การลดความสูญเสียจากการผลิต แผนกกระบวนการตัด ในอุตสาหกรรมการผลิตกระจกแผ่นเรียบ

นายนิติพงษ์ เล็กสุพรรณโรจน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
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 Graduate School.

LOSS REDUCTION IN CUTTING SECTION OF FLAT GLASS INDUSTRY

Mr.Nitipong Leksuphanroj

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 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดความสูญเสียจากการผลิต แผนกกระบวนการตัด ในอุตสาหกรรมการผลิตกระจกแผ่นเรียบ
โดย	นายนิติพงษ์ เล็กสุพรรณโรจน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์)

…… กรรมการ
(อาจารย์ ดร.นระเกณฑ์ พุ่มชูศรี)

…… กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.ชยธัช เผือกสามัญ)

นิติพงษ์ เล็กสุพรรณโรจน์ : การลดความสูญเสียจากการผลิต แผนกกระบวนการตัด ในอุตสาหกรรมการผลิตกระจกแผ่นเรียบ. (LOSS REDUCTION IN CUTTING SECTION OF FLAT GLASS INDUSTRY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร. ปวีณา เชาวลิตวงศ์, 152 หน้า

ในกระบวนการตัดกระจกแผ่นเรียบของโรงงานตัวอย่างได้พบการสูญเสียจากรอยการตัด ซึ่งทำให้เกิดของเสียขึ้นในกระบวนการผลิต เนื่องจากกระบวนการตัดในปัจจุบันไม่ได้มีการกำหนดมาตรฐานการใช้งานใบมีดตัดกระจก และระบบการทำงานของพนักงานที่ควบคุมการตัด ส่งผลให้เกิดการใช้งานใบมีดตัดที่หมดสภาพในกระบวนการตัด ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบมาตรฐานการใช้งานใบมีดตัดกระจก และระบบการควบคุมกระบวนการทำงานของพนักงานควบคุมการตัดในกระบวนการตัดกระจกแผ่นเรียบ โดยได้ทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพกระจกที่ตัด ได้แก่ ระยะทางการใช้งานของใบมีดตัด ความดันกดตัด และขนาดของใบมีดตัด และสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้ง 3 เพื่อใช้ทำนายระยะทางการใช้งานใบมีดตัดที่เหมาะสมก่อนที่จะเกิดการสูญเสียขึ้นในการตัดกระจกความหนา 2.0 มิลลิเมตร ที่มีความเร็วในการไหล 890 เมตรต่อชั่วโมง ผลการวิจัยพบว่าความดันกดตัดที่เหมาะสมกับขนาดของใบมีดตัดที่ให้ระยะทางการใช้งานใบมีดสูงที่สุด คือใบมีดตัดขนาด 4.0 – 4.3 มิลลิเมตร ควรใช้ความดันกดตัดที่ 0.50 kgf/cm^2 ใบมีดตัดขนาด 4.4 – 4.7 มิลลิเมตร ควรใช้ความดันกดตัดที่ 0.52 kgf/cm^2 และใบมีดตัดขนาด 4.8 – 5.0 มิลลิเมตร ควรใช้ความดันกดตัดที่ 0.55 kgf/cm^2 ต่อจากนั้นได้ทำการสร้างแบบจำลองผลของสมการโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel 2010 เพื่อทดสอบผลที่ได้จากสมการเทียบกับการทำงานในสภาพปัจจุบัน จากผลการประยุกต์ใช้กระบวนการป้องกันพบว่าจะสามารถลดปริมาณการสูญเสียที่เกิดขึ้นได้ 65 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับสภาวะก่อนการใช้มาตรฐาน นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถใช้งานใบมีดตัดทั้งหมดใน 1 ใบ เป็นระยะทางที่เพิ่มขึ้นจากวิธีการเดิม 40 เปอร์เซ็นต์ ในการตัดตามแนวขวางการไหล ซึ่งเป็นการใช้งานใบมีดตัดได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2555

5371423121 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORDS : LOSS PREVENTION / GLASS CUTTING PROCESS / GLASS CUTTER

NITIPONG LEKSUPHANROJ : LOSS REDUCTION IN CUTTING SECTION OF FLAT GLASS INDUSTRY. ADVISOR : ASST.PROF. PAVEENA CHAOVALITWONGSE, Ph.D., 152 pp.

In-process cutting losses are usually occurred in flat glass manufacturing of the case study company. Since the standard for cutter wheel usage has not been done, the over-worn cutter wheels are often used. The objective of this research is to set the standard of cutter wheel usage. The variables related to cutting quality are studied such as cut distant, pressure, and cutting wheel diameters. The regression model is applied to show the relationship of the three variables in order to estimate the appropriate use of cutting wheel before it is worn off for 2-millimeters glass thickness with 890 meters per hour of speed. The result found that the appropriate pressures are 0.50 kgf/cm^2, 0.52 kgf/cm^2, and 0.55 kgf/cm^2 for cutting wheel diameter ranges of 4.0-4.3 millimeters, 4.4-4.7 millimeters, and 4.8-5.0 millimeters respectively. The simulation model using Microsoft Excel 2010 was used to compare the result from regression model and actual data. After the proposed standard usage is implemented, the results shows that the cutting losses can be reduced by 65%. Moreover, distant cut by the cutter wheel is increased by 40% when following the suggested standard usage developed by the regression model which can enhance the usage efficiency of cutter wheel

Department : Industrial Engineering Student's Signature .....

Field of Study : Industrial Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year : 2012 .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถดำเนินการจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์อย่างสูงจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำปรึกษาต่างๆ ตลอดจนชี้แนะแนวทางในการทำวิจัยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตลอดมา รวมถึงผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ ประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.นระเกณฑ์ พุ่มชูศรี กรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.ชยธัช เผือกสามัญ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำ และสละเวลาในการตรวจสอบและแก้ไขรายละเอียดภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณบุคลากรทุกท่านในโรงงานกรณีศึกษา สำหรับความสนับสนุนและช่วยเหลือเป็นอย่างดีในการรวบรวม และวิเคราะห์แก้ไขปัญหาต่าง ๆ ในงานวิจัยครั้งนี้ ตลอดช่วงเวลาการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนคณะอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับการอบรมสั่งสอนด้านวิชาการ และจริยธรรมแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนประสบความสำเร็จในการศึกษา

ท้ายที่สุดนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณสำหรับบิดา มารดา และครอบครัวของผู้วิจัย ที่ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจตลอดการจัดทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ จ

กิตติกรรมประกาศ ฉ

สารบัญ ช

สารบัญตาราง ฌ

สารบัญรูป ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 8

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 8

1.4 แนวทางการดำเนินการวิจัย 9

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย 10

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 11

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต 11

2.1.1 หลักการสนับสนุนด้านคุณภาพ 11

2.1.2 แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) 12

2.1.3 ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง 13

2.1.4 หลักการวิเคราะห์การถดถอยเชิงซ้อน 14

2.2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการตัดกระจก 16

2.3 แนวคิดและวิธีการดำเนินงาน 23

บทที่ 3 ข้อมูลเบื้องต้นของปัญหา 25

3.1 สภาพปัญหาที่พบในปัจจุบัน 25

3.2 การวิเคราะห์สภาพปัญหาในปัจจุบัน 25

3.3 การออกแบบการดำเนินงานวิจัย 26

3.3.1 การออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดมาตรฐานระยะการใช้งานใบมีดตัดกระจก 26

3.3.2 การออกแบบมาตรฐานการทำงานของพนักงาน 31

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล 32

บทที่ 4 การสร้างมาตรฐานการใช้งานของใบมีด 33

4.1 ขั้นตอนดำเนินการทดลอง 34

4.1.1 การทดลองการตัดตามแนวขวางการไหล 35

หน้า

4.1.2 การทดลองการตัดตามแนวทางการไหล 37
4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากผลการทดลอง 38
4.2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการตัดตามแนวขวางการไหล 38
4.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการตัดตามแนวทางการไหล 52
4.3 การพิจารณาค่าเวลาการใช้งานใบมีดตัด 58
4.4 สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์ 62
บทที่ 5 การสร้างมาตรฐานการทำงานของพนักงานควบคุมการตัด 63
5.1 การกำหนดรูปแบบการทำงานของพนักงาน 63
5.2 การออกแบบการควบคุมการใช้งานใบมีดตัด 66
5.3 การติดตามการทำงานของพนักงาน 68
5.4 การแก้ไขกรณีที่เกิดปัญหา 72
บทที่ 6 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ 73
6.1 สรุปผลงานวิจัย 73
6.2 ผลที่ได้รับจากงานวิจัย 74
6.3 ข้อเสนอแนะ 75
รายการอ้างอิง 77
ภาคผนวก 79
ภาคผนวก ก ตารางบันทึกข้อมูลการตัด 80
ภาคผนวก ข ตารางมาตรฐานการใช้งานใบมีดตัด 84
ภาคผนวก ค ผลที่ได้จากตารางแบบจำลองตามแนวขวางการไหล 89
ภาคผนวก ง ผลที่ได้จากตารางแบบจำลองตามแนวทางการไหล 101
ภาคผนวก จ การสร้างตารางแบบจำลองการตัด 113
ภาคผนวก ฉ ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ 118
ภาคผนวก ช คู่มือปฏิบัติงานการตัดกระจกในแผนกกระบวนการตัด 134
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 152

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ค่า n และ C สำหรับสมการที่ (1) และ (2) 19
ตารางที่ 2.2 สมการสหสัมพันธ์ทำนายอายุการใช้งานของใบมีดสำหรับเครื่องจักรชนิดต่างๆ 21
ตารางที่ 3.1 รายงานระยะการใช้งานใบมีดตัดที่ขนาด 4.0, 4.5 และ 5.0 มิลลิเมตร ตามแนวขวางการไหล 27
ตารางที่ 3.2 รายงานการทดลองระยะการใช้งานใบมีดตัดที่ขนาดต่างๆตามแนวขวางการไหล 28
ตารางที่ 3.3 รายงานการทดลองระยะการใช้งานใบมีดตัดที่ขนาด 4.0, 4.5 และ 5.0 มิลลิเมตร ตาม แนวทางการไหล 28
ตารางที่ 3.4 รายงานการทดลองระยะการใช้งานใบมีดตัดที่ขนาดต่างๆ ตามแนวทางการไหล 29
ตารางที่ 3.5 สรุประยะการใช้งานใบมีดตัดเฉลี่ยที่ขนาดต่างๆ ตามแนวขวางการไหล 30
ตารางที่ 3.6 สรุประยะการใช้งานใบมีดตัดเฉลี่ยที่ขนาดต่างๆ ตามแนวทางการไหล 30
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองระยะการใช้งานใบมีดตัดตามแนวขวางการไหล ที่ขนาด 4.0, 4.5 และ 5.0 มิลลิเมตร 39
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองระยะการใช้งานใบมีดตัดเฉลี่ยตามแนวขวางการไหลที่ขนาด 4.0, 4.5 และ 5.0 มิลลิเมตร 40
ตารางที่ 4.3 ผลระยะการใช้งานการตัดตามแนวขวางการไหลรวมของใบมีดตัดที่มีขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลางต่างๆ 42
ตารางที่ 4.4 ผลระยะการใช้งานการตัดเฉลี่ยตามแนวขวางการไหลของใบมีดตัดที่มีขนาดเส้นผ่าน 43
ตารางที่ 4.5 ผลระยะทางการตัดที่ได้จากสมการทำนายการใช้งานใบมีดตัดตามแนวขวางการไหล 44
ตารางที่ 4.6 ผลระยะการใช้งานการตัดตามแนวขวางการไหลเก็บผลครั้งที่ 2 45
ตารางที่ 4.7 ผลระยะการใช้งานของใบมีดตัดเฉลี่ยเก็บผลครั้งที่ 2 ของการตัดตามแนวขวางการไหล 45
ตารางที่ 4.8 ผลระยะทางการตัดที่ได้จากสมการทำนายที่สภาวะความดันกดตัด กับขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางของใบมีดตัดที่เหมาะสม กับผลการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 48
ตารางที่ 4.9 ผลระยะทางการตัดที่ได้จากสมการทำนายเทียบกับค่าที่ถูกปรับลดลงจากสมการ 12 เปอร์เซ็นต์ 49
ตารางที่ 4.10 ตารางมาตรฐานการใช้งานใบมีดตัดตามแนวขวางการไหล 51
ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองระยะการใช้งานใบมีดตัดตามแนวทางการไหลที่ขนาด 4.0, 4.5 และ 5.0 มิลลิเมตร ที่ความดันกดตัด 1.5 และ 1.6 kgf/cm^2 52
ตารางที่ 4.12 ผลระยะการใช้งานการตัดตามแนวทางการไหลของใบมีดตัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์ กลาง 5.0, 4.8, 4.7, 4.5, 4.4, 4.2 และ 4.0 มิลลิเมตร 53
ตารางที่ 4.13 ผลระยะการใช้งานการตัดเฉลี่ยตามแนวทางการไหลของใบมีดตัดที่มีขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 4.0, 4.2, 4.4, 4.5, 4.7, 4.8 และ 5.0 มิลลิเมตร 53

หน้า

ตารางที่ 4.14 ผลระยะทางการตัดที่ได้จากสมการทำนายการใช้งานใบมีดตัดตามแนวทางการไหล 54
ตารางที่ 4.15 ผลระยะการใช้งานของใบมีดตัดเก็บผลครั้งที่ 2 ของการตัดตามแนวทางการไหล 55
ตารางที่ 4.16 ผลระยะการใช้งานของใบมีดตัดเฉลี่ยเก็บผลครั้งที่ 2 ของการตัดตามแนวทางการไหล 55
ตารางที่ 4.17 ตารางมาตรฐานการใช้งานใบมีดตัดตามแนวทางการไหล 57
ตารางที่ 4.18 เวลาการใช้งานการตัดตามแนวขวางการไหลที่ทำการปรับปรุง 58
ตารางที่ 4.19 เวลาการใช้งานการตัดตามแนวทางการไหลที่ทำการปรับปรุง 59
ตารางที่ 4.20 ความแตกต่างของจำนวนใบมีดใช้งานการตัดตามแนวขวางการไหล 60
ตารางที่ 4.21 ความแตกต่างของจำนวนใบมีดใช้งานการตัดตามแนวทางการไหล 61
ตารางที่ 5.1 ตารางโปรแกรมการทำนายการเปลี่ยนใบมีดตัด ของการตัดตามแนวขวางการไหล 64
ตารางที่ 5.2 แสดงตารางโปรแกรมการทำนายการเปลี่ยนใบมีดตัด ของการตัดตามแนวทางการไหล 65
ตารางที่ 5.3 แบบฟอร์มการนำส่งใบมีดตัดที่ปรับปรุงใหม่ 67
ตารางที่ 5.4 ตารางแสดงการติดตามการเปลี่ยนใบมีดตัดตามแนวขวางการไหล 68
ตารางที่ 5.5 ตารางแสดงการติดตามการเปลี่ยนใบมีดตัดตามแนวทางการไหล 69
ตารางที่ 5.6 ตารางแสดงเอกสารการตรวจสอบประจำกะที่ปรับปรุงขึ้นใหม่ 71

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 กระบวนการในการผลิตกระจกแบบโฟล้ต 2
รูปที่ 1.2 วิธีการปรับมุม เอโรลล์ เป็นมุมบวก (+) เพื่อดึงขอบกระจกให้กว้างออกและบางลง 3
รูปที่ 1.3 วิธีการปรับมุม เอโรลล์ เป็นมุมลบ (-) เพื่อดันกระจกให้แคบเข้าและหนาขึ้น 3
รูปที่ 1.4 แสดงกระบวนการทำงานต่างๆในแผนกตัดและบรรจุ 5
รูปที่ 1.5 แสดงการสูญเสียจากสภาพการตัดที่เกิดขึ้นต่อเดือนทั้งหมดในปี 2010 จนถึงเดือน มิถุนายน 2011 6
รูปที่ 1.6 ชนิดการสูญเสียจากสภาพการตัดที่เกิดขึ้นทั้งหมดในปี 2010 จนถึงเดือนมิถุนายน 2011 6
รูปที่ 1.7 ลักษณะรอยตัดที่เรียบคมกับไม่เรียบคมมีรอยร่อยที่ขอบเกิดขึ้น 7
รูปที่ 2.1 วัฏจักรของเดมิ่ง (Deming Circle) 12
รูปที่ 2.2 แผนผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) 13
รูปที่ 2.3 อิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการตัดต่อความสึกหรอของใบมีดตัด 16
รูปที่ 2.4 อิทธิพลของความเร็วตัดต่ออัตราการสึกหรอของใบมีด 17
รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วที่ใช้ในการตัดกับอายุการใช้งานของใบมีดในรูปแบบกราฟ สเกล ลอการิทึม 18
รูปที่ 2.6 ความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นในเนื้อกระจก 22
รูปที่ 4.1 การกำหนดมาตรฐานระยะการลงตัดของใบมีดตัดตามแนวขวางการไหลของโรงงานกรณีศึกษา 33
รูปที่ 4.2 ภาพขยายระยะการลงตัดของใบมีดตัดตามแนวขวางการไหลของโรงงานกรณีศึกษา 34
รูปที่ 4.3 กราฟระหว่างความดันกดตัดและระยะทางการใช้งานเฉลี่ยของใบมีดตัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน 40
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของขนาดใบมีดตัดกับระยะทางเฉลี่ยในการตัดจากผลการทดลองครั้งที่ 2 เทียบกับค่าจากสมการทำนายระยะทางการใช้งานใบมีดตัด ที่ความดันกดตัด 0.50 kgf/cm^2 46
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของขนาดใบมีดตัดกับระยะทางเฉลี่ยในการตัดจากผลการทดลองครั้งที่ 2 เทียบกับค่าจากสมการทำนายระยะทางการใช้งานใบมีดตัด ที่ความดันกดตัด 0.52 kgf/cm^2 46
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของขนาดใบมีดตัดกับระยะทางเฉลี่ยในการตัดจากผลการทดลองครั้งที่ 2 เทียบกับค่าจากสมการทำนายระยะทางการใช้งานใบมีดตัด ที่ความดันกดตัด 0.55 kgf/cm^2 47
รูปที่ 4.7 กราฟผลระยะทางการตัดที่ได้จากสมการทำนาย กับผลการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 และค่าที่ปรับลดจากสมการทำนายระยะการใช้งานการตัด 49
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลระยะทางการใช้งานที่ทำการปรับค่าจากสมการลดลง 12% และค่าเผื่ออีก 2 % เทียบกับค่าที่ได้จากสมการทำนายระยะ และผลการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 51

หน้า

รูปที่ 4.9 กราฟแสดงระยะทางการตัดที่ได้จากสมการทำนาย กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดตัดที่เหมาะสม กับผลการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 และค่าที่ปรับลดจากสมการทำนายระยะการใช้งาน การตัดตามแนวทางการไหล 56
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลระยะทางการใช้งานที่ทำการปรับค่าจากสมการลดลง 12% และค่าเผื่ออีก 1 % เทียบกับค่าที่ได้จากสมการทำนายระยะ และผลการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 57
รูปที่ 5.1 ใบมีดตัดหลังผ่านการลับคมที่ถูกใส่รวมในเข็มกลัดก่อนนำไปใช้งาน 66
รูปที่ 5.2 ใบมีดตัดหลังผ่านการลับคมที่ถูกแยกขนาดเดียวกันไว้ในเข็มกลัดก่อนนำไปใช้งาน 67
รูปที่ 5.3 การนำตารางติดตามการเปลี่ยนใบมีดตัดตามแนวขวางการไหลไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่ทำงาน 68
รูปที่ 5.4 การนำตารางติดตามการเปลี่ยนใบมีดตัดตามแนวทางการไหลไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่ทำงาน 69
รูปที่ 6.1 จำนวนแผ่นกระจกที่เสียจากปัญหารอยการตัดที่ถูกคัดแยกไว้ในช่วงเวลาการผลิตที่เกิดปัญหา 74

บทที่ 1

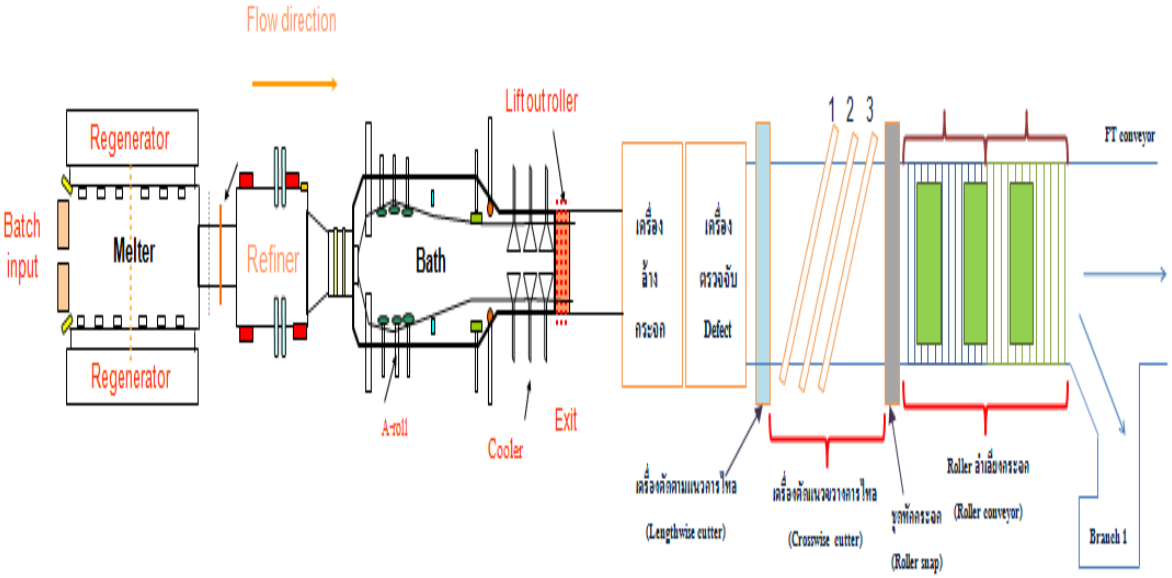
บทนำ

ในปัจจุบันกระบวนการผลิตกระจกที่ทันสมัยและเป็นที่นิยมที่สุด คือการผลิตด้วย ระบบโฟล้ต (Float Glass Process) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย เซอร์แอลลาสแตร์ พิลคิงตัน (Sir Alastair Pilkington) ชาวอังกฤษ ในปี 1959 ซึ่งการผลิตกระจกแผ่นเรียบ (Flat glass) โดยทั่วไปจะประกอบด้วยกระบวนการ การหลอมกระจก โดยการหลอมวัตถุดิบหลักๆ ได้แก่ ทราย (Silica Sand) ยิปซั่ม (Gymsum) โซดาแอช (Soda Ash) และ ไลม์สโตน (Limestone) ที่อุณหภูมิประมาณ 1500 องศาเซลเซียส (°C) โดยกระจกที่ถูกหลอมเหลวจะไหลออกจากเตาหลอม และลอยตัวบนผิวของดีบุกเหลว จากนั้นจะถูกดึงขึ้นรูปเป็นแผ่นเรียบและถูกทำให้เย็นตัวลงอย่างช้าๆจะได้กระจกแผ่นผิวเรียบ หลังจากนั้นแผ่นกระจกจะถูกลำเลียงโดยระบบโรลเลอร์ (Roller conveyor) มาทำการตัดออกเป็นขนาดตามที่ต้องการและทำการบรรจุ (Packaging) เตรียมส่งต่อไปยังลูกค้า

ปัจจุบันกระจกมีความจำเป็นในภาคอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นการนำไปใช้ในอาคารบ้านเรือน รถยนต์ อาคารสิ่งก่อสร้าง เป็นต้น สำหรับกระจกแผ่นเรียบนั้น เป็นกระจกพื้นฐานขั้นต้นซึ่งสามารถนำไปใช้กับอาคารบ้านเรือน หรือสามารถนำไปผ่านกระบวนการอบเพื่อแปรสภาพเป็นกระจกนิรภัยต่างๆที่ใช้ในรถยนต์ซึ่งใช้กันอย่างมากโดยทั่วไปในปัจจุบัน หรือนำไปทำการเคลือบสีเป็นกระจกโฟล้ตสีตัดแสงซึ่งสามารถป้องกันความร้อนไม่ให้เข้ามาในตัวอาคารหรือสิ่งปลูกสร้างต่างๆได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปทำลวดลายด้วยวิธีการยิงทรายเพื่อสร้างลวดลายบนผิวกระจกนำไปใช้เป็นเครื่องประดับตามอาคารบ้านเรือน ต่างๆได้ เป็นต้น

1.1. <u>ที่มาและความสำคัญของปัญหา</u>

ในกระบวนการผลิตกระจกแผ่นเรียบในปัจจุบันนั้น กระบวนการผลิตกระจกแบบระบบโฟล้ต เป็นวิธีการผลิตที่ทันสมัยและให้คุณภาพกระจกที่มีคุณภาพสูงที่สุด โดยรูปแบบกระบวนการจะเป็นการผลิตที่มีความต่อเนื่อง (Continuous Process) และสามารถแบ่งกระบวนการผลิตออกได้เป็น 4 ส่วน ดังแสดงตามรูปที่ 1.1

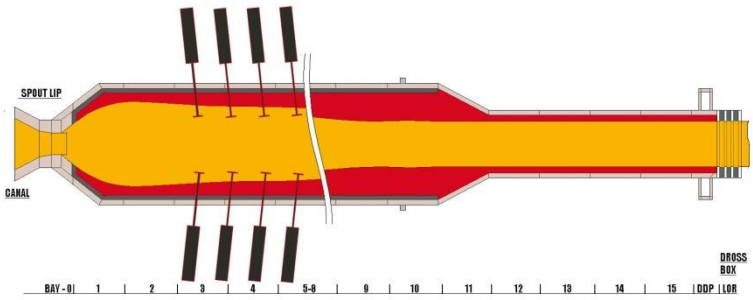


รูปที่ 1.1 กระบวนการในการผลิตกระจกแบบโฟล้ต

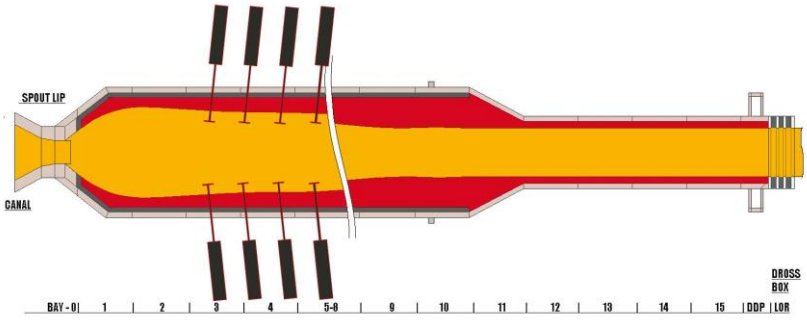
จากรูปที่ 1 แสดงกระบวนการในการผลิตกระจกแบบโฟล้ต สามารถอธิบายกระบวนการทำงานได้ดังนี้

1. กระบวนการหลอมที่เตาหลอม (Melter) ในส่วนกระบวนการนี้เป็นกระบวนการเริ่มต้นของการผลิตกระจกแผ่นเรียบ เริ่มจากทำการป้อนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ ทราย (Silica Sand) ยิปซั่ม (Gymsum) โซดาแอช (Soda Ash) และวัตถุดิบอื่นๆ ที่ทำการผสมแล้วเข้าไปในเตาหลอมอย่างต่อเนื่อง โดยวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่เตาหลอมจะทำการหลอมเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 1300 ถึง 1500 องศาเซลเซียส ซึ่งวัตถุดิบจะถูกหลอมเหลวกลายสภาพเป็นน้ำแก้วภายในเตาหลอม ในกระบวนการนี้จะมีการใช้สารละลายแบบโฟม (Tin Foam) เพื่อช่วยจับฟองอากาศที่อยู่ภายในน้ำแก้วที่ถูกหลอมเหลว เพื่อป้องกันฟองอากาศเข้าไปในเนื้อกระจกขณะขึ้นรูปเป็นแผ่นกระจก และจะทำการป้อนวัตถุดิบเข้าเตาหลอมอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะเป็นการผลักดันน้ำแก้วให้ไหลไปทางปลายทางต่อไป

2. กระบวนการดึงขึ้นรูป (Drawing) หลังจากที่วัตถุดิบถูกหลอมเหลวแล้วจะถูกทำให้ไหลต่อมายังส่วนของอ่างดีบุก (หรือเรียกว่า Bath) โดยน้ำแก้วจะถูกปล่อยให้ไหลลงสู่อ่างดีบุกและแผ่ตัวออกเพื่อให้เกิดความสมดุล น้ำแก้วจะลอยตัวบนน้ำดีบุก (เนื่องจากน้ำแก้วมีความหนาแน่นที่ต่ำกว่าน้ำดีบุก) และจะถูกทำให้เย็นตัวลงเล็กน้อย (ประมาณ 800 องศาเซลเซียส) เพื่อให้น้ำแก้วเปลี่ยนรูปเป็นกระจกแผ่นโดยมีความหนาสมดุลย์อยู่ประมาณ 6.3 มิลลิเมตร ในอ่างดีบุกทั้งสองด้านจะมีล้อกดขอบกระจก เรียกว่า เอโรลล์ (A-Roll) ซึ่งจะใช้ในการขึ้นรูปกระจก ด้วยวิธีการปรับมุม เอโรลล์ โดยเป็นมุมบวก (+) เพื่อดึงขอบกระจกให้กว้างออกและบางลงและปรับมุม เอโรลล์ เป็นมุมลบ (-) เพื่อดันกระจกให้แคบเข้าและหนาขึ้น ดังแสดงรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 1.2 วิธีการปรับมุม เอโรลล์ เป็นมุมบวก (+) เพื่อดึงขอบกระจกให้กว้างออกและบางลง



รูปที่ 1.3 วิธีการปรับมุม เอโรลล์ เป็นมุมลบ (-) เพื่อดันกระจกให้แคบเข้าและหนาขึ้น

3. กระบวนการอบ หลังจากที่ถูกดึงขึ้นรูปเป็นแผ่นและความหนาที่ต้องการแล้ว กระจกจะถูกลำเลียงโดยดึงอย่างต่อเนื่องออกจากอ่างดีบุก โดยชุด โรลเลอร์ (Roller) และค่อยๆถูกทำให้เย็นตัวลง เพื่อลดความเครียดภายในเนื้อกระจก จนผิวกระจกมีอุณหภูมิเท่ากับสภาวะแวดล้อมภายนอก

4. กระบวนการตัดและบรรจุ (Cutting and Packing) หลังจากที่กระจกถูกทำให้เย็นตัวลงเป็นแผ่นแล้ว จะถูกส่งมาที่กระบวนการตัดและบรรจุ ซึ่งเป็นส่วนปลายทางของกระบวนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ โดยจะทำการตัดกระจกโดยใช้เครื่องตัดกระจกออกเป็นแผ่นตามที่ลูกค้าต้องการ

ในกระบวนการผลิตกระจกนั้นจะเริ่มจากการรับยอดการตัดที่ได้จากฝ่ายขายซึ่งได้รับมาจากลูกค้า โดยจะทำการหลอมวัตถุดิบตามชนิดและข้อกำหนดของลูกค้าแต่ละประเภทตามมาตรฐานการทำงานที่ได้กำหนดไว้ ต่อจากนั้นทำการดึงขึ้นรูปเป็นแผ่นตามความหนาที่ต้องการ โดยความกว้างของกระจกที่ดึงนั้นจะขึ้นกับความกว้างของกระจกที่ลูกค้าต้องการ และถูกส่งต่อมายังกระบวนการตัดเพื่อตัดกระจกออกเป็นแผ่นตามที่ลูกค้ากำหนด หากพิจารณาการทำงานในส่วนต่างๆจะพบว่าส่วนงานที่หนึ่ง การหลอมกระจกนั้นได้มีข้อกำหนดมาตรฐานการทำงานที่ได้มีการกำหนดไว้แล้ว ในส่วนงานที่สองและสามนั้น การดึงขึ้นรูปจะทำการดึงขึ้นรูปความหนาตามแผนการตัดที่ได้รับจากฝ่ายขาย โดยจะมีการขยายความกว้างของกระจกตามขนาดของกระจกที่ทางลูกค้าต้องการ และทำการอบผิวให้กระจกเย็นตัวและแข็งเป็นแผ่นตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ซึ่งความสูญเสียในการผลิตจากส่วนงานที่หนึ่ง สองและสามนี้ไม่สามารถทำการจัดการได้โดยง่ายเพราะขึ้นกับปัจจัยในการผลิตหลายอย่าง ได้แก่ สภาพของการขึ้นรูป ความสูญเสียจากขอบของการขึ้นรูปกระจก สภาวะการคงตัว

ของกระจก และความสามารถในการทำงานควบคุมของเครื่องจักรในการผลิต ดังนั้นความสูญเสียจากการผลิตในส่วนงานการผลิตที่หนึ่ง สองและสามนี้จึงไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้

ในส่วนงานที่สี่กระบวนการตัดและบรรจุ จัดว่าเป็นส่วนงานปลายทาง โดยการทำงานในส่วนงานนี้สามารถแบ่งได้เป็นสองส่วนคือ

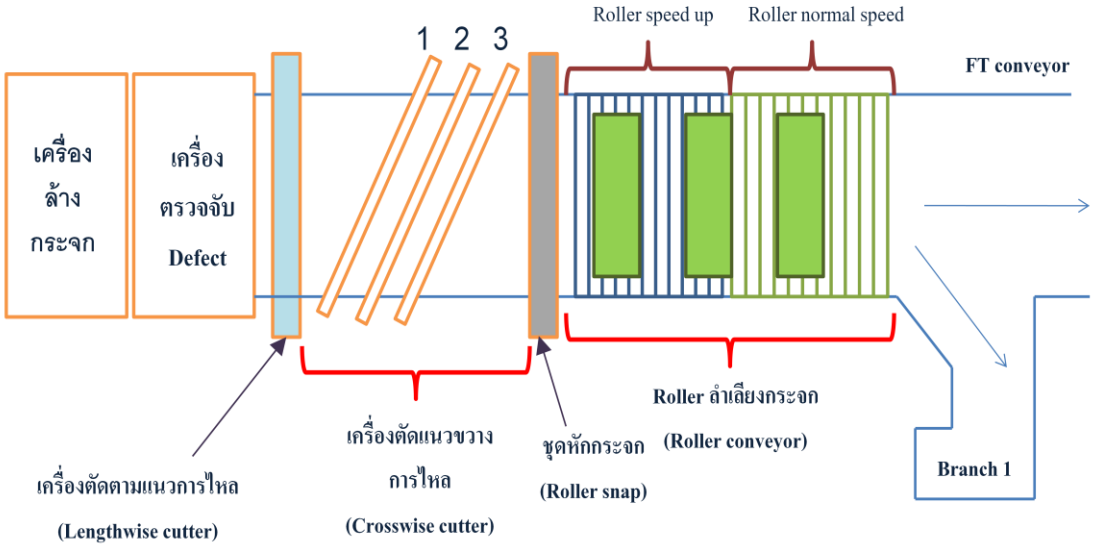
1. ส่วนของการวางแผนการตัด (Cutting Planning) ในการวางแผนการตัดหลังจากที่ได้รับยอดการผลิตมาแล้วจะต้องทำการวางแผนการตัดตามขนาดความกว้างต่างๆ และการควบคุมความหนาตามที่ลูกค้ากำหนด โดยในส่วนนี้จะสัมพันธ์กับการทำงานในส่วนที่สอง เนื่องจากต้องให้ทางส่วนงานที่สองปรับความกว้างตามขนาดการตัดกระจก เป็นการลดการสูญเสียจากรูปแบบการตัด (Pattern Loss) โดยการสูญเสียจากรูปแบบการตัด คือ พื้นที่ที่เหลือไว้สำหรับให้ตัดเจาะหลบจุดตำหนิ (Defect) ที่มาจากเตาหลอม หรือในกรณีที่ขนาดกระจกที่ลูกค้าต้องการมีขนาดเล็กกว่ามาตรฐานที่สามารถทำได้ ซึ่งส่วนดังกล่าวจะถูกกำหนดให้อยู่ในรูป การสูญเสียจากรูปแบบการตัด โดยการสูญเสียในส่วนนี้จะขึ้นกับสภาพการดำเนินงานในการผลิต

2. ส่วนของการดำเนินงาน (Operation process) ในส่วนของการดำเนินงานการตัดและบรรจุนั้นจะเป็นการตัดกระจกที่ถูกดึงขึ้นรูปมาเป็นแผ่นขนาดใหญ่ออกเป็นแผ่นขนาดเล็กตามที่ต้องการ จะทำการตัดกระจกออกโดยเครื่องตัดตามแนวยาว (ตามแนวทิศทางการไหล) และตามแนวขวาง (ตามแนวขวางการไหล) หลังจากนั้นจะถูกทำการหักออกเป็นแผ่นและทำการบรรจุลงในพัลเล็ต และส่งเข้าโกดังสินค้าเพื่อรอจำหน่ายต่อไป ในส่วนงานการดำเนินงานนี้ จะมีความสูญเสียเกิดขึ้นเรียกว่า การสูญเสียจากสภาพการตัด (Cutting Loss) ซึ่งเป็นการสูญเสียที่เกิดขึ้นในแผนกตัดและบรรจุ อันเนื่องมาจากรอยการตัดจากใบมีดที่ไม่คม ทำให้รอยตัดที่ได้เกิดการร่อยเป็นขุยเศษกระจกที่ขอบซึ่งไม่ผ่านตามมาตรฐาน และเมื่อนำไปบรรจุในพัลเล็ต (Pallet) จะเกิดการกดทับกับแผ่นติดกันเป็นรอยขีดข่วน ทำให้เกิดการสูญเสียเกิดขึ้น หรือจากสภาพการหักขอบกระจกที่ไม่ดีเนื่องจากรอยตัดไม่เรียบเกิดเป็นรอยเสี้ยว การสูญเสียในแผนกตัดและบรรจุที่เกิดขึ้นจะถูกเรียกว่า การสูญเสียจากรอยการตัด

เนื่องจากการผลิตกระจกแผ่นเรียบนั้นมีต้นทุนการผลิตที่สูง และกระจกเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้เมื่อเกิดการแตกเสียหายเกิดขึ้น ความสูญเสียจากการผลิตที่เกิดขึ้นจะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อกระจกถูกดึงเป็นแผ่นขึ้นรูปมาเรียบร้อยแล้ว ในส่วนงานกระบวนการตัดและบรรจุควรที่จะสามารถตัดกระจกได้โดยมีการสูญเสียเกิดขึ้นน้อยที่สุด และสภาพกระจกที่ตัดต้องมีคุณภาพ เนื่องจากหากพบสินค้าไม่ได้ตามคุณภาพจะส่งผลให้ต้องทำการเรียกสินค้ากลับมาตรวจสอบใหม่ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลต่อความเชื่อมั่นของลูกค้า อันจะส่งผลกระทบต่อภาพลักษณ์และส่วนแบ่งทางการตลาดอีกด้วย

เมื่อทำการวิเคราะห์กระบวนการผลิตกระจกแผ่นเรียบทั้งหมดจะพบว่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นในส่วนงานกระบวนการตัดและบรรจุเป็นส่วนที่สามารถจะทำการจัดการได้ เนื่องจากเป็นส่วนของการดำเนินงานปลายทางของกระบวนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ ซึ่งไม่มีผลของสภาวะคุณลักษณะของกระจกเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัย การออกแบบมาตรฐานการควบคุมกระบวนการทำงานในกระบวนการตัดกระจกแผ่นเรียบเพื่อป้องกันความสูญเสียของรอยการตัดที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดกระจก

ลักษณะการทำงานในแผนกตัดและบรรจุนั้นเป็นส่วนงานที่ทำการรับกระจกที่ถูกดึงขึ้นรูปเป็นแผ่นขนาดใหญ่แล้ว จะถูกส่งต่อมายังแผนกตัดและบรรจุ ซึ่งจะผ่านเข้าเครื่องล้างกระจก และเครื่องตรวจจับจุดตำหนิ (Defect Detector) จากนั้นจะถูกส่งไปยัง เครื่องตัดตามแนวขวางการไหล (Crosswise Cutter) และเครื่องตัดตามแนวการไหล (Lengthwise cutter) จะเป็นชุดหัวใบมีดตัดที่ทำหน้าที่กรีดรอยตัดลงบนผิวกระจกตามแนวทิศทางการไหลของกระจกที่ถูกดึงมาตามรูปแบบที่ต้องการ จากนั้นกระจกจะไหลผ่านมายังชุดหักกระจก ซึ่งใช้หลักการสร้างแรงกระทำที่รอยตัดเพื่อให้กระจกเกิดการหักออกจากกันตามรอยตัดที่ได้ลงไว้ โดยอาศัยหลักการ การยกตัวขึ้นของโรลเลอร์ และน้ำหนักของแผ่นกระจกที่กดลง ในการสร้างแรงกระทำ หลังจากที่กระจกถูกหักแยกออกจากกันแล้ว จะถูกแยกออกจากกันด้วยชุดโรลเลอร์ที่มีความเร็วสูงกว่า (Roller Speed Up) และไหลไปสู่ บรานช์ (Branch) ต่าง ๆ เพื่อทำการบรรจุต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 1.4

