyo

7. ไม้บรรทัด สำหรับวัดความยาวของเศษเลนส์ที่เก็บได้จากการตัดขอบเลนส์



รูปที่ 25 ไม้บรรทัด

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

1. เตรียมเลนส์แว่นตาพลาสติกทนแรงกระแทกสูงที่ผ่านการตรวจสอบรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์แล้วเก็บไว้ในสภาพพลาสติก
2. การตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ถูกกำหนดให้ตั้งค่าไว้ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ถูกกำหนดให้คงที่

ปัจจัย	หน่วย	ค่าพารามิเตอร์
ความลึกในการตัด (Depth of cut)	mm.	1.25
มุมเอียง (Inclination angle)	องศา	45
ไบมีดพีซีบีเอ็น (PCBN) ถูกใช้งานมาแล้ว	ครั้ง	500-1,000

3. ตั้งค่าพารามิเตอร์ที่จะทำการทดลองได้แก่ ความเร็วในการตัด (Cutting Speed) อัตราการป้อน (Feed) และมุมคายเศษ (Rake Angle) โดยเรียงลำดับการทดลองตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงลำดับการทดลองในระดับต่างๆของปัจจัยที่ศึกษา

ลำดับการทดลอง	มุมคายเศษ (องศา)	อัตราการป้อน (mm/s)	ความเร็วตัด (rpm)
1	0	1.0	2,392
2	0	1.0	2,990
3	0	1.0	3,590
4	0	1.0	4,185
5	0	1.0	4,780
6	0	1.5	2392
7	0	1.5	2990
8	0	1.5	3590
9	0	1.5	4185
10	0	1.5	4780
11	0	2.0	2392
12	0	2.0	2990
13	0	2.0	3590
14	0	2.0	4185
15	0	2.0	4780
16	10	1.0	2,392

ตารางที่ 4 แสดงลำดับการทดลองในระดับต่างๆของปัจจัยที่ศึกษา(ต่อ)



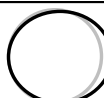





















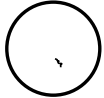

ลำดับการทดลอง	มุมคานพิเศษ (องศา)	อัตราการป้อน (mm/s)	ความเร็วตัด (rpm)
17	10	1.0	2,990
18	10	1.0	3,590
19	10	1.0	4,185
20	10	1.0	4,780
21	10	1.5	2,392
22	10	1.5	2,990
23	10	1.5	3,590
24	10	1.5	4,185
25	10	1.5	4,780
26	10	2.0	2,392
27	10	2.0	2,990
28	10	2.0	3,590
29	10	2.0	4,185
30	10	2.0	4,780
31	20	1.0	2,392
32	20	1.0	2,990
33	20	1.0	3,590
34	20	1.0	4,185
35	20	1.0	4,780
36	20	1.5	2,392
37	20	1.5	2,990
38	20	1.5	3,590
39	20	1.5	4,185

ตารางที่ 4 แสดงลำดับการทดลองในระดับต่างๆของปัจจัยที่ศึกษา(ต่อ)

ลำดับการทดลอง	มุมคายเศษ (องศา)	อัตราการป้อน (mm/s)	ความเร็วตัด (rpm)
40	20	1.5	4,780
41	20	2.0	2,392
42	20	2.0	2,990
43	20	2.0	3,590
44	20	2.0	4,185
45	20	2.0	4,780

4. ทำการทดลองโดยใช้แต่ละระดับของปัจจัยการทดลองตามตารางที่ 4
5. นำเศษเลนส์ที่ได้จากการทดลองมาทำการวัดความยาวของเศษเลนส์ โดยนำเศษเลนส์ที่มีความยาวมากที่สุดมาทำการวัดค่าด้วยไม้มิครัดและบันทึกค่า
6. นำชิ้นเลนส์ที่ผ่านการตัดขอบเลนส์แล้วมาตรวจสอบรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์ตามมาตรฐานการยอมรับรอยขีดข่วนของบริษัทที่ทำการศึกษ บันทึกค่ารอยขีดข่วนและของเสียที่เกิดขึ้นหลังการตัดขอบเลนส์ตามลักษณะที่เกิดในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ลักษณะของรอยขีดข่วนและของเสียหลังจากการตัดขอบเลนส์

ลำดับ	ชื่อเรียก	ชนิดของเสียจากการตัดเลนส์		ลักษณะ
		รูปของเสีย	รูปตัวอย่าง	
1	Broken			แตก บิ่น หรือหักเข้าไปในเนื้อเลนส์
2	Distort			เบี้ยว ไม่กลมเป็นวงรี ถูกตัดขอบบางส่วน
3	Clamp Error			รอยจุดเล็กๆ เป็นกลุ่ม
4	Slide			รอยวงกลมลึกลงเข้าไปในเนื้อเลนส์
5	Line Edge			ขอบเลนส์กลายเป็นเส้น หรือเลนส์เป็นร่อง
6	Remain			ขอบเลนส์ถูกตัดไม่หมด ขอบ 2 ชั้น
7	Deep Edge			ขอบล่างของเลนส์ถูกตัดลึกเฉียงเข้าไปในเนื้อเลนส์
8	Crack			ขอบเลนส์ร้าวหรือแตก
9	Small			มีขนาดเล็กกว่ามาตรฐานที่กำหนด
10	Drop			รอยขีดบนผิวเลนส์บางๆ
11	Deep Scrape			รอยขีดบนผิวเลนส์ลึกเป็นเส้นหนา
12	Line Scrape			รอยขีดยาวรอบขอบเลนส์
13	Other			รอยจุดเล็กๆ หรือมีสามารถระบุชนิดของเสียได้

7. นำเศษเลนส์ที่ได้ในแต่ละแต่การทดลองมาวัดความหนาของเศษเลนส์ด้วยไมโครมิเตอร์

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. นำข้อมูลที่ได้จากการวัดความยาวของเศษเลนส์จากการตัดในแต่ละการทดลองมาหาค่าความยาวของเศษที่มีค่าน้อยกว่า 65 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความยาวที่ไม่ทำให้เกิดรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์จากเศษเลนส์ (Line Scrape)

2. นำข้อมูลจากการวัดความหนาของเศษเลนส์ในแต่ละการทดลองมาวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความยาวเศษเลนส์

3. วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมในการตัดขอบเลนส์ที่ไม่เกิดรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์จากเศษเลนส์และให้อัตราการผลิตสูงที่สุด

4. นำค่าระดับปัจจัยที่ได้มาทำการทดลองเพื่อยืนยันผล เก็บข้อมูลของเสียที่ได้จากการทดลอง

5. สรุปผลการทดลอง



บทที่ 4































ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการทดลอง

4.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเงื่อนไขการตัดและความยาวเศษเลนส์

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ปัจจัยการตัด (ความเร็วรอบ อัตราป้อนตัด มุมคายเศษ) ที่ส่งผลต่อรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์จากเศษเลนส์และให้อัตราการผลิตสูงสุดแสดงในตารางที่ 6 ดังนี้

ตารางที่ 6 แสดงรูปเศษเลนส์จากทดลองแบบแพคทอเรียลเต็มรูปทั่วไป

มุม คายเศษ	อัตรา ป้อนตัด	ความเร็วรอบการตัด (รอบต่อนาที)				
		2,392	2,990	3,590	4,185	4,780
0°	1.0 mm/s					
	1.5 mm/s					
	2.0 mm/s					
10°	1.0 mm/s					
	1.5 mm/s					
	2.0 mm/s					

ตารางที่ 6 แสดงรูปเศษเลนส์จากทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (ต่อ)

มุม กายเศษ	อัตรา ป้อนตัด	ความเร็วรอบการตัด (รอบต่อนาที)				
		2,392	2,990	3,590	4,185	4,780
20°	1.0 mm/s					
	1.5 mm/s					
	2.0 mm/s					

จากตารางที่ 6 รูปเศษเลนส์ที่ได้จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มระดับความเร็วรอบการตัดของเลนส์เศษเลนส์ที่ได้จะมีความยาวลดลงและเศษเลนส์มีขนาดความหนาลดลง เนื่องจากความหนาของเศษเลนส์ลดลงทำให้เศษเลนส์เกิดการฉีกขาดได้ง่าย เมื่อเพิ่มระดับอัตราป้อนตัดเศษเลนส์จะมีความยาวเพิ่มขึ้นและเศษเลนส์มีความหนาเพิ่มขึ้นในแต่ละระดับ และมุมกายเศษจะให้ความยาวของเศษเลนส์เพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มระดับมุมกายเศษ

4.1.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตัดและความยาวของเศษเลนส์



(1) 3,590 รอบต่อนาที



(2) 4,185 รอบต่อนาที



(3) 4,780 รอบต่อนาที

รูปที่ 26 เงื่อนไขการตัดเลนส์ ความเร็วตัด 3,590 4,185 และ 4,780 รอบต่อนาที อัตราป้อนตัด

1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที มุมกายเศษ 10 องศา และความลึกตัด 1.25 มิลลิเมตร

จากการทำการทดลองพบว่า เมื่อความเร็วตัดเพิ่มสูงขึ้น เศษเลนส์จะมีความยาวลดลง อันเนื่องมาจาก เมื่อความเร็วตัดเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิการตัดสูงขึ้นเมื่อพลาสติกได้รับความร้อนจะเกิดการอ่อนตัวและเสียรูปทำให้เศษเลนส์ฉีกขาดได้ง่าย

4.1.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราป้อนตัดและความยาวของเศษเลนส์



