

อิทธิพลของปัจจัยการตัดชิลิกอนเวเฟอร์ที่มีต่อรอยร้าว



นายปิยะณัฐ กาฬภักดี

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

EFFECT OF SILICON WAFER CUTTING FACTORS ON CRACK

Mr. Piyanat Kalaphakdee



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

อิทธิพลของปัจจัยการตัดชิลิกอนเวเฟอร์ที่มีต่อรอยร้าว

โดย

นายปิยะณัฐ กาฬภักดี

สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกคิก)

ปิยะณัฐ กาฬภักดี : อิทธิพลของปัจจัยการตัดซิลิกอนเวเฟอร์ที่มีต่อรอยร้าว (EFFECT OF SILICON WAFER CUTTING FACTORS ON CRACK) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร, 122 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยการตัดแยกชิ้นงานซิลิกอนเวเฟอร์ที่มีผลต่อรอยแตกร้าวที่บริเวณหน้าตัดของชิ้นงาน ได้ดำเนินการศึกษาโดย (1) ดำเนินการตัดซิลิกอนเวเฟอร์ด้วยเครื่องตัดที่ใช้ใบมีดตัดชนิดผงเพชรขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 54 มิลลิเมตร ความหนาเท่ากับ 0.1 มิลลิเมตร (2) กำหนดปัจจัยผันแปรได้แก่ ความเร็วตัด (V) 1697, 3394 และ 5091 เมตรต่อนาที อัตราการป้อน (F) 0.03, 0.06 และ 0.09 เมตรต่อนาที และความลึกตัด (D) 150, 200 และ 250 ไมโครเมตร (3) ตรวจสอบและบันทึกจำนวนชิ้นงานดีและชิ้นงานแตกร้าว และ(4) วิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองพบว่า (1) ปัจจัยตัดทั้ง 3 มีผลต่อจำนวนชิ้นงานแตกร้าว (Y) โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ  $Y = 2.9(D)^2 + 4.7(V)^2 + 5.29(V)(F) - 1.06(V) - 0.03(D) + 4.08(F) + 11.89$  (2) เงื่อนไขการตัดที่  $V = 3394$  เมตรต่อนาที,  $F = 0.03$  เมตรต่อนาที และ  $D = 200$  ไมโครเมตร มีผลให้จำนวนชิ้นงานแตกร่วมน้อยที่สุดเท่ากับ 6.8% ของชิ้นงานตัดทั้งหมดและสามารถลดต้นทุนวัตถุดิบของกระบวนการตัดลงจาก 5.19 ล้านบาทต่อปี เป็น 1.94 ล้านบาทต่อปี (สามารถลดต้นทุนวัตถุดิบของกระบวนการตัดได้ 3.25 ล้านบาทต่อปี) (3) อัตราป้อนชิ้นงาน (F) ที่ 0.3 เมตรต่อนาทีที่มีผลให้สัดส่วนชิ้นงานดีเพิ่มขึ้นเป็น 92.0% ขณะที่อัตราผลิตมีค่าเป็น 1.1 ชิ้นต่อนาที ที่  $V = 3394$  เมตรต่อนาที,  $D = 200$  ไมโครเมตร

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อนิสิต .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 5470969421 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: CRACK / SILICON WAFER / SPINDLE SPEED / FEED SPEED / CUT DEPTH

PIYANAT KALAPHAKEE: EFFECT OF SILICON WAFER CUTTING FACTORS ON  
CRACK. ADVISOR: ASST. PROF. SOMCHAI PUAJINDANETR, Ph.D., 122 pp.

The objective of this research was to investigate silicon wafer cutting factors affecting on crack work piece at the cut surface. The procedure consisted of (1) cutting silicon wafer at each condition by dicing machine with diamond blade having outside diameter of 54 mm and thickness of 0.1 mm (2) determining cutting variable being cutting speed (V) at 1697, 3394 and 5091 m/min, feed speed (F) at 0.03, 0.06 and 0.09 m/min, and the cut depth (D) at 150, 200 and 250  $\mu\text{m}$ , (3) interpreting and recording the quantity of good and crack work piece, (4) analyzing the data of experiment

The results of the study were found that (1) the cutting variables affect the quantity of crack work piece (Y) as the relationship ;  $Y = 2.9(D)^2 + 4.7(V)^2 + 5.29(V)(F) - 1.06(V) - 0.03(D) + 4.08(F) + 11.89$  (2) the V of 3394 m/min, F of 0.03 m/min and D of 200  $\mu\text{m}$  could provide the minimum defective rate at 6.8% and also could reduce the raw material cost down from 5.19 to 1.94 million baht per year (Total reduce 3.25 million baht per year) (3) the feed speed (F) at 0.3 m/min could increase the yield rate up to 92.0% whereas the productivity was to 1.1 pieces/min at V = 3394 m/min and D = 200  $\mu\text{m}$ .

Department: Industrial Engineering

Student's Signature .....

Field of Study: Industrial Engineering

Advisor's Signature .....

Academic Year: 2014

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถดำเนินการจนกระทั่งสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้น เนื่องจากได้รับความกรุณาอนุเคราะห์จากผู้มีอุปการคุณหลายท่าน ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้ความอนุเคราะห์ทางด้านความรู้ คำแนะนำ คำชี้แนะแนวทางในการจัดทำวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้การช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดจนการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นขณะทำวิทยานิพนธ์ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ประกอบด้วยประธานสอบ ผศ.ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ, กรรมการสอบ รศ.ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ พร้อมทั้งกรรมการภายนอก รศ. สมชาย พวงเพิกศรี ที่ได้ให้คำชี้แนะ คำแนะนำที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อำนวยความสะดวกในการจัดทำวิทยานิพนธ์ในด้านต่างๆ

สำหรับการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความอนุเคราะห์จากโรงงานกรณีตัวอย่างที่ให้การสนับสนุนทางด้านสถานที่ วัสดุดิบ และข้อมูลในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ท้ายนี้ทางผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนการจัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้เป็นอย่างดีเสมอมา ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับการพัฒนา และเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาสำหรับผู้สนใจต่อไป

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	9
สารบัญรูปภาพ.....	11
บทที่ 1 บทนำ.....	15
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	15
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	15
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	16
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	16
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	16
1.6 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	18
ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	18
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	19
2.1 ความรู้พื้นฐานของกระบวนการผลิตซิลิกอน (Silicon wafer).....	19
2.2 หลักการพื้นฐานของเครื่องตัด (Dicing Machine).....	26
2.3 ลักษณะเฉพาะของใบมีดตัด (Blade).....	29
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	33
3.1 การศึกษาสภาพปัญหาในปัจจุบัน.....	33
3.2 การเลือกปัจจัยในการทดลอง.....	47

3.3 การกำหนดระดับของปัจจัย .....	53
3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	53
3.5 ขั้นตอนการทำการทดลอง.....	55
3.6 การวางแผนการวิจัย .....	56
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล .....	61
4.1 ผลการหาระดับของปัจจัยในการทดลองตัดแยกชิ้นงาน.....	61
4.2 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลองจากกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน .....	66
4.3 การทดสอบอายุและรูปแบบการเกิดชิ้นงานแตกร้าวจากการใช้งานใบมีดตัด.....	84
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	101
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	101
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	102
5.3 อุปสรรคในงานวิจัย.....	103
5.4 ข้อจำกัดในงานวิจัย.....	103
รายการอ้างอิง .....	104
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการตรวจสอบชิ้นงานแตกร้าวจากการตัดชิ้นงาน 50 ชิ้นงาน .....	106
ภาคผนวก ข. ข้อมูลตำแหน่งการเกิดชิ้นงานแตกร้าวจากการตัดชิ้นงานทดสอบ 50 ชิ้นงาน..	116
ภาคผนวก ค. ข้อมูลอายุการใช้งานใบมีดตัดแต่ละตำแหน่งของการเกิดชิ้นงานแตกร้าว .....	119
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	122



## สารบัญตาราง

ตารางที่ 1. 1	แผนการดำเนินงานวิจัย .....	18
ตารางที่ 2. 1	กระทบของปัจจัยต่อการตัดชิ้นงาน.....	32
ตารางที่ 3. 1	เกณฑ์การประเมินในหัวข้อระดับความรุนแรงของข้อบกพร่อง (Severity : S).....	50
ตารางที่ 3. 2	เกณฑ์การประเมินในหัวข้อความถี่ของการเกิดปัญหา (Occurrence : O).....	50
ตารางที่ 3. 3	ผลการวิเคราะห์สาเหตุของแต่ละปัจจัยในการเกิดรอยร้าว (Crack) บนชิ้นงาน หลังจากผ่านกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน (Strip cut process).....	51
ตารางที่ 3. 4	เงื่อนไขการตัดก่อนปรับปรุง .....	56
ตารางที่ 3. 5	เงื่อนไขการทดลองเพื่อหาเงื่อนไขที่ทำให้เกิดชิ้นงานแตกร้าวน้อยที่สุด.....	57
ตารางที่ 3. 6	เงื่อนไขการทดลองเพื่อหาเงื่อนไขที่อายุการใช้งานใบมีดตัด .....	59
ตารางที่ 4. 1	ผลของความเร็วตัด (V) ที่มีต่อการเกิดชิ้นงานแตกร้าวน้อยที่สุด.....	61
ตารางที่ 4. 2	ผลของอัตราป้อน (F) ที่มีต่อการเกิดชิ้นงานแตกร้าวน้อยที่สุด.....	63
ตารางที่ 4. 3	ผลของความลึกตัด (D) ที่มีต่อการเกิดชิ้นงานแตกร้าวน้อยที่สุด.....	64
ตารางที่ 4. 4	สรุประดับของปัจจัยในการตัดแยกชิ้นงาน .....	66
ตารางที่ 4. 5	จำนวนชิ้นงานแตกร้าวน้อยในแต่ละเงื่อนไขในกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน .....	67
ตารางที่ 4. 6	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของจำนวนชิ้นงานที่เกิดรอยร้าว ( $\alpha = 0.05$ ).....	70
ตารางที่ 4. 7	สรุปผลของปัจจัยหลัก (Main Effect) และอันตรกิริยา (Interaction) ของปัจจัย ที่มีต่อจำนวนชิ้นงานที่เกิดรอยร้าว .....	72
ตารางที่ 4. 8	ผลการวิเคราะห์การถดถอยของพื้นผิวสะท้อน (Response Surface Regression).....	75
ตารางที่ 4. 9	การพิจารณาหาสมการถดถอยด้วยวิธี Stepwise Regression.....	76
ตารางที่ 4. 10	พิจารณาค่าความพึงพอใจของผลลัพธ์ .....	77
ตารางที่ 4. 11	ค่าของปัจจัยที่ได้จากการทำนายด้วยโปรแกรมการออกแบบการทดลอง .....	78
ตารางที่ 4. 12	ผลการใช้งานจริงจากเงื่อนไขที่ได้จากการทดลอง .....	82

ตารางที่ 4. 13 แสดงการเปรียบเทียบผลของเงื่อนไขการตัดก่อนปรับปรุง แบบจำลอง และหลังปรับปรุง.....	83
ตารางที่ 4. 14 ผลการทดลองของอายุการใช้งานใบมีดตัด (นาที).....	85
ตารางที่ 4. 15 เงื่อนไขที่ทำการทดสอบรูปแบบการเกิดรอยแตกร้าว.....	86
ตารางที่ 4. 16 สมการแนวโน้มและอัตราการเกิดรอยแตกร้าวบนหน้าตัดชิ้นงานหลังเกิด ที่ชิ้นงานแรก .....	89
ตารางที่ 4. 17 ลักษณะชิ้นงานแตกร้าวที่ $F = 0.03, 0.06$ และ $0.09$ m/min ( $V=3394$ m/min และ $D=200$ um).....	91
ตารางที่ 4. 18 สัดส่วนชิ้นงานดี (Yield rate) และ อัตราผลผลิต (Productivity) ที่ $V = 3394$ m/min และ $D = 200$ um .....	96
ตารางที่ 4. 19 เปรียบเทียบมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบของการตัดชิ้นงานก่อนปรับปรุง แบบจำลอง และหลังปรับปรุง.....	99

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2. 1	ขั้นตอนการผลิตซิลิกอนเวเฟอร์ด้วยวิธี Czochalski (CZ).....	19
รูปที่ 2. 2	ขั้นตอนการผลิตซิลิกอนเวเฟอร์ด้วยวิธี Float Zone (FZ).....	20
รูปที่ 2. 3	ขั้นตอนการผลิตซิลิกอนเวเฟอร์ด้วยวิธี Float Zone (FZ).....	21
รูปที่ 2. 4	ขั้นตอนการตัดแยกด้วยด้านในของใบมีดตัด (Inside Hole Saw : Annular Saw)...	22
รูปที่ 2. 5	ขั้นตอนการตัดแยกแผ่นซิลิกอนด้วยเส้นลวด (Wire Saw).....	22
รูปที่ 2. 6	ขั้นตอนการทำความสะอาดผิวหน้าแผ่นซิลิกอน (Lapping process).....	23
รูปที่ 2. 7	ชนิดของแผ่นซิลิกอน (Type of Silicon wafer).....	25
รูปที่ 2. 8	(a) การตัดแยกของการจัดเรียงตัวแบบ $\langle 100 \rangle$ $90^\circ$ (b) การตัดแยกของการจัดเรียงตัวแบบ $\langle 111 \rangle$ $60^\circ$ .....	25
รูปที่ 2. 9	(a) ลักษณะการตัดแบบเป็นร่อง (Half Cut) (b) ลักษณะการตัดแบบขาด (Full Cut).....	27
รูปที่ 2. 10	ลักษณะการทำงานในการตัดแบบ A_CHOP.....	28
รูปที่ 2. 11	ความหมาย ประเภท และลักษณะเฉพาะของใบมีดตัด (Blade Specification).....	29
รูปที่ 2. 12	ลักษณะเฉพาะของใบมีดตัดในรายงานวิจัยฉบับนี้.....	29
รูปที่ 3. 1	(a) ตัวขยายสัญญาณทางแสง (DQPSK Demodulator) (b) ชิ้นส่วนของตัวขยายสัญญาณทางแสง.....	33
รูปที่ 3. 2	ลักษณะของชิ้นงาน A ในรูปแบบ (a) แผ่นซิลิกอน (Strip Form) และ (b) แบบชิ้นงาน (Chip Form).....	34
รูปที่ 3. 3	ขั้นตอนกระบวนการในการผลิต (Process Flow) ของชิ้นส่วนตัวขยายสัญญาณ ทางแสง.....	34
รูปที่ 3. 4	อัตราส่วนร้อยละผลผลิตของการผลิตผลิตภัณฑ์ DQPSK ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม – พฤศจิกายน 2555.....	36

รูปที่ 3. 5 อัตราส่วนผลได้ (Yield Rate) ของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ DQPSK ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ (Material Prepare) ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม – พฤศจิกายน 2555 .....	37
รูปที่ 3. 6 ขั้นตอนกระบวนการผลิตชิ้นส่วนตัวขยายสัญญาณทางแสงในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ.....	38
รูปที่ 3. 7 อัตราผลผลิต (Productivity) ของกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน A (Strip cut process) ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม ถึง พฤศจิกายน 2555.....	39
รูปที่ 3. 8 ปริมาณของงานเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน A (Strip cut process) โดยพิจารณาเป็นของเสียที่เกิดจากเครื่องจักร (Machine) และจากพนักงาน (Man).....	40
รูปที่ 3. 9 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) แสดงอัตราส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน A ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม – พฤศจิกายน 2555.....	40
รูปที่ 3. 10 แนวโน้มการเกิดงานเสียในแต่ละประเภทของกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน A ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม – พฤศจิกายน 2555 .....	41
รูปที่ 3. 11 ลักษณะกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน A (Strip cut process).....	42
รูปที่ 3. 12 ลักษณะการติดตั้งลงบนแท่นวางงาน .....	42
รูปที่ 3. 13 ลักษณะการทำงานของโปรแกรมในการตัดแยกชิ้นงาน A ด้วยเครื่องตัด (Dicing Machine) .....	43
รูปที่ 3. 14 ขั้นตอนการแยกชิ้นงานหลังจากการตัดงานด้วยเครื่องตัด (Dicing Machine).....	43
รูปที่ 3. 15 (a) : แสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องตัด (Dicing machine) ขณะทำการตัดแยกชิ้นงาน A (b) : แสดงลักษณะการตัดแยกในแต่ละตำแหน่งของการตัดบนชิ้นงาน A.....	45
รูปที่ 3. 16 ลักษณะของตัวงาน .....	46
รูปที่ 3. 17 ลักษณะรอยร้าวของตัวงานในกลุ่มที่ 1 .....	46
รูปที่ 3. 18 ลักษณะรอยร้าวของตัวงานในกลุ่มที่ 2.....	46
รูปที่ 3. 19 ลักษณะรอยร้าวของตัวงานในกลุ่มที่ 3.....	47

รูปที่ 3. 20 ผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยวิธีการแผนภูมิแก๊งปลา (Cause and Effect Analysis).....	48
รูปที่ 3. 21 การดัชนีชี้วัดความเสี่ยง (RP) ของแต่ละสาเหตุที่อาจทำให้เกิดรอยร้าว (Crack).....	52
รูปที่ 4. 1 ผลของความเร็วตัด (V) ต่อการเกิดชิ้นงานแตกร้าว .....	62
รูปที่ 4. 2 ผลของอัตราป้อน (F) ต่อการเกิดชิ้นงานแตกร้าว .....	63
รูปที่ 4. 3 ผลของความลึกตัด (D) ต่อการเกิดชิ้นงานแตกร้าว.....	65
รูปที่ 4. 4 การกระจายตัวของข้อมูลผลของจำนวนชิ้นงานแตกร้าวที่เกิดจากการตัดแต่ละเงื่อนไข.....	68
รูปที่ 4. 5 ความสัมพันธ์ของจำนวนชิ้นงานแตกร้าวและลำดับของการทดลอง.....	69
รูปที่ 4. 6 ความสัมพันธ์ของส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าพิตของจำนวนชิ้นงานแตกร้าว .....	70
รูปที่ 4. 7 ผลของอันตรกิริยา (Interaction Effect) ของ V, F และ D กับจำนวนชิ้นงานแตกร้าว (ชิ้น) .....	73
รูปที่ 4. 8 ผลของปัจจัยหลัก (Main Effect).....	74
รูปที่ 4. 9 จุดที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย V,D และ F .....	78
รูปที่ 4. 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพึงพอใจผลลัพธ์โดยรวม (Composite Desirability, CD) และค่าความพึงพอใจ (Desirability ; D) กับค่าระดับสูงของผลตอบ (Upper) ที่ V = 4611 m/min, D=188 um และ F = 0.03 m/min.....	79
รูปที่ 4. 11 พื้นผิวสะท้อนและกราฟโครงร่างระหว่างอัตราป้อน (F) และความเร็วตัด (V).....	80
รูปที่ 4. 12 พื้นผิวสะท้อนและกราฟโครงร่างระหว่างความลึกตัด (D) และความเร็วตัด (V).....	81
รูปที่ 4. 13 ภาพพื้นผิวสะท้อนและกราฟโครงร่างระหว่างอัตราป้อน (F) และความลึกตัด (D).....	81
รูปที่ 4. 14 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานใบมีดตัดกับอัตราป้อน (F) ที่ V=3394 m/min , D = 200 um เมื่อ F = 0.03, 0.06 และ 0.09 m/min.....	87
รูปที่ 4. 15 ความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นงานดีเสสมกับเวลาที่ V = 3394 m/min , D = 200 um ที่ F = 0.03, 0.06 และ 0.09 m/min.....	88

- รูปที่ 4. 16 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดขึ้นงานแตกร้าวด (dy/dt : ชิ้น/นาที) และ F (m/min) ที่ V = 3394 m/min และ D = 200 um.....90
- รูปที่ 4. 17 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนชิ้นงานดี (Yield Rate), อัตราผลผลิต (Productivity) ที่ F = 0.03 – 0.18 m/min โดยกำหนดให้ V = 3394 m/min และ D = 200 um .....97
- รูปที่ 4. 18 เปรียบเทียบจำนวนชิ้นงานแตกร้าวด (%) และมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบ ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน..... 100



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการติดต่อสื่อสารเข้ามามีบทบาท และมีความสำคัญอย่างมากสำหรับการดำเนินชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบัน จึงทำให้กลุ่มอุตสาหกรรมโทรคมนาคมพยายามหาวิถีทางในการพัฒนาศักยภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคให้มากที่สุด และเป็นที่ยอมรับในการใช้งานของผู้บริโภค ดังนั้นการพัฒนาของกลุ่มอุตสาหกรรมโทรคมนาคมจึงมีการผลิตตัวขยายสัญญาณทางแสงขึ้น เพื่อลดการสูญเสียของการส่งสัญญาณระหว่างผู้ส่งและผู้รับสัญญาณ เพื่อไม่ให้เกิดการสูญหายหรือผิดเพี้ยนของข้อมูลจากต้นทางสู่ปลายทาง สำหรับการพัฒนาตัวขยายสัญญาณของกลุ่มอุตสาหกรรมโทรคมนาคมจึงมีการแข่งขันกันค่อนข้างสูงทั้งทางด้านการพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ให้สามารถตอบสนองต่อความพึงพอใจกับผู้ใช้งาน และการปรับลดภาระต้นทุนการผลิตเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีราคาที่เหมาะสม และเป็นที่ยอมรับในการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ของผู้ใช้งาน สำหรับการลดภาระต้นทุนการผลิตจะสามารถลดลงได้นั้นจำเป็นต้องลดปริมาณการเกิดงานชิ้นงานเสียของแต่ละกระบวนการที่มีโอกาสเกิดขึ้นให้ลดน้อยลง สำหรับการผลิตตัวขยายสัญญาณนั้น โดยองค์ประกอบหลักจะเป็นการใช้วัสดุที่เป็นซิลิกอนเวเฟอร์ และควบคู่กับกระบวนการตัดแยกชิ้นงานซิลิกอนเวเฟอร์ออกเป็นชิ้นส่วนตามที่กำหนด ซึ่งปัญหาที่พบในกระบวนการผลิตจะเกิดจากกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน เกิดขึ้นบริเวณรอยตัดของชิ้นงานเป็นลักษณะรอยแตกร้าวเกิดขึ้นบริเวณหน้าตัดชิ้นงาน ซึ่งชิ้นงานเหล่านี้จะเป็นชิ้นงานเสียที่ไม่สามารถใช้งานในกระบวนการถัดไปได้ ซึ่งทำให้เกิดภาระต้นทุนที่เพิ่มสูงขึ้นในกระบวนการผลิต ซึ่งหากไม่ได้รับการปรับปรุงให้ปริมาณของเสียในลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นน้อยลง

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

วัตถุประสงค์ของการดำเนินวิจัย มีดังนี้

เพื่อศึกษาปัจจัยการตัดแผ่นซิลิกอน (Silicon Wafer) ที่มีผลต่อการเกิดรอยร้าวบนหน้าตัดชิ้นงาน

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย มีดังนี้

1. ศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดรอยร้าวบนชิ้นงานน้อยที่สุดที่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ หลังจากผ่านกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน (Strip cut process)
2. ทำการศึกษาเปรียบเทียบสัดส่วนของดี (Yield Rate) อัตราการผลิต (Productivity) และผลเชิงเศรษฐศาสตร์ระหว่างระดับของปัจจัยการตัดชิ้นงาน (V,F และ D) ที่ได้จากการศึกษากับระดับของปัจจัยก่อนการศึกษา
3. กระบวนการตัดจะครอบคลุมอุปกรณ์การตัดดังนี้
  - 3.1 เครื่องตัด : Dicing Machine (DAD322)
  - 3.2 ใบมีดตัด : ชนิด เรซินผงเพชร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 54 มิลลิเมตร  
ความหนา  $0.1 \pm 0.005$  มิลลิเมตร

### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับมีดังต่อไปนี้

1. สามารถใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาการเกิดรอยร้าว (Crack) หลังจากการตัดแยกชิ้นงาน A ด้วยเครื่องตัด (Dicing Machine)
2. สามารถนำข้อสรุปที่ได้จากการศึกษาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ ที่ทำให้เกิดรอยร้าว (Crack) จากการตัดแยกชิ้นงานน้อยที่สุดมากำหนดเป็นมาตรฐานในการปฏิบัติงาน
3. สามารถทำให้อัตราการผลิตเชิงวัสดุ (Material Productivity) ของกระบวนการผลิตตัวขยายสัญญาณทางแสง (DQPSK) ในขั้นตอนการเตรียมวัสดุดิบ (Material Preparation) ที่ดีขึ้น

### 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

#### 1.5.1 กำหนดตัวแปรที่ศึกษา

- ตัวแปรอิสระ :
1. ความเร็วรอบ (Spindle speed : rpm)
  2. ความเร็วในการเข้าตัด (Feed speed : mm/s)
  3. ความลึกในการตัด (Cut depth : um)



**ตัวแปรตอบสนอง :** รอยร้าวที่เกิดบนหน้าตัดชิ้นงาน (Crack) ชั้นแรกของการตัด

- ตัวแปรควบคุม:**
1. ชนิดของใบมีดตัด (Blade)
  2. เครื่องตัด (Dicing machine)
  3. ชนิดของแผ่นซิลิกอน

### 1.5.2 ขั้นตอนดำเนินงานมีดังนี้

1. ศึกษาความเป็นไปได้ของงานวิจัย และเก็บรวบรวมข้อมูล
2. ศึกษาสภาพปัจจุบันของปัญหา และสาเหตุหลัก ที่ส่งผลให้อัตราผลผลิตของกระบวนการเตรียมวัสดุดิบ (Material Preparation) ลดลง
3. ศึกษาสภาพปัญหาการเกิดรอยร้าว (Crack) บนชิ้นงาน A หลังจากการผ่านการตัดด้วยเครื่องตัด
4. ศึกษาทฤษฎีและสำรวจงานวิจัยอื่นๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับสภาพปัญหาการเกิดรอยร้าว (Crack) บนวัสดุที่ผลิตจากซิลิกอน
5. ศึกษาถึงปัจจัยที่อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดรอยร้าว (Crack) หลังจากทำการตัดแยกชิ้นงาน A
6. ออกแบบการทดลองเพื่อทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ต้องการศึกษา
7. ทำการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลจากการทดลอง
8. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง
9. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย
10. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

## 1.6 แผนการดำเนินงานวิจัย

### ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

ที่	การดำเนินงานวิจัย	2555	2556 (ม.ค. - ธ.ค.)	2557 (ม.ค. - ธ.ค.)	2558 (ม.ค. -ก.ค.)
1	ศึกษาความเป็นไปได้ของงานวิจัย และเก็บรวบรวมข้อมูล				
2	ศึกษาสภาพปัจจุบันของปัญหา และสาเหตุหลัก ที่ส่งผลทำให้อัตราผลผลิตของกระบวนการเตรียมวัสดุดิบ(Material Preparation) ลดลง				
3	ศึกษาสภาพปัญหาการเกิดรอยแตกร้าว (Crack) บนชิ้นงาน A หลังจากการผ่านการตัดด้วยเครื่องตัด				
4	ศึกษาทฤษฎีและสำรวจงานวิจัยอื่นๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับสภาพปัญหาการเกิดรอยร้าว (Crack) บนวัสดุที่ผลิตจากซิลิกอน				
5	ศึกษาถึงปัจจัยที่อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดรอยร้าว (Crack) หลังจากทำการตัดแยกชิ้นงาน A				
6.	ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปร				
7.	ทำการทดลองและเก็บรวบรวมผลการทดลอง				
8.	วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง				
9.	อภิปรายและสรุปผลการวิจัย				
10.	จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์				

หมายเหตุ - สำหรับแผนการดำเนินงานวิจัยสามารถปรับแก้ไขได้ตามความเหมาะสมของเวลาในการปฏิบัติงานจริง

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

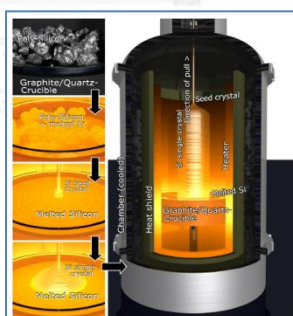
#### 2.1 ความรู้พื้นฐานของกระบวนการผลิตซิลิกอน (Silicon wafer)

##### 2.1.1 ขั้นตอนการสร้าง Monocrystalline Silicon Ingot

##### (Growth Techniques for Monocrystalline Ingots)

##### 1. สร้างด้วยวิธี Czochralski (CZ) (Czochralski-Technique : CZ)

เป็นกระบวนการสร้างแท่งซิลิกอน (Silicon Ingot) ด้วยการดึงซิลิกอนจากการจัดเรียงตัวที่เหมือนกันของผลึกซิลิกอน ออกจากซิลิกอนที่หลอมเหลว ซึ่งอยู่ในเตาหลอมที่อุณหภูมิมากกว่า 1400 °C จากนั้นจะใช้ผลึกของซิลิกอนที่มีการจัดเรียงตัวเช่นเดียวกับผลึกที่จะใช้ในการผลิต ( $\langle 100 \rangle$ ,  $\langle 110 \rangle$  หรือ  $\langle 111 \rangle$ ) จะรวมตัวกันและเป็นจุดเริ่มต้นในสร้างผลึก จากนั้นจะค่อยๆ หมุนอย่างช้า ๆ (cm/hour) เพื่อดึงแท่งซิลิกอนออกจากเตาหลอม ซึ่งความเร็วในการดึงขึ้นจะเป็นตัวกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Ingot และก่อนที่จะเสร็จสิ้นการทำ Ingot จะลดความเร็วของการดึงลงให้เป็นศูนย์เพื่อป้องกันการเกิด Thermal Stress ภายใน Ingot ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการทำลายผลึกในแท่ง Ingot



รูปที่ 2. 1 ขั้นตอนการผลิตซิลิกอนเวเฟอร์ด้วยวิธี Czochralski (CZ)

ข้อดีของการผลิตด้วยวิธี CZ คือ สามารถผลิต Ingot ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ และมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตด้วยวิธี FZ

ข้อเสียมีปริมาณสิ่งเจือปน (Impurity) เช่น ออกซิเจน และคาร์บอน นอกจากนี้ยังพบว่าการผลิตแบบ CZ ยังมีลักษณะการปนกันของผลึกที่มีการจัดเรียงตัวกันในลักษณะที่แตกต่างกันภายใน Ingot

## 2. สร้างด้วยวิธี Float-Zone (FZ) (Float-Zone Technique : FZ)

สำหรับกระบวนการนี้จะสร้าง Ingot โดยให้แท่งผลึกของ Monocrystalline Silicon ติดอยู่กับด้านหนึ่งของแท่ง Polycrystalline Silicon บริเวณปลายที่เชื่อมติดกับ Polycrystalline Silicon จะมี Induction coil ทำให้เกิดการหลอมละลายของซิลิกอนและไหลท่วมลงมายัง Monocrystalline Silicon ด้านล่าง จากนั้นจะเกิดการรวมตัวพร้อมกับการจัดเรียงตัวของอะตอมตาม Monocrystalline Silicon ( เช่น  $\langle 100 \rangle$ ,  $\langle 110 \rangle$  หรือ  $\langle 111 \rangle$ ) ในบริเวณที่มีการหลอมละลายจะมีสิ่งเจือปนมากกว่าที่บริเวณ Ingot ซึ่งทำให้บริเวณที่ใกล้เป็นจุดสิ้นสุดของ Ingot จะมีสิ่งเจือปนมากที่สุด ซึ่งอาจจะลดได้โดยการตัดออก ซึ่งขั้นตอนนี้สามารถทำได้หลายครั้งเพื่อลดสิ่งเจือปนที่ติดอยู่



รูปที่ 2. 2 ขั้นตอนการผลิตซิลิกอนเวเฟอร์ด้วยวิธี Float Zone (FZ)

ข้อดีของการผลิตด้วยกระบวนการ FZ คือจะมีความบริสุทธิ์ของ Ingot ที่ค่อนข้างสูงมาก มีปริมาณออกซิเจน และคาร์บอนเจือปนอยู่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบการผลิตแบบ CZ ค่อนข้างที่จะมีการจัดเรียงตัวกันของรูปแบบอะตอมที่เหมือนกันมาก CZ

ข้อเสียของการผลิตด้วยกระบวนการ FZ คือมีต้นทุนการผลิตที่ค่อนข้างสูงกว่าการผลิตแบบ CZ และขนาดของ Ingot จะถูกจำกัดด้วยมีขนาดใหญ่สุดแค่ 8 นิ้วเท่านั้น

### 2.1.2 ขั้นตอนการทำความสะอาดผิวของแท่งซิลิกอน (Ingot) (Lapping Ingot process)

จากขั้นตอนการผลิตแท่งซิลิกอน (Ingot) ด้วยวิธี CZ และ FZ จะถูกตัดออกมาลักษณะที่ยาวพอที่จะสามารถใช้งานได้สะดวก จากนั้นจะมีการทำตำแหน่งเส้นตรงบน Ingot (Orientation Flat) ซึ่งจะเป็นการแสดงลักษณะของการจัดเรียงตัวของผลึกซิลิกอนบนแท่ง Ingot

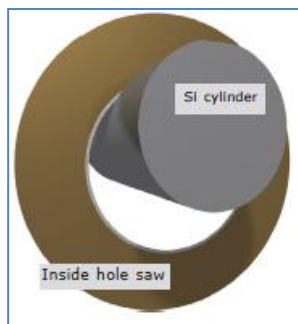


รูปที่ 2. 3 ขั้นตอนการผลิตซิลิกอนเวเฟอร์ด้วยวิธี Float Zone (FZ)