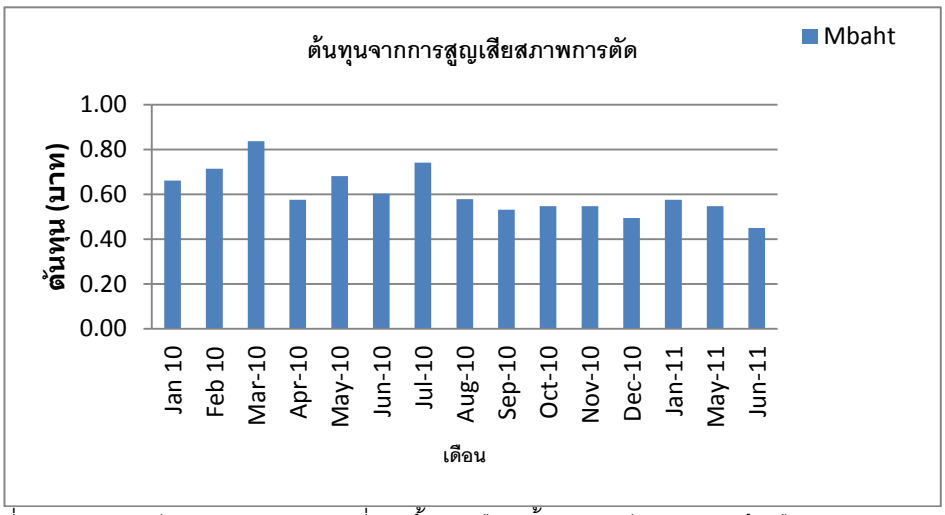


รูปที่ 1.4 กระบวนการทำงานต่างๆในแผนกตัดและบรรจุ

จากสภาพเศรษฐกิจในปัจจุบันที่มีอัตราการแข่งขันที่สูง บริษัทจึงมีนโยบายที่ต้องการลดความสูญเสียจากการผลิตลงเพื่อให้บริษัทเพิ่มความสามารถในการแข่งขันด้านราคากับคู่แข่งในธุรกิจกระจกแผ่นเรียบ ทั้งกับคู่แข่งภายในประเทศ และกระจกที่นำเข้าจากต่างประเทศ

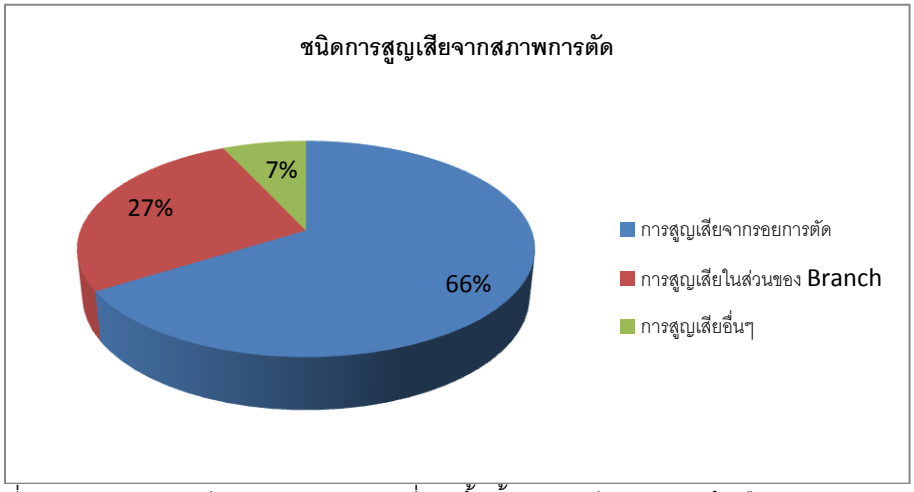
สภาพปัญหาในปัจจุบัน

เมื่อทำการศึกษาความสูญเสียจากสภาพการตัดของแผนกตัดและบรรจุ ในแต่ละเดือนจากข้อมูลที่ได้ทำการบันทึกไว้ตั้งแต่ปี 2010 จนถึงเดือนมิถุนายน 2011 จะพบว่ามีมูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นคิดเป็นจำนวนเงินรวมทั้งหมดจะสูญเสียสูงถึง 9,092,004 บาท ดังแสดงในรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 การสูญเสียจากสภาพการตัดที่เกิดขึ้นต่อเดือนทั้งหมดในปี 2010 จนถึงเดือนมิถุนายน 2011

โดยเมื่อทำการศึกษาความสูญเสียจากสภาพการตัดในแต่ละเดือนจากข้อมูลที่ได้ทำการบันทึกไว้ตั้งแต่ปี 2010 จะพบว่าปัญหาความสูญเสียจากสภาพการตัดส่วนใหญ่จะมาจากการสูญเสียจากรอยการตัดแสดงในรูปที่ 1.6

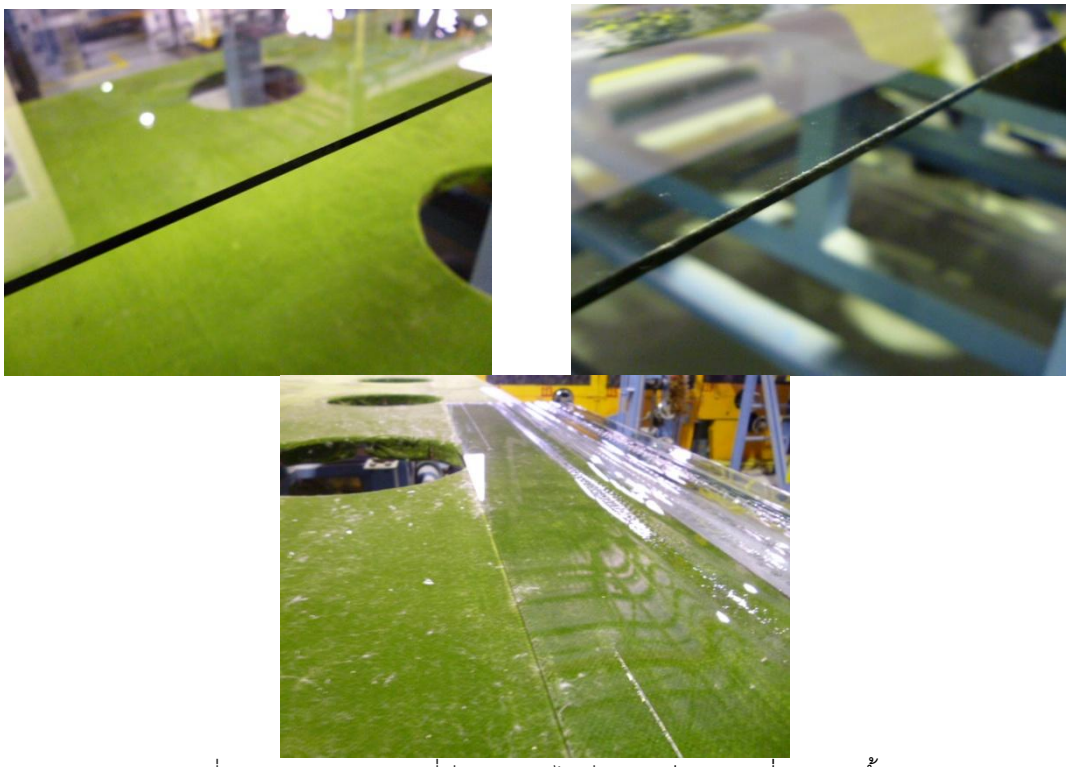


รูปที่ 1.6 ชนิดการสูญเสียจากสภาพการตัดที่เกิดขึ้นทั้งหมดในปี 2010 จนถึงเดือนมิถุนายน 2011

จากรูปที่ 1.6 จะพบว่าการสูญเสียจากรอยการตัดเป็นส่วนหลักของความสูญเสียจากสภาพการตัดเมื่อคิดเป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์จะสูงถึง 66 เปอร์เซ็นต์ จากจำนวนการสูญเสียจากสภาพการตัดทั้งหมด ในส่วนของการสูญเสีย 27 เปอร์เซ็นต์ นั้นจะเป็นการสูญเสียในส่วนของบรานช์ที่เกิดขึ้นจากการยกแตก ยกแล้วกระแทกเกิดเป็นจุดตำหนิบนผิวกระจก กระจกชนกันแตกบนไลน์การผลิตหรือจากพนักงานรับกระจกไม่ทันจากการตั้งค่าความเร็วการรับกระจกที่ไม่เหมาะสม ส่วนที่เหลืออีก 7 เปอร์เซ็นต์ นั้นจะเป็นการสูญเสียของการทำงานในส่วนอื่นๆที่นอกเหนือที่กล่าวมา

เมื่อทำการศึกษาและตรวจสอบหน้าจุดทำงานจะพบว่าการสูญเสียจากรอยการตัด เกิดจากรอยตัดมีสีขาว หรือไม่เรียบต่อเนื่องเกิดขึ้น โดยใช้การสังเกตด้วยสายตา ส่งผลให้เมื่อไปทำการหักกระจกออกที่ชุดโรลเลอร์หักกระจก จะพบรอยตัดที่ขอบกระจกนั้นเกิดมีการร่อย เป็นขุย เสี้ยนตามรอยตัดเกิดขึ้น ซึ่งไม่ผ่านตามข้อกำหนดทางด้านคุณภาพ ดังแสดงในรูปที่ 1.7 รูปบนซ้าย จะแสดงลักษณะรอยตัดที่เรียบคมเทียบกับ รูปที่

1.7 รูปบนขวาจะแสดงถึงรอยตัดที่ไม่เรียบคมที่มีรอยร่อยที่ขอบเกิดขึ้นหลังจากการหักกระจกที่จุดหักกระจก ส่วนรูปล่างแสดงถึงมีรอยประจากการตัดเกิดขึ้น ซึ่งอาจส่งผลให้หักกระจกไม่ออกต้องทำการทิ้งกระจกไป



รูปที่ 1.7 ลักษณะรอยตัดที่เรียบคมกับไม่เรียบคมมีรอยร่อยที่ขอบเกิดขึ้น

ทางผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์สาเหตุเบื้องต้น โดยทำการศึกษาและสอบถามระดมความคิดกับพนักงานที่ปฏิบัติงานในจุดงานดังกล่าว พบว่าสิ่งที่น่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้รอยการตัดไม่เรียบคมและต่อเนื่อง มาจากการใช้งานของใบมีดตัดที่ไม่คมในการตัด ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบโดยเมื่อเกิดรอยการตัดที่ไม่เรียบคมและต่อเนื่องขึ้น ได้ทำการใช้ใบมีดตัดตัวใหม่ในการตัดกระจกแทน ซึ่งผลพบว่ารอยตัดและสภาพการตัดกลับมาเป็นปกติจึงเป็นข้อพิสูจน์ได้ว่า สภาพรอบอายุการใช้งานของใบมีดตัดมีผลต่อสภาพการตัดกระจกค่อนข้างแน่นอน รวมถึงได้ทำการศึกษาข้อมูลการทำงานในปัจจุบัน ในแต่ละกะการทำงานพบว่าโดยปกติแล้วการเปลี่ยนใบมีดการตัดกระจกที่เครื่องตัดนั้น จะทำการเปลี่ยนเมื่อมีการแจ้งจากพนักงานที่ทำหน้าที่ยกกระจกลงบรรจุ หรือจากผู้ควบคุมการทำงานที่บรานช์ ว่าพบขอบรอยตัดของแผ่นกระจกมีการกะเทาะ ร่อย หรือไม่เรียบเกิดขึ้น พนักงานที่ทำหน้าที่ควบคุมชุดการตัดจึงทำการเปลี่ยนใบมีดตัดให้ใหม่ โดยกระจกที่มีปัญหาในช่วงดังกล่าวก็จะถูกทำการทิ้งไปเนื่องจากรอยตัดไม่ได้ตามคุณภาพ

จากการศึกษาการทำงานการตัดของพนักงานที่ทำหน้าที่ควบคุมการตัด พบว่าการตั้งค่าแรงดันลมของหัวกดใบมีดตัดของพนักงานมีความแตกต่างกัน โดยปัจจุบันพบว่าค่าที่พนักงานทำการตั้งความดันกดไว้จะอยู่ที่ประมาณ 0.5 - 0.55 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (kgf/cm^2) ในการตัดกระจกตามแนวขวาง และตั้งความดันกดไว้จะอยู่ที่ประมาณ 1.5 – 1.6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ในการตัดกระจกตามแนวทางการไหล สำหรับกระจกหนา 2.0 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความหนาหลักในการผลิตกระจกแผ่นเรียบของโรงงานตัวอย่าง โดยการเปลี่ยนใบมีดนั้นก็จะมีผลกระทบต่อปริมาณการใช้ใบมีดด้วย เนื่องจากใบมีดที่ใช้ในปัจจุบันจะใช้ใบใหม่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร และสามารถนำกลับมาลับใช้งานใหม่ได้ประมาณ 10 ครั้ง เท่านั้น เมื่อทำการลับ

แล้วใบมีดจะเล็กลง จนถึงประมาณ 4.0 มิลลิเมตร ก็ต้องทำการทิ้งไป หากทำการเปลี่ยนบ่อยจะส่งผลต่อต้นทุนค่าใบมีดที่ใช้ในการตัดที่เพิ่มสูงขึ้น

นอกจากนี้ในกระบวนการทำงานยังขาดระบบการควบคุมและตรวจสอบการใช้งานใบมีดในการตัดที่มีประสิทธิภาพ และขั้นตอนการทำงานในกระบวนการตัดที่ชัดเจน ซึ่งส่งผลให้มีการใช้ใบมีดตัดที่ไม่คมในกระบวนการผลิต

ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัย ในการออกแบบมาตรฐาน หาระยะการใช้งานใบมีดตัดที่เหมาะสม กับการตั้งค่าปริมาณความดันที่ใช้กดหัวใบมีดและขนาดของใบมีดตัดที่ใช้ในการตัด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 5.0, 4.5 และ 4.0 มิลลิเมตร เพื่อนำข้อมูลมาทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะการใช้งานใบมีดตัด ความดันที่ใช้กดหัวใบมีดตัดและขนาดของใบมีดตัด เพื่อทำนายระยะการใช้งานใบมีดตัดที่สูงที่สุด ก่อนเกิดการสูญเสียกระจกจากรอยการตัด พร้อมทั้งออกแบบระบบการทำงาน การควบคุมและติดตามกระบวนการ จัดทำคู่มือการปฏิบัติงานสำหรับพนักงานเพื่อนำไปสู่ความเข้าใจในการทำงานกระบวนการตัดกระจกแผ่นเรียบ เพื่อเป็นการป้องกันความสูญเสียของรอยการตัดที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดกระจก

1.2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ออกแบบมาตรฐาน และระบบการควบคุมกระบวนการทำงานในกระบวนการตัดกระจกแผ่นเรียบ เพื่อป้องกันความสูญเสียของรอยการตัดที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดกระจก

1.3. ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ระยะการใช้งานมีดตัดจะคิดจาก 1 รอบการใช้งาน

1.3.1.1 การวิจัยครั้งนี้จะเริ่มนับระยะการใช้งานใบมีดตัดตั้งแต่เริ่มต้นการใช้งาน จนถึงเมื่อรอยการตัดที่เกิดขึ้นไม่ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด คือเป็นรอยขุย ร่อย รอยตัดไม่ต่อเนื่อง หรือรอยตัดที่ได้ไม่สามารถหักกระจกแยกออกจากกันได้

1.3.1.2 ระยะการใช้งานของใบมีดตัดจะวัดในรูปของหน่วย นิ้ว

1.3.2 การวิจัยจะเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆดังนี้

1.3.2.1 ศึกษาทดลองเก็บข้อมูลระยะการใช้งานการตัดของใบมีดตัดกระจกแบบวงแหวน ที่ใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0, 4.5 และ 5.0 มิลลิเมตร เท่านั้น โดยใบมีดขนาด 5.0 มิลลิเมตรจะเป็นใบใหม่ ใบมีดขนาด 4.0 และ 4.5 มิลลิเมตร จะเป็นใบที่ผ่านการลับมาแล้ว

1.3.2.2 ในการวิจัยหาระยะการใช้งานของใบมีดตัด จะทำการทดลองซ้ำจำนวน 2 ครั้ง ในแต่ละสภาพการตัดที่กำหนด เพื่อหาสภาพการตัดที่เหมาะสมของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีดตัดแต่ละขนาด

1.3.2.3 ความดันกดหัวใบมีดตัดจะทำการวิจัย 3 ค่า ในการตัดกระจกตามแนวขวางการไหล ซึ่งจะทำการเปลี่ยนแปลงดังนี้คือ 0.50, 0.52, 0.55 kgf/cm^2 และจะทำการวิจัย 2 ค่า ในการตัดกระจกตามแนวทางการไหล ซึ่งจะทำการเปลี่ยนแปลงดังนี้คือ 1.5, 1.6 kgf/cm^2 ซึ่งเป็นความดันที่สามารถทำงานได้ในกระบวนการตัดกระจกแผ่นเรียบ โดยไม่มีการแตกก่อนการหักเกิดขึ้น

1.3.3 การวิจัยจะไม่เปลี่ยนแปลงค่าต่างๆดังนี้

1.3.3.1 ระยะการลงตัดของใบมีดตัด จะกำหนดระยะการลงตัดเริ่มต้นของใบมีดโดยห่างจากรอยตัดตามแนวการไหลรอยแรก เป็นระยะ 2 นิ้ว เพื่อป้องกันใบมีดตัดโดนในผิวรอยการขึ้นรูปซึ่งมีลักษณะไม่เรียบส่งผลต่อใบมีดตัดเกิดความเสียหายได้

1.3.3.2 ในงานวิจัยจะศึกษาที่กระจกความหนา 2 มิลลิเมตร ซึ่งมีความเร็วในการไหลของกระจกในกระบวนการผลิตกระจกแบบโฟล้ตอยู่ที่ 890 m/hr

1.3.3.3 การใช้สารหล่อเย็นใบมีดตัด ในกระบวนการการตัดจะใช้ Kerosene เป็นตัวหล่อเย็นใบมีดในระหว่างการทำการตัด

1.3.3.4 เครื่องจักรที่ใช้ในการวิจัย เป็นเครื่องตัดที่มีชุดกระบอกสูบความดันกดตัดเป็นตัวกดหัวใบมีดตัดในการตัดตามแนวทางการไหลและตามแนวขวางการไหล และใช้มอเตอร์แบบเซอร์โว (Servo motor) ขับเคลื่อนหัวใบมีดตัดในการตัดตามแนวขวางการไหล

1.3.3.5 ใบมีดตัดที่ใช้ทำการทดลองจะใช้ใบมีดตัด ของบริษัท Mitsuboshi ชนิด D511 มุมใบมีด 130 องศา วัสดุที่ใช้ทำใบมีดเป็นทังสเตนคาร์ไบด์ ซึ่งเป็นมาตรฐานการทำงานของโรงงาน ในการทดลองนี้ทำการศึกษาโดยมีสมมติฐาน ว่าใบมีดทุกใบในแต่ละขนาดต่างๆที่นำมาใช้ในการทดลองมีความเหมือนกัน และมีความคมเท่ากัน

1.3.4 งานวิจัยนี้จะทำการวิจัยอายุการใช้งานของมีดตัดในลักษณะการตัดตามแนวขวางทิศทางการไหล และตามแนวทางเดียวกับการไหลเท่านั้น

1.3.5 ระยะการใช้งานมีดตัดที่เหมาะสมจะคำนวณจากสมการการใช้งานมีดตัดที่ได้จากการเก็บข้อมูลและใช้ทำนายการใช้งานมีดตัดในแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง โดยจะสุ่มทำการทดลองเพื่อยืนยันผลการใช้งานจริงของใบมีดตัดกับผลที่ได้จากสมการการใช้งานการตัด ในการผลิตจำนวน 3 สภาวะการตัด

1.3.6 ทำการสร้างตารางระยะการใช้งานใบมีดตัดที่เหมาะสมในแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกับความดันกดหัวตัดที่เหมาะสมที่ให้ระยะการใช้งานสูงที่สุด จากสมการการใช้งานใบมีดตัดที่ได้จากการทดลอง

1.3.7 สร้างระบบ เครื่องมือในการควบคุมและติดตามกระบวนการทำงานเพื่อป้องกันการสูญเสียจากสภาพการตัดที่เกิดขึ้นให้เหลือน้อยที่สุด และจัดทำคู่มือการปฏิบัติงานเพื่อนำไปสู่ความเข้าใจในการทำงานที่ตรงกันของพนักงาน

1.3.8 การวัดผลของการวิจัยจะวัดในรูปจำนวนแผ่นกระจกของเสียจากที่เกิดรอยการตัดที่ถูกทำการเลือกจากจำนวนกระจกที่ถูกคัดแยกไว้ในช่วงเวลาการผลิตที่เกิดปัญหา ในกระบวนการผลิตแต่ละเดือน

1.4. แนวทางการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งศึกษาปัจจัยต่างๆที่เป็นสิ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียเกิดขึ้นในกระบวนการตัดกระจกแผ่นเรียบ

2. ศึกษาและทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะการใช้งานใบมีดตัด ขนาดของใบมีดตัดและความดันกดหัวใบมีดตัด ซึ่งเป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการตัด โดยหาสภาพการทำงานที่ให้ระยะการใช้งานใบมีดตัดสูงที่สุด

3. ศึกษาวิเคราะห์ผลการทดลองและความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นเพื่อหาสภาพการทำงานที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการตัดกระจกแผ่นเรียบ

4. ทำการทดลองยืนยันผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่กำหนด

5. กำหนดสภาพการตั้งค่าการทำงานในการใช้ความดันหัวกดใบมีดตัดที่เหมาะสม เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัดเปลี่ยนแปลงไป เพื่อให้ได้ระยะทางการใช้งานการตัดของใบมีดตัดที่สูงที่สุด ก่อนที่จะมีการสูญเสียจากรอยการตัดเกิดขึ้น

6. กำหนดกลไกการควบคุม และการติดตามกระบวนการทำงานให้เป็นไปตามข้อกำหนด

7. เปรียบเทียบผลการสูญเสียจากสภาพการตัดที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดหลังจากกำหนดการใช้งานใบมีดตัดที่เหมาะสม

8. สรุปผลการดำเนินการ ข้อเสนอแนะ และนำเสนอผลการศึกษาในรายงานวิทยานิพนธ์

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. สามารถป้องกันการสูญเสียจากสภาพการตัด ในส่วนของการสูญเสียจากรอยการตัดที่เกิดขึ้น

2. มีมาตรฐานการตั้งค่าการทำงานที่เหมาะสมระหว่างปริมาณความดันที่ใช้กดหัวใบมีดตัดและขนาดของใบมีดตัด ที่ให้ระยะการใช้งานใบมีดตัดที่สูงที่สุด ก่อนที่จะเกิดการสูญเสียจากรอยการตัดเกิดขึ้น

3. มีระบบการควบคุมการทำงานของพนักงานควบคุมการตัดที่มีประสิทธิภาพ

4. เป็นแนวทางในการทำงานกระบวนการตัดกระจกแผ่นเรียบ ให้กับโรงงานอื่นที่มีลักษณะเครื่องจักรและกระบวนการที่คล้ายคลึงกัน

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

ดังที่ได้กล่าวมาก่อนหน้าในบทที่ 1 กระบวนการตัดกระจกแผ่นเรียบของโรงงานกรณีศึกษา นั้นมีปัญหาความสูญเสียเกิดขึ้น ในแผนกตัดและบรรจุ โดยจะเกิดการสูญเสียจากสภาพการตัด ซึ่งกระบวนการสนับสนุนด้านคุณภาพ และแผนผังสาเหตุและปัญหาจะถูกนำมาวิเคราะห์ถึงสาเหตุของปัญหาดังกล่าว

2.1.1 หลักการสนับสนุนด้านคุณภาพ

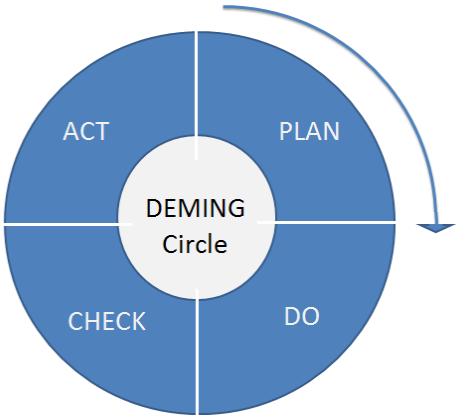
สายชล สินสมบูรณ์ทอง (2554) กล่าวถึง Edwards Deming W. สร้างวัฏจักรของเดมิ่ง (Deming Circle) ประกอบด้วยกิจกรรม 4 อย่าง คือ

1. การวางแผน (Plan : P)
2. การปฏิบัติงาน (Do : D)
3. การตรวจสอบ (Check : C)
4. การปรับปรุงแก้ไข (Action : A)

วัฏจักรของเดมิ่งเป็นหลักการที่เสริมการปฏิบัติงานด้านคุณภาพให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ภายใต้หลักเกณฑ์ที่ว่ากิจกรรมใดถ้าต้องการให้บรรลุความสำเร็จและสามารถดำเนินกิจกรรมนั้นให้มีประสิทธิภาพจะต้องมีการปฏิบัติงานอย่างต่อเนื่องจนบรรลุครบวงล้อ โดยเริ่มจากการวางแผนงาน (P) ที่ดี ปฏิบัติงานตามที่วางแผน (D) ตรวจสอบติดตามผลการปฏิบัติงานให้เป็นไปตามเป้าหมาย (C) และการปรับปรุงแก้ไขงานที่ปฏิบัติให้เป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้ (A) ดังแสดงในรูปที่ 2.1

ศุภชัย นาทะพันธ์ (2551) ได้กล่าวถึงวงล้อเดมิ่งประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนคือ

1. ขั้นตอนการวางแผน (Plan Stage) ต้องยึดความพึงพอใจของลูกค้าเป็นที่ตั้ง โดยการสำรวจตลาดเพื่อวิจัยลูกค้า จากนั้นจึงวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการผลิต เป้าหมายในการวางแผนคือ การลดความแตกต่างระหว่างความคาดหมายกับสมรรถภาพกระบวนการผลิตให้น้อยที่สุด ดังนั้นจึงต้องศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในกระบวนการผลิตที่ส่งผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดกล่าวได้ว่า ขั้นตอนการวางแผนจะต้องกำหนดสมมติฐานที่ต้องการทดลองให้ได้



รูปที่ 2.1 วัฏจักรของเดมิ่ง

2. ขั้นการลงมือปฏิบัติ (Do Stage) เป็นการทดลองตามขั้นการวางแผนในห้องทดสอบ ซึ่งใช้จำนวนตัวอย่างน้อย โดยอิงตามหลักการทางสถิติเพื่อพิสูจน์ว่าสมมติฐานดังกล่าวเป็นจริง

3. ขั้นการตรวจสอบ (Check Stage) เป็นการวิเคราะห์ผลจากการทดลองว่า ความแตกต่างระหว่างความคาดหมายกับสมรรถภาพกระบวนการผลิตลดลงหรือไม่ภายหลังการทดลอง หรือมีข้อบกพร่องอื่นเกิดขึ้นแทนหรือไม่ ดังนั้นในขั้นนี้จึงต้องประยุกต์กลวิธีทางสถิติเพื่อวิเคราะห์หาคำตอบ

4. ขั้นการดำเนินการ (Act Stage) เป็นขั้นที่ต้องตัดสินใจภายหลังการปฏิบัติงานตามแผน กล่าวคือ ถ้าผลลัพธ์ของการวิเคราะห์จากขั้นการตรวจสอบเกิดผลในแง่ดี แผนที่นำเสนอ (Proposed Plan) จะนำไปปฏิบัติ และประเมินผลอีกครั้งภายหลังการปฏิบัติจริง เพื่อวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นจริงว่าตรงกับแผนที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้หรือไม่ แต่ถ้าผลลัพธ์เกิดผลในแง่ไม่ดี จะต้องดำเนินการพัฒนาแผนใหม่ ส่งผลให้วงล้อต้องหมุนต่อไป สิ่งสำคัญคือ ความต้องการของลูกค้าไม่เคยหยุดนิ่ง เนื่องจากความต้องการของลูกค้ามักเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพด้วยการประยุกต์วงล้อเดมิ่งจึงเป็นสัจนิรันดร์ เพื่อให้เกิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Continuous Improvement)

2.1.2 แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause & Effect Diagram)

แผนผังแสดงเหตุและผลหรือแผนผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) ถูกพัฒนาโดย คาโอรุ อิชิกาวา ในปี พ.ศ. 2496 เนื่องจากต้องการพัฒนาเครื่องมือช่วยกลุ่มกิจกรรมคุณภาพ (Quality Circle) ในโรงงานเพื่อรับมือกับสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อลักษณะคุณภาพของกระบวนการผลิต แผนผังแสดงเหตุและผลเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล โดยการพิจารณาสาเหตุ (Causes) ที่มีผล (Effect) โดยตรงกับลักษณะคุณภาพ (Quality Characteristic) ของปัญหาที่สนใจศึกษา (วันรัตน์ จันทกิจ, 2547)

สำนักมาตรฐานอุตสาหกรรมแห่งญี่ปุ่น (JIS) ได้นิยามความหมายของผังแสดงเหตุและผลนี้ว่า เป็นแผนผังที่ใช้แสดงความสัมพันธ์อย่างเป็นระบบระหว่างสาเหตุหลายๆสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ส่งผลกระทบให้เกิดปัญหาหนึ่งปัญหา

แผนผังแสดงเหตุและผลประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

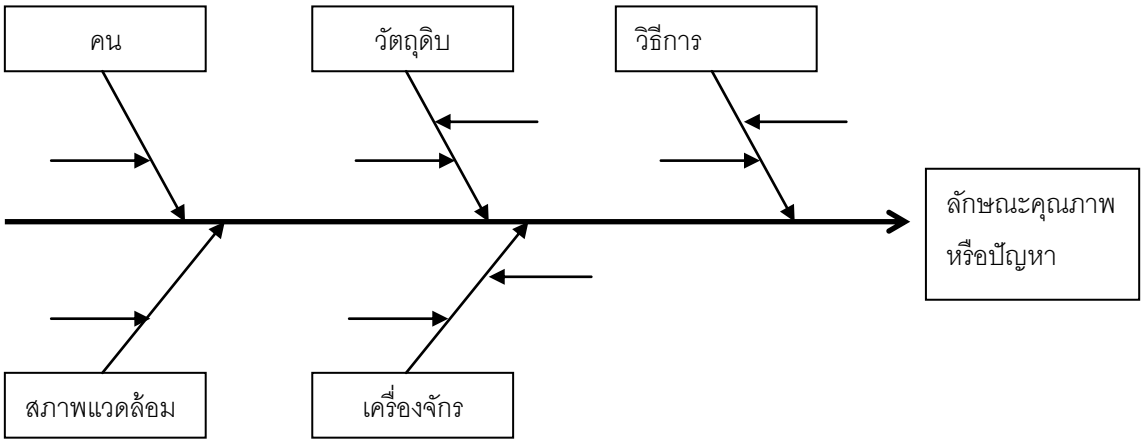
1. ส่วนปัญหา หรือผลลัพธ์ (Problem or Effect) จะแสดงอยู่ที่ต้นหัวของแผนผัง
2. ส่วนสาเหตุ จะสามารถแยกย่อยออกได้อีกเป็น

2.1 ปัจจัย (Factor) ที่ส่งผลกระทบต่อปัญหา

2.2 สาเหตุหลัก

2.3 สาเหตุย่อย

ซึ่งสาเหตุของปัญหา จะเขียนไว้ในส่วนของก้างปลาแต่ละก้าง ก้างย่อยเป็นสาเหตุของก้างรอง และก้างรองเป็นสาเหตุของก้างหลัก เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผนผังก้างปลา

การกำหนดปัจจัยบนแผนผังนิยมวิเคราะห์สาเหตุหลัก คือ คน (Man หรือ People), เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ (Machine or Equipment), วิธีการปฏิบัติงาน (Work Methods), วัตถุดิบ (Materials) และสภาพแวดล้อม (Environment) บางครั้งสาเหตุหลักอาจวิเคราะห์ถึงการบำรุงรักษา (Maintenance) โดยที่ในแต่ละสาเหตุหลักยังอาจแบ่งเป็นสาเหตุย่อย (Minor Causes) ได้อีก

เนื่องจากผลคือลักษณะคุณภาพที่ควรปรับปรุง ดังนั้นแผนผังก้างปลาคือ แผนผังที่ใช้สำหรับตรวจสอบว่า ถ้าลักษณะคุณภาพไม่ดีแล้ว สาเหตุไหนที่ต้องถูกกำจัด เพื่อให้ลักษณะคุณภาพที่สนใจออกมาดี หรือถ้าลักษณะคุณภาพดีแล้ว สาเหตุไหนที่ส่งผลให้ลักษณะคุณภาพดี ซึ่งต้องเรียนรู้เพื่อรักษาสาเหตุนั้นไว้

2.1.3 ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง

Montgomery D.C. (2005) ได้กล่าวไว้ว่า การทดลองจะเกิดประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผลสูงสุดจะต้องมีการนำวิธีการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยในการวางแผนการทดลอง คำว่า “การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ” หมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลอง เพื่อว่าให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการ วิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้สามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุผลได้ วิธีการออกแบบการทดลองในเชิงสถิติเป็นสิ่งที่จำเป็น ถ้าต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมาย จากข้อมูลที่มีอยู่ และถ้ายิ่งปัญหาที่สนใจนั้นเกี่ยวข้องกับ ความผิดพลาดในการทดลอง วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่จะสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ สิ่งสำคัญ 2 ประการ สำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับการทดลองคือ การออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

ปารเมศ ชุติมา (2545) ได้กล่าวไว้ว่า ถ้าต้องการให้การทดลองเกิดประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผลได้สูงสุด เราจะต้องนำวิธีการทางสถิติเข้ามาช่วยในการออกแบบการทดลอง เนื่องจากในการทดลองอาจจะมีความผิดพลาด (Error) ขึ้น ดังนั้นเราควรทำการทดลองอย่างน้อย 2 ครั้ง สำหรับการทดลองร่วมปัจจัย (Treatment Combination) แต่ละจุด และนำผลตอบที่ได้มาเฉลี่ยเพื่อประมาณถึงผลที่เกิดขึ้นในแต่ละจุดนั้น

2.1.4 หลักการวิเคราะห์การถดถอยเชิงซ้อน (Multiple Regression Analysis)

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ (2550) กล่าวว่าในหลายๆกรณี ตัวแปรตามอาจมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัวขึ้นไป ดังนั้นการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระหลายๆตัวนี้อาจใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งในกรณีนี้เรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยเชิงซ้อน

2.1.4.1 รูปแบบการถดถอยที่เป็นเส้นตรงเชิงซ้อน

ความสัมพันธ์ของ y ที่แปรตาม x ในกรณีที่ x มีจำนวน k ตัว คือ

$$y = f(x_1, x_2, \ldots, x_k)$$

ถ้าความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นเส้นตรง จะได้

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{n} \beta_i x_i \qquad (1)$$

โดยที่ β_0 และ β_i เป็นค่าคงที่

รูปแบบของสมการที่ (1) เรียกว่า Deterministic Mathematical Model ของตัวแปรหลายๆตัว นั่นคือ ที่ค่าใดๆของ x ซึ่งเป็นตัวแปรอิสระ เราจะหาค่าของ y ซึ่งแปรตาม x ได้ทุกๆค่า แต่ในการวิเคราะห์ทางสถิติใดๆ ซึ่งการวิเคราะห์จะต้องอาศัยข้อมูลจริงนั้น เป็นที่ยอมรับกันว่าการที่จะได้ข้อมูลที่ไม่มีความผิดพลาดเลยนั้นเป็นไปไม่ได้ ผลจากการที่ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์จะมีความผิดพลาดร่วมอยู่ด้วยเสมอ ทำให้สมการการถดถอยไม่อาจผ่านข้อมูลทุกค่า นั่นคือจะมีข้อมูลบางตัวที่ไม่ตกอยู่บนเส้นตรงของสมการ เนื่องจากความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในการเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจำเป็นต้องใช้รูปแบบ Probabilistic Model ซึ่งจะมีสมการเป็น

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{n} \beta_i x_i + e \qquad (2)$$

สมการดังกล่าวมีสมมติฐานที่ต้องยอมรับดังนี้

1. β_0 และ β_i (i = 1,2,…,k) เป็นค่าคงที่
2. y เป็นตัวแปรตามซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับ x_i
3. e เป็นความเบี่ยงเบนที่มีค่าเท่ากับผลต่างของ y ที่เกิดขึ้นจริงกับค่าของ y ที่พยากรณ์ได้บนเส้นถดถอย

4. e มีลักษณะการกระจายของความน่าจะเป็นแบบนอร์มอลที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และความแปรปรวนเท่ากับ σ_e^2

5. ค่าของ e ใดๆเป็นค่าที่เป็นอิสระแก่กัน

β_0 และ β_i เรียกว่า สัมประสิทธิ์การถดถอยของประชากร

ดังนั้นจากข้อมูล จะคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของ y ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\mu_{y|_{x_1,x_2,.....,x_k}} &= E(y_{x_1,x_2,.....,x_k}) \\ &= E(\beta_0 + \sum_{i=1}^{k}\beta_i x_i + e) \\ &= \beta_0 + \sum_{i=1}^{k}\beta_i x_i + E(e) \\ &= \beta_0 + \sum_{i=1}^{k}\beta_i x_i \qquad (3)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{y|_{x_1,x_2,.....,x_k}} &= Var(y_{x_1,x_2,.....,x_k}) \\ &= \sigma_e^2 \qquad (4)\end{aligned}$$

สมการที่ (3) คือเส้นถดถอยของ y จากตัวแปรอิสระ x_i (i = 1,2,...,k) ซึ่งจะแทนความสัมพันธ์เฉลี่ยระหว่างตัวแปร x_i และ y ในประชากร ค่าของ β_0 ในสมการเส้นถดถอยเชิงซ้อนจะเท่ากับค่าของ y เมื่อ $x_1, x_2, \ldots, x_k$ เท่ากับศูนย์ ส่วนค่าของ β_i จะเป็นตัวบอกความสัมพันธ์ระหว่าง y กับ x_1 , y กับ x_2 , ..., y กับ x_k กล่าวคือ ถ้า $x_1, x_2, \ldots, x_k$ ไม่มีอิทธิพลต่อ y แล้ว ค่าของ $\beta_1, \beta_2, ..., \beta_k$ ควรมีค่าเป็นศูนย์ นอกจากนี้ β_i ยังเป็นตัวบอกการเปลี่ยนแปลงของ y เมื่อ x_i เปลี่ยนแปลงไปหนึ่งหน่วย โดยที่ $x_2, x_3, \ldots, x_k$ มีค่าคงที่

2.1.4.2 การคำนวณค่า β_i

จากสมการที่ (3) $\mu_{y|_{x_1,x_2,.....,x_k}} = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k}\beta_i x_i$

ให้ $\beta_0 = a, \beta_i = b_i$

ค่าเบี่ยงเบนของ y_j จากค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากับ $y_j - \mu_{y|_{x_{ij},x_{2j},.....,x_{kj}}}$

ดังนั้นผลบวกกำลังสองของส่วนเบี่ยงเบนจะเท่ากับ

$$\begin{aligned}&= \sum_{j=1}^{n}(y_j - (a + \sum_{i=1}^{k} b x_i))^2 \\ &= f(a, b_1, b_2, ..., b_k)\end{aligned}$$

จากนั้นจะใช้หลักการ วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares Method) ซึ่งจะให้สมการเส้นตรงที่ลากขึ้นแล้วทำให้ค่าความเบี่ยงเบนระหว่างข้อมูลจริงกับค่าที่พยากรณ์มีค่าน้อยที่สุด วิธีดังกล่าวเป็นวิธีที่นิยมอย่างแพร่หลายและจะให้ผลรวมของกำลังสองของความเบี่ยงเบนในแนวดิ่งของเส้นถดถอยมีค่าน้อยกว่าผลรวมของกำลังสองของความเบี่ยงเบนในแนวดิ่งที่ได้จากเส้นตรงที่ลากขึ้นด้วยวิธีอื่นๆ

จากหลักการกำลังสองน้อยที่สุด $\frac{\partial f}{\partial a} = 0$ และ $\frac{\partial f}{\partial b_i} = 0$