(1) 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที



(2) 1.5 มิลลิเมตรต่อวินาที



(3) 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที

รูปที่ 27 เงื่อนไขการตัดเลนส์ อัตราป้อนตัด 1.0 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วตัด 3,590 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 0 องศา และความลึกตัด 1.25 มิลลิเมตร

จากการทำการทดลองพบว่า เมื่ออัตราการป้อนตัดสูงมากขึ้น ความยาวเศษเลนส์ที่เกิดขึ้นมีขนาดยาวกว่าอัตราการป้อนตัดที่ต่ำกว่า เนื่องจากเมื่อใช้อัตราการป้อนตัดสูงมากขึ้น พื้นที่การตัดเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลต่อความหนาของเศษเลนส์มากขึ้นตาม จากคุณสมบัติความเหนียวของเลนส์ทำให้เศษเลนส์ไหลต่อเนื่องและยาวมากขึ้น

4.1.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมคายเศษและความยาวของเศษเลนส์



(1) 0 องศา



(2) 10 องศา



(3) 20 องศา

รูปที่ 28 เงื่อนไขการตัดเลนส์ มุมคายเศษ 0 10 และ 20 องศา ความเร็วตัด 4,780 รอบต่อนาที อัตราป้อนตัด 1.5 มิลลิเมตรต่อวินาที และความลึกตัด 1.25 มิลลิเมตร

จากการทำการทดลองพบว่า เมื่อมุมคายเศษเลนส์มีค่าเพิ่มขึ้น เศษเลนส์ที่เกิดขึ้นจะมีความยาวต่อเนื่องมากตาม เนื่องจากมุมคายเศษเลนส์ที่มีค่าบวกจะลดแรงในการตัด ได้ดีกว่ามุมคายเศษเลนส์ที่เป็นกลางและลบ เศษเลนส์ที่เกิดขึ้นสามารถเคลื่อนตัวผ่านหน้ามีดตัดออกไปได้ดีกว่ามุมคายเศษที่มีค่าเป็นกลาง เศษโลหะที่เกิดขึ้นจึงมีความยาวต่อเนื่องมากกว่า

ตารางที่ 7 แสดงความยาวเฉลี่ยเศษเลนส์จากทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ

มุม กายเศษ	อัตรา การป้อน	ความเร็วรอบการตัด (รอบต่อนาที)				
		2,392	2,990	3,590	4,185	4,780
0°	1.0 mm/s	>65 mm.	>65 mm.	>65 mm.	>65 mm.	48 mm.
	1.5 mm/s	>65 mm.	>65 mm.	>65 mm.	>65 mm.	52 mm.
	2.0 mm/s	>65 mm.	>65 mm.	>65 mm.	>65 mm.	56 mm.
10°	1.0 mm/s	>65 mm.	>65 mm.	>65 mm.	>65 mm.	50 mm.
	1.5 mm/s	>65 mm.	>65 mm.	>65 mm.	>65 mm.	56 mm.
	2.0 mm/s	>65 mm.	>65 mm.	>65 mm.	>65 mm.	61 mm.
20°	1.0 mm/s	>65 mm.	>65 mm.	>65 mm.	>65 mm.	58 mm.
	1.5 mm/s	>65 mm.	>65 mm.	>65 mm.	>65 mm.	65 mm.
	2.0 mm/s	>65 mm.	>65 mm.	>65 mm.	>65 mm.	>65 mm.

การทดลองค่าของความยาวเฉลี่ยเศษเลนส์ที่ได้จากการตัด 2 ครั้ง ที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ ตามตารางที่ 7 ความเร็วรอบการตัดที่ส่งผลต่อการควบคุมเศษเลนส์ให้สั้นกว่า 65 มิลลิเมตร คือ ระดับ 4,780 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นระดับความเร็วเดียวของเครื่องที่ให้ค่าความยาวเศษเลนส์จากการทดลองน้อยกว่า 65 มิลลิเมตร มุมกายเศษที่ระดับ 0 องศา 10 องศา และ 20 องศา มีค่าความยาวของเศษเลนส์ที่สั้นกว่า 65 มิลลิเมตร ที่ระดับความเร็วการตัด 4,780 รอบต่อนาที อัตราการป้อนตัดที่ระดับ 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที 1.5 มิลลิเมตรต่อวินาที และ 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที มีค่าความยาวของเศษเลนส์ที่สั้นกว่า 65 มิลลิเมตร ที่ระดับความเร็วการตัด 4,780 รอบต่อนาที มุมกายเศษที่ 0 องศา 10 องศา และ 20 องศา ยกเว้นที่ระดับอัตราการป้อน 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที มีค่าความยาวของเศษเลนส์มากกว่า 65 มิลลิเมตร

จากผลการทดลองในตารางที่ 7 ความเร็วรอบการตัดที่ส่งผลต่อการควบคุมเศษเลนส์ให้สั้นกว่า 65 มิลลิเมตร คือระดับ 4,780 รอบต่อนาที เป็นระดับความเร็วเดียวของเครื่องที่ให้ค่าความยาวเศษเลนส์จากการทดลองน้อยกว่า 65 มิลลิเมตร จึงได้ทำการทดลองเพิ่มในแต่ละการทดลองอย่างละ 5 ครั้ง เพื่อหาค่าของปัจจัยการตัด มุมกายเศษและอัตราการป้อนว่ามีผลต่อความยาวของเศษหรือไม่

ตารางที่ 8 แสดงความยาวของเศษเลนส์ที่ความเร็วตัด 4,780 รอบต่อนาที

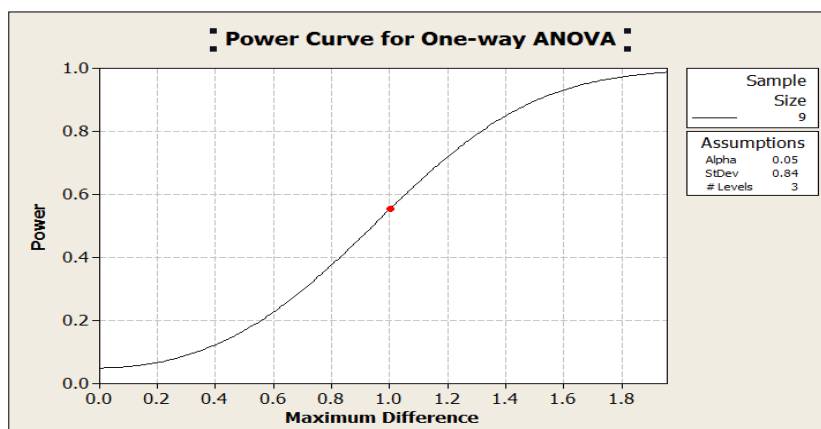
มุม คานพิเศษ	อัตรา การป้อน	ความเร็วรอบการตัด (รอบต่อนาที)				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
0°	1.0 mm/s	48 mm.	48 mm.	46 mm.	47 mm.	47 mm.
	1.5 mm/s	51 mm.	52 mm.	51 mm.	52 mm.	52 mm.
	2.0 mm/s	56 mm.	56 mm.	54 mm.	56 mm.	55 mm.
10°	1.0 mm/s	49 mm.	50 mm.	50 mm.	49 mm.	51 mm.
	1.5 mm/s	56 mm.	55 mm.	57 mm.	57 mm.	57 mm.
	2.0 mm/s	61 mm.	60 mm.	61 mm.	62 mm.	60 mm.
20°	1.0 mm/s	57 mm.	58 mm.	58 mm.	58 mm.	58 mm.
	1.5 mm/s	64 mm.	65 mm.	67 mm.	66 mm.	65 mm.
	2.0 mm/s	69 mm.	68 mm.	70 mm.	69 mm.	69 mm.

ปัจจัยมุมคานพิเศษ ออกแบบการทดลองโดยเลือกวิธี One way ANOVA โดยกำหนดระดับของมุมคานพิเศษ 3 ระดับ คือ 0 องศา 10 องศา และ 20 องศา โดยกำหนดปัจจัยคงที่คือ ความเร็วตัด 4,780 รอบต่อนาที และอัตราป้อนตัด 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที

ตารางที่ 9 แสดงปัจจัยการทดลองมุมคานพิเศษในการทำ One way ANOVA

ค่าที่เปลี่ยนแปลง	มุมคานพิเศษ ระดับ 0°
	ระดับ 10°
	ระดับ 20°
ค่าคงที่	อัตราป้อนตัด 2.0 mm/s
	ความเร็วตัด 4,780 rpm

ทำการคำนวณหาจำนวนครั้งที่จะต้องทำในแต่ละทดลอง โดย ค่าความแตกต่างสูงสุดของค่าจริงของประชากรที่ต้องการตรวจจับที่ยอมรับคือ 1 มิลลิเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานใช้ค่าที่ได้จากการทดลองตารางที่ 8 คือ 0.84 มิลลิเมตร การทดลองมุมคานพิเศษ 3 ระดับ และ Power Value = 0.5



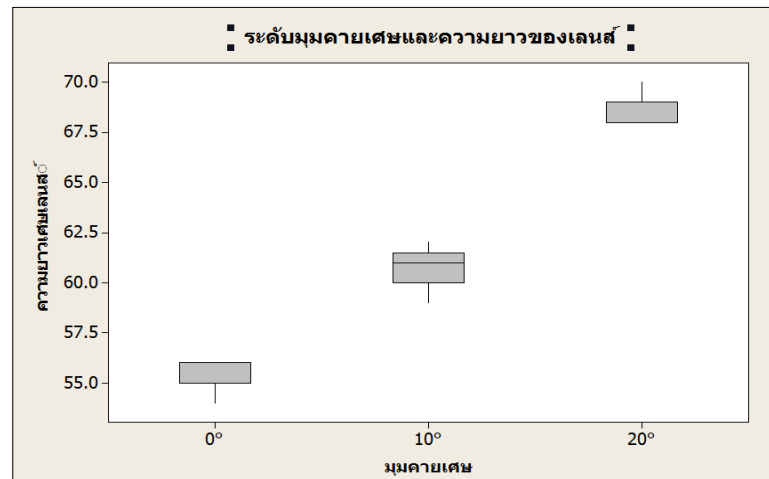
รูปที่ 29 ขนาดตัวอย่างสำหรับการทำ One way ANOVA ของมุมคายเศษ

จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab พบว่าจะต้องทำการทดลองในแต่ละระดับของมุมคายเศษอย่างละ 9 การทดลอง ซึ่งจากตารางที่ 8 ได้ทำการทดลองมุมคายเศษไปแล้วอย่างละ 5 การทดลอง ดังนั้นจึงทำเพิ่มอีกการทดลองละ 4 ครั้ง แล้วนำค่าไปวิเคราะห์ ANOVA ต่อไป ดังแสดงข้อมูลผลการทดลองในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลการทดลองเปลี่ยนระดับมุมคายเศษ

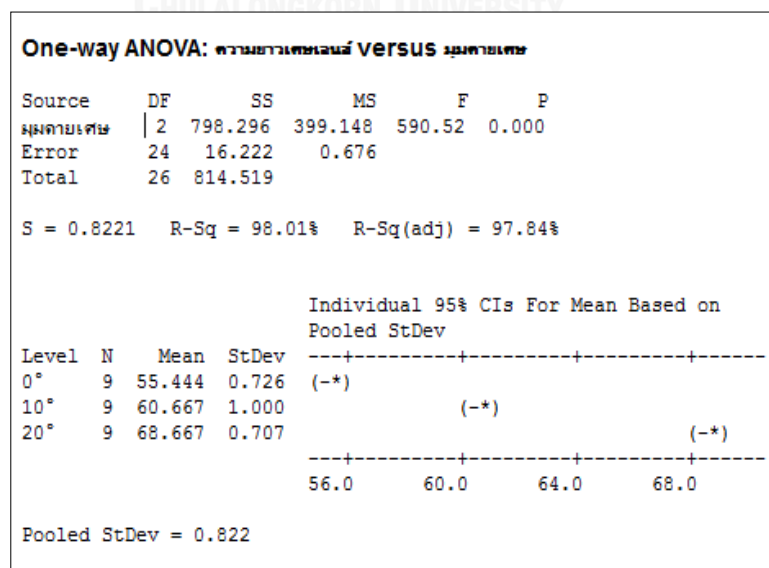
มุมคายเศษ	ความยาวเศษเลนส์	มุมคายเศษ	ความยาวเศษเลนส์
0°	56	10°	59
0°	56	10°	62
0°	54	10°	60
0°	56	10°	61
0°	55	20°	69
0°	56	20°	68
0°	56	20°	70
0°	55	20°	69
0°	55	20°	69
10°	61	20°	68
10°	60	20°	68
10°	61	20°	68
10°	62	20°	69
10°	60		

ความสัมพันธ์ระหว่างมุมคายเศษและความยาวเศษเลนส์จากรูปที่ 30 ความยาวของเศษเลนส์ที่มุมคายเศษระดับ 0° สั้นกว่า ระดับ 10° และ ระดับ 20° อีกทั้งมีความยาวที่แตกต่างกัน



รูปที่ 30 ความสัมพันธ์ระดับมุมคายเศษและความยาวเศษเลนส์

ความยาวของเศษเลนส์ จากการใช้ ANOVA วิเคราะห์ผล จะพบว่าค่า P-Value ของ ANOVA นั้นมีค่าน้อยกว่า 0.000 ซึ่งเป็นค่าน้อยกว่า 0.05 ที่ยอมรับ Hypothesis ของ ANOVA ที่บอกว่าค่าเฉลี่ยความยาวเศษเลนส์ของทุกมุมคายเศษมีค่าเท่ากัน เราจึงปฏิเสธว่า Hypothesis ของ ANOVA นั้นเป็นจริง ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ยความยาวเศษเลนส์ของระดับที่แตกต่างกันของมุมคายเศษมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ มุมคายเศษมีผลต่อความยาวของเศษเลนส์



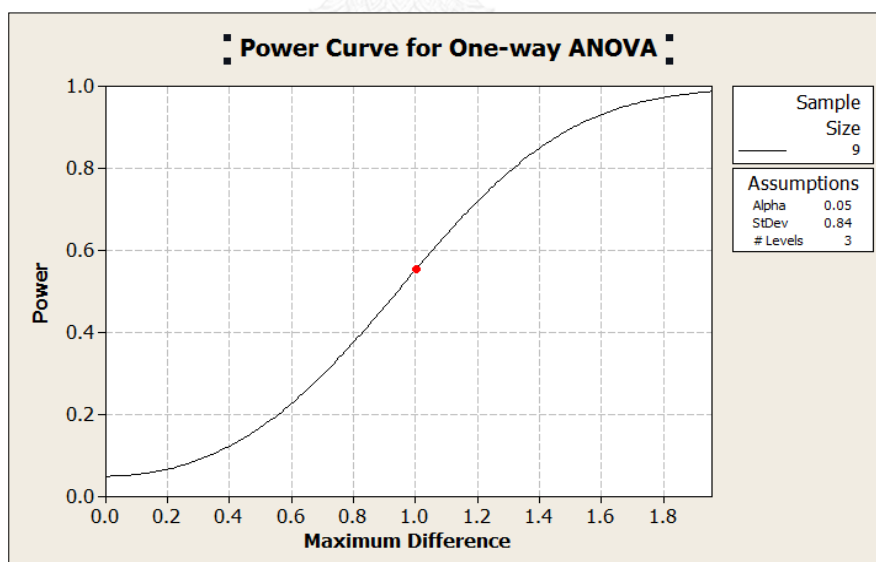
รูปที่ 31 ผลการวิเคราะห์มุมคายเศษด้วย ANOVA

ปัจจัยอัตราป้อนตัด ออกแบบการทดลองโดยเลือกวิธี One way ANOVA โดยกำหนดระดับของอัตราป้อนตัด 3 ระดับ คือ 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที 1.5 มิลลิเมตรต่อวินาที และ 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยกำหนดปัจจัยคงที่คือ ความเร็วตัด 4,780 รอบต่อนาที และมุมคายเศษ 10°

ตารางที่ 11 แสดงปัจจัยการทดลองอัตราป้อนตัด ในการทำ One way ANOVA

ค่าที่เปลี่ยนแปลง	อัตราป้อนตัด ระดับ 1.0 mm/s
	ระดับ 1.5 mm/s
	ระดับ 2.0 mm/s
ค่าคงที่	มุมคายเศษ 10°
	ความเร็วตัด 4,780 rpm

ทำการคำนวณหาจำนวนครั้งที่จะต้องทำในแต่ละทดลอง โดย ค่าความแตกต่างสูงสุดของค่าจริงของประชากรที่ต้องการตรวจจับที่ยอมรับคือ 1 มิลลิเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานใช้ค่าที่ได้จากการทดลองตารางที่ 4.3 คือ 0.84 มิลลิเมตร การทดลองมุมคายเศษ 3 ระดับ และ Power Value = 0.5



รูปที่ 32 ขนาดตัวอย่างสำหรับการทำ One way ANOVA ของอัตราป้อนตัด

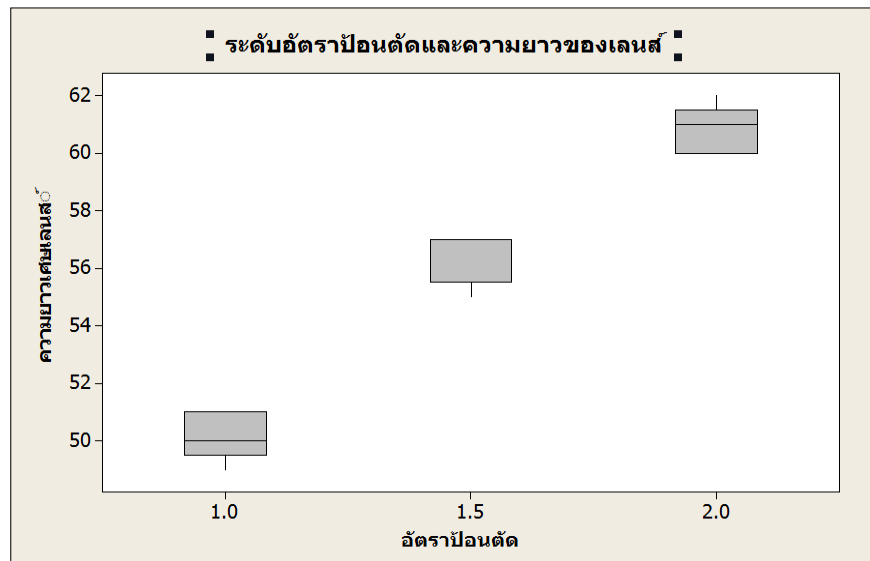
จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab พบว่าจะต้องทำการทดลองในแต่ละระดับของอัตราป้อนตัดอย่างละ 9 การทดลอง ซึ่งจากตารางที่ 8 ได้ทำการทดลองอัตราป้อนตัดไปแล้วอย่างละ 5 การทดลอง ดังนั้นจึงทำเพิ่มอีกการทดลองละ 4 ครั้ง แล้วนำค่าไปวิเคราะห์ ANOVA ต่อไป ดังแสดง