### 2.1.3 ขั้นตอนการตัดแยกเป็นแผ่น Silicon (Dicing Process)

#### 1. การตัดด้วยด้ามในของใบมีดตัด (Inside Hole Saw : Annular Saw)

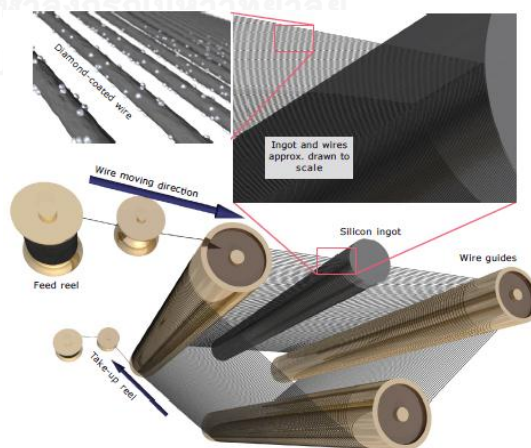
เป็นวิธีการตัดแยก Ingot ออกเป็นแผ่นซิลิกอนบางๆ โดยการใช้ด้ามในของใบมีดตัด (Blade) ซึ่งหลังจากทำการตัดแล้วจะทำให้ได้ซิลิกอนที่บางและมีผิวหน้าที่เรียบ ซึ่งจะช่วยลดเวลาในการทำความสะอาดผิวหน้าในขั้นตอนการ Lapping แต่การตัดด้วยวิธีการนี้จะทำให้ได้ปริมาณอัตราส่วนผลผลิตต่อเวลา (Throughput) ออกมาได้้น้อย เนื่องจากจะทำการตัดได้ครั้งละแผ่นเท่านั้น



รูปที่ 2. 4 ขั้นตอนการตัดแยกด้วยด้ามโนของใบมีดตัด (Inside Hole Saw : Annular Saw)

## 2. การตัดด้วยเส้นลวด (Wire Saw)

การตัดแยกด้วยเส้นลวด โดยเส้นลวดจะถูกล้อมด้วยผงเพชร (Diamond Splinters) เส้นลวดจะถูกขึงให้ห่างกันเท่ากับความหนาของแผ่นซิลิกอนที่ต้องการ จากนั้นเส้นลวดจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วค่าหนึ่ง ( $\sim 10$  mm/s) จากนั้น Ingot จะเคลื่อนที่ผ่านเส้นลวดทำให้สามารถตัดแยก Ingot ออกเป็นแผ่นซิลิกอน ซึ่งสำหรับวิธีการนี้จะทำให้สามารถตัดแยกแผ่นซิลิกอนได้หลายแผ่นในการตัดครั้งเดียว ซึ่งลักษณะผิวหน้าของแผ่นซิลิกอนจะมีลักษณะที่ไม่เรียบและเป็นหลุมซึ่งเกิดจากการตัดด้วยเส้นลวด ทำให้ต้องใช้เวลาในการกำจัดในขั้นตอนการ Lapping ที่นานกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การตัดด้วยใบมีดตัด (Annular Saw)

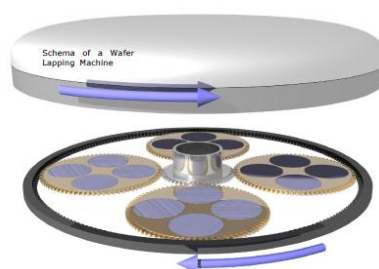


รูปที่ 2. 5 ขั้นตอนการตัดแยกแผ่นซิลิกอนด้วยเส้นลวด (Wire Saw)

## 2.1 ขั้นตอนการขัดทำความสะอาดผิวหน้าแผ่นซิลิกอน (Lapping Silicon wafer process)

หลังจากทำการตัดออกเป็นแผ่นซิลิกอน แล้วนั้นแผ่นซิลิกอนจะถูกนำมาขัดด้วยขั้นตอนการ Lapping ทั้งสองด้านโดยมีจุดประสงค์ดังนี้

1. เพื่อกำจัดรอยร้าวและสิ่งผิดปกติอื่นๆ ที่เกิดขึ้นบนแผ่นซิลิกอนที่เกิดจากการตัดด้วยเครื่องตัด (เช่น รอยร่องของการตัดด้วยเส้นลวด)
2. เพื่อให้ได้ระดับความหนาของแผ่นซิลิกอนตามที่กำหนดไว้



รูปที่ 2. 6 ขั้นตอนการทำความสะอาดผิวหน้าแผ่นซิลิกอน (Lapping process)

## 3. ขั้นตอนการกัดก่อนด้วยสารเคมี (Etching Process)

เป็นกระบวนการทำความสะอาดผิวหน้าของแผ่นซิลิกอน ที่อาจเกิดสิ่งสกปรกหรือความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากกระบวนการก่อนหน้าด้วยสารเคมี เช่น KOH- หรือ HNO<sub>3</sub>/HF

### 3.1 ขั้นตอนการขัดเงาผิวหน้าของแผ่นซิลิกอน (Polishing process)

หลังจากผ่านขั้นตอนการกัดก่อนด้วยสารเคมีแล้ว (Etching Process) ลักษณะผิวหน้าทั้งสองด้านของแผ่นซิลิกอนจะมีลักษณะเหมือนเป็นด้านหลัง หลังจากผ่านการขัดด้วย Polishing (Single Side Polishing wafer) เพื่อให้ได้ผิวหน้าที่แบนเรียบ และมีลักษณะเงาเหมือนกระจกนั้น จึงจำเป็นต้องขัดแผ่นซิลิกอนอีกครั้ง (Polishing) ซึ่งสำหรับกระบวนการขัดนั้นจะใช้ ผงน้ำยาประเภท Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> หรือ CeO<sub>2</sub> ที่มีความละเอียดสูง (10 – 100 nm) ในการขัดซึ่งลักษณะการขัดจะมีลักษณะเช่นเดียวกับการขัดในขั้นตอน Lapping

### 3.2 ขั้นตอนการทำความสะอาดแผ่นซิลิกอน (Cleaning Process)

เป็นขั้นตอนการทำความสะอาดด้วยสารเคมีที่มีความบริสุทธิ์สูง เพื่อกำจัดสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ Polishing โดยทำให้เหลือคราบสกปรกน้อยลง

### 3.3 ขั้นตอนการตรวจสอบขนาดของ Silicon (Final Dimension)

เป็นกระบวนการทดสอบสุดท้าย เพื่อยืนยันถึงซิลิกอน เวเฟอร์ (Silicon Wafer) ที่ผลิตขึ้นที่มีขนาด ความเรียบ และคุณสมบัติอื่นๆ ได้ตรงตามความต้องการที่ลูกค้ากำหนด [1]

## 2.1.4 คุณสมบัติของแผ่นซิลิกอน (Silicon Wafer Properties) [2]

### 2.1 คุณสมบัติทางความร้อนของซิลิกอน (Silicon Thermal Properties)

Thermal Conductivity (solid)	:	1.412 W/cm-K
Thermal Conductivity (liquid)	:	4.3 W/cm-K
Specific Heat	:	0.70 J/g-K
Melting Point	:	1683 K
Boiling Point	:	2628 K
Critical Temperature	:	5159 K
Density (solid)	:	2.33 g/cm <sup>3</sup>
Density (liquid)	:	2.53 g/cm <sup>3</sup>
Vapor pressure (at 1050C)	:	1 <sup>e-7</sup> Torr
(at 1250C)	:	1 <sup>e-5</sup> Torr
Molar heat capacity	:	20.00 J/mol-K

### 2.2 ขนาดของแผ่นซิลิกอน (Typical Size of Silicon Wafer) :

ขนาดของแผ่นซิลิกอนมีหลายขนาด โดยขึ้นอยู่กับขนาดของ Ingot ที่ผลิตขึ้น ซึ่งโดยหลักๆ จะมีขนาดดังต่อไปนี้ คือ 1 inch (25 mm), 2 inch (50 mm), 3 inch (75 mm), 4 inch (100 mm), 5 inch (125 mm), 6 inch (150 mm), 8 inch (200 mm) และ 12 inch (300 mm)



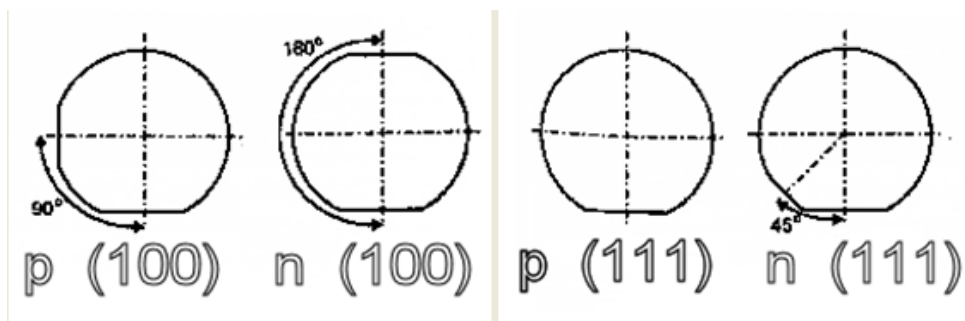
### 2.3 การระบุลักษณะการจัดเรียงตัวของผลึกบนแผ่นซิลิกอน (Wafer Flats : Indicate Type of Orientation Crystal in Silicon Wafer)

2.3.1 Primary flats : เป็นลักษณะรอยเส้นตรงที่ยาวที่สุดบนเส้นรอบวงของแผ่น

ซิลิกอน โดย Primary flats จะระบุถึงการจัดเรียงตัวของผลึกบนแผ่นของซิลิกอน

2.3.2 Secondary flats : ระบุแนวของการจัดเรียงตัวของผลึก ที่สามารถกระตุ้น

คุณสมบัติของไฟฟ้าของแผ่นซิลิกอน

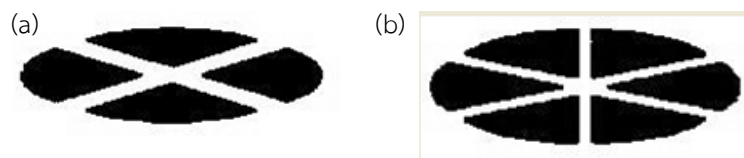


รูปที่ 2.7 ชนิดของแผ่นซิลิกอน (Type of Silicon wafer)

### 2.4 ลักษณะการแยกออกของแผ่นซิลิกอน (Cleaving Properties of Silicon Wafer Type)

ลักษณะการแยกของแผ่นซิลิกอน จะแยกออกตามแนวของการจัดเรียงตัวของผลึก ซึ่งมีลักษณะดังนี้

1. กรณีที่มีการจัดเรียงตัวของผลึกเป็นแบบ  $\langle 100 \rangle$  การแยกจะแยกออกเป็นมุม  $90^\circ$
2. กรณีที่มีการจัดเรียงตัวของผลึกเป็นแบบ  $\langle 111 \rangle$  การแยกจะแยกออกเป็นมุม  $60^\circ$



รูปที่ 2.8 (a) การตัดแยกของการจัดเรียงตัวแบบ  $\langle 100 \rangle$   $90^\circ$

(b) การตัดแยกของการจัดเรียงตัวแบบ  $\langle 111 \rangle$   $60^\circ$

## 2.2 หลักการพื้นฐานของเครื่องตัด (Dicing Machine)

เครื่องตัดชิ้นงาน (Dicing Machine) เป็นเครื่องจักรที่ใช้สำหรับการตัดวัสดุ เช่น แผ่นซิลิกอน (Silicon Wafer) วัสดุที่เป็นแก้ว (Glass Substrate) หรือวัสดุพวกเซรามิก (Ceramic Substrate) เครื่อง Dicing Machine จะประกอบด้วยส่วนที่หมุนสำหรับการตัด ซึ่งจะทำงานด้วยความเร็วสูง ส่วนที่มีกระแสไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งจะมีอัตราในร่องของกระแสไฟ และส่วนขับเคลื่อน ซึ่งเป็นส่วนที่พนักงานต้องเข้าไปทำงานกับเครื่อง ซึ่งต้องให้ความระมัดระวังอัตราที่อาจจะเกิดขึ้นขณะทำการปฏิบัติงาน

### 2.2.1 ลักษณะของการทำงานของเครื่องตัด (Dicing Machine Operation)

จะแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนของการนำงานเข้าและออกจากเครื่อง (Load and Unloading Section) คือ ส่วนที่พนักงานจะทำการวางงานที่ทำการติดตั้งลงบนแท่นวางงานเรียบร้อยแล้ว วางลงบนแท่นวางของเครื่อง (Chuck Table) และยึดด้วยระบบสุญญากาศ (Vacuum System) ของเครื่อง และเป็นส่วนสำหรับพนักงานนำงานออกจากเครื่องทำงานเสร็จสิ้นในกระบวนการ
2. ส่วนสำหรับการตัดชิ้นงาน (Cutting Section) คือ ส่วนของการทำงานของใบมีดตัด (Blade) ทำการตัดลงบนชิ้นงาน โดยในส่วนการทำงานนี้จะเป็นส่วนของการทำงานที่สัมพันธ์กันระหว่างความเร็วรอบในการตัด (Spindle speed : rpm) ความเร็วในการเข้าตัด (Feed rate : mm/s) และระยะความลึกในการตัดลงบนชิ้นงาน โดยที่ แต่ละตัวแปรมีความหมายดังนี้

**2.1 ความเร็วรอบในการตัด (Spindle speed)** หมายถึง ความเร็วในการหมุนของแกนสปินเดิล (Spindle Rotation) ไปพร้อมกับใบมีดตัด โดยจะหมุนอยู่กับที่เท่านั้น มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที (rpm)

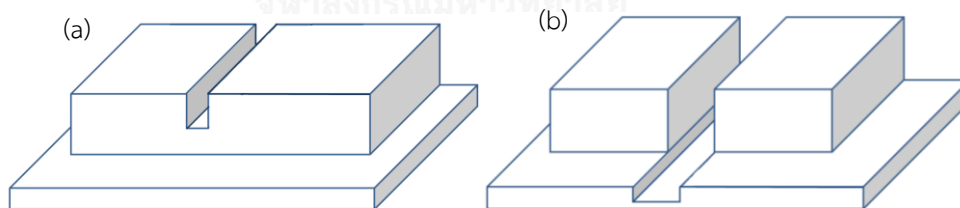
**2.2 ความเร็วในการเข้าตัด (Feed rate)** หมายถึงความเร็วในการเคลื่อนที่ผ่านใบมีดตัดของแท่นวางงานในเครื่อง (Chuck Table) โดยมีหน่วยเป็น มิลลิเมตรต่อวินาที (mm/s)

**2.3 ความลึกในการตัด (Cut depth)** ระยะความลึกของใบมีดตัดที่จะตัดผ่านตัวงาน และ แผ่นรอง งาน หรือในบางครั้งอาจเรียกว่าความสูงของใบมีด (Blade Height) มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm)

- 3. ส่วนของการรับคำสั่งการทำงาน (Operation Section)** เป็นส่วนของการป้อนคำสั่งในการทำงานให้กับเครื่อง โดยจะทำการควบคุมการทำงานของเครื่องทั้งหมด เช่น โปรแกรมในการทำงาน ลักษณะการตัด ความเร็วของ แกนสปินเดิล (Spindle rotation) ความเร็วในการตัด (Feed rate) และความลึกในการตัด (Cut depth) สำหรับการทำงานในส่วนนี้จะถูกควบคุมการทำงานโดยพนักงาน

2.2.2 ลักษณะการตัดงานของเครื่องตัดจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. การตัดชิ้นงานเป็นร่อง (Half cut) คือการตัดที่ความลึกของการตัดน้อยกว่าความหนาของตัวงาน
2. การตัดชิ้นงานขาดออกจากกัน (Full cut) คือความลึกของการตัดมากกว่าความหนาของตัวงาน โดยจะตัดลึกลงไปถึงชั้นของแผ่นรองตัด ซึ่งในรายงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาการตัดแบบตัดขาด (Full cut)

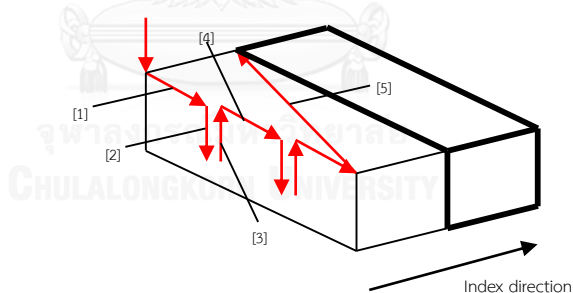


รูปที่ 2. 9 (a) ลักษณะการตัดแบบเป็นร่อง (Half Cut) (b) ลักษณะการตัดแบบขาด (Full Cut)

### 2.2.3 รูปแบบการตัดของเครื่องจักร

1. การตัดแบบ A : เป็นการตัดไปทิศทางเดียว (One Way Cutting : Down Cut)
2. การตัดแบบ B : เป็นการตัดแบบย้อนกลับไปมาสองทิศทาง (Down Cut/Up Cut)
3. การตัดแบบ A\_UP : เป็นการตัดในลักษณะของ Chuck Table เคลื่อนที่จาก ซ้ายไปขวา
4. การตัดแบบ A\_CHOP : เป็นการตัดลักษณะที่เบลตจะเคลื่อนที่ลงเช่นเดียวกับโหมด A ในขณะที่ Chuck Table เคลื่อนที่จากขวาไปซ้าย จากนั้นจะเคลื่อนที่ขึ้นด้านบน
5. การตัดแบบ B\_CHOP : เป็นลักษณะการตัดที่เบลตจะเคลื่อนที่ลงเช่นเดียวกับโหมด B ขณะที่ Chuck Table เคลื่อนที่จากขวาไปซ้ายแล้วยกขึ้น จากนั้นเบลตจะเคลื่อนที่ลงอีกครั้งขณะที่ Chuck Table เคลื่อนที่จากซ้ายไปขวา
6. การตัดแบบ A\_UP\_CHOP : เป็นลักษณะการตัดแบบเดียวกับการตัดแบบ A\_UP โดยที่เบลตจะเคลื่อนที่ลงในแนวแกน Z ขณะที่ Chuck Table เคลื่อนที่จากซ้ายไปขวา แล้วจึงยกขึ้น

ซึ่งสำหรับในรายงานวิจัยฉบับนี้เครื่อง Dicing Machine จะใช้รูปแบบการตัดในรูปแบบ A\_CHOP ซึ่งจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 2. 10 ลักษณะการทำงานในการตัดแบบ A\_CHOP

- Stage 1 : Chuck Table จะเคลื่อนที่จากด้านขวามาด้านซ้าย
- Stage 2 : ใบมีดตัด (Blade) เคลื่อนที่ลงในแนวแกน Z ตัดลงบนชิ้นงาน
- Stage 3 : ใบมีดตัด (Blade) เคลื่อนที่ขึ้นในแนวแกน Z ขึ้นสู่ด้านบนชิ้นงาน
- Stage 4 : Chuck Table เคลื่อนที่จากด้านขวาไปตามระยะที่กำหนด
- Stage 5 : ขณะที่ Chuck Table เคลื่อนที่จากซ้ายไปขวา ระยะแนวแกน Y จะเคลื่อนที่ตามระยะที่กำหนด [3]

## 2.3 ลักษณะเฉพาะของใบมีดตัด (Blade)

### 2.3.1 ความหมายและลักษณะเฉพาะของใบมีดตัด (Blade Specification) [4]

O.D.
Thickness
Surface treatment  
L
Lapping specification

**ZP07 - SD 2000 - F1B333 - A\*\*\*\* 54 × 0.1 A2 × 40 - L - S3**

Grid Type	Grid Size	Type	Special specification	Thickness Accuracy	I.D.	Slit**1
SD	320 #320	F1B333	Standard	A1 ±0.002	S1	No. of slits 4
	400 #400	F1B322	Low concentration	A2 ±0.005		Depth 1mm
	600 #600			A3 ±0.010		No. of slits 8
	800 #800			A4 ±0.015		Depth 1mm
	1200 #1200			AS Special Specification (mm)		No. of slits 16
	1500 #1500					Depth 1mm
	1700 #1700					Small No. of slits 60
2000 #2000				S4 Slit Depth 1mm		
				Large No. of slits 12		
				Slit Depth 2mm		
				S5 No. of slits 40		
				Depth 1mm		
				SS Special Specification		

รูปที่ 2. 11 ความหมาย ประเภท และลักษณะเฉพาะของใบมีดตัด (Blade Specification)

ซึ่งลักษณะของใบมีดตัดที่ใช้ในการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้จะมีคุณลักษณะดังนี้

- กลุ่มชนิดของใบมี (Blade class) : ZP07
- ชนิดของผงเพชร (Grid Type) : มาตรฐาน (Standard : SD)
- ขนาดของผงเพชร (Grid Size) : #2000 (um)
- ลักษณะเฉพาะ (Special specification) : A0079
- ขนาดของใบมีดตัด (Blade Size)
1. เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (Outside Diameter) : 54 mm
  2. ขนาดความหนา (Blade Thickness) :  $0.1 \pm 0.005$  mm
  3. เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (Inside Diameter) : 40 mm
  4. ลักษณะผิวหน้า (Surface) : ชนิดเรียบ (Lapping Surface)



รูปที่ 2. 12 ลักษณะเฉพาะของใบมีดตัดในรายงานวิจัยฉบับนี้

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**Sung-Chul Kim และคณะ (2549)** ได้ทำการศึกษาการป้องกันความเสียหายที่เกิดจากกระบวนการตัดซิลิกอน เวฟเฟอร์ ในกระบวนการตัด (Dicing process) โดยได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดขึ้นของรอยบิ่น (Chipping) กับแรงกระทำ (force) ของเครื่องตัด โดยจากผลการศึกษาพบว่าอัตราการเกิดของรอยบิ่นบนตัวงาน (Chipping) พบว่าจะมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อมีการลดอัตราเร็วในการเข้าตัด (Feed speed) และเมื่อเพิ่มอัตราความเร็วรอบของการตัด (Rotational speed) ให้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจากการควบคุมตัวแปรของเครื่องดังกล่าวทำให้สามารถควบคุมกระบวนการโดยไม่มีรอยบิ่นบนตัวงาน (Chipping) [5]

ซึ่งจากรายงานวิจัยฉบับนี้ ได้นำแนวโน้มของความสัมพันธ์ที่ได้จากการใช้งานพารามิเตอร์ของเครื่องตัด (ความเร็วรอบ และความเร็วในการเข้าตัด) ที่ส่งผลให้เกิดรอยบิ่น (Chipping) บนตัวงานซิลิกอนหลังจากการตัดมากำหนดเป็นแนวทางของการใช้งานพารามิเตอร์สำหรับการศึกษาวิจัยฉบับนี้ เพื่อให้เกิดรอยบิ่นบนตัวงานขณะทำการตัดงานน้อยลง

**Hongxiu Zhou และคณะ (2555)** ได้ทำการศึกษาการตัดชิ้นงานซิลิกอน ด้วยเครื่องตัด (Dicing Machine) โดยทดสอบจะใช้สภาวะใช้งานของเครื่องแบบความเร็วสูง (High speed) เพื่อทำการศึกษาลักษณะการเกิดลักษณะของรอยบิ่น (Chipping) บนซิลิกอน เวฟเฟอร์ และความกว้างของรอบตัด โดยทำการศึกษาผลของใบมีดตัด 3 ชนิด สำหรับสภาวะในการทดสอบใช้ความเร็วรอบของการหมุนใบมีด (Blade speed) 30,000 – 40,000 rpm ระยะความลึกของการตัด (Cut depth) 100 – 400  $\mu\text{m}$  และความเร็วในการเข้าตัด (Feed rate) 2 – 10 mm/s จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อทำการเพิ่มความเร็วรอบของใบมีด (Blade speed) ส่งผลให้รอยบิ่น (Chipping) ลดลง เมื่อทำการเพิ่มความเร็วในการเข้าตัด (Feed rate) และ ระยะความลึกของการตัด ส่งผลเช่นเดียวกันคือทำให้เกิดรอยบิ่น (Chipping) เพิ่มมากขึ้น [6]

จากรายงานวิจัยฉบับนี้ ได้พิจารณาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ในการตัด โดยในรายงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการระยะความลึกในการตัดชิ้นงานที่ส่งผลต่อการเกิดรอยบิ่นบนตัวงานหลังจากตัด ซึ่งจากผลการศึกษาทำให้สามารถนำมาเป็นช่วงในการพิจารณาการเลือกใช้ หรือกำหนดระยะความลึกในการตัดเพื่อศึกษาการเกิดรอยร้าวของรายงานวิจัยฉบับนี้ต่อไป

**Hans H. Gatzen และคณะ** ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพการเกิดรอยบิ่น (Edge Chipping) ของการตัดชิ้นงานบริเวณขอบของวัสดุประเภทแข็งและเปราะ โดยใช้ใบมีดตัด (Blade) ที่มีลักษณะรูปตัว V (V-Shape) ซึ่งมีความเสี่ยงในการเกิดความเสียหายให้กับกระบวนการถัดไป ซึ่งจากผลของการศึกษาพบว่าเมื่อทำการเพิ่มความเร็วในการเข้าตัดชิ้นงาน (Feed rate) จะส่งผลให้ขนาดของรอยตัด และรอยบิ่นจะเพิ่มมากขึ้น โดยทำการศึกษาอัตราเร็วในการเข้าตัดตั้งแต่ 0 – 50 mm/s และเมื่อศึกษาผลของการสึกหรอของใบมีดตัด พบว่าเมื่อมีระยะการตัด (Cut length) เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้การสึกหรอของใบมีดตัดสูงขึ้น [7]

จากการศึกษาวิจัยฉบับนี้ เมื่อมีการเพิ่มอัตราเร็วในการเข้าตัด (Feed Rate) เพิ่มสูงมากขึ้น พบว่าอัตราการเกิดรอยบิ่นบนตัวงานเพิ่มสูงมากขึ้น ซึ่งทำให้เห็นถึงแนวโน้มของการเกิดรอยบิ่นบนตัวงานกับความสัมพันธ์ของการใช้ความเร็วในการเข้าตัด ซึ่งสามารถนำแนวโน้มนี้ไปใช้ในการเลือกการศึกษาช่วงของความเร็วการเข้าตัด เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่อไปกับการเกิดรอยร้าวในรายงานวิจัยฉบับนี้

**Engineering R&D Department, Disco Corporation (2547)** ทำการศึกษากระบวนการเกิดรอยบิ่นบนตัวงาน (Backside Chipping) จากการใช้เครื่องตัด (Dicing Machine) โดยที่ศึกษาที่พารามิเตอร์ของกระบวนการ (Processing condition) ซึ่งมีผลต่อการเกิดรอยบิ่น (Backside chipping) ได้แก่ อัตราเร็วของการเข้าตัด (Feed speed : mm/s) ซึ่งกรณีที่มีการเพิ่มอัตราเร็วในการเข้าตัด (Feed speed) สูงขึ้นจะส่งผลทำให้ภาระการทำงาน (Processing Load) สูงขึ้น หรือทำงานเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ความเร็วรอบในการหมุนของใบมีดตัด (Spindle speed : rpm) ซึ่งโดยปกติจะทำการตั้งค่าที่ค่อนข้างสูงเพื่อลดภาระการทำงาน (Processing Load) ที่สูงขึ้น ซึ่งจากการศึกษาพบว่าเมื่อมีการลดลงของความเร็วรอบ (Spindle speed) จะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของภาระการทำงาน (Processing Load) ให้สูงมากขึ้น และระยะความลึกในการตัด (Cutting depth : um) กรณีที่มีการตัดด้วยความลึกที่ตื้นเกินไป อาจทำให้ระยะของการตัดอยู่ในช่วงโค้งงอของใบมีดตัด (Blade) จึงทำให้เหลื่อหรือเกิดส่วนที่ยื่นออกมา ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานในขั้นตอนต่อไป ซึ่งอาจทำให้เกิดรอยร้าว และรอยบิ่นเกิดขึ้น (Backside chipping) [8]

ตารางที่ 2. 1 กระทบของปัจจัยต่อการตัดชิ้นงาน

พารามิเตอร์	การเกิดรอยบิ่น (Chipping)	
	ดีกว่า (Better)	แย่กว่า (Worse)
ความเร็วในการตัด (Feed speed : mm/s)	ช้ากว่า (Slower)	เร็วกว่า (Faster)
ความเร็วรอบ (Spindle : rpm)	สูงกว่า (Higher)	ต่ำกว่า (Lower)
ความลึกในการตัด (Cut depth : um)	ลึกกว่า (Deeper)	ตื้นกว่า (Shallower)



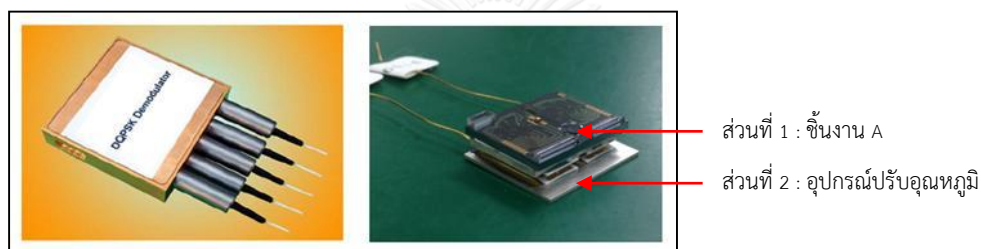
### บทที่ 3

## ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

### 3.1 การศึกษาสภาพปัญหาในปัจจุบัน

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อศึกษาปัจจัยการตัดแผ่นซิลิกอนเวเฟอร์ที่มีต่อรอยร้าว เพื่อปรับปรุงกระบวนการการผลิตที่ทำให้เกิดของเสียจากการตัดแยกชิ้นงานให้เกิดปริมาณลดลง เพื่อช่วยลดภาระต้นทุนของการผลิตให้น้อยลง

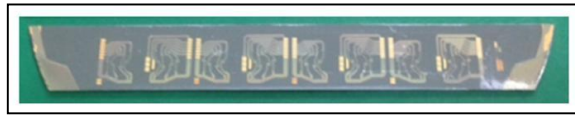
#### 3.1.1 ขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนของตัวขยายสัญญาณทางแสง



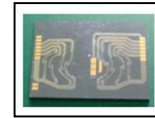
รูปที่ 3. 1 (a) ตัวขยายสัญญาณทางแสง (DQPSK Demodulator)

(b) ชิ้นส่วนของตัวขยายสัญญาณทางแสง

สำหรับรูปที่ 3.1 (a) แสดงลักษณะของตัวขยายสัญญาณทางแสง (b) แสดงองค์ประกอบของชิ้นส่วนตัวขยายสัญญาณทางแสง โดยชิ้นส่วนจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนแรกจะเป็นชิ้นงาน A ซึ่งเป็นส่วนที่ผลิตจากแผ่นซิลิกอน (Silicon Wafer) บริเวณด้านผิวหน้าประกอบด้วยแผ่นทอง (Electrode pad) และลายวงจร (Circuit) ส่วนที่สองเป็นอุปกรณ์สำหรับช่วยในการปรับอุณหภูมิ (Temperature Controller) ให้กับตัวชิ้นงานในการวัดคุณสมบัติทางแสง โดยในส่วนแรกจะเป็นส่วนที่เป็นชิ้นงานซิลิกอนเวเฟอร์ จะนำมาศึกษาในการทำงานวิจัยนี้ ซึ่งลักษณะของชิ้นส่วน A นั้นจะได้รับชิ้นงานจากผู้ผลิตในลักษณะที่แผ่นซิลิกอนที่ถูกตัดออกมาเป็นแผ่นยาวโดยจะเรียกว่าสทริป (Strip) จากนั้นทางโรงงานศึกษาจะทำการแยกตัดแยกชิ้นงานออกเป็นชิ้นงานเล็ก ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (a) ชิ้นงานที่ได้รับจากผู้ผลิต (b) ชิ้นงานที่ตัดแยกเป็นชิ้นจากโรงงานศึกษา



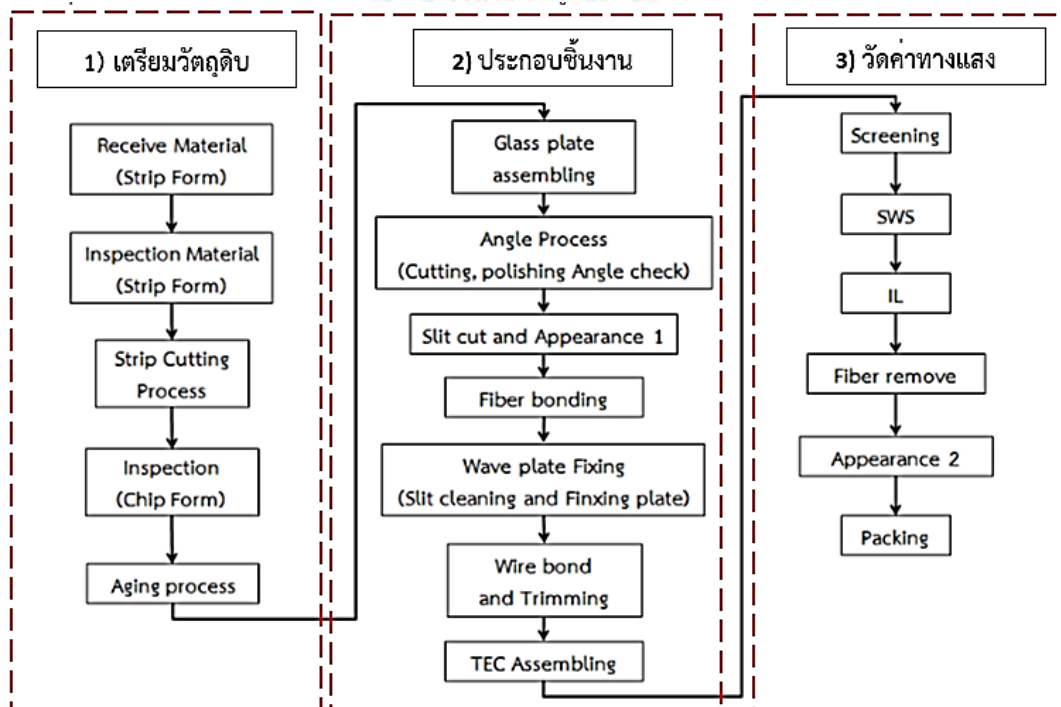
(a) : ลักษณะชิ้นงาน A  
ในแผ่นซิลิกอน (Strip Form)



(b) : ลักษณะชิ้นงาน A หลังจาก  
ตัดแยก (Chip Form)

รูปที่ 3. 2 ลักษณะของชิ้นงาน A ในรูปแบบ (a) แผ่นซิลิกอน (Strip Form) และ  
(b) แบบชิ้นงาน (Chip Form)

สำหรับขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนตัวขยายสัญญาณทางแสงนั้นจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มขั้นตอน (18 กระบวนการ) คือ ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ ขั้นตอนการประกอบชิ้นงาน และ ขั้นตอนการวัดคุณสมบัติทางแสง ซึ่งแสดงขั้นตอนการผลิตทั้งหมดในรูป 3.3