จะได้สมการปกติ k+1 สมการดังนี้

$$an + b_1 \sum_{j=1}^{n} x_{1j} + b_2 \sum_{j=1}^{n} x_{2j} + ... + b_k \sum_{j=1}^{n} x_{kj} = \sum_{j=1}^{n} y_j \quad (5)$$

$$a \sum_{j=1}^{n} x_{1j} + b_1 \sum_{j=1}^{n} x_{1j}^2 + b_2 \sum_{j=1}^{n} x_{1j} x_{2j} + ... + b_k \sum_{j=1}^{n} x_{1j} x_{kj} = \sum_{j=1}^{n} x_{1j} y_j \quad (6)$$

$$\cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots$$

$$\cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots$$

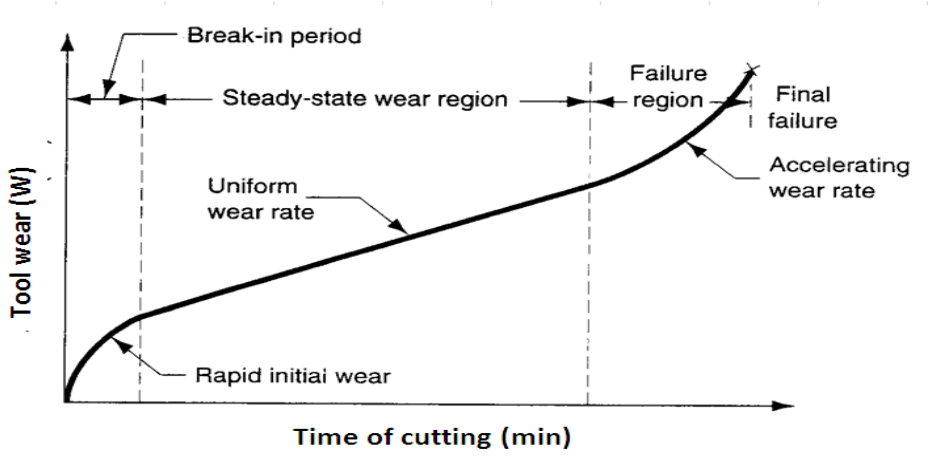
$$a \sum_{j=1}^{n} x_{kj} + b_1 \sum_{j=1}^{n} x_{kj} x_{1j} + ... + b_k \sum_{j=1}^{n} x_{kj}^2 = \sum_{j=1}^{n} x_{kj} y_j \quad (7)$$

จากสมการ k+1 สมการ เราจะสามารถหาค่าตัวแปร k+1 ตัวคือ $a, b_1, b_2, ..., b_k$ ได้

2.2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการตัดกระจก

เมื่อทำการวิเคราะห์ปัญหาการสูญเสียจากสภาพการตัด ดังแสดงไว้ในบทที่ 1 จะพบว่า ปัญหาความสูญเสียที่เกิดขึ้นนั้นมาจาก รอยตัดของกระจกที่ไม่ได้มาตรฐาน เนื่องจากการเสื่อมสภาพของใบมีดตัด เมื่อใช้ไปเป็นเวลานาน และไม่ได้ทำการปรับเปลี่ยนใบมีดใหม่ ซึ่งในกระบวนการผลิตปัจจุบันนั้น พนักงานจะทำการเปลี่ยนใบมีดเมื่อเกิดความสูญเสียของรอยตัดเกิดขึ้นแล้ว ปัญหาดังกล่าวคาดว่าสามารถแก้ไขได้ ถ้าทราบอายุการใช้งานของใบมีด (Cutter tool life) ที่แน่ชัด

Troy S. (2004) ได้กล่าวว่า Taylor เป็นหนึ่งในนักวิจัยรายแรก ที่ได้ทำการศึกษาถึงการสึกหรอของมีดตัด ซึ่งได้ทำการศึกษามีดตัดที่มีลักษณะเป็นมีดกลึง พบว่าความสึกหรอมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้ในการตัด โดยได้นำเสนอแผนภาพความสึกหรอของมีดตัด ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 อิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการตัดต่อความสึกหรอของใบมีดตัด

จากรูปที่ 2.3 แสดงอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการตัดต่อความสึกหรอของใบมีดตัด ซึ่งพบว่าการสึกหรอของใบมีดตัด แบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง ได้แก่

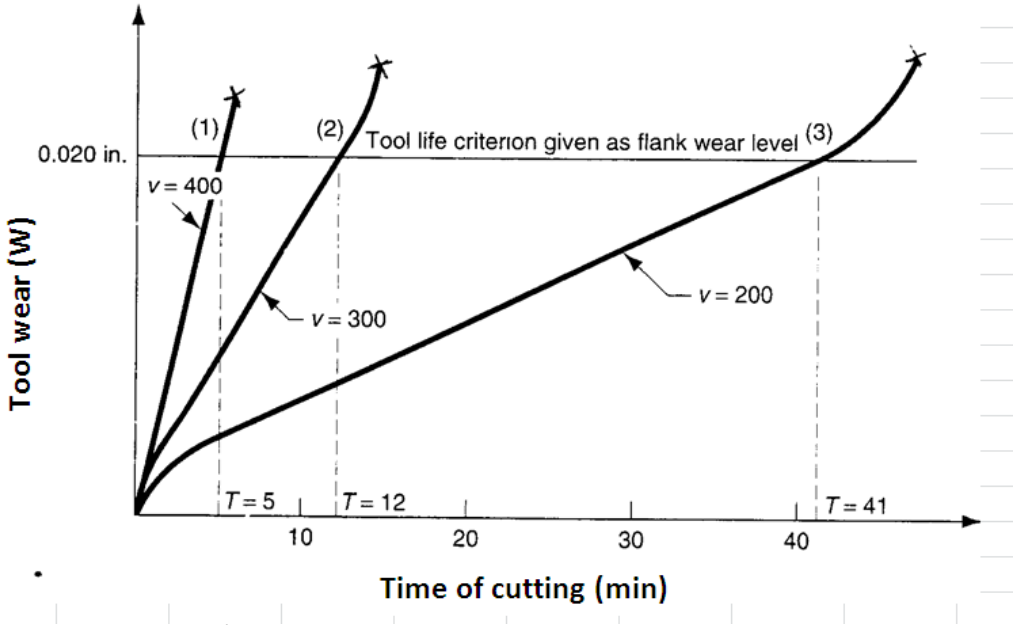
1. Break-in-period จะเกิดขึ้นในช่วงเริ่มต้นของการใช้งานมีดตัด ในช่วงนี้คมของมีดตัดจะเกิดการสึกหรออย่างรวดเร็วเนื่องจากแรงกระแทกของมีดตัดและชิ้นงานตอนเริ่มกระบวนการตัด

2. Steady-state wears region การสึกหรอจะเกิดขึ้นตามระยะเวลาของการตัด โดยส่วนมากกราฟจะเป็นเส้นตรง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราการสึกหรอเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ

3. Failure region เป็นช่วงที่อัตราการสึกหรอเกิดขึ้นสูงมาก เนื่องจากอุณหภูมิในการตัดที่สูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการตัดของมีดตัดลดลง ซึ่งหากใช้งานมีดตัดต่อเนื่องไปจะเกิดการพังของมีดตัดเกิดขึ้น

ความชันของเส้นโค้งในช่วง Steady state wears region จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำมีดตัด (Cutting tool materials) และสภาวะในการตัด (Cutting condition) โดยวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงค่าความสึกหรอก็จะต่ำ รวมไปถึงค่าความเร็วในการตัดหรืออัตราการป้อนชิ้นงานมีค่าสูงขึ้น ก็จะส่งผลให้ความสึกหรอในการตัดมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ของความสึกหรอและระยะเวลาที่ใช้ในการตัด ดังแสดงในรูปที่ 2.3 นั้น เป็นความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นในงานกลึง ดังนั้นในงานตัดลักษณะอื่นๆ เช่น การเจาะ (Drilling), การกัด (Milling), การไส (Shaping) ฯลฯ ก็จะเป็นผลให้ความสัมพันธ์ดังกล่าวมีลักษณะที่แตกต่างไป

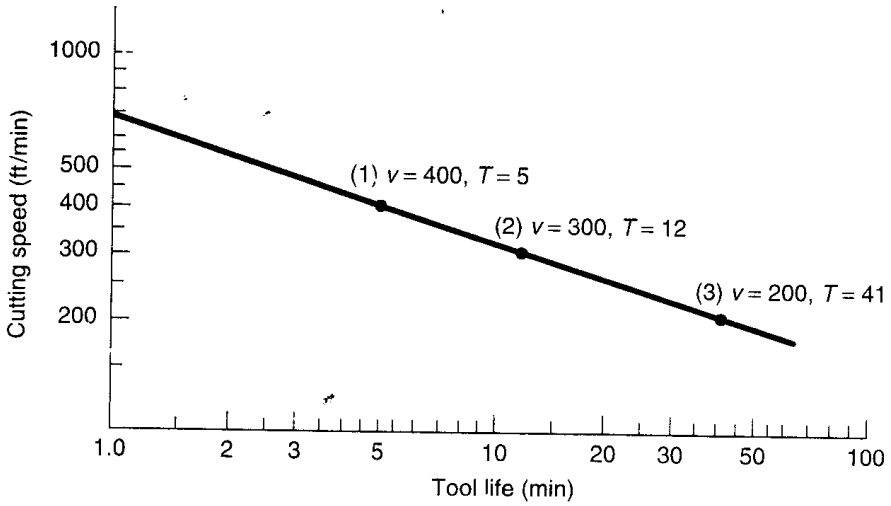
ถ้าทำการแปรเปลี่ยนความเร็วที่ใช้ในการตัด (Cutting Speed) ในการทดลองของ Taylor จะสามารถแสดงอิทธิพลของความเร็วที่ใช้ในการตัดกับอัตราความสึกหรอของใบมีด (dW/dt) ได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 อิทธิพลของความเร็วตัดต่ออัตราการสึกหรอของใบมีด

จากรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าความชันของกราฟระหว่างความสึกหรอกับเวลา ซึ่งเป็นตัวแทนของอัตราการสึกหรอของใบมีดแปรผันโดยตรงกับความเร็วตัด เมื่อใช้ความเร็วตัดสูงขึ้นใบมีดก็มีแนวโน้มที่จะสึกหรอได้ง่ายขึ้นในเวลาที่สั้น นอกจากนี้รูปที่ 2.4 ยังแสดงให้เห็นถึงอายุการใช้งานของมีดตัด ซึ่งเป็นระยะเวลาที่สามารถใช้มีดตัดได้ก่อนที่มีดตัดจะพัง โดยในการใช้งานจริงในทางปฏิบัติจะไม่ใช้งานมีดตัดจนพัง ทั้งนี้เนื่องจากจะไม่สามารถนำกลับมาลับคมเพื่อใช้ใหม่ได้ รวมถึงอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงานตัดจำนวนมากได้ ดังนั้นการพิจารณาอายุการใช้งานของใบมีดมักพิจารณาที่ค่าความสึกหรอของใบมีดค่าใดค่าหนึ่งหรือที่ความสึกหรอของชิ้นงาน อย่างไรก็ตามในรูปที่ 2.4 นี้จะทำการพิจารณาอายุการใช้งานของใบมีดที่ค่าความสึกหรอที่ 0.020 นิ้ว ดังนั้นการตัดที่ใช้ความเร็วสูงจะให้อายุการใช้งานของมีดตัดที่ต่ำ

หากนำค่าอายุการใช้งานมีดตัดที่ได้จากรูปที่ 2.5 มาพล็อตกราฟเทียบกับความเร็วที่ใช้ในการตัด ด้วยสเกลลอการิทึม (log-log graph) จะได้ความสัมพันธ์ในลักษณะเส้นตรง (Linear) ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วที่ใช้ในการตัดกับอายุการใช้งานของใบมีดในรูปแบบกราฟสเกลลอการิทึม

จากรูปที่ 2.5 สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วที่ใช้ในการตัดกับอายุการใช้งานของใบมีดในรูปสมการเส้นตรงได้ดังนี้

$$\log V = -n \log T + \log C \qquad (1)$$

โดย V คือ ความเร็วในการตัด (ft/min), T คือ อายุการใช้งานของมีดตัด (min), n และ C เป็นความชันและจุดตัดแกน Y ของกราฟตามลำดับโดยค่าดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำชิ้นงาน, วัสดุที่ใช้ทำมีดตัด, อัตราการป้อนชิ้นงาน และความลึกของการตัด โดยแสดงค่าในตารางที่ 2.1

จากสมการที่ (1) จะสามารถเปลี่ยนรูปได้เป็น

$$VT^n = C \qquad (2)$$

สมการที่ (2) กล่าวได้ว่าเป็นรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วในการตัด และอายุการใช้งานของมีดตัด ซึ่งถูกค้นพบเป็นครั้งแรกโดย Taylor โดยสมการดังกล่าวถูกเรียกว่าสมการอายุการใช้งานมีดตัดของ Taylor (Taylor tool life equation) ซึ่งสมการดังกล่าวได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ และอ้างถึงในงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาหาอายุการใช้งานของใบมีดตัดลักษณะต่างๆ

ตารางที่ 2.1 ค่า n และ C สำหรับสมการที่ (1) และ (2)

Tool Material	n	C ft/min	C (m/min)
Plain carbon tool steel			
Nonsteel cutting	0.1	200	(70)
Steel cutting	0.1	60	(20)
High-speed steel			
Nonsteel cutting	0.125	350	(120)
Steel cutting	0.125	200	(70)
Cemented carbide			
Nonsteel cutting	0.25	2700	(900)
Steel cutting	0.25	1500	(500)
Cermet			
Steel cutting	0.25	2000	(600)
Coated carbide			
Steel cutting	0.25	2200	(700)
Ceramic			
Steel cutting	0.6	10000	(3000)

อย่างไรก็ตามพบว่าสมการของ Taylor ยังมีข้อจำกัดค่อนข้างมาก เนื่องจากจำเป็นต้องหาค่า n และ C เพื่อให้เหมาะสมต่อสภาพงาน ถ้าหากสภาพงานมีความซับซ้อนมากหรือเป็นเครื่องจักรหรือใบมีดที่ไม่ได้มีการหาค่าดังกล่าวไว้ จะไม่สามารถทำนายอายุการใช้งานของใบมีดได้เลย

ในปัจจุบันได้มีนักวิจัยจำนวนมากที่ได้ทำการวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่ออายุการใช้งานและความสึกหรอของใบมีดตัด

Kunal J. Joshi (2006) ได้เสนองานวิจัยที่ได้ศึกษาตัวแปรหลัก (Main Effect) ที่มีผลต่ออายุการใช้งานและความสึกหรอของใบมีด (Tool wear) ได้แก่ ชนิดของชิ้นงานที่นำมาตัด (Metal material and properties), วัสดุที่ใช้ทำใบมีดตัด (Cutting tool materials), เงื่อนไขในการตัด(Cutting condition) เช่น ความเร็วตัด(Cutting velocity) หรือแรงดันกดของมีดตัด (Cutting force), ลักษณะของใบมีดตัด (Cutting tool geometry), สารหล่อลื่นที่ใช้ในการตัด (Coolant application) และรูปแบบของเครื่องจักรที่ใช้ในการตัด (Type of machine operation) งานวิจัยนี้ได้เสนอการหาความสัมพันธ์ของสมการอายุการใช้งานของมีดกลึงตัดที่ผลิตจากวัสดุเหล็กกล้าคาร์ไบด์ (Carbide steel) กับ PCBN (Polycrystalline Cubic Boron Nitride Diamonds) โดยการเก็บข้อมูลการทดลองโดยการปรับค่าความเร็วในการตัดที่ค่าต่างๆ ซึ่งใบมีดทั้งสองชนิดจะใช้มุมใบมีดกลึงตัดที่ 30, 45 และ 75 องศา และทำการวัดการสึกหรอของมีดตัดที่ใช้หลังจากการตัดชิ้นงานโดยทำการทดลองตัดชิ้นงานเหล็กแผ่นจำนวน 4 ชิ้นต่อ 1 ค่าความเร็วในการตัด ต่อมุมใบมีดแต่ละค่า ซึ่งได้พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วในการตัดขึ้นจะส่งผลให้อายุการใช้งานของมีดตัดมีค่าต่ำลง และได้นำผลการทดลองที่ได้มาทำการหาสมการโดยใช้หลักการวิเคราะห์การถดถอยเชิงซ้อน เพื่อทำนายอายุการใช้งานที่ความเร็วตัดค่าต่างๆ

การทราบถึงอายุการใช้งาน และลักษณะความสึกหรอที่เกิดขึ้นกับเครื่องมือตัด จัดว่าเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นมากในกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือตัดชนิดนั้น เพราะจะเป็นการป้องกันชิ้นงานที่นำมาตัดเกิดความเสียหายแล้ว ยังช่วยให้ทราบถึงลักษณะความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับใบมีดตัดอีกด้วย

การพังของใบมีดตัด (Tool Failure) สามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจาก 3 สาเหตุได้แก่

1. การพังเนื่องจากการแตกหัก (Fracture Failure) มักพบในใบมีดที่ทำมาจากวัสดุเปราะ จะเกิดขึ้นเมื่อแรงในการตัดมีค่าสูงมากเกินไป

2. การพังเนื่องจากอุณหภูมิ (Temperature Failure) มักเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการตัดมีค่าสูงเกินกว่าวัสดุที่นำมาทำมีดตัดจะทนได้ เป็นผลให้ใบมีดตัดเกิดความเสียหายเนื่องจากการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรของวัสดุ (Plastic deformation)

3. การสึกหรอ (Gradual Wear) เป็นการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับมีดตัดทีละน้อย ซึ่งจะส่งผลทำให้การตัดมีประสิทธิภาพลดลง

สมเกรียติ ตั้งจิตสิตเจริญ (1998) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอายุการใช้งานใบมีดตัดคาร์ไบด์ในการกลึงตัดชิ้นส่วนของปั๊มน้ำรถยนต์ที่เป็นวัสดุเหล็กหล่อสีเทา โดยได้ทำการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วในการตัดจำนวน 3 ค่าคือที่ 600, 800 และ 1000 รอบต่อนาที เพื่อดูว่าที่ความเร็วในการตัดต่างๆจะให้อายุของมีดตัดแต่ละชนิดแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด พร้อมทั้งสร้างสมการอายุการใช้งานมีดตัดแต่ละชนิด เพื่อที่จะหาอายุการใช้งานของมีดตัดว่าชนิดใดมีอายุการใช้งานที่สูงที่สุด ได้ศึกษาถึงอายุการใช้งานของมีดตัดทั้งหมด 5 ชนิดที่ได้ทำการใช้งาน จากผลที่ได้จากการวิจัยนี้จะได้สมการอายุการใช้งานของมีดตัดทั้ง 5 ชนิด ซึ่งสมการอายุการใช้งาน จะอยู่ในรูปแบบความสัมพันธ์ของอายุการใช้งานกับความเร็วในการตัดที่มาจากสมการอายุใบมีดของเทเลอร์ (Taylor's Tool Life Equation) ซึ่งสามารถนำมาใช้หาอายุการใช้งานของใบมีดตัดกับค่าความเร็วในการตัดว่าที่สภาวะความเร็วตัดใด ที่ให้อายุการใช้งานของมีดตัดแต่ละชนิดสูงที่สุด จากนั้นนำมาคำนวณหาต้นทุนในการใช้ใบมีดชนิดใดที่ให้ค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดในกระบวนการผลิต โดยสร้างเป็นสมการวิเคราะห์ต้นทุนโดยรวมตัวแปรผลกระทบต่างๆ ไว้ในสมการ

จากงานวิจัยข้างต้นได้ทำการศึกษาถึงอายุการใช้งานใบมีดตัด โดยมีการใช้สมการอายุใบมีดของเทเลอร์ เพื่อหาอายุการใช้งานของใบมีดตัดที่เหมาะสมในการใช้งานที่ความเร็วในการตัดค่าต่างๆ

นอกจากงานของ Taylor แล้ว ได้มีงานวิจัยที่ตามมาอีกจำนวนมาก ที่ทำการศึกษาและนำเสนอสมการสหสัมพันธ์ (Empirical correlation) ที่สามารถนำมาใช้ทำนายอายุการใช้งานของใบมีดตัดสำหรับ เครื่องตัด, ใบมีด, สภาพการตัด, วัสดุที่ใช้ทำชิ้นงานและใบมีดที่แตกต่างออกไปจากงานของ Taylor

Da และคณะ (1998) ได้ทำการขยายสมการของ Taylor โดยใช้ลักษณะใบมีดและเครื่องจักรที่ใกล้เคียงกัน แต่นอกจากความเร็วในการตัดแล้วได้รวมอิทธิพลของอัตราการป้อน (f), ความลึกในการตัด (d) เข้าไปในสมการสหสัมพันธ์สำหรับทำนายอายุการใช้งานด้วย ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$T = \frac{K}{V^{1/n} \cdot f^{1/n_1} \cdot d^{1/n_2}} \qquad (3)$$

โดย K, C, n, m คือค่าคงที่ ขึ้นตัวประกอบในสภาวะในการตัดอื่นๆ

Mills and Redford (1983) and Oxley (1989) ได้เสนอว่าอุณหภูมิมีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานของเครื่องมือตัด โดยสามารถสร้างสมการสหสัมพันธ์สำหรับทำนายอายุการใช้งานได้ดังสมการ

$$\theta T^n = C \quad (4)$$

โดย θ คืออุณหภูมิของเครื่องมือ , C และ n คือค่าคงที่ ขึ้นตัวประกอบในสภาวะในการตัดอื่นๆ

Venkatesh (1986) ได้ทำการรวมอิทธิพลของลักษณะใบมีด (Geometry Parameter: r, s, i, j) เข้าไปในสมการอายุการใช้งานเครื่องมือตัดของ Taylor ดังแสดงในสมการ

$$T = CV^n f^m d^p r^q s^t i^u j^x \quad (5)$$

โดย C, m, y, x และ n คือค่าคงที่ขึ้นกับตัวประกอบในสภาวะในการตัดอื่นๆ

สมการที่ (1) – (5) นั้นเป็นสมการทำนายอายุการใช้งานสำหรับใบมีดของเครื่องกลึง อย่างไรก็ตาม สำหรับเครื่องจักรชนิดอื่น ก็ได้มีผู้เสนอสมการสหสัมพันธ์สำหรับทำนายอายุการใช้งานของใบมีด ออกมามากมาย ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 2.2 (Troy S., 2004)

ตารางที่ 2.2 สมการสหสัมพันธ์ทำนายอายุการใช้งานของใบมีดสำหรับเครื่องจักรชนิดต่างๆ

Turning	$T = \frac{K}{V^{\frac{1}{n}} f^{\frac{1}{n_1}} a_p^{\frac{1}{n_2}}}$
Drilling	$T = \frac{K_1 D^m}{V^{\frac{1}{n}} f^{\frac{1}{n_1}}}$
Peripheral, End - Milling	$T = \frac{K_2 D^m \delta^{\frac{1}{n_5}}}{V^{\frac{1}{n}} f_z^{\frac{1}{n_1}} a_a^{\frac{1}{n_2}} a_r^{\frac{1}{n_3}} z^{\frac{1}{n_4}}}$
Face Milling	$T = \frac{K_3 D^m}{V^{\frac{1}{n}} f_z^{\frac{1}{n_1}} a_a^{\frac{1}{n_2}} a_r^{\frac{1}{n_3}} z^{\frac{1}{n_4}}}$

งานวิจัย Dragos A., Walter B. and Leonardo D. (2000) เป็นตัวอย่างที่น่าสนใจในการใช้ทฤษฎีของ Taylor มาแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยได้ทำการใช้การออกแบบการทดลองแบบเชิงแฟกทอเรียล ในการศึกษาถึงอายุการใช้งานใบมีดตัดที่มีอิทธิพลของการหมุนของชิ้นงาน โดยทำการแบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกทดลองโดยใช้การประยุกต์ใช้กับสมการของเทเลอร์ (Taylor's equation) ส่วนที่สองคำนวณหาปริมาณความไม่แน่นอนของอายุชิ้นงาน โดยการสร้างสมการที่มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องได้แก่ความเร็วในการตัด, ความเร็วในการป้อน, สารหล่อเย็นที่ใช้ในการตัด (Cutting fluid) และระยะลึกของรอยตัด โดยทดสอบกับชิ้นงานแสตนเลส (Stainless Steel) รูปทรงกระบอก (Cylindrical bar) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 80 ถึง 216 มิลลิเมตร และมีความยาว 800 มิลลิเมตร ซึ่งจะทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งในแต่ละการทดลอง และพบว่าความเร็วในการตัดมีผลต่ออายุชิ้นงานมากกว่าอัตราการป้อน และชนิดของสารหล่อเย็นที่ใช้ในระหว่างการตัดก็มีผลต่ออายุการใช้งานของมีดตัดเช่นกัน

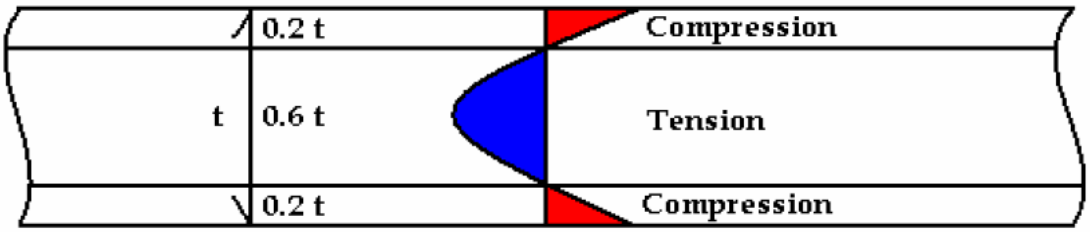
MacInnes Tool Corporation (2005) ซึ่งเป็นบริษัทชั้นนำในการจำหน่ายใบมีดวงแหวนสำหรับตัดกระจกได้ทำการกล่าวถึงลักษณะงานตัดกระจกด้วยใบมีดวงแหวน ว่าแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่

1. การตัดแบบทั่วไป (Conventional Cutting)

2. การตัดแบบใช้แรงดันสูง (Pressure Cutting) และ

3. การตัดด้วยมือ (Hand Cutting)

ซึ่งการตัดทั้ง 3 แบบนั้น มีความแตกต่างกันในลักษณะของงานที่ต้องการ กล่าวคือการตัดแบบทั่วไปและการตัดแบบใช้แรงดันสูง เป็นการตัดที่ใช้ในงานทางด้านอุตสาหกรรม ส่วนการตัดด้วยมือนั้นจะใช้ในงานการตัดที่เป็นลักษณะแบบปริมาณไม่มากหรือธุรกิจขนาดเล็กซึ่งต้องอาศัยความชำนาญในการตัดที่สูง ในการจำแนกความแตกต่างของการตัดแบบทั่วไปกับการตัดแบบแรงดันสูง จำเป็นต้องพิจารณาถึงความเค้นที่เกิดขึ้นภายในเนื้อกระจกดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยภายในเนื้อกระจกจะถูกกระทำด้วยความเค้น 2 ลักษณะคือ ความเค้นอัด (Compressive stress) และความเค้นดึง (Tensile stress) กล่าวคือ ถ้าตัดโดยให้มีระยะลึกของรอยตัดประมาณ 8-10 เปอร์เซ็นต์ของความหนา (t) จะจัดเป็นการตัดแบบทั่วไป ซึ่งเป็นรูปแบบการตัดที่สนใจในการศึกษาครั้งนี้ แต่สำหรับการตัดที่ต้องให้มีระยะลึกของรอยตัดประมาณ 17-20 เปอร์เซ็นต์ของความหนาจะจัดเป็นการตัดแบบแรงดันสูงทั้งนี้เนื่องจากกระจกที่จะนำมาตัดแบบแรงดันสูงจะมีความหนามาก ดังนั้นจึงต้องให้แน่ใจว่ารอยแตกเข้าใกล้ส่วนของความเค้นดึงในเนื้อกระจก เพื่อให้มั่นใจได้ว่ากระจกสามารถหักออกจากกันได้หลังจากการตัด



รูปที่ 2.6 ความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นในเนื้อกระจก

นอกจากนี้บริษัท MacInnes Tool Corporation ได้มีการกล่าวถึงตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อชิ้นงานกระจก จากการใช้งานใบมีดตัดในรูปแบบการตัดแบบทั่วไป ที่ใช้ใบมีดตัดเป็นวัสดุที่ทำจากทังสเตนคาร์ไบด์ ได้แก่

1. ระยะความลึกของรอยการตัดบนผิวกระจก (Fissure Depth) ซึ่งขึ้นอยู่กับความดันกดตัดที่ใช้งานของหัวใบมีดตัด
2. รอยการตัดของใบมีดตัดบนผิวกระจก (Cutter Line)
3. สภาพของเนื้อกระจกที่ทำการตัด
4. ความเร็วในการไหลของชิ้นงานที่ต้องการตัด
5. พื้นที่หน้าสัมผัสของใบมีดตัดกับชิ้นงาน
6. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดตัดที่ใช้ในการตัด
7. มุมของใบมีดตัดที่ใช้ในการตัด กับความหนาของกระจก
8. ช่วงระยะทางการใช้งานใบมีดตัด

ซึ่งจากข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาจากทางบริษัท MacInnes Tool Corporation ยังไม่ได้มีการกล่าวถึงอายุการใช้งานของใบมีดตัด หรือการกำหนดช่วงการทำงานที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆที่ได้ระบุไว้ โดยได้กล่าวถึงอายุการใช้งานของใบมีดตัดขึ้นอยู่กับสภาพของงานที่นำไปใช้เพียงเท่านั้น

2.3 แนวคิดและวิธีการดำเนินงาน

จากการศึกษาข้อมูลในการใช้งานผลิตภัณฑ์ใบมีดตัดของบริษัท MacInnes Tool Corporation ได้กล่าวถึงเกี่ยวกับอายุการใช้งานใบมีดวงแหวนว่า ขึ้นอยู่กับการนำใบมีดไปใช้งาน นอกจากนี้ ความสึกหรอของใบมีดที่เกิดขึ้นนั้นเป็นปัญหาที่ค่อนข้างซับซ้อน และไม่ได้ทำการอธิบายไว้โดยละเอียด ทั้งที่ในความเป็นจริงแล้วอายุการใช้งานของใบมีดตัดนั้นจัดว่ามีความสำคัญมาก เพราะจะส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานที่ทำการตัดตามมา

นอกจากนี้สมการสหสัมพันธ์ที่ใช้ทำนายอายุการใช้งานของใบมีด ส่วนมากจะศึกษากรณีใบมีดชนิดใดๆ และนำไปตัดชิ้นงานที่เป็นเหล็ก แต่สำหรับในการศึกษาครั้งนี้ จะใช้ใบมีดที่ใช้ทำมาจากทังสเตนคาร์ไบด์ และชิ้นงานที่ใช้ทดสอบจะเป็นกระจกแผ่นเรียบ นอกจากนี้ใบมีดตัดจะมีลักษณะเป็นวงแหวน (Scribe wheel) เครื่องมือตัดที่ใช้จะมีการตัดในลักษณะตามแนวขวางการไหล (Crosswise) และตามแนวการไหล (Lengthwise) ของกระจก

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ายังไม่มีงานวิจัยใดทำการศึกษาถึงอายุการใช้งาน และทำการเสนอสมการสหสัมพันธ์สำหรับทำนายอายุการใช้งานของใบมีดแบบวงแหวนที่นำไปตัดกระจกในกระบวนการผลิตแบบโฟล้ต ซึ่งมีรูปแบบการตัดเป็นแบบทั่วไป ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการศึกษาในครั้งนี้ ซึ่งจะหาความสัมพันธ์ของสภาพการตัด (ความดันกดที่ใช้กดหัวตัด และขนาดใบมีดตัด) กับระยะการใช้งานของใบมีดตัดแบบวงแหวน ในกระบวนการผลิตกระจกแบบโฟล้ต และทำการเสนอสมการสหสัมพันธ์ของอายุการใช้งานภายใต้เงื่อนไขสภาพการตัดที่กำหนด เพื่อนำไปทำนายอายุการใช้งานของใบมีด เพื่อให้ทราบว่าเวลาที่แน่นอนในการเปลี่ยนใบมีด พร้อมกับจัดทำคู่มือการทำงานและออกแบบระบบ เครื่องมือในการติดตามควบคุมระบบการทำงาน เพื่อนำไปสู่ความเข้าใจของพนักงานที่ปฏิบัติงาน และลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการใช้ใบมีดตัดที่ไม่คมในกระบวนการ โดยมีวิธีการดังนี้

2.3.1 ขั้นตอน/กระบวนการใช้งานใบมีดตัด

2.3.1.1 สำรวจงานวิจัย บทความ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการใช้งานใบมีดตัด

2.3.1.2 ศึกษากระบวนการตัดของโรงงานกรณีศึกษาและศึกษาสภาพการสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

2.3.2 ขั้นตอน/กระบวนการในการตัดกระจก

2.3.2.1 ศึกษาวิธีการทำงานการใช้งานใบมีดตัดในกระบวนการตัดกระจก

2.3.2.2 ศึกษาและทำการปรับปรุงระยะเวลาการใช้งานใบมีดตัดที่เหมาะสม

2.3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลและควบคุมกระบวนการ

2.3.3.1 เปรียบเทียบผลของการสูญเสียที่เกิดขึ้นหลังจากการปรับปรุง

2.3.3.2 ออกแบบระบบควบคุมกระบวนการทำงาน และตรวจสอบ เพื่อลดการสูญเสียที่เกิดขึ้นให้เหลือน้อยที่สุด

บทที่ 3

ข้อมูลเบื้องต้นของปัญหา

เพื่อให้สามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างถูกต้อง จึงต้องทำการศึกษาถึงสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตและรวบรวมข้อมูลต่างๆ รวมถึงขอบเขตของปัญหาให้ชัดเจน เพื่อให้เป็นข้อมูลที่ถูกต้องและทำให้การแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงภาพรวมของสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงงานตัวอย่าง การสร้างรูปแบบและเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และแนวทางในการออกแบบวิธีการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น

3.1 สภาพปัญหาที่พบในปัจจุบัน

จากการศึกษาข้อมูลของปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดและบรรจุกระจกแผ่นเรียบในปัจจุบันของโรงงานตัวอย่าง พบว่ามีความสูญที่เกิดขึ้นในแผนกกระบวนการตัดและบรรจุที่เรียกว่าความสูญเสียจากสภาพการตัด โดยความสูญเสียดังกล่าวทำให้เกิดการสูญเสียกระจกเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ส่งผลกระทบให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งที่ในอุตสาหกรรมการผลิตกระจกในปัจจุบันต้องการที่จะลดลง นั่นคือต้องการให้เกิดการสูญเสียเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตน้อยที่สุด จึงเป็นสิ่งที่โรงงานหรือผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมกระจกแผ่นเรียบ ต้องการที่จะหาทางป้องกันการสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด เพื่อให้สามารถแข่งขันในด้านราคาต่อต้นทุนการผลิตที่มีการแข่งขันที่สูงในตลาดปัจจุบัน

3.2 การวิเคราะห์สภาพปัญหาปัจจุบัน

จากการวิเคราะห์ปัญหาความสูญเสียจากสภาพการตัดที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดกระจกแผ่นเรียบของโรงงานตัวอย่าง พบว่ามีความสุญเสียเกิดขึ้นอยู่ด้วยกัน 3 ส่วน คือ การสูญเสียจากรอยการตัด, การสูญเสียในส่วนของบรานช์ และการสูญเสียอื่นๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการ และส่วนที่เป็นการสูญเสียหลักที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดนั้น คือการสูญเสียจากรอยการตัด ซึ่งคิดเป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์จะสูงถึง 66 เปอร์เซ็นต์ จากจำนวนการสูญเสียจากสภาพการตัดทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 1.6 โดยสาเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสียจากรอยการตัด พบว่ามาจากการใช้งานใบมีดตัดที่หมดสภาพในกระบวนการตัด ส่งผลให้รอยการตัดที่ได้ไม่เรียบคมหรือไม่สามารถหักแผ่นกระจกออกตามรอยการตัดได้ และเมื่อได้ทำการวิเคราะห์ถึงสาเหตุในการสูญเสียจากรอยการตัดที่เกิดขึ้น โดยใช้แผนผังแสดงเหตุและผลช่วยในการวิเคราะห์ปัญหา จะพบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดการใช้งานใบมีดตัดที่หมดสภาพในกระบวนการตัดนั้นมาจากสาเหตุ 2 ประการ คือ

1. ไม่มีการกำหนดมาตรฐานระยะการใช้งานใบมีดตัดในกระบวนการตัด
2. ไม่มีการกำหนดมาตรฐานการทำงานของพนักงานควบคุมการตัด

จากการวิเคราะห์พบว่าสาเหตุทั้ง 2 ประการส่งผลให้มีการสูญสียจากรอยการตัดเกิดขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางการใช้งานใบมีดตัด กับความดันที่ใช้กดตัดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีด ที่เหมาะสมในการตัด เพื่อกำหนดเป็นมาตรฐานการทำงานให้กับพนักงาน และ

ทำการกำหนดมาตรฐานและออกแบบระบบการทำงานในส่วนของพนักงาน เพื่อป้องกันการสูญเสียจากรอยการตัดที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัด

3.3 การออกแบบการดำเนินงานวิจัย

ในที่นี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น สามารถแสดงได้ดังนี้

1. ทำการทดลองเก็บผลข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ และนำมาสร้างสมการทำนายระยะการใช้งานใบมีดตัด ในกระบวนการผลิต
2. การทดสอบสมการที่ได้โดยการทำการทดลองซ้ำอีกครั้งเพื่อทดสอบความแม่นยำของสมการในการทำนายที่ได้จากการหาความสัมพันธ์ครั้งแรก
3. สร้างมาตรฐานการใช้งานใบมีดตัด โดยทำการปรับปรุงค่าระยะการใช้งานที่ได้ให้เหมาะสมกับการทำงานในกระบวนการ
4. การทดสอบการใช้งานโดยนำไปใช้งานจริงในกระบวนการ

3.3.1 การออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดมาตรฐานระยะการใช้งานใบมีดตัดกระจก

ทำการหาอายุการใช้งานของใบมีดตัด ในการตัดวัสดุกระจกแผ่นเรียบ โดยใช้เครื่องจักรตัดกระจกตามแนวขวางการไหล และตามแนวทางการไหลของกระจก ในสภาวะการทำงานจริงของโรงงานตัวอย่าง โดยมีเงื่อนไขต่างๆ ดังนี้

1. เกณฑ์ในการพิจารณาอายุการใช้งานของใบมีดตัดจะคิดจากระยะทางการเริ่มใช้งานใบมีดตัดกระจก โดยพิจารณาจากเริ่มต้นการตัดจนรอยการตัดที่ได้จากใบมีดตัดบนผิวกระจกไม่เรียบคมไม่ผ่านตามข้อกำหนด หรือเกิดการแตกของกระจกจึงทำการเก็บผลข้อมูลระยะใช้งาน
2. ตัวแปรที่แปรผัน
   2.1. ใบมีดตัดที่ใช้ทำการทดลองจะใช้ใบมีดตัดกระจกแบบวงแหวน ที่ใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0, 4.5 และ 5.0 มิลลิเมตร ของบริษัท Mitsuboshi ชนิด D511 มุมใบมีด 130 องศา วัสดุที่ใช้ทำใบมีดเป็นทังสเตนคาร์ไบด์ ซึ่งเป็นมาตรฐานการทำงานของโรงงาน โดยใบมีดขนาด 5.0 มิลลิเมตรจะเป็นใบใหม่ ใบมีดขนาด 4.0 และ 4.5 มิลลิเมตร จะเป็นใบที่ผ่านการลับมาแล้ว
   2.2. ความดันกดหัวใบมีดตัดจะทำการวิจัย 3 ค่า ในการตัดกระจกตามแนวขวางการไหล ซึ่งจะทำการเปลี่ยนแปลงดังนี้คือ 0.50, 0.52, 0.55 kgf/cm^2 และจะทำการวิจัย 2 ค่า ในการตัดกระจกตามแนวทางการไหล ซึ่งจะทำการเปลี่ยนแปลงดังนี้คือ 1.5, 1.6 kgf/cm^2 ซึ่งเป็นความดันที่สามารถทำงานได้ในกระบวนการตัดกระจกแผ่นเรียบ โดยไม่มีการแตกก่อนการหักเกิดขึ้น
3. ตัวแปรคงที่

ในงานวิจัยจะศึกษาที่กระจกความหนา 2 มิลลิเมตร ซึ่งมีความเร็วในการไหลของกระจกในกระบวนการผลิตกระจกแบบโฟล้ตอยู่ที่ 890 เมตรต่อชั่วโมง

3.1. การใช้สารหล่อเย็นใบมีดตัด ในกระบวนการการตัดจะใช้ Kerosene เป็นตัวหล่อเย็นใบมีดในระหว่างการทำการตัด

3.2. เครื่องจักรที่ใช้ในการวิจัย เป็นเครื่องตัดที่มีชุดกระบอกสูบความดันกดตัดเป็นตัวกดหัวใบมีดตัดในการตัดตามแนวทางการไหลและตามแนวขวางการไหล และใช้มอเตอร์แบบเซอร์โว (Servo motor) ขับเคลื่อนหัวใบมีดตัดในการตัดตามแนวขวางการไหล