ข้อมูลผลการทดลองในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลการทดลองเปลี่ยนระดับอัตราป้อนตัด

อัตราป้อนตัด	ความยาวเศษเลนส์	อัตราป้อนตัด	ความยาวเศษเลนส์
1.0	49	1.5	55
1.0	50	1.5	57
1.0	50	1.5	57
1.0	49	1.5	57
1.0	51	2.0	61
1.0	50	2.0	61
1.0	50	2.0	62
1.0	51	2.0	60
1.0	51	2.0	61
1.5	55	2.0	60
1.5	56	2.0	61
1.5	57	2.0	62
1.5	57	2.0	60
1.5	56		

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราป้อนตัดและความยาวเศษเลนส์จากรูปที่ 33 ความยาวของเศษเลนส์ที่อัตราป้อนตัดระดับ 1.0 มิลลิเมตร สั้นกว่า ระดับ 1.5 มิลลิเมตร และ ระดับ 2.0 มิลลิเมตร อีกทั้งมีความยาวที่แตกต่างกัน



รูปที่ 33 ความสัมพันธ์ระดับอัตราป้อนตัดและความยาวเลนส์

ความยาวของเลนส์ จากการใช้ ANOVA วิเคราะห์ผล จะพบว่าค่า P-Value ของ ANOVA นั้นมีค่าน้อยกว่า 0.000 ซึ่งเป็นค่าน้อยกว่า 0.05 ที่ยอมรับ Hypothesis ของ ANOVA ที่บอกว่าค่าเฉลี่ยความยาวเลนส์ของทุกๆอัตราป้อนตัดมีค่าเท่ากัน เราจึงปฏิเสธว่า Hypothesis ของ ANOVA นั้นเป็นจริง ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ยความยาวเลนส์ของระดับที่แตกต่างกันของอัตราป้อนตัดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อัตราป้อนตัดมีผลต่อความยาวของเลนส์

One-way ANOVA: ความยาวเลนส์ versus อัตราป้อนตัด

Source	DF	SS	MS	F	P
อัตราป้อนตัด	2	526.889	263.444	400.73	0.000
Error	24	15.778	0.657		
Total	26	542.667			

S = 0.8108 R-Sq = 97.09% R-Sq(adj) = 96.85%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1.0	9	50.111	0.782	(-*-)
1.5	9	56.333	0.866	(-*-)
2.0	9	60.889	0.782	(-*-)

-----+-----+-----+-----+-----
51.0 54.0 57.0 60.0

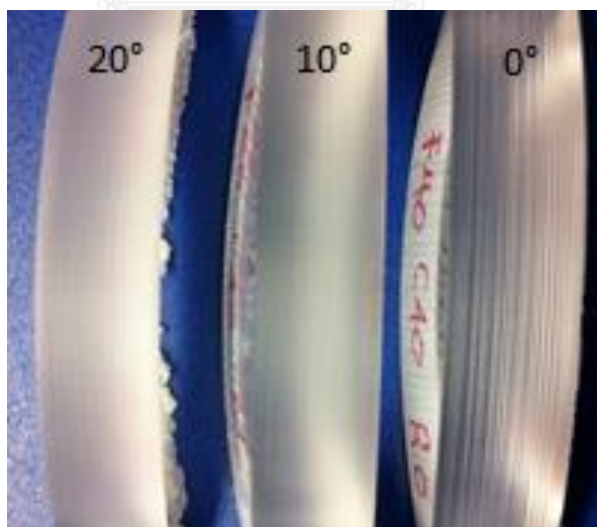
Pooled StDev = 0.811

รูปที่ 34 ผลการวิเคราะห์อัตราป้อนตัดด้วย ANOVA

ปัจจัยที่มีผลต่อความยาวของเศษเลนส์คือ ความเร็วตัด อัตราป้อนตัดเลนส์และมุมคายเศษ เมื่อพิจารณาความเร็วรอบการตัดที่ส่งผลต่อการควบคุมเศษเลนส์ให้น้อยกว่า 65 มิลลิเมตร คือระดับ 4,780 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นระดับความเร็วเดียวของเครื่องที่ให้ค่าความยาวเศษเลนส์จากการทดลองน้อยกว่า 65 มิลลิเมตร ดังนั้นที่ระดับ 4,780 รอบต่อนาที

อัตราป้อนตัดที่ส่งผลต่อความยาวเศษเลนส์และส่งผลต่ออัตราการผลิตด้วย เพื่อให้อัตราการผลิตสูงควรเลือกอัตราป้อนตัดที่ 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที เนื่องจากใช้เวลาการตัดที่สั้นกว่าอัตราป้อนตัดที่ 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที และ 1.5 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยอัตราการป้อนตัดที่ 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ให้อัตราการผลิต 2,161 ชิ้นต่อวัน ซึ่งให้อัตราการผลิตมากกว่าอัตราป้อนตัด 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาทีที่ 19.23% และ 1.5 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ 8.44%

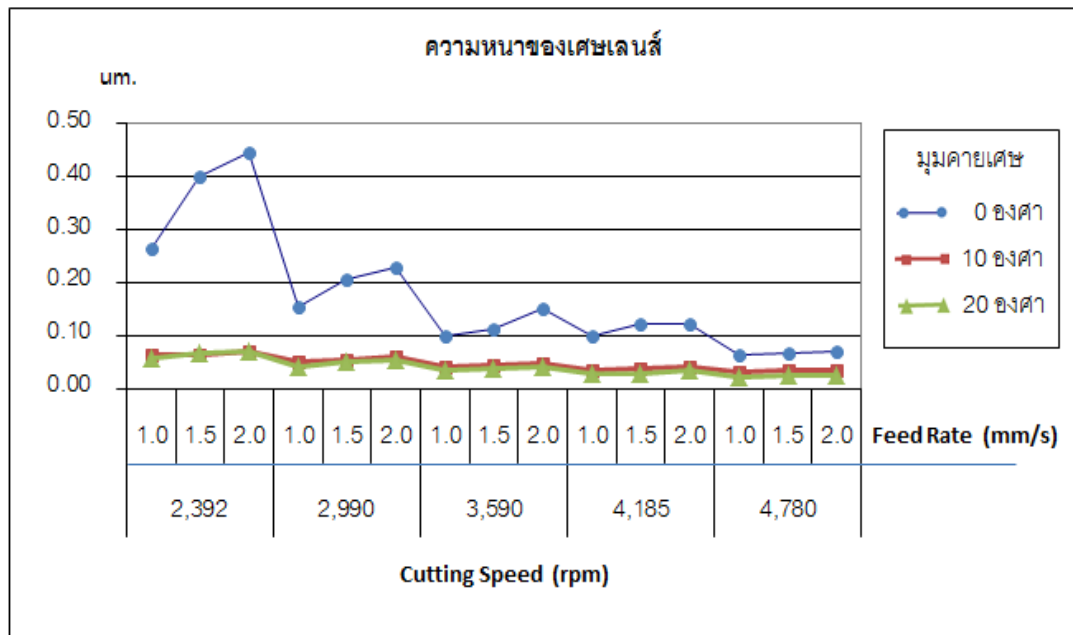
มุมคายเศษที่นำมาพิจารณาต่อคือ 0 องศาและ 10 องศา ส่วนมุมคายเศษที่ 20 องศาไม่นำมาพิจารณาเพราะอัตราการป้อนตัดที่ 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาทีของมุมนี้ให้ค่าความยาวของเศษเลนส์มากกว่า 65 มิลลิเมตร โดยมุมคายเศษที่เหมาะสมคือ 10 องศา เนื่องจากให้ผิวของขอบเลนส์เรียบกว่าที่ระดับความเร็วตัดและอัตราการป้อนตัดเดียวกัน ดังรูปที่ 4.3 อันเนื่องมุมคายเศษที่มากกว่าจะทำให้แรงในการตัดลดลง โดยผิวของเลนส์ที่เรียบทำให้ลดการฉีกขาดของกระดาษเช็คเลนส์อันเนื่องมาจากความคมของขอบเลนส์สัมผัสกับกระดาษเช็คเลนส์ในกระบวนการตรวจสอบเลนส์ซึ่งเป็นกระบวนการถัดจากกระบวนการตัดขอบเลนส์



รูปที่ 35 แสดงความเรียบผิวขอบเลนส์

ดังนั้นปัจจัยที่ให้ผลของความยาวเศษเลนส์ที่น้อยกว่า 65 มิลลิเมตร และให้อัตราการผลิตสูงสุดคือ ความเร็วตัดที่ 4,780 รอบต่อนาที อัตราป้อนตัด 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที และมุมคายเศษ 10°

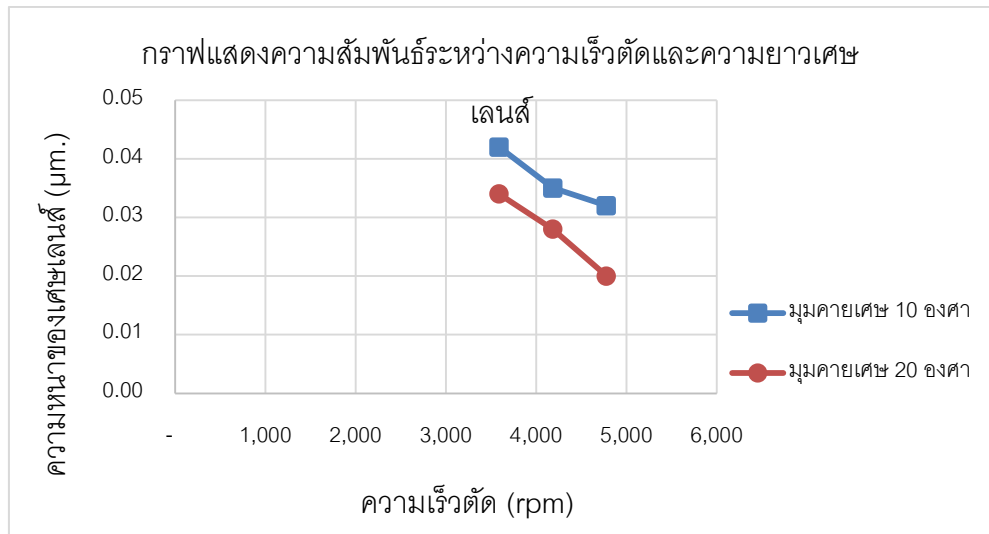
4.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเงื่อนไขการตัด