รูปที่ 3. 3 ขั้นตอนกระบวนการในการผลิต (Process Flow) ของชิ้นส่วนตัวขยายสัญญาณทางแสง

### ขั้นตอนในการผลิตชิ้นส่วนของตัวขยายสัญญาณทางแสง มีขั้นตอนดังนี้

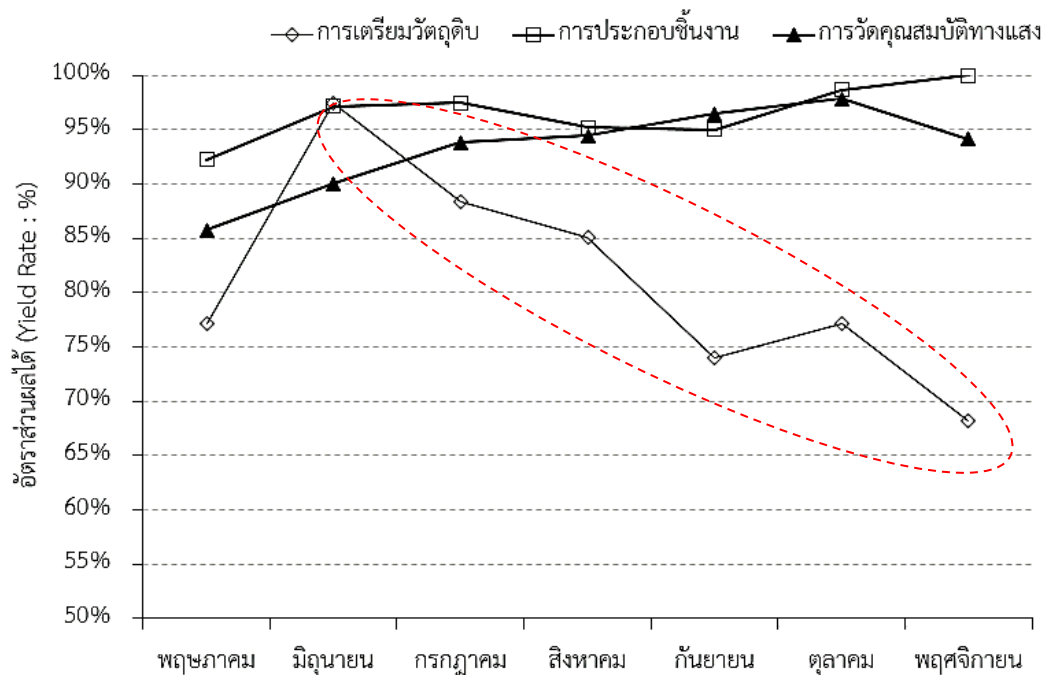
1. กระบวนการเตรียมชิ้นงาน (Product Preparation Process) : เป็นขั้นตอนเริ่มต้นในการผลิต โดยเป็นขั้นตอนในการเตรียมวัสดุดิบต่างๆ เพื่อส่งให้กับกระบวนการถัดไป ไม่ว่าจะเป็นการรับและตรวจสอบวัสดุดิบ (Receive and Inspection Material) การตัดแยกชิ้นงาน (Strip Cutting) การตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานหลังตัด (Inspection Chip form) และการทดสอบคุณสมบัติของงานด้วยกระแสไฟฟ้า (Aging Process)

2. กระบวนการประกอบ (Assembly Process) : เป็นกระบวนการที่นำวัสดุดิบที่เตรียมในขั้นตอนการเตรียมวัสดุดิบมาทำการประกอบเป็นตัวชิ้นงาน เช่น การติดแผ่นกระจกบนชิ้นงาน (Glass Plate Assembling) การทำมุมบนหน้าตัดชิ้นงาน (Angle Process) การตัดร่อง เชื่อมสายไฟเบอร์ และติดแผ่นคลื่นแสงกลางตัวงาน (Slit Cut , Fiber Bonding and Wave plate fixing) เชื่อมลายวงจรด้วยลวดทอง (Wire bond) และประกอบตัวควบคุมอุณหภูมิ (TEC Assembling)

3. กระบวนการวัดคุณสมบัติทางแสง และการส่งชิ้นงานให้กับลูกค้า (Measurement Optical Properties and Packing) : หลังจากกระบวนการประกอบชิ้นงานประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว จากนั้นจะนำตัวงานที่ได้มาทำการวัดคุณสมบัติทางแสง เช่น ค่าทดสอบค่าการสูญเสีย (Insertion Loss) การทดสอบสภาวะการใช้งานของชิ้นงาน จากนั้นจะทำการถอดลวดสายไฟเบอร์ออก (Fiber Remove) ทำความสะอาด และทำการบรรจุชิ้นงานเพื่อส่งให้กับลูกค้า (Packing)

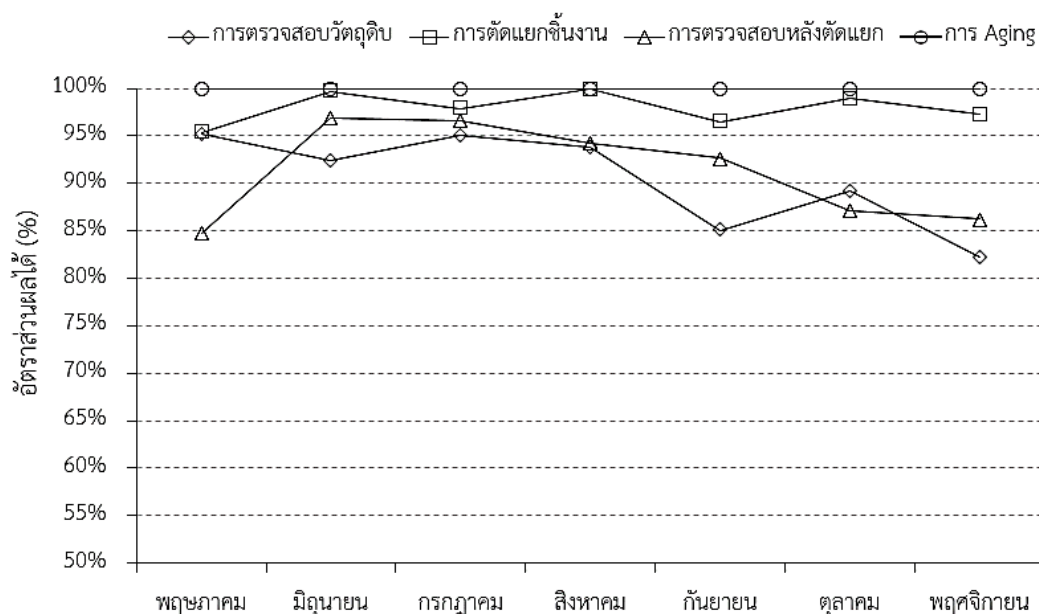
#### 3.1.2 สภาพปัญหาในปัจจุบัน

จากการพิจารณากระบวนการผลิตชิ้นส่วนตัวขยายสัญญาณทางแสง ทั้งหมดพบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันของการผลิต คือผลิตภาพ (Productivity) ของกระบวนการผลิตในขั้นตอนการเตรียมวัสดุดิบค่อนข้างต่ำและมีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อทำการเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตอีกสองกระบวนการ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากอัตราร้อยละผลผลิตเฉลี่ยเป็น 81.07% (พ.ค. – พ.ย. 2555) โดยกระบวนการประกอบชิ้นงาน (Assembly Process) และกระบวนการวัดคุณสมบัติทางแสงของชิ้นงาน (Measurement Optical Properties) คิดเฉลี่ยเป็น 96.53 % และ 93.22% ตามลำดับซึ่งแสดงได้จากรูปที่ 3.4



รูปที่ 3. 4 อัตราส่วนร้อยละผลผลิตของการผลิตผลิตภัณฑ์ DQPSK  
ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม – พฤศจิกายน 2555

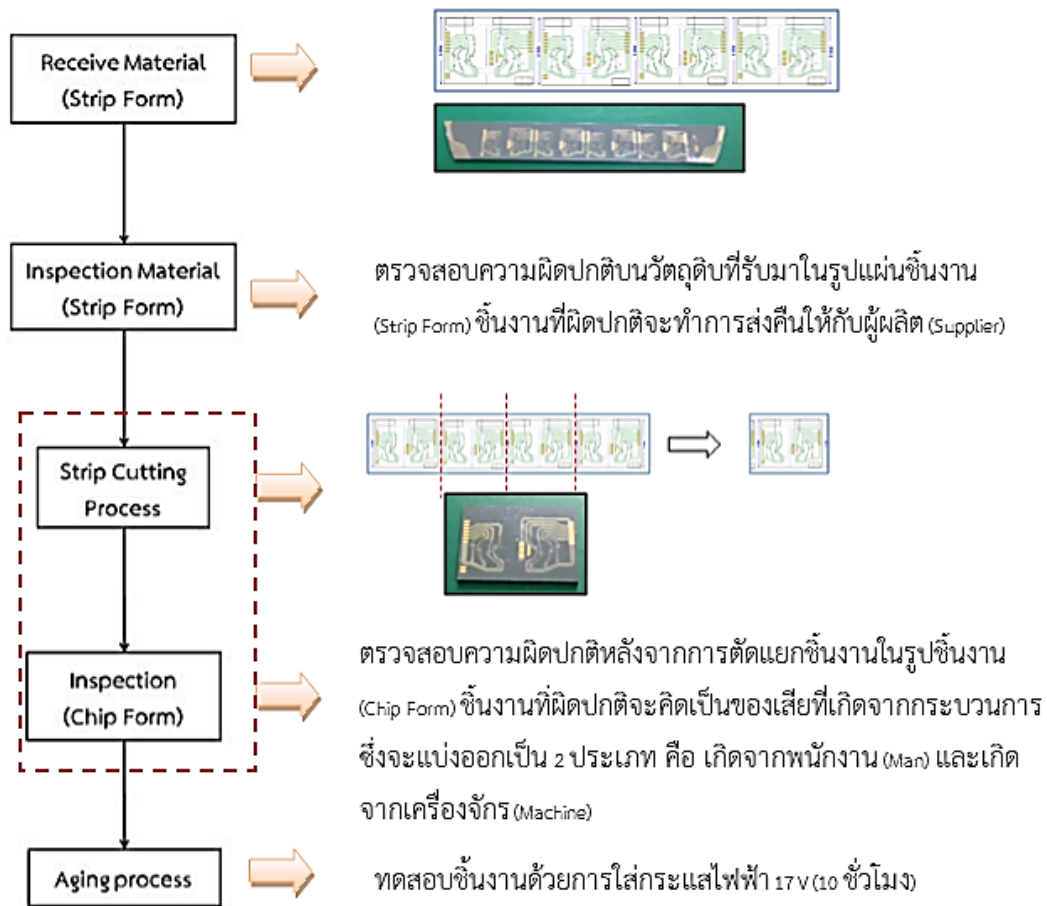
ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์ถึงกระบวนการผลิตในขั้นตอนการเตรียมวัสดุดิบ (Material Preparation) จากรูปที่ 3.5 จะเห็นได้ว่ากระบวนการผลิตในขั้นการตัดแยกชิ้นงาน A (Strip cutting process) มีอัตราผลผลิต (Productivity) ต่ำกว่ากระบวนการอื่น โดยเฉลี่ยที่ 91.20% (ตั้งแต่เดือน พ.ค. - พ.ย. 2555) โดยในกระบวนการเตรียมวัสดุดิบนี้จะไม่รวมถึงการผลิตในขั้นตอนการตรวจสอบวัสดุดิบ (Inspection Material) เพราะเนื่องจากปริมาณของงานเสียที่กระบวนการตรวจสอบวัสดุดิบ (Inspection Material) จะสามารถส่งคืนให้กับผู้ผลิตชิ้นงาน (Supplier) และจะได้รับวัสดุดิบ (Material) ชดเชยจากในภายหลัง



รูปที่ 3. 5 อัตราส่วนผลได้ (Yield Rate) ของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ DQPSK ในขั้นตอนการเตรียมวัสดุดิบ (Material Prepare) ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม – พฤศจิกายน 2555

ในรูปที่ 3.6 ได้แสดงรายละเอียดของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนตัวขยายสัญญาณทางแสงในขั้นเตรียมวัสดุดิบจะประกอบไปด้วย 5 กระบวนการดังนี้

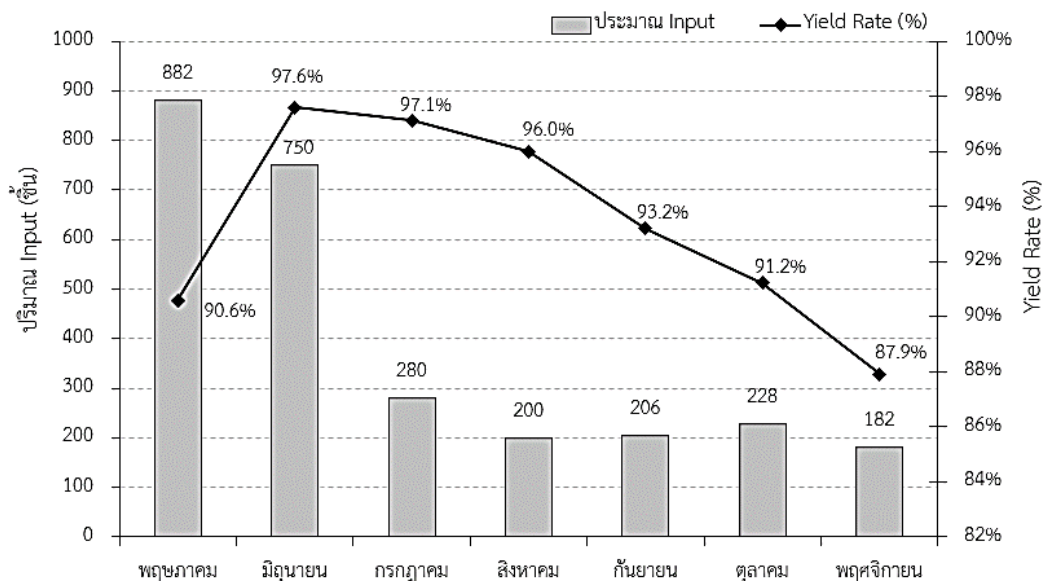
1. การรับวัสดุดิบหรือชิ้นงาน (Receive Material) โดยชิ้นงานที่ได้รับนั้นจะเป็นลักษณะที่ถูกตัดออกโดยผู้ผลิตและอยู่สลิป (Strip form)
2. การตรวจสอบวัสดุดิบที่รับเข้าในกระบวนการ (Inspection Material) จะทำการตรวจสอบวัสดุดิบที่รับเข้ามา หากพบความผิดปกติที่อาจทำให้เกิดเป็นชิ้นงานเสียในกระบวนการผลิตได้นั้น จะทำการส่งกลับคืนยังผู้ผลิตเพื่อให้ส่งชิ้นงานใหม่มาทดแทนชิ้นงานนั้น
3. การตัดแยกชิ้นงาน (Strip cut process) จะเป็นกระบวนการที่ตัดแยกชิ้นงานจากรูปสลิป (Strip form) มาเป็นรูปชิ้นงาน (Chip form)
4. การตรวจสอบชิ้นงานหลังตัด (Inspection chip form) เป็นการตรวจสอบชิ้นงานหลังจากตัดซึ่งจะทำการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานหลังตัด และคัดแยกชิ้นงานเสียจากการตัดออกจากกระบวนการผลิต
5. การทดสอบคุณสมบัติชิ้นงานด้วยไฟฟ้า (Aging) โดยการจ่ายกระแสเข้ากับตัวงาน (17 V) เป็นเวลา 10 ชั่วโมง เพื่อตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของชิ้นงานหลังจากการทดสอบ



รูปที่ 3. 6 ขั้นตอนกระบวนการผลิตชิ้นส่วนตัวขยายสัญญาณทางแสงในขั้นตอนการเตรียมวัสดุชิป

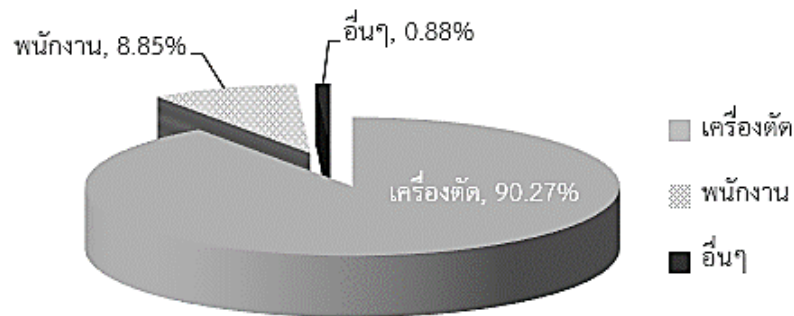
### 3.1.3 วิเคราะห์สภาพปัญหาในปัจจุบัน

ซึ่งเมื่อพิจารณาจากมูลเหตุข้างต้น รายงานวิจัยฉบับนี้จึงได้พิจารณาทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงกระบวนการในกระบวนการเตรียมวัสดุชิป (Material Preparation) ในขั้นตอนการตัดแยกชิ้นงาน (Strip Cut Process) ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีอัตราการผลิต (Productivity) เฉลี่ยเท่ากับ 93.38% (ตั้งแต่เดือน พ.ค. – พ.ย. 2555) และมีแนวโน้มที่ลดลง พิจารณาดังรูปที่ 3.7

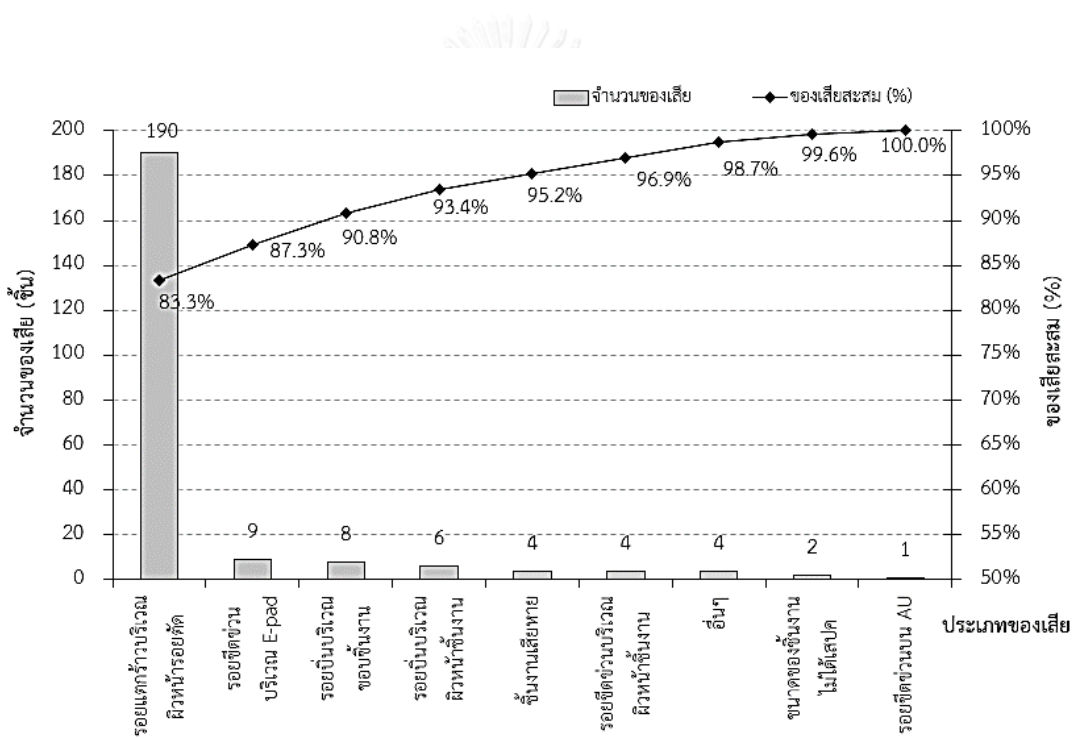


รูปที่ 3. 7 อัตราผลผลิต (Productivity) ของกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน A (Strip cut process) ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม ถึง พฤศจิกายน 2555

จากวิเคราะห์สภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน A (Strip cut process) ซึ่งแยกออกเป็นประเภทของงานเสียที่เกิดจากเครื่องจักร (Machine) และเกิดจากพนักงานปฏิบัติงาน (Operator) โดยส่วนใหญ่ของเสียที่เกิดขึ้นนั้นจะมาจากเครื่องจักร มากกว่าเกิดจากการปฏิบัติงานของพนักงาน ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.8 จากนั้นทำการวิเคราะห์ของงานเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน ด้วยแผนภูมิพาเรโต ซึ่งจะพบว่าชิ้นงานของงานเสียที่เป็นลักษณะของการร้าวบนผิวหน้าชิ้นงาน (Surface) หลังจากผ่านการตัดด้วยเครื่องตัด (Dicing Machine) ซึ่งมีปริมาณอัตราส่วนที่สูงที่สุดเท่ากับ 83.33 % จากปริมาณของเสียทั้งหมด ดังรูปที่ 3.9



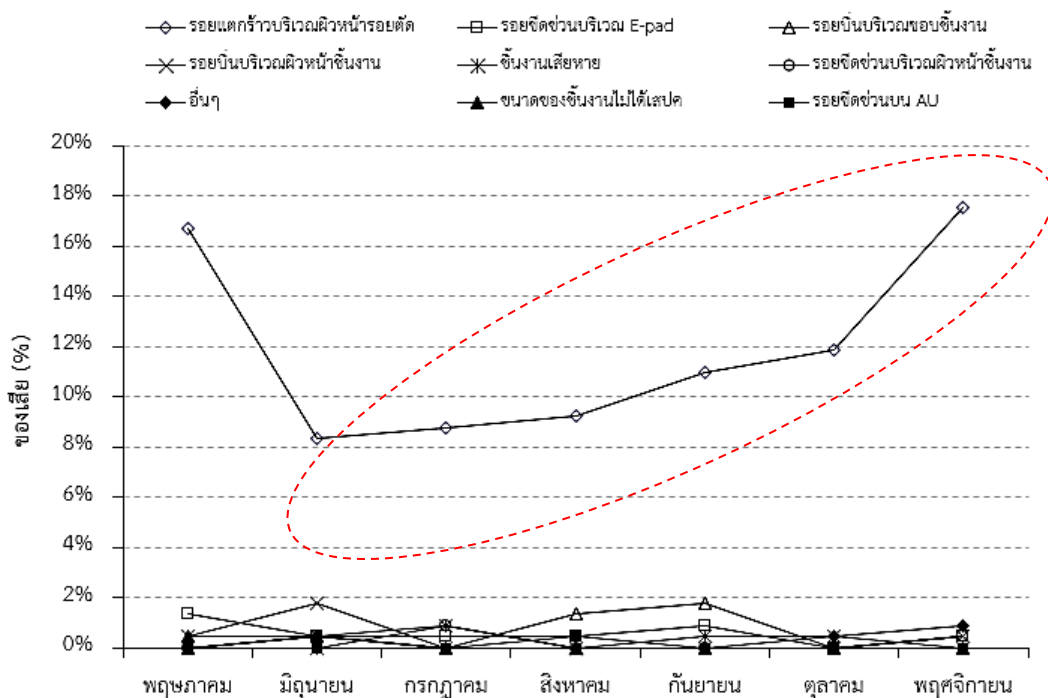
รูปที่ 3. 8 ปริมาณของงานเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน A (Strip cut process) โดยพิจารณาเป็นของเสียที่เกิดจากเครื่องจักร (Machine) และจากพนักงาน (Man)



รูปที่ 3. 9 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) แสดงอัตราส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน A ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม – พฤศจิกายน 2555

และเมื่อพิจารณาแนวโน้มของการเกิดปัญหารอยร้าว (Crack) บริเวณหน้าตัดของชิ้นงาน A ที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากเครื่องจักร ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม – พฤศจิกายน 2555 พบว่า ปัญหาการเกิดรอยร้าว (Crack) บนหน้าตัดของชิ้นงาน A มีปริมาณที่สูงกว่าชนิดอื่นและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 3.10





รูปที่ 3. 10 แนวโน้มการเกิดงานเสียในแต่ละประเภทของกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน A ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม – พฤศจิกายน 2555

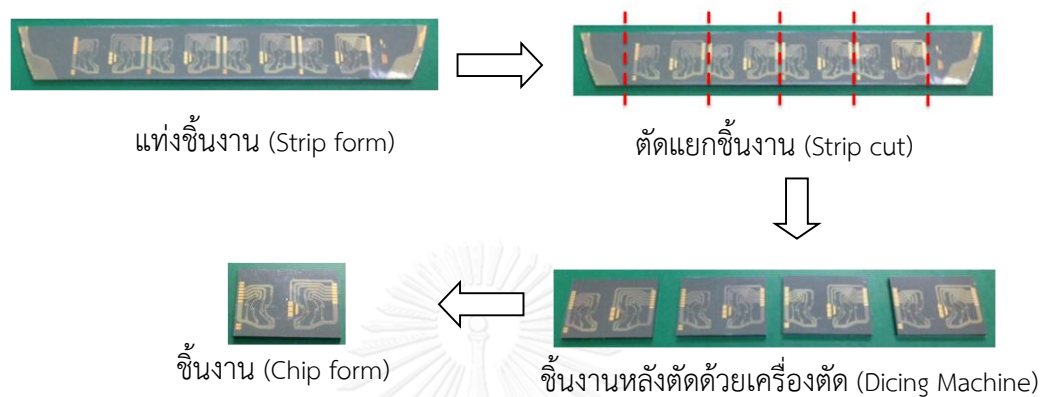
จากการวิเคราะห์ปัญหาข้างต้น จึงเลือกทำการศึกษาปัญหาการเกิดรอยร้าว บริเวณหน้าตัดชิ้นงาน A ในกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ (Material Preparation) ของการผลิตชิ้นส่วนตัวขยายสัญญาณทางแสง

### 3.1.4 สภาพการปฏิบัติงานในปัจจุบัน

จากการพิจารณาเลือกศึกษาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นกับกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน (Strip cut process) ซึ่งเกิดปัญหารอยร้าว (Crack) บริเวณหน้าตัดของชิ้นงานหลังจากการตัดด้วยเครื่องตัด (Dicing Machine) ซึ่งเป็นปัญหาหลักจากการพิจารณาสภาพปัญหาทั้งหมดของกระบวนการ และแนวโน้มของปัญหาที่เกิดขึ้นยังคงเพิ่มสูงขึ้นดังแสดงในรูป 3.7 และ 3.8 ซึ่งจากสภาพปัญหาดังกล่าวทำให้กระบวนการผลิตชิ้นงาน A ในกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน (Strip cut process) มีผลิตผล (Productivity) ที่ค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่นๆ ในการผลิตชิ้นงาน A

### 1. ลักษณะการปฏิบัติงานในกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน (Strip cut process)

กระบวนการตัดแยกชิ้นงาน (Strip cut process) เป็นกระบวนการแยกชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นแท่งชิ้นงาน (Strip form) ขนาด  $100.0 \times 17.3 \times 1.0$  mm ออกเป็นชิ้นงาน (Chip form) ขนาด  $17.3 \times 8.3 \times 1.0$  mm ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ลักษณะกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน A (Strip cut process)

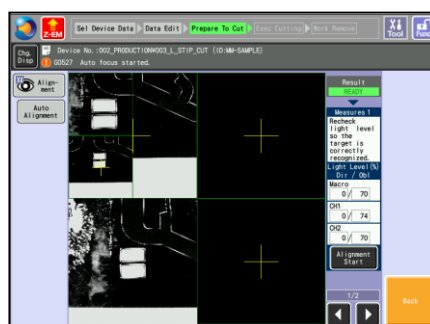
สำหรับการปฏิบัติงานในกระบวนการตัดแยกชิ้นงานจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน (การปฏิบัติงานของพนักงาน) : เป็นขั้นตอนที่พนักงานจะนำงานที่ได้รับจากกระบวนการตรวจสอบวัสดุดิบ (Inspection Material) มาทำการติดตั้งบนแท่นวางงาน โดยจะรองแผ่นซิลิกอน (เป็นแผ่นสำหรับรองตัด) อยู่ระหว่างแท่นวางงาน และชิ้นงาน ยึดทั้งหมดด้วยแวกซ์บนเครื่องทำอุณหภูมิ (Hot plate) โดยใช้อุณหภูมิที่  $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$  จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้แข็งตัว วัดค่าความสูงจากการติดตั้งบนแท่นวางงาน และทำการนำงานเข้าเครื่องตัด



รูปที่ 3.12 ลักษณะการติดตั้งบนแท่นวางงาน

2. ขั้นตอนการตัดชิ้นงาน (การทำงานของเครื่องจักร) : พนักงานจะทำการเลือกโปรแกรมในการตัดงาน ใส่ค่าความสูงที่วัดได้หลังจากติดตั้งบนแท่นวางในโปรแกรม จากนั้นพนักงานกดปุ่มเริ่มทำงาน เครื่องตัด (Dicing Machine) จะทำการหาจุดอ้างอิงบนตัวงาน จากนั้นจะทำการปรับตำแหน่งและจัดวางแนว (Alignment) ให้ชิ้นงานอยู่ในแนวตรง หลังจากนั้นเครื่องจะทำการเริ่มตัดที่ละเส้นจนครบตามจำนวนที่กำหนดในโปรแกรม



รูปที่ 3. 13 ลักษณะการทำงานของโปรแกรมในการตัดแยกชิ้นงาน A ด้วยเครื่องตัด (Dicing Machine)

3. ขั้นตอนการแยกชิ้นงานหลังการตัด (การปฏิบัติงานของพนักงาน) : หลังจากโปรแกรมทำงานเสร็จเรียบร้อยแล้วพนักงานจะนำงานออกจากเครื่องตัด (Dicing Machine) วางลงบนเครื่องทำอุณหภูมิ (Hot plate) อีกครั้งเพื่อให้แก๊สละลาย จากนั้นจะทำการแยกงานออก และทำความสะอาดงานที่ละชิ้น



รูปที่ 3. 14 ขั้นตอนการแยกชิ้นงานหลังจากการตัดงานด้วยเครื่องตัด (Dicing Machine)

## 2. สภาพะการใ้ใช้งานเครื่องจักร (Machine Conditions)

### 2.1. พารามิเตอร์ของเครื่องตัด (Machine Parameter)

ความเร็วรอบในการหมุนของใบมีดตัด (Spindle speed)	:	30,000 rpm
ความเร็วในการเคลื่อนที่เข้าตัด (Feed speed)	:	0.5 mm/s
ความลึกในการตัด (Cutting depth)	:	200 $\mu$ m
ลักษณะการตัดงาน (Cutting Mode)	:	ตัดขาด (Full cut)

### 2.2. ลักษณะใบมีดตัดที่ใช้งาน (Blade)

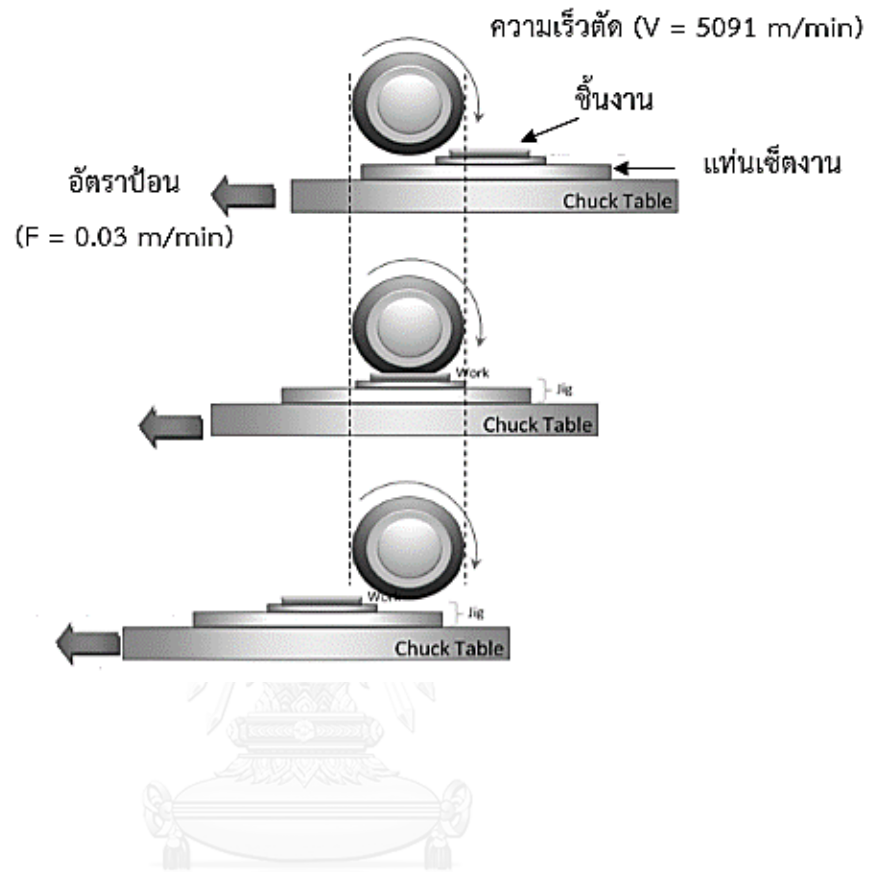
ชนิดของวัสดุที่ผลิต (Material Type) : เรซินผสมกับผงเพชรชนิดมาตรฐาน (ผิวเรียบ)  
(Resin with Diamond type standard :  
Lapping surface)

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Out side diameter)	:	54 mm
ขนาดความหนาของใบมีดตัด (Blade Thickness)	:	0.1 +/- 0.005 mm

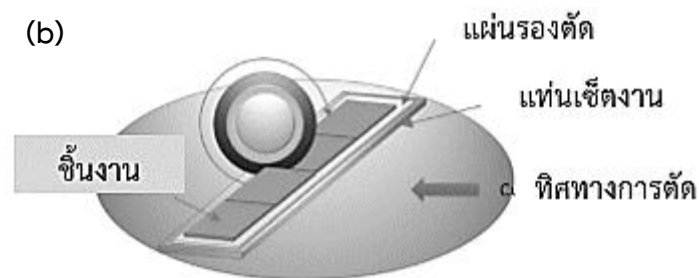
## 3. ลักษณะการทำงานของเครื่องตัด (Dicing Machine) ขณะตัดแยกงาน