ในการทำการทดลองจะทำการเก็บข้อมูลตัวอย่างซ้ำแต่ละค่าควรจะเท่ากับหรือมากกว่า 2 ค่าขึ้นไป เพื่อให้ความเสี่ยงในการยอมรับสมมุติฐานที่ผิดมีค่าน้อย ในการวิจัยหาระยะการใช้งานของใบมีดตัดกระจกในแต่ละสภาพการตัดที่กำหนดนี้ มีค่าใช้จ่ายในการทดลองที่ค่อนข้างสูง, เวลาที่จำกัด และสภาพการผลิตที่มีความต่อเนื่องซึ่งเมื่อเกิดความเสียหายขึ้นจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียตามมามาก จึงได้ทำการทดลองซ้ำจำนวน 2 ครั้ง ในการตัดตามแนวขวางการไหล เพื่อหาระยะการใช้งานใบมีดตัดเฉลี่ยและนำมาหาสมการทำนายอายุระยะการใช้งานใบมีดตัดกระจกที่เหมาะสมในแต่ละขนาด ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ถึง 3.4 แสดงรายงานการทดลองอายุของใบมีดตัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ ซึ่งการเก็บข้อมูลจะมีทั้งหมด 18 ค่า ในการตัดตามแนวขวางการไหล เพื่อทำการดูแนวโน้มค่าการทำงานที่เหมาะสม และทำการทดลองซ้ำในใบมีดแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกับความดันกดหัวใบมีดตัดเพื่อนำมาทำนายสมการอายุระยะการใช้งานใบมีดตัดกระจกที่เหมาะสมในแต่ละขนาด ส่วนในการตัดตามแนวทางการไหลจะทำการเก็บข้อมูลจำนวน 3 ค่า และทำการทดลองซ้ำในใบมีดแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เพื่อนำมาทำนายสมการอายุระยะการใช้งานใบมีดตัดกระจกที่เหมาะสมเช่นเดียวกับการตัดตามแนวขวางการไหล

ตารางที่ 3.1 รายงานระยะการใช้งานใบมีดตัดที่ขนาด 4.0, 4.5 และ 5.0 มิลลิเมตร ตามแนวขวางการไหล

เส้นผ่านศูนย์กลางมีดตัด (มิลลิเมตร.)	ความดันกดตัด (kgf/cm^2)		
	0.50	0.52	0.55
4			
4.5			
5			

ตารางที่ 3.2 รายงานการทดลองระยะการใช้งานใบมีดตัดที่ขนาดต่างๆตามแนวขวางการไหล

	ความดันกดตัด 0.50 kgf/cm^2		ความดันกดตัด0.52 kgf/cm^2		ความดันกดตัด0.55 kgf/cm^2	
เส้นผ่านศูนย์กลางมีดตัด (มิลลิเมตร.)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
5.0						
4.9						
4.8						
4.7						
4.6						
4.5						
4.4						
4.3						
4.2						
4.1						
4.0						

ตารางที่ 3.3 รายงานการทดลองระยะการใช้งานใบมีดตัดที่ขนาด 4.0, 4.5 และ 5.0 มิลลิเมตร ตามแนวทางการไหล

เส้นผ่านศูนย์กลางมีดตัด (มิลลิเมตร.)	ความดันกดตัด (kgf/cm^2)	
	1.5	1.6
4		
4.5		
5		

ตารางที่ 3.4 รายงานการทดลองระยะการใช้งานใบมีดตัดที่ขนาดต่างๆ ตามแนวทางการไหล

เส้นผ่านศูนย์กลางมีดตัด (มิลลิเมตร.)	ความดันกดตัด (kgf/cm^2)	
	1.5	1.6
4		
4.2		
4.4		
4.5		
4.7		
4.8		
5		

ตารางที่ 3.5 สรุประยะการใช้งานใบมีดตัดเฉลี่ยที่ขนาดต่างๆ ตามแนวขวางการไหล

	ความดันกดตัด (kgf/cm^2)		
เส้นผ่านศูนย์กลางมีดตัด (มิลลิเมตร.)	0.5	0.52	0.55
5			
4.9			
4.8			
4.7			
4.6			
4.5			
4.4			
4.3			
4.2			
4.1			
4			

ตารางที่ 3.6 สรุประยะการใช้งานใบมีดตัดเฉลี่ยที่ขนาดต่างๆ ตามแนวทางการไหล

	ความดันกดตัด (kgf/cm^2)		
เส้นผ่านศูนย์กลางมีดตัด (มิลลิเมตร.)	0.5	0.52	0.55
5			
4.8			
4.7			
4.5			
4.4			
4.2			
4			

3.3.2 การออกแบบมาตรฐานการทำงานของพนักงาน

จากการศึกษาพบว่าสาเหตุสำคัญอีกประการที่ทำให้เกิดการใช้งานใบมีดตัดที่หมดสภาพในกระบวนการตัด นอกเหนือจากการที่ไม่มีการกำหนดมาตรฐานระยะการใช้งานใบมีดตัด คือระบบการทำงานในปัจจุบัน ยังไม่มีการกำหนดมาตรฐานการควบคุมการทำงานที่ชัดเจน ซึ่งส่งผลให้เกิดความไม่เข้าใจในวิธีการปฏิบัติงานของพนักงานแต่ละคน และไม่สามารถติดตามควบคุมหรือตรวจสอบการทำงานของพนักงานที่ปฏิบัติงานได้ ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการควบคุมกระบวนการ จะดำเนินการแก้ไขปัญหา ดังนี้

1. สร้างเครื่องมือจำลองแผนการเปลี่ยนใบมีดในแต่ละวัน

โดยการแก้ปัญหาจะทำการใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ คือ ไมโครซอฟท์เอกเซล เวอร์ชั่น 2010 ในการสร้างตารางทำนายการใช้งานใบมีดตัดในแต่ละวัน โดยจะทำการสร้างตารางสูตรคำนวณ และนำข้อมูลแผนการตัดกระจกที่ขนาดและจำนวนแผ่นต่างๆ ที่ได้รับล่วงหน้าในแต่ละวัน มาป้อนข้อมูลเข้าไปเพื่อทำนายระยะการใช้งานรวมของใบมีดตัด จากนั้นทำการกำหนดแผนการเปลี่ยนใบมีดตัดที่ต้องทำการใช้ในแต่ละวันขึ้น

2. การควบคุมการใช้งานใบมีดในแต่ละวันการผลิต

จากการทำงานในปัจจุบันมีการใช้งานใบมีดตัดรวมกันหลายขนาด ส่งผลให้เกิดความยากในการปฏิบัติงานของพนักงาน เนื่องจากพนักงานไม่ทราบว่าใบมีดตัดที่นำมาใช้นั้นมีขนาดเท่าใด ทำให้ต้องทำการปรับตั้งค่าความดันกดตัดให้เหมาะสมกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัดที่ใช้ เพื่อให้รอยการตัดที่ได้เรียบคมตามมาตรฐาน ส่งผลทำให้เกิดความสูญเสียในช่วงต้นของการตัดที่ต้องทำการปรับตั้งค่าความดันกดตัดเริ่มต้นให้เหมาะสม ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาในจุดดังกล่าว จะทำการกำหนดการใช้งานใบมีดในแต่ละวันให้เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเดียวกันทั้งหมด เพื่อให้พนักงานที่ปฏิบัติงานทราบถึงความดันกดตัดที่เหมาะสมในการใช้งาน ที่ต้องทำการปรับตั้งในการทำงานที่ถูกต้อง

3. การออกแบบระบบการควบคุมและติดตามการทำงานของพนักงานควบคุมการตัด

หลังจากกำหนดมาตรฐานการใช้งานใบมีดตัด และการใช้งานใบมีดตัดในแต่วันการผลิตแล้ว เพื่อให้สามารถตรวจสอบการทำงานของพนักงานที่ปฏิบัติงานควบคุมการตัด ว่าได้ปฏิบัติตามมาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่ จะทำการออกแบบระบบการควบคุมและติดตามการทำงาน โดยการประยุกต์ใช้หลักการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการและกระบวนการต่างๆ (Visual Management) ซึ่งเป็นเครื่องมือการจัดการที่เน้นการมองเห็นด้วยสายตาซึ่งเป็นช่องทางในการรับรู้ข้อมูลที่รวดเร็วและมากที่สุดของมนุษย์ โดยหลักการ Visual Management สามารถจำแนกได้เป็น

1. Visual Display เป็นการแสดงข้อมูลเพื่อให้พนักงานผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่ได้รับทราบ โดยมีการนำเสนอในรูปของแผนภูมิและกราฟ หรือตารางการทำงาน โดยอาจแสดงในรูปของบอร์ดการติดตามการทำงาน
2. Visual Control เป็นการควบคุมด้วยการมองเห็น เป็นวิธีควบคุมเพื่อใช้เป็นแนวทางปฏิบัติงานและควบคุมให้การทำงานเป็นไปอย่างถูกต้อง

4. การออกแบบเครื่องมือตรวจสอบการทำงานของพนักงานควบคุมการตัด

ในการควบคุมและติดตามการทำงานของพนักงานผู้ควบคุมการตัด ในงานวิจัยนี้จะทำการออกแบบเอกสารการตรวจสอบการทำงานประจำกะ โดยทำการปรับปรุงเพิ่มเติมหัวข้อในการตรวจสอบการใช้งานใบมีดตัดในกระบวนการตัดใหม่ เพื่อให้พนักงานผู้ปฏิบัติงานสามารถบันทึกข้อมูลการทำงานต่างๆ ในแต่ละกะการผลิตได้สะดวก และไม่เป็นการเพิ่มภาระการทำงาน การจัดเก็บเอกสารในระบบของพนักงานผู้ปฏิบัติงาน

3.4 **เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล**

ในงานวิจัยนี้จะทำการนำโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการดำเนินการ คือ ไมโครซอฟท์เอกเซล เวอร์ชั่น 2010 ช่วยในการสร้างรูปแบบตารางการเก็บข้อมูล การคำนวณระยะทางการใช้งาน การแปลงหน่วยระยะทางเป็นเวลาที่ใช้ในการใช้งานการตัด รวมถึงการแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบกราฟต่างๆ และโปรแกรม Minitab เวอร์ชัน 15 ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร และนำมาสร้างสมการทำนายอายุการใช้งานของใบมีดตัดกระจกที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ และใช้วิเคราะห์ผลของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างถูกต้อง

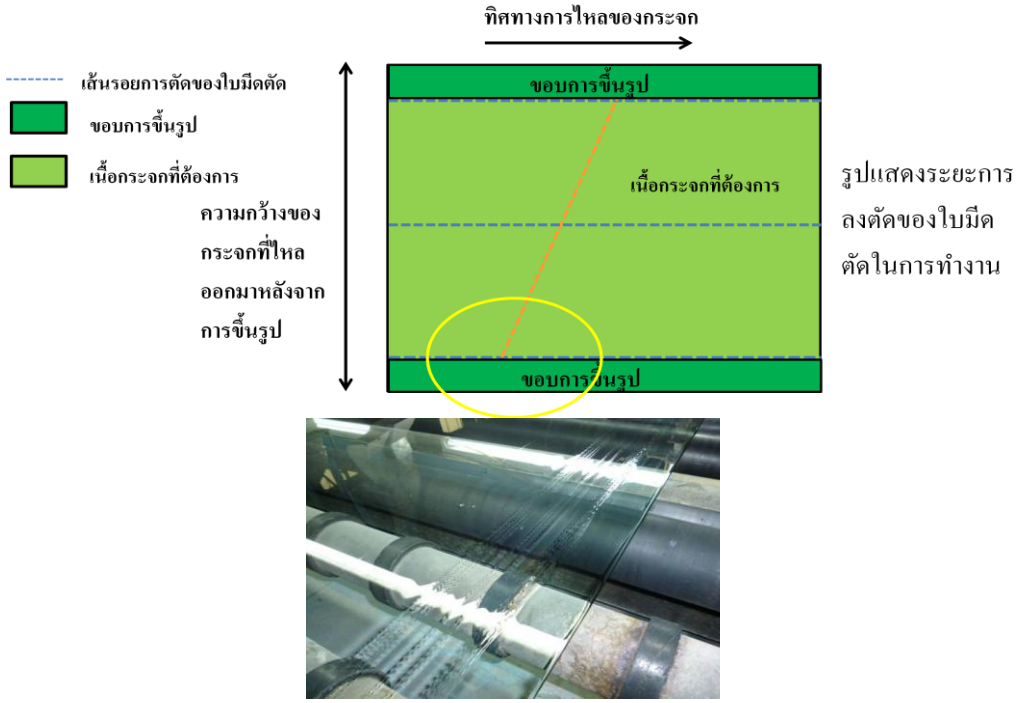
บทที่ 4

การสร้างมาตรฐานการใช้งานของใบมีด

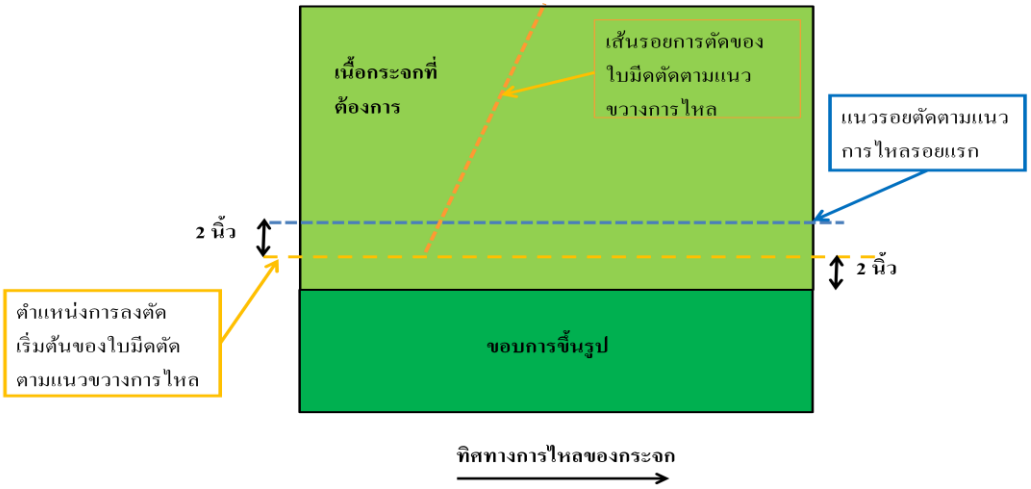
จากการศึกษาข้อมูลการตัดกระจกในด้านต่างๆ ของโรงงานกรณีศึกษา ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตใบมีดตัดกระจกทั้งของที่โรงงานกรณีศึกษาได้ใช้งานอยู่และข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตรายอื่นๆที่ใช้ใบมีดตัดวัสดุเดียวกัน รวมถึงเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ พบว่าตัวแปรที่มีผลกระทบในกระบวนการตัดกระจกของทางโรงงานกรณีศึกษามีตัวแปรสำคัญ 6 ตัวแปร ได้แก่ ระยะการเริ่มลงตัดของใบมีดตัด, ความเร็วในการไหลของชิ้นงานที่ต้องการตัด, การใช้สารหล่อเย็นใบมีดในระหว่างการตัด, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดตัดที่ใช้ในการตัด, ช่วงระยะทางการใช้งานใบมีดตัด และระยะความลึกของรอยการตัดบนผิวกระจก (Fissure Depth) ซึ่งขึ้นอยู่กับความดันกดตัดที่ใช้งานของหัวใบมีดตัด เมื่อทำการพิจารณาตัวแปรดังกล่าวข้างต้น พบว่าสามารถระบุตัวแปรที่มีผลต่อสภาพการทำงานของโรงงานกรณีศึกษาได้ดังนี้

2. สภาพของผิวเนื้อกระจกที่ทำการตัด หรือระยะการเริ่มลงตัดของใบมีดตัด

ระยะการลงตัดของใบมีดตัด คือระยะที่ใบมีดตัดเริ่มลงทำการตัดบนกระจก ในการทำงานในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา ได้มีการกำหนดมาตรฐานระยะการลงตัดของใบมีดตัดตามแนวขวางการไหลให้ห่างจากรอยตัดแรกตามแนวทางการไหลเป็นระยะ 2 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 การกำหนดมาตรฐานระยะการลงตัดของใบมีดตัดตามแนวขวางการไหล เพื่อป้องกันขอบการขึ้นรูปที่มีลักษณะผิวไม่เรียบไหลเข้าชนกับตัวใบมีดตัด ทำให้เกิดความเสียหายต่อใบมีดตัด



รูปที่ 4.1 การกำหนดมาตรฐานระยะการลงตัดของใบมีดตัดตามแนวขวางการไหลของโรงงานกรณีศึกษา



รูปที่ 4.2 ภาพขยายระยะการลงตัดของใบมีดตัดตามแนวขวางการไหลของโรงงานกรณีศึกษา

3. ความเร็วในการไหลของชิ้นงานที่ต้องการตัด

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงระยะการใช้งานของใบมีดตัดในการตัดกระจก ที่มีสภาพผิวกระจกที่ทำการตัดมีความเรียบ ไม่ขรุขระเพราะหากผิวมีความไม่เรียบ ใบมีดตัดอาจเกิดการชน หรือสะดุดกับผิวกระจกที่ไม่เรียบนั้น ก่อให้เกิดความเสียหายต่อใบมีดตัดในระหว่างทำการตัด ซึ่งส่งผลต่ออายุการใช้งานของใบมีดตัดได้ โดยในงานวิจัยจะทำการทดลองการใช้งานใบมีดตัดกับกระจก ที่มีความเร็วในการไหลของกระจก 890 เมตรต่อชั่วโมง

4. การใช้สารหล่อเย็นใบมีดในระหว่างการตัด

ในปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษาได้กำหนดมาตรฐานให้ใช้ Kerosene เป็นตัวหล่อเย็นใบมีดในระหว่างการทำการตัดซึ่งเป็นมาตรฐานจากทางโรงงานผู้ผลิตประเทศญี่ปุ่น และเป็นสารหล่อเย็นใบมีดในการตัดชิ้นงานประเภทแก้วและกระจกที่นิยมใช้กันทั่วไปในประเทศไทย

เมื่อพิจารณาตัวแปรต่างๆแล้ว จะพบว่ามีตัวแปรที่ไม่ได้ถูกกำหนดความสัมพันธ์ไว้อย่างชัดเจน จำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดตัดที่ใช้ในการตัด, ช่วงระยะทางการใช้งานใบมีดตัด และความดันกดตัดที่ใช้งานของหัวใบมีดตัด ซึ่งตัวแปรทั้งสามนี้เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสภาพรอยการตัดที่ได้ของกระบวนการตัดกระจกในโรงงานกรณีศึกษา

4.1 ขั้นตอนดำเนินการทดลอง

ในหัวข้อนี้จะทำการอธิบายขั้นตอนการทดลอง เพื่อนำผลที่ได้มาใช้หาสมการทำนายระยะทางใช้งานการตัดของใบมีดตัดกระจก โดยจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดลองการตัดตามแนวขวางการไหล และการทดลองการตัดตามแนวทางการไหล ซึ่งมีวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้และแนวทางในการทดลองดังนี้

1. วัสดุชิ้นงาน

เป็นกระจกแผ่นเรียบขนาดความหนา 2.0 มิลลิเมตร

2. วัสดุใบมีดตัด

ใบมีดตัดที่ใช้ทำการทดลองจะใช้ใบมีดตัดกระจกแบบวงแหวน ของบริษัท Mitsuboshi ชนิด D511 มุม

ใบมีด 130 องศา วัสดุที่ใช้ทำใบมีดเป็นทังสเตนคาร์ไบด์ ผลิตจากประเทศญี่ปุ่น ในการทดลองนี้ทำการศึกษาโดยมีสมมติฐาน ว่าใบมีดทุกใบในแต่ละขนาดต่างๆที่นำมาใช้ในการทดลองมีความเหมือนกัน และมีความคมเท่ากัน โดยใบมีดที่นำมาทำการทดลองในขนาด 5.0 มิลลิเมตรจะเป็นใบใหม่ที่มาจากผู้ผลิตใบมีด เมื่อใช้งานการตัดจนเกิดการแตกเสียหายของกระจกขึ้น หรือหมดความคมจะถูกนำกลับไปทำการลับคมใหม่โดยพนักงานที่ทำหน้าที่ลับคมใบมีด ซึ่งผู้ที่ทำการลับคมได้กำหนดให้เป็นบุคคลเดียวกันตลอดการทดลอง

3. เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องตัดที่มีชุดกระบอกสูบความดันกดตัดเป็นตัวกดหัวใบมีดตัดในการตัดตามแนวทางการไหลและตามแนวขวางการไหล และใช้มอเตอร์แบบเซอร์โว (Servo motor) ขับเคลื่อนหัวใบมีดตัดในการตัดตามแนวขวางการไหล

5. เกณฑ์ในการพิจารณาอายุการใช้งานของใบมีดตัด

ทำการวัดผลของระยะทางการใช้งาน โดยเริ่มต้นใช้งานใบมีดตัดกระจก จนรอยการตัดที่ได้จากใบมีดตัดบนผิวกระจกไม่เรียบคม ไม่สามารถหักกระจกออกจากกันได้ หรือเกิดการแตกของกระจกเกิดขึ้น จึงทำการเก็บผลข้อมูลระยะใช้งานของใบมีดตัดที่ได้

6. แนวทางการแก้ไขปัญหา

1. ทำการทดลองหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ เพื่อหาความสัมพันธ์และสร้างสมการทำนายระยะการใช้งาน
2. การทดสอบสมการที่ได้โดยการทำการทดลองซ้ำเพื่อทดสอบความแม่นยำของสมการในการทำนาย
3. การสร้างมาตรฐานการใช้งานใบมีดตัด
4. การทดสอบมาตรฐานการใช้งานที่สามารถนำไปใช้ได้จริง

4.1.1 การทดลองการตัดตามแนวขวางการไหล

1. ทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาช่วงการใช้งานความดันกดตัดที่เหมาะสม ของใบมีดตัดในแต่ละขนาด โดยทำการคัดแยกใบมีดตัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.0, 4.5 และ 4.0 มิลลิเมตร ซึ่งทำการวัดขนาดของใบมีดที่จะนำมาทดลอง โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ในการวัด โดยทำการคัดเลือกใบมีดตัดมาจำนวนขนาดละ 6 ใบ

2. ติดตั้งใบมีดตัดลงในชุดหัวเครื่องตัดตามแนวขวางและตรวจสอบระบบแรงดันของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆเพื่อให้แรงดันที่ใช้ในการทดลองมีความถูกต้อง

3. ทำการตัดกระจกแผ่นผิวเรียบความหนา 2.0 มิลลิเมตร ที่ความเร็วในการไหล 890 เมตรต่อชั่วโมงด้วยมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.0, 4.5 และ 4.0 มิลลิเมตรโดยใช้ขนาดความดันกดหัวใบมีดตัดที่ 0.50, 0.52 และ 0.55 kgf/cm^2 โดยมีลำดับขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.1 ใช้ความดันกดตัดที่ 0.50 kgf/cm^2

3.1.1 ใช้ใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.0 มิลลิเมตร ใบที่ 1 ทำการ

ตัดบนกระจกที่ไหลจนรอยตัดที่เกิดขึ้นไม่เรียบคม ไม่สามารถหักกระจกออกจากกันตามรอยตัดได้ หรือเกิดการแตกของกระจกตามรอยตัดเกิดขึ้น และบันทึกระยะทางที่ใช้ในการตัดที่ได้จากใบมีดตัดจากเครื่องจักรตัดที่ใช้ทดลอง

3.1.2 ใช้ใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.0 มิลลิเมตร ใบที่ 2 ทำการตัดบนกระจกที่ไหลจนรอยตัดที่เกิดขึ้นไม่เรียบคม ไม่สามารถหักกระจกออกจากกันตามรอยตัดได้ หรือเกิดการแตกของกระจกตามรอยตัดเกิดขึ้น และบันทึกระยะทางที่ใช้ในการตัดที่ได้จากใบมีดตัดจากเครื่องจักรตัดที่ใช้ทดลอง

3.1.3 ใช้ใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 มิลลิเมตร ใบที่ 1 ทำการตัดบนกระจกที่ไหลจนรอยตัดที่เกิดขึ้นไม่เรียบคม ไม่สามารถหักกระจกออกจากกันตามรอยตัดได้ หรือเกิดการแตกของกระจกตามรอยตัดเกิดขึ้น และบันทึกระยะทางที่ใช้ในการตัดที่ได้จากใบมีดตัดจากเครื่องจักรตัดที่ใช้ทดลอง

3.1.4 ใช้ใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 มิลลิเมตร ใบที่ 2 ทำการตัดบนกระจกที่ไหลจนรอยตัดที่เกิดขึ้นไม่เรียบคม ไม่สามารถหักกระจกออกจากกันตามรอยตัดได้ หรือเกิดการแตกของกระจกตามรอยตัดเกิดขึ้น และบันทึกระยะทางที่ใช้ในการตัดที่ได้จากใบมีดตัดจากเครื่องจักรตัดที่ใช้ทดลอง

3.1.5 ใช้ใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 มิลลิเมตร ใบที่ 1 ทำการตัดบนกระจกที่ไหลจนรอยตัดที่เกิดขึ้นไม่เรียบคม ไม่สามารถหักกระจกออกจากกันตามรอยตัดได้ หรือเกิดการแตกของกระจกตามรอยตัดเกิดขึ้น และบันทึกระยะทางที่ใช้ในการตัดที่ได้จากใบมีดตัดจากเครื่องจักรตัดที่ใช้ทดลอง

3.1.6 ใช้ใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 มิลลิเมตร ใบที่ 2 ทำการตัดบนกระจกที่ไหลจนรอยตัดที่เกิดขึ้นไม่เรียบคม ไม่สามารถหักกระจกออกจากกันตามรอยตัดได้ หรือเกิดการแตกของกระจกตามรอยตัดเกิดขึ้นและบันทึกระยะทางที่ใช้ในการตัดที่ได้จากใบมีดตัดจากเครื่องจักรตัดที่ใช้ทดลอง

3.2 เมื่อทดลองความดันกดตัดที่ 0.50 kgf/cm^2 เสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการเปลี่ยนความดันกดตัดเป็น 0.52 kgf/cm^2 และ 0.55 kgf/cm^2 ตามลำดับ โดยทำการเปลี่ยนใบมีดใหม่

4. บันทึกผลของระยะทางที่ใช้ในการตัดที่ได้จากใบมีดตัดลงในตารางที่กำหนดไว้

5. เขียนกราฟระหว่างความดันกดตัดและระยะทางการใช้งานเฉลี่ยของใบมีดตัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและระยะทางการใช้งานที่ขนาดแรงดันแตกต่างกันจากข้อมูลที่เก็บได้ เพื่อดูผลของแนวโน้มช่วงรอยต่อการเปลี่ยนความดันกดตัดที่เหมาะสมกับระยะทางการใช้งานกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดตัดที่ขนาดต่างๆ

6. ทำการเตรียมใบมีดตัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.6, 4.7, 4.8 และ 4.9 มิลลิเมตร โดยทำการวัดขนาดของใบมีดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ในการวัด โดยทำการคัดเลือกใบมีดตัดมาจำนวนขนาดละ 4 ใบ และทำการเตรียมใบมีดตัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.6 และ 4.9 มิลลิเมตร เพิ่ม

จำนวนขนาดละ 2 ใบ เพื่อใช้ทดลองยืนยันช่วงรอยต่อการเปลี่ยนช่วงการใช้งานความดันกดตัดที่เหมาะสมกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดตัด

7. ทำการทดลองซ้ำตามข้อที่ 3 โดยใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 มิลลิเมตร ใช้ความดันกดตัดที่ 0.50 kgf/cm^2 และ 0.52 kgf/cm^2 และใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.6, 4.7, 4.8 และ 4.9 มิลลิเมตร ใช้ความดันกดตัดที่ 0.52 kgf/cm^2 และ 0.55 kgf/cm^2 โดยใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.6 และ 4.9 มิลลิเมตร จะทำการทดลองโดยใช้ความดันกดตัดที่ 0.50 kgf/cm^2 จำนวน 2 ครั้ง เพื่อใช้ทดสอบยืนยันช่วงรอยต่อการใช้งานความดันกดตัดที่เหมะสม

8. บันทึกผลของระยะทางที่ใช้ในการตัดที่ได้จากใบมีดตัดลงในตารางที่กำหนดไว้

9. เขียนกราฟระหว่างความดันกดตัดและระยะทางการใช้งานเฉลี่ยของใบมีดตัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน จากข้อมูลการทดลองทั้งหมด

10. ทำการหาสมการความสัมพันธ์จากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างระยะการใช้งานใบมีดตัดที่สูงที่สุดกับความดันกดตัดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดตัดที่แตกต่างกัน ก่อนเกิดการสูญเสียกระจกจากรอยการตัด

11. ทำการทดลองสุ่มครั้งที่ 2 เพื่อยืนยันผล ในที่นี้จะสุ่มทำการทดลองเก็บผลระยะการใช้งานของใบมีดตัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0, 4.1, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.8 และ 5.0 มิลลิเมตร โดยทำการทดลองเก็บผลข้อมูลระยะทางการใช้งานจำนวน 2 ครั้งในแต่ละสภาวะความดันตัด โดยใบมีดตัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0, 4.6 และ 5.0 มิลลิเมตร ทำการทดลองที่ความดันตัด 0.50, 0.52 และ 0.55 kgf/cm^2 ใบมีดตัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.1, 4.3, 4.4 และ 4.5 มิลลิเมตร ทำการทดลองที่ความดันตัด 0.50 และ 0.52 kgf/cm^2 ใบมีดตัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.8 มิลลิเมตร ทำการทดลองที่ความดันตัด 0.52 และ 0.55 kgf/cm^2

12. หาผลความคลาดเคลื่อนระหว่างระยะการใช้งานใบมีดตัดที่เหมาะสมจากสมการทำนายอายุการใช้งานที่ได้กับค่าที่ได้รับจากการทดลองจริง

13. ทำการปรับค่าที่ได้จากสมการทำนายระยะทางการใช้งานให้เหมาะสมกับสภาพการทำงาน และให้มีค่าเผื่อไว้เล็กน้อย (Allowance) ในกรณีที่พนักงานควบคุมการตัดไม่สามารถเปลี่ยนใบมีดตัดตามระยะเวลาที่กำหนดได้ทันที

14. ทำการปรับเปลี่ยนค่าระยะทางที่ได้กำหนดไว้ ให้อยู่ในรูปของหน่วยเวลาเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้งานของพนักงาน โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอกเซลล์ 2010 ช่วยในการแปลงข้อมูล

4.1.2 การทดลองการตัดตามแนวทางการไหล

1. ทำการคัดแยกใบมีดตัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.0, 4.8, 4.7, 4.5, 4.4, 4.2 และ 4.0 มิลลิเมตร โดยทำการวัดขนาดของใบมีดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ในการวัด โดยทำการคัดเลือกใบมีดตัดมาจำนวนขนาดละ 3 ใบ

2. ติดตั้งใบมีดตัดลงในชุดหัวเครื่องตัดตามแนวขวางและตรวจสอบระบบแรงดันของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆเพื่อให้แรงดันที่ใช้ในการทดลองมีความถูกต้อง

3. ทำการตัดกระจกแผ่นผิวเรียบความหนา 2.0 มิลลิเมตร ที่ความเร็วในการไหล 890 เมตรต่อชั่วโมงด้วยมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.0, 4.8, 4.7, 4.5, 4.4, 4.2 และ 4.0 มิลลิเมตรโดยใช้ขนาดความดันกดหัวใบมีดตัดที่ 1.5 และ 1.6 kgf/cm^3 โดยมีลำดับขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.1 ใช้ความดันกดตัดที่ 1.5 kgf/cm^3

3.1.1 ใช้ใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.0 มิลลิเมตร ใบที่ 1, 2 และ 3 ทำการตัดบนกระจกที่ไหลจนรอยตัดที่เกิดขึ้นไม่เรียบคม หรือไม่สามารถหักกระจกออกจากกันตามรอยตัดได้ และบันทึกระยะทางที่ใช้ในการตัดที่ได้จากใบมีดตัดจากเครื่องจักรตัดที่ใช้ทดลอง

3.1.2 ใช้ใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.8 มิลลิเมตร ใบที่ 1, 2 และ 3 ทำการตัดบนกระจกที่ไหลจนรอยตัดที่เกิดขึ้นไม่เรียบคม หรือไม่สามารถหักกระจกออกจากกันตามรอยตัดได้ และบันทึกระยะทางที่ใช้ในการตัดที่ได้จากใบมีดตัดจากเครื่องจักรตัดที่ใช้ทดลอง

3.1.3 ใช้ใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 มิลลิเมตร ใบที่ 1, 2 และ 3 ทำการตัดบนกระจกที่ไหลจนรอยตัดที่เกิดขึ้นไม่เรียบคม หรือไม่สามารถหักกระจกออกจากกันตามรอยตัดได้ และบันทึกระยะทางที่ใช้ในการตัดที่ได้จากใบมีดตัดจากเครื่องจักรตัดที่ใช้ทดลอง

3.1.4 ใช้ใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 มิลลิเมตร ใบที่ 1, 2 และ 3 ทำการตัดบนกระจกที่ไหลจนรอยตัดที่เกิดขึ้นไม่เรียบคม หรือไม่สามารถหักกระจกออกจากกันตามรอยตัดได้ และบันทึกระยะทางที่ใช้ในการตัดที่ได้จากใบมีดตัดจากเครื่องจักรตัดที่ใช้ทดลอง

3.1.5 ใช้ใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.4 มิลลิเมตร ใบที่ 1, 2 และ 3 ทำการตัดบนกระจกที่ไหลจนรอยตัดที่เกิดขึ้นไม่เรียบคม หรือไม่สามารถหักกระจกออกจากกันตามรอยตัดได้ และบันทึกระยะทางที่ใช้ในการตัดที่ได้จากใบมีดตัดจากเครื่องจักรตัดที่ใช้ทดลอง

3.1.6 ใช้ใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.2 มิลลิเมตร ใบที่ 1, 2 และ 3 ทำการตัดบนกระจกที่ไหลจนรอยตัดที่เกิดขึ้นไม่เรียบคม หรือไม่สามารถหักกระจกออกจากกันตามรอยตัดได้ และบันทึกระยะทางที่ใช้ในการตัดที่ได้จากใบมีดตัดจากเครื่องจักรตัดที่ใช้ทดลอง

3.1.7 ใช้ใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 มิลลิเมตร ใบที่ 1, 2 และ 3 ทำการตัดบนกระจกที่ไหลจนรอยตัดที่เกิดขึ้นไม่เรียบคม หรือไม่สามารถหักกระจกออกจากกันตามรอยตัดได้ และบันทึกระยะทางที่ใช้ในการตัดที่ได้จากใบมีดตัดจากเครื่องจักรตัดที่ใช้ทดลอง

3.2 เมื่อทดลองความดันกดตัดที่ 1.5 kgf/cm^3 เสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการเปลี่ยนความดันกดตัดเป็น 1.6 kgf/cm^3 โดยทำการเปลี่ยนใบมีดใหม่

4. บันทึกผลของระยะทางที่ใช้ในการตัดที่ได้จากใบมีดตัดลงในตารางที่กำหนดไว้

5. เขียนกราฟระหว่างความดันกดตัดและระยะทางการใช้งานเฉลี่ยของใบมีดตัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน

6. ทำการเตรียมใบมีดตัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0, 4.2, 4.3, 4.4, 4.7, 4.8 และ 5.0 มิลลิเมตร โดยทำการวัดขนาดของใบมีดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ในการวัด โดยทำการคัดเลือกใบมีดตัดมาจำนวนขนาดละ 3 ใบ เพื่อใช้ทดลองยืนยันผลการใช้งานความดันกดตัดที่เหมาะสมกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดตัดอีกครั้ง

7. ทำการทดลองซ้ำตามข้อที่ 3 โดยใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0, 4.2, 4.3, 4.4, 4.7, 4.8 และ 5.0 มิลลิเมตร ใช้ความดันกดตัดที่ 1.5 kgf/cm^3 และ 1.6 kgf/cm^3 เพื่อใช้ทดสอบยืนยันการใช้งานความดันกดตัดที่เหมะสมอีกครั้ง

8. บันทึกผลของระยะทางที่ใช้ในการตัดที่ได้จากใบมีดตัดลงในตารางที่กำหนดไว้

9. ทำการหาสมการความสัมพันธ์จากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างระยะการใช้งานใบมีดตัดที่สูงที่สุดกับความดันกดตัดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดตัดที่แตกต่างกัน ก่อนเกิดการสูญเสียกระจกจากรอยการตัด

10. หาผลความคลาดเคลื่อนระหว่างระยะการใช้งานใบมีดตัดที่เหมาะสมจากสมการทำนายอายุการใช้งานที่ได้กับค่าที่ได้รับจากการทดลองจริง

11. ทำการปรับค่าที่ได้จากสมการทำนายระยะทางการใช้งานให้เหมาะสมกับสภาพการทำงาน และให้มีค่าเผื่อไว้เล็กน้อย (Allowance) ในกรณีที่พนักงานควบคุมการตัดไม่สามารถเปลี่ยนใบมีดตัดตามระยะเวลาที่กำหนดได้ทันที

12. ทำการปรับเปลี่ยนค่าระยะทางที่ได้กำหนดไว้ ให้อยู่ในรูปของหน่วยเวลาเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้งานของพนักงาน โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอกเซลล์ 2010 ช่วยในการแปลงข้อมูล

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากผลการทดลอง

4.2.1 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการตัดตามแนวขวางการไหล

นำผลผลการทดลองการตัดตามแนวขวางการไหล เมื่อใช้ใบมีดขนาด 4.0, 4.5 และ 5.0 มิลลิเมตร มาสรุปรวมในตารางที่ 3.1 ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการระยะการใช้งานใบมีดตัดตามแนวขวางการไหล ที่ขนาด 4.0, 4.5 และ 5.0 มิลลิเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางมีดตัด (มิลลิเมตร.)	ระยะทางการใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)		
	ความดันกดตัด 0.50 kgf/cm^2	ความดันกดตัด 0.52 kgf/cm^2	ความดันกดตัด 0.55 kgf/cm^2
4.0	223,200	201,252	184,512
	244,800	202,616	198,648
4.5	251,000	283,875	251,000
	260,400	278,375	229,400
5.0	305,136	356,016	452,972
	315,217	343,041	452,455

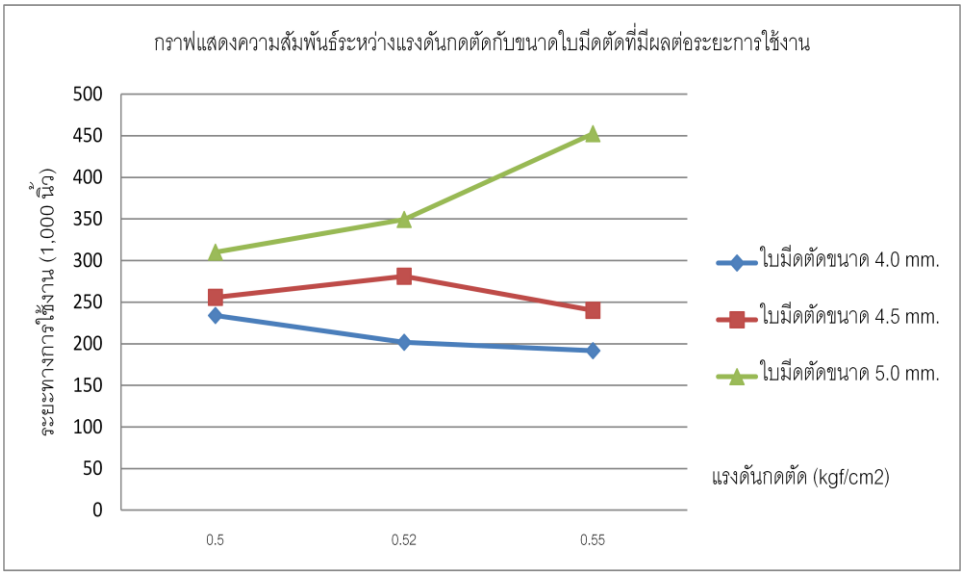
นำผลที่ได้ในตารางที่ 4.1 มาทำการหาค่าเฉลี่ยของระยะทางการใช้งานดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการระยะการใช้งานใบมีดเฉลี่ยตามแนวขวางการไหลที่ขนาด 4.0, 4.5 และ 5.0 มิลลิเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางมีดตัด (มิลลิเมตร.)	ระยะทางการใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)		
	ความดันกดตัด 0.50 kgf/cm^2	ความดันกดตัด 0.52 kgf/cm^2	ความดันกดตัด 0.55 kgf/cm^2
4.0	234,000	201,934	191,580
4.5	255,700	281,125	240,200
5.0	310,177	349,529	452,714