รูปที่ 36 ความหนาของเศษเลนส์

ความหนาของเศษเลนส์เมื่อวัดด้วยเครื่องมือวัดไมโครมิเตอร์ (Micrometer) ความหนาของเศษเลนส์จากรูปที่ 36 พบว่ามุมคายเศษที่ระดับ 0 องศา ความหนาของเศษเลนส์ที่ความเร็วตัดระดับ 2,392 รอบต่อนาที แตกต่างจากมุมคายเศษที่ระดับ 10 องศา และ 20 องศา อย่างชัดเจน เมื่อเพิ่มระดับมุมคายเศษความหนาของเลนส์จะลดลงเนื่องจากมุมคายเศษที่เป็นบวกมากกว่าจะมีแรงตัดน้อยกว่าส่งผลต่อขนาดของเศษเลนส์ เมื่อเปรียบเทียบรูปเศษเลนส์จากตารางที่ 4.1 พบว่าที่มุมคายเศษระดับ 0 องศา ซึ่งมีขนาดเศษเลนส์หนากว่ามุมคายเศษระดับ 10 องศา และ 20 องศา ความยาวของเศษเลนส์จะสั้นกว่าด้วย เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับความเร็วตัดและระดับอัตราการป้อนตัดเดียวกัน

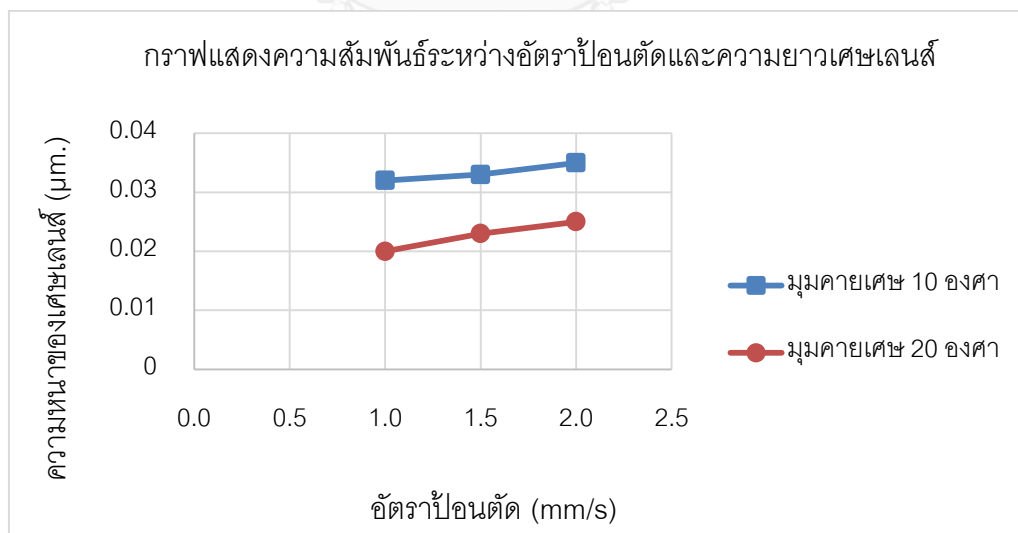
4.1.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตัดและความหนาของเศษเลนส์



รูปที่ 37 เงื่อนไขการตัดเลนส์ ความเร็วตัด 3,590 4,185 และ 4,780 รอบต่อนาที อัตราป้อนตัด 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที มุมคายเศษ 10 องศา และความลึกตัด 1.25 มิลลิเมตร

จากการทดลองพบว่าเมื่อความเร็วตัดเพิ่มสูงมากขึ้น ทำให้เลนส์มีพื้นที่ที่ถูกตัดด้วยใบมีดตัดต่อรอบน้อยลงส่งผลให้เศษเลนส์ที่ไหลออกมามีขนาดความหนาลดลง

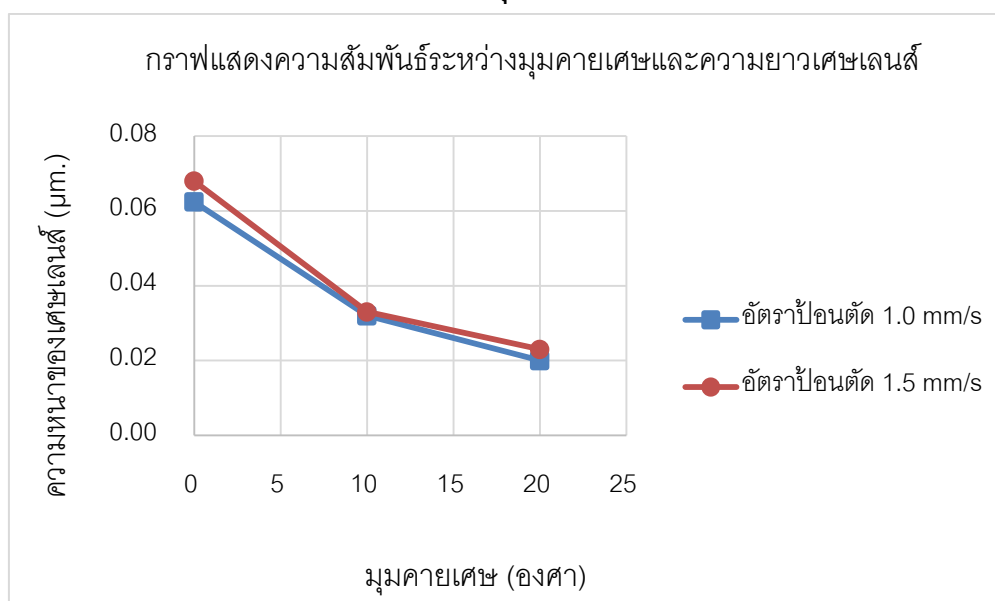
4.1.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราป้อนตัดและความหนาของเศษเลนส์



รูปที่ 38 เงื่อนไขการตัดเลนส์ อัตราป้อนตัด 1.0 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วตัด 3,590 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 0 องศา และความลึกตัด 1.25 มิลลิเมตร

จากการทดลองพบว่าเมื่ออัตราป้อนตัดเพิ่มขึ้น ทำให้เลนส์มีพื้นที่ที่ถูกตัดด้วยใบมีดตัดต่อรอบเพิ่มขึ้นส่งผลให้เศษเลนส์ที่ไหลออกมามีขนาดความหนาเพิ่มขึ้น

4.1.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมคายเศษและความหนาของเศษเลนส์



รูปที่ 39 เงื่อนไขการตัดเลนส์ มุมคายเศษ 0 10 และ 20 องศา ความเร็วตัด 4,780 รอบต่อนาที อัตราป้อนตัด 1.5 มิลลิเมตรต่อวินาที และความลึกตัด 1.25 มิลลิเมตร

จากการทดลองพบว่าเมื่อมุมคายเศษเพิ่มขึ้น จะทำให้เศษโลหะเคลื่อนตัวออกได้ง่าย การต้านการเคลื่อนที่ของมีดตัดน้อย ที่มุมเป็นบวกมากกว่าจะมีแรงต้านการไหลน้อยกว่า ส่งผลให้เศษเลนส์ที่มีความเหนียวและยืดหยุ่นได้มีความหนาลดลงเมื่อเพิ่มมุมคายเศษเลนส์

4.1.3 การตรวจสอบเลนส์หลังจากผ่านการตัดขอบเลนส์

ผลการตรวจสอบเลนส์หลังจากผ่านการตัดขอบเลนส์ตามมาตรฐานการยอมรับรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์ของบริษัทที่ทำการศึกษ เลนส์ที่ผ่านการเจียรขอบเลนส์แล้วจะถูกนำไปตรวจสอบของเสียครั้งละ 12 ชิ้น หรือ 12 การทดลอง ทั้งหมด 45 การทดลอง โดยพนักงานตรวจสอบเลนส์ของบริษัทที่ทำการศึกษตามรูปที่ 4.15