- 3.1 ใบมีดตัด (Blade) จะหมุนด้วยความเร็วที่กำหนด (30,000 rpm) ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (Co-current rotation)
- 3.2 ใบมีดตัด (Blade) จะเคลื่อนที่มายังตำแหน่งของค่าความสูงที่กำหนด (Blade Height)
- 3.3 แท่นวางงาน (Chuck Table) ในเครื่องจะเคลื่อนที่ในแนวแกน X เข้าหาใบมีดตัด
- 3.4 ใบมีดตัด (Blade) จะยกตัวขึ้นพ้นชิ้นงานเมื่อแท่นวางงานเคลื่อนที่ตามระยะที่กำหนด (Cutting Length)
- 3.5 แท่นวางงานเคลื่อนที่กลับยังตำแหน่งเริ่มต้น และเริ่มตัดในตำแหน่งเส้นที่ 2 ถัดไป

(a)



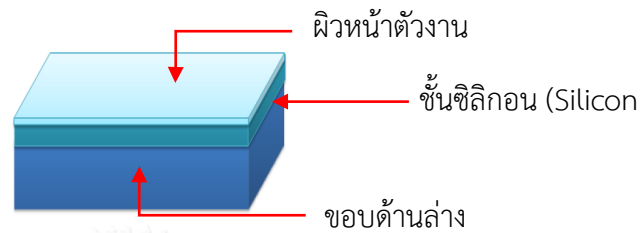
(b)



รูปที่ 3. 15 (a) : แสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องตัด (Dicing machine) ขณะทำการตัดแยกชิ้นงาน A (b) : แสดงลักษณะการตัดแยกในแต่ละตำแหน่งของการตัดบนชิ้นงาน A

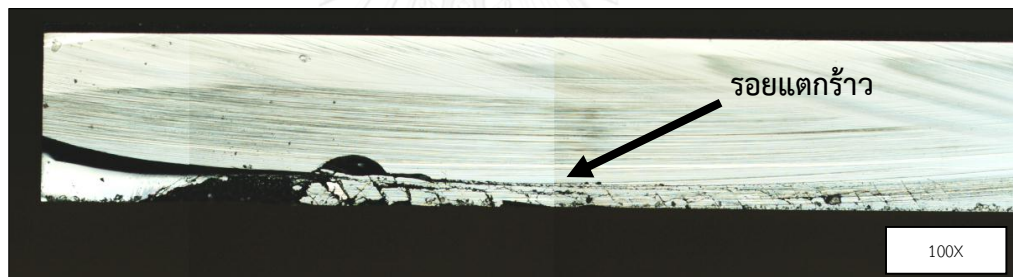
### 3.1.5 วิเคราะห์สภาพปัญหาที่เกิดขึ้นกับการตัดแยกชิ้นงาน

หลังจากทำการตรวจสอบชิ้นงานหลังการตัด พบว่าบริเวณตำแหน่งของการตัดชิ้นงาน (Cutting Surface) มีลักษณะเกิดเป็นรอยร้าวเกิดขึ้นบริเวณชั้นความหนาของแผ่นซิลิกอน ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะของรอยร้าวจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ซึ่งมีลักษณะดังนี้



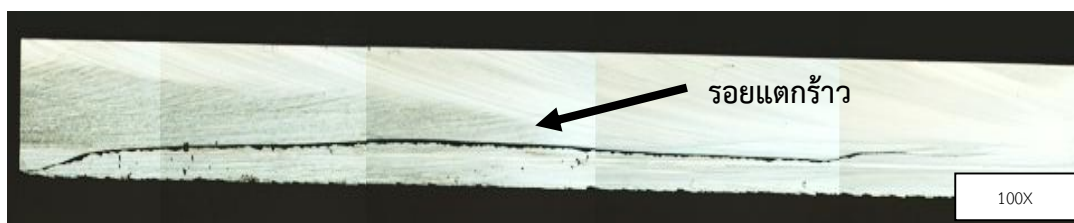
รูปที่ 3. 16 ลักษณะของตัวงาน

กลุ่มที่ 1 : ลักษณะรอยร้าวเกิดบริเวณขอบด้านล่างของชิ้นงาน (ด้านที่ติดกับแผ่นรองตัด)



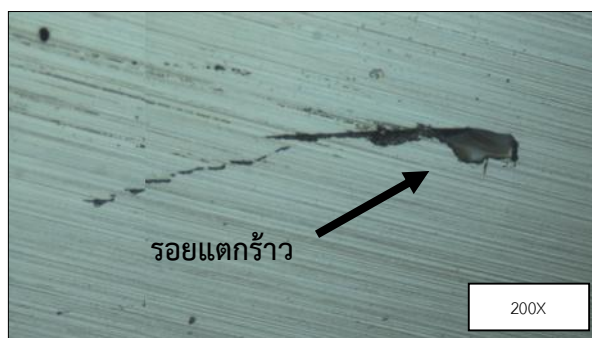
รูปที่ 3. 17 ลักษณะรอยร้าวของตัวงานในกลุ่มที่ 1

กลุ่มที่ 2 : ลักษณะรอยร้าวที่จุดเริ่มต้นเกิดจากขอบด้านล่างชิ้นงานต่อเนื่องถึงกลางตัวงาน



รูปที่ 3. 18 ลักษณะรอยร้าวของตัวงานในกลุ่มที่ 2

กลุ่มที่ 3 : ลักษณะรอยร้าวที่เกิดบริเวณกลางตัวงาน

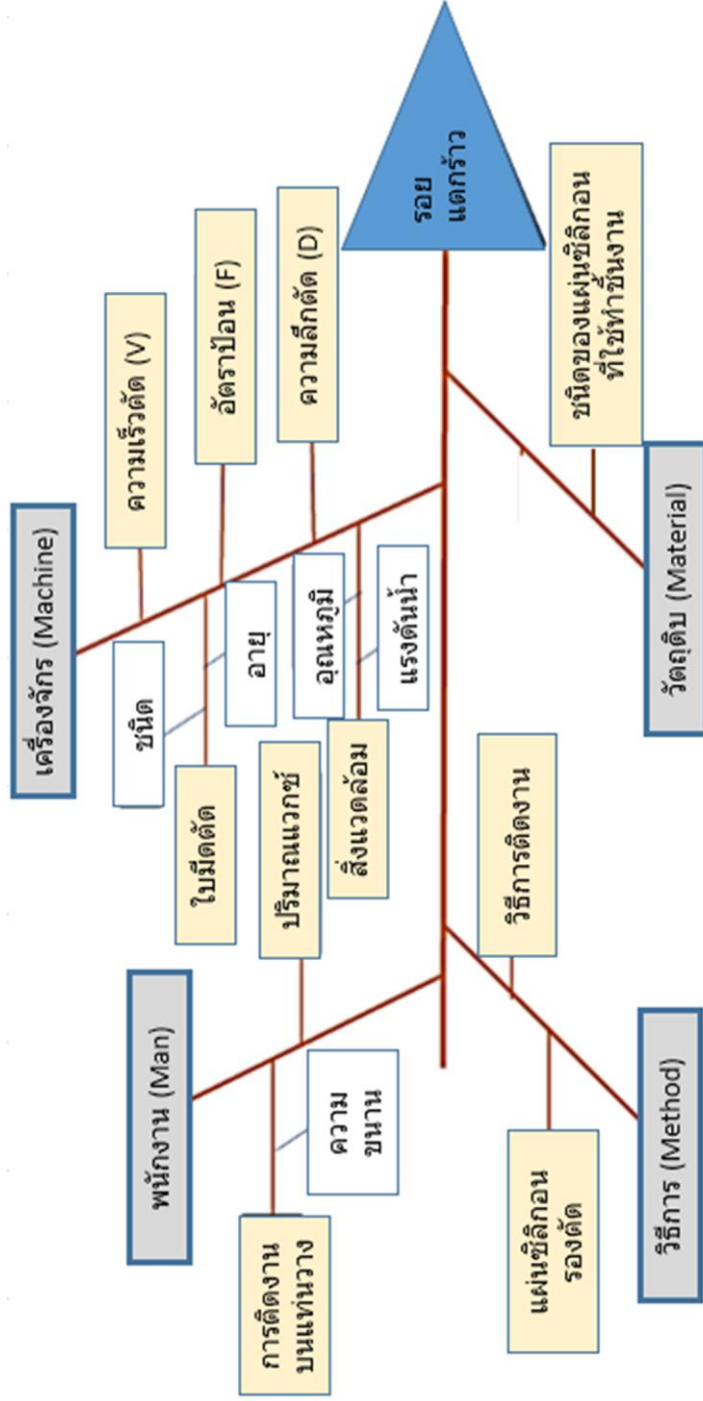


รูปที่ 3. 19 ลักษณะรอยร้าวของตัวงานในกลุ่มที่ 3

### 3.2 การเลือกปัจจัยในการทดลอง

สำหรับปัญหาการเกิดรอยแตกร้าวบริเวณหน้าตัดชิ้นงานนั้น จากการวิเคราะห์ปัญหานั้นอาจมีหลากหลายปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้องในการทำให้เกิดรอยแตกร้าวบริเวณหน้าตัดของชิ้นงานได้ สำหรับการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลนั้น ในงานวิจัยนี้จะให้วิธีการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องด้วยแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Analysis) ดังแสดงในรูปที่ 3.20

แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Analysis)



รูปที่ 3.20 ผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยวิธีแผนภูมิแก่งปลา (Cause and Effect Analysis)



จากการรวบรวมสาเหตุที่คาดว่าจะจะเป็นสาเหตุของการเกิดปัญหารอยร้าว (Crack) บนหน้าตัด  
 ชีงงานด้วยแผนก้างปลา ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.19 จากนั้นจะทำประเมินผลกระทบของแต่ละปัจจัย จาก  
 ค่าดัชนีชี้วัดความเสี่ยง (RP : Risk Priority) โดยได้ทำการประเมินจากผลคูณของการประเมินระดับ  
 ความรุนแรงของข้อบกพร่อง (S : Severity) กับค่าความถี่ของการเกิดข้อบกพร่อง (O : Occurrence)

$$\text{ค่าดัชนีชี้วัดความเสี่ยง (RP)} = (S) \times (O)$$

โดยที่ S คือ ระดับความรุนแรงของข้อบกพร่อง (Severity)

O คือ ความถี่ของการเกิดข้อบกพร่อง (Occurrence)

สำหรับเกณฑ์ในการประเมินระดับความรุนแรงของข้อบกพร่อง (S) และค่าความถี่ของการ  
 เกิดข้อบกพร่อง (O) ผู้จัดทำนั้นได้ทำการพิจารณาจากข้อมูลของแต่ละปัจจัยในกระบวนการผลิตที่  
 ส่งผลกระทบและสัมพันธ์กับการเกิดรอยแตกร้าวบนหน้าตัดของชีงงานในแต่ละกรณีของแต่ละปัจจัย  
 โดยทำการรวบรวมผลและแนวโน้มของการเกิดของเสีย ที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดแยกชีงงานที่มี  
 ลักษณะเป็นรอยแตกร้าวบริเวณหน้าตัด จากนั้นได้จัดทำเป็นเกณฑ์ในการประเมินผลของแต่ละปัจจัย  
 ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 3.1 และ 3.2

ตารางที่ 3. 1 เกณฑ์การประเมินในหัวข้อระดับความรุนแรงของข้อบกพร่อง (Severity : S)

ระดับความรุนแรง	รายละเอียด	การจัดลำดับ
สูงมาก	เกิดความเสียหายกับชิ้นงานจำนวนมากกว่า 40% ของจำนวนชิ้นงานเสียที่เกิดขึ้น	5
สูง	เกิดความเสียหายกับชิ้นงานจำนวนตั้งแต่ 10 – 40% ของจำนวนชิ้นงานเสียที่เกิดขึ้น	4
ปานกลาง	เกิดความเสียหายกับชิ้นงานจำนวนน้อยกว่า 10% ของจำนวนชิ้นงานเสียที่เกิดขึ้น	3
ต่ำ	ส่งผลกระทบต่อกระบวนการตัด แต่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับชิ้นงานโดยตรง	2
ต่ำมาก	ไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต	1

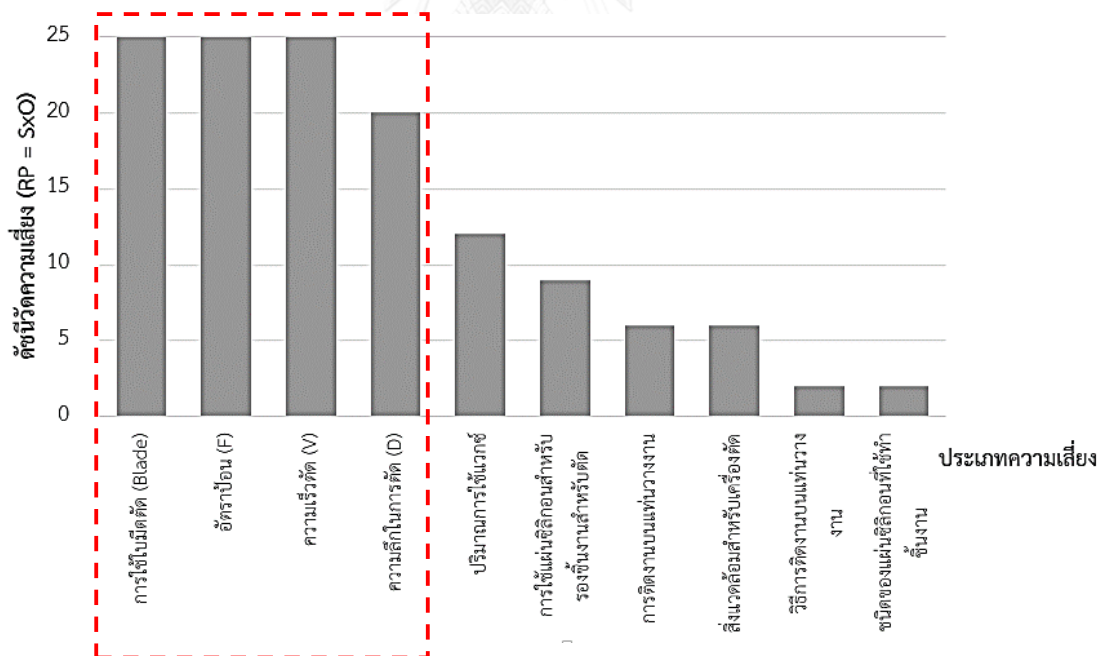
ตารางที่ 3. 2 เกณฑ์การประเมินในหัวข้อความถี่ของการเกิดปัญหา (Occurrence : O)

ระดับความถี่	รายละเอียด	การจัดลำดับ
สูงมาก	สามารถพบชิ้นงานแตกร้าวได้ทุก 1 วัน	5
สูง	สามารถพบชิ้นงานแตกร้าวได้ทุก 2 วัน	4
ปานกลาง	สามารถพบชิ้นงานแตกร้าวได้ทุก 3 - 4 วัน	3
น้อย	สามารถพบชิ้นงานแตกร้าวได้ทุก 5 - 6 วัน	2
น้อยมาก	สามารถพบชิ้นงานแตกร้าวได้นานกว่าทุก 6 วัน	1

ตารางที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์สาเหตุของแต่ละปัจจัยในการเกิดรอยร้าว (Crack) บนชิ้นงานหลังจาการกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน (Strip cut process)

กระบวนการ	ลักษณะข้อบกพร่อง	สาเหตุ	ผลกระทบ	S	O	RP (SxO)
กระบวนการตัดแยกชิ้นงาน	การเกิดรอยร้าวบนชิ้นงาน	การติดตั้งบนแท่นวางงาน	เกิดความเสียหายกับชิ้นงานจำนวนน้อยกว่า 10% ของจำนวนชิ้นงานเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถพบได้ทุก 5 - 6 วัน	3	2	6
		ปริมาณการใช้แวกซ์	เกิดความเสียหายกับชิ้นงานจำนวนตั้งแต่ 10 - 40% ของจำนวนชิ้นงานเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถพบได้ทุก 3 - 4 วัน	4	3	12
		การใช้ใบมีดตัด (Blade)	เกิดความเสียหายกับชิ้นงานจำนวนมากกว่า 40% ของจำนวนชิ้นงานเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถพบได้ทุก 1 วัน	5	5	25
		สิ่งแวดล้อมสำหรับเครื่องตัด	เกิดความเสียหายกับชิ้นงานจำนวนน้อยกว่า 10% ของจำนวนชิ้นงานเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถพบได้ทุก 5 - 6 วัน	3	2	6
		อัตราป้อน (F)	เกิดความเสียหายกับชิ้นงานจำนวนมากกว่า 40% ของจำนวนชิ้นงานเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถพบได้ทุก 1 วัน	5	5	25
		ความลึกในการตัด (D)	เกิดความเสียหายกับชิ้นงานจำนวนมากกว่า 40% ของจำนวนชิ้นงานเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถพบได้ทุก 2 วัน	5	4	20
		ความเร็วตัด (V)	เกิดความเสียหายกับชิ้นงานจำนวนมากกว่า 40% ของจำนวนชิ้นงานเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถพบได้ทุก 1 วัน	5	5	25
		การใช้แผนชิลิกอนสำหรับรอง	เกิดความเสียหายกับชิ้นงานจำนวนน้อยกว่า 10% ของจำนวนชิ้นงานเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถพบได้ทุก 3 - 4 วัน	3	3	9
		วิธีการติดตั้งบนแท่นวางงาน	ส่งผลกระทบต่อกระบวนการตัด แต่ไม่ทำให้เกิดชิ้นงานเสีย	2	1	2
		ชนิดของแผ่นชิลิกอนที่ใช้ทำชิ้นงาน	ส่งผลกระทบต่อกระบวนการตัด แต่ไม่ทำให้เกิดชิ้นงานเสีย	2	1	2

จากการประเมินผลกระทบของแต่ละสาเหตุที่คาดว่าจะมีโอกาสทำให้เกิดรอยร้าว (Crack) บนชิ้นงาน A หลังจากผ่านการตัดแยกแล้วพบว่า สาเหตุที่อาจเป็นไปได้แสดงด้วยค่า ดัชนีชี้วัดความเสี่ยง (RP) ดังแสดงในรูปที่ 3.21 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่มีค่าการประเมินผลกระทบของความเสี่ยงจากสูงสุดใน 4 อันดับแรก ก่อน โดยที่ความเร็วการตัด ( $V : RP = 25$ ), การใช้ใบมีดตัด (Blade :  $RP = 25$ ), อัตราป้อน ( $F : RP = 25$ ), และความลึกในการตัด ( $D : RP = 20$ ) ตามลำดับ นอกจากนี้ทั้ง 4 ปัจจัยยังเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อเกิดการรอยแตกร้าวบริเวณการตัดชิ้นงานโดยตรง ซึ่งถ้ามีการปรับปรุงจะทำให้การเกิดรอยแตกร้าวลดลงได้ จึงควรทำการปรับปรุงก่อนปัจจัยอื่นๆ ดังนั้นรายงานวิจัยฉบับนี้จึงนำปัจจัยที่แสดงผลกระทบสูงสุดใน 4 อันดับ ดังกล่าวนี้มาทำศึกษาและการพิจารณาปรับปรุงเพื่อทำให้การเกิดรอยร้าวบนหน้าตัดชิ้นงาน A หลังทำการตัดให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด โดยในการศึกษาจะทำการหาความสัมพันธ์ของปัจจัยการตัด (ความเร็วตัด ( $V$ ), อัตราป้อน ( $F$ ) และความลึกในการตัด ( $D$ )) ซึ่งผ่านการตัดด้วยเครื่องตัด (Dicing machine) รุ่น DAD322 โดยกำหนดให้ใบมีดตัด (Blade) เป็นตัวแปรคงที่



รูปที่ 3. 21 การดัชนีชี้วัดความเสี่ยง (RP) ของแต่ละสาเหตุที่อาจทำให้เกิดรอยร้าว (Crack) บนชิ้นงาน A

### 3.3 การกำหนดระดับของปัจจัย

จากปัจจัยทั้ง 3 คือ ความเร็วตัด (V), อัตราป้อน (F) และความลึกตัด (D) ที่ส่งผลต่อการเกิดรอยแตกร้าวบริเวณหน้าตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดแยก ซึ่งจากการศึกษาพบว่าทั้ง 3 ปัจจัยมีความสัมพันธ์ต่อกันและส่งผลกระทบต่อคุณภาพของการตัดชิ้นงาน ซึ่งในการศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยทั้ง 3 เบื้องต้นจากเงื่อนไขก่อนการศึกษาคือ ความเร็วตัด (V) = 5091 m/min, อัตราป้อน (F) = 0.03 m/min และ ความลึกตัด 300  $\mu\text{m}$  โดยทำการพิจารณาผลของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดรอยแตกร้าว จากนั้นทำการพิจารณาเลือกระดับของปัจจัยจากช่วงที่แสดงผลการทดลองที่ดีที่สุดของแต่ละปัจจัย ซึ่งจะทำการเลือกช่วงในการศึกษาออกเป็น 3 ระดับ คือ ค่าสูง , ค่ากลาง และค่าต่ำ

### 3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

#### 3.4.1 ซิลิกอนเวเฟอร์ (ชิ้นงาน)

ซิลิกอนที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นซิลิกอนเวเฟอร์ประเภทผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) มีความหนาเท่ากับ 1.0 mm โดยแผ่นซิลิกอนที่ใช้ในการทดสอบจะส่งต่อจากกระบวนการตรวจสอบชิ้นงาน (Inspection Material) ซึ่งแผ่นของซิลิกอนจะมีลายวงจรรอบบนผิวหน้าของแผ่น และจะผ่านกระบวนการตัดแยกในแนวยาว (แกน Y) แล้ว โดยเรียกว่า สทริป (Strip) ราคาชิ้นงานซิลิกอนเท่ากับ 1,650 บาท/ชิ้นงาน ปริมาณการผลิตเท่ากับ 17,280 ชิ้นงาน/ปี

#### 3.4.2 ซิลิกอนเวเฟอร์ (แผ่นรองตัด)

เป็นซิลิกอนสำหรับรองรับบริเวณใต้ชิ้นงานขณะทำการตัด เพื่อให้สามารถตัดชิ้นงานขาดโดยใบมีดจะตัดลึกลงมายังแผ่นซิลิกอนรองตัด แผ่นรองตัดจะเป็นซิลิกอนเวเฟอร์ขนาด 6.0 in. หนา 0.6 mm.

#### 3.4.3 แวกซ์ หรือ ชีผึ้งร้อน (Hot Melt Wax : 5302)

เป็นชีผึ้งที่ใช้สำหรับการยึดติดชิ้นงานกับแผ่นรองตัด โดยที่สามารถรับแรงกระทำจากการตัดด้วยเครื่องตัดได้ โดยที่คุณสมบัติของชีผึ้งจะอ่อนตัวที่ 58 องศาเซลเซียส และแข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง และสำหรับชีผึ้งประเภทนี้สามารถทำความได้ด้วยแอลกอฮอล์ ขณะที่ชีผึ้งกำลังอ่อนตัว

#### 3.4.4 เครื่องวัดความหนาชิ้นงาน (Thickness Gauge)

เครื่องวัดความหนาของชิ้นงาน ใช้สำหรับการวัดความหนาของชิ้นงานหลังจากทำการประกอบชิ้นงานเข้ากับแท่นวางงานเรียบร้อยแล้ว เพื่อนำค่าความหนาที่ได้มาคำนวณหาค่าความสูงใบมีดตัดเพื่อให้ได้ระยะความลึกในการตัดของชิ้นงาน

#### 3.4.5 เครื่องทำอุณหภูมิความร้อน (Hotplate)

เครื่องทำอุณหภูมิ ทำการตั้งค่าอุณหภูมิความร้อนของเครื่องที่  $60 \pm 5$  องศาเซลเซียส โดยให้อุณหภูมิกับแท่นวางงานและแว็กซ์เพื่อทำให้แว็กซ์หลอมละลายก่อนทำการประกอบชิ้นงานเข้ากับแท่นวางงาน และการแยกงานออกจากแท่นวางงานหลังจากตัดชิ้นงานเสร็จสิ้น

#### 3.4.6 แท่นวางงาน (Cutting jig)

เป็นอุปกรณ์สำหรับใช้ประกอบเข้ากับชิ้นงานเพื่อช่วยยึดติดชิ้นงานขณะตัด โดยแท่นวางงานจะเป็นลักษณะแผ่นเหล็กกลมแบนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว สามารถยึดติดกับเครื่องตัดด้วยระบบสูญญากาศของเครื่องตัดขณะทำการตัดแยกชิ้นงาน

#### 3.4.7 เครื่องตัดแยกซิลิกอนเวเฟอร์ (Dicing Machine)

เครื่องตัดแยกซิลิกอนเวเฟอร์แบบกึ่งอัตโนมัติ รุ่น DAD 322 ผลิตโดยบริษัท Disco โดยเครื่องตัดจะต้องประกอบใบมีดตัดเข้ากับเครื่อง และสามารถควบคุมปัจจัยการตัดของเครื่องได้ตามกำหนด เช่น ความเร็วตัด (V) , อัตราป้อน (F) และความลึกตัด (D) เป็นต้น สำหรับการใช้งานเครื่องตัดจะทำการควบคุมอัตราการไหลของน้ำเป็น 1.0 L/min อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นเป็น  $18 \pm 3$  °C รูปแบบการตัดเป็นแบบตัดขาด

#### 3.4.8 ใบมีดตัด (Blade)

ใบมีดตัดในการใช้งานจะเป็นแบบผงเพชรเรซิน โดยมีขนาดความ 54 x 0.1 ( $\pm 0.005$ ) mm ใช้ควบคู่กับเครื่องตัดโดยจะสัมผัสกับชิ้นงานเพื่อตัดแยก โดยแสดงผลตามปัจจัยการควบคุมของเครื่องขณะทำการตัดแยกชิ้นงาน

#### 3.4.9 กล้องจุลทรรศน์ (Digital Microscope)

กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้สำหรับการตรวจสอบผิวหน้าชิ้นงานหลังจากทำการตัดแยกชิ้นงาน เพื่อตรวจสอบรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้น และทำการแยกชิ้นงานดีและเสียออกจากกัน โดยจะใช้กำลังขยายในการตรวจสอบเท่ากับ 50 เท่าของชิ้นงานจริง

### 3.4.10 ราคาต้นทุนวัตถุดิบ และปริมาณการผลิต

สำหรับราคาต้นทุนของวัตถุดิบชิ้นงานซิลิกอนเท่ากับ 1,650 บาท/ชิ้นงาน สำหรับกระบวนการผลิตจะทำการผลิตชิ้นงานเท่ากับ 17,280 ชิ้นงาน/ปี

### 3.5 ขั้นตอนการทำงานทดลอง

1. ทำการเตรียมชิ้นงานที่ต้องการตัดแยกโดยชิ้นงานจะถูกส่งต่อจากกระบวนการตรวจสอบวัตถุดิบ
2. ทำการติดชิ้นงานลงบนแท่นวางชิ้นงานโดยมีแผ่นรองตัดอยู่ระหว่างชิ้นงานและแท่นวางงาน โดยชิ้นส่วนทั้งหมดจะยึดติดกันด้วยแวกซ์บนเครื่องทำอุณหภูมิ  $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$  จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้แข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง
3. ทำการวัดความสูงของชิ้นงานหลังจากติดชิ้นงานเข้ากับแท่นวางงานเรียบร้อยแล้ว
4. นำแท่นวางพร้อมชิ้นงานเข้าเครื่องตัด เลือกโปรแกรมการตัด บันทึกค่าความสูงของใบมีดตัด จากนั้นให้กดปุ่มเริ่มทำงาน (ระยะทางการตัดเท่ากับ 0.025 เมตร/ชิ้นงาน)
5. หลังจากตัดชิ้นงานเสร็จสิ้นให้นำงานออกจากเครื่องตัด วางแท่นวางชิ้นงานบนเครื่องทำอุณหภูมิ รอจนกระทั่งแวกซ์หลอมละลาย
6. ทำการแยกตัวงานออกจากแท่นวางงาน ทำความสะอาดแวกซ์ขณะหลอมละลายออกจากชิ้นงานด้วยแผ่นทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์
7. ทำการตรวจสอบรอยร้าวที่เกิดจากการตัด บริเวณหน้าตัดชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 50 เท่า
8. บันทึกจำนวนชิ้นงานที่เกิดรอยแตกร้าวในแต่ละเงื่อนไขการตัด และตำแหน่งการเกิดรอยแตกร้าวแต่ละชิ้นในการตัดทั้งหมด 50 ชิ้นงาน
9. วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง

### 3.6 การวางแผนการวิจัย

#### 3.6.1 ศึกษาและกำหนดค่าระดับของปัจจัยในการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) แบบ ฟูลแฟคทอเรียล (Full Factorial) ในการทดลองในกระบวนการตัดแยกชิ้นงานด้วยเครื่องตัดแยกชิ้นงาน (Dicing Machine) โดยพิจารณาเลือกปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการตัด 3 ปัจจัย (ความเร็วตัด : V (m/min), ความลึกตัด : D (um) และ อัตราป้อน : F (m/min)) โดยทำการทดลองหาผลของการตัดในแต่ละปัจจัยที่มีต่อการเกิดชิ้นงานแตกร้าว เพื่อพิจารณาค่าระดับของแต่ละปัจจัยที่จะใช้ในการศึกษา โดยอ้างอิงจากเงื่อนไขการตัดก่อนปรับปรุงของโรงงานตัวอย่าง ซึ่งแสดงเงื่อนไขดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3. 4 เงื่อนไขการตัดก่อนปรับปรุง

ปัจจัย	หน่วย	เงื่อนไขการตัด
ความเร็วตัด (V)	m/min	5091
ความลึกตัด (D)	um	300
อัตราป้อน (F)	m/min	0.03

#### 3.6.2 ศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อจำนวนชิ้นงานแตกร้าว

จากผลการพิจารณาของแต่ละปัจจัยในข้อ 6.3.1 จากนั้นจึงนำค่าระดับของปัจจัยที่เลือกมาทำการทดลองแบบฟูลแฟคทอเรียล 3 ปัจจัย 3 ระดับ (3 level design) เพื่อหาความสัมพันธ์ของปัจจัยการตัดที่ส่งผลต่อการเกิดจำนวนชิ้นงานแตกร้าวน้อยที่สุด ซึ่งจะทำการทดสอบซ้ำกัน 2 ครั้งต่อเงื่อนไขการตัดอย่างสุ่ม ( $3^3 \times 2$  การทดลอง) ในแต่ละการทดลองจะทำการตัดชิ้นงานทั้งหมด 50 ชิ้นงานรวมเป็น 2700 การทดลอง ซึ่งจะสามารถแสดงตารางการทดลองตามตารางที่ 3.5



ตารางที่ 3.5 เงื่อนไขการทดลองเพื่อหาเงื่อนไขที่ทำให้เกิดชิ้นงานแตกร้าวอย่างน้อยที่สุด

การทดลองที่	เงื่อนไขการทดสอบ			จำนวนชิ้นงานทดสอบ
	ความเร็วตัด (V)	ความลึกตัด (D)	อัตราป้อน (F)	
1	1697	150	0.03	50
2	1697	150	0.06	50
3	1697	150	0.09	50
4	1697	200	0.03	50
5	1697	200	0.06	50
6	1697	200	0.09	50
7	1697	250	0.03	50
8	1697	250	0.06	50
9	1697	250	0.09	50
10	3394	150	0.03	50
11	3394	150	0.06	50
12	3394	150	0.09	50
13	3394	200	0.03	50
14	3394	200	0.06	50
15	3394	200	0.09	50
16	3394	250	0.03	50
17	3394	250	0.06	50
18	3394	250	0.09	50
19	5091	150	0.03	50
20	5091	150	0.06	50
21	5091	150	0.09	50
22	5091	200	0.03	50
23	5091	200	0.06	50
24	5091	200	0.09	50
25	5091	250	0.03	50
26	5091	250	0.06	50
27	5091	250	0.09	50

### 3.6.3 ศึกษาอายุการใช้งานใบมีดตัด

จากการออกแบบการทดลองที่ 3.6.2 ทำการพิจารณาอายุการใช้งานใบมีดตัดของแต่ละเงื่อนไขการตัด โดยพิจารณาผลจากระยะเวลาการใช้งานใบมีดตัดตั้งแต่ชิ้นงานแรกจนกระทั่งก่อนเกิดชิ้นงานแตกร้าวในตัวแรกของการตัดชิ้นงานตัวอย่างทั้งหมด 50 ชิ้นงานของแต่ละเงื่อนไขการตัด เนื่องจากการเกิดชิ้นงานแตกร้าวชิ้นแรกจะเกิดอยู่ในช่วงการตัดชิ้นที่ 1 ถึง 50 ชิ้นงานแรก ซึ่งการทดลองได้ทำการหาอายุการใช้งานใบมีดตัดจากผลการทดลองที่ 3.6.2 ซึ่งเป็นการทดลองแบบฟูลแฟคทอเรียล 3 ปัจจัย 3 ระดับ โดยเงื่อนไขการทดลองแต่ละเงื่อนไขดังแสดงดังตารางที่ 3.3



ตารางที่ 3. 6 เงื่อนไขการทดลองเพื่อหาเงื่อนไขที่อายุการใช้งานใบมีดตัด

การทดลองที่	เงื่อนไขการทดสอบ			จำนวนชิ้นงานทดสอบ
	ความเร็วตัด (V)	ความลึกตัด (D)	อัตราป้อน (F)	
1	1697	150	0.03	50
2	1697	150	0.06	50
3	1697	150	0.09	50
4	1697	200	0.03	50
5	1697	200	0.06	50
6	1697	200	0.09	50
7	1697	250	0.03	50
8	1697	250	0.06	50
9	1697	250	0.09	50
10	3394	150	0.03	50
11	3394	150	0.06	50
12	3394	150	0.09	50
13	3394	200	0.03	50
14	3394	200	0.06	50
15	3394	200	0.09	50
16	3394	250	0.03	50
17	3394	250	0.06	50
18	3394	250	0.09	50
19	5091	150	0.03	50
20	5091	150	0.06	50
21	5091	150	0.09	50
22	5091	200	0.03	50
23	5091	200	0.06	50
24	5091	200	0.09	50
25	5091	250	0.03	50
26	5091	250	0.06	50
27	5091	250	0.09	50