เขียนกราฟแสดงแนวโน้มของค่าเฉลี่ยของผลการทดลองที่ความดันกดตัดต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 จากกราฟดังกล่าวสังเกตได้ว่าเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัดมีค่ามากขึ้นจะต้องใช้ความดันกดตัดที่สูงขึ้น โดยใบมีดตัดขนาด 4.0 มิลลิเมตรควรใช้ขนาดความดันกดตัดที่ 0.50 kgf/cm^2 ใบมีดตัดขนาด 4.5 มิลลิเมตรควรใช้ความดันกดตัดที่ 0.52 kgf/cm^2 และใบมีดตัดขนาด 5.0 มิลลิเมตรควรใช้ความดันกดตัดที่ 0.55 kgf/cm^2 จะให้ระยะทางการใช้งานใบมีดตัดได้สูงที่สุด

รูปที่ 4.3 กราฟระหว่างความดันกดตัดและระยะทางเฉลี่ยของใบมีดตัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน



จากผลข้อมูลได้ทำการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติของชุดข้อมูลจากการทดลองเพื่อทดสอบถึงความมีนัยสำคัญของตัวแปรที่ทดสอบในการตัดตามแนวขวางการไหล ในที่นี้จะใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการวิเคราะห์ผลดังแสดงในภาคผนวก ฉ. ผลที่ได้พบว่าค่า P-Value ของ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความดันที่ใช้กดตัดมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงว่าผลของระยะทางการใช้งานต่อความดันที่ใช้กดตัดกับขนาดของใบมีดตัดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการทดลองสามารถสรุปสภาวะการตั้งค่าความดันกดที่เหมาะสมที่ให้ระยะทางการตัดสูงที่สุดของใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0, 4.5 และ 5.0 มิลลิเมตร คือ

ใบมีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 มิลลิเมตร ใช้ความดันกดตัดที่ 0.50 kgf/cm^2 ใช้ระยะทางเฉลี่ย 234,000 นิ้ว

ใบมีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 มิลลิเมตร ใช้ความดันกดตัดที่ 0.52 kgf/cm^2 ใช้ระยะทางเฉลี่ย 281,125 นิ้ว

ใบมีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.0 มิลลิเมตร ใช้ความดันกดตัดที่ 0.55 kgf/cm^2 ใช้ระยะทางเฉลี่ย 452,714 นิ้ว

จากนั้นทำการทดลองเก็บผลระยะการใช้งานการตัดของใบมีดตัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.6, 4.7, 4.8 และ 4.9 มิลลิเมตร เนื่องจากในงานวิจัยนี้ทำการเก็บข้อมูลที่ได้จากกระบวนการผลิตจริง ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตที่มีความต่อเนื่อง และต้องทำการทดลองใช้งานใบมีดตัดจนกระทั่งใบมีดตัดหมดสภาพการตัดและเริ่มเกิดของเสียขึ้นจึงทำการเก็บข้อมูลระยะทางใช้งานที่ได้ ส่งผลให้ในการเก็บข้อมูลแต่ละครั้งมีความสูญเสียเกิดขึ้นค่อนข้างมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการลดความสูญเสียจากการทดลอง จะทำการทดลองโดยใช้ช่วงความดันที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในครั้งแรกเป็นตัวช่วยในการจำกัดช่วงการทดลองความดันกดตัดในแต่ละขนาดของใบมีดตัด โดยในการทดลองที่ขนาดใบมีดตัดที่ 4.1 – 4.4 มิลลิเมตรจะใช้ความดันกดตัดทดลองที่ 0.50 และ 0.52 kgf/cm^2 และในส่วนของขนาดใบมีดตัดที่ 4.6 – 4.9 มิลลิเมตรใช้ความดันกดตัดทดลองที่ 0.52 และ 0.55 kgf/cm^2 โดยในขนาดใบมีดตัดที่ 4.6 และ 4.9 มิลลิเมตรนั้นให้ทำการทดลองที่ความดันกดตัด 0.50 kgf/cm^2 ด้วยเพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลช่วงระยะการใช้งานความดันกดตัดที่เหมาะสม จากนั้นนำผลที่ได้ทั้งหมดรวมกับผลที่เก็บในการทดลองครั้งแรกที่ผ่านมา รวมในตารางที่ 3.2 ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.3 และนำผลการทดลองระยะการตัดเฉลี่ยในแต่ละชุดข้อมูลรวมในตารางที่ 3.5 แสดงดังตารางที่ 4.4 ที่แสดงผลระยะการใช้งานการตัดเฉลี่ยตามแนวขวางการไหลรวมของใบมีดตัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ

ตารางที่ 4.3 ผลระยะใช้งานการตัดตามแนวขวางการไหลรวมของใบมีดตัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางการใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)					
	ความดันกดตัด 0.50 kgf/cm^2		ความดันกดตัด 0.52 kgf/cm^2		ความดันกดตัด 0.55 kgf/cm^2	
	ผลการทดลองครั้งที่ 1	ผลการทดลองครั้งที่ 2	ผลการทดลองครั้งที่ 1	ผลการทดลองครั้งที่ 2	ผลการทดลองครั้งที่ 1	ผลการทดลองครั้งที่ 2
5.0	305,136	315,217	356,016	343,041	452,972	452,455
4.9	240,140	239,960	254,208	240,020	355,200	381,568
4.8			252,000	253,890	290,116	290,162
4.7			289,550	288,033	236,800	234,295
4.6	200,724	174,574	289,532	284,295	230,580	241,920
4.5	251,000	260,400	283,875	278,375	251,000	229,400
4.4	150,680	151,444	243,296	210,724		
4.3	239,724	239,140	190,140	174,574		
4.2	234,788	239,352	125,312	151,696		
4.1	232,376	231,696	129,572	133,748		
4.0	223,200	244,800	201,252	202,616	198,648	184,512

จากผลการทดลองครั้งที่ 1 ที่แสดงผลระยะการใช้งานการตัดเฉลี่ยตามแนวขวางการไหลของใบมีดตัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 นำชุดข้อมูลในตารางป้อนลงในโปรแกรม Minitab Ver.15 เพื่อทำการหาสมการความสัมพันธ์ของตัวแปร โดยกำหนดระยะทางการใช้งานเป็นตัวแปรตาม ส่วนความดันลมของหัวกดใบมีดตัด และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดตัดเป็นตัวแปรอิสระ จะได้สมการความสัมพันธ์ของตัวแปรระหว่างระยะทางการตัด ความดันลมของหัวกดใบมีดตัด และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดตัด ซึ่งเป็นสมการทำนายระยะทางการใช้งานใบมีดตัดของการตัดตามแนวขวางการไหล ดังแสดงในสมการที่ 4.1

$$S = 14{,}652{,}776 - 3{,}723{,}811\ D - 24{,}719{,}888\ P + 211{,}084\ D^2 + 7{,}685{,}616\ P^2 + 3{,}769{,}327\ D{*}P \qquad \text{(สมการที่ 4.1)}$$

โดยกำหนดตัวแปร D คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดตัด หน่วยมิลลิเมตร

P คือความดันกดตัดหน่วย kgf/cm^2

S คือระยะทางการตัด

สมการที่ได้มีค่า R-Sq = 70.66% , R-Sq(adj) = 63.67%

จากผลข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งแรกนั้นได้ทำการนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการ Stepwise ซึ่งเป็นขั้นตอนการทดสอบตัวแปรที่เหมาะสมที่จะอยู่ในสมการการถดถอย ในที่นี้จะใช้โปรแกรม SPSS ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังแสดงผลการวิเคราะห์ในภาคผนวก ฉ. โดยพบว่าเมื่อใช้วิธีการทาง Stepwise ในการทดสอบจะพบว่าค่าที่ได้จากวิธีการ Stepwise ผลที่ได้จากการเลือกตัวแปรทั้ง 5 ประเภท จากตัวแบบ ตัวแปรที่ทำการเลือกคือตัวแปรผลร่วมของขนาดความดันกดตัดกับขนาดของใบมีดตัดเป็นตัวแปรในการทำนายผล โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 50.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าผลจากสมการถดถอยที่รวมพจน์ทั้งหมดไว้ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสมการที่รวมผลของตัวแปรทุกแบบให้ผลการทำนายระยะทางได้แม่นยำที่สุด

ตารางที่ 4.4 แสดงผลระยะการใช้งานการตัดเฉลี่ยตามแนวขวางการไหลของใบมีดตัด

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางการใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)		
	ความดันกดตัด 0.50 kgf/cm^2	ความดันกดตัด 0.52 kgf/cm^2	ความดันกดตัด 0.55 kgf/cm^2
5.0	310,177	349,529	452,714
4.9	240,050	247,114	368,384
4.8		252,945	290,139
4.7		288,792	235,548
4.6	187,649	286,914	236,250
4.5	255,700	281,125	240,200
4.4	151,062	227,010	
4.3	239,432	182,357	
4.2	237,070	138,504	
4.1	232,036	131,660	
4.0	234,000	201,934	191,580

ทำการแทนค่าของตัวแปรลงในสมการเพื่อหาระยะทางที่ได้จากสมการทำนายระยะทางการตัด ดังแสดงในตารางที่ 4.5 เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ 4.5 ผลระยะทางการตัดที่ได้จากสมการทำนายระยะทางการใช้งานใบมีดตัดตามแนวขวางการไหล

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ความดันกดตัด (kgf/cm^2)	ระยะทางการใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)
5.0	0.55	405,431
4.9	0.55	361,526
4.8	0.55	321,842
4.7	0.52	249,794
4.6	0.52	229,862
4.5	0.52	214,151
4.4	0.52	202,663
4.3	0.50	208,845
4.2	0.50	213,338
4.1	0.50	222,053
4.0	0.50	234,990

จากนั้นทำการทดลองซ้ำครั้งที่ 2 เพื่อทดสอบความแม่นยำจากสมการทำนายที่ได้โดยทำการทดลองเก็บผลระยะการใช้งานของใบมีดตัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0, 4.1, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 โดยใช้ความดันกดตัดทดลองที่ 0.50 และ 0.52 kgf/cm^2 และในส่วนของขนาดใบมีดตัดที่ 4.6, 4.8 และ 5.0 มิลลิเมตร ใช้ความดันกดตัดทดลองที่ 0.52 และ 0.55 kgf/cm^2 ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และนำผลที่ได้จากตารางที่ 4.6 มาหาผลระยะการใช้งานเฉลี่ยของใบมีดตัดขนาดต่างๆ cm^2 ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 ผลระยะการใช้งานการตัดตามแนวขวางการไหลเก็บผลครั้งที่ 2

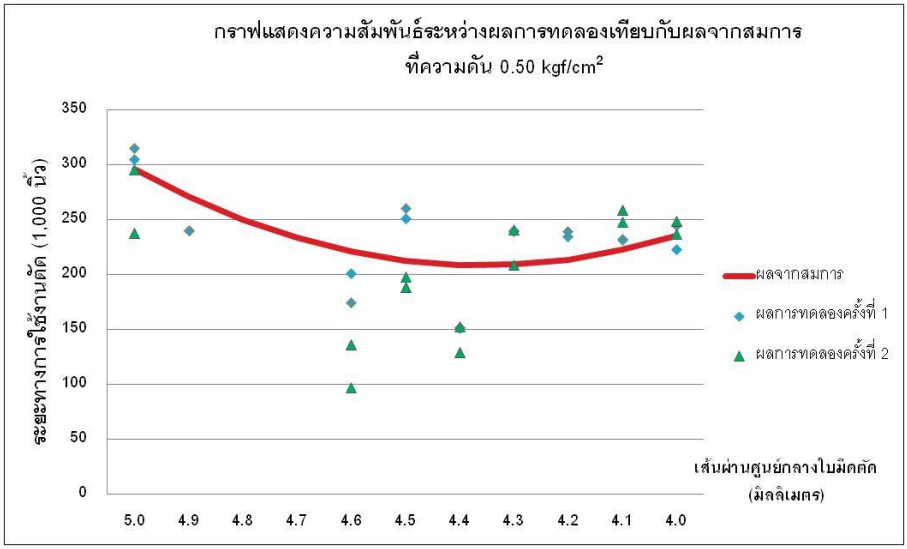
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางการใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)					
	ความดันกดตัด 0.50 kgf/cm^2		ความดันกดตัด 0.52 kgf/cm^2		ความดันกดตัด 0.55 kgf/cm^2	
	ผลการทดลองครั้งที่ 1	ผลการทดลองครั้งที่ 2	ผลการทดลองครั้งที่ 1	ผลการทดลองครั้งที่ 2	ผลการทดลองครั้งที่ 1	ผลการทดลองครั้งที่ 2
5.0			374,850	358,644	402,948	406,060
4.8			209,715	186,235	290,715	288,526
4.6	97,112	136,017	308,147	259,532	211,035	235,025
4.5	197,780	188,370	288,375	283,875		
4.4	152,796	129,115	253,272	260,390		
4.3	241,154	208,725	172,432	177,260		
4.1	247,812	258,664	188,370	196,664		
4.0	236,840	248,950	178,000	162,120		

ตารางที่ 4.7 ผลระยะการใช้งานใบมีดตัดเฉลี่ยเก็บผลครั้งที่ 2 ของการตัดตามแนวขวางการไหล

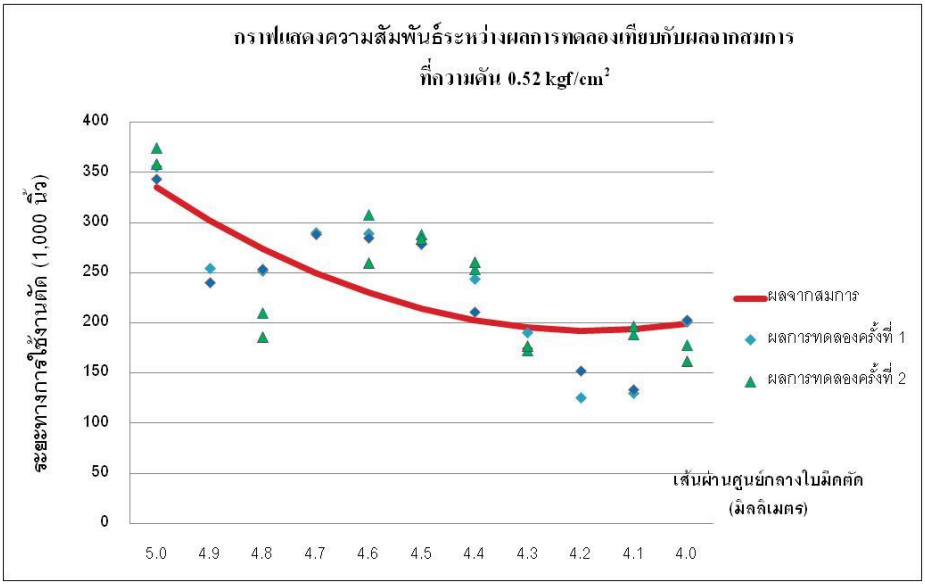
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางการใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)		
	ความดันกดตัด 0.50 kgf/cm2	ความดันกดตัด 0.52 kgf/cm2	ความดันกดตัด 0.55 kgf/cm2
5.0		366,747	404,504
4.8		197,975	289,621
4.6	116,565	283,840	223,030
4.5	193,075	286,125	
4.4	140,956	256,831	
4.3	224,940	174,846	
4.1	253,238	192,517	
4.0	242,895	170,060	

นำข้อมูลที่ได้จากสมการทำนายระยะทางการใช้งานใบมีดตัด เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 ที่สุ่มทำการทดลองเพื่อยืนยันผล ด้วยกราฟแสดงความสัมพันธ์ของขนาดใบมีดตัดต่างกับระยะทางเฉลี่ยที่ใช้ในการตัดจากผลการทดลองเทียบกับค่าที่ได้จากสมการทำนายระยะทางการใช้งานใบมีดตัด ความดันกดที่ใช้ในการตัด 0.50, 0.52 และ 0.55 kgf/cm^2 ของการตัดตามแนวขวางการไหล ดังแสดงในรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

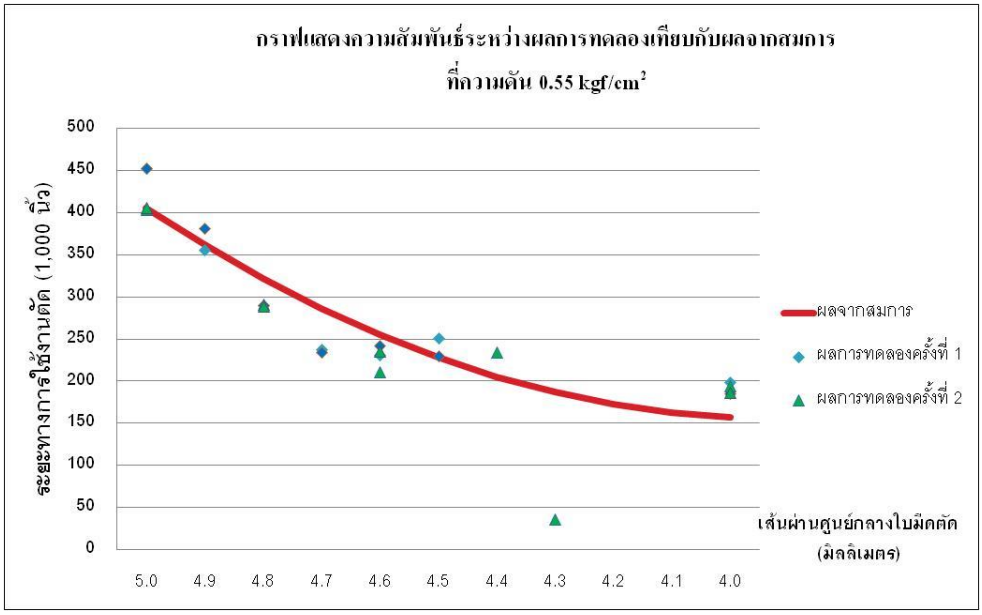
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของขนาดใบมีดตัดกับระยะทางเฉลี่ยในการตัดจากผลการทดลอง เทียบกับค่าจากสมการทำนายระยะทางการใช้งานใบมีดตัด ที่ความดันกดตัด 0.50 kgf/cm^2



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของขนาดใบมีดตัดกับระยะทางเฉลี่ยในการตัดจากผลการทดลอง เทียบกับค่าจากสมการทำนายระยะทางการใช้งานใบมีดตัด ที่ความดันกดตัด 0.52 kgf/cm^2



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของขนาดใบมีดตัดกับระยะทางเฉลี่ยในการตัดจากผลการทดลองครั้งที่ 2 เทียบกับค่าจากสมการทำนายระยะทางการใช้งานใบมีดตัด ที่ความดันกดตัด 0.55 kgf/cm^2



จากรูปที่ 4.4 – 4.6 ข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ช่วงความดันกดตัดที่เหมาะสมกับขนาดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ใบมีดตัดที่ให้ระยะทางการตัดที่สูงที่สุด คือ

ใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด 4.0 – 4.3 มิลลิเมตร ควรใช้ความดันกดตัดที่ 0.50 kgf/cm^2

ใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด 4.4 – 4.7 มิลลิเมตร ควรใช้ความดันกดตัดที่ 0.52 kgf/cm^2

ใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด 4.8 – 5.0 มิลลิเมตร ควรใช้ความดันกดตัดที่ 0.55 kgf/cm^2

ทำการเปรียบเทียบผลระยะทางการตัดที่ได้จากสมการทำนายระยะทางการตัดของใบมีดตัดที่สภาวะความดันกดตัด กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดตัดที่เหมาะสม กับผลการทดลองครั้งที่ 1 และ ผลการทดลองสุ่มยืนยันผลในครั้งที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 4.8

จากตารางที่ 4.8 จะพบว่าค่าที่ได้จากสมการทำนายระยะทางการใช้งานใบมีดตัดในบางจุดยังมีค่าคลาดเคลื่อน (Error) ที่สูงกว่าค่าที่ได้จากผลการทดลอง โดยมีค่าคลาดเคลื่อนจากสมการที่มีค่าสูงกว่าการทดลองจริงมากที่สุดคือที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจส่งผลกระทบให้เกิดความสูญเสียในระหว่างการใช้งานได้หากใช้ค่าที่ได้จากสมการโดยตรง ดังนั้นเพื่อให้ค่าระยะทางการตัดที่จะนำไปใช้มีความปลอดภัยและมั่นใจได้ว่าจะไม่มีการใช้ใบมีดตัดที่หมดอายุในกระบวนการตัด จะทำการปรับลดค่าระยะทางการใช้งานใบมีดตัดที่ได้จากสมการทำนายระยะทางการตัดลง 12 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และแสดงในรูปกราฟความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆดังแสดงในรูปที่ 4.7

การปรับค่าลงที่ 12 เปอร์เซ็นต์ เพื่อที่ให้ระยะทางที่ได้จากสมการทำนายที่จะนำไปใช้งานมีค่าไม่สูงเกินกว่าค่าที่ได้จากการทดลอง และที่ไม่ปรับค่าลงสูงกว่านี้เนื่องจากจะทำให้เสียโอกาสในการใช้งานใบมีดตัดไปมาก ซึ่งทำให้เป็นการใช้ใบมีดตัดได้อย่างไม่คุ้มค่า

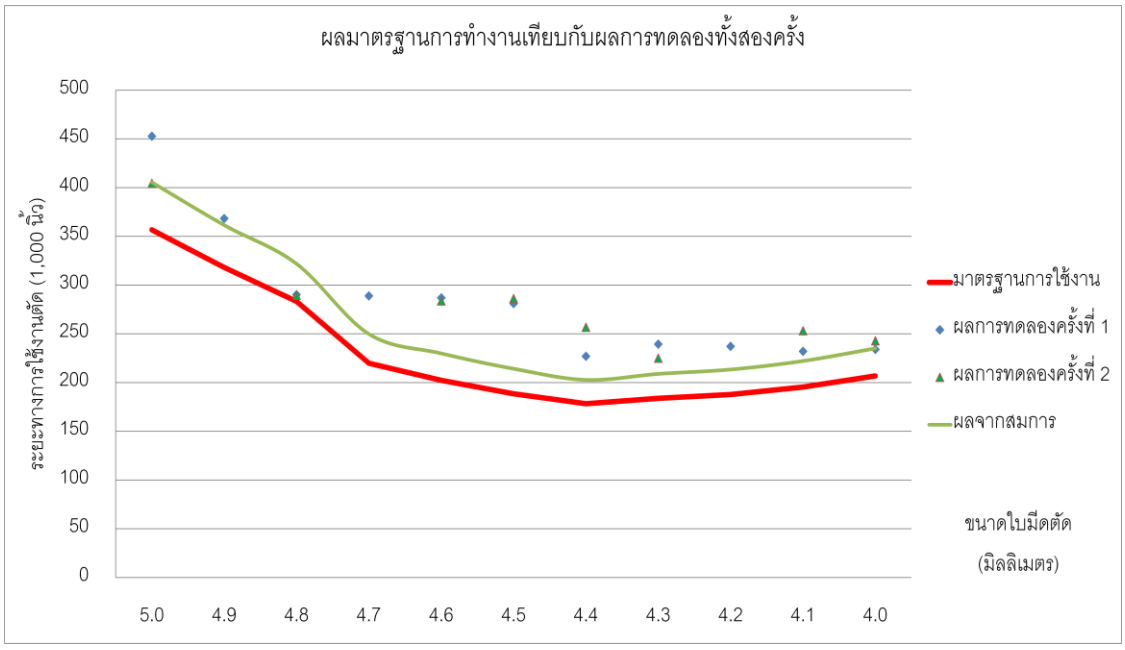
ตารางที่ 4.8 ผลระยะทางการตัดที่ได้จากสมการทำนายที่สภาวะความดันกดตัด กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของใบมีดตัดที่เหมาะสม กับผลการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2

ขนาดใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ความดันกดตัดใช้งาน (kgf/cm^2)	ระยะทางการตัด (นิ้ว)			ผลความคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)	
		ผลที่ได้จากสมการ	ผลการทดลองครั้งที่ 1	ผลการทดลองครั้งที่ 2	จากสมการเทียบกับการทดลองครั้งที่ 1	จากสมการเทียบกับการทดลองครั้งที่ 2
5.0	0.55	405,431	452,714	404,504	10.4	0.2
4.9	0.55	361,526	368,384		1.9	
4.8	0.55	321,842	290,139	289,621	10.9	10.0
4.7	0.52	249,794	288,792		13.5	
4.6	0.52	229,862	286,914	283,840	19.9	23.5
4.5	0.52	214,151	281,125	286,125	23.8	33.6
4.4	0.52	202,663	227,010	256,831	10.7	26.7
4.3	0.50	208,845	239,432	224,940	12.8	7.7
4.2	0.50	213,338	237,070		10.0	
4.1	0.50	222,053	232,036	253,238	4.3	14.0
4.0	0.50	234,990	234,000	242,895	0.4	3.4

ตารางที่ 4.9 ผลระยะทางการตัดที่ได้จากสมการทำนายเทียบกับค่าที่ถูกปรับลดลงจากสมการ 12 เปอร์เซ็นต์

เส้นผ่านศูนย์กลางมีดตัด (มิลลิเมตร)	ความดันกดตัดใช้งานที่เหมาะสม (kgf/cm^2)	ระยะทางการตัดจากสมการทำนายระยะการตัด (นิ้ว)	ระยะทางการตัดจากสมการทำนายระยะการตัดที่ปรับค่าลง 12 เปอร์เซ็นต์ (นิ้ว)
5.0	0.55	405,431	356,779
4.9	0.55	361,526	318,143
4.8	0.55	321,842	283,221
4.7	0.52	249,794	219,819
4.6	0.52	229,862	202,278
4.5	0.52	214,151	188,453
4.4	0.52	202,663	178,343
4.3	0.50	208,845	183,784
4.2	0.50	213,338	187,738
4.1	0.50	222,053	195,407
4.0	0.50	234,990	206,791

รูปที่ 4.7 กราฟผลระยะทางการตัดที่ได้จากสมการทำนาย กับผลการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 และค่าที่ปรับลดจากสมการทำนายระยะการใช้งานการตัด



เมื่อพิจารณาจากสภาพการทำงานจริงกระบวนการผลิตกระจกแผ่นเรียบนั้นเป็นกระบวนการผลิตที่มีความต่อเนื่อง และพนักงานที่ทำหน้าที่ควบคุมการตัดก็มีหน้าที่ในการทำงานอื่นๆ ซึ่งอาจเป็นงานแก้ไขที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพในด้านอื่นๆ ส่งผลให้ไม่สามารถทำการเปลี่ยนใบมีดได้ตามเวลาที่กำหนด ดังนั้นเพื่อให้สามารถรองรับกรณีที่ไม่คาดคิดที่อาจเกิดขึ้น และไม่ทำให้เกิดการใช้ใบมีดตัดที่หมดอายุการใช้งานในกระบวนการผลิตจะทำการเผื่อช่วงระยะการใช้งานใบมีดตัดจากสมการทำนายระยะการตัดที่ปรับค่าลง 12 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นอีก 2 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเป็นเวลาเผื่อให้พนักงานสามารถมาทำการเปลี่ยนใบมีดที่ใช้ในการตัดตามแนวขวางได้ก่อนที่จะมีการสูญเสียเกิดขึ้น ซึ่งค่าที่เพิ่มขึ้นมานั้นมีค่าไม่เกินกว่าค่าที่ได้จากผลการทดลองในแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดตัดดังแสดงในรูปที่ 4.8

เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้งานจะทำการแปลงค่าระยะทางการตัดในรูปของหน่วยนิ้ว ให้อยู่ในรูปของหน่วยเวลา เพื่อให้พนักงานผู้ปฏิบัติงานทั่วไปสามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้น โดยการแปลงหน่วยในรูปของเวลาสามารถทำได้ดังแสดง

การคำนวณความเร็วในการตัดตามแนวขวางการไหล กรณีที่ตัดกระจกขนาด 57.5x38.53 นิ้ว ที่ความเร็วในการไหลของกระจก 890 เมตรต่อชั่วโมง กระจกถูกดึงมากว้าง 118 นิ้ว จำนวนแผ่นที่ต้องตัดเท่ากับ 2,047 แผ่น ใช้จำนวนเครื่องตัดในการตัดจำนวน 2 ตัวพร้อมกันในการผลิต จากตัวอย่างข้างต้นในการตัด 1 ครั้ง จะได้จำนวนกระจก 2 แผ่น คิดจากขนาดด้านตัดตามแนวขวางการไหลคือ 38.53 นิ้ว และขนาดด้านตัดตามแนวทางการไหลคือ 57.5 นิ้ว คือตัดกระจกได้ 115 นิ้ว ส่วนที่เหลือคือเศษที่ทำการทิ้งไป

แปลงหน่วยความเร็วในการไหลของกระจก 890 x 1,000 / 25.4 = 35,039 นิ้วต่อชั่วโมง

ระยะทางที่ตัดของใบมีดตัดแต่ละใบ = จำนวนแผ่น x ความกว้างกระจกที่ตัด / จำนวนเครื่องตัดที่ใช้

= 2,047 x 118 / 2 = 120,756 นิ้ว

$$\text{ความเร็วในการตัดตามแนวขวาง} = \frac{\text{ความเร็วในการไหลของกระจก} \times \text{ความกว้างกระจกที่ตัด}}{\text{ขนาดด้านตัดตามแนวขวางการไหล} \times \text{จำนวนเครื่องตัดที่ใช้}}$$

$$= \frac{35{,}039 \times 118}{38.53 \times 2} = 53{,}654 \text{ นิ้วต่อชั่วโมง}$$

ซึ่งสามารถนำไปแปลงเป็นเวลาในการใช้งานใบมีดตัด โดยนำระยะทางที่ตัดของใบมีดหารด้วยความเร็วในการตัดตามแนวขวาง

$$\text{เวลาในการใช้งานใบมีดตัด} = \frac{\text{ระยะทางที่ตัดของใบมีด}}{\text{ความเร็วในการตัดตามแนวขวาง}}$$

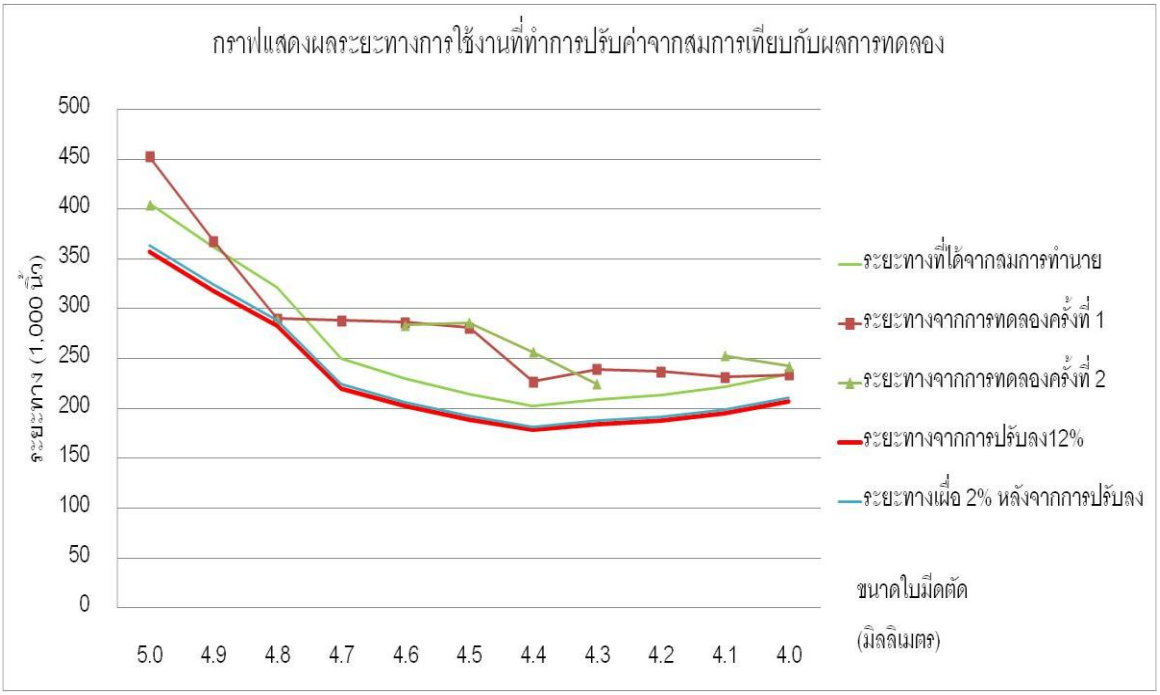
จากผลการสร้างแบบจำลองโดยนำแผนการตัดของเดือนพฤษภาคม 2555 มาทำการจำลองสภาพการตัด (ดูในหัวข้อ 5.1 การสร้างแบบจำลองทำนายการใช้งานใบมีดตัด) จะพบว่าความเร็วในการตัดตามแนวการไหลเฉลี่ยคือ 53,659 นิ้วต่อชั่วโมง ซึ่งจะนำมาใช้คำนวณเป็นเวลามาตรฐานการใช้งานใบมีดตัด

โดยเพื่อให้เป็นการมั่นใจว่าค่าที่จะนำไปใช้เป็นมาตรฐานจะไม่ก่อให้เกิดการใช้ใบมีดตัดที่หมดสภาพในกระบวนการ จะทำการปรับลดค่าจากมาตรฐาน (Round down) ในหลักสิบลง จากข้อมูลระยะทางการตัดที่ทำการปรับค่าแล้วสามารถกำหนดเป็นมาตรฐานการใช้งานใบมีดตัดได้ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ตารางมาตรฐานการใช้งานใบมีดตัดตามแนวขวางการไหล

เส้นผ่านศูนย์กลางมีดตัด (มิลลิเมตร)	ความดันกดตัด (kgf/cm^2)	ระยะทางใช้งาน (นิ้ว)	เวลาการใช้งานใบมีดตัด		ช่วงระยะการใช้งานมาตรฐาน จากการปรับค่าเผื่อ 2% (นิ้ว)	เวลารวมที่สามารถใช้งานได้ต่ออีก (นาที)
			ชั่วโมง	นาที		
5.0	0.55	356,700	6	39	356,700 - 363,800	8
4.9	0.55	318,100	5	56	318,100 - 324,400	7
4.8	0.55	283,200	5	17	283,200 - 288,800	6
4.7	0.52	219,800	4	6	219,800 - 224,100	5
4.6	0.52	202,200	3	46	202,200 - 206,200	5
4.5	0.52	188,400	3	31	188,400 - 192,100	4
4.4	0.52	178,300	3	19	178,300 - 181,800	4
4.3	0.50	183,700	3	25	183,700 - 187,300	4
4.2	0.50	187,700	3	30	187,700 - 191,400	4
4.1	0.50	195,400	3	38	195,400 - 199,300	4
4.0	0.50	206,700	3	51	206,700 - 210,800	5

รูปที่ 4.8 ผลระยะทางการใช้งานที่ทำการปรับค่าจากสมการลดลง 12% และค่าเผื่ออีก 2 % เทียบกับค่าที่ได้จากสมการทำนายระยะ และผลการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2



4.2.2 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการตัดตามแนวทางการไหล

นำผลผลการทดลองการตัดตามแนวทางการไหล เมื่อใช้ใบมีดขนาด 4.0, 4.5 และ 5.0 มิลลิเมตร โดยทำการทดลองที่ความดันกดตัด 1.5 และ 1.6 kgf/cm^2 มาสรุปรวมในตารางที่ 3.3 ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองระยะการใช้งานใบมีดตัดตามแนวทางการไหลที่ขนาด 4.0, 4.5 และ 5.0 มิลลิเมตร ที่ความดันกดตัด 1.5 และ 1.6 kgf/cm^2

จำนวนครั้งการเก็บข้อมูล	ความดันกดตัด (kgf/cm^2)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางการใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)
1	1.5	4	261,502
2	1.5	4	263,405
3	1.5	4	261,502
1	1.5	4.5	372,374
2	1.5	4.5	379,166
3	1.5	4.5	375,274
1	1.5	5	440,850
2	1.5	5	427,380
3	1.5	5	426,458
1	1.6	4	247,350
2	1.6	4	244,400
3	1.6	4	243,252
1	1.6	4.5	342,374
2	1.6	4.5	341,223
3	1.6	4.5	332,462
1	1.6	5	47,080
2	1.6	5	46,533
3	1.6	5	46,786

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.11 ได้ทำการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ฉ. ผลการวิเคราะห์ค่า P-Value ของความดันน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าการเลือกความดันที่ใช้กดตัดมีผลอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าค่าความดันที่เหมาะสมอยู่ที่ 1.5 kgf/cm^2 ซึ่งจากผลการทดลองที่ความดัน 1.6 kgf/cm^2 ให้ระยะทางการใช้งานที่ต่ำกว่าค่าความดันที่ 1.5 kgf/cm^2

ตารางที่ 4.12 ผลระยะการใช้งานการตัดตามแนวทางการไหลของใบมีดตัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.0, 4.8, 4.7, 4.5, 4.4, 4.2 และ 4.0 มิลลิเมตร

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางการตัด (นิ้ว) ที่ความดันกดตัด 1.5 kgf/cm2		
	ผลครั้งที่ 1	ผลครั้งที่ 2	ผลครั้งที่ 3
4.0	261,502	263,405	261,502
4.2	264,420	263,557	264,230
4.4	355,325	356,652	354,553
4.5	372,374	379,166	375,274
4.7	380,252	379,655	380,112
4.8	382,555	383,874	382,606
5.0	440,850	427,380	426,458

นำผลการทดลองระยะทางการตัดที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพื่อนำมาหาค่าสมการทำนายระยะทางการตัดตามแนวทางการไหล ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ผลระยะการใช้งานการตัดเฉลี่ยตามแนวทางการไหลของใบมีดตัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0, 4.2, 4.4, 4.5, 4.7, 4.8 และ 5.0 มิลลิเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ความดันกดตัด (kgf/Cm2)	ระยะทางเฉลี่ยจากการทดลอง (นิ้ว)
4.0	1.5	262,136
4.2	1.5	264,069
4.4	1.5	355,510
4.5	1.5	375,605
4.7	1.5	380,006
4.8	1.5	383,012
5.0	1.5	431,563

จากผลการทดลองเฉลี่ยครั้งที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 4.13 นำชุดข้อมูลในตารางป้อนลงในโปรแกรม Minitab Ver.15 เพื่อทำการหาสมการความสัมพันธ์ของตัวแปร โดยกำหนดระยะทางการใช้งานเป็นตัวแปรตาม และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดตัดเป็นตัวแปรอิสระ (เนื่องจากผลการทดลองพบว่าความดันที่เหมาะสม คือ 1.5 kgf/cm^2 ถือว่าเป็นค่าคงที่ จึงไม่ได้นำมาพิจารณาในสมการทำนายระยะการใช้งานการตัด) จะได้สมการความสัมพันธ์ของตัวแปรระหว่างระยะทางการตัด และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดตัด ซึ่งเป็นสมการทำนายระยะทางการใช้งานใบมีดตัดของการตัดตามแนวทางการไหล ดังแสดงในสมการที่ 4.2

ระยะทางการตัด = - 429,313 + 172,693 D (สมการที่ 4.2)

โดยกำหนดตัวแปร D คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดตัด หน่วยมิลลิเมตร

สมการที่ได้มีค่า R-Sq = 88.7% R-Sq (adj) = 88.1%

ทำการแทนค่าของตัวแปรลงในสมการเพื่อหาระยะทางที่ได้จากสมการทำนายระยะทางการตัด ดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลระยะทางการตัดที่ได้จากสมการทำนายระยะทางการใช้งานใบมีดตัดตามแนวทางการไหล

เส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	แรงดันกดตัด (kgf/Cm2)	ระยะทางจากสมการ (นิ้ว)
5.0	1.5	434,152
4.9	1.5	416,883
4.8	1.5	399,613
4.7	1.5	382,344
4.6	1.5	365,075
4.5	1.5	347,806
4.4	1.5	330,536
4.3	1.5	313,267
4.2	1.5	295,998
4.1	1.5	278,728
4.0	1.5	261,459

ทำการทดลองครั้งที่ 2 โดยการสุ่มเพื่อยืนยันผลที่ได้จากสมการทำนายระยะทางการใช้งาน ดังแสดงตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ผลระยะการใช้งานของใบมีดตัดเก็บผลครั้งที่ 2 ของการตัดตามแนวทางการไหล

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางการตัด (นิ้ว) ที่ความดันกดตัด 1.5 kgf/cm2		
	ผลครั้งที่ 1	ผลครั้งที่ 2	ผลครั้งที่ 3
4.0	268,759	309,661	290,116
4.2	277,150	263,550	
4.3	346,256	346,350	346,874
4.4	367,329	367,350	367,372
4.7	379,105	379,166	
4.8	401,530	433,105	
5.0	455,433	455,392	456,040

การเก็บผลครั้งที่ 2 พบว่ามีกระจกเกิดการปริแตกที่ขอบการตัดทำให้ผลการทดลองที่ใบมีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.2, 4.7 และ 4.8 มิลลิเมตร ได้ผลการทดลองแค่ 2 ครั้งเท่านั้น

นำผลการทดลองระยะทางการตัดที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2 หาค่าเฉลี่ยในแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบผลกับระยะทางการตัดที่ได้จากสมการทำนายระยะทางการใช้งานการตัด ดังแสดงในตารางที่ 4.16