รูปที่ 40 แสดงการตรวจสอบของเสียด้วยสายตาหลังการตัดขอบเลนส์

จากการตรวจสอบของเสียหลังการตัดขอบเลนส์ทั้งหมด 45 การทดลอง พบของเสียทั้งหมด 3 การทดลองคือ การทดลองที่ 2 ที่ระดับปัจจัยของมุมคายเศษ 20 องศา อัตราการป้อนตัด 1.5 มิลลิเมตรต่อวินาที และความเร็วตัด 2,392 รอบต่อนาที พบของเสียชนิดรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์จากเศษเลนส์ (Line Scrape) เกิดจากในขณะที่ทำการตัดขอบเลนส์เศษเลนส์พันรอบตัวจับเลนส์ (Holder) และตัวเลนส์ การทดลองที่ 29 ที่ระดับปัจจัยของมุมคายเศษ 0 องศา อัตราการป้อนตัด 1.5 มิลลิเมตรต่อวินาที และความเร็วตัด 2,392 รอบต่อนาที พบของเสียชนิดเลนส์นอกศูนย์กลาง (Out Center) เกิดจากไปมีดกดกับผิวเลนส์อย่างรวดเร็วในขณะที่เลนส์หมุนในความเร็วรอบต่ำทำและมุมคายเศษที่ระดับ 0 องศา ทำให้เกิดแรงในการตัดมากส่งผลให้เลนส์เลื่อนออกจากตัวจับเลนส์ และการทดลองที่ 35 ที่ระดับปัจจัยของ มุมคายเศษ 0 องศา อัตราการป้อนตัด 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที และความเร็วตัด 2,392 รอบต่อนาที พบของเสียชนิดเลนส์นอกศูนย์กลาง (Out Center) เกิดจากสาเหตุเดียวกันกับการทดลองที่ 29 โดยปัจจัยความเร็วตัดที่ระดับ 2,392 รอบต่อนาที และปัจจัยมุมคายเศษที่ระดับ 0 องศา ส่งผลให้เกิดของเสียชนิดเลนส์นอกศูนย์กลาง (Out Center) ได้เนื่องจากแรงตัดที่มากทำให้ตัวจับเลนส์ซึ่งมีซิลิโคนหุ้มอยู่เคลื่อนออกจากศูนย์กลางของตัวเลนส์

4.2 ทำการทดลองเงื่อนไขที่เหมาะสมในการตัดขอบเลนส์

หลังจากได้ระดับของแต่ละปัจจัยที่เหมาะสมมีค่าความยาวของเศษเลนส์น้อยกว่า 65 มิลลิเมตร ซึ่งไม่ทำให้เกิดรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์และให้อัตราการผลิตสูงสุด คือ จากนั้นทำการทดลองอีกครั้ง เพื่อยืนยันผลของระดับปัจจัยที่เหมาะสมไปทดลองใช้จริง

ตารางที่ 13 ปัจจัยที่ใช้ในการยืนยันผลการทดลอง

ปัจจัย	ค่าของปัจจัย
ความเร็วรอบการตัด	4,780 รอบต่อนาที
อัตราป้อนตัด	2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที
มุมคายเศษ	10 องศา

หาจำนวนตัวอย่างเพื่อหาความยาวของเศษเลนส์ที่สั้นที่สุดที่พันรอบแกนตัวจับเลนส์ซึ่งส่งผลให้เกิดรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์

$$n = \frac{z_{\alpha/2}^2 \sigma^2}{e^2} \quad (1.1)$$

n = ขนาดตัวอย่าง

σ = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร

$z_{\alpha/2}$ = ค่ามาตรฐานใต้โค้งปกติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($z_{\alpha/2}$ หรือ $z_{0.025} = 1.960$)

e = ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับให้เกิดได้

จากการวัดความยาวเศษเลนส์โดยกำหนดค่าความเร็วตัดที่ 4,780 รอบต่อนาที อัตราป้อนตัดที่ 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที และมุมคายเศษที่ 10° ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 0.83 กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้คือ 0.1 แทนที่ในสมการที่ 1.1

$$n = 265 \text{ ตัวอย่าง}$$

ตรวจสอบของเสียที่เกิดขึ้นว่าพบของเสียชนิดรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์จากเศษเลนส์กี่เปอร์เซ็นต์ จากการหาขนาดการทดลองคือ 265 ครั้ง แต่ทำการทดลองเป็นชุด ชุดละ 12 ชิ้น ตามลือตการผลิตทั้งหมด 23 ชุด รวมทั้งหมด 276 ครั้ง

ตารางที่ 14 ผลยืนยันการทดลอง

ครั้งที่	ผลิจจริง (ชิ้น)	พบรอยขีดข่วน จาก เศษเลนส์ (ชิ้น)	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ รอย ขีดข่วนจากเศษเลนส์
1	12	0	0.00%
2	12	0	0.00%
3	12	0	0.00%
4	12	0	0.00%
5	12	0	0.00%
6	12	0	0.00%
7	12	0	0.00%
8	12	0	0.00%
9	12	0	0.00%
10	12	0	0.00%
11	12	0	0.00%
12	12	0	0.00%
13	12	0	0.00%
14	12	0	0.00%
15	12	0	0.00%
16	12	0	0.00%
17	12	0	0.00%
18	12	0	0.00%
19	12	0	0.00%
20	12	0	0.00%
21	12	0	0.00%
22	12	0	0.00%
23	12	0	0.00%

จากการทดลองอีกครั้งเพื่อยืนยันผลของระดับปัจจัยที่เหมาะสมทดลองใช้จริงและตรวจสอบของเสียที่เกิดขึ้นไม่พบของเสียชนิดรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์จากเศษเลนส์หรือรอยขีดข่วนเป็น 0 เปอร์เซนต์

ดังนั้นเมื่อพิจารณาวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ กล่าวคือเพื่อศึกษาเงื่อนไขการตัดและควบคุมความยาวของเศษเลนส์ที่ไม่ส่งผลต่อการเกิดรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์ และหาเงื่อนไขการตัดที่ให้อัตราการผลิตสูงโดยไม่เกิดรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์จากเศษเลนส์ พบว่าปัจจัยการตัดเลนส์นี้เหมาะสมเนื่องจากไม่พบรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์จากเศษเลนส์ในการทำงานจริง ดังนั้นจึงได้กำหนดมาตรฐานปัจจัยเครื่องตัดขอบเลนส์สำหรับเลนส์ทนแรงกระแทกสูง เลนส์ชนิดกึ่งสำเร็จรูป (Semi Finish Lens) เส้นผ่านศูนย์กลาง 77.50 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบการตัด 4780 รอบต่อนาที อัตราป้อนตัด 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที และมุมคายเศษ 10 องศา



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

วัตถุประสงค์ของงานนี้วิจัย คือ เพื่อศึกษาเงื่อนไขการตัดและควบคุมความยาวของเศษเลนส์ที่ไม่ส่งผลต่อการเกิดรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์ และเพื่อหาเงื่อนไขการตัดที่ให้อัตราการผลิตสูงโดยไม่เกิดรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์จากเศษเลนส์

5.1 สรุปผลการวิจัย

เลนส์พลาสติกทนแรงกระแทกสูงนั้นถึงแม้จะมีคุณสมบัติที่เด่นทางด้านความทนทาน การทนแรงกระแทกได้สูงกว่าเลนส์พลาสติกทั่วไป มีความเหนียวทนทานต่อการแตกหักแต่มีผิวเลนส์ที่อ่อนสามารถเกิดรอยขีดข่วนได้ง่ายเมื่อยังไม่ผ่านกระบวนการเคลือบผิวเลนส์ ดังนั้นในระหว่างกระบวนการผลิตก่อนเข้าสู่กระบวนการเคลือบผิวเลนส์จึงพบรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์ ในกระบวนการตัดขอบเลนส์ก่อนเข้าสู่กระบวนการเคลือบผิวพบรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์จากเศษเลนส์มากที่สุด พบว่าเศษเลนส์ซึ่งมีความยาวตั้งแต่ 65 มิลลิเมตรขึ้นไปสามารถทำให้เกิดของเสียชนิดนี้ โดยจะพันรอบๆ เลนส์และตัวจับเลนส์ในขณะตัดขอบเลนส์ ปัจจัยของเครื่องตัดขอบเลนส์ที่สามารถปรับค่าได้คือ ความเร็วรอบการตัด อัตราป้อนตัดและมุมคายเศษ จากการทดลองที่ระดับปัจจัยต่างๆแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ เพื่อหาระดับปัจจัยที่ส่งผลต่อความยาวของเศษเลนส์น้อยกว่า 65 มิลลิเมตร และให้อัตราการผลิตสูงสุด พบว่าที่ความเร็วรอบการตัด 4780 รอบต่อนาที อัตราป้อนตัด 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที และมุมคายเศษ 10 องศา ในการทดลองกับเลนส์เส้นผ่านศูนย์กลาง 77.50 มิลลิเมตร ไม่พบรอยขีดข่วนบนผิวเลนส์จากเศษเลนส์ในการทดลองซ้ำกับเลนส์ชนิดเดียวกัน 276 ชิ้น

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

ความยาวของเศษเลนส์ที่ได้จากกระบวนการตัดขอบเลนส์ที่ความเร็วตัดสูง แต่อัตราการป้อนตัดและมุมคายเศษต่ำ เศษเลนส์จะมีความยาวสั้นลง เนื่องจากคุณสมบัติของเลนส์ทนแรงกระแทกสูงมีความแข็งและเหนียวเมื่อค่าปัจจัยของความเร็วตัดสูง มุมคายเศษต่ำจะเกิดความร้อน สูงกว่าระดับปัจจัยทั่วไปช่วงแรกจะเกิดการเสียรูปแบบยืดหยุ่นตามด้วยการเกิดการจำนนและบริเวณที่มีการเสียรูปแบบถาวรก่อนที่จะเกิดการแตกหัก [4] และเมื่ออัตราป้อนต่ำเศษเลนส์ที่ออกมาจะบางกว่าอัตราป้อนที่สูงทำให้เกิดการฉีกขาดของเศษเลนส์ได้ง่าย