### 3.6.4 การยืนยันผลการทดลอง

จากเงื่อนไขที่ทำให้การตัดแยกชิ้นงานเกิดขึ้นงานแตกร้าวน้อยที่สุด (ในการทดลองที่ 6.2.2) จากนั้นนำเงื่อนไขดังกล่าวมาทำการตัดชิ้นงานในกระบวนการจริง จากนั้นพิจารณาผลของการเกิดขึ้นงานแตกร้าวเพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง

### 3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัยนี้ได้เลือกวิธีการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบฟูลแฟคทอเรียล ซึ่งสามารถตอบสนองต่อการวิเคราะห์ผลของการทดลองได้ โดยในการวิเคราะห์ข้อมูลจะทำการพิจารณาอิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่มีต่อการเกิดจำนวนชิ้นงานแตกร้าว ซึ่งจะพิจารณาจากค่า  $P$  หากมีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยนั้นส่งผลกระทบต่อการศึกษาชิ้นงานแตกร้าว แต่ถ้าค่า  $P$  มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาชิ้นงานแตกร้าว ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดให้พิจารณาที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้เหมาะสม

## บทที่ 4

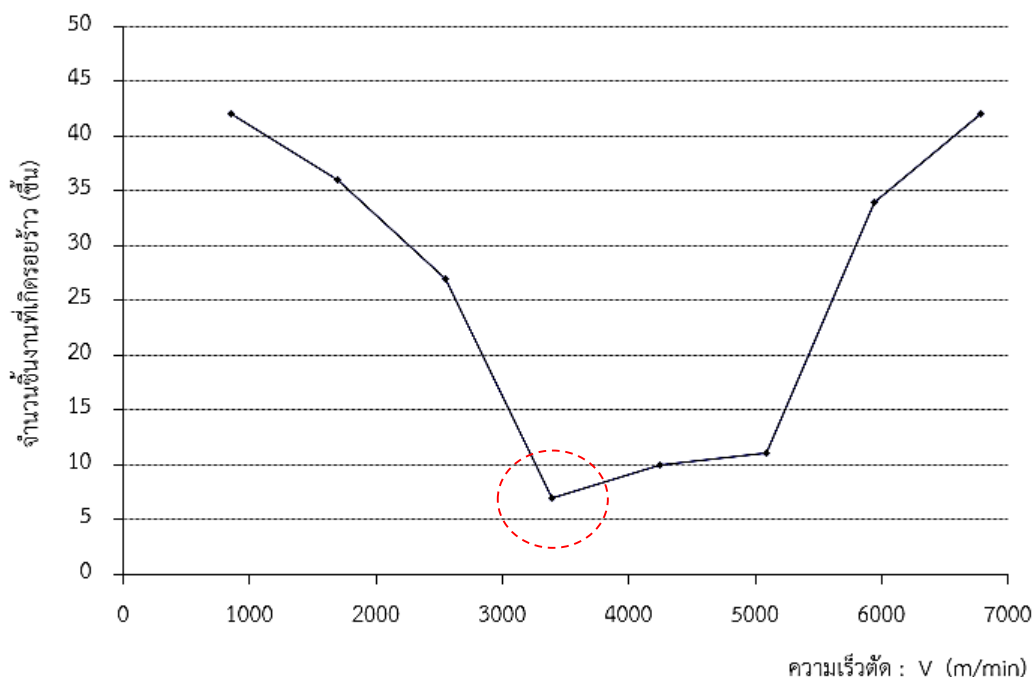
### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

#### 4.1 ผลการหาระดับของปัจจัยในการทดลองตัดแยกชิ้นงาน

##### 4.1.1 ผลการหาช่วงของปัจจัยความเร็วตัด (V)

ตารางที่ 4. 1 ผลของความเร็วตัด (V) ที่มีต่อการเกิดชิ้นงานแตกร้าว

การทดลองที่	อัตราป้อน (F : m/min)	ความลึกตัด (D : $\mu\text{m}$ )	ความเร็วตัด (V : m/min)	จำนวนชิ้นงานแตกร้าว (ชิ้น) จากการตัด 50 ชิ้น
1	0.03	300	849	42
2	0.03	300	1697	36
3	0.03	300	2546	27
4	0.03	300	3394	7
5	0.03	300	4243	10
6	0.03	300	5091	11
7	0.03	300	5940	34
8	0.03	300	6789	42



รูปที่ 4. 1 ผลของความเร็วตัด (V) ต่อการเกิดขึ้นงานแตกร้าว

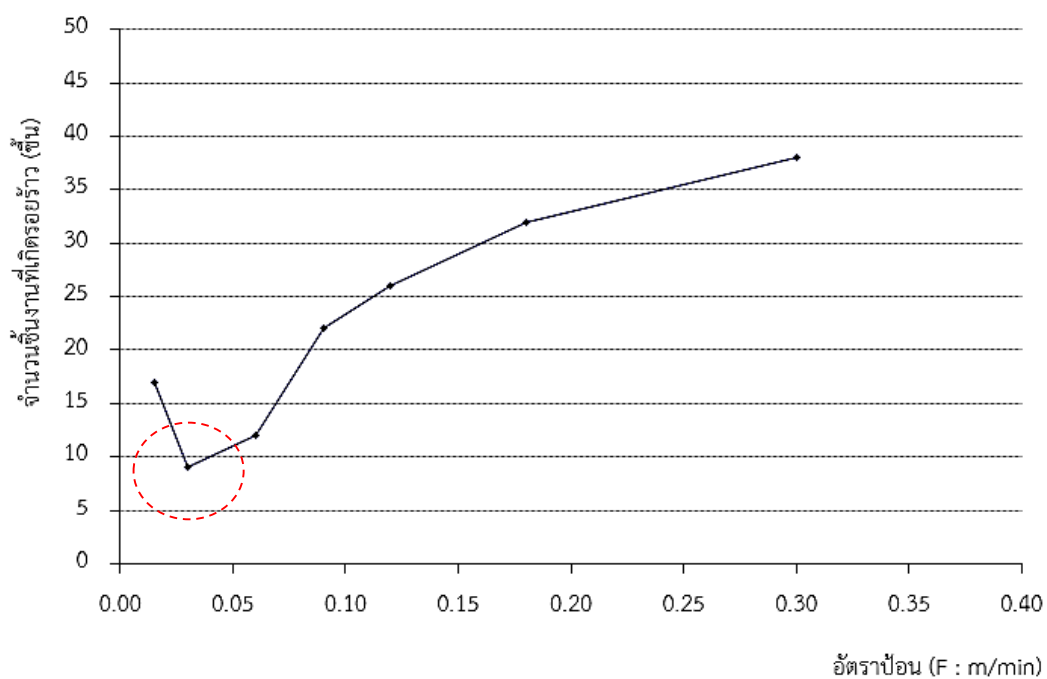
วิเคราะห์ผลการทดลอง :

จากผลการทดลองพิจารณาผลของความเร็วตัด (V) ในรูปที่ 4.1 โดยกำหนดให้อัตราการป้อน (F) และความลึกตัด (D) คงที่เท่ากับ 0.03 m/min และ 300  $\mu$ m ตามลำดับ โดยทำการทดลองตัดชิ้นงานทั้งหมด 50 ชิ้นงานพบว่าที่ความเร็วตัด (V) เท่ากับ 3394 m/min เกิดชิ้นงานแตกร้าวน้อยที่สุด โดยเกิดเท่ากับ 7 ชิ้น และเมื่อพิจารณาจากกราฟผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วตัดมากกว่า 3394 m/min แนวโน้มของการเกิดจำนวนชิ้นงานแตกร้าวเพิ่มสูงขึ้น และในทางเดียวกันเมื่อทำการลดความเร็วตัดต่ำกว่า 3394 m/min แนวโน้มของการเกิดชิ้นงานแตกร้าวเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน ซึ่งจากผลการทดลองจึงพิจารณาเลือกระดับของปัจจัยความเร็วตัด (V) เป็น 1697, 3394 และ 5091 m/min ในการทดลองต่อไป

#### 4.1.2 ผลการหาช่วงของปัจจัยอัตราป้อน (F)

ตารางที่ 4. 2 ผลของอัตราป้อน (F) ที่มีต่อการเกิดขึ้นงานแตกร้าว

การทดลองที่	ความลึกตัด (D : $\mu\text{m}$ )	ความเร็วตัด (V : m/min)	อัตราป้อน (F : m/min)	จำนวนชิ้นงานแตกร้าว (ชิ้น) จากการตัด 50 ชิ้น
1	300	5091	0.02	17
2	300	5091	0.03	9
3	300	5091	0.06	12
4	300	5091	0.09	22
5	300	5091	0.12	26
6	300	5091	0.18	32
7	300	5091	0.30	38



รูปที่ 4. 2 ผลของอัตราป้อน (F) ต่อการเกิดขึ้นงานแตกร้าว

วิเคราะห์ผลการทดลอง :

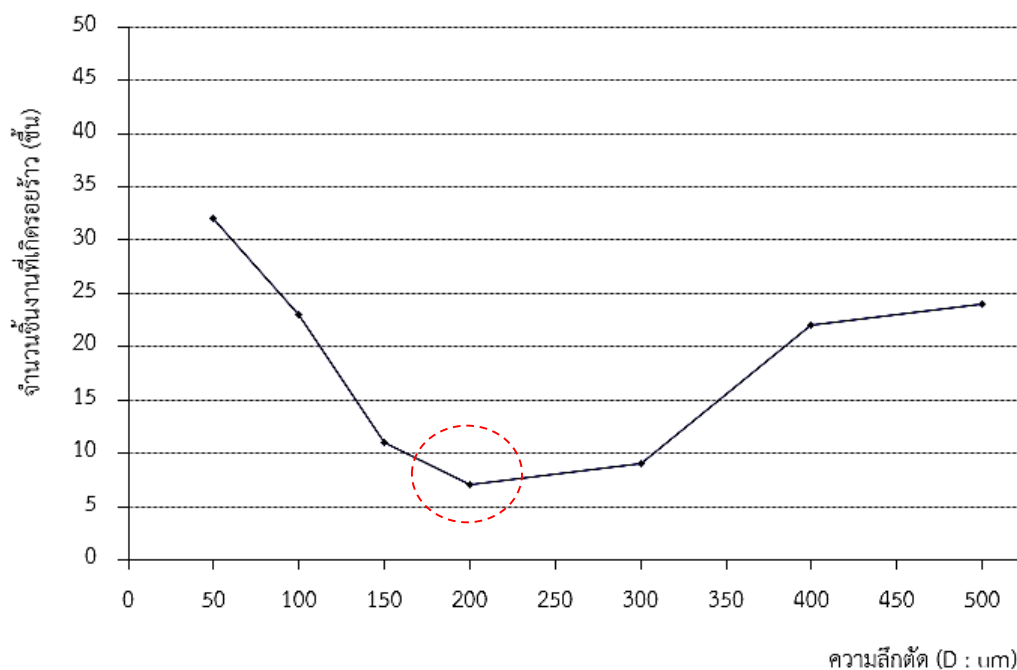
จากผลการทดลองพิจารณาผลของอัตราป้อน (F) ในรูปที่ 4.2 โดยกำหนดให้ความเร็วตัด (V) และความลึกตัด (D) เท่ากับ 5091 m/min และ 300  $\mu\text{m}$  ตามลำดับ ซึ่งทำการทดลองตัดชิ้นงานทั้งหมด 50 ชิ้นงาน พบว่าที่อัตราป้อน (F) เท่ากับ 0.03 m/min ทำให้เกิดชิ้นงานแตกร้าวน้อยที่สุด โดยเกิดเท่ากับ 9 ชิ้น และเมื่อพิจารณาจากกราฟผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราป้อนมากกว่า 0.03 m/min แนวโน้มของการเกิดจำนวนชิ้นงานแตกร้าวมุ่งสูงขึ้น และในทางเดียวกันเมื่อทำการลดอัตราป้อนต่ำกว่า 0.03 m/min แนวโน้มของการเกิดชิ้นงานแตกร้าวมุ่งสูงขึ้นเช่นกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการทดลองจึงทำการเลือกระดับของปัจจัยอัตราป้อน (F) เป็น 0.03, 0.06 และ 0.09 m/min ในการทดลองต่อไป สำหรับการพิจารณาเลือก F จะไม่ทำการเลือกช่วงที่ต่ำกว่า 0.03 m/min เนื่องจากถ้า F มีค่าที่ต่ำกว่า 0.03 m/min แล้วจะทำให้ส่งผลกระทบต่อความสามารถของกระบวนการผลิต (Process Capacity) เพราะปัจจัย F จะเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการผลิตของกระบวนการ

#### 4.1.3 ผลการหาช่วงของปัจจัยความลึกตัด (D)

ตารางที่ 4. 3 ผลของความลึกตัด (D) ที่มีต่อการเกิดชิ้นงานแตกร้าวน

การทดลองที่	อัตราป้อน (F : m/min)	ความเร็วตัด (V : m/min)	ความลึกตัด (D : $\mu\text{m}$ )	จำนวนชิ้นงานแตกร้าวน (ชิ้น) จากการตัด 50 ชิ้น
1	0.03	5091	50	32
2	0.03	5091	100	23
3	0.03	5091	150	11
4	0.03	5091	200	7
5	0.03	5091	300	9
6	0.03	5091	400	22
7	0.03	5091	500	24





รูปที่ 4. 3 ผลของความลึกตัด (D) ต่อการเกิดขึ้นงานแตกร้าว

วิเคราะห์ผลการทดลอง :

จากผลการทดลองพิจารณาผลของความลึกตัด (D) ในรูปที่ 4.3 โดยกำหนดให้ ความเร็วตัด (V) และอัตราป้อน (F) เท่ากับ 5091 m/min และ 0.03 um ตามลำดับ ซึ่งทำการทดลอง ตัดชิ้นงานทั้งหมด 50 ชิ้นงาน พบว่าที่ความลึกตัด (D) เท่ากับ 200 um ทำให้เกิดขึ้นงานแตกร้าว น้อยที่สุด โดยเกิดเท่ากับ 7 ชิ้น และเมื่อพิจารณาจากกราฟผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความลึกตัด (D) มากกว่า 200 um แนวโน้มของการเกิดจำนวนชิ้นงานแตกร้าวเพิ่มสูงขึ้น และในทางเดียวกันเมื่อทำการลดความลึกตัด (D) ต่ำกว่า 200 um แนวโน้มของการเกิดขึ้นงานแตกร้าวจะเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการทดลองจึงทำการเลือกกระดบของปัจจัยความลึกตัด (D) เป็น 150, 200 และ 250 um ในการทดลองต่อไป

## สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองการหาระดับของปัจจัยการตัดแยกชิ้นงาน โดยทำการเลือกช่วงของปัจจัย โดยอ้างอิงจากเงื่อนไขการตัดชิ้นงานก่อนปรับปรุงของบริษัทได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4. 4 สรุประดับของปัจจัยในการตัดแยกชิ้นงาน

ปัจจัย	หน่วย	ระดับของปัจจัย		
		ต่ำ	กลาง	สูง
ความเร็วตัด (V)	m/min	1697	3394	5091
อัตราป้อน (F)	m/min	0.03	0.06	0.09
ความลึกตัด (D)	Um	150	200	250

## 4.2 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลองจากกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน

### 4.2.1 ผลการทดลองจากกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน

จากการทดลองจะทำการตัดชิ้นงานทั้งหมด 50 ชิ้นต่อเงื่อนไขการทดลอง จากนั้นจะพิจารณาจำนวนชิ้นงานแตกร้าวที่เกิดขึ้นในแต่ละเงื่อนไข สามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 จำนวนชิ้นงานแตกร้าวในแต่ละเงื่อนไขในกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน

การทดลองที่	เงื่อนไขการทดสอบ			จำนวนชิ้นงานแตกร้าวจากการตัด 50 ชิ้นงาน			
	ความเร็วตัด (V=m/min)	ความลึกตัด (D=um)	อัตราป้อน (F=m/min)	ผลครั้ง 1 (ชิ้น)	ผลครั้ง 2 (ชิ้น)	ค่าเฉลี่ย (ชิ้น)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
1	1697	150	0.03	27	24	25.5	2.1
2	1697	150	0.06	20	15	17.5	3.5
3	1697	150	0.09	21	24	22.5	2.1
4	1697	200	0.03	18	16	17.0	1.4
5	1697	200	0.06	23	21	22.0	1.4
6	1697	200	0.09	17	17	17.0	0.0
7	1697	250	0.03	29	18	23.5	7.8
8	1697	250	0.06	14	18	16.0	2.8
9	1697	250	0.09	15	15	15.0	0.0
10	3394	150	0.03	12	10	11.0	1.4
11	3394	150	0.06	13	17	15.0	2.8
12	3394	150	0.09	19	14	16.5	3.5
13	3394	200	0.03	4	4	4.0	0.0
14	3394	200	0.06	12	12	12.0	0.0
15	3394	200	0.09	18	16	17.0	1.4
16	3394	250	0.03	6	10	8.0	2.8
17	3394	250	0.06	17	20	18.5	2.1
18	3394	250	0.09	20	25	22.5	3.5
19	5091	150	0.03	7	9	8.0	1.4
20	5091	150	0.06	17	12	14.5	3.5
21	5091	150	0.09	33	29	31.0	2.8
22	5091	200	0.03	7	8	7.5	0.7
23	5091	200	0.06	16	16	16.0	0.0
24	5091	200	0.09	25	20	22.5	3.5
25	5091	250	0.03	10	16	13.0	4.2
26	5091	250	0.06	18	17	17.5	0.7
27	5091	250	0.09	29	25	27.0	2.8

#### 4.2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง

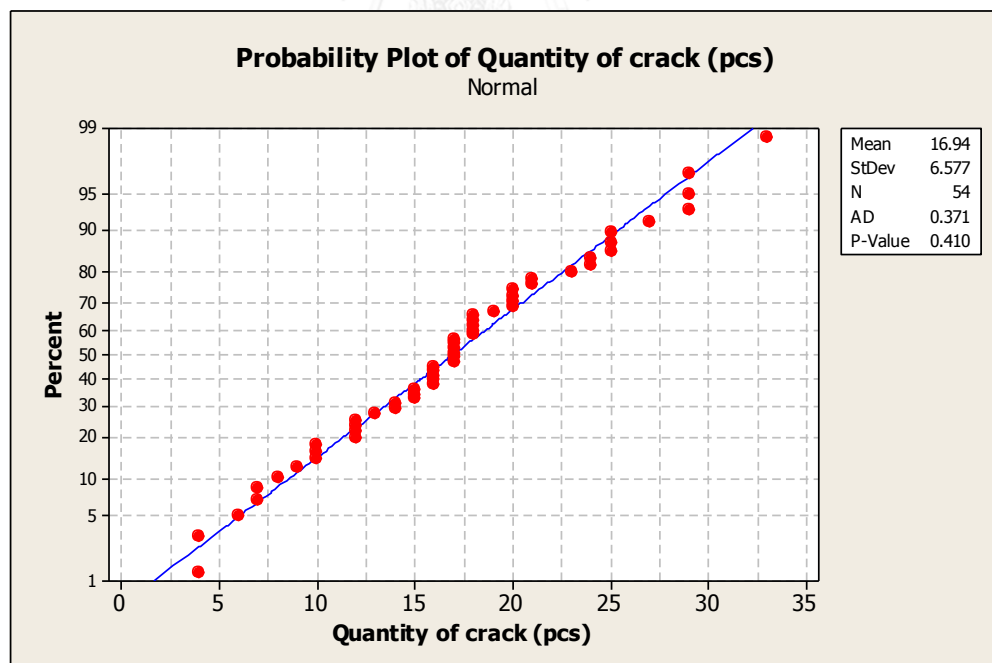
##### 1. ทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ (Normality Testing)

จะทำการพิจารณาและทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลว่าเป็นปกติหรือไม่ ซึ่งพบว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการจัดเรียงตัวในแนวเส้นตรงตามรูปที่ 4.4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ และสามารถยืนยันผลของการกระจายตัวแบบปกติของข้อมูล โดยสำหรับงานวิจัยนี้ได้กำหนดระดับความเชื่อมั่นของการทดลองที่ระดับ 95% หรือค่า  $\alpha = 0.05$  โดยในการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลได้ทำการตั้งสมมติฐานดังนี้

$H_0$  = การกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบปกติ

$H_1$  = การจัดเรียงตัวของข้อมูลไม่เป็นแบบปกติ

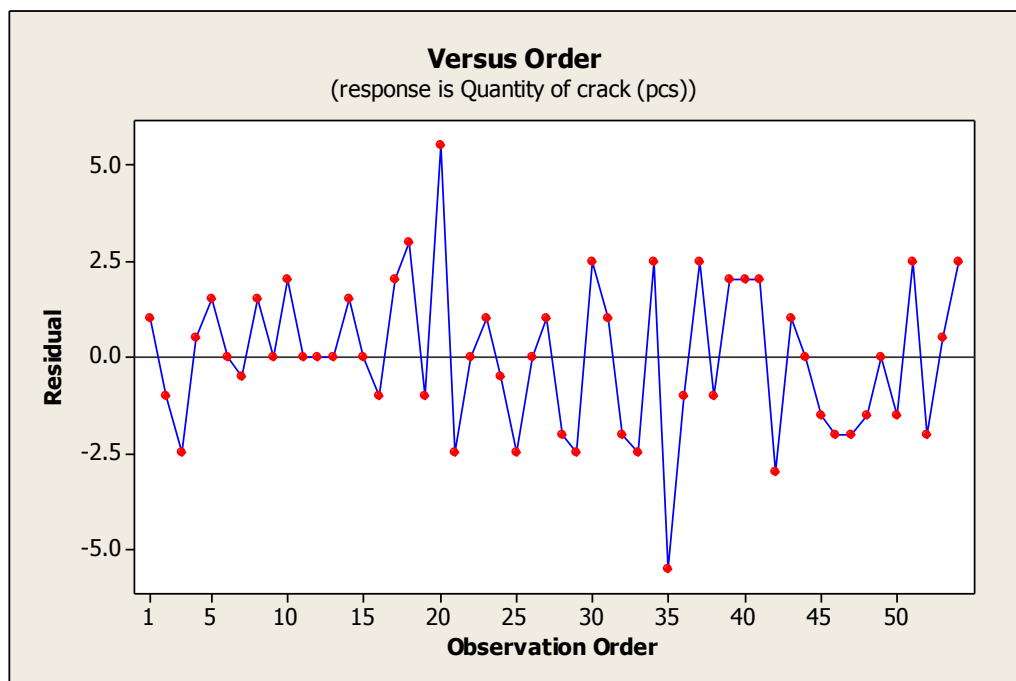
ซึ่งจากการทดสอบการกระจายตัวพบว่าค่า P-value (0.410) ของการกระจายตัวของข้อมูลมีค่ามากกว่าค่า  $\alpha$  (0.05) ดังนั้นจึงทำการปฏิเสธค่า  $H_1$  และยอมรับค่า  $H_0$  คือการกระจายตัวของจำนวนชิ้นงานแตกร้าวที่ได้จากการทดลองมีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4. 4 การกระจายตัวของข้อมูลผลของจำนวนชิ้นงานแตกร้าวที่เกิดจากการตัดแต่ละเงื่อนไข

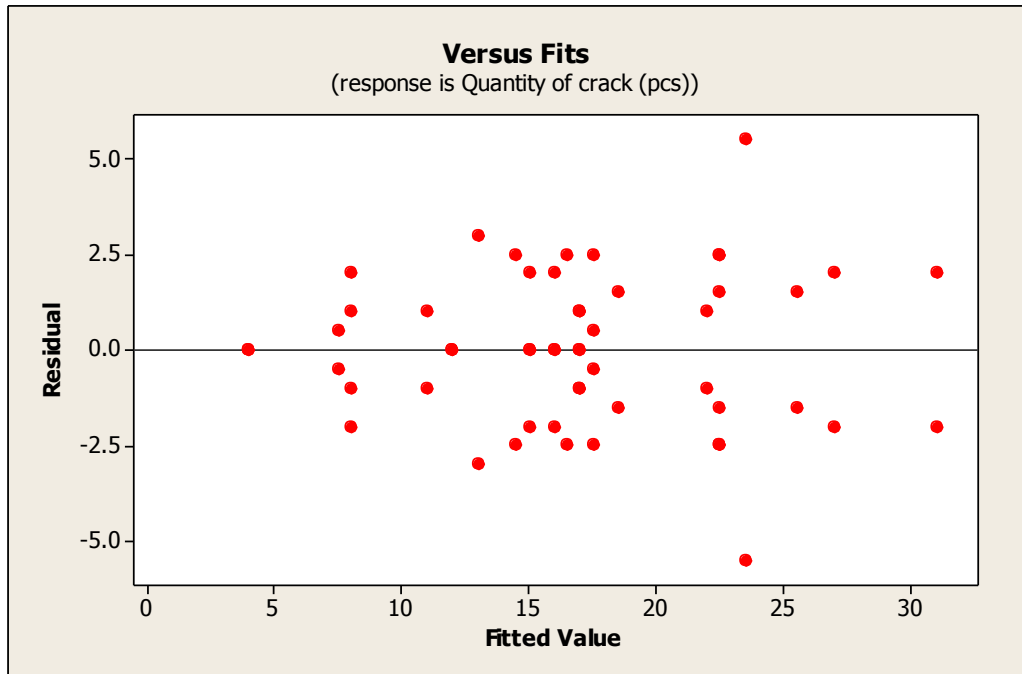
## 2. การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Versus Order)

ทำการพิจารณาโดยพิจารณาจากผลของความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชิ้นงานแตกร้าวกับลำดับของการทดลอง จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าส่วนตกค้างของข้อมูล (Residual) มีการกระจายตัวที่ไม่แน่นอน รอบๆ เส้นศูนย์ โดยไม่มีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้น หรือลดต่ำลงตามการทดลอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อมูลจำนวนชิ้นงานแตกร้าวที่ได้จากการทดลองตัดในแต่ละเงื่อนไขนั้นไม่ขึ้นกับลำดับของการทดลอง หรือการทดลองตัดในแต่ละเงื่อนไขจะไม่ส่งผลหรือมีอิทธิพลต่อกันในแต่ละการทดลอง จึงทำให้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความน่าเชื่อถือเพียงพอ



รูปที่ 4. 5 ความสัมพันธ์ของจำนวนชิ้นงานแตกร้าวและลำดับของการทดลอง

### 3. การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของข้อมูล (Versus Fits)



รูปที่ 4. 6 ความสัมพันธ์ของส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าฟิตของจำนวนชิ้นงานแตกร้าว

ตารางที่ 4. 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของจำนวนชิ้นงานที่เกิดรอยร้าว ( $\alpha = 0.05$ )

Source	DF	MS	F	P
V	2	150.722	19.80	0.000
D	2	51.056	6.71	0.004
F	2	302.167	39.70	0.000
V*D	4	19.278	2.53	0.063
V*F	4	187.222	24.60	0.000
D*F	4	20.389	2.68	0.053
V*F*D	8	21.486	2.82	0.021
Error	27	7.611		
Total	53			

จากตารางที่ 4.6 ผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งจะทำการพิจารณาอิทธิพลของ ปัจจัยหลัก (Main Effect) และอิทธิพลของอันตรกิริยา (Interaction) ที่ส่งผลต่อจำนวนชิ้นงาน แตร้าว โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95% หรือ  $\alpha = 0.05$  และทำการตั้งสมมติฐาน ในการทดสอบดังนี้

$H_0$  = ปัจจัย (ปัจจัยหลักหรืออันตรกิริยา) มีผลต่อการเกิดจำนวนชิ้นงานแตร้าว

$H_1$  = ปัจจัย (ปัจจัยหลักหรืออันตรกิริยา) ไม่มีผลต่อการเกิดจำนวนชิ้นงานแตร้าว

ซึ่งจากค่า P ในตารางที่ 4.6 ผลปัจจัยหลัก V (0.000), D (0.004) และ F (0.000) และผลของอันตรกิริยา ระหว่าง V\*F (0.000) และ V\*F\*D (0.021) ซึ่งมีค่า P น้อยกว่าค่า  $\alpha$  (0.005) ดังนั้นจึงยอมรับ  $H_0$  โดย ปฏิเสธ  $H_1$  ซึ่งหมายความว่าผลของปัจจัยหลัก V, D, F และผลของอันตรกิริยา V\*F, V\*F\*D มีอิทธิพล หรือส่งผลต่อการเกิดชิ้นงานแตร้าวจากการตัดอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับค่า P ของผลอันตรกิริยา ระหว่าง V\*D (0.063) และ D\*F (0.053) ซึ่งมีค่า P มากกว่า  $\alpha$  ดังนั้นจึงปฏิเสธ  $H_0$  และยอมรับ  $H_1$  ซึ่งหมายความว่าผลของอันตรกิริยาของ V\*D และ D\*F ไม่มีผลต่อการเกิดจำนวนชิ้นงานแตร้าวอย่าง มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $\alpha = 0.05$ ) ซึ่งสามารถสรุปผลของปัจจัยได้ดังตารางที่ 4.7 สำหรับการมีผลอย่างมีนัยสำคัญคือปัจจัยนั้นจะส่งผลต่อการเกิดจำนวนชิ้นงานแตร้าวให้มากขึ้นหรือน้อยลงเมื่อมีการปรับเปลี่ยนระดับของปัจจัยนั้น และสำหรับปัจจัยที่ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญคือปัจจัย นั้นจะไม่ส่งผลต่อการเกิดชิ้นงานแตร้าวให้มากขึ้นหรือลดลงเมื่อมีการปรับระดับของปัจจัยนั้นก็ตาม

ตารางที่ 4. 7 สรุปผลของปัจจัยหลัก (Main Effect) และอันตรกิริยา (Interaction)

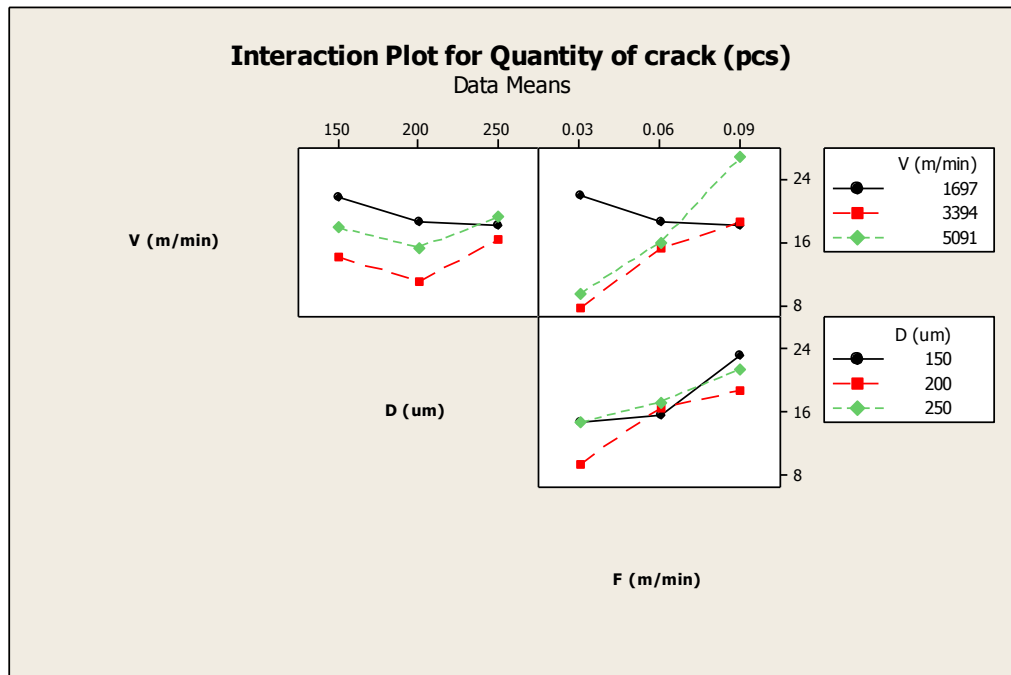
ของปัจจัยที่มีต่อจำนวนชิ้นงานที่เกิดรอยร้าว

ปัจจัย	P	ผลของการเกิดขึ้นงานแตกร้าว
V	0.000	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
D	0.004	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
F	0.000	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
V*D	0.063	<u>ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ</u>
V*F	0.000	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
D*F	0.053	<u>ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ</u>
V*F*D	0.021	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ

2. ผลของอันตรกิริยา (Interaction Effect) ที่มีต่อการจำนวนชิ้นงานแตกร้าว

จากตารางค่า P ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลของอันตรกิริยาระหว่าง V\*F และ V\*F\*D มีผลต่อการเกิดจำนวนชิ้นงานแตกร้าวอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.8 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาผลระหว่างปัจจัย V และ F จะพบว่าเมื่อปัจจัย F มีค่าเพิ่มขึ้น และปัจจัย V อยู่ในระดับกลางและสูงจะส่งผลทำให้จำนวนชิ้นงานแตกร้าวเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้า V อยู่ที่ระดับต่ำเมื่อ F เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้เกิดจำนวนชิ้นงานแตกร้าวลดลง โดยที่ระดับ V = 3394 m/min และ F = 0.03 m/min จะทำให้เกิดชิ้นงานแตกร้าวน้อยที่สุด สำหรับในกรณีที่ V = 1697 m/min และ F = 0.03 m/min ทำให้เกิดจำนวนชิ้นงานแตกร้าวมากกว่าระดับของ F อื่นๆ เนื่องจากผลของการรับภาระแรงกระทำที่เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าจากผลของ F ที่เคลื่อนที่เข้าตัดทำให้การหมุนตัดของใบมีดตัดตรงบริเวณตำแหน่งเดิมหลายครั้ง และผลของความเร็วรอบการหมุนของใบมีดตัดที่ช้าจะทำให้เกิดแรงกดบนตำแหน่งการตัด จึงทำให้ชิ้นงานแตกร้าวเป็นจำนวนมากกว่าการตัดที่เร็วขึ้น