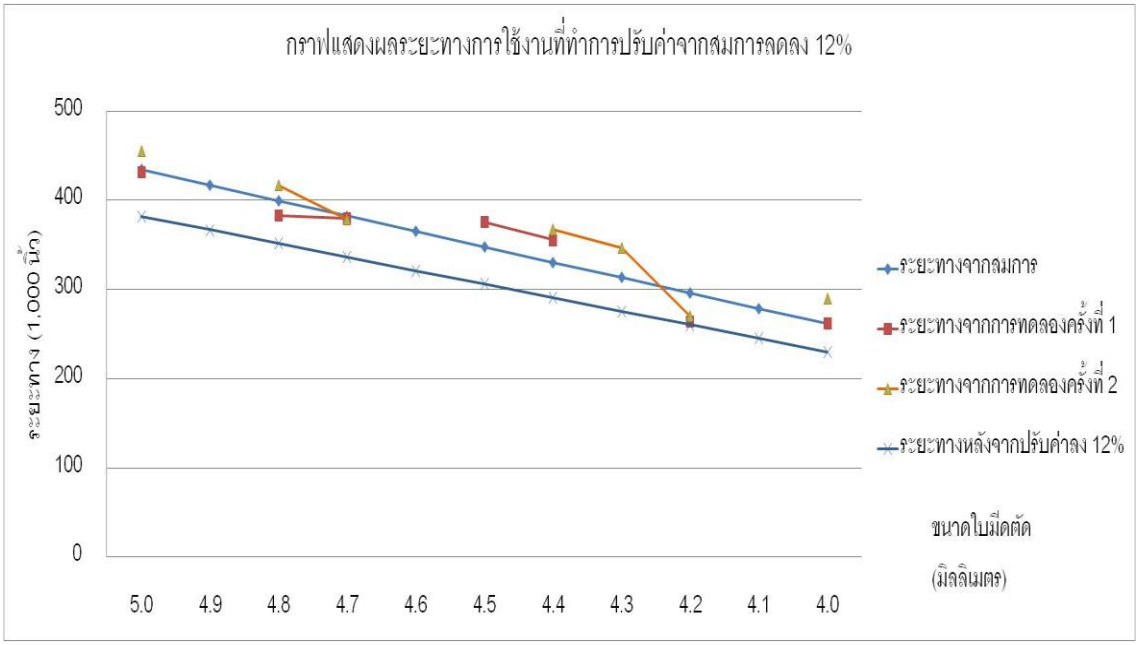
ตารางที่ 4.16 ผลระยะการใช้งานของใบมีดตัดเฉลี่ยเก็บผลครั้งที่ 2 องการตัดตามแนวทางการไหล

เส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ความดันกดตัด (kgf/Cm2)	ระยะทางเฉลี่ยจากการทดลอง (นิ้ว)
4.0	1.5	289,512
4.2	1.5	270,350
4.3	1.5	346,493
4.4	1.5	367,350
4.7	1.5	379,136
4.8	1.5	417,318
5.0	1.5	455,622

จากเหตุผลดังที่แสดงไว้ในหัวข้อกระบวนการตัดตามแนวขวางการไหล ที่ว่ากระบวนการผลิตกระจกแบบแผ่นเรียบเป็นกระบวนการผลิตที่มีความต่อเนื่อง ไม่สามารถทำการหยุดกระบวนการผลิตได้ เพื่อให้ค่าระยะ

ทางการใช้งานใบมีดตัดที่จะใช้ในกระบวนการผลิตมีค่าไม่มากกว่าค่าที่ได้จากผลการทดลอง นั่นคือสามารถเปลี่ยนใบมีดตัดในกระบวนการตัดได้ก่อนที่จะเกิดการหมดสภาพการใช้งานของใบมีดตัด อันจะส่งผลให้เกิดความสูญเสียจากการตัดเกิดขึ้นได้ จะทำการลดค่าระยะทางการใช้งานใบมีดตัดที่ได้จากสมการทำนายลง 12 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังทำการเผื่อช่วงระยะการใช้งานใบมีดตัดจากสมการทำนายระยะการตัดที่ปรับค่าลง 12 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นอีก 1 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.9

รูปที่ 4.9 ระยะทางการตัดที่ได้จากสมการทำนาย กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดตัดที่เหมาะสม กับผลการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 และค่าที่ปรับลดจากสมการทำนายระยะการใช้งานการตัดตามแนวทางการไหล



จากรูปที่ 4.9 จะพบว่าค่าที่ได้จากสมการทำนายที่มีการปรับค่าลงแล้ว ไม่เกินกว่าที่ทำการทดลองจริง เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้งานจะทำการแปลงค่าระยะทางการตัดในรูปของหน่วยนิ้ว ให้อยู่ในรูปของเวลา เพื่อให้พนักงานผู้ปฏิบัติงานทั่วไปสามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้น โดยการแปลงหน่วยให้อยู่ในรูปของเวลา ดังแสดงในตารางที่ 4.17 โดยมีวิธีการคำนวณเหมือนกับกระบวนการตัดตามแนวขวางการไหล ซึ่งสามารถแปลงเป็นเวลาในการใช้งานใบมีดตัด โดยนำระยะทางที่ตัดของใบมีดหารด้วยความเร็วในการตัดตามแนวขวาง

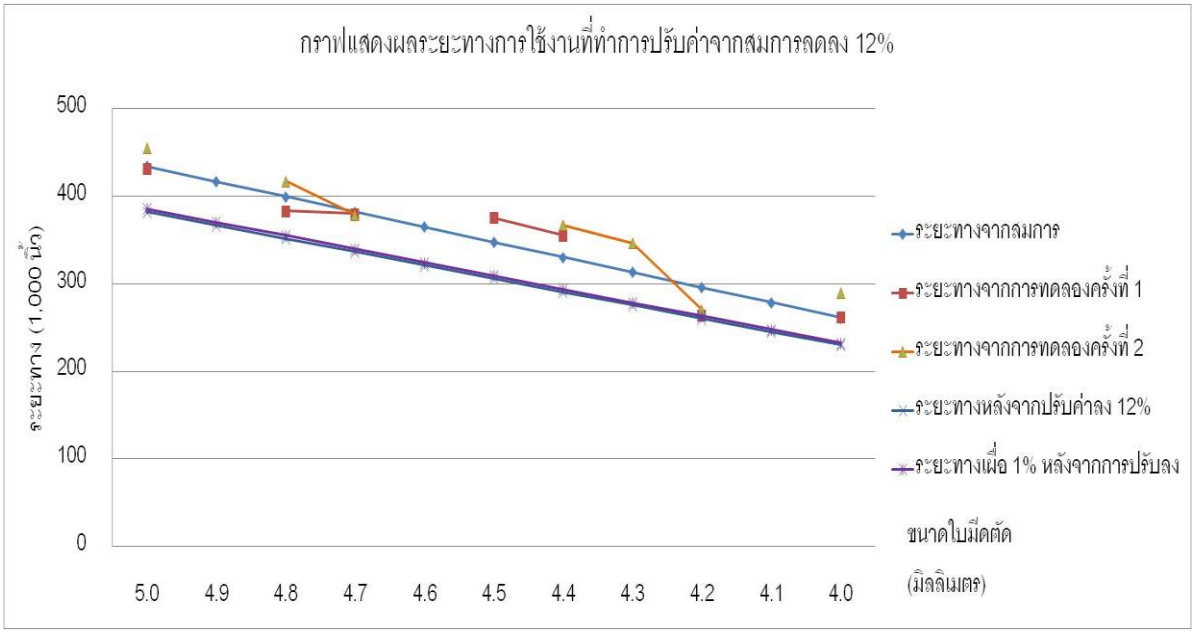
$$\text{เวลาในการใช้งานใบมีดตัด} = \frac{\text{ระยะทางที่ตัดของใบมีด}}{\text{ความเร็วในการไหลของกระจก}}$$

เพื่อให้เป็นการมั่นใจว่าค่าที่จะนำไปใช้เป็นมาตรฐานจะไม่ก่อให้เกิดการใช้ใบมีดตัดที่หมดสภาพในกระบวนการ จะทำการปรับลดค่าจากมาตรฐานในหลักสิบลงเช่นเดียวกับการตัดตามแนวขวาง และทำการกำหนดเป็นช่วงมาตรฐานการใช้งานใบมีดตัดตามแนวทางการไหลได้ตารางที่ 4.17 แสดงตารางมาตรฐานการใช้งานใบมีดตัดตามแนวทางการไหล

ตารางที่ 4.17 ตารางมาตรฐานการใช้งานใบมีดตัดตามแนวทางการไหล

เส้นผ่านศูนย์กลางมีดตัด (มิลลิเมตร)	ความดันกดตัดใช้งานที่เหมาะสม (kgf/cm^2)	ระยะทางใช้งาน (นิ้ว)	เวลาการใช้งาน		ช่วงระยะการใช้งานมาตรฐาน จากการปรับค่าเผื่อ 1% (นิ้ว)	เวลารวมที่สามารถใช้งานได้ต่ออีก (นาที)
			ชั่วโมง	นาที		
5.0	1.5	382,000	10	54	382,000 - 385,820	6.7
4.9	1.5	366,800	10	28	366,800 - 370,468	6.4
4.8	1.5	351,600	10	2	351,600 - 355,116	6.2
4.7	1.5	336,400	9	36	336,400 - 339,764	5.9
4.6	1.5	321,200	9	10	321,200 - 324,412	5.6
4.5	1.5	306,000	8	44	306,000 - 309,060	5.4
4.4	1.5	290,800	8	18	290,800 - 293,708	5.1
4.3	1.5	275,600	7	52	275,600 - 278,356	4.8
4.2	1.5	260,400	7	26	260,400 - 263,004	4.6
4.1	1.5	245,200	7	0	245,200 - 247,652	4.3
4.0	1.5	230,000	6	34	230,000 - 232,300	4.0

รูปที่ 4.10 ระยะทางการใช้งานที่ทำการปรับค่าจากสมการลดลง 12% และค่าเผื่ออีก 1 % เทียบกับค่าที่ได้จากสมการทำนายระยะ และผลการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2



4.3 การพิจารณาค่าเวลาการใช้งานใบมีดตัด

จากที่ได้ทำการปรับค่ามาตรฐานระยะการใช้งานใบมีดตัดให้อยู่ในรูปของเวลา เพื่อให้พนักงานนำไปปฏิบัติงานได้ และเป็นการง่ายต่อการนำไปใช้งาน จะพิจารณาการปรับปรุงเวลาการใช้งานใบมีดตัดให้อยู่ในรูปของช่วงเวลาที่ง่ายต่อการจดจำและนำไปใช้งาน โดยในงานวิจัยนี้จะทำการปัดค่าจำนวนนาทีใช้งานลงให้อยู่ในช่วงเวลา 15, 30, 45 และ 60 นาที ซึ่งหมายความว่ากำหนดเวลามาตรฐานการเปลี่ยนใบมีดตัดให้อยู่ในช่วงเวลา 15 นาที ดังแสดงในตารางที่ 4.18 แสดงเวลาการใช้งานการตัดตามแนวขวางการไหลที่ทำการปรับปรุง และตารางที่ 4.19 แสดงเวลาการใช้งานการตัดตามแนวทางการไหลที่ทำการปรับปรุง

ตารางที่ 4.18 เวลาการใช้งานการตัดตามแนวขวางการไหลที่ทำการปรับปรุง

เส้นผ่านศูนย์กลางมีดตัด (มิลลิเมตร)	ความดันกดตัดใช้งานที่เหมาะสม (kgf/cm^2)	ระยะทางใช้งาน (นิ้ว)	เวลาการใช้งานใบมีด			เวลาการใช้งานใบมีดปรับปรุง		
			ชั่วโมง	นาที	เวลาการใช้งานรวม (นาที)	ชั่วโมง	นาที	เวลาการใช้งานรวม (นาที)
5.0	0.55	356,700	6	39	399	6	30	390
4.9	0.55	318,100	5	56	356	5	45	345
4.8	0.55	283,200	5	17	317	5	15	315
4.7	0.52	219,800	4	6	246	4	0	240
4.6	0.52	202,200	3	46	226	3	45	225
4.5	0.52	188,400	3	31	211	3	30	210
4.4	0.52	178,300	3	19	199	3	15	195
4.3	0.50	183,700	3	25	205	3	15	195
4.2	0.50	187,700	3	30	210	3	30	210
4.1	0.50	195,400	3	38	218	3	30	210
4.0	0.50	206,700	3	51	231	3	45	225

ตารางที่ 4.19 เวลาการใช้งานการตัดตามแนวทางการไหลที่ทำการปรับปรุง

เส้นผ่านศูนย์กลางมีดตัด (มิลลิเมตร)	ความดันกดตัดใช้งานที่เหมาะสม (kgf/cm^2)	ระยะทางใช้งาน (นิ้ว)	เวลาการใช้งานใบมีด			เวลาการใช้งานใบมีดปรับปรุง		
			ชั่วโมง	นาที	เวลาการใช้งานรวม (นาที)	ชั่วโมง	นาที	เวลาการใช้งานรวม (นาที)
5.0	1.5	382,000	10	54	654	10	45	645
4.9	1.5	366,800	10	28	628	10	15	615
4.8	1.5	351,600	10	2	602	10	0	600
4.7	1.5	336,400	9	36	576	9	30	570
4.6	1.5	321,200	9	10	550	9	0	540
4.5	1.5	306,000	8	44	524	8	30	510
4.4	1.5	290,800	8	18	498	8	15	495
4.3	1.5	275,600	7	52	472	7	45	465
4.2	1.5	260,400	7	26	446	7	15	435
4.1	1.5	245,200	7	0	420	7	0	420
4.0	1.5	230,000	6	34	394	6	30	390

ทำการวิเคราะห์ผลจากการปรับเวลาการใช้งานให้อยู่ในรูปเวลาที่ง่ายขึ้นต่อการนำไปปฏิบัติงาน โดยทำการวิเคราะห์ในรูปของจำนวนใบมีดตัดที่ใช้งานในเวลา 1 เดือน หรือเวลา 30 วัน เท่ากับ 43,200 นาที และเปรียบเทียบผลที่ได้จากเวลาการใช้งานแบบเดิมกับเวลาการใช้งานแบบปรับปรุง ทั้งแนวการตัดตามแนวขวางการไหล และการตัดตามแนวทางการไหล ดังแสดงในตารางที่ 4.20 และ ตารางที่ 4.21 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.20 ความแตกต่างของจำนวนใบมีดใช้งานการตัดตามแนวขวางการไหล

เส้นผ่านศูนย์กลางมีดตัด (มิลลิเมตร)	เวลาการใช้งานใบมีด		เวลาการใช้งานใบมีดปรับปรุง		ความแตกต่างของจำนวนใบมีดใช้งานจากการปรับค่าในเวลา 30 วัน	เปอร์เซ็นต์การใช้งานใบมีดที่เพิ่มขึ้น
	เวลาการใช้ใบมีดรวม (นาที)	จำนวนใบมีดที่ต้องใช้ใน 30 วัน	เวลาการใช้ใบมีดรวม (นาที)	จำนวนใบมีดที่ต้องใช้ใน 30 วัน		
5.0	399	109	390	111	2.00	1.83
4.9	356	122	345	125	3.00	2.46
4.8	317	137	315	137	0.00	0.00
4.7	246	178	240	180	2.00	1.12
4.6	226	191	225	192	1.00	0.52
4.5	211	205	210	206	1.00	0.49
4.4	199	217	195	222	5.00	2.30
4.3	205	211	195	222	11.00	5.21
4.2	210	206	210	206	0.00	0.00
4.1	218	198	210	206	8.00	4.04
4.0	231	187	225	192	5.00	2.67

ตารางที่ 4.21 ความแตกต่างของจำนวนใบมีดใช้งานการตัดตามทางการไหล

เส้นผ่านศูนย์กลางมีดตัด (มิลลิเมตร)	เวลาการใช้งานใบมีด		เวลาการใช้งานใบมีดปรับปรุง		ความแตกต่างของจำนวนใบมีดใช้งานจากการปรับค่าในเวลา 30 วัน	จำนวนเปอร์เซ็นต์การใช้งานที่เพิ่มขึ้น
	เวลาการใช้ใบมีดรวม (นาที)	จำนวนใบมีดที่ต้องใช้ใน 30 วัน	เวลาการใช้ใบมีดรวม (นาที)	จำนวนใบมีดที่ต้องใช้ใน 30 วัน		
5.0	654	66	645	67	1	1.52
4.9	628	69	615	70	1	1.45
4.8	602	72	600	72	0	0.00
4.7	576	75	570	76	1	1.33
4.6	550	79	540	80	1	1.27
4.5	524	83	510	85	2	2.41
4.4	498	87	495	87	0	0.00
4.3	472	92	465	93	1	1.09
4.2	446	97	435	99	2	2.06
4.1	420	103	420	103	0	0.00
4.0	394	110	390	111	1	0.91

จากผลที่ได้พบว่าเมื่อทำการปรับลดค่าเวลาการใช้งานมาตรฐานการเปลี่ยนใบมีดตัดให้อยู่ในช่วงเวลา 15 นาที จะส่งผลให้ในระยะเวลา 1 เดือนต้องทำการใช้งานใบมีดตัดเพิ่มขึ้น โดยในกรณีการตัดตามแนวขวางการไหลมีค่าการใช้งานใบมีดตัดเพิ่มขึ้นสูงสุดหลังจากการปรับเวลาการใช้งานที่ 5.21 เปอร์เซ็นต์ ที่ขนาดใบมีดตัดที่ 4.3 มิลลิเมตร และในกรณีการตัดตามแนวทางการไหลมีค่าการใช้งานใบมีดตัดเพิ่มขึ้นสูงสุดหลังจากการปรับเวลาการใช้งานที่ 2.41 เปอร์เซ็นต์ ที่ขนาดใบมีดตัดที่ 4.5 มิลลิเมตร ซึ่งในการใช้งานมาตรฐานการทำงานแบบการปรับปรุงค่าเวลานี้ ขึ้นอยู่กับการตัดสินใจว่าจะทำการเลือกใช้มาตรฐานการใช้งานแบบทำการปรับปรุงเวลาหรือไม่ทำการปรับปรุงเวลาของผู้ที่ทำการควบคุมการใช้งานใบมีดตัด

4.4 สรุปผลการวิเคราะห์ที่ได้

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้พบว่า ในการตัดตามแนวขวางการไหลซึ่งเป็นการตัดแบบมีการเคลื่อนที่ของใบมีดตัด เมื่อใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัดในการตัดที่มีขนาดใหญ่ขึ้น จะส่งผลกระทบให้ต้องใช้ความดันในการกดตัดที่เหมาะสมเพิ่มสูงขึ้น โดยสามารถสรุปได้ว่า ช่วงความดันกดตัดที่เหมาะสมกับขนาดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ใบมีดตัดที่ให้ระยะทางการตัดที่สูงที่สุด คือ

ใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด 4.0 – 4.3 มิลลิเมตร ควรใช้ความดันกดตัดที่ 0.50 kgf/cm^2

ใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด 4.4 – 4.7 มิลลิเมตร ควรใช้ความดันกดตัดที่ 0.52 kgf/cm^2

ใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด 4.8 – 5.0 มิลลิเมตร ควรใช้ความดันกดตัดที่ 0.55 kgf/cm^2

และค่าที่ได้จากสมการทำนายระยะทางการตัดมีความจำเป็นที่ต้องทำการปรับค่าลดลง เพื่อให้มั่นใจได้ว่าค่าที่นำไปใช้เป็นมาตรฐานจะไม่ทำให้เกิดการใช้ใบมีดตัดที่หมดสภาพในกระบวนการตัดเกิดขึ้น ในส่วนของการตัดตามแนวทางการไหลซึ่งเป็นการตัดแบบคงที่ต่อเนื่อง จะส่งผลให้ใบมีดตัดที่ใช้งานมีอายุการใช้งานที่มากกว่าใบมีดตัดตามแนวขวางการไหล โดยมีค่าความดันกดตัดในการตัด คือ 1.5 kgf/cm^2 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้

บทที่ 5

การสร้างมาตรฐานการทำงานของพนักงานควบคุมการตัด

จากการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น ได้พบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดการใช้ใบมีดตัดที่หมดสภาพการตัดในกระบวนการ อันส่งผลให้เกิดการสูญเสียจากรอยการตัดเกิดขึ้น นอกจากไม่ได้มีการกำหนดมาตรฐานระยะการใช้งานใบมีดตัดในกระบวนการตัด แล้วพบว่ายังไม่ได้มีการกำหนดมาตรฐานการทำงานของพนักงานควบคุมการตัดด้วยเช่นกัน ส่งผลให้พนักงานผู้ปฏิบัติงานการควบคุมการตัดแต่ละคนมีการทำงานที่แตกต่างกัน โดยอาศัยประสบการณ์การทำงานที่ผ่านมา เป็นตัวกำหนดการใช้งานใบมีดตัด นอกจากนี้ยังไม่มีระบบการควบคุมและตรวจสอบการทำงานของพนักงานควบคุมการตัดว่าได้ปฏิบัติจริงตามที่ได้กำหนดไว้ ในบทนี้จะกล่าวถึงการกำหนดมาตรฐานการทำงานของพนักงานควบคุมการตัดเพื่อให้พนักงานผู้ปฏิบัติงานมีความเข้าใจในการทำงานที่ตรงกัน และสามารถวางแผนการใช้งานและควบคุมการใช้งานใบมีดตัด ตามแผนการตัดที่กำหนดไว้ได้

จากผลการศึกษาพบว่า ระบบการทำงานในปัจจุบัน ไม่มีมาตรฐานการควบคุมการทำงานที่ชัดเจน ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการควบคุมกระบวนการ จะทำการแก้ไขปัญหาดังนี้

5.1 การกำหนดรูปแบบการทำงานของพนักงาน

จากหัวข้อการสร้างมาตรฐานการใช้งานของใบมีดตัด เมื่อได้มาตรฐานการใช้งานของใบมีดตัดที่เหมาะสม จะทำการกำหนดใช้ในการทำงานโดยจะทำการสร้างแผนทำนายการใช้งานใบมีดตัดจากแผนการผลิตที่ได้รับขึ้น ในที่นี้จะทำการประยุกต์ใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอกเซล เวอร์ชั่น 2010 ในการช่วยสร้างโปรแกรมที่ใช้ช่วยในการป้อนข้อมูล และทำนายจำนวนใบมีดตัดที่ต้องใช้ในแต่ละกะการทำงานขึ้น โดยมีข้อมูลที่ต้องทำการป้อนเข้าไปคือ

1. ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)
2. ขนาดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว)
3. ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง)
4. ความกว้างกระจกที่ถูกดึงมาทำการตัด (นิ้ว)
5. จำนวนของหัวใบมีดตัดที่ใช้
6. จำนวนแผ่นกระจกที่ต้องตัด
7. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)
8. ระยะทางใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)

ดังแสดงในตารางที่ 5.1 แสดงตารางโปรแกรมการแบบจำลองทำนายการเปลี่ยนใบมีดตัดที่สร้างจากไมโครซอฟท์เอกเซล เวอร์ชั่น 2010 ของการตัดตามแนวขวางการไหล โดยส่วนสีเทาที่แสดงคือส่วนที่แสดงข้อมูลที่เกี่ยวข้อง และเวลาที่ต้องทำการเปลี่ยนใบมีดตัดในครั้งต่อไป และตารางแสดงโปรแกรมการทำนายใบมีดตัดของการตัดตามแนวทางการไหล ดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 แสดงตารางโปรแกรมการทำนายการเปลี่ยนใบมีดตัด ของการตัดตามแนวขวางการไหล

ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)	ขนาดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว)	ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง)	ความกว้างกระจกที่ถูกดึงมา (นิ้ว)	จำนวนของหัวใบมีดตัดที่ใช้	จำนวนแผ่นกระจกที่ต้องตัด	ระยะทางที่ต้องตัด (นิ้ว)	ความเร็วในการไหลของกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง)	ความเร็วตัดแนวขวางการไหล (นิ้วต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาในการตัดกระจก (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)	เวลาเริ่มตัด	เวลาครบยอด	เวลาเปลี่ยนใบมีด
53.00	38.00	890	118	2	812	47880	35039	54403	0.88	4.4	226500	8:00	8:52	12:09
58.34	31.34	890	118	2	2048	120815	35039	65964	1.83			8:52	10:42	-
52.95	36.97	890	118	2	1135	66959	35039	55919	1.20	4.4	226500	10:42	11:54	15:47
57.52	38.50	890	118	2	2048	120838	35039	53691	2.25			11:54	14:09	-
57.99	39.49	890	118	2	10	594	35039	52353	0.01			14:09	14:10	-
57.99	39.49	890	118	2	1509	89041	35039	52353	1.70			14:10	15:52	-
52.13	36.50	890	110	2	1968	108223	35039	52799	2.05	4.4	226500	15:52	17:55	20:17
52.13	36.50	890	110	2	1211	66599	35039	52799	1.26			17:55	19:10	-
52.13	36.50	890	110	2	5236	287987	35039	52799	5.45	4.4	226500	19:10	0:38	0:34
54.26	43.34	890	110	2	31	1682	35039	44466	0.04	4.4	226500	0:38	0:40	5:39
54.26	43.34	890	110	2	41	2246	35039	44466	0.05			0:40	0:43	-
54.26	43.34	890	110	2	41	2245	35039	44466	0.05			0:43	0:46	-
54.26	43.34	890	110	2	3674	202073	35039	44466	4.54			0:46	5:19	-
54.26	43.34	890	110	2	3827	210492	35039	44466	4.73	4.4	226500	5:19	10:03	10:45

ตารางที่ 5.2 แสดงตารางโปรแกรมการทำนายการเปลี่ยนใบมีดตัด ของการตัดตามแนวทางการไหล

ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)	ขนาดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว)	ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง)	ความกว้างกระจกที่ถูกดึงมา (นิ้ว)	จำนวนของหัวใบมีดตัดที่ใช้	จำนวนแผ่นกระจกที่ต้องตัด	ระยะที่ต้องตัด (นิ้ว)	ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาในการตัด (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)	เวลาเริ่มตัด	เวลาครบยอด	เวลาเปลี่ยนใบมีด
53.00	38.00	890	118	2	812	30838	35039	0.88	4	262000	8:00	8:52	15:28
58.34	31.34	890	118	2	2048	64176	35039	1.83			8:52	10:42	-
52.95	36.97	890	118	2	1135	41957	35039	1.20			10:42	11:54	-
57.52	38.50	890	118	2	2048	78860	35039	2.25			11:54	14:09	-
57.99	39.49	890	118	2	10	397	35039	0.01			14:09	14:10	-
57.99	39.49	890	118	2	1509	59594	35039	1.70	4	262000	14:10	15:52	22:57
52.13	36.50	890	110	2	1968	71820	35039	2.05			15:52	17:55	-
52.13	36.50	890	110	2	1211	44197	35039	1.26			17:55	19:10	-
52.13	36.50	890	110	2	5236	191118	35039	5.45	4	262000	19:10	0:38	6:25
54.26	43.34	890	110	2	31	1326	35039	0.04			0:38	0:40	-

จากการสร้างโปรแกรมแบบจำลองการทำนายที่ได้จะทำให้พนักงานสามารถทราบได้ว่าควรจะเปลี่ยนใบมีดตัด ในการตัดทั้งตามแนวขวางการไหลและตามแนวทางการไหลในช่วงเวลาใดบ้าง ทำให้ง่ายต่อการวางแผนการทำงานของพนักงานในแต่ละวัน นอกจากนี้ยังสามารถทราบถึงปริมาณการใช้ใบมีดตัดในแต่ละวันการผลิตจากแบบจำลอง ทำให้เราสามารถควบคุมปริมาณการใช้งานใบมีดตัดในแต่ละวันได้

5.2 การออกแบบการควบคุมการใช้งานใบมีดตัด

ในการทำงานปัจจุบันพนักงานผู้ปฏิบัติงานควบคุมการตัดจะทำการใช้ใบมีดตัดในกระบวนการตัดในแต่ละวัน เมื่อใบมีดตัดที่ใช้งานหมดความคมหรือรอยการตัดที่ได้จากใบมีดไม่ผ่านตามมาตรฐานที่กำหนด พนักงานก็จะทำการเปลี่ยนใบมีดตัดใหม่ และนำใบมีดตัดใบเก่าใส่ไว้ในช่องใบมีดที่ผ่านการใช้งานแล้ว เพื่อนำใบมีดนำกลับไปทำการลับคมตัดใหม่ จนใบมีดมีขนาดต่ำกว่า 4.0 มิลลิเมตร จึงจะทำการทิ้งใบมีดตัดนั้นไป โดยจากการสอบถามและตรวจสอบที่หน้าจุดงานจะพบว่าในการลับคมใบมีดตัดกระจกที่มีขนาดเล็กนั้นจะต้องใช้ทักษะในการทำงานที่ค่อนข้างสูง เพราะไม่เช่นนั้นจะทำให้การลับคมส่งผลให้ใบมีดตัดมีขนาดเล็กลง ซึ่งเป็นการสูญเสียหรือใบมีดที่ลับคมอาจเล็กลงจนไม่สามารถนำไปใช้งานได้ โดยพนักงานผู้ที่ปฏิบัติหน้าที่ในโรงงานตัวอย่างในปัจจุบันมีทักษะในการลับคมใบมีด 1 ครั้ง จะทำให้เนื้อของใบมีดหายไป 0.1 มิลลิเมตร ดังนั้นหากนำใบมีดตัดใบใหม่ขนาด 5.0 มิลลิเมตรมาใช้งาน จะสามารถนำกลับมาลับคมและใช้ใหม่ได้จำนวน 10 ครั้งด้วยกัน ซึ่งหลังจากทำการลับคมแล้ว ทางผู้ลับจะนำใบมีดที่ใบมีดนำมาไว้ในช่องใบมีดใหม่ เพื่อให้ทางผู้ปฏิบัติงานควบคุมการตัดนำไปใช้ต่อไป

ปัจจุบันพนักงานที่ลับใบมีดตัดจะทำการรวมใบมีดตัดขนาดต่างๆ ไว้ในกลัดเดียวกันก่อนส่งให้ทางผู้ปฏิบัติงานควบคุมการตัดนำไปใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ซึ่งส่งผลให้พนักงานควบคุมการตัดไม่ทราบถึงขนาดใบมีดที่จะทำการนำไปใช้งานอันส่งผลให้ ในทุกครั้งที่ทำการเปลี่ยนใบมีดจะต้องทำการปรับตั้งค่าความดันกดตัดใบมีดใหม่ทุกครั้ง ซึ่งก่อให้เกิดความสูญเสียจากรอยการตัดเกิดขึ้นกรณีที่ความดันกดตัดมีค่าไม่เหมาะสมหรือทำให้เกิดการสิ้นเปลืองการใช้

รูปที่ 5.1 ใบมีดตัดหลังผ่านการลับคมที่ถูกใส่รวมในเข็มกลัดก่อนนำไปใช้งาน

งานใบมีดตัดจากการใช้งานใบมีดตัดได้ไม่เต็มประสิทธิภาพจากการตั้งค่าความดันกดตัดที่ไม่เหมาะสมกับขนาดใบมีดตัด

ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าว จะทำการกำหนดการใช้งานใบมีดตัดในแต่ละวันการผลิตให้มีขนาดเดียวกันทั้งหมด เพื่อให้พนักงานผู้ปฏิบัติงานควบคุมการตัดสามารถทราบขนาดของใบมีดตัดที่จะทำการใช้และทำการปรับตั้งค่าความดันกดตัดที่เหมาะสมกับขนาดของใบมีดตัด ตามมาตรฐานการใช้งานใบมีดตัดที่ได้กล่าวในบทที่ 4 ดังแสดงในรูปที่ 5.2 นอกจากนี้ได้ทำการปรับปรุงแบบฟอร์มการนำส่งใบมีดตัดใหม่เพื่อให้พนักงานผู้ทำการลับลงรายละเอียดและจำนวนใบมีดตัดได้อย่างถูกต้อง ดังแสดงในตารางที่ 5.3

รูปที่ 5.2 ใบมีดตัดหลังผ่านการลับคมที่ถูกแยกขนาดเดียวกันไว้ในเข็มกลัดก่อนนำไปใช้งาน

ตารางที่ 5.3 แบบฟอร์มการนำส่งใบมีดตัดที่ปรับปรุงใหม่

วัน-เดือน-ปี	มุมใบมีด (องศา)	จำนวนใบที่นำมาลับ (ใบ)	จำนวนใบมีดที่เสีย (ใบ)	จำนวนใบมีดคงเหลือ (ใบ)	จำนวนขนาดใบมีดตัดหลังทำการลับ (ใบ)											จำนวนส่งใบมีดรวม (ใบ)	ผู้รับ	ผู้จ่าย	หมายเหตุ
					5.0	4.9	4.8	4.7	4.6	4.5	4.4	4.3	4.2	4.1	4.0				

5.3 การติดตามการทำงานของพนักงาน

เพื่อให้ระบบการทำงานสามารถตรวจสอบและควบคุมได้ จะทำการนำหลักการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการและกระบวนการต่างๆ (Visual Management) ซึ่งเป็นเครื่องมือการจัดการที่เน้นการมองเห็นด้วยสายตา มาทำการประยุกต์ใช้ในการควบคุมและแจ้งเตือนต่อพนักงาน โดยในที่นี้จะทำการสร้างตารางการเปลี่ยนใบมีดตัดที่หน้าจุดงานการตัดขึ้น เพื่อเป็นการแจ้งเตือนพนักงานที่ปฏิบัติงานให้ทราบถึงกำหนดครบรอบเวลาที่ต้องทำการเปลี่ยนใบมีดตัดใหม่ โดยมีรูปแบบของตารางการจัดการการเปลี่ยนใบมีดตัดดังแสดงในตารางที่ 5.4 และ 5.5 โดยในงานวิจัยนี้จะทำการนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่ทำงานการตัดดังแสดงในรูปที่ 5.3 และ 5.4

ตารางที่ 5.4 การติดตามการเปลี่ยนใบมีดตัดตามแนวขวางการไหล

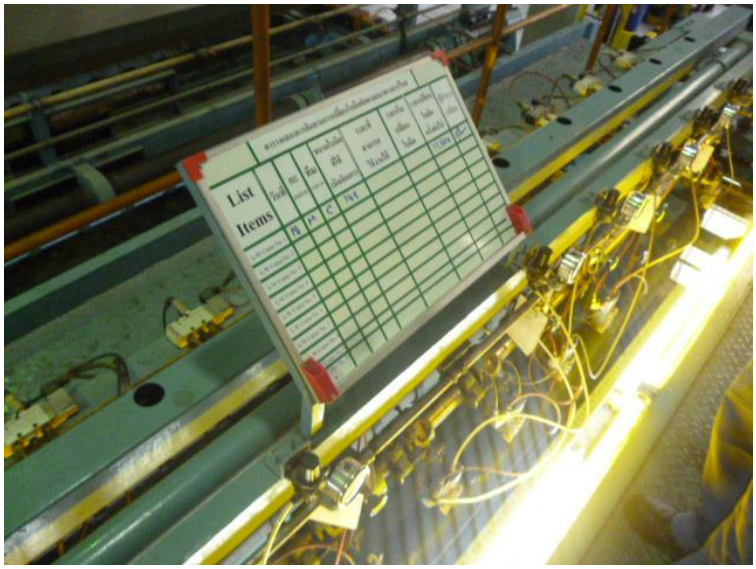
List Items	วันที่	กะ (M/E/N)	ทีม (A,B,C,D)	ขนาดใบมีดที่ใช้ (มิลลิเมตร)	ระยะที่สามารถใช้งานได้ (นิ้ว)	เวลาเริ่มเปลี่ยนใบมีด	เวลาเปลี่ยนใบมีดครั้งต่อไป	ผู้ทำการเปลี่ยน
Crosswise cutter no.1								
Crosswise cutter no.2								
Crosswise cutter no.3								

รูปที่ 5.3 การนำตารางติดตามการเปลี่ยนใบมีดตัดตามแนวขวางการไหลไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่ทำงาน

ตารางที่ 5.5 การติดตามการเปลี่ยนใบมีดตัดตามแนวทางการไหล

List Items	วันที่	กะ (M/E/N)	ทีม (A,B,C,D)	ขนาดใบมีดที่ใช้ (มิลลิเมตร)	ระยะที่สามารถใช้งานได้ (นิ้ว)	เวลาเริ่มเปลี่ยนใบมีด	เวลาเปลี่ยนใบมีดครั้งต่อไป	ผู้ทำการเปลี่ยน
Lengthwise cutter no.1								
Lengthwise cutter no.2								
Lengthwise cutter no.3								
Lengthwise cutter no.4								
Lengthwise cutter no.5								
Lengthwise cutter no.6								
Lengthwise cutter no.7								
Lengthwise cutter no.8								
Lengthwise cutter no.9								
Lengthwise cutter no.10								

รูปที่ 5.4 การนำตารางติดตามการเปลี่ยนใบมีดตัดตามแนวทางการไหลไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่ทำงาน



ในการใช้ตารางแสดงการติดตามการเปลี่ยนใบมีดตัด ยังพบว่าไม่สามารถตรวจสอบการทำงานของพนักงานผู้ปฏิบัติงานได้ว่า ได้ปฏิบัติตามมาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่ในกรณีการทำงานในรอบกะบ่ายและดึก ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับปรุงเอกสารการตรวจสอบการทำงานประจำกะขึ้นใหม่ โดยเพิ่มหัวข้อการใช้งานใบมีดตัด ให้พนักงานผู้ปฏิบัติงานในแต่ละกะกรอกข้อมูลการใช้งานใบมีดตัดเก็บไว้ เพื่อให้ผู้ควบคุมงานสามารถทำการตรวจสอบการทำงานของพนักงานผู้ปฏิบัติงานได้ ดังแสดงในตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 เอกสารการตรวจสอบสภาพประจำกะ

AGC

CUTTING MAIN LINE DAILY REPORT

Date ..... Shift / Team.....