5.3 ข้อจำกัดและอุปสรรคในงานวิจัย

1. เครื่องตัดเลนส์ที่ใช้ทดลองต้องตัดเลนส์ในกระบวนการปกติในเวลาดำเนินการ การทำการทดลองไม่สามารถทำได้หลายทดลองช่วงเวลาเดียวกันจึงต้องใช้เวลาในการทดลองนานจนครบทุกการทดลอง
2. การเตรียมเลนส์เพื่อมาทดลองต้องใช้ความระมัดระวังในการเตรียมเนื่องจากผิวเลนส์ยังไม่ผ่านกระบวนการเคลือบผิวเกิดรอยขีดข่วนบนเลนส์ได้ง่าย
3. เนื่องจากใบมีดตัดมีราคาแพง การทดลองนี้จึงไม่ได้เลือกปัจจัยด้านชนิดของใบมีดตัดขนาดของรัศมีงูมกัตต์มาทำการทดลอง การทดลองนี้เลือกใช้ใบมีดตัดเดิมบริษัท

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเลนส์ 77.75 มิลลิเมตร ที่นำมาทดสอบมีสัดส่วนเป็น 70% ของไลน์การผลิตนี้ ควรมีการขยายผลการทดลองกับเลนส์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอื่นๆ ด้วยเพื่อให้ได้ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม
2. ควรมีการศึกษาความสัมพันธ์ของระดับปัจจัยที่ทำการทดลองกับการสึกหรอของใบมีดตัด เนื่องจากระดับปัจจัยของความเร็วตัดและอัตราการป้อนตัดที่เหมาะสมเป็นระดับสูงสุด

รายการอ้างอิง

- [1] Harrison M. Wadsworth, Kenneth S. Stephens, and A. Blanton Godfrey, *Modern Methods for Quality Control and Improvement*. America: John Willey & Sons, Inc., 2001.
- [2] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, ระบบการควบคุมคุณภาพที่หน้างานคิวซีเซอร์เคิล (*QC Circle*). กรุงเทพฯ: เทคนิคคอลแอฟโพรชเคาน์เซลลิ่งแอนด์เทรนนิ่ง, 2543.
- [3] สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ, วิศวกรรมการผลิต ขั้นสูง. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.
- [4] อรรถพล ตะระะ. (2551). คุณสมบัติและการทดสอบวัสดุ.
- [5] วิบุญ ตั้งโรตมณกุล. (2553). เทคโนโลยีการตัดเฉือนวัสดุ:กลไกการตัดวัสดุ. Available: <http://www.viboon.org/2010/02/14/%E0%B9%80%E0%B8%97%E0%B8%84%E0%B9%82%E0%B8%99%E0%B9%82%E0%B8%A5%E0%B8%A2%E0%B8%B5%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%95%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B9%80%E0%B8%89%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B8%A7%E0%B8%B1-3>
- [6] ปารเมศ ชูติมา, การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- [7] ชญานี หวังประดิษฐ์, "การลดความคลาดเคลื่อนในกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตา," วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2551.
- [8] สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์, จักรนรินทร์ ฉัตรทอง, and วิทยา ศิริคุณ, "การศึกษาสภาวะการตัดที่เหมาะสมในการกลึงปาดหน้าพลาสติกไนลอนหล่อด้วยเครื่องกลึงอัตโนมัติ," presented at the การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี 2551, 2551.
- [9] อิสรา ธีระวัฒน์สกุล and สมพร ตีบขัต, "การหาสภาวะการทำงานของเครื่องกลึงซีเอ็นซีในการสร้างต้นแบบที่ทำจากพลาสติก," วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552.
- [10] ธีรพร เสนพพรหม, "การลดแม่แบบแก้วเสียในกระบวนการผลิตเลนส์พลาสติกโดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา," วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2550.

- [11] นพวรรณ พรพิมาน and สุวิษกรณ์ วิชกุล, "การลดของเสียในโรงงานผลิตถุงพลาสติกด้วยการออกแบบการทดลอง," *ปริญญามหาบัณฑิต, วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2555.*
- [12] Tuncay Erzurumlu and Hasan Oktem, "Comparison of response surface model with neural network in determining the surface quality of moulded parts," *Materials and Design*, vol. 28, pp. 459-465, 2007.
- [13] ศิริลักษณ์ พานโคกสูง, "การกำหนดสภาวะกระบวนการฉีดขึ้นรูปและคุณสมบัติที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ชีวภาพผสมแป้งข้าว แกลบข้าว พอลิเอทิลีน โดยการออกแบบการทดลอง," *ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2552.*
- [14] ณัฐกานต์ รสดี and สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร, "การพัฒนาประสิทธิภาพกระบวนการขัดเลนส์ด้วยการออกแบบการทดลองกรณีศึกษาโรงงานขัดและประกอบเลนส์," presented at the การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 13, ขอนแก่น, 2555.
- [15] J.-D Kim and O.-B. Kweu, "A chip-breaking system for mild steel in turning," *Internation Journal of Machine Tool and Manufactur*, vol. 37, pp. 607-617, 1997.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลของเสียที่ตรวจพบที่เงื่อนไขของการตัดต่างๆ

และความยาวเศษเส้นสั้นที่สุดที่วัดได้จากการพันรอบตัวจับเลนส์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลการตรวจพบของเสียจากการทดลองในเงื่อนไขการตัดแบบต่างๆ

ลำดับการทดลอง	มุมคายเศษ (องศา)	อัตราการป้อน (mm/s)	ความเร็วตัด (rpm)	ของเสีย	ชนิดของเสีย
1	0	1.0	2,392	0	
2	0	1.0	2,990	0	
3	0	1.0	3,590	0	
4	0	1.0	4,185	0	
5	0	1.0	4,780	0	
6	0	1.5	2392	1	Out Center
7	0	1.5	2990	0	
8	0	1.5	3590	0	
9	0	1.5	4185	0	
10	0	1.5	4780	0	
11	0	2.0	2392	1	Out Center
12	0	2.0	2990	0	
13	0	2.0	3590	0	
14	0	2.0	4185	0	
15	0	2.0	4780	0	
16	10	1.0	2,392	0	
17	10	1.0	2,990	0	
18	10	1.0	3,590	0	
19	10	1.0	4,185	0	
20	10	1.0	4,780	0	
21	10	1.5	2,392	0	
22	10	1.5	2,990	0	
23	10	1.5	3,590	0	

ผลการตรวจพบของเสียจากการทดลองในเงื่อนไขการตัดแบบต่างๆ

ลำดับการทดลอง	มุมคายเศษ (องศา)	อัตราการป้อน (mm/s)	ความเร็วตัด (rpm)	ของเสีย	ชนิดของเสีย
24	10	1.5	4,185	0	
25	10	1.5	4,780	0	
26	10	2.0	2,392	0	
27	10	2.0	2,990	0	
28	10	2.0	3,590	0	
29	10	2.0	4,185	0	
30	10	2.0	4,780	0	
31	20	1.0	2,392	0	
32	20	1.0	2,990	0	
33	20	1.0	3,590	0	
34	20	1.0	4,185	0	
35	20	1.0	4,780	0	
36	20	1.5	2,392	1	Line Scrape
37	20	1.5	2,990	0	
38	20	1.5	3,590	0	
39	20	1.5	4,185	0	
40	20	1.5	4,780	0	
41	20	2.0	2,392	0	
42	20	2.0	2,990	0	
43	20	2.0	3,590	0	
44	20	2.0	4,185	0	
45	20	2.0	4,780	0	

ความยาวเศษเลนส์สั้นที่สุดที่วัดได้จากการพันรอบตัวจับเลนส์

ลำดับที่	ความยาว (mm.)	ลำดับที่	ความยาว (mm.)	ลำดับที่	ความยาว (mm.)
1	96	25	84	49	242
2	91	26	297	50	67
3	112	27	243	51	246
4	141	28	132	52	107
5	191	29	116	53	231
6	187	30	202	54	180
7	250	31	105	55	115
8	88	32	298	56	118
9	267	33	294	57	91
10	76	34	193	58	98
11	128	35	245	59	203
12	>300	36	83	60	103
13	202	37	221	61	193
14	152	38	>300	62	176
15	87	39	77	63	204
16	248	40	80	64	71
17	297	41	194	65	281
18	163	42	288	66	108
19	155	43	115	67	157
20	89	44	199	68	297
21	267	45	185	69	215
22	101	46	227	70	292
23	83	47	78	71	219
24	220	48	182	72	68

ความยาวเศษเลนส์สั้นที่สุดที่วัดได้จากการพันรอบตัวจับเลนส์

ลำดับ ที่	ความ ยาว (mm.)	ลำดับ ที่	ความ ยาว (mm.)	ลำดับ ที่	ความ ยาว (mm.)
145	108	169	160	193	100
146	204	170	278	194	129
147	295	171	88	195	132
148	124	172	103	196	244
149	71	173	268	197	133
150	230	174	77	198	142
151	205	175	271	199	209
152	197	176	175	200	126
153	204	177	224	201	216
154	296	178	132	202	86
155	148	179	295	203	205
156	95	180	>300	204	110
157	235	181	274	205	196
158	>300	182	106	206	207
159	134	183	101	207	93
160	286	184	140	208	148
161	76	185	250	209	271
162	216	186	128	210	275
163	121	187	>300	211	108
164	137	188	258	212	145
165	142	189	107	213	167
166	214	190	77	214	225
167	250	191	263	215	166
168	137	192	227	216	89