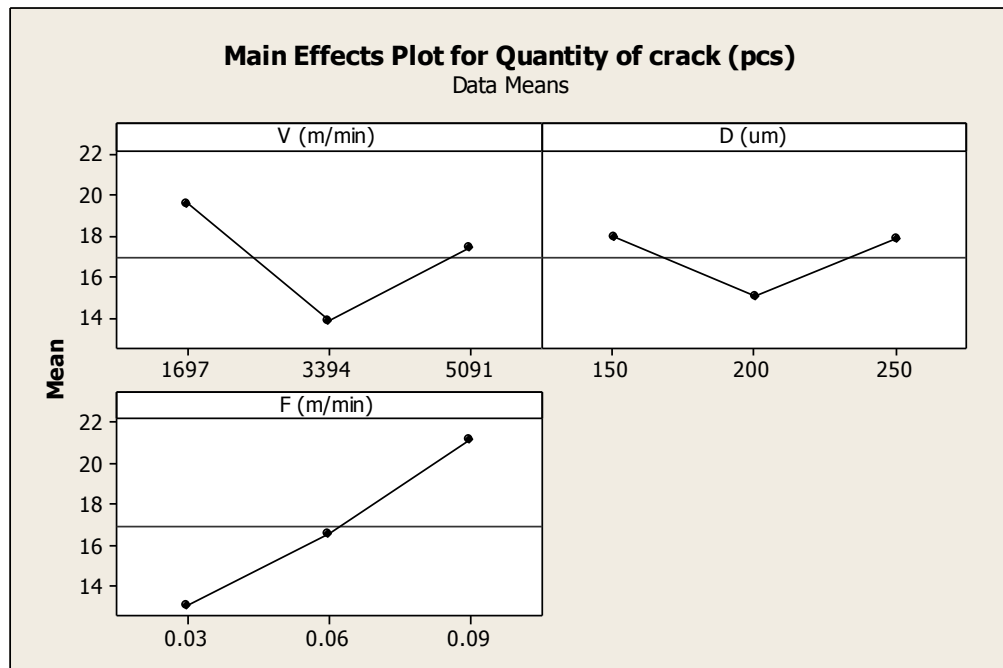




รูปที่ 4. 7 ผลของอันตรกิริยา (Interaction Effect) ของ V, F และ D กับจำนวนชิ้นงานแตกร้าว (ชิ้น)

### 3. ผลของปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีต่อจำนวนชิ้นงานแตกร้าว

จากตารางการวิเคราะห์ค่า P สามารถสรุปได้ว่าปัจจัย V, F และ D มีผลต่อการเกิดชิ้นงานแตกร้าวอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.7 พบว่าที่ V มีค่าระดับปัจจัยเท่ากับ 3394 m/min ส่งผลทำให้เกิดจำนวนชิ้นงานแตกร้าวน้อยที่สุดโดยเฉลี่ย เช่นเดียวกับผลของปัจจัย F และ D ที่ระดับปัจจัยเท่ากับ 0.03 m/min และ 200 um ตามลำดับ ทำให้เกิดชิ้นงานแตกร่อยน้อยที่สุดโดยเฉลี่ยเช่นกัน



รูปที่ 4. 8 ผลของปัจจัยหลัก (Main Effect)

#### 4. การหาสถานะที่เหมาะสมในการตัดแยกชิ้นงาน

##### 4.1 ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ต่อจำนวนชิ้นงานแตกร้าว

ในการทดลองนี้จะทำการวิเคราะห์หาสถานะความสัมพันธ์ที่เหมาะสมในการตัดแยกชิ้นงานของแต่ละปัจจัย V, D และ F โดยนำผลของจำนวนชิ้นงานแตกร้าวในการตัดทั้งหมด 50 ชิ้นงานต่อการทดลอง จากการทดลองทั้งหมด 54 ( $3^3 \times 2$ ) การทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.5 มาวิเคราะห์การถดถอยของพื้นผิวสะท้อน (Response Surface Regression)

ตารางที่ 4. 8 ผลการวิเคราะห์การถดถอยของพื้นผิวสะท้อน (Response Surface Regression)

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	100.722	19.10	5.275	0.000
V (m/min)	-0.021	0.00	-6.620	0.000
D (um)	-0.499	0.17	-2.903	0.006
<b>F (m/min)</b>	<b>-233.333</b>	<b>177.78</b>	<b>-1.312</b>	<b>0.196</b>
V (m/min)*V (m/min)	0.000	0.00	4.490	0.000
D (um)*D (um)	0.001	0.00	2.806	0.007
<b>F (m/min)*F (m/min)</b>	<b>648.148</b>	<b>1154.82</b>	<b>0.561</b>	<b>0.577</b>
<b>V (m/min)*D (um)</b>	<b>0.000</b>	<b>0.00</b>	<b>1.701</b>	<b>0.096</b>
V (m/min)*F (m/min)	0.104	0.01	7.200	0.000
<b>D (um)*F (m/min)</b>	<b>-0.306</b>	<b>0.49</b>	<b>-0.624</b>	<b>0.536</b>

S = 3.60038    PRESS = 879.367  
R-Sq = 75.12%    R-Sq(pred) = 61.65%    R-Sq(adj) = 70.04%

#### Analysis of Variance for Quantity of crack (pcs)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	1722.47	1722.47	191.386	14.76	0.000
Linear	3	640.39	640.84	213.612	16.48	0.000
V (m/min)	1	40.11	568.02	568.017	43.82	0.000
D (um)	1	0.03	109.27	109.269	8.43	0.006
F (m/min)	1	600.25	22.33	22.329	1.72	0.196
Square	3	367.50	367.50	122.500	9.45	0.000
V (m/min)*V (m/min)	1	261.33	261.33	261.333	20.16	0.000
D (um)*D (um)	1	102.08	102.08	102.083	7.88	0.007
F (m/min)*F (m/min)	1	4.08	4.08	4.083	0.32	0.577
Interaction	3	714.58	714.58	238.194	18.38	0.000
V (m/min)*D (um)	1	37.50	37.50	37.500	2.89	0.096
V (m/min)*F (m/min)	1	672.04	672.04	672.042	51.84	0.000
D (um)*F (m/min)	1	5.04	5.04	5.042	0.39	0.536
Residual Error	44	570.36	570.36	12.963		
Lack-of-Fit	17	364.86	364.86	21.462	2.82	0.008
Pure Error	27	205.50	205.50	7.611		
Total	53	2292.83				

จากตารางที่ 4.8 เมื่อวิเคราะห์การถดถอยของพื้นผิวสะท้อน พบว่าอัตราป้อน (F) ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $\alpha = 0.05$ ) แต่เนื่องจาก F เป็นปัจจัยหลัก (Main Effect) จึงไม่สามารถตัด F ออกจากสมการได้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการพิจารณาความสัมพันธ์เทอมของปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญเท่านั้น ซึ่งจะสามารถหาสมการถดถอยโดยการใช้วิธีการ Stepwise Regression โดยจะแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4. 9 การพิจารณาหาสมการถดถอยด้วยวิธี Stepwise Regression

### Stepwise Regression: Crack versus V, D, F, V\*V, D\*D, F\*F, V\*D, V\*F, D\*F

Alpha-to-Enter: 0.05 Alpha-to-Remove: 0.05

Response is Crack on 9 predictors, with N = 54

Step	1	2	3	4
Constant	16.94	16.94	13.83	11.89
V	-1.06	-1.06	-1.06	-1.06
T-Value	-1.10	-1.42	-1.64	-1.75
P-Value	0.276	0.163	0.108	0.087
D	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03
T-Value	-0.03	-0.04	-0.04	-0.05
P-Value	0.977	0.970	0.966	0.964
F	4.08	4.08	4.08	4.08
T-Value	4.26	5.48	6.33	6.76
P-Value	0.000	0.000	0.000	0.000
V*F		5.29	5.29	5.29
T-Value		5.80	6.70	7.15
P-Value		0.000	0.000	0.000
V*V			4.7	4.7
T-Value			4.18	4.46
P-Value			0.000	0.000
D*D				2.9
T-Value				2.79
P-Value				0.008
S	5.75	4.47	3.87	3.62
R-Sq	27.93	57.24	68.64	<b>73.09</b>
R-Sq(adj)	23.61	53.75	65.37	69.66
Mallows Cp	81.5	31.6	13.5	7.6

จากตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยด้วยวิธีการ Stepwise Regression นั้นได้พิจารณาเลือกรูปแบบของสมการใน Step ที่ 4 จากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Sq) ที่มากที่สุดเป็น 73.09 โดยเทอมของปัจจัยที่มีความเหมาะสมต่อรูปแบบของสมการจะประกอบด้วยผลของความเร็วตัด (V), ความลึกตัด (D), อัตราป้อน (F), ความลึกตัดกำลังสอง (D\*D), ความเร็วตัดกำลังสอง (V\*V) และผลของอันตรกิริยาระหว่างความเร็วตัดกับอัตราป้อน (V\*F) โดย และสามารถสรุปเป็นสมการได้ดังสมการที่ 4.1

$$Y = 2.9(D)^2 + 4.7(V)^2 + 5.29(V)(F) - 1.06(V) - 0.03(D) + 4.08(F) + 11.89 \quad (4.1)$$

โดยที่ Y = จำนวนชิ้นงานแตกกร้าว

#### 4.2 พิจารณาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย

การพิจารณาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยจะพิจารณาจากค่าความพึงพอใจของผลลัพธ์โดยรวม (Composite Desirability : D) ซึ่งค่าความพึงพอใจของผลลัพธ์โดยรวมจะมีค่าระหว่าง 0 – 1 โดยที่ค่า D = 0 จะหมายถึงความพึงพอใจของผลลัพธ์โดยรวมอยู่ในระดับต่ำที่สุด และในทางตรงกันข้ามค่า D = 1 จะหมายถึงความพึงพอใจของผลลัพธ์อยู่ในระดับสูงที่สุด สำหรับกรณีที่มีผลลัพธ์มีค่าเดียวจะแสดงว่าค่าความพึงพอใจของผลลัพธ์โดยรวม (Composite Desirability) มีค่าเท่ากับค่าความพึงพอใจของผลลัพธ์ (Desirability)

#### ตารางที่ 4. 10 พิจารณาค่าความพึงพอใจของผลลัพธ์

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Quantity of	Minimum	0	0	10	1	1

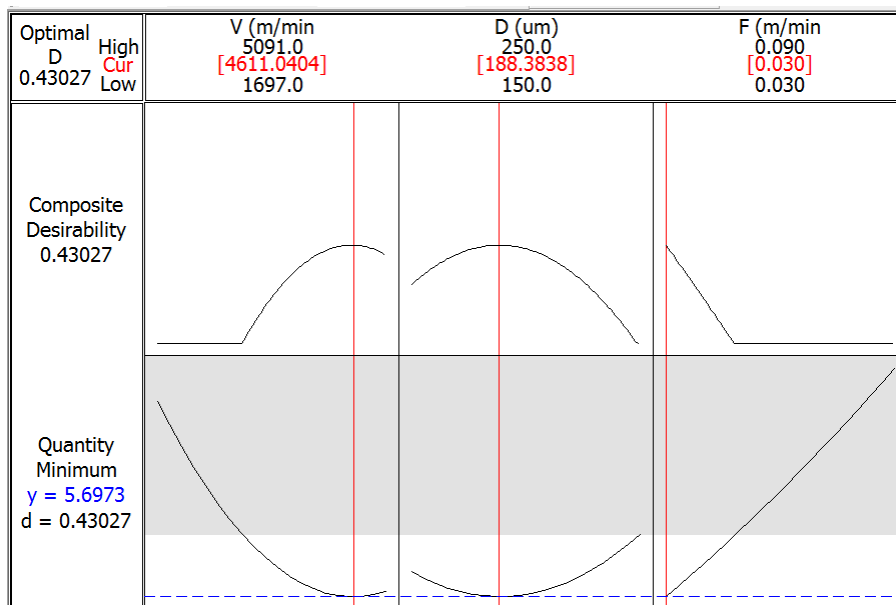
Global Solution

$$\begin{aligned} V \text{ (m/min)} &= 4611.04 \\ D \text{ (um)} &= 188.384 \\ F \text{ (m/min)} &= 0.03 \end{aligned}$$

Predicted Responses

$$\text{Quantity of crack} = 5.69731, \quad \text{desirability} = 0.430269$$

$$\text{Composite Desirability} = 0.430269$$



รูปที่ 4. 9 จุดที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย V,D และ F

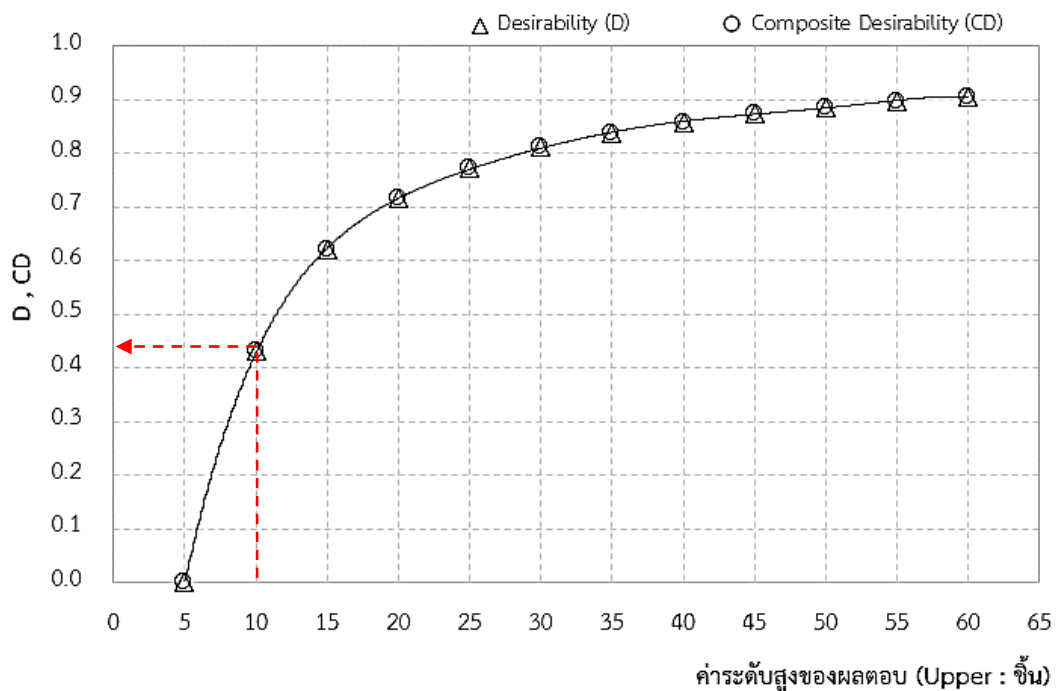
จากตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าสำหรับค่าของปัจจัยที่เหมาะสมต่อการตัดชิ้นงานที่ได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรม ที่จะทำให้เกิดจำนวนชิ้นงานแตกร้าวน้อยที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.9 นั่นคือ ความเร็วตัด (V) = 4611.04 m/min , ความลึกตัด (D) = 188.384 um และอัตราป้อน (F) = 0.03 m/min โดยมีค่าการทำนายที่เงื่อนไขการตัดนี้ จะทำให้เกิดจำนวนชิ้นงานแตกร้าวน้อย (Predict Response)  $Y = 5.69731$  ชิ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4. 11 ค่าของปัจจัยที่ได้จากการทำนายด้วยโปรแกรมการออกแบบการทดลอง

ปัจจัย	หน่วย	ระดับของปัจจัย	จำนวนชิ้นงานแตกร้าวน้อย (ชิ้น)
ความเร็วตัด (V)	m/min	4611	6
อัตราป้อน (F)	m/min	0.03	
ความลึกตัด (D)	um	188	

จากตารางที่ 4.10 ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดค่าเป้าหมายของผลลัพธ์ (Goal) เป็นค่าน้อยที่สุด (Minimum) เนื่องจากในงานวิจัยนี้พิจารณาหาสถานะของปัจจัยที่ทำให้เกิดจำนวนชิ้นงานแตกร้าว น้อยที่สุด จากนั้นกำหนดค่าระดับต่ำของผลตอบ (Lower) หรือค่าระดับต่ำของจำนวนชิ้นงานแตกร้าว = 0 ชิ้น และกำหนดค่าระดับสูงของผลตอบ (Upper) หรือจำนวนชิ้นงานที่แตกร้าวที่ยอมรับได้ = 10 ชิ้น ซึ่งค่าความพึงพอใจผลลัพธ์โดยรวม (Composite Desirability : CD) มีค่าเท่ากับค่าความพึงพอใจของผลลัพธ์ (Desirability : D) เท่ากับ 0.430269 และเนื่องจากการกำหนดค่าระดับสูงของผลตอบ (Upper) หรือจำนวนชิ้นงานแตกร้าวที่ยอมรับได้นั้น ส่งผลต่อค่าความพึงพอใจผลลัพธ์โดยรวม (Composite Desirability : CD) และค่าความพึงพอใจของผลลัพธ์ (Desirability : D) จึงได้ทำการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์เพื่อเป็นตัวเลือกในการพิจารณาค่าความพึงพอใจของการกำหนดค่าระดับสูงของผลตอบ (Upper) ที่ได้ดังรูปที่ 4.10

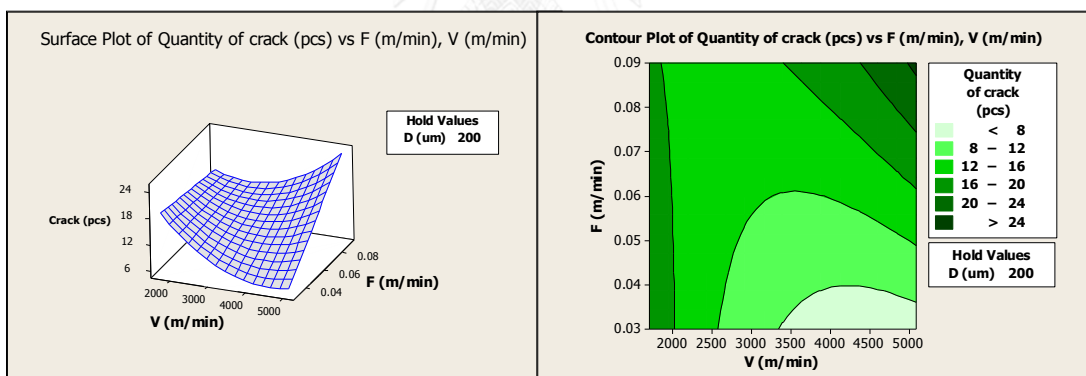
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า D, CD และค่าระดับสูงของผลตอบ (Upper : ชิ้น)



รูปที่ 4. 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพึงพอใจผลลัพธ์โดยรวม (Composite Desirability, CD) และค่าความพึงพอใจ (Desirability ; D) กับค่าระดับสูงของผลตอบ (Upper) ที่  $V = 4611$  m/min,  $D=188$  um และ  $F = 0.03$  m/min

จากรูปที่ 4.10 สำหรับในการออกแบบการทดลองนั้น ได้กำหนดค่ายอมรับของค่าระดับสูงของผลตอบ (Upper) เท่ากับ 10 ชิ้น คือยอมให้เกิดชิ้นงานแตกร้าวได้ไม่เกิน 10 ชิ้นงาน ซึ่งทำให้ค่าความพึงพอใจของผลลัพธ์โดยรวม (Composite Desirability ; CD) และค่าความพึงพอใจ (Desirability ; D) มีค่าเท่ากับ 0.430269 ซึ่งเป็นระดับความพึงพอใจที่อยู่ในระดับกลางค่อนข้างต่ำ แต่ถ้าหากพิจารณาค่า ค่าความพึงพอใจของผลลัพธ์โดยรวม (Composite Desirability ; CD) และค่าความพึงพอใจ (Desirability ; D) ที่สูงขึ้นจะทำให้โอกาสในการเกิดชิ้นงานแตกร้าวมีโอกาสสูงมากขึ้นตามไปด้วย

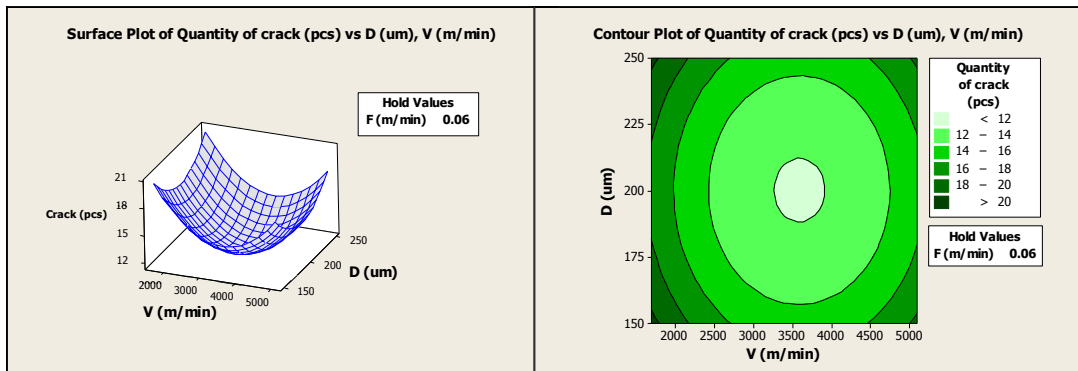
นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์หาเงื่อนไขที่ทำให้เกิดจำนวนชิ้นงานแตกร้าวน้อยที่สุด ยังทำการพิจารณารูปพื้นผิวสะท้อนและกราฟโครงร่างความสัมพันธ์ระหว่างสองปัจจัยที่ทำให้เกิดจำนวนชิ้นงานแตกร้าวที่น้อยที่สุดและการเกิดในลักษณะต่างๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าของปัจจัยนั้นๆ โดยกำหนดปัจจัยหนึ่งคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.11 – 4.13



รูปที่ 4. 11 พื้นผิวสะท้อนและกราฟโครงร่างระหว่างอัตราป้อน (F) และความเร็วตัด (V)

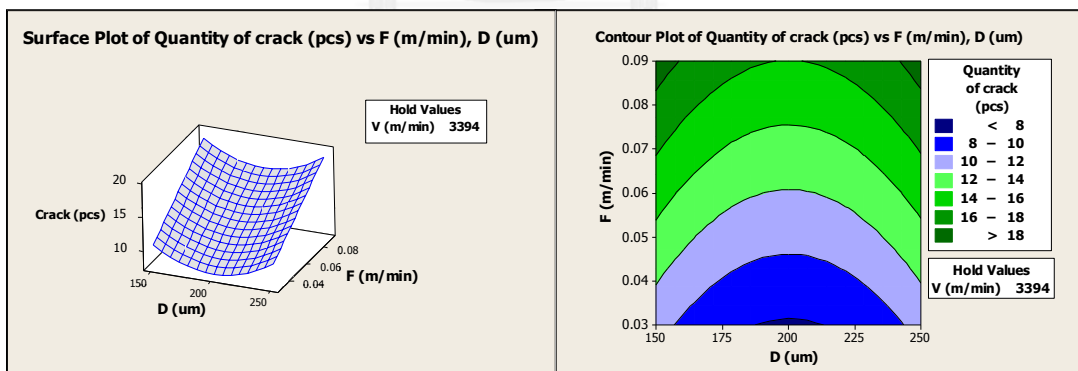
รูปที่ 4.11 เมื่อกำหนดให้ค่าความลึกตัด (D) คงที่ที่ 200 um จะพบว่าที่อัตราป้อน (F) 0.3 – 0.35 m/min สัมพันธ์กับความเร็วตัด (V) ในช่วง 3300 – 5000 m/min จะทำให้เกิดชิ้นงานแตกร้าว น้อยที่สุด ซึ่งจะเกิดชิ้นงานแตกร้าวต่ำกว่า 8 ชิ้น แต่เมื่อ F มีค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิดชิ้นงานแตกร้าวเพิ่มมากขึ้น และในทางกลับกันเมื่อ V มีค่าต่ำลงจะทำให้จำนวนชิ้นงานแตกร้าวเพิ่มมากขึ้น





รูปที่ 4. 12 พื้นผิวสะท้อนและกราฟโครงร่างระหว่างความลึกตัด (D) และความเร็วตัด (V)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความลึกตัด (D) และ ความเร็วตัด (V) ที่อัตราป้อน (F) คงที่เท่ากับ 0.6 m/min ดังรูปที่ 4.12 พบว่ารูปพื้นผิวสะท้อนและกราฟโครงร่างในช่วงความลึกตัด (D) ที่ 187 – 213 um สัมพันธ์กับความเร็วตัด (V) ที่ 3250 – 3750 m/min ทำให้เกิดจำนวนชิ้นงานแตกร้าวน้อยที่สุด ซึ่งจะทำให้เกิดชิ้นงานแตกร้าวน้อยกว่า 8 ชิ้นงาน แต่เมื่อเพิ่ม V มากกว่า 3750 m/min หรือลดให้น้อยกว่า 3250 m/min จะทำให้เกิดชิ้นงานแตกร้าวเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับผลของ D เมื่อกำหนดค่าให้มากกว่า 213 um หรือน้อยกว่า 187 um ก็จะทำให้เกิดจำนวนชิ้นงานแตกร้าวเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4. 13 ภาพพื้นผิวสะท้อนและกราฟโครงร่างระหว่างอัตราป้อน (F) และความลึกตัด (D)

และในทางเดียวกันสำหรับรูปที่ 4.13 เมื่อพิจารณาภาพพื้นผิวสะท้อนและกราฟโครงร่างระหว่างอัตราป้อน (F) และความลึกตัด (D) ที่มีการกำหนดให้ค่าความเร็วตัดคงที่ที่ 3394 m/min จะพบว่าที่อัตราป้อน (F) มีค่าเท่ากับ 0.03 – 0.032 จะสัมพันธ์กับความลึกตัดในช่วง 188 – 213 um จะทำให้เกิดชิ้นงานแตกร้าวน้อยที่สุดเช่นกัน โดยเกิดชิ้นงานแตกร้าวน้อยกว่า 8 ชิ้นงาน แต่เมื่อกำหนดให้

ค่า F มีค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้จำนวนชิ้นงานแตกร้าวมักมากขึ้น สำหรับปัจจัย D เมื่อเพิ่มค่า D ให้มากกว่า 213 um หรือน้อยกว่า 187 um จะทำให้เกิดจำนวนชิ้นงานแตกร้าวมักขึ้น

#### 4.3 การทดลองเพื่อยืนยันผล

จากระดับของปัจจัยที่ได้จากการประมวลผลการทดลองด้วยโปรแกรม สามารถสรุปเป็นเงื่อนไขการตัดดั่งตารางที่ 4.12 จากนั้นได้นำเงื่อนไขการตัดดั่งกล่าวมาใช้งานในกระบวนการตัดของโรงงานตัวอย่างทั้งหมด 300 ชิ้นงาน ซึ่งผลจากการใช้งานเงื่อนไขนี้สามารถแสดงได้ดั่งตารางที่ 4.13 โดยที่เงื่อนไขการทดลองดังกล่าวพบว่าเกิดจำนวนชิ้นงานแตกร้าวมักจำนวน 13.0%

ตารางที่ 4. 12 ผลการใช้นงานจริงจากเงื่อนไขที่ได้จากการทดลอง

ปัจจัย	หน่วย	ระดับของปัจจัย	เปอร์เซ็นต์ของชิ้นงานแตกร้าวมัก
ความเร็วตัด (V)	m/min	4611	13.0%
อัตราป้อน (F)	m/min	0.03	
ความลึกตัด (D)	um	188	

ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบผลของเงื่อนไขการตัดก่อนการศึกษา เงื่อนไขจากการทดลอง และจากการใช้งานเงื่อนไขจะพบว่า เมื่อมีการใช้งานเงื่อนไขที่ได้จากการทดลองจะทำให้เกิดจำนวนของเสียประเภทเกิดชิ้นงานแตกร้าวมักจากการตัดแยกลดลงประมาณ 37% (จากเงื่อนไขการตัดก่อนการทดลองพบจำนวนชิ้นงานแตกร้าวมัก 18.2% และเงื่อนไขที่ได้จากการออกแบบการทดลองพบของเสีย 13.0%)

จากการทำการทดลองในการทดลองที่ 4.2 (ตารางที่ 4.5) จะพบว่าที่เงื่อนไขการตัดที่  $V = 3394$  m/min,  $D = 200$   $\mu$ m และ  $F = 0.03$  m/min เกิดจำนวนชิ้นงานแตกร้าวน้อยที่สุดที่ 4 ชิ้นงาน จากการตัดชิ้นงานทั้งหมด 50 ชิ้นงาน (คิดเป็น 8.0%) และเมื่อนำเงื่อนไขดังกล่าวมาใช้ในการบวนการผลิตจริง (300 ชิ้นงาน) พบจำนวนชิ้นงานแตกร้าวที่เกิดขึ้นเท่ากับ 6.8% ซึ่งสามารถเปรียบเทียบเงื่อนไขการตัดก่อนปรับปรุง, เงื่อนไขจากการประมวลผลด้วยโปรแกรมการออกแบบ และเงื่อนไขจากการทดลองได้ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4. 13 แสดงการเปรียบเทียบผลของเงื่อนไขการตัดก่อนปรับปรุง แบบจำลอง และหลังปรับปรุง

ปัจจัย	เงื่อนไขการตัดชิ้นงาน		
	ก่อนศึกษา	จากแบบจำลอง	การทดลอง
V (m/min)	5091	4611	3394
F (m/min)	0.03	0.03	0.03
D ( $\mu$ m)	300	188	200
จำนวนชิ้นงานแตกร้าว (%)	18.2%	13.0%*	6.80%*
จำนวนชิ้นงานแตกร้าวที่ลดลง(เปรียบเทียบกับก่อนศึกษา)		28.57%	62.63%

หมายเหตุ : \*จากการทดสอบการตัดชิ้นงาน 300 ชิ้นงานในการบวนการผลิต

จากผลการเปรียบเทียบจำนวนชิ้นงานแตกร้าวจากเงื่อนไขการตัดทั้ง 3 เงื่อนไขตามตารางที่ 4.13 พบว่าเงื่อนไขที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมนั้น แสดงผลจำนวนการเกิดชิ้นงานแตกร้าวลดลงจากเงื่อนไขการตัดก่อนการศึกษาได้จริง แต่เมื่อพิจารณาถึงเงื่อนไขที่ทำให้เกิดจำนวนชิ้นงานแตกร้าวน้อยที่สุดนั้น จะพบว่าเงื่อนไขที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมไม่ได้ให้ผลของการเกิดจำนวนชิ้นงานแตกร้าวที่น้อยที่สุด หลังจากได้ทำการทดสอบใช้งานจริงกับเงื่อนไขดังกล่าว ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากบางปัจจัย ที่ส่งผลกระทบต่อ การเกิดชิ้นงานแตกร้าวแต่ไม่สามารถนำเข้ามาประมวลผลด้วยโปรแกรดังกล่าวได้ จึงทำให้เงื่อนไขของการประเมินผลไม่ทำให้เกิดชิ้นงานแตกร้าวที่น้อยที่สุด

### 4.3 การทดสอบอายุและรูปแบบการเกิดขึ้นงานแตกร้าจากการใช้งานใบมีดตัด

#### 4.3.1 ผลการหาอายุการใช้งานใบมีดตัด

จากการทดลองตอนที่ 4.2 ได้ทำการทดสอบการตัดชิ้นงานจำนวน 50 ชิ้นงาน ในแต่ละเงื่อนไขการตัด หลังจากนั้นได้ทำการบันทึกตำแหน่งการเกิดขึ้นงานแตกร้าในชิ้นแรกของการตัดแต่ละเงื่อนไข เพื่อพิจารณากำหนดอายุการใช้งานใบมีดตัด ซึ่งสามารถคำนวณหาอายุการใช้งานใบมีดตัดได้ดังสมการที่ 4.2 โดยพิจารณาจากการเกิดขึ้นงานแตกร้าในชิ้นงานแรกของแต่ละเงื่อนไข และจากอัตราป้อน (F) ของการตัดแต่ละเงื่อนไข ซึ่งระยะทางการตัดแต่ละชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 0.025 เมตร/ชิ้นงาน ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.14

$$\text{อายุการใช้งานใบมีดตัด (นาที่)} = \frac{\text{จำนวนชิ้นงานตี (ชิ้น) (ก่อนเกิดรอยแตกร้า)} \times \text{ระยะทางการตัด (0.025 เมตร/ชิ้น)}}{\text{อัตราป้อนของเงื่อนไขการตัดนั้นๆ (F:เมตร/นาที่)}} \quad (4.2)$$



ตารางที่ 4. 14 ผลการทดลองของอายุการใช้งานใบมีดตัด (นาทีก)

การทดลอง	เงื่อนไขการทดสอบ			อายุการใช้งานใบมีดตัด (นาทีก)			
	ความเร็วตัด (V=m/min)	ความลึกตัด (D=um)	อัตราป้อน (F=m/min)	ผลครั้ง 1 (นาทีก)	ผลครั้ง 2 (นาทีก)	ค่าเฉลี่ย (นาทีก)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
1	1697	150	0.03	3.3	7.5	5.4	2.9
2	1697	150	0.06	1.7	1.7	1.7	0.0
3	1697	150	0.09	0.3	0.3	0.3	0.0
4	1697	200	0.03	5.0	3.3	4.2	1.2
5	1697	200	0.06	1.3	0.4	0.8	0.6
6	1697	200	0.09	0.3	0.6	0.4	0.2
7	1697	250	0.03	5.8	2.5	4.2	2.4
8	1697	250	0.06	1.7	1.3	1.5	0.3
9	1697	250	0.09	0.3	0.6	0.4	0.2
10	3394	150	0.03	11.7	15.8	13.8	2.9
11	3394	150	0.06	4.2	7.9	6.0	2.7
12	3394	150	0.09	1.4	1.1	1.3	0.2
13	3394	200	0.03	30.0	32.5	31.3	1.8
14	3394	200	0.06	6.7	5.8	6.3	0.6
15	3394	200	0.09	1.1	4.4	2.8	2.4
16	3394	250	0.03	15.8	15.0	15.4	0.6
17	3394	250	0.06	3.8	9.2	6.5	3.8
18	3394	250	0.09	0.8	1.4	1.1	0.4
19	5091	150	0.03	13.3	14.2	13.8	0.6
20	5091	150	0.06	5.0	3.8	4.4	0.9
21	5091	150	0.09	0.6	0.3	0.4	0.2
22	5091	200	0.03	12.5	28.3	20.4	11.2
23	5091	200	0.06	4.6	7.9	6.3	2.4
24	5091	200	0.09	0.8	1.7	1.3	0.6
25	5091	250	0.03	7.5	20.0	13.8	8.8
26	5091	250	0.06	7.1	3.3	5.2	2.7
27	5091	250	0.09	1.4	0.8	1.1	0.4