เช็คขนาด ทุกกะต้องทำการตรวจสอบ			รายงานสภาพเครื่องจักร				
SIZE	First sheet size (mm.)		Main Machine Name	เงื่อนไข	O.K	N.G	Remark
X	X		Take off cutting machine	ปกติ			
X	X		Thickness Detector	ปกติ			
X	X		Simple C/W	ปกติ			
X	X		Guillotine	ปกติ			
X	X		Washing Machine	ปกติ			
X	X		Innomess	ปกติ			
X	X		Dark Booth	ไฟทำงิดครบ			
X	X		Chemical Coating(Pool length 0.8 -1 M)	เคลือบน้ำยา			
X	X		NF Cutter	Up down			
X	X		Crosswise Cutting	Size			
เช็คมุม ทุกกะต้องทำการตรวจสอบ			Marking Equipment	สีพ่นตรงตำหนิ			
C/W	A / B	A-B (mm.) OK NG	M/L Snap Equipment	ปกติ			
1-1			M/L speed up	ปกติ			
2-2			Edge Snapping Device	ขึ้น ลง			
3-3			Edge Hammering Device	ปกติ			
1-2			H.O Edge Snap	ขึ้น ลง			
1-3			H.O Hopper	เปิด ปิด			
2-3			FT conveyor	ไม่มีกระดุก			

Diameter (mm.)	Pressure (kgf/cm2)	เวลาการใช้งาน Hr	min	List Items	แถว (1/2)	ขนาดใบมีดที่ใช้ (mm.)	เวลาเริ่มเปลี่ยนใบมีด	เวลาเปลี่ยนใบมีดครั้งต่อไป	ผู้ทำการเปลี่ยน
5	1.5	12	16	Lengthwise no.1					
4.9	1.5	11	25	Lengthwise no.2					
4.8	1.5	10	54	Lengthwise no.3					
4.7	1.5	10	47	Lengthwise no.4					
4.6	1.5	10	40	Lengthwise no.5					
4.5	1.5	10	40	Lengthwise no.6					
4.4	1.5	10	8	Lengthwise no.7					
4.3	1.5	9	51	Lengthwise no.8					
4.2	1.5	7	34	Lengthwise no.9					
4.1	1.5	7	34	Lengthwise no.10					
4	1.5	7	29						

ITEM	UNIT	Limit of Setting	TIME ชั่วโมงที่ 2	TIME ชั่วโมงที่ 6
WASHING TEMP	C	80-85C		
VACOTIN #1	C	80-90C		
VACOTIN #2	C	80-90C		
ไอน้ำ	none	มีไอน้ำไหล		
ระดับน้ำใน Vacotion	none	มีน้ำ		
ระดับแปรง W/M	CM	CW -43-201	บน ล่าง	บน ล่าง
ระดับ Manual Snap	CM	CW -43-201		
Chemical pool (1 เมตร)	M	CW -43-201		
สภาพการ Snap	OK/NG	OK/NG		
สภาพหลังกระจกแตก	ไม่ Cullet ค้าง	OK/NG		

Diameter (mm.)	Pressure (kgf/cm2)	เวลาการใช้งาน Hr	min	List Items	ขนาดใบมีดที่ใช้ (mm.)	เวลาเริ่มเปลี่ยนใบมีด	เวลาเปลี่ยนใบมีดครั้งต่อไป	ผู้ทำการเปลี่ยน
5	0.55	7	32	Crosswise cutter no.1				
4.9	0.55	6	45					
4.8	0.55	5	24					
4.7	0.52	5	7					
4.6	0.52	5	2	Crosswise cutter no.2				
4.5	0.52	5	2					
4.4	0.52	4	13					
4.3	0.5	4	13					
4.2	0.5	4	13	Crosswise cutter no.3				
4.1	0.5	4	13					
4	0.5	4	13					

Remark :

CF-43-221 Issued No.3 Eft. 25/09/12

Internal Use Only

5.4 การแก้ไขกรณีที่เกิดปัญหา

ในกรณีที่มีเหตุการณ์ผิดปกติเกิดขึ้น ในด้านคุณภาพหรือการผลิต ส่งผลทำให้ไม่สามารถดำเนินงานเปลี่ยนการใช้งานใบมีดตัดได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ในงานวิจัยนี้ได้ทำการกำหนดระยะเผื่อการใช้งานของใบมีดตัดรวมไว้ โดยในการตัดตามแนวขวางการไหลได้ทำการเผื่อค่าระยะทางการตัดจากสมการทำนายไว้จำนวน 2 เปอร์เซ็นต์ และในส่วนของใบมีดตัดตามแนวการไหลได้ทำการเผื่อค่าระยะทางการตัดจากสมการทำนายไว้จำนวน 1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้กรณีที่พนักงานยังไม่สามารถทำการเปลี่ยนใบมีดตัดได้ ยังสามารถใช้งานใบมีดตัดได้ต่อเนื่องต่อไปอีกระยะหนึ่งได้ โดยไม่มีเกิดการใช้งานใบมีดตัดที่หมดสภาพการใช้งานเกิดขึ้น

บทที่ 6

ข้อสรุป และข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อทำการปรับปรุงกระบวนการทำงานการตัดกระจกแผ่นเรียบทั้งในแนวทางขวางการไหลและในแนวทางการไหล เพื่อป้องกันการสูญเสียจากรอยการตัด ซึ่งเกิดจากการใช้มีดตัดที่หมดสภาพการตัด โดยปัญหาดังกล่าวเกิดจากการที่ระบบการทำงานในปัจจุบัน ขาดการกำหนดมาตรฐานระยะการใช้งานใบมีดตัดในกระบวนการตัด และการกำหนดมาตรฐานการทำงานของพนักงานควบคุมการตัด

โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆที่มีอิทธิพลต่อรอยการตัดของกระจกที่เกิดขึ้นของโรงงานตัวอย่าง ซึ่งได้นำความรู้ในด้านการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้ และกำหนดมาตรฐานสภาวะการทำงานการตัดสำหรับกระจกความหนา 2.0 มิลลิเมตร ที่ถูกดึงมาด้วยอัตราความเร็ว 890 เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งในการกำหนดมาตรฐานการทำงานตัดตามแนวทางขวางการไหลที่เหมาะสมระหว่าง ความดันกดตัดกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดตัดที่ให้ระยะทางการตัดสูงที่สุด คือ

ใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด 4.0 – 4.3 มิลลิเมตร ควรใช้ความดันกดตัดที่ 0.50 kgf/cm^2

ใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด 4.4 – 4.7 มิลลิเมตร ควรใช้ความดันกดตัดที่ 0.52 kgf/cm^2

ใบมีดตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด 4.8 – 5.0 มิลลิเมตร ควรใช้ความดันกดตัดที่ 0.55 kgf/cm^2

และในส่วนของการตัดตามแนวทางตามการไหลของกระจกจากผลการทดลอง พบว่าค่าความดันกดตัดที่เหมาะสมอยู่ที่ 1.5 kgf/cm^2 เนื่องจากผลการทดลองที่ค่าความดันกดตัดที่ 1.6 kgf/cm^2 ได้ระยะทางการตัดที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับค่าความดันกดตัดที่ 1.5 kgf/cm^2 ซึ่งเมื่อทำการตรวจสอบรอยตัดกระจกที่ได้จากความดัน 1.6 kgf/cm^2 พบว่ารอยตัดกระจกที่ได้ไม่เรียบ อันเนื่องมาจากแรงกดที่กระทำต่อใบมีดตัดมีมากเกินกว่าค่าที่เหมาะสม ทำให้ใบมีดตัดเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว และรอยตัดบนกระจกที่ได้ไม่เรียบคมตามมาตรฐาน

สาเหตุที่สำคัญอีกประการของปัญหาคือ ไม่มีการกำหนดมาตรฐานการทำงานของพนักงานควบคุมการตัด ทำให้เกิดความเข้าใจในการทำงานที่ไม่ตรงกันของพนักงานเมื่อมีการเปลี่ยนกะการทำงาน หรือผู้ปฏิบัติงาน นอกจากนี้ยังขาดระบบการตรวจสอบการทำงานของพนักงาน ในงานวิจัยนี้ได้ทำการกำหนดมาตรฐานการทำงานของพนักงาน ซึ่งได้ทำการออกแบบระบบการจัดการและควบคุมการใช้งานใบมีดตัด โดยกำหนดให้ใช้งานใบมีดตัดขนาดเดียวกันในแต่ละวัน เพื่อให้ง่ายในการปรับตั้งค่าความดันกดตัดในกรณีที่มีการเปลี่ยนใบมีดตัด ส่งผลให้ไม่ต้องทำการปรับแต่งความดันกดตัดใหม่ในทุกครั้งที่เปลี่ยนใบมีดตัด ทำให้สามารถลดความผันแปรในกระบวนการทำงานลงได้ และง่ายต่อผู้ควบคุมงานในการตรวจสอบการทำงานของพนักงาน นอกจากนี้ยังได้สร้างแบบจำลองการใช้งานใบมีดตัดในแต่ละวันตามแผนการผลิต โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel 2010 ทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากมาตรฐานระยะการใช้งานใบมีดตัดที่กำหนด จากแบบจำลองพบว่าระยะทางใช้งานรวมของใบมีดตัด 1 ใบ ในการตัดตามแนวขวางการไหลจะมีระยะการใช้งานรวมทั้งหมดคือ 2,520,200 นิ้ว ในส่วนของการตัดตามแนวทางการไหลจะมีระยะการใช้งานรวมทั้งหมดคือ 3,366,000 นิ้ว ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบกับสภาพการใช้งานในปัจจุบันของโรงงานตัวอย่าง ที่กำหนดระยะทางใช้งานรวมของ

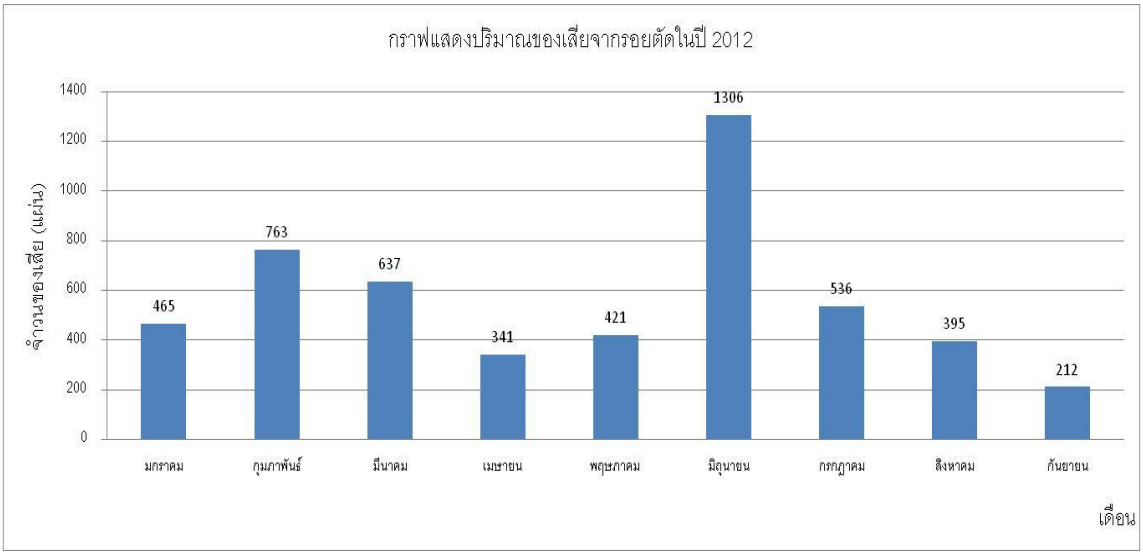
ใบมีดตัด 1 ใบในการตัดตามแนวขวางการไหลที่กำหนดไว้คือ 1,800,000 นิ้ว พบว่าจะสามารถใช้งานใบมีดตัดทั้งหมดใน 1 ใบ ในการตัดตามแนวขวางการไหลเป็นระยะทางที่เพิ่มขึ้นจากวิธีการเดิม 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นการใช้งานใบมีดตัดได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และทราบถึงปริมาณการใช้งานใบมีดตัดในแต่ละวัน และสามารถจัดเตรียมใบมีดตัดให้เพียงพอต่อการทำงานในแต่ละวันได้

จากการทดลองทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ซึ่งสามารถนำไปสร้างสมการทำนายระยะทางการใช้งานใบมีดตัดที่มีชิ้นงานเป็นกระจกได้ สมการความสัมพันธ์ของใบมีดตัดกระจกที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตัดกระจกแผ่นเรียบที่มีความหนา 2.0 มิลลิเมตร ที่มีทิศทางการตัดและมีการใช้เครื่องจักรตัดในลักษณะเดียวกันนี้ได้ สำหรับในส่วนการตัดรูปแบบอื่นๆ นั้น ยังจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาข้อมูลเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อไป

6.2 ผลที่ได้รับจากงานวิจัย

จากการนำมาตรฐานการทำงานไปประยุกต์ใช้ในโรงงานตัวอย่าง พบว่าจำนวนการสูญเสียจากรอยการตัดที่เกิดขึ้นในเดือนกันยายน 2555 มีค่าลดลง โดยวิธีการวัดผลจะใช้การวัดในรูปจำนวนแผ่นกระจกของเสียจากที่เกิดรอยการตัดที่ถูกทำการเลือกจากจำนวนกระจกที่ถูกคัดแยกไว้ในช่วงเวลาการผลิตที่เกิดปัญหา ดังที่ระบุไว้ในขอบเขตของงานวิจัย เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนแผ่นกระจกที่เสียจากปัญหารอยการตัดที่ได้จากการเลือกกระจกที่ถูกคัดแยกไว้ในช่วงเวลาการผลิตที่เกิดปัญหาในกระบวนการผลิตของปี 2012 ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงสิงหาคม สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.1

รูปที่ 6.1 จำนวนแผ่นกระจกที่เสียจากปัญหารอยการตัดที่ถูกคัดแยกไว้ในช่วงเวลาการผลิตที่เกิดปัญหา



หลังจากที่ได้มีการนำมาตรฐานการใช้งานใบมีดตัดและระบบการติดตามการทำงานไปประยุกต์ใช้งานส่งผลให้การสูญเสียที่เกิดขึ้นในเดือนกันยายนลดลง เหลือที่ 212 แผ่น ซึ่งเมื่อคิดเทียบกับจำนวนของเสียเฉลี่ย

ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม ที่มีของเสียเฉลี่ย 608 แผ่นต่อเดือน จะพบว่าหลังจากที่ทำการประยุกต์ใช้กระบวนการป้องกันที่ได้กำหนดขึ้นจะพบว่าของเสียลดลงเป็นจำนวน 65 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้การศึกษาระยะทางการใช้งานใบมีดตัดที่เหมาะสมของโรงงานตัวอย่างส่งผลให้สามารถใช้งานใบมีดตัดได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดย พบว่าระยะทางใช้งานรวมของใบมีดตัด 1 ใบ จากมาตรฐานที่กำหนดคือ

การตัดตามแนวขวางการไหลมีระยะการใช้งานรวมคือ 2,520,200 นิ้ว

การตัดตามแนวทางการไหลจะมีระยะการใช้งานรวมคือ 3,366,000 นิ้ว

เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพปัจจุบันของโรงงานตัวอย่าง พบว่าในการตัดตามแนวขวางการไหลมีการใช้งานใบมีดตัดใน 1 ใบ มีระยะการใช้งานที่ 1,800,000 นิ้ว ซึ่งพบว่าจะสามารถใช้งานใบมีดตัดในการตัดตามแนวขวางการไหลเป็นระยะทางที่เพิ่มขึ้นจากเดิม 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นการใช้งานใบมีดตัดได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

6.3 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัย การออกแบบมาตรฐานการทำงานเพื่อป้องกันการสูญเสียของรอยการตัดกระจกแผ่นเรียบ เป็นการศึกษางานในกระบวนการตัดกระจกแผ่นเรียบของโรงงานตัวอย่างกรณีศึกษา โดยในงานวิจัยยังมีข้อจำกัดบางส่วน อันเนื่องจากเวลาในการทำงานวิจัยที่มีจำกัด ประกอบกับในการทดลองแต่ละครั้งส่งผลให้เกิดการสูญเสียเกิดขึ้น เนื่องจากกระบวนการผลิตที่มีความต่อเนื่อง ทำให้ไม่สามารถทำการทดลองเก็บข้อมูลในปริมาณมากได้ ดังนั้นทางผู้วิจัยขอนำเสนอข้อปรับปรุงดังนี้

1. จากผลการทดลองจนได้สมการทำนายอายุการใช้งานใบมีดตัดกระจกที่ได้นั้นมีข้อจำกัดคือ สามารถใช้ทำนายอายุการใช้งานใบมีดตัดกระจก ในกรณีกระจกที่มีความหนาในการผลิต 2.0 มิลลิเมตร โดยมีความเร็วในการไหลของกระจกอยู่ที่ 890 เมตรต่อชั่วโมงเท่านั้น เนื่องจากสมการที่ได้อยู่ในรูปของตัวแปรต้นคือ ความดันกดตัดกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดตัด และตัวแปรตามคือระยะทางที่ใช้ในการตัด ในกระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาได้ดำเนินการผลิตกระจกความหนา ที่มีอัตราการดึงกระจกที่ความเร็วดังกล่าวไว้ข้างต้นเป็นหลัก ดังนั้นหากความเร็วในการดึงกระจกมีค่าที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นเพื่อรองรับปริมาณความต้องการในอนาคต หรือมีการเปลี่ยนความหนาในการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้นหรือลดต่ำลง อาจส่งผลให้สมการทำนายระยะทางการใช้งานใบมีดตัดมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้

2. งานวิจัยได้ใช้ใบมีดที่ใช้ในการตัดเป็นใบมีดที่มีมุมในการตัดที่ 130 องศาเท่านั้น โดยวัสดุของใบมีดเป็นทังสเตนคาร์ไบด์ ซึ่งในปัจจุบันที่เทคโนโลยีมีความก้าวหน้าอาจมีการใช้วัสดุอื่นที่สามารถทำการตัดเนื้อผิวกระจกได้ดีกว่าและสามารถลดต้นทุนในการผลิตด้านอุปกรณ์การตัดลงได้ ซึ่งได้มีการศึกษากันอยู่คือการใช้น้ำแรงดันสูงในการตัดกระจก (Water Jet Cutting)

3. ในการควบคุมการใช้งานใบมีดตัดในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษายังใช้การตรวจสอบโดย

เอกสารเป็นหลัก ซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดในการรับส่งใบมีดตัดเกิดขึ้นได้ ดังนั้นหากมีการนำเทคโนโลยีมาช่วยในการตรวจสอบการรับส่ง และควบคุมปริมาณการใช้งานใบมีดตัดได้ จะส่งผลให้สามารถควบคุมติดตามการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

4. การทดลองนี้ยังไม่ได้คำนึงถึงความสามารถในการลับคมใบมีดของพนักงาน ที่ทำหน้าที่การลับคมใบมีดตัด ซึ่งในโรงงานกรณีศึกษาที่ได้ทำงานวิจัยนี้มีผู้ที่ทำหน้าที่ลับคมใบมีดตัดเพียงแค่คนเดียว ดังนั้นหากมีการเปลี่ยนผู้ทำการลับคมใบมีดตัดอาจทำให้ผลการทดลองที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงไปและทำให้สมการที่ได้มีความแปรเปลี่ยนไปได้

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กานต์ณัฐ ณ บางช้าง. การคัดเลือกตัวแปรในตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุโดยใช้วิธีการค้นหาแบบต้องห้าม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ ภาควิชาสถิติประยุกต์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, 2554.

ปารเมศ ชุติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. เอกสารเทคโนโลยีเครื่องมือตัด (CUTTING TOOL TECHNOLOGY), [ออนไลน์]. 2554, แหล่งที่มา: http://cyberclass.msu.ac.th/cyberclass/cyberclassuploads/libs/document/2.Cutting%20Tool%20Technology_ac86.ppt [23 พฤษภาคม 2554]

วันรัตน์ จันทกิจ. 17 เครื่องมือนักคิด (17 Problem Solving Devices). สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ ซีโนดีไซน์, 2547.

ศุภชัย นาทะพันธ์. การควบคุมคุณภาพ (Quality Control). กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2551.

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

สายชล สินสมบูรณ์ทอง. การควบคุมคุณภาพเชิงสถิติและวิศวกรรม (Statistical and Engineering Quality Control). กรุงเทพมหานคร : จามจุรีโปรดักท์, 2554.

สมเกรียติ ตั้งจิตสิตเจริญ. อายุการใช้งานใบมีดตัดคาร์ไบด์ในการกลึงตัดชิ้นส่วนของปั๊มน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

ภาษาอังกฤษ

Da Z.J. and Jawahir I., A New Performance-based Criterion for Optimum Cutting Conditions and Cutting Tool Selection in Finish Turning, Transactions of NAMRI/SME, Vol. XXVI, 1998

Dragos A. Axinte, Walter Belluco and Leonardo De Chiffre. Reliable tool life measurements in turning an application to cutting fluid efficiency evaluation. International Journal of Machine Tools & Manufacture 41 (October 2001) : 1003-1014.

Kunal J. Joshi. OPTIMIZATION OF CUTTING CONDITIONS FOR SUSTAINABLE MACHINING OF SINTERED POWDER METAL STEELS USING PCBN AND CARBIDE TOOLS. Master's Thesis, Department of Engineering and Science, University of Kentucky, 2006.

MacInnes Tool Corporation. Technical Guide for Glass Cutting [Online]. 2005. Available from : http://www.macto.com (2011,September 20)

Mills, B. and Redford, A.H., Machinability of Engineering Materials. London : Applied Science Publishers, 1983.

Montgomery, D.C. Design and Analysis of Experiments. The United States of America : John Wiley & Sons INC., 2005.

Oxley, P.L.B., The Mechanics of Machining – An Analytical Approach to Assessing Machinability Book. UK : Ellis Horwood Chichester, 1989.

PANKHARDT K. Load Bearing Glasses, Doctoral's Thesis, Department of Construction Materials and Engineering Geology , Faculty of Engineering, Budapest University of Technology and Economics, 2010.

Troy S. and Vom Braucke. Establishment of a Database for Tool Life Performance. Master's Thesis, Department of Engineering and Science, Swinburne University of Technology Australia, 2004.

Venkatesh V.C., Computerized Machinability Data, Proc. of the Automach '86 Conference on Computer-Integrated Manufacturing, pp. 59-73. Sydney, 1986.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ตารางการบันทึกข้อมูลการตัด

ตารางที่ ก.1 ผลระยะการใช้งานการตัดตามแนวขวางการไหลรวมผลครั้งที่ 1

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางการใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)					
	ความดันกดตัด 0.50 kgf/cm^2		ความดันกดตัด 0.52 kgf/cm^2		ความดันกดตัด 0.55 kgf/cm^2	
	ผลการทดลองครั้งที่ 1	ผลการทดลองครั้งที่ 2	ผลการทดลองครั้งที่ 1	ผลการทดลองครั้งที่ 2	ผลการทดลองครั้งที่ 1	ผลการทดลองครั้งที่ 2
5.0	305,136	315,217	356,016	343,041	452,972	452,455
4.9	240,140	239,960	254,208	240,020	355,200	381,568
4.8			252,000	253,890	290,116	290,162
4.7			289,550	288,033	236,800	234,295
4.6	200,724	174,574	289,532	284,295	230,580	241,920
4.5	251,000	260,400	283,875	278,375	251,000	229,400
4.4	150,680	151,444	243,296	210,724		
4.3	239,724	239,140	190,140	174,574		
4.2	234,788	239,352	125,312	151,696		
4.1	232,376	231,696	129,572	133,748		
4.0	223,200	244,800	201,252	202,616	198,648	184,512

ตารางที่ ก.2 แสดงผลระยะการใช้งานการตัดตามแนวขวางการไหลเก็บผลครั้งที่ 2

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางการใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)					
	ความดันกดตัด 0.50 kgf/cm^2		ความดันกดตัด 0.52 kgf/cm^2		ความดันกดตัด 0.55 kgf/cm^2	
	ผลการทดลองครั้งที่ 1	ผลการทดลองครั้งที่ 2	ผลการทดลองครั้งที่ 1	ผลการทดลองครั้งที่ 2	ผลการทดลองครั้งที่ 1	ผลการทดลองครั้งที่ 2
5.0	295,233	237,514	374,850	358,644	402,948	406,060
4.9						
4.8			209,715	186,235	290,715	288,526
4.7						
4.6	97,112	136,017	308,147	259,532	211,035	235,025
4.5	197,780	188,370	288,375	283,875		
4.4	152,796	129,115	253,272	260,390	234,430	
4.3	241,154	208,725	172,432	177,260	35,332	
4.2						
4.1	247,812	258,664	188,370	196,664		
4.0	236,840	248,950	178,000	162,120	193,432	185,724

ตารางที่ ก.3 แสดงผลระยะการใช้งานการตัดตามแนวทางการไหลของใบมีดตัดขนาดต่างๆ เก็บผลครั้งที่ 1

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางการตัด (นิ้ว) ที่ความดันกดตัด 1.5 kgf/cm2		
	ผลครั้งที่ 1	ผลครั้งที่ 2	ผลครั้งที่ 3
4.0	261,502	263,405	261,502
4.2	264,420	263,557	264,230
4.4	355,325	356,652	354,553
4.5	372,374	379,166	375,274
4.7	380,252	379,655	380,112
4.8	382,555	383,874	382,606
5.0	440,850	427,380	426,458

ตารางที่ ก.4 แสดงผลระยะการใช้งานการตัดตามแนวทางการไหลของใบมีดตัดขนาดต่างๆ เก็บผลครั้งที่ 2

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางการตัด (นิ้ว) ที่ความดันกดตัด 1.5 kgf/cm2		
	ผลครั้งที่ 1	ผลครั้งที่ 2	ผลครั้งที่ 3
4.0	268,759	309,661	290,116
4.2	277,150	263,550	
4.3	346,256	346,350	346,874
4.4	367,329	367,350	367,372
4.7	379,105	379,166	
4.8	401,530	433,105	
5.0	455,433	455,392	456,040

ภาคผนวก ข
ตารางมาตรฐานการใช้งานใบมีดตัด

ตารางที่ ข.1 แสดงตารางมาตรฐานการใช้งานใบมีดตัดตามแนวขวางการไหลที่ได้ก่อนการปรับลดค่า

เส้นผ่านศูนย์กลางมีดตัด (มิลลิเมตร)	ความดันกดตัดใช้งานที่เหมาะสม (kgf/cm^2)	ระยะทางการตัดจากสมการทำนายระยะการตัด (นิ้ว)	ระยะทางการตัดจากสมการทำนายระยะการตัดที่ปรับค่าลง 12 เปอร์เซ็นต์ (นิ้ว)
5.0	0.55	405,431	356,779
4.9	0.55	361,526	318,143
4.8	0.55	321,842	283,221
4.7	0.52	249,794	219,819
4.6	0.52	229,862	202,278
4.5	0.52	214,151	188,453
4.4	0.52	202,663	178,343
4.3	0.50	208,845	183,784
4.2	0.50	213,338	187,738
4.1	0.50	222,053	195,407
4.0	0.50	234,990	206,791

ตารางที่ ข.2 แสดงตารางมาตรฐานการใช้งานใบมีดตัดตามแนวขวางการไหลที่ได้หลังการปรับลดค่า

เส้นผ่านศูนย์กลางมีดตัด (มิลลิเมตร)	ความดันกดตัดใช้งานที่เหมาะสม (kgf/cm^2)	ระยะทางใช้งาน (นิ้ว)	เวลาการใช้งานใบมีดตัด		ช่วงระยะการใช้งานมาตรฐาน จากการปรับค่าเผื่อ 2% (นิ้ว)	เวลารวมที่สามารถใช้งานได้ต่ออีก (นาที)
			ชั่วโมง	นาที		
5.0	0.55	356,700	6	39	356,700 - 363,800	8
4.9	0.55	318,100	5	56	318,100 - 324,400	7
4.8	0.55	283,200	5	17	283,200 - 288,800	6
4.7	0.52	219,800	4	6	219,800 - 224,100	5
4.6	0.52	202,200	3	46	202,200 - 206,200	5
4.5	0.52	188,400	3	31	188,400 - 192,100	4
4.4	0.52	178,300	3	19	178,300 - 181,800	4
4.3	0.50	183,700	3	25	183,700 - 187,300	4
4.2	0.50	187,700	3	30	187,700 - 191,400	4
4.1	0.50	195,400	3	38	195,400 - 199,300	4
4.0	0.50	206,700	3	51	206,700 - 210,800	5

ตารางที่ ข.3 แสดงตารางมาตรฐานการใช้งานใบมีดตัดตามแนวทางการไหลที่ได้ก่อนการปรับลดค่า

เส้นผ่านศูนย์กลางมีดตัด (มิลลิเมตร)	ความดันกดตัดใช้งานที่เหมาะสม (kgf/cm^2)	ระยะทางใช้งาน (นิ้ว)	เวลาการใช้งานใบมีดตัด		ช่วงระยะการใช้งานมาตรฐาน จากการปรับค่าเผื่อ 1% (นิ้ว)	เวลารวมที่สามารถใช้งานได้ต่ออีก (นาที)
			ชั่วโมง	นาที		
5.0	1.5	382,054	11	9	382,054 - 385,874	6.7
4.9	1.5	366,857	10	42	366,857 - 370,525	6.4
4.8	1.5	351,660	10	16	351,660 - 355,176	6.2
4.7	1.5	336,463	9	49	336,463 - 339,827	5.9
4.6	1.5	321,266	9	23	321,266 - 324,478	5.6
4.5	1.5	306,069	8	56	306,069 - 309,130	5.4
4.4	1.5	290,872	8	29	290,872 - 293,781	5.1
4.3	1.5	275,675	8	3	275,675 - 278,432	4.8
4.2	1.5	260,478	7	36	260,478 - 263,083	4.6
4.1	1.5	245,281	7	10	245,281 - 247,734	4.3
4.0	1.5	230,084	6	43	230,084 - 232,385	4.0

ตารางที่ ข.4 แสดงตารางมาตรฐานการใช้งานใบมีดตัดตามแนวทางการไหลที่ได้หลังการปรับลดค่า

เส้นผ่านศูนย์กลางมีดตัด (มิลลิเมตร)	ความดันกดตัดใช้งานที่เหมาะสม (kgf/cm^2)	ระยะทางใช้งาน (นิ้ว)	เวลาการใช้งานใบมีดตัด		ช่วงระยะการใช้งานมาตรฐาน จากการปรับค่าเผื่อ 1% (นิ้ว)	เวลารวมที่สามารถใช้งานได้ต่ออีก (นาที)
			ชั่วโมง	นาที		
5.0	1.5	382,000	10	54	382,000 - 385,820	6.7
4.9	1.5	366,800	10	28	366,800 - 370,468	6.4
4.8	1.5	351,600	10	2	351,600 - 355,116	6.2
4.7	1.5	336,400	9	36	336,400 - 339,764	5.9
4.6	1.5	321,200	9	10	321,200 - 324,412	5.6
4.5	1.5	306,000	8	44	306,000 - 309,060	5.4
4.4	1.5	290,800	8	18	290,800 - 293,708	5.1
4.3	1.5	275,600	7	52	275,600 - 278,356	4.8
4.2	1.5	260,400	7	26	260,400 - 263,004	4.6
4.1	1.5	245,200	7	0	245,200 - 247,652	4.3
4.0	1.5	230,000	6	34	230,000 - 232,300	4.0

ภาคผนวก ค
ผลที่ได้จากตารางแบบจำลองตามแนวขวางการไหล

ตาราง ค.1 ผลระยะการใช้งานที่ได้จากแบบจำลองของใบมีดตัดขนาด 5.0 มิลลิเมตร ตามแนวขวางการไหล

ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)	ขนาดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว)	ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง)	ความกว้างของกระจกที่ถูกดึงมา (นิ้ว)	จำนวนของหัวใบมีดตัดที่ใช้	จำนวนแผ่นกระจกที่ตัด (แผ่น)	ระยะทางที่ต้องตัด (นิ้ว)	ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง)	ความเร็วในการตัดแนวขวางการไหล (นิ้วต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาในการตัดกระจก (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)	เวลาเริ่มตัด	เวลาครบยอด	เวลาเปลี่ยนใบมีด
53	38	890	118	2	812	47880	35039	54403	0.88	5	356700	8:00	8:52	14:33
58.34	31.34	890	118	2	2048	120815	35039	65964	1.83			8:52	10:42	-
52.95	36.97	890	118	2	1135	66959	35039	55919	1.20			10:42	11:54	-
57.5	38.5	890	118	2	2047	120756	35039	53655	2.25			11:54	14:09	-
58.0	39.5	890	118	2	10	594	35039	52353	0.01	5	356700	14:09	14:10	20:58
58.0	39.5	890	118	2	1509	89041	35039	52353	1.70			14:10	15:52	-
52.1	36.5	890	110	2	1968	108223	35039	52799	2.05			15:52	17:55	-
52.1	36.5	890	110	2	1211	66599	35039	52799	1.26			17:55	19:10	-
52.1	36.5	890	110	2	5236	287987	35039	52799	5.45	5	356700	19:10	0:38	3:41
54.3	43.3	890	110	2	31	1682	35039	44466	0.04			0:38	0:40	-
54.3	43.3	890	110	2	41	2246	35039	44466	0.05			0:40	0:43	-
54.3	43.3	890	110	2	41	2245	35039	44466	0.05			0:43	0:46	-
54.3	43.3	890	110	2	3674	202073	35039	44466	4.54	5	356700	0:46	5:19	12:17
54.3	43.3	890	110	2	3827	210492	35039	44466	4.73			5:19	10:03	-
54.3	43.3	890	110	2	1378	75777	35039	44466	1.70			5:19	7:01	-
54.7	43.3	890	110	2	4099	225421	35039	44466	5.07			7:01	12:05	-
54.7	43.3	890	110	2	3795	208723	35039.37	44466	4.69	5	356700	12:05	16:47	20:18
54.7	45.9	890	110	2	38	2103	35039.37	41986	0.05			16:47	16:50	-

ตาราง ค.2 ผลระยะการใช้งานที่ได้จากแบบจำลองของใบมีดตัดขนาด 4.9 มิลลิเมตร ตามแนวขวางการไหล

ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)	ขนาดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว)	ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง)	ความกว้างของกระจกที่ถูกดึงมา (นิ้ว)	จำนวนของหัวใบมีดตัดที่ใช้	จำนวนแผ่นกระจกที่ตัด (แผ่น)	ระยะทางที่ต้องตัด (นิ้ว)	ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง)	ความเร็วในการตัดแนวขวางการไหล (นิ้วต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาในการตัดกระจก (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)	เวลาเริ่มตัด	เวลาครบยอด	เวลาเปลี่ยนใบมีด
53	38	890	118	2	812	47880	35039	54403	0.88	4.9	318100	8:00	8:52	13:50
58.34	31.34	890	118	2	2048	120815	35039	65964	1.83			8:52	10:42	-
52.95	36.97	890	118	2	1135	66959	35039	55919	1.20			10:42	11:54	-
57.5	38.5	890	118	2	2048	120838	35039	53691	2.25	4.9	318100	11:54	14:09	19:22
58.0	39.5	890	118	2	10	594	35039	52353	0.01			14:09	14:10	-
58.0	39.5	890	118	2	1509	89041	35039	52353	1.70			14:10	15:52	-
52.1	36.5	890	110	2	1968	108223	35039	52799	2.05			15:52	17:55	-
52.1	36.5	890	110	2	1211	66599	35039	52799	1.26			17:55	19:10	-
52.1	36.5	890	110	2	5236	287987	35039	52799	5.45	4.9	318100	19:10	0:38	1:29
54.3	43.3	890	110	2	31	1682	35039	44466	0.04			0:38	0:40	-
54.3	43.3	890	110	2	41	2246	35039	44466	0.05			0:40	0:43	-
54.3	43.3	890	110	2	41	2245	35039	44466	0.05			0:43	0:46	-
54.3	43.3	890	110	2	3674	202073	35039	44466	4.54	4.9	318100	0:46	5:19	8:48
54.3	43.3	890	110	2	3827	210492	35039	44466	4.73			5:19	10:03	-
54.3	43.3	890	110	2	1378	75777	35039	44466	1.70			5:19	7:01	-
54.7	43.3	890	110	2	4099	225421	35039	44466	5.07	4.9	318100	7:01	12:05	15:57
54.7	43.3	890	110	2	3795	208723	35039.37	44466	4.69	4.9	318100	12:05	16:47	23:07
54.7	45.9	890	110	2	38	2103	35039.37	41986	0.05			16:47	16:50	-

ตาราง ค.3 ผลระยะการใช้งานที่ได้จากแบบจำลองของใบมีดตัดขนาด 4.8 มิลลิเมตร ตามแนวขวางการไหล

ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)	ขนาดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว)	ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง)	ความกว้างของกระจกที่ถูกดึงมา (นิ้ว)	จำนวนของหัวใบมีดตัดที่ใช้	จำนวนแผ่นกระจกที่ตัด (แผ่น)	ระยะทางที่ต้องตัด (นิ้ว)	ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง)	ความเร็วในการตัดแนวขวางการไหล (นิ้วต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาในการตัดกระจก (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)	เวลาเริ่มตัด	เวลาครบขอบ	เวลาเปลี่ยนใบมีด
53	38	890	118	2	812	47880	35039	54403	0.88	4.8	283200	8:00	8:52	13:12
58.34	31.34	890	118	2	2048	120815	35039	65964	1.83			8:52	10:42	-
52.95	36.97	890	118	2	1135	66959	35039	55919	1.20			10:42	11:54	-
57.5	38.5	890	118	2	2048	120838	35039	53691	2.25	4.8	283200	11:54	14:09	18:04
58.0	39.5	890	118	2	10	594	35039	52353	0.01			14:09	14:10	-
58.0	39.5	890	118	2	1509	89041	35039	52353	1.70			14:10	15:52	-
52.1	36.5	890	110	2	1968	108223	35039	52799	2.05			15:52	17:55	-
52.1	36.5	890	110	2	1211	66599	35039	52799	1.26	4.8	283200	17:55	19:10	23:30
52.1	36.5	890	110	2	5236	287987	35039	52799	5.45	4.8	283200	19:10	0:38	4:52
54.3	43.3	890	110	2	31	1682	35039	44466	0.04			0:38	0:40	-
54.3	43.3	890	110	2	41	2246	35039	44466	0.05			0:40	0:43	-
54.3	43.3	890	110	2	41	2245	35039	44466	0.05			0:43	0:46	-
54.3	43.3	890	110	2	3674	202073	35039	44466	4.54			0:46	5:19	-
54.3	43.3	890	110	2	3827	210492	35039	44466	4.73			5:19	10:03	-
54.3	43.3	890	110	2	1378	75777	35039	44466	1.70	4.8	283200	5:19	7:01	12:02
54.7	43.3	890	110	2	4099	225421	35039	44466	5.07	4.8	283200	7:01	12:05	18:24
54.7	43.3	890	110	2	3795	208723	35039.37	44466	4.69			12:05	16:47	-
54.7	45.9	890	110	2	38	2103	35039.37	41986	0.05			16:47	16:50	-

ตาราง ค.4 ผลระยะการใช้งานที่ได้จากแบบจำลองของใบมีดตัดขนาด 4.7 มิลลิเมตร ตามแนวขวางการไหล

ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)	ขนาดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว)	ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง)	ความกว้างของกระจกที่ถูกดึงมา (นิ้ว)	จำนวนของหัวใบมีดตัดที่ใช้	จำนวนแผ่นกระจกที่ตัด (แผ่น)	ระยะทางที่ต้องตัด (นิ้ว)	ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง)	ความเร็วในการตัดแนวขวางการไหล (นิ้วต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาในการตัดกระจก (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)	เวลาเริ่มตัด	เวลาครบยอด	เวลาเปลี่ยนใบมีด
53	38	890	118	2	812	47880	35039	54403	0.88	4.7	219800	8:00	8:52	12:02
58.34	31.34	890	118	2	2048	120815	35039	65964	1.83			8:52	10:42	-
52.95	36.97	890	118	2	1135	66959	35039	55919	1.20	4.7	219800	10:42	11:54	15:33
57.5	38.5	890	118	2	2048	120838	35039	53691	2.25			11:54	14:09	-
58.0	39.5	890	118	2	10	594	35039	52353	0.01			14:09	14:10	-
58.0	39.5	890	118	2	1509	89041	35039	52353	1.70	4.7	219800	14:10	15:52	19:56
52.1	36.5	890	110	2	1968	108223	35039	52799	2.05			15:52	17:55	-
52.1	36.5	890	110	2	1211	66599	35039	52799	1.26			17:55	19:10	-
52.1	36.5	890	110	2	5236	287987	35039	52799	5.45	4.7	219800	19:10	0:38	0:04
54.3	43.3	890	110	2	31	1682	35039	44466	0.04	4.7	219800	0:38	0:40	4:54
54.3	43.3	890	110	2	41	2246	35039	44466	0.05			0:40	0:43	-
54.3	43.3	890	110	2	41	2245	35039	44466	0.05			0:43	0:46	-
54.3	43.3	890	110	2	3674	202073	35039	44466	4.54	4.7	219800	0:46	5:19	9:51
54.3	43.3	890	110	2	3827	210492	35039	44466	4.73			5:19	10:03	-
54.3	43.3	890	110	2	1378	75777	35039	44466	1.70			5:19	7:01	-
54.7	43.3	890	110	2	4099	225421	35039	44466	5.07	4.7	219800	7:01	12:05	14:47
54.7	43.3	890	110	2	3795	208723	35039.37	44466	4.69	4.7	219800	12:05	16:47	19:44
54.7	45.9	890	110	2	38	2103	35039.37	41986	0.05			16:47	16:50	-

ตาราง ค.5 ผลระยะการใช้งานที่ได้จากแบบจำลองของใบมีดตัดขนาด 4.6 มิลลิเมตร ตามแนวขวางการไหล

ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)	ขนาดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว)	ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง)	ความกว้างของกระจกที่ถูกดึงมา (นิ้ว)	จำนวนของหัวใบมีดตัดที่ใช้	จำนวนแผ่นกระจกที่ตัด (แผ่น)	ระยะทางที่ต้องตัด (นิ้ว)	ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง)	ความเร็วในการตัดแนวขวางการไหล (นิ้วต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาในการตัดกระจก (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)	เวลาเริ่มตัด	เวลาครบยอด	เวลาเปลี่ยนใบมีด
53	38	890	118	2	812	47880	35039	54403	0.88	4.6	202200	8:00	8:52	11:43
58.34	31.34	890	118	2	2048	120815	35039	65964	1.83			8:52	10:42	-
52.95	36.97	890	118	2	1135	66959	35039	55919	1.20	4.6	202200	10:42	11:54	14:55
57.5	38.5	890	118	2	2048	120838	35039	53691	2.25			11:54	14:09	-
58.0	39.5	890	118	2	10	594	35039	52353	0.01			14:09	14:10	-
58.0	39.5	890	118	2	1509	89041	35039	52353	1.70	4.6	202200	14:10	15:52	18:56
52.1	36.5	890	110	2	1968	108223	35039	52799	2.05			15:52	17:55	-
52.1	36.5	890	110	2	1211	66599	35039	52799	1.26	4.6	202200	17:55	19:10	22:44
52.1	36.5	890	110	2	5236	287987	35039	52799	5.45	4.6	202200	19:10	0:38	2:34
54.3	43.3	890	110	2	31	1682	35039	44466	0.04			0:38	0:40	-
54.3	43.3	890	110	2	41	2246	35039	44466	0.05			0:40	0:43	-
54.3	43.3	890	110	2	41	2245	35039	44466	0.05			0:43	0:46	-
54.3	43.3	890	110	2	3674	202073	35039	44466	4.54	4.6	202200	0:46	5:19	7:28
54.3	43.3	890	110	2	3827	210492	35039	44466	4.73			5:19	10:03	-
54.3	43.3	890	110	2	1378	75777	35039	44466	1.70	4.6	202200	5:19	7:01	12:01
54.7	43.3	890	110	2	4099	225421	35039	44466	5.07	4.6	202200	7:01	12:05	16:34
54.7	43.3	890	110	2	3795	208723	35039.37	44466	4.69	4.6	202200	12:05	16:47	21:07
54.7	45.9	890	110	2	38	2103	35039.37	41986	0.05			16:47	16:50	-