ความยาวเศษเลนส์สั้นที่สุดที่วัดได้จากการพันรอบตัวจับเลนส์

ลำดับที่	ความยาว (mm.)	ลำดับที่	ความยาว (mm.)	ลำดับที่	ความยาว (mm.)
73	149	97	237	121	107
74	108	98	110	122	82
75	142	99	294	123	204
76	229	100	174	124	155
77	228	101	126	125	210
78	89	102	70	126	243
79	238	103	253	127	246
80	240	104	196	128	173
81	213	105	238	129	111
82	269	106	130	130	189
83	234	107	232	131	174
84	93	108	160	132	215
85	211	109	124	133	194
86	103	110	139	134	98
87	86	111	268	135	285
88	248	112	107	136	223
89	97	113	105	137	230
90	111	114	177	138	137
91	234	115	235	139	290
92	207	116	103	140	295
93	68	117	263	141	230
94	65	118	274	142	157
95	220	119	98	143	149
96	153	120	171	144	240

ความยาวเศษเลนส์สั้นที่สุดที่วัดได้จากการพันรอบตัวจับเลนส์

ลำดับที่	ความยาว (mm.)	ลำดับที่	ความยาว (mm.)	ลำดับที่	ความยาว (mm.)
217	132	234	179	251	110
218	95	235	185	252	158
219	96	236	131	253	83
220	191	237	259	254	150
221	72	238	160	255	232
222	259	239	299	256	93
223	88	240	206	257	97
224	140	241	87	258	219
225	213	242	87	259	181
226	169	243	250	260	222
227	266	244	191	261	285
228	146	245	282	262	75
229	202	246	218	263	266
230	164	247	256	264	191
231	175	248	175	265	163
232	135	249	181		
233	234	250	113		

ความหนาของเศษเลนส์ที่การทดลองต่างๆ

อัตราป้อน ตัด	ความเร็ว ตัด	มุมคาย เศษ	ชั้นงานที่ 1			ชั้นงานที่ 2		
			ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่
			1	2	3	1	2	3
1.0	2,392	0°	0.32	0.25	0.22	0.33	0.22	0.25
1.5	2392	0°	0.28	0.28	0.43	0.53	0.44	0.43
2.0	2392	0°	0.33	0.29	0.42	0.63	0.64	0.37
1.0	2,990	0°	0.14	0.18	0.13	0.16	0.17	0.15
1.5	2,990	0°	0.33	0.20	0.17	0.14	0.21	0.19
2.0	2,990	0°	0.11	0.23	0.16	0.27	0.42	0.19
1.0	3,590	0°	0.07	0.10	0.11	0.09	0.10	0.13
1.5	3,590	0°	0.14	0.09	0.14	0.09	0.09	0.14
2.0	3,590	0°	0.15	0.15	0.17	0.15	0.13	0.15
1.0	4,185	0°	0.11	0.17	0.10	0.10	0.14	0.12
1.5	4,185	0°	0.14	0.13	0.14	0.16	0.17	0.12
2.0	4,185	0°	0.16	0.11	0.17	0.09	0.12	0.09
1.0	4,780	0°	0.06	0.07	0.06	0.06	0.07	0.05
1.5	4,780	0°	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
2.0	4,780	0°	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07
1.0	2392	10°	0.06	0.06	0.07	0.06	0.08	0.05
1.5	2392	10°	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07
2.0	2392	10°	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
1.0	2,990	10°	0.04	0.05	0.06	0.05	0.04	0.04
1.5	2,990	10°	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	0.05
2.0	2,990	10°	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06

ความหนาของเศษเลนส์ที่การทดลองต่างๆ

อัตราป้อน ตัด	ความเร็ว ตัด	มุมคาย เศษ	ชั้นงานที่ 1			ชั้นงานที่ 2		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1.0	3,590	10°	0.04	0.04	0.04	0.07	0.05	0.04
1.5	3,590	10°	0.08	0.09	0.11	0.12	0.10	0.05
2.0	3,590	10°	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04
1.0	4,185	10°	0.05	0.04	0.05	0.03	0.03	0.05
1.5	4,185	10°	0.04	0.03	0.04	0.08	0.03	0.07
2.0	4,185	10°	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03
1.0	4,780	10°	0.08	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04
1.5	4,780	10°	0.03	0.05	0.05	0.06	0.05	0.02
2.0	4,780	10°	0.05	0.06	0.06	0.03	0.05	0.06
1.0	2392	20°	0.05	0.04	0.04	0.06	0.08	0.07
1.5	2392	20°	0.07	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07
2.0	2392	20°	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07
1.0	2,990	20°	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04
1.5	2,990	20°	0.05	0.04	0.06	0.05	0.05	0.05
2.0	2,990	20°	0.05	0.06	0.05	0.06	0.06	0.06
1.0	3,590	20°	0.04	0.08	0.05	0.05	0.03	0.04
1.5	3,590	20°	0.03	0.02	0.05	0.04	0.04	0.03
2.0	3,590	20°	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04
1.0	4,185	20°	0.05	0.05	0.04	0.06	0.04	0.04
1.5	4,185	20°	0.03	0.02	0.03	0.05	0.04	0.04
2.0	4,185	20°	0.03	0.06	0.04	0.04	0.03	0.04
1.0	4,780	20°	0.05	0.04	0.04	0.03	0.04	0.05
1.5	4,780	20°	0.03	0.03	0.03	0.05	0.03	0.05
2.0	4,780	20°	0.03	0.05	0.05	0.06	0.04	0.07



อัตราป้อนตัด 1.0 ความเร็วตัด 2,392 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 0 องศา



อัตราป้อนตัด 1.0 ความเร็วตัด 2,392 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 10 องศา



อัตราป้อนตัด 1.0 ความเร็วตัด 2,392 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 20 องศา



อัตราป้อนตัด 1.0 ความเร็วตัด 2,990 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 0 องศา



อัตราป้อนตัด 1.0 ความเร็วตัด 2,990 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 10 องศา



อัตราป้อนตัด 1.0 ความเร็วตัด 2,990 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 20 องศา



อัตราป้อนตัด 1.0 ความเร็วตัด 3,590 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 0 องศา



อัตราป้อนตัด 1.0 ความเร็วตัด 3,590 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 10 องศา



อัตราป้อนตัด 1.0 ความเร็วตัด 3,590 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 20 องศา



อัตราป้อนตัด 1.0 ความเร็วตัด 4,185 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 0 องศา



อัตราป้อนตัด 1.0 ความเร็วตัด 4,185 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 10 องศา



อัตราป้อนตัด 1.0 ความเร็วตัด 4,185 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 20 องศา



อัตราป้อนตัด 1.0 ความเร็วตัด 4,780 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 0 องศา



อัตราป้อนตัด 1.0 ความเร็วตัด 4,780 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 10 องศา



อัตราป้อนตัด 1.0 ความเร็วตัด 4,780 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 20 องศา



อัตราป้อนตัด 1.5 ความเร็วตัด 2,392 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 0 องศา



อัตราป้อนตัด 1.5 ความเร็วตัด 2,392 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 10 องศา



อัตราป้อนตัด 1.5 ความเร็วตัด 2,392 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 20 องศา



อัตราป้อนตัด 1.5 ความเร็วตัด 2,990 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 0 องศา



อัตราป้อนตัด 1.5 ความเร็วตัด 2,990 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 10 องศา



อัตราป้อนตัด 1.5 ความเร็วตัด 2,990 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 20 องศา



อัตราป้อนตัด 1.5 ความเร็วตัด 3,590 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 0 องศา



อัตราป้อนตัด 1.5 ความเร็วตัด 3,590 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 10 องศา



อัตราป้อนตัด 1.5 ความเร็วตัด 3,590 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 20 องศา



อัตราป้อนตัด 1.5 ความเร็วตัด 4,185 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 0 องศา



อัตราป้อนตัด 1.5 ความเร็วตัด 4,185 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 10 องศา



อัตราป้อนตัด 1.5 ความเร็วตัด 4,185 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 20 องศา



อัตราป้อนตัด 1.5 ความเร็วตัด 4,780 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 0 องศา



อัตราป้อนตัด 1.5 ความเร็วตัด 4,780 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 10 องศา



อัตราป้อนตัด 1.5 ความเร็วตัด 4,780 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 20 องศา



อัตราป้อนตัด 2.0 ความเร็วตัด 2,392 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 0 องศา



อัตราป้อนตัด 2.0 ความเร็วตัด 2,392 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 10 องศา



อัตราป้อนตัด 2.0 ความเร็วตัด 2,392 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 20 องศา



อัตราป้อนตัด 2.0 ความเร็วตัด 2,990 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 0 องศา



อัตราป้อนตัด 2.0 ความเร็วตัด 2,990 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 10 องศา



อัตราป้อนตัด 2.0 ความเร็วตัด 2,990 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 20 องศา



อัตราป้อนตัด 2.0 ความเร็วตัด 3,590 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 0 องศา



อัตราป้อนตัด 2.0 ความเร็วตัด 3,590 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 10 องศา



อัตราป้อนตัด 2.0 ความเร็วตัด 3,590 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 20 องศา



อัตราป้อนตัด 2.0 ความเร็วตัด 4,185 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 0 องศา



อัตราป้อนตัด 2.0 ความเร็วตัด 4,185 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 10 องศา



อัตราป้อนตัด 2.0 ความเร็วตัด 4,185 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 20 องศา



อัตราป้อนตัด 2.0 ความเร็วตัด 4,780 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 0 องศา



อัตราป้อนตัด 2.0 ความเร็วตัด 4,780 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 10 องศา



อัตราป้อนตัด 2.0 ความเร็วตัด 4,780 รอบต่อนาที มุมคายเศษ 20 องศา



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอุดมศักดิ์ เกตุอินทร์ เกิดวันที่ 7 กันยายน พ.ศ. 2526 ที่จังหวัดอุดรดิตถ์ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในปีการศึกษา 2548 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในภาคการศึกษาต้น ปีการศึกษา 2554