### 4.3.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดสอบอายุการใช้งานใบมีดตัด (นาทีก) ซึ่งจะพิจารณาจากการเกิดขึ้นงานแตกร้าวในชิ้นงานแรกของการตัดในแต่ละเงื่อนไข จากผลดังตารางที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าในบางเงื่อนไขของการตัดเดียวกันเมื่อมีการทำการตัดซ้ำ ผลของการเกิดขึ้นงานแตกร้าวในตัวแรกนั้นให้ผลที่แตกต่างกัน หรือส่งผลทำให้ค่า เบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของข้อมูลสูง อย่างเช่นเงื่อนไขการตัดที่ 22 ที่  $V = 5091$  m/min,  $D = 200$   $\mu$ m และ  $F = 0.03$  m/min มีอายุการใช้งานเป็น 12.5 และ 28.3 นาทีตามลำดับ ซึ่งจากเหตุการณ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นได้ว่าอาจมีปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดขึ้นงานแตกร้าวประกอบอยู่ด้วย เช่นลักษณะเฉพาะของชิ้นงานที่เป็นลักษณะแข็งเปราะ (Brittle Material) และมีรูพรุนอยู่ภายในชิ้นงาน

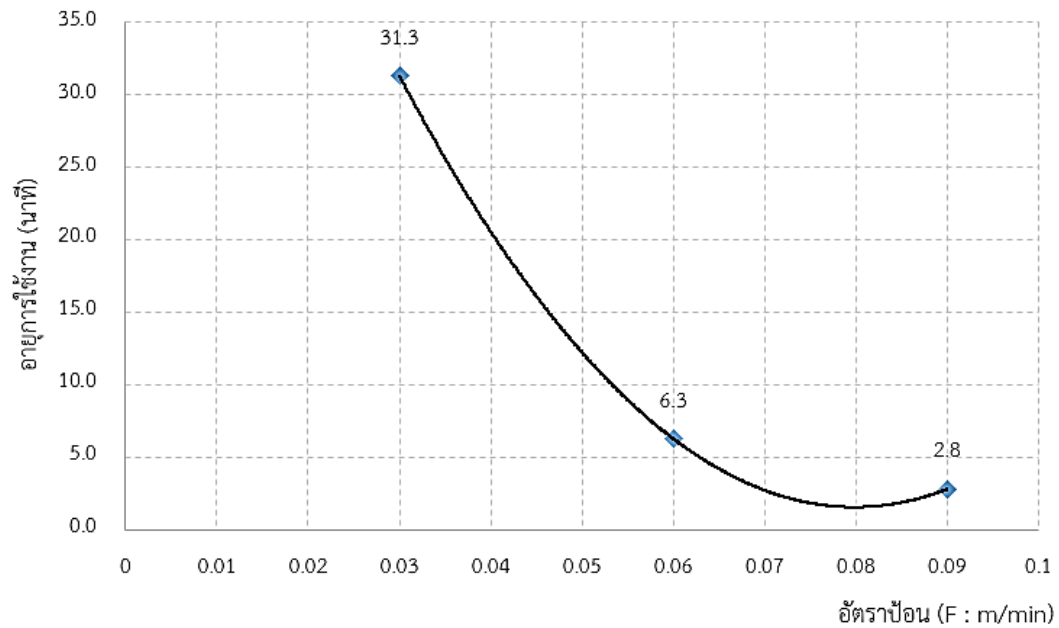
แต่จากผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4.14 นั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการตัดที่  $V$  และ  $D$  เดียวกัน และพิจารณาผลจาก  $F$  ที่แตกต่างกัน ซึ่งผลของอายุการใช้งานของใบมีดตัดจะลดลงตาม  $F$  ที่เพิ่มขึ้น โดยเลือกพิจารณาเงื่อนไขที่  $V = 3394$  m/min,  $D = 200$   $\mu$ m (ผลของเงื่อนไขที่ได้จากการทดลองที่ 4.2) และทำการพิจารณาที่  $F = 0.03, 0.06$  และ  $0.09$  m/min ดังแสดงในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4. 15 เงื่อนไขที่ทำการทดสอบรูปแบบการเกิดรอยแตกร้าว

เงื่อนไขลำดับที่	ความเร็วตัด (V : m/min)	ความลึกตัด (D : $\mu$ m)	อัตราป้อน (F : m/min)	อายุการใช้งานใบมีดตัดก่อนเกิดขึ้นงานแตกร้าวตัวแรก (นาทีก)
$\Delta$ : 1	3394	200	0.03	31.3
$\bigcirc$ : 2	3394	200	0.06	6.3
$\square$ : 3	3394	200	0.09	2.8

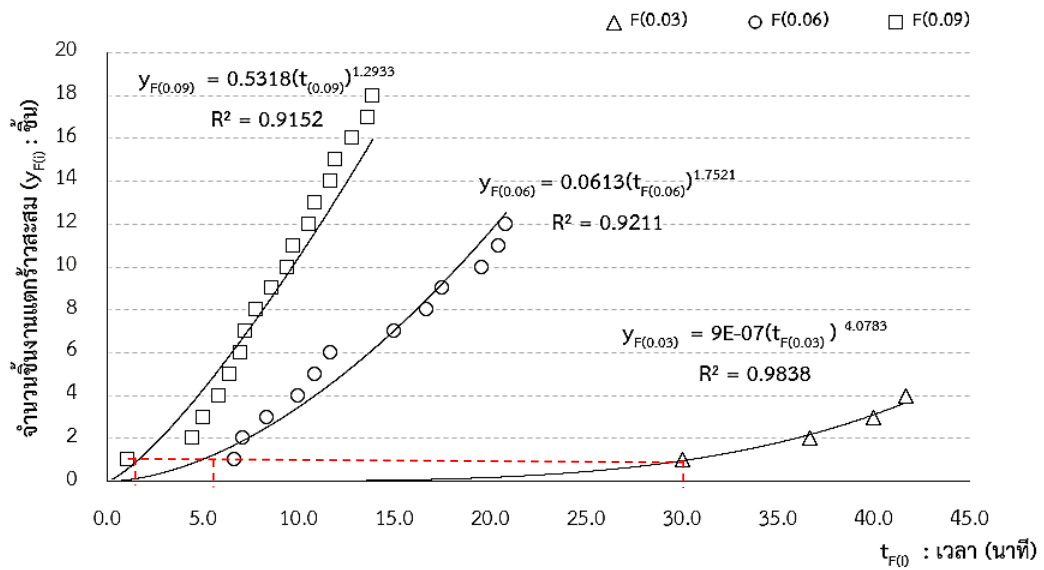
จากตารางที่ 4.15 สามารถสรุปเป็นแนวโน้มระหว่างอายุการใช้งานใบมีดตัดที่  $F$  ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอายุการใช้งานใบมีดตัดจะแปรผกผันกับอัตราป้อน ( $F$ ) ที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นการพิจารณาผลจากช่วงของการใช้งานใบมีดตัดก่อนเกิดขึ้นงานแตกร้าวชิ้นแรกของการทดลองตัดทั้งหมด 50 ชิ้นงาน ที่  $F = 0.03$  m/min อายุการใช้งานใบมีดตัดเฉลี่ยจะยาวนานที่สุดเป็น 31.3

นาที และเมื่อ  $F = 0.06$  และ  $0.09$  m/min อายุการใช้งานใบมีดตัดเฉลี่ยจะมีค่าลดลงเป็น 6.3 และ 2.8 นาทีตามลำดับ จากลักษณะแนวโน้มของข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าอัตราป้อน ( $F$ ) ส่งผลต่ออายุการใช้งานใบมีดตัดเฉลี่ยดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4. 14 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานใบมีดตัดกับอัตราป้อน ( $F$ ) ที่  $V = 3394$  m/min ,  
 $D = 200$   $\mu$ m เมื่อ  $F = 0.03, 0.06$  และ  $0.09$  m/min

นอกจากนี้ได้ทำการพิจารณารูปแบบการเกิดชิ้นงานแตกร้าวในชิ้นถัดไป ในลักษณะของชิ้นงานแตกร้าวสะสมของแต่ละเงื่อนไขการตัดชิ้นงาน เมื่อทำการตัดชิ้นงานครบทั้งหมด 50 ชิ้นงาน ซึ่งลักษณะของการเกิดชิ้นงานแตกร้าวจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นงานที่เสียดสีกับเวลาที่  $V = 3394$  m/min ,  $D = 200$   $\mu$ m ที่  $F = 0.03, 0.06$  และ  $0.09$  m/min

จากรูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ของอายุการใช้งานใบมีดตัด และจำนวนชิ้นงานแตกร้าวสะสม โดยศึกษาปัจจัย  $F$  ที่ 0.03, 0.06 และ 0.09 m/min ซึ่งกำหนดให้  $V$  และ  $D$  คงที่มีค่าเป็น 3394 m/min และ 200  $\mu$ m ตามลำดับ โดยทดลองตัดในแต่ละการทดลองจำนวน 50 ชิ้นงาน จากรูปที่ 4.15 ค่าของ  $F = 0.03, 0.06$  และ  $0.09$  m/min ทำให้เกิดจำนวนของเสียขึ้นเป็น 4, 12 และ 18 ชิ้นตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชิ้นงานแตกร้าวสะสมและเวลาการใช้งานใบมีดตัด ดังรูปที่ 4.15 จากนั้นสามารถทำการประมาณแนวโน้มของข้อมูลที่เกิดขึ้นเป็นแบบสมการกำลัง (Power Equation) โดยสามารถสรุปเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชิ้นงานแตกร้าวสะสมและเวลาการใช้งานใบมีดตัดได้ดังตารางที่ 4.16



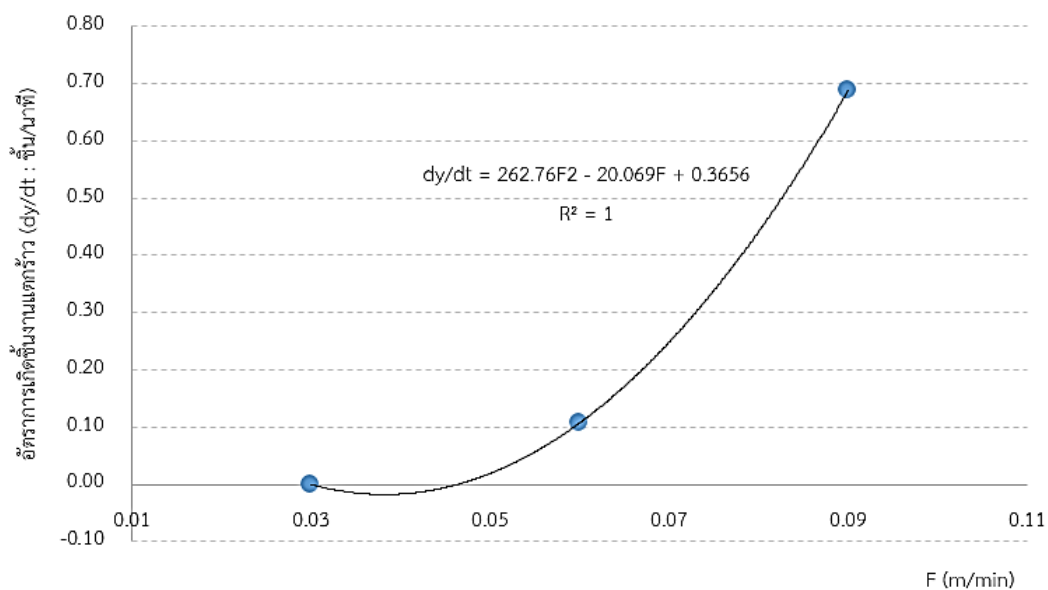
ตารางที่ 4. 16 สมการแนวโน้มและอัตราการเกิดรอยแตกร้าวบนหน้าตัดชิ้นงานหลังเกิดที่ชิ้นงานแรก

เงื่อนไขที่	F (m/min)	สมการจำนวนชิ้นงานแตกร้าว สะสม (t = นาที)	R <sup>2</sup>	อัตราการเกิดของเสีย (ชิ้น/นาที)
Δ : 1	0.03	$y_{F(0.03)} = 0.0000009(t_{F(0.03)})^{4.0783}$	0.9838	$dy/dt_{(0.03)} = 3.67 \times 10^{-6}$
○ : 2	0.06	$y_{F(0.06)} = 0.0613000(t_{F(0.06)})^{1.7521}$	0.9211	$dy/dt_{(0.06)} = 0.107$
□ : 3	0.09	$y_{F(0.09)} = 0.5318000(t_{F(0.09)})^{1.2933}$	0.9152	$dy/dt_{(0.09)} = 0.688$

หมายเหตุ :

- $y_{F(i)}$  = จำนวนชิ้นงานดีสะสม (ชิ้น) ที่ F ใดๆ
- $F(i)$  = อัตราป้อน (F : m/min)
- $t_{F(i)}$  = เวลาที่ใช้งานใบมีดตัด (นาที) ที่ F ใดๆ
- $dy/dt_{F(i)}$  = อัตราการเกิดของเสีย (ชิ้น/นาที) ที่ F ใดๆ
- i = อัตราป้อน (F) ที่ 0.03, 0.06 และ 0.09 m/min

เมื่อพิจารณาสมการความสัมพันธ์ของการเกิดชิ้นงานแตกร้าวสะสมที่เวลาใดๆ แล้ว ซึ่งจะพบว่าที่ F ทั้ง 3 ค่านั้น (F = 0.03, 0.06 และ 0.09 m/min) ให้รูปแบบของการเกิดชิ้นงานแตกร้าวที่แตกต่างกัน โดยสามารถพิจารณาอัตราการเกิดชิ้นงานแตกร้าวของ F แต่ละค่าโดยการหาอนุพันธ์ของสมการเทียบกับเวลา (Differential :  $dy/dt$ ) โดยสรุปเป็นอัตราการเกิดชิ้นงานแตกร้าวต่อนาที ดังแสดงในตารางที่ 4.16 ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ F = 0.03 m/min จะให้อัตราการเกิดชิ้นงานแตกร้าวน้อยที่สุดเป็น  $3.67 \times 10^{-6}$  ชิ้นต่อนาที และอัตราการเกิดชิ้นงานแตกร้าวจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อ F เพิ่มขึ้นเป็น 0.107 และ 0.688 ชิ้นต่อนาที เมื่อ F เพิ่มขึ้นเป็น 0.06 และ 0.09 m/min ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปเป็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดชิ้นงานแตกร้าวและ F ได้ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดขึ้นงานแตกร้าวด (dy/dt : ชิ้น/นาที) และ F (m/min) ที่  $V = 3394$  m/min และ  $D = 200$   $\mu$ m

จากรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดขึ้นงานแตกร้าวด (ชิ้น/นาที) และ F (m/min) มีความสัมพันธ์กันในลักษณะแปรผันตามกัน โดยเมื่อ F มีค่าเพิ่มสูงขึ้น หรืออัตราป้อนในการตัดมีค่าสูงมากขึ้นจะส่งผลทำให้อัตราการเกิดขึ้นงานแตกร้าวดเพิ่มสูงขึ้น หรือมีชิ้นงานแตกร้าวดต่อนาทีเพิ่มขึ้น จากรูปดังกล่าวจะสามารถนำมาช่วยในการพิจารณาการเลือกใช้งานอัตราป้อนที่ต้องการใช้งานซึ่งสัมพันธ์กับอัตราของเสียที่จะเกิดขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณารูปแบบแนวโน้มของข้อมูลตามรูปที่ 4.16 โดยใช้รูปแบบแนวโน้มความสัมพันธ์ของข้อมูลเป็นแบบสมการพหุนาม (Polynomial equation) สามารถสรุปเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดขึ้นงานแตกร้าวด (dy/dt : ชิ้น/นาที) ที่ F ใดๆ ได้ดังสมการที่ 4.3

$$dy/dt = 262.76F^2 + 20.069F + 0.3656 ; R^2 = 1.0 \quad (4.3)$$

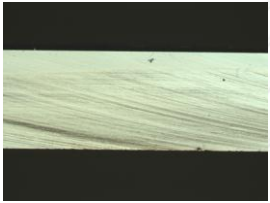
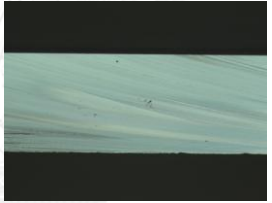
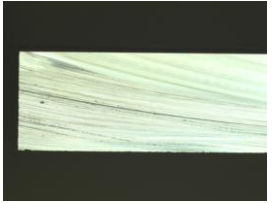
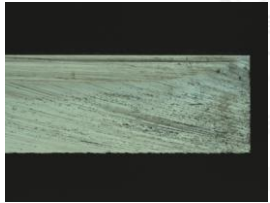
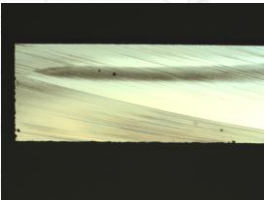
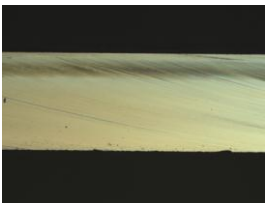
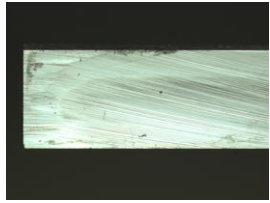
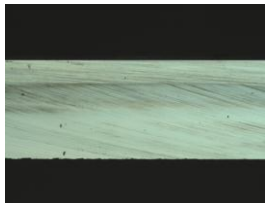
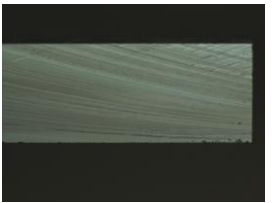

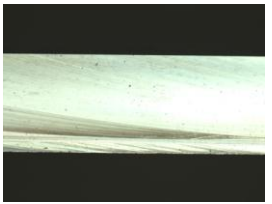
โดยที่

dy/dt =	อัตราการเกิดขึ้นงานแตกร้าวด (ชิ้น/นาที)
F =	อัตราป้อน (m/min)





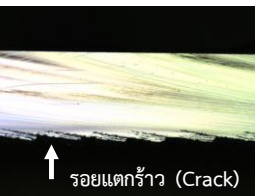

นอกจากนี้ตารางที่ 4.17 ได้แสดงตัวอย่างของลักษณะการตัดชิ้นงานในช่วงแรกที่ไม่เกิดรอยแตกร้าว (ตารางที่ 4.17-A) และช่วงของการเกิดรอยแตกร้าวในลำดับถัดไป (ตารางที่ 4.17-B) ของการทดลองใช้งานใบมีดตัดแต่ละเงื่อนไขเมื่อ  $F$  มีค่าเป็น 0.03, 0.06 และ 0.09 m/min โดยที่ กำหนดให้  $V = 3394$  m/min และ  $D = 200$   $\mu$ m จากการตัดชิ้นงานทั้งหมดจำนวน 50 ชิ้นงานในแต่ละการทดลอง

ตารางที่ 4. 17 ลักษณะชิ้นงานแตกร้าวที่  $F = 0.03, 0.06$  และ  $0.09$  m/min ( $V=3394$  m/min,  $D=200$   $\mu$ m)


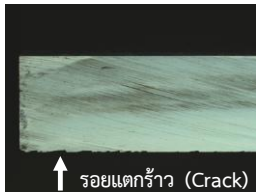


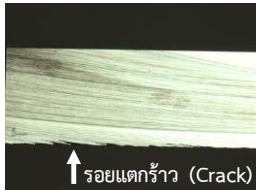





ตารางที่ 4.17-A : ลักษณะชิ้นงานก่อนเกิดชิ้นงานแตกร้าว

ลำดับ ชิ้นงานที่	อัตราป้อน (F)		
	0.03 m/min	0.06 m/min	0.09 m/min
1			
2			
3			
4			เกิดรอยแตกร้าว

ตารางที่ 4.17-B : ลักษณะชิ้นงานแตกร้าว

ลำดับ ชิ้นงานที่	อัตราป้อน (F)		
	0.03 m/min	0.06 m/min	0.09 m/min
6-10	ไม่เกิดรอยแตกร้าว	ไม่เกิดรอยแตกร้าว	ไม่เกิดรอยแตกร้าว
11-15	ไม่เกิดรอยแตกร้าว	ไม่เกิดรอยแตกร้าว	ไม่เกิดรอยแตกร้าว
16-20	ไม่เกิดรอยแตกร้าว	 รอยแตกร้าว (Crack) ชิ้นงานที่ 17	 รอยแตกร้าว (Crack) ชิ้นงานที่ 18
21-25	ไม่เกิดรอยแตกร้าว	 รอยแตกร้าว (Crack) ชิ้นงานที่ 24	 รอยแตกร้าว (Crack) ชิ้นงานที่ 23
26-30	ไม่เกิดรอยแตกร้าว	 รอยแตกร้าว (Crack) ชิ้นงานที่ 28	 รอยแตกร้าว (Crack) ชิ้นงานที่ 26

ตารางที่ 4.17-B : ลักษณะชิ้นงานแตกร้าว (ต่อ)

ลำดับ ชิ้นงานที่	อัตราป้อน (F)		
	0.03 m/min	0.06 m/min	0.09 m/min
31-35	ไม่เกิดรอยแตกร้าว	ไม่เกิดรอยแตกร้าว	 รอยแตกร้าว (Crack) ชิ้นงานที่ 35
36-40	 ↑ รอยแตกร้าว (Crack) ชิ้นงานที่ 36	 ↑ รอยแตกร้าว (Crack) ชิ้นงานที่ 36	 ↑ รอยแตกร้าว (Crack) ชิ้นงานที่ 39
41-45	 ↑ รอยแตกร้าว (Crack) ชิ้นงานที่ 44	 ↑ รอยแตกร้าว (Crack) ชิ้นงานที่ 42	 ↑ รอยแตกร้าว (Crack) ชิ้นงานที่ 42
46-50	 ↑ รอยแตกร้าว (Crack) ชิ้นงานที่ 48	 ↑ รอยแตกร้าว (Crack) ชิ้นงานที่ 49	 ↑ รอยแตกร้าว (Crack) ชิ้นงานที่ 50

จากตารางที่ 4.17 พบว่าที่อายุการใช้งานใบมีดตัดของแต่ละเงื่อนไขในช่วงต้นของการใช้จะไม่เกิดรอยแตกร้าวบนหน้าตัดของชิ้นงานดังแสดงในตารางที่ 4.17-A จากนั้นเมื่อมีการใช้งานใบมีดตัดเพิ่มมากขึ้นลักษณะของรอยแตกร้าวในแต่ละเงื่อนไขจะเริ่มปรากฏขึ้น ในลักษณะเป็นรอยแตกร้าวบริเวณขอบด้านล่างของชิ้นงานเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจุดเริ่มต้นชิ้นงานแรกที่แตกร้าวมักจะไม่พร้อมกันของแต่ละ F ซึ่งจากตารางที่ 4.17-B แสดงให้เห็นว่ารอยแตกร้าวของ F ที่มีค่าเท่ากับ 0.09 m/min จะเริ่มแตกก่อนค่า F อื่นๆ โดยเกิดในตำแหน่งการตัดชิ้นงานที่ 4 ส่วนที่  $F = 0.06$  และ  $0.03$  m/min จะเกิดรอยร้าวตำแหน่งแรกที่ชิ้นงานที่ 16 และ 36 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้งานเงื่อนไขที่  $F = 0.03$  m/min จะทำให้อายุการใช้งานใบมีดตัดยาวนานที่สุด ก่อนที่จะเกิดรอยแตกร้าวในตัวแรกเมื่อเปรียบเทียบกับที่ค่า F อื่นๆ

ซึ่งหลังจากตรวจสอบพบชิ้นงานแตกร้าวในตัวแรก เมื่อมีการใช้งานใบมีดตัดอย่างต่อเนื่องจะพบว่าที่ F ต่างๆ จะพบชิ้นงานแตกร้าวในลำดับถัดไปโดยเมื่อสิ้นสุดการตัดชิ้นงาน 50 ชิ้น ที่  $F = 0.03$  m/min จะพบชิ้นงานแตกร้าวน้อยที่สุด โดยพบทั้งหมด 4 ชิ้นงาน ส่วนที่  $F = 0.06$  และ  $0.09$  m/min จะพบชิ้นงานแตกร้าวมทั้งหมด 12 และ 18 ชิ้นงานตามลำดับ

สำหรับลักษณะของรอยแตกร้าว เมื่อพิจารณาช่วงต้นและช่วงปลายของการใช้งานใบมีดตัดจะพบว่า ช่วงปลายของการใช้งานใบมีดตัด (จำนวนการตัดชิ้นงาน 50 ชิ้นงาน) จะมีลักษณะของรอยแตกร้าวมที่รุนแรงมากกว่าช่วงต้นของการใช้งาน โดยพิจารณาจากขนาดของรอยแตกร้าว ในแต่ละเงื่อนไข F ในการตัดงานโดยกำหนดให้ V และ D คงที่เป็น  $3394$  m/min และ  $200$   $\mu\text{m}$  ตามลำดับ ซึ่งแสดงผลของรูปภาพดังแสดงในตารางที่ 4.17-B ตามลำดับ

### 4.3. สัดส่วนชิ้นงานดี (Yield Rate) และอัตราผลผลิต (Productivity)

#### ของกระบวนการผลิต

สำหรับการประเมินสัดส่วนชิ้นงานดี (Yield Rate) และอัตราผลผลิต (Productivity) ของกระบวนการนั้น ได้ทำการศึกษาสัดส่วนชิ้นงานดี (Yield rate) ที่เกิดขึ้นโดยคิดค่านวมดังสมการที่ 4.4 และพิจารณาผลของอัตราการเกิดชิ้นงานดีต่อหน่วยเวลาหรืออัตราผลผลิต (Productivity) โดยคิดค่านวมดังสมการที่ 4.5 และสมการเวลาในการใช้งานใบมีดตัดชิ้นงานทั้งหมด 50 ชิ้นงาน โดยระยะทางการตัดต่อชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 0.025 เมตร ซึ่งจะสามารถคำนวณหาเวลาของการใช้งานใบมีดตัดได้ดังสมการที่ 4.6 โดยในการทำการทดลองนี้ได้ทำการพิจารณาผลของปัจจัยอัตราป้อนของ

การตัด (F) ที่มีค่าเป็น 0.03, 0.06 และ 0.09 m/min และนอกจากนี้ผู้จัดทำทำการทดลองเพิ่มเติม โดยเพิ่มผลของ F ที่ 0.12, 0.15 และ 0.18 m/min เพื่อพิจารณาผลของสัดส่วนชิ้นงานดี (Yield Rate) และอัตราผลผลิต (Productivity) เพิ่มขึ้น โดยกำหนดค่า V และ D คงที่เป็น 3394 m/min และ 200  $\mu$ m ตามลำดับ ซึ่งแต่ละการทดลองจะทำการตัดชิ้นงานทั้งหมด 50 ชิ้นงาน สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.18

$$\text{อัตราส่วนของผลได้ (Yield rate : \%)} = \frac{\text{จำนวนชิ้นงานดีทั้งหมด (ไม่เกิดรอยแตกร้าว)} \times 100}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมด (50 ชิ้น)}} \quad (4.4)$$

$$\text{อัตราผลผลิต (Productivity : ชิ้น/นาที)} = \frac{\text{จำนวนชิ้นงานดีทั้งหมด (ไม่เกิดรอยแตกร้าว) ; ชิ้น}}{\text{เวลาที่ใช้ตัดชิ้นงานทั้งหมด 50 ชิ้นงาน (ของแต่ละ F) ; นาที}} \quad (4.5)$$

$$\text{เวลาที่ใช้ตัด (นาที)} = \frac{\text{จำนวนชิ้นงาน (50 ชิ้น)} \times \text{ระยะทางตัดต่อชิ้น (m)}}{F \text{ (m/min)}} \quad (4.6)$$

ตารางที่ 4. 18 สัดส่วนชิ้นงานดี (Yield rate) และ อัตราผลผลิต (Productivity)

ที่  $V = 3394 \text{ m/min}$  และ  $D = 200 \text{ um}$ 

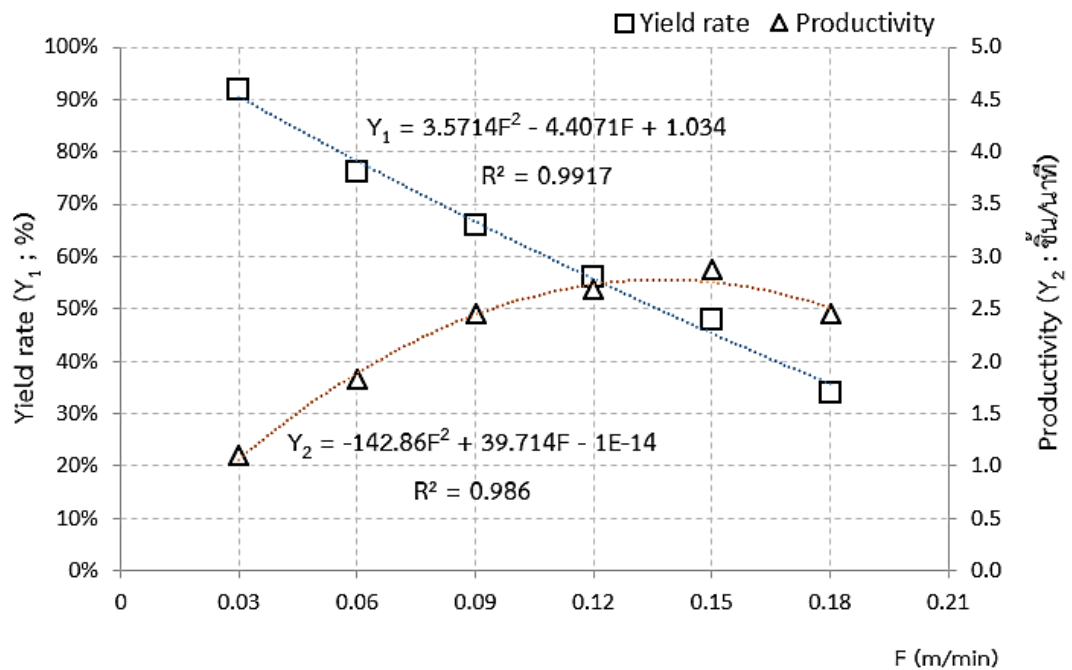
เงื่อนไข	F (m/min)	จำนวนชิ้นงานทดสอบ 50 ชิ้นงาน		สัดส่วนชิ้นงานดี (Yield Rate)	อัตราผลผลิต (Productivity) (ชิ้น/นาท)
		ชิ้นงานแตกร้า (ชิ้น)	เวลาในการตัด (นาท)		
1	0.03	4	41.7	92.0%	1.1
2	0.06	12	20.8	76.0%	1.8
3	0.09	17	13.9	66.0%	2.4
4	0.12	22	10.4	56.0%	2.7
5	0.15	26	8.3	48.0%	2.9
6	0.18	33	6.9	34.0%	2.4

หมายเหตุ : ระยะทางตัดต่อหนึ่งชิ้นงานเท่ากับ 0.025 เมตร

จากตารางที่ 4.18 ทำการทดลองตัดชิ้นงาน 50 ชิ้นงานต่อการทดลอง เมื่อพิจารณาจำนวนชิ้นงานแตกร้าที่เกิดขึ้นพบว่าที่  $F = 0.03 \text{ m/min}$  เกิดชิ้นงานแตกร้าวน้อยที่สุด คือ 4 ชิ้น คิดเป็นสัดส่วนชิ้นงานดี (Yield Rate) = 92.0% แต่เมื่อ F เพิ่มขึ้นเป็น 0.06, 0.09, 0.12, 0.15 และ 0.18 m/min จำนวนชิ้นงานแตกร้าวนจะเพิ่มขึ้นเป็น 12, 17, 22, 26, และ 33 ชิ้น โดยส่งผลทำให้สัดส่วนชิ้นงานดี (Yield Rate) ลดลงเป็น 76.0%, 66.0%, 56.0%, 48.0% และ 34.0% ตามลำดับ

จากนั้นเมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ตัดงานทั้งหมด 50 ชิ้นงานในแต่ละการทดลอง โดยการคำนวณดังสมการที่ 4.6 พบว่าที่  $F = 0.03 \text{ m/min}$  ใช้เวลาในการตัดนานที่สุดคิดเป็น 41.7 นาท และเมื่อ F เพิ่มขึ้นเป็น 0.06, 0.09, 0.12, 0.15 และ 0.18 m/min เวลาที่ใช้ตัดจะลดลงเป็น 20.8, 13.9, 10.4, 8.3 และ 6.9 นาท ตามลำดับ ซึ่งส่งผลต่ออัตราผลผลิต (Productivity) โดยพบว่ามีความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผกผันตามกับอัตราป้อน (F) โดยเมื่อ F มีค่าเพิ่มขึ้นอัตราผลผลิตจะมีค่าสูงขึ้น ซึ่งมีค่า 1.1, 1.8, 2.4, 2.7, และ 2.9 ชิ้นต่อนาที แต่เมื่อพิจารณาที่ F มีค่าเป็น 0.18 m/min จะทำให้ค่าอัตราผลผลิตมีค่าลดลงเป็น 2.4 ชิ้นต่อนาที เนื่องจากที่เงื่อนไขการตัดของ  $F = 0.18 \text{ m/min}$  เกิดชิ้นดีที่น้อยมาก หรือเกิดชิ้นงานแตกร้าวนมาก จึงส่งผลให้ค่าอัตราผลผลิตที่ F มากกว่า 0.18 m/min มีแนวโน้มลดลงตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปผลเป็นได้ดังรูปที่ 4.17





รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนชิ้นงานดี (Yield Rate), อัตราการผลิต (Productivity) ที่  $F = 0.03 - 0.18$  m/min โดยกำหนดให้  $V = 3394$  m/min และ  $D = 200$   $\mu$ m

จากรูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนชิ้นงานดี (Yield Rate) และ  $F$  จะมีความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผกผันกัน โดยเมื่อ  $F$  มีค่าเพิ่มสูงขึ้นสัดส่วนชิ้นงานดี (Yield Rate) จะมีค่าลดลง ซึ่งจากข้อมูลในรูปที่ 4.17 สามารถสรุปเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนชิ้นงานดี (Yield Rate) และ  $F$  โดยพิจารณาแนวโน้มของข้อมูลเป็นแบบสมการพหุนาม (Polynomial equation) ได้ดังสมการที่ 4.7

$$Y_1 = 3.35714F^2 - 4.4071F + 1.034 ; R^2 = 0.9917 \quad (4.7)$$

โดยที่  $Y_1 =$  สัดส่วนชิ้นงานดี (Yield Rate : %)

$F =$  อัตราป้อน (m/min)

และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิต (Productivity) และ F จะพบว่ามีความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผันตามกัน โดยที่ F มีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อัตราการผลิต (Productivity) มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย และจะมีแนวโน้มของอัตราการผลิตที่ลดลงเมื่อ F มีค่ามากกว่า 0.18 m/min ซึ่งจากลักษณะดังกล่าวสามารถพิจารณาในรูปแบบแนวโน้มของสมการในแบบพหุนาม (Polynomial Equation) และสามารถสรุปเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิต (Productivity) และ F ได้เป็นดังสมการที่ 4.8

$$Y_2 = -142.86F^2 + 39.174F + 10^{-14} ; R^2 = 0.986 \quad (4.8)$$

โดยที่  $Y_2 =$  อัตราการผลิต (Productivity)

F = อัตราป้อน (m/min)

และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนชิ้นงานดี (Yield Rate) และอัตราการผลิต (Productivity) จากรูปที่ 4.17 จะพบว่ามีความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผกผันซึ่งกันและกัน โดยที่สัดส่วนชิ้นงานดี (Yield Rate) มีค่าลดลง ในขณะที่อัตราการผลิต (Productivity) จะมีสูงขึ้น จนกระทั่งที่ F มีค่ามากกว่า 0.15 m/min ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนชิ้นงานดี (Yield Rate) และอัตราการผลิต (Productivity) จะมาความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผันตามกัน โดยที่สัดส่วนชิ้นงานดี (Yield Rate) ลดลงอัตราการผลิต (Productivity) ก็จะลดลงตาม ซึ่งหมายความว่าถ้าต้องการให้ได้จำนวนชิ้นงานดีเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตสูงๆ จะต้องทำกระบวนการผลิตอย่างช้าๆ แต่ถ้าต้องการความรวดเร็วในการผลิตที่สูง ก็จะทำให้ได้ชิ้นงานดีน้อยลง หรือเกิดของเสียมากขึ้นภายในกระบวนการผลิตมากขึ้น

#### 4.3.4 การประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์

สำหรับการประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์นั้น จะทำการเปรียบเทียบมูลค่าการสูญเสียของวัตถุดิบที่เกิดจากกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน โดยจะเปรียบเทียบระหว่างเงื่อนไขของปัจจัยการตัดก่อนปรับปรุงและเงื่อนไขหลังปรับปรุง ซึ่งจะพิจารณาจากมูลค่าของชิ้นงานที่ต้องสูญเสียไปเนื่องจากกระบวนการตัดชิ้นงานสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.19

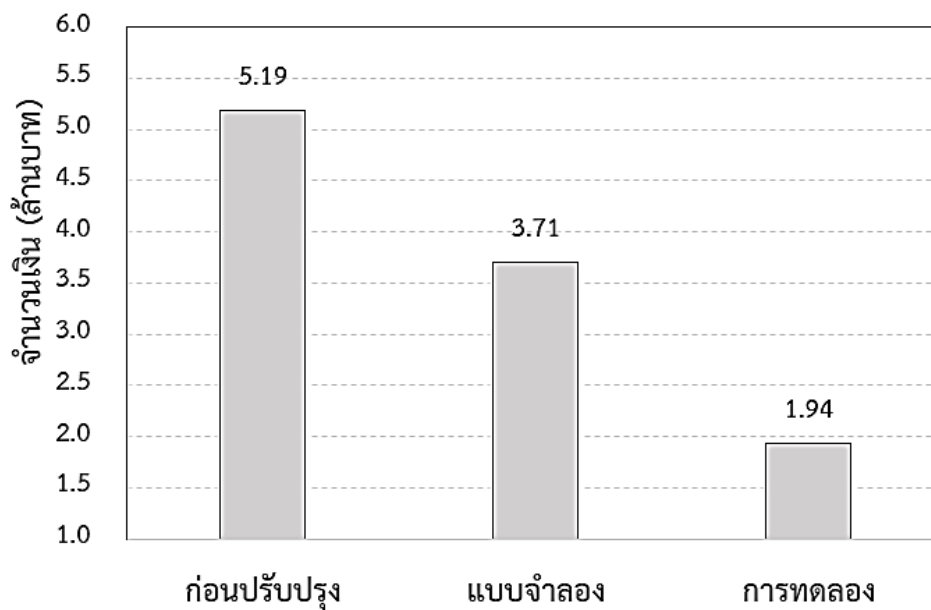
ตารางที่ 4. 19 เปรียบเทียบมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบของการตัดชิ้นงานก่อนปรับปรุง แบบจำลอง และหลังปรับปรุง

ปัจจัย	ก่อนปรับปรุง	แบบจำลอง	การทดลอง
V(m/min)	5091	4611	3394
D(um)	300	188	200
F(m/min)	0.03	0.03	0.03
สัดส่วนชิ้นงานแตกร้าว (%)	18.2%	13.0% <sup>*1</sup>	6.8% <sup>*1</sup>
ร้อยละของจำนวนชิ้นงานแตกร้าวที่ลดลง	-	28.6%	62.6%
จำนวนของเสียต่อปี (ชิ้น) <sup>*2</sup>	3,145	2,246	1,175
มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบต่อปี (บาท) <sup>*2,*3</sup>	5,189,184	3,706,560	1,938,816
มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบลดลงต่อปี (บาท)	-	1,483,254	3,250,368

หมายเหตุ : <sup>\*1</sup>จากการทดสอบตัด 300 ชิ้นงานในกระบวนการผลิต

<sup>\*2</sup> ปริมาณการนำเข้าวัตถุดิบ (Input) = 17,280 ชิ้น/ปี

<sup>\*3</sup> มูลค่าชิ้นงาน = 1,650 บาท/ชิ้น



รูปที่ 4. 18 เปรียบเทียบจำนวนชิ้นงานแตกร้า (%) และมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบ ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงกระบวนการตัดแยกชิ้นงาน

จากตารางที่ 4.19 และรูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่าหลังจากที่มีการปรับปรุงกระบวนการโดยการเปลี่ยนเงื่อนไขการตัดแยกชิ้นงาน จากเงื่อนไขการตัดก่อนปรับปรุงเป็น  $V = 5091$  m/min,  $D = 300$   $\mu$ m และ  $F = 0.03$  m/min มาเป็นเงื่อนไขการตัดของแบบจำลอง และเงื่อนไขจากการทดลอง เป็น  $V = 4611$  m/min,  $D = 188$   $\mu$ m,  $F = 0.03$  m/min และ  $V = 3394$  m/min,  $D = 200$   $\mu$ m,  $F = 0.03$  m/min ตามลำดับนั้นทำให้จำนวนของเสียที่เกิดเป็นชิ้นงานแตกร้าบนหน้าตัดชิ้นงานลดลง 28.6% และ 62.6% ตามลำดับ ซึ่งเงื่อนไขจากการทดลองสามารถลดปริมาณของเสียที่เป็นชิ้นงานแตกร้าได้มากกว่าเงื่อนไขของแบบจำลอง 34% ซึ่งนอกจากจะลดปริมาณชิ้นงานเสียในลักษณะของรอยแตกร้าบนหน้าตัดชิ้นงานได้แล้ว ยังสามารถลดมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบรวมเป็นเงิน 3,250,368 บาทต่อปี เมื่อมีการผลิตชิ้นงาน 17,280 ชิ้น/ปี ในราคาวัตถุดิบ = 1,650 บาท/ชิ้นงาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเงื่อนไขจากการทดลองมีความเหมาะสมในการตัดแยกชิ้นงานโดยทำให้เกิดของเป็น 6.8% ซึ่งคิดเป็นมูลค่าการสูญเสีย 1,938,816 บาท/ปี ซึ่งน้อยกว่าเงื่อนไขการตัดก่อนปรับปรุงซึ่งทำให้เกิดของเสีย ร้อย 18.2 คิดเป็นมูลค่าการสูญเสีย 5,189,184 บาท/ปี

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ปัจจัยการตัดชิ้นงาน ที่ส่งผลต่อจำนวนการเกิดชิ้นงานแตกร้าว อย่างมีนัยสำคัญ ประกอบด้วยความเร็วตัด ( $V$  : m/min), ความลึกตัด ( $D$  :  $\mu\text{m}$ ), อัตราป้อน ( $F$  : m/min) และผลของอันตรกิริยาระหว่าง  $V \cdot F$  และ  $V \cdot F \cdot D$  ซึ่งสามารถประมาณจำนวนชิ้นงานแตกร้าวได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Y = 2.9(D)^2 + 4.7(V)^2 + 5.29(V)(F) - 1.06(V) - 0.03(D) + 4.08(F) + 11.89$$

โดยที่  $Y$  = จำนวนชิ้นงานแตกร้าว

2. เงื่อนไขการตัดชิ้นงานที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม จะมีค่า  $V = 4611$  m/min,  $D = 188$   $\mu\text{m}$  และ  $F = 0.03$  m/min ทำให้เกิดจำนวนชิ้นงานแตกร้าว 13.0% หลังจากใช้เงื่อนไขดังกล่าวในการตัดชิ้นงาน 300 ชิ้นงานในกระบวนการผลิต

3. เงื่อนไขที่เลือกใช้งาน ซึ่งได้จากการทดลองพบว่าที่  $V = 3394$  m/min,  $D = 200$   $\mu\text{m}$  และ  $F = 0.03$  m/min ซึ่งเงื่อนไขดังกล่าวทำให้เกิดจำนวนชิ้นงานแตกร้าว 6.8% หลังจากใช้เงื่อนไขดังกล่าวในการตัดชิ้นงาน 300 ชิ้นงานในกระบวนการผลิต

4. เปรียบเทียบผลของจำนวนชิ้นงานแตกร้าวของเงื่อนไขจากการทดลอง กับผลของเงื่อนไขก่อนการทดลองพบว่าจำนวนของชิ้นงานแตกร้าวลดลงจาก 18.2% เป็น 6.8% คิดเป็นจำนวนชิ้นงานแตกร้าวจากการตัดลดลง 62.6% ที่  $V = 3394$  m/min,  $D=200$   $\mu\text{m}$  และ  $F = 0.03$  m/min

5. อายุการใช้งานใบมีดตัดจะแปรผกผันกับอัตราป้อน ( $F$ ) เมื่อ  $F$  มีค่าสูงขึ้นอายุของใบมีดตัดจะลดลง โดยพิจารณาจากการตรวจสอบพบชิ้นงานแตกร้าวในชิ้นแรก หรือที่  $F$  มีค่าสูงจะทำให้พบชิ้นงานแตกร้าวตัวแรกเร็วกว่าที่  $F$  มีค่าต่ำกว่า

6. อัตราการเกิดชิ้นงานแตกร้า (ชิ้น/นาที) จะแปรผันตรงกับอัตราป้อน ( $F$  : m/min) โดยที่  $F$  เพิ่มสูงขึ้นอัตราการเกิดชิ้นงานแตกร้าจะเพิ่มขึ้น โดยที่กำหนดให้  $V$  และ  $D$  คงที่ ซึ่งสามารถประมาณอัตราการเกิดชิ้นงานแตกร้าได้จากสมการ  $dy/dt = 262.76F^2 + 20.069F + 0.3656$  ;  $dy/dt =$  อัตราการเกิดชิ้นงานแตกร้า (ชิ้น/นาที) ,  $F =$  อัตราป้อน (m/min)

7. สัดส่วนชิ้นงานดี (Yield Rate :  $Y_1$ ) จะแปรผกผันกับ  $F$  (m/min) ตามสมการ  $Y_1 = 3.35714F^2 - 4.4071F + 1.034$  ซึ่งในทางกลับกันอัตราผลิต (Productivity :  $Y_2$ ) ของการตัดชิ้นงานจะแปรผันตามกับ  $F$  (m/min) จนกระทั่งเมื่อ  $F$  มีค่ามากกว่า 0.15 m/min อัตราผลิตจะแปรผกผันกับ  $F$  ซึ่งพิจารณาแนวโน้มได้ตามสมการ  $Y_2 = -142.86F^2 + 39.174F + 10^{-14}$  เมื่อกำหนดให้  $V$  และ  $D$  คงที่ที่ 3394 m/min และ 200  $\mu$ m ตามลำดับ ส่วนสัดส่วนชิ้นงานดี (Yield Rate) จะแปรผกผันกับอัตราผลิต (Productivity) คือเมื่อสัดส่วนชิ้นงานดี (Yield Rate) มีค่าสูง อัตราผลิต (Productivity) จะมีค่าต่ำลง ที่  $F$  มีค่าน้อยกว่า 0.15 m/min

8. เงื่อนไขการตัดจากการทดลอง (หลังปรับปรุง) ที่  $V = 3394$  m/min,  $D = 200$   $\mu$ m และ  $F = 0.03$  m/min ทำให้สามารถลดจำนวนของเสียในลักษณะชิ้นงานแตกร้าลง 62.6% จากเงื่อนไขการตัดก่อนปรับปรุง และสามารถลดมูลค่าการสูญเสียของต้นทุนวัตถุดิบลงคิดเป็น 3.25 ล้านบาท/ปี

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะของงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

1. สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยความเร็วตัด ( $V$ ), ความลึกตัด ( $D$ ) และอัตราป้อน ( $F$ ) เท่านั้นที่ส่งผลต่อคุณภาพการตัดชิ้นงาน ซึ่งอาจยังมีปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลต่อการเกิดรอยแตกร้าบริเวณหน้าตัดของชิ้นงาน ดังที่ได้แสดงในแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Analysis) ด้วยจากประสบการณ์ของผู้ศึกษาวิจัยได้ให้นำหน้าของภาคศึกษาไปยัง 3 ปัจจัยนี้เป็นสำคัญ ซึ่งหากพิจารณาสาเหตุและผลควรขอคำปรึกษากับทางผู้เชี่ยวชาญเพื่อพิจารณาถึงปัจจัยอื่นๆ ที่อาจส่งผลต่อการเกิดรอยแตกร้าบนหน้าตัดชิ้นงานที่นอกเหนือจากปัจจัย  $V$ ,  $D$  และ  $F$

2. สำหรับงานวิจัยนี้เน้นการแก้ปัญหารอยแตกร้าบนหน้าตัดชิ้นงานประเภทซิลิกอนเวเฟอร์ใบมีดตัด และวิธีการเตรียมการตัดที่มีลักษณะเฉพาะตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งหากต้องการประยุกต์ใช้กับวัสดุที่มีความใกล้เคียงกับตัวชิ้นงาน ใบมีดตัด หรือวิธีการเตรียมการตัดก็ตาม เงื่อนไขจากการตัดที่ได้จากการศึกษาหรือการวิจัยนี้อาจส่งผลที่ไม่ตรงกับผลของการวิจัย เนื่องจากความ

แตกต่างกันดังกล่าว ดังนั้นผู้ที่ศึกษาควรพิจารณาถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อเหล่านี้ก่อนที่การนำไปใช้งานทุกครั้ง ซึ่งผลจากการศึกษานี้จะเป็นเพียงแนวทางของการประยุกต์ใช้งานเท่านั้น

3. สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาช่วงของปัจจัยแต่ละปัจจัยที่แคบ เช่น  $V = 1697-5091$  m/min,  $D = 150 - 250$  um และ  $F = 0.03 - 0.05$  m/min ซึ่งหากเปิดช่วงของปัจจัยให้กว้างขึ้น อาจทำให้พิจารณามองผลของปัจจัยในรูปแบบที่ปัจจัยมีค่าสูงขึ้น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการผลิตของกระบวนการได้

### 5.3 อุปสรรคในงานวิจัย

อุปสรรคในการทำงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

1. สำหรับการตัดชิ้นงานด้วยเครื่องตัดไม่สามารถทำการตัดต่อได้ต่อเนื่องในหนึ่งการทดลอง (50 ชิ้นงาน) เนื่องจากเครื่องจักรที่ใช้จำเป็นต้องมีการสลับกับกระบวนการผลิต ดังนั้นอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเครื่อง หรือผู้ปฏิบัติงานที่อาจต้องปฏิบัติงานสลับไปมา

2. การตรวจสอบรอยตัดของชิ้นงาน จะต้องทำการตรวจสอบด้วยสายตาของพนักงานในการมองผ่านจอมอนิเตอร์ของกล้องไมโครสโคปตลอดเป็นเวลานาน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการตรวจสอบของพนักงาน และรวมถึงการเปลี่ยนพนักงานในการทำงานระหว่างวัน

### 5.4 ข้อจำกัดในงานวิจัย

ข้อจำกัดในงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

สำหรับการกำหนดค่าความลึกตัดของชิ้นงาน (D) นั้นพนักงานจะต้องวางชิ้นงานบนแบริกซ์เหลว โดยพนักงานไม่สามารถวางชิ้นงานให้มีความขนานที่สุดได้ (ความสูงด้านซ้ายเท่ากับความสูงด้านขวา) พนักงานสามารถวางให้ชิ้นงานมีความขนานระหว่างชิ้นงานด้านซ้าย - ขวาให้มากที่สุดเท่านั้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อควบคุมระดับความลึกตัด (D) ของการตัดในแต่ละตำแหน่งบนแท่งชิ้นงานเดียวกัน จากปัญหานี้ได้ทำการควบคุมความขนานโดยการวัดระดับความสูงหลังจากประกอบงาน 3 ตำแหน่ง (ซ้าย-กลาง-ขวา) เพื่อตรวจสอบความขนานของชิ้นงาน โดยความแตกต่างของความสูงต้องไม่เกิน 20 um จากนั้นทำการเฉลี่ยค่า 3 ค่าเป็นค่าความลึกตัด ดังนั้นความลึกตัดในแต่ละตำแหน่งจะมีค่าความลึกตัดจริงเท่ากับ  $\pm 20$  um จากค่าที่กำหนด

## รายการอ้างอิง

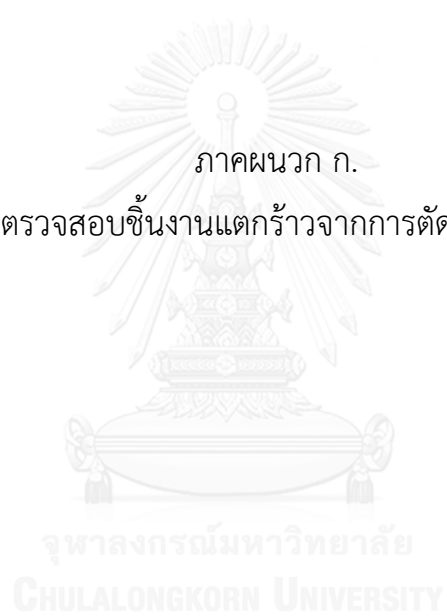
1. MicroChemicals, *Silicon Wafers*. 2014, MicroChemicals. p. 7-13.
2. Bates S, *Silicon Wafer Processing*. 2000.
3. Disco corporation, *Data Maintenance Manual Automatic Dicing Saw DAD322*. 2008.
4. Disco corporation. *Blade : ZPO7*. Available from:  
<http://www.disco.co.jp/eg/products/blade/zp07.html>.
5. Sung-Chul K, *Machining characteristics on the ultra-precision dicing of silicon wafer*. Springer-Verlag, 2006.
6. Zhou H, H.Y. Qiu S, and Z. N, *High-speed dicing of silicon wafers conducted using ultrathin blades*. Springer-verlag, 2012.
7. Gatzen H, Jones G, and A. K, *Chipping Minimization During Dicing and Slicing*. 2012.
8. Disco corporation, *The cutting edge*, in *Technical Newsletter*. 2004.





ภาคผนวก ก.




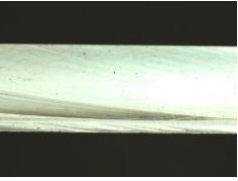

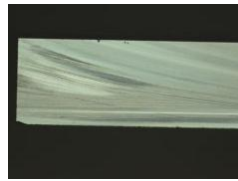
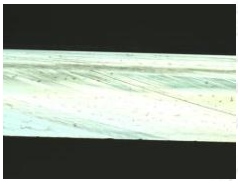
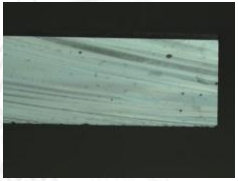

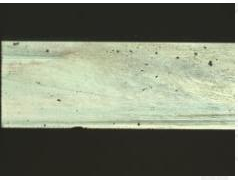
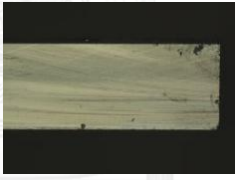

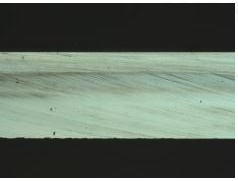
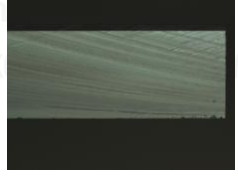


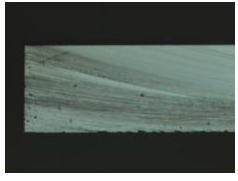

ข้อมูลการตรวจสอบชิ้นงานแต่กร้าวจากการตัดชิ้นงาน 50 ชิ้นงาน



ตาราง ก ลักษณะรอยแตกร้าวจากการทดลองที่ 4.2

ลำดับ ชิ้นงาน	อัตราป้อน (F)		
	0.03 m/min	0.06 m/min	0.09 m/min
1			
2			
3			
4			
5			
6			

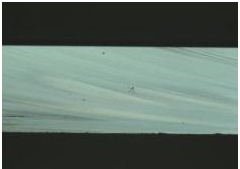
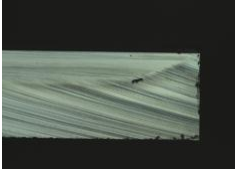


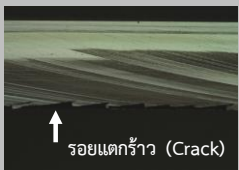
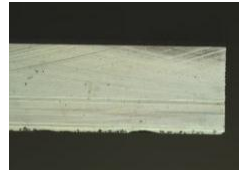
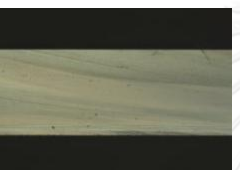





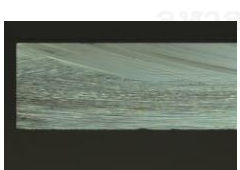

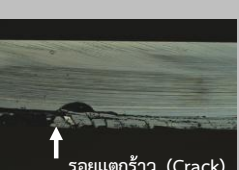

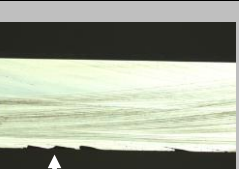

ตาราง ก ลักษณะรอยแตกร้าวจากการทดลองที่ 4.2 (ต่อ)

ลำดับ ชิ้นงาน	อัตราป้อน (F)		
	0.03 m/min	0.06 m/min	0.09 m/min
7			
8			
9			
10			
11			
12			

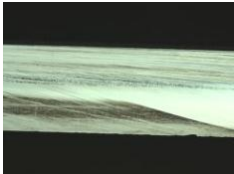

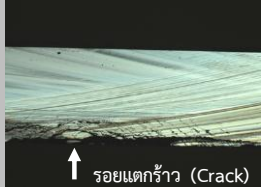
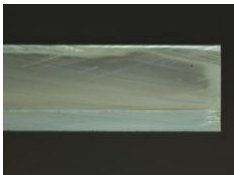
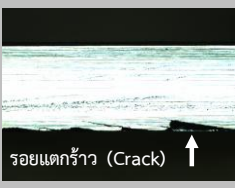
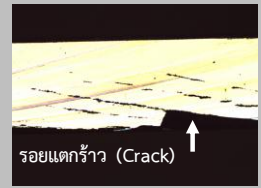


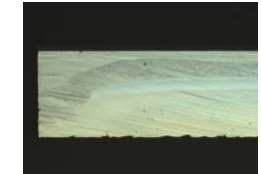
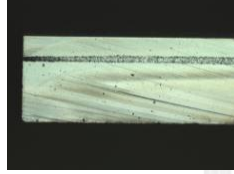

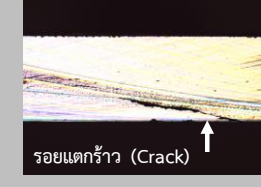
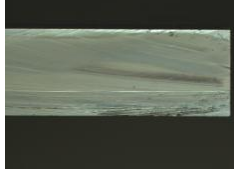





ตาราง ก ลักษณะรอยแตกร้าวจากการทดลองที่ 4.2 (ต่อ)

ลำดับ ชิ้นงาน	อัตราป้อน (F)		
	0.03 m/min	0.06 m/min	0.09 m/min
13			
14			
15			
16			
17			
18			




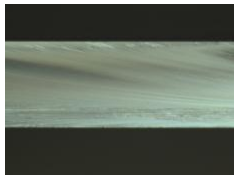
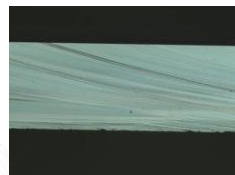


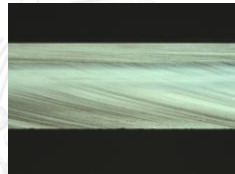

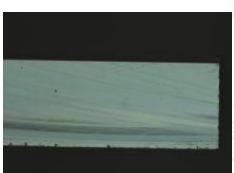
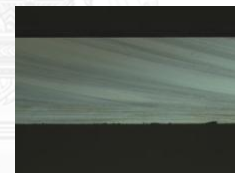



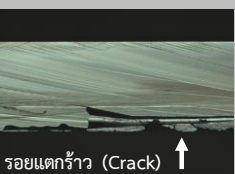
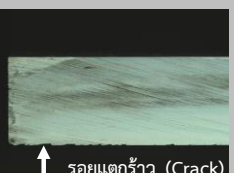

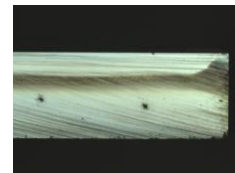
ตาราง ก ลักษณะรอยแตกร้าวจากการทดลองที่ 4.2 (ต่อ)

ลำดับ ชิ้นงาน	อัตราป้อน (F)		
	0.03 m/min	0.06 m/min	0.09 m/min
19			
20			
21			
22			
23			
24			

ตาราง ก ลักษณะรอยแตกร้าวจากการทดลองที่ 4.2 (ต่อ)

ลำดับ ชิ้นงาน	อัตราป้อน (F)		
	0.03 m/min	0.06 m/min	0.09 m/min
25			 รอยแตกร้าว (Crack) ↑
26		 รอยแตกร้าว (Crack) ↑	 รอยแตกร้าว (Crack) ↑
27			
28		 รอยแตกร้าว (Crack) ↑	 รอยแตกร้าว (Crack) ↑
29			
30			

ตาราง ก ลักษณะรอยแตกร้าวจากการทดลองที่ 4.2 (ต่อ)

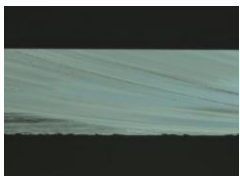
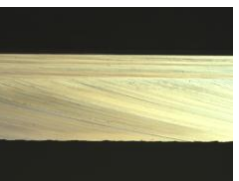

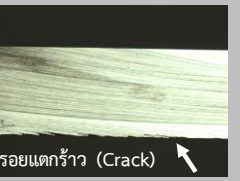

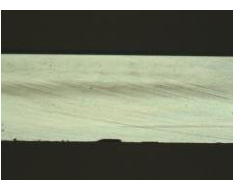

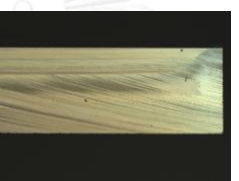



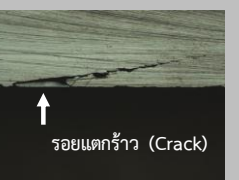
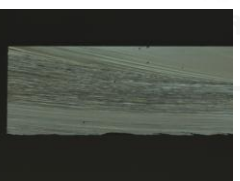
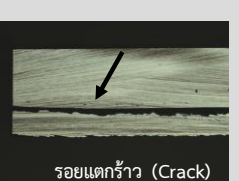
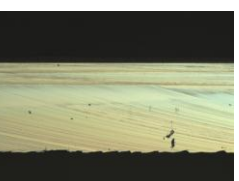



ลำดับ ชิ้นงาน	อัตราป้อน (F)		
	0.03 m/min	0.06 m/min	0.09 m/min
31			 รอยแตกร้าว (Crack) ↑
32			
33			
34			 รอยแตกร้าว (Crack)
35			 รอยแตกร้าว (Crack) ↑
36	 ↑ รอยแตกร้าว (Crack)	 ↑ รอยแตกร้าว (Crack)	



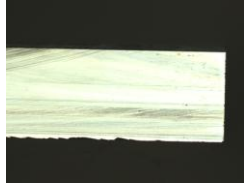




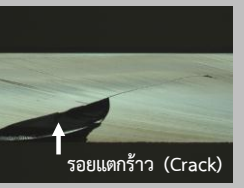
ตาราง ก ลักษณะรอยแตกร้าวจากการทดลองที่ 4.2 (ต่อ)

ลำดับ ชิ้นงาน	อัตราป้อน (F)		
	0.03 m/min	0.06 m/min	0.09 m/min
37			
38			
39			
40			
41			
42			

ตาราง ก ลักษณะรอยแตกร้าวจากการทดลองที่ 4.2 (ต่อ)

ลำดับ ชิ้นงาน	อัตราป้อน (F)		
	0.03 m/min	0.06 m/min	0.09 m/min
43			
44			
45			
46			
47			
48			

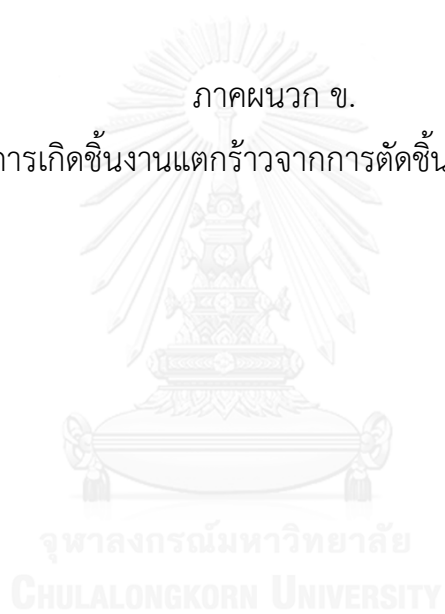
ตาราง ก ลักษณะรอยแตกร้าวจากการทดลองที่ 4.2 (ต่อ)

ลำดับ ชิ้นงาน	อัตราป้อน (F)		
	0.03 m/min	0.06 m/min	0.09 m/min
49			
50			



ภาคผนวก ข.

ข้อมูลตำแหน่งการเกิดขึ้นงานแตกร้าวจากการตัดชิ้นงานทดสอบ 50 ชิ้นงาน



ตาราง ข ผลของตำแหน่งของการเกิดชิ้นงานแตกร้าจากการตัด 50 ชิ้นงานในการทดลองที่ 4.2 (ต่อ)

การทดลอง	ความเร็วตัด (V <sub>m</sub> /min)	ความลึกตัด (D <sub>cut</sub> )	อัตราป้อน (f <sub>m</sub> /min)	จำนวน cutline ที่	ตำแหน่งการเกิดชิ้นงานแตกร้า (จากการตัด 50 ชิ้นงาน)																																			
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
19	3394	150	0.03	12	14	27	29	31	34	36	39	40	42	44	47	50																								
20	3394	150	0.03	10	19	27	33	35	36	39	40	42	46	48																										
21	3394	150	0.06	13	10	20	24	27	28	29	35	38	39	46	48	49	50																							
22	3394	150	0.06	17	19	21	23	25	26	27	29	31	32	34	35	38	40	43	45	48	50																			
23	3394	150	0.09	19	5	17	18	21	22	25	26	31	32	34	35	37	38	39	41	42	46	49	50																	
24	3394	150	0.09	14	4	12	18	23	26	27	32	33	37	39	42	45	49	50																						
25	3394	200	0.03	4	36	44	48	50																																
26	3394	200	0.03	4	39	41	46	49																																
27	3394	200	0.06	12	16	17	20	24	26	28	36	40	42	47	49	50																								
28	3394	200	0.06	12	14	18	19	23	28	31	35	36	44	45	49	50																								
29	3394	200	0.09	18	4	16	18	21	23	25	26	28	31	34	35	38	39	42	43	46	49	50																		
30	3394	200	0.09	16	16	18	22	23	28	29	32	33	37	38	40	43	47	48	49	50																				
31	3394	250	0.03	6	19	23	28	33	37	44																														
32	3394	250	0.03	10	18	25	26	27	33	40	41	43	45	47																										
33	3394	250	0.06	17	9	20	21	25	28	29	32	33	35	36	37	39	42	46	48	49	50																			
34	3394	250	0.06	20	22	24	25	26	28	30	33	35	36	37	38	40	41	42	43	45	46	47	48	50																
35	3394	250	0.09	20	3	6	11	13	15	18	22	24	25	27	28	32	33	35	38	39	44	45	47	49																
36	3394	250	0.09	25	5	11	12	13	17	20	21	24	25	26	29	31	32	33	35	36	37	39	42	43	45	46	47	48	50											



ภาคผนวก ค.

ข้อมูลอายุการใช้งานใบมีดตัดแต่ละตำแหน่งของการเกิดขึ้นงานแตกร้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY







### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายปิยะณัฐ กาฬภักดี เกิดเมื่อวันที่ 29 สิงหาคม พ.ศ. 2530 ที่จังหวัดสุพรรณบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม จากมหาวิทยาลัย ศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม เมื่อปี พ.ศ. 2552 และได้เข้ารับการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2554