ตาราง ค.6 ผลระยะการใช้งานที่ได้จากแบบจำลองของใบมีดตัดขนาด 4.5 มิลลิเมตร ตามแนวขวางการไหล

ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)	ขนาดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว)	ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง)	ความกว้างของกระจกที่ถูกดึงมา (นิ้ว)	จำนวนของหัวใบมีดตัดที่ใช้	จำนวนแผ่นกระจกที่ตัด (แผ่น)	ระยะทางที่ต้องตัด (นิ้ว)	ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง)	ความเร็วในการตัดแนวขวางการไหล (นิ้วต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาในการตัดกระจก (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)	เวลาเริ่มตัด	เวลาครบยอด	เวลาเปลี่ยนใบมีด
53	38	890	118	2	812	47880	35039	54403	0.88	4.5	188400	8:00	8:52	11:27
58.34	31.34	890	118	2	2048	120815	35039	65964	1.83			8:52	10:42	-
52.95	36.97	890	118	2	1135	66959	35039	55919	1.20	4.5	188400	10:42	11:54	14:25
57.5	38.5	890	118	2	2048	120838	35039	53691	2.25			11:54	14:09	-
58.0	39.5	890	118	2	10	594	35039	52353	0.01			14:09	14:10	-
58.0	39.5	890	118	2	1509	89041	35039	52353	1.70	4.5	188400	14:10	15:52	18:08
52.1	36.5	890	110	2	1968	108223	35039	52799	2.05			15:52	17:55	-
52.1	36.5	890	110	2	1211	66599	35039	52799	1.26	4.5	188400	17:55	19:10	21:41
52.1	36.5	890	110	2	5236	287987	35039	52799	5.45	4.5	188400	19:10	0:38	1:15
54.3	43.3	890	110	2	31	1682	35039	44466	0.04			0:38	0:40	-
54.3	43.3	890	110	2	41	2246	35039	44466	0.05			0:40	0:43	-
54.3	43.3	890	110	2	41	2245	35039	44466	0.05			0:43	0:46	-
54.3	43.3	890	110	2	3674	202073	35039	44466	4.54	4.5	188400	0:46	5:19	5:37
54.3	43.3	890	110	2	3827	210492	35039	44466	4.73			5:19	10:03	-
54.3	43.3	890	110	2	1378	75777	35039	44466	1.70	4.5	188400	5:19	7:01	9:51
54.7	43.3	890	110	2	4099	225421	35039	44466	5.07	4.5	188400	7:01	12:05	14:05
54.7	43.3	890	110	2	3795	208723	35039.37	44466	4.69	4.5	188400	12:05	16:47	18:19
54.7	45.9	890	110	2	38	2103	35039.37	41986	0.05			16:47	16:50	-

ตาราง ค.7 ผลระยะการใช้งานที่ได้จากแบบจำลองของใบมีดตัดขนาด 4.4 มิลลิเมตร ตามแนวขวางการไหล

ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)	ขนาดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว)	ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง)	ความกว้างของกระจกที่ถูกดึงมา (นิ้ว)	จำนวนของหัวใบมีดตัดที่ใช้	จำนวนแผ่นกระจกที่ตัด (แผ่น)	ระยะทางที่ต้องตัด (นิ้ว)	ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง)	ความเร็วในการตัดแนวขวางการไหล (นิ้วต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาในการตัดกระจก (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)	เวลาเริ่มตัด	เวลาครบขอด	เวลาเปลี่ยนใบมีด
53	38	890	118	2	812	47880	35039	54403	0.88	4.4	178300	8:00	8:52	11:16
58.34	31.34	890	118	2	2048	120815	35039	65964	1.83			8:52	10:42	-
52.95	36.97	890	118	2	1135	66959	35039	55919	1.20	4.4	178300	10:42	11:54	14:04
57.5	38.5	890	118	2	2048	120838	35039	53691	2.25			11:54	14:09	-
58.0	39.5	890	118	2	10	594	35039	52353	0.01	4.4	178300	14:09	14:10	17:34
58.0	39.5	890	118	2	1509	89041	35039	52353	1.70			14:10	15:52	-
52.1	36.5	890	110	2	1968	108223	35039	52799	2.05	4.4	178300	15:52	17:55	20:55
52.1	36.5	890	110	2	1211	66599	35039	52799	1.26			17:55	19:10	-
52.1	36.5	890	110	2	5236	287987	35039	52799	5.45	4.4	178300	19:10	0:38	0:18
54.3	43.3	890	110	2	31	1682	35039	44466	0.04	4.4	178300	0:38	0:40	4:15
54.3	43.3	890	110	2	41	2246	35039	44466	0.05			0:40	0:43	-
54.3	43.3	890	110	2	41	2245	35039	44466	0.05			0:43	0:46	-
54.3	43.3	890	110	2	3674	202073	35039	44466	4.54	4.4	178300	0:46	5:19	8:15
54.3	43.3	890	110	2	3827	210492	35039	44466	4.73			5:19	10:03	-
54.3	43.3	890	110	2	1378	75777	35039	44466	1.70			5:19	7:01	-
54.7	43.3	890	110	2	4099	225421	35039	44466	5.07	4.4	178300	7:01	12:05	12:16
54.7	43.3	890	110	2	3795	208723	35039.37	44466	4.69	4.4	178300	12:05	16:47	16:17
54.7	45.9	890	110	2	38	2103	35039.37	41986	0.05	4.4	178300	16:47	16:50	20:30

ตาราง ค.8 ผลระยะการใช้งานที่ได้จากแบบจำลองของใบมีดตัดขนาด 4.3 มิลลิเมตร ตามแนวขวางการไหล

ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)	ขนาดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว)	ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง)	ความกว้างของกระจกที่ถูกดึงมา (นิ้ว)	จำนวนของหัวใบมีดตัดที่ใช้	จำนวนแผ่นกระจกที่ตัด (แผ่น)	ระยะทางที่ต้องตัด (นิ้ว)	ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง)	ความเร็วในการตัดแนวขวางการไหล (นิ้วต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาในการตัดกระจก (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)	เวลาเริ่มตัด	เวลาครบยอด	เวลาเปลี่ยนใบมีด
53	38	890	118	2	812	47880	35039	54403	0.88	4.3	183700	8:00	8:52	11:22
58.34	31.34	890	118	2	2048	120815	35039	65964	1.83			8:52	10:42	-
52.95	36.97	890	118	2	1135	66959	35039	55919	1.20	4.3	183700	10:42	11:54	14:15
57.5	38.5	890	118	2	2048	120838	35039	53691	2.25			11:54	14:09	-
58.0	39.5	890	118	2	10	594	35039	52353	0.01			14:09	14:10	-
58.0	39.5	890	118	2	1509	89041	35039	52353	1.70	4.3	183700	14:10	15:52	17:52
52.1	36.5	890	110	2	1968	108223	35039	52799	2.05	4.3	183700	15:52	17:55	21:20
52.1	36.5	890	110	2	1211	66599	35039	52799	1.26			17:55	19:10	-
52.1	36.5	890	110	2	5236	287987	35039	52799	5.45	4.3	183700	19:10	0:38	0:49
54.3	43.3	890	110	2	31	1682	35039	44466	0.04			0:38	0:40	-
54.3	43.3	890	110	2	41	2246	35039	44466	0.05			0:40	0:43	-
54.3	43.3	890	110	2	41	2245	35039	44466	0.05			0:43	0:46	-
54.3	43.3	890	110	2	3674	202073	35039	44466	4.54	4.3	183700	0:46	5:19	4:59
54.3	43.3	890	110	2	3827	210492	35039	44466	4.73	4.3	183700	5:19	10:03	9:06
54.3	43.3	890	110	2	1378	75777	35039	44466	1.70	4.3	183700	5:19	7:01	9:06
54.7	43.3	890	110	2	4099	225421	35039	44466	5.07	4.3	183700	7:01	12:05	13:14
54.7	43.3	890	110	2	3795	208723	35039.37	44466	4.69	4.3	183700	12:05	16:47	17:22
54.7	45.9	890	110	2	38	2103	35039.37	41986	0.05			16:47	16:50	-

ตาราง ค.9 ผลระยะการใช้งานที่ได้จากแบบจำลองของใบมีดตัดขนาด 4.2 มิลลิเมตร ตามแนวขวางการไหล

ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)	ขนาดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว)	ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง)	ความกว้างของกระจกที่ถูกดึงมา (นิ้ว)	จำนวนของหัวใบมีดตัดที่ใช้	จำนวนแผ่นกระจกที่ตัด (แผ่น)	ระยะทางที่ต้องตัด (นิ้ว)	ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง)	ความเร็วในการตัดแนวขวางการไหล (นิ้วต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาในการตัดกระจก (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)	เวลาเริ่มตัด	เวลาครบยอด	เวลาเปลี่ยนใบมีด
53	38	890	118	2	812	47880	35039	54403	0.88	4.2	187700	8:00	8:52	11:27
58.34	31.34	890	118	2	2048	120815	35039	65964	1.83			8:52	10:42	-
52.95	36.97	890	118	2	1135	66959	35039	55919	1.20	4.2	187700	10:42	11:54	14:24
57.5	38.5	890	118	2	2048	120838	35039	53691	2.25			11:54	14:09	-
58.0	39.5	890	118	2	10	594	35039	52353	0.01			14:09	14:10	-
58.0	39.5	890	118	2	1509	89041	35039	52353	1.70	4.2	187700	14:10	15:52	18:06
52.1	36.5	890	110	2	1968	108223	35039	52799	2.05			15:52	17:55	-
52.1	36.5	890	110	2	1211	66599	35039	52799	1.26	4.2	187700	17:55	19:10	21:38
52.1	36.5	890	110	2	5236	287987	35039	52799	5.45	4.2	187700	19:10	0:38	1:11
54.3	43.3	890	110	2	31	1682	35039	44466	0.04			0:38	0:40	-
54.3	43.3	890	110	2	41	2246	35039	44466	0.05			0:40	0:43	-
54.3	43.3	890	110	2	41	2245	35039	44466	0.05			0:43	0:46	-
54.3	43.3	890	110	2	3674	202073	35039	44466	4.54	4.2	187700	0:46	5:19	5:31
54.3	43.3	890	110	2	3827	210492	35039	44466	4.73			5:19	10:03	-
54.3	43.3	890	110	2	1378	75777	35039	44466	1.70	4.2	187700	5:19	7:01	9:44
54.7	43.3	890	110	2	4099	225421	35039	44466	5.07	4.2	187700	7:01	12:05	13:57
54.7	43.3	890	110	2	3795	208723	35039.37	44466	4.69	4.2	187700	12:05	16:47	18:11
54.7	45.9	890	110	2	38	2103	35039.37	41986	0.05			16:47	16:50	-

ตาราง ค.10 ผลระยะการใช้งานที่ได้จากแบบจำลองของใบมีดตัดขนาด 4.1 มิลลิเมตร ตามแนวขวางการไหล

ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)	ขนาดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว)	ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง)	ความกว้างของกระจกที่ถูกดึงมา (นิ้ว)	จำนวนของหัวใบมีดตัดที่ใช้	จำนวนแผ่นกระจกที่ตัด (แผ่น)	ระยะทางที่ต้องตัด (นิ้ว)	ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง)	ความเร็วในการตัดแนวขวางการไหล (นิ้วต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาในการตัดกระจก (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)	เวลาเริ่มตัด	เวลาครบขอด	เวลาเปลี่ยนใบมีด
53	38	890	118	2	812	47880	35039	54403	0.88	4.1	195400	8:00	8:52	11:35
58.34	31.34	890	118	2	2048	120815	35039	65964	1.83			8:52	10:42	-
52.95	36.97	890	118	2	1135	66959	35039	55919	1.20	4.1	195400	10:42	11:54	14:41
57.5	38.5	890	118	2	2048	120838	35039	53691	2.25			11:54	14:09	-
58.0	39.5	890	118	2	10	594	35039	52353	0.01			14:09	14:10	-
58.0	39.5	890	118	2	1509	89041	35039	52353	1.70	4.1	195400	14:10	15:52	18:32
52.1	36.5	890	110	2	1968	108223	35039	52799	2.05			15:52	17:55	-
52.1	36.5	890	110	2	1211	66599	35039	52799	1.26	4.1	195400	17:55	19:10	22:13
52.1	36.5	890	110	2	5236	287987	35039	52799	5.45	4.1	195400	19:10	0:38	1:55
54.3	43.3	890	110	2	31	1682	35039	44466	0.04			0:38	0:40	-
54.3	43.3	890	110	2	41	2246	35039	44466	0.05			0:40	0:43	-
54.3	43.3	890	110	2	41	2245	35039	44466	0.05			0:43	0:46	-
54.3	43.3	890	110	2	3674	202073	35039	44466	4.54	4.1	195400	0:46	5:19	6:33
54.3	43.3	890	110	2	3827	210492	35039	44466	4.73			5:19	10:03	-
54.3	43.3	890	110	2	1378	75777	35039	44466	1.70	4.1	195400	5:19	7:01	10:57
54.7	43.3	890	110	2	4099	225421	35039	44466	5.07	4.1	195400	7:01	12:05	15:21
54.7	43.3	890	110	2	3795	208723	35039.37	44466	4.69	4.1	195400	12:05	16:47	19:44
54.7	45.9	890	110	2	38	2103	35039.37	41986	0.05			16:47	16:50	-

ตาราง ค.11 ผลระยะการใช้งานที่ได้จากแบบจำลองของใบมีดตัดขนาด 4.0 มิลลิเมตร ตามแนวขวางการไหล

ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)	ขนาดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว)	ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง)	ความกว้างของกระจกที่ถูกดึงมา (นิ้ว)	จำนวนของหัวใบมีดตัดที่ใช้	จำนวนแผ่นกระจกที่ตัด (แผ่น)	ระยะทางที่ต้องตัด (นิ้ว)	ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง)	ความเร็วในการตัดแนวขวางการไหล (นิ้วต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาในการตัดกระจก (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)	เวลาเริ่มตัด	เวลาครบยอด	เวลาเปลี่ยนใบมีด
53	38	890	118	2	812	47880	35039	54403	0.88	4	206700	8:00	8:52	11:47
58.34	31.34	890	118	2	2048	120815	35039	65964	1.83			8:52	10:42	-
52.95	36.97	890	118	2	1135	66959	35039	55919	1.20	4	206700	10:42	11:54	15:05
57.5	38.5	890	118	2	2048	120838	35039	53691	2.25			11:54	14:09	-
58.0	39.5	890	118	2	10	594	35039	52353	0.01			14:09	14:10	-
58.0	39.5	890	118	2	1509	89041	35039	52353	1.70	4	206700	14:10	15:52	19:11
52.1	36.5	890	110	2	1968	108223	35039	52799	2.05			15:52	17:55	-
52.1	36.5	890	110	2	1211	66599	35039	52799	1.26	4	206700	17:55	19:10	23:04
52.1	36.5	890	110	2	5236	287987	35039	52799	5.45	4	206700	19:10	0:38	2:59
54.3	43.3	890	110	2	31	1682	35039	44466	0.04			0:38	0:40	-
54.3	43.3	890	110	2	41	2246	35039	44466	0.05			0:40	0:43	-
54.3	43.3	890	110	2	41	2245	35039	44466	0.05			0:43	0:46	-
54.3	43.3	890	110	2	3674	202073	35039	44466	4.54	4	206700	0:46	5:19	8:05
54.3	43.3	890	110	2	3827	210492	35039	44466	4.73			5:19	10:03	-
54.3	43.3	890	110	2	1378	75777	35039	44466	1.70			5:19	7:01	-
54.7	43.3	890	110	2	4099	225421	35039	44466	5.07	4	206700	7:01	12:05	12:44
54.7	43.3	890	110	2	3795	208723	35039.37	44466	4.69	4	206700	12:05	16:47	17:23
54.7	45.9	890	110	2	38	2103	35039.37	41986	0.05			16:47	16:50	-

ภาคผนวก ง
ผลที่ได้จากตารางแบบจำลองตามแนวทางการไหล

ตาราง ง.1 ผลระยะการใช้งานที่ได้จากแบบจำลองของใบมีดตัดขนาด 5.0 มิลลิเมตร ตามแนวทางการไหล

ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)	ขนาดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว)	ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง)	ความกว้างของกระจกที่ถูกดึงมา (นิ้ว)	จำนวนของหัวใบมีดตัดที่ใช้	จำนวนแผ่นกระจกที่ตัด (แผ่น)	ระยะทางที่ต้องตัด (นิ้ว)	ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาในการตัดกระจก (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)	เวลาเริ่มตัด	เวลาตรบขอด	เวลาเปลี่ยนใบมีด
53	38	890	118	2	812	30838	35039	0.88	5	382000	8:00	8:52	18:54
58.34	31.34	890	118	2	2048	64176	35039	1.83			8:52	10:42	-
52.95	36.97	890	118	2	1135	41957	35039	1.20			10:42	11:54	-
57.5	38.5	890	118	2	2048	78860	35039	2.25			11:54	14:09	-
58.0	39.5	890	118	2	10	397	35039	0.01			14:09	14:10	-
58.0	39.5	890	118	2	1509	59594	35039	1.70			14:10	15:52	-
52.1	36.5	890	110	2	1968	71820	35039	2.05			15:52	17:55	-
52.1	36.5	890	110	2	1211	44197	35039	1.26	5	382000	17:55	19:10	5:48
52.1	36.5	890	110	2	5236	191118	35039	5.45			19:10	0:38	-
54.3	43.3	890	110	2	31	1326	35039	0.04			0:38	0:40	-
54.3	43.3	890	110	2	41	1770	35039	0.05			0:40	0:43	-
54.3	43.3	890	110	2	41	1769	35039	0.05			0:43	0:46	-
54.3	43.3	890	110	2	3674	159233	35039	4.54			0:46	5:19	-
54.3	43.3	890	110	2	3827	165868	35039	4.73	5	382000	5:19	10:03	16:42
54.3	43.3	890	110	2	1378	59712	35039	1.70			10:03	11:45	-
54.7	43.3	890	110	2	4099	177632	35039	5.07	5	382000	11:45	16:49	3:36
54.7	43.3	890	110	2	3795	164474	35039	4.69			16:49	21:31	-
54.7	45.9	890	110	2	38	1755	35039	0.05			21:31	21:34	-

ตาราง ง.2 ผลระยะการใช้งานที่ได้จากแบบจำลองของใบมีดตัดขนาด 4.9 มิลลิเมตร ตามแนวทางการไหล

ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)	ขนาดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว)	ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง)	ความกว้างของกระจกที่ถูกดึงมา (นิ้ว)	จำนวนของหัวใบมีดตัดที่ใช้	จำนวนแผ่นกระจกที่ตัด (แผ่น)	ระยะทางที่ต้องตัด (นิ้ว)	ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาในการตัดกระจก (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)	เวลาเริ่มตัด	เวลาครบยอด	เวลาเปลี่ยนใบมีด
53	38	890	118	2	812	30838	35039	0.88	4.9	366800	8:00	8:52	18:28
58.34	31.34	890	118	2	2048	64176	35039	1.83			8:52	10:42	-
52.95	36.97	890	118	2	1135	41957	35039	1.20			10:42	11:54	-
57.5	38.5	890	118	2	2048	78860	35039	2.25			11:54	14:09	-
58.0	39.5	890	118	2	10	397	35039	0.01			14:09	14:10	-
58.0	39.5	890	118	2	1509	59594	35039	1.70			14:10	15:52	-
52.1	36.5	890	110	2	1968	71820	35039	2.05			15:52	17:55	-
52.1	36.5	890	110	2	1211	44197	35039	1.26	4.9	366800	17:55	19:10	4:56
52.1	36.5	890	110	2	5236	191118	35039	5.45			19:10	0:38	-
54.3	43.3	890	110	2	31	1326	35039	0.04			0:38	0:40	-
54.3	43.3	890	110	2	41	1770	35039	0.05			0:40	0:43	-
54.3	43.3	890	110	2	41	1769	35039	0.05			0:43	0:46	-
54.3	43.3	890	110	2	3674	159233	35039	4.54	4.9	366800	0:46	5:19	15:24
54.3	43.3	890	110	2	3827	165868	35039	4.73			5:19	10:03	-
54.3	43.3	890	110	2	1378	59712	35039	1.70			10:03	11:45	-
54.7	43.3	890	110	2	4099	177632	35039	5.07	4.9	366800	11:45	16:49	1:52
54.7	43.3	890	110	2	3795	164474	35039	4.69			16:49	21:31	-
54.7	45.9	890	110	2	38	1755	35039	0.05			21:31	21:34	-

ตาราง ง.3 ผลระยะการใช้งานที่ได้จากแบบจำลองของใบมีดตัดขนาด 4.8 มิลลิเมตร ตามแนวทางการไหล

ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)	ขนาดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว)	ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง)	ความกว้างของกระจกที่ถูกดึงมา (นิ้ว)	จำนวนของหัวใบมีดตัดที่ใช้	จำนวนแผ่นกระจกที่ตัด (แผ่น)	ระยะทางที่ต้องตัด (นิ้ว)	ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาในการตัดกระจก (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)	เวลาเริ่มตัด	เวลาครบยอด	เวลาเปลี่ยนใบมีด
53	38	890	118	2	812	30838	35039	0.88	4.8	351600	8:00	8:52	18:02
58.34	31.34	890	118	2	2048	64176	35039	1.83			8:52	10:42	-
52.95	36.97	890	118	2	1135	41957	35039	1.20			10:42	11:54	-
57.5	38.5	890	118	2	2048	78860	35039	2.25			11:54	14:09	-
58.0	39.5	890	118	2	10	397	35039	0.01			14:09	14:10	-
58.0	39.5	890	118	2	1509	59594	35039	1.70			14:10	15:52	-
52.1	36.5	890	110	2	1968	71820	35039	2.05			15:52	17:55	-
52.1	36.5	890	110	2	1211	44197	35039	1.26	4.8	351600	17:55	19:10	4:04
52.1	36.5	890	110	2	5236	191118	35039	5.45			19:10	0:38	-
54.3	43.3	890	110	2	31	1326	35039	0.04			0:38	0:40	-
54.3	43.3	890	110	2	41	1770	35039	0.05			0:40	0:43	-
54.3	43.3	890	110	2	41	1769	35039	0.05			0:43	0:46	-
54.3	43.3	890	110	2	3674	159233	35039	4.54	4.8	351600	0:46	5:19	14:06
54.3	43.3	890	110	2	3827	165868	35039	4.73			5:19	10:03	-
54.3	43.3	890	110	2	1378	59712	35039	1.70			10:03	11:45	-
54.7	43.3	890	110	2	4099	177632	35039	5.07	4.8	351600	11:45	16:49	0:08
54.7	43.3	890	110	2	3795	164474	35039	4.69			16:49	21:31	-
54.7	45.9	890	110	2	38	1755	35039	0.05			21:31	21:34	-

ตาราง ง.4 ผลระยะการใช้งานที่ได้จากแบบจำลองของใบมีดตัดขนาด 4.7 มิลลิเมตร ตามแนวทางการไหล

ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)	ขนาดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว)	ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง)	ความกว้างของกระจกที่ถูกดึงมา (นิ้ว)	จำนวนของหัวใบมีดตัดที่ใช้	จำนวนแผ่นกระจกที่ตัด (แผ่น)	ระยะทางที่ต้องตัด (นิ้ว)	ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาในการตัดกระจก (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)	เวลาเริ่มตัด	เวลาครบยอด	เวลาเปลี่ยนใบมีด
53	38	890	118	2	812	30838	35039	0.88	4.7	336400	8:00	8:52	17:36
58.34	31.34	890	118	2	2048	64176	35039	1.83			8:52	10:42	-
52.95	36.97	890	118	2	1135	41957	35039	1.20			10:42	11:54	-
57.5	38.5	890	118	2	2048	78860	35039	2.25			11:54	14:09	-
58.0	39.5	890	118	2	10	397	35039	0.01			14:09	14:10	-
58.0	39.5	890	118	2	1509	59594	35039	1.70			14:10	15:52	-
52.1	36.5	890	110	2	1968	71820	35039	2.05	4.7	336400	15:52	17:55	3:12
52.1	36.5	890	110	2	1211	44197	35039	1.26			17:55	19:10	-
52.1	36.5	890	110	2	5236	191118	35039	5.45			19:10	0:38	-
54.3	43.3	890	110	2	31	1326	35039	0.04			0:38	0:40	-
54.3	43.3	890	110	2	41	1770	35039	0.05			0:40	0:43	-
54.3	43.3	890	110	2	41	1769	35039	0.05			0:43	0:46	-
54.3	43.3	890	110	2	3674	159233	35039	4.54	4.7	336400	0:46	5:19	12:48
54.3	43.3	890	110	2	3827	165868	35039	4.73			5:19	10:03	-
54.3	43.3	890	110	2	1378	59712	35039	1.70			10:03	11:45	-
54.7	43.3	890	110	2	4099	177632	35039	5.07	4.7	336400	11:45	16:49	22:24
54.7	43.3	890	110	2	3795	164474	35039	4.69			16:49	21:31	-
54.7	45.9	890	110	2	38	1755	35039	0.05			21:31	21:34	-

ตาราง ง.5 ผลระยะการใช้งานที่ได้จากแบบจำลองของใบมีดตัดขนาด 4.6 มิลลิเมตร ตามแนวทางการไหล

ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)	ขนาดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว)	ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง)	ความกว้างของกระจกที่ถูกดึงมา (นิ้ว)	จำนวนของหัวใบมีดตัดที่ใช้	จำนวนแผ่นกระจกที่ตัด (แผ่น)	ระยะทางที่ต้องตัด (นิ้ว)	ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาในการตัดกระจก (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)	เวลาเริ่มตัด	เวลาครบยอด	เวลาเปลี่ยนใบมีด
53	38	890	118	2	812	30838	35039	0.88	4.6	321200	8:00	8:52	17:10
58.34	31.34	890	118	2	2048	64176	35039	1.83			8:52	10:42	-
52.95	36.97	890	118	2	1135	41957	35039	1.20			10:42	11:54	-
57.5	38.5	890	118	2	2048	78860	35039	2.25			11:54	14:09	-
58.0	39.5	890	118	2	10	397	35039	0.01			14:09	14:10	-
58.0	39.5	890	118	2	1509	59594	35039	1.70			14:10	15:52	-
52.1	36.5	890	110	2	1968	71820	35039	2.05	4.6	321200	15:52	17:55	2:20
52.1	36.5	890	110	2	1211	44197	35039	1.26			17:55	19:10	-
52.1	36.5	890	110	2	5236	191118	35039	5.45			19:10	0:38	-
54.3	43.3	890	110	2	31	1326	35039	0.04			0:38	0:40	-
54.3	43.3	890	110	2	41	1770	35039	0.05			0:40	0:43	-
54.3	43.3	890	110	2	41	1769	35039	0.05			0:43	0:46	-
54.3	43.3	890	110	2	3674	159233	35039	4.54	4.6	321200	0:46	5:19	11:30
54.3	43.3	890	110	2	3827	165868	35039	4.73			5:19	10:03	-
54.3	43.3	890	110	2	1378	59712	35039	1.70	4.6	321200	10:03	11:45	20:40
54.7	43.3	890	110	2	4099	177632	35039	5.07			11:45	16:49	-
54.7	43.3	890	110	2	3795	164474	35039	4.69	4.6	321200	16:49	21:31	5:50
54.7	45.9	890	110	2	38	1755	35039	0.05			21:31	21:34	-

ตาราง ง.6 ผลระยะการใช้งานที่ได้จากแบบจำลองของใบมีดตัดขนาด 4.5 มิลลิเมตร ตามแนวทางการไหล

ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)	ขนาดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว)	ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง)	ความกว้างของกระจกที่ถูกดึงมา (นิ้ว)	จำนวนของหัวใบมีดตัดที่ใช้	จำนวนแผ่นกระจกที่ตัด (แผ่น)	ระยะทางที่ต้องตัด (นิ้ว)	ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาในการตัดกระจก (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)	เวลาเริ่มตัด	เวลาครบยอด	เวลาเปลี่ยนใบมีด
53	38	890	118	2	812	30838	35039	0.88	4.5	306000	8:00	8:52	16:43
58.34	31.34	890	118	2	2048	64176	35039	1.83			8:52	10:42	-
52.95	36.97	890	118	2	1135	41957	35039	1.20			10:42	11:54	-
57.5	38.5	890	118	2	2048	78860	35039	2.25			11:54	14:09	-
58.0	39.5	890	118	2	10	397	35039	0.01			14:09	14:10	-
58.0	39.5	890	118	2	1509	59594	35039	1.70			14:10	15:52	-
52.1	36.5	890	110	2	1968	71820	35039	2.05	4.5	306000	15:52	17:55	1:27
52.1	36.5	890	110	2	1211	44197	35039	1.26			17:55	19:10	-
52.1	36.5	890	110	2	5236	191118	35039	5.45			19:10	0:38	-
54.3	43.3	890	110	2	31	1326	35039	0.04			0:38	0:40	-
54.3	43.3	890	110	2	41	1770	35039	0.05			0:40	0:43	-
54.3	43.3	890	110	2	41	1769	35039	0.05			0:43	0:46	-
54.3	43.3	890	110	2	3674	159233	35039	4.54	4.5	306000	0:46	5:19	10:11
54.3	43.3	890	110	2	3827	165868	35039	4.73			5:19	10:03	-
54.3	43.3	890	110	2	1378	59712	35039	1.70	4.5	306000	10:03	11:45	18:55
54.7	43.3	890	110	2	4099	177632	35039	5.07			11:45	16:49	-
54.7	43.3	890	110	2	3795	164474	35039	4.69	4.5	306000	16:49	21:31	3:39
54.7	45.9	890	110	2	38	1755	35039	0.05			21:31	21:34	-

ตาราง ง.7 ผลระยะการใช้งานที่ได้จากแบบจำลองของใบมีดตัดขนาด 4.4 มิลลิเมตร ตามแนวทางการไหล

ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)	ขนาดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว)	ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง)	ความกว้างของกระจกที่ถูกดึงมา (นิ้ว)	จำนวนของหัวใบมีดตัดที่ใช้	จำนวนแผ่นกระจกที่ตัด (แผ่น)	ระยะทางที่ต้องตัด (นิ้ว)	ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาในการตัดกระจก (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)	เวลาเริ่มตัด	เวลาครบยอด	เวลาเปลี่ยนใบมีด
53	38	890	118	2	812	30838	35039	0.88	4.4	290800	8:00	8:52	16:17
58.34	31.34	890	118	2	2048	64176	35039	1.83			8:52	10:42	-
52.95	36.97	890	118	2	1135	41957	35039	1.20			10:42	11:54	-
57.5	38.5	890	118	2	2048	78860	35039	2.25			11:54	14:09	-
58.0	39.5	890	118	2	10	397	35039	0.01			14:09	14:10	-
58.0	39.5	890	118	2	1509	59594	35039	1.70			14:10	15:52	-
52.1	36.5	890	110	2	1968	71820	35039	2.05	4.4	290800	15:52	17:55	0:35
52.1	36.5	890	110	2	1211	44197	35039	1.26			17:55	19:10	-
52.1	36.5	890	110	2	5236	191118	35039	5.45	4.4	290800	19:10	0:38	8:53
54.3	43.3	890	110	2	31	1326	35039	0.04			0:38	0:40	-
54.3	43.3	890	110	2	41	1770	35039	0.05			0:40	0:43	-
54.3	43.3	890	110	2	41	1769	35039	0.05			0:43	0:46	-
54.3	43.3	890	110	2	3674	159233	35039	4.54			0:46	5:19	-
54.3	43.3	890	110	2	3827	165868	35039	4.73	4.4	290800	5:19	10:03	17:11
54.3	43.3	890	110	2	1378	59712	35039	1.70			10:03	11:45	-
54.7	43.3	890	110	2	4099	177632	35039	5.07			11:45	16:49	-
54.7	43.3	890	110	2	3795	164474	35039	4.69	4.4	290800	16:49	21:31	1:29
54.7	45.9	890	110	2	38	1755	35039	0.05			21:31	21:34	-

ตาราง ง.8 ผลระยะการใช้งานที่ได้จากแบบจำลองของใบมีดตัดขนาด 4.3 มิลลิเมตร ตามแนวทางการไหล

ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)	ขนาดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว)	ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง)	ความกว้างของกระจกที่ถูกดึงมา (นิ้ว)	จำนวนของหัวใบมีดตัดที่ใช้	จำนวนแผ่นกระจกที่ตัด (แผ่น)	ระยะทางที่ต้องตัด (นิ้ว)	ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาในการตัดกระจก (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)	เวลาเริ่มตัด	เวลาตรบขอด	เวลาเปลี่ยนใบมีด
53	38	890	118	2	812	30838	35039	0.88	4.3	275600	8:00	8:52	15:51
58.34	31.34	890	118	2	2048	64176	35039	1.83			8:52	10:42	-
52.95	36.97	890	118	2	1135	41957	35039	1.20			10:42	11:54	-
57.5	38.5	890	118	2	2048	78860	35039	2.25			11:54	14:09	-
58.0	39.5	890	118	2	10	397	35039	0.01			14:09	14:10	-
58.0	39.5	890	118	2	1509	59594	35039	1.70	4.3	275600	14:10	15:52	23:43
52.1	36.5	890	110	2	1968	71820	35039	2.05			15:52	17:55	-
52.1	36.5	890	110	2	1211	44197	35039	1.26			17:55	19:10	-
52.1	36.5	890	110	2	5236	191118	35039	5.45	4.3	275600	19:10	0:38	7:35
54.3	43.3	890	110	2	31	1326	35039	0.04			0:38	0:40	-
54.3	43.3	890	110	2	41	1770	35039	0.05			0:40	0:43	-
54.3	43.3	890	110	2	41	1769	35039	0.05			0:43	0:46	-
54.3	43.3	890	110	2	3674	159233	35039	4.54			0:46	5:19	-
54.3	43.3	890	110	2	3827	165868	35039	4.73	4.3	275600	5:19	10:03	15:27
54.3	43.3	890	110	2	1378	59712	35039	1.70			10:03	11:45	-
54.7	43.3	890	110	2	4099	177632	35039	5.07	4.3	275600	11:45	16:49	23:19
54.7	43.3	890	110	2	3795	164474	35039	4.69			16:49	21:31	-
54.7	45.9	890	110	2	38	1755	35039	0.05			21:31	21:34	-

ตาราง ง.9 ผลระยะการใช้งานที่ได้จากแบบจำลองของใบมีดตัดขนาด 4.2 มิลลิเมตร ตามแนวทางการไหล

ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)	ขนาดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว)	ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง)	ความกว้างของกระจกที่ถูกดึงมา (นิ้ว)	จำนวนของหัวใบมีดตัดที่ใช้	จำนวนแผ่นกระจกที่ตัด (แผ่น)	ระยะทางที่ต้องตัด (นิ้ว)	ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาในการตัดกระจก (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)	เวลาเริ่มตัด	เวลาครบขอด	เวลาเปลี่ยนใบมีด
53	38	890	118	2	812	30838	35039	0.88	4.2	260400	8:00	8:52	15:25
58.34	31.34	890	118	2	2048	64176	35039	1.83			8:52	10:42	-
52.95	36.97	890	118	2	1135	41957	35039	1.20			10:42	11:54	-
57.5	38.5	890	118	2	2048	78860	35039	2.25			11:54	14:09	-
58.0	39.5	890	118	2	10	397	35039	0.01			14:09	14:10	-
58.0	39.5	890	118	2	1509	59594	35039	1.70	4.2	260400	14:10	15:52	22:51
52.1	36.5	890	110	2	1968	71820	35039	2.05			15:52	17:55	-
52.1	36.5	890	110	2	1211	44197	35039	1.26			17:55	19:10	-
52.1	36.5	890	110	2	5236	191118	35039	5.45	4.2	260400	19:10	0:38	6:17
54.3	43.3	890	110	2	31	1326	35039	0.04			0:38	0:40	-
54.3	43.3	890	110	2	41	1770	35039	0.05			0:40	0:43	-
54.3	43.3	890	110	2	41	1769	35039	0.05			0:43	0:46	-
54.3	43.3	890	110	2	3674	159233	35039	4.54			0:46	5:19	-
54.3	43.3	890	110	2	3827	165868	35039	4.73	4.2	260400	5:19	10:03	13:43
54.3	43.3	890	110	2	1378	59712	35039	1.70			10:03	11:45	-
54.7	43.3	890	110	2	4099	177632	35039	5.07	4.2	260400	11:45	16:49	21:09
54.7	43.3	890	110	2	3795	164474	35039	4.69	4.2	260400	16:49	21:31	4:35
54.7	45.9	890	110	2	38	1755	35039	0.05			21:31	21:34	-

ตาราง ง.10 ผลระยะการใช้งานที่ได้จากแบบจำลองของใบมีดตัดขนาด 4.1 มิลลิเมตร ตามแนวทางการไหล

ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)	ขนาดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว)	ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง)	ความกว้างของกระจกที่ถูกดึงมา (นิ้ว)	จำนวนของหัวใบมีดตัดที่ใช้	จำนวนแผ่นกระจกที่ตัด (แผ่น)	ระยะทางที่ต้องตัด (นิ้ว)	ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาในการตัดกระจก (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)	เวลาเริ่มตัด	เวลาครบขอบ	เวลาเปลี่ยนใบมีด
53	38	890	118	2	812	30838	35039	0.88	4.1	245200	8:00	8:52	14:59
58.34	31.34	890	118	2	2048	64176	35039	1.83			8:52	10:42	-
52.95	36.97	890	118	2	1135	41957	35039	1.20			10:42	11:54	-
57.5	38.5	890	118	2	2048	78860	35039	2.25			11:54	14:09	-
58.0	39.5	890	118	2	10	397	35039	0.01			14:09	14:10	-
58.0	39.5	890	118	2	1509	59594	35039	1.70	4.1	245200	14:10	15:52	21:59
52.1	36.5	890	110	2	1968	71820	35039	2.05			15:52	17:55	-
52.1	36.5	890	110	2	1211	44197	35039	1.26			17:55	19:10	-
52.1	36.5	890	110	2	5236	191118	35039	5.45	4.1	245200	19:10	0:38	4:59
54.3	43.3	890	110	2	31	1326	35039	0.04			0:38	0:40	-
54.3	43.3	890	110	2	41	1770	35039	0.05			0:40	0:43	-
54.3	43.3	890	110	2	41	1769	35039	0.05			0:43	0:46	-
54.3	43.3	890	110	2	3674	159233	35039	4.54	4.1	245200	0:46	5:19	11:59
54.3	43.3	890	110	2	3827	165868	35039	4.73			5:19	10:03	-
54.3	43.3	890	110	2	1378	59712	35039	1.70			10:03	11:45	-
54.7	43.3	890	110	2	4099	177632	35039	5.07	4.1	245200	11:45	16:49	18:59
54.7	43.3	890	110	2	3795	164474	35039	4.69	4.1	245200	16:49	21:31	1:59
54.7	45.9	890	110	2	38	1755	35039	0.05			21:31	21:34	-

ตาราง ง.11 ผลระยะการใช้งานที่ได้จากแบบจำลองของใบมีดตัดขนาด 4.0 มิลลิเมตร ตามแนวทางการไหล

ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)	ขนาดตามแนวขวางการไหล	ความเร็วในการไหลของกระจก	ความกว้างของกระจกที่	จำนวนของหัวใบมีดตัดที่	จำนวนแผ่นกระจกที่ตัด (แผ่น)	ระยะทางที่ต้องตัด (นิ้ว)	ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาในการตัดกระจก	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด	ระยะทางใช้งานใบมีดตัด	เวลาเริ่มตัด	เวลาครบยอด	เวลาเปลี่ยนใบมีด
53	38	890	118	2	812	30838	35039	0.88	4	230000	8:00	8:52	14:33
58.34	31.34	890	118	2	2048	64176	35039	1.83			8:52	10:42	-
52.95	36.97	890	118	2	1135	41957	35039	1.20			10:42	11:54	-
57.5	38.5	890	118	2	2048	78860	35039	2.25			11:54	14:09	-
58.0	39.5	890	118	2	10	397	35039	0.01			14:09	14:10	-
58.0	39.5	890	118	2	1509	59594	35039	1.70	4	230000	14:10	15:52	21:07
52.1	36.5	890	110	2	1968	71820	35039	2.05			15:52	17:55	-
52.1	36.5	890	110	2	1211	44197	35039	1.26			17:55	19:10	-
52.1	36.5	890	110	2	5236	191118	35039	5.45	4	230000	19:10	0:38	3:41
54.3	43.3	890	110	2	31	1326	35039	0.04			0:38	0:40	-
54.3	43.3	890	110	2	41	1770	35039	0.05			0:40	0:43	-
54.3	43.3	890	110	2	41	1769	35039	0.05			0:43	0:46	-
54.3	43.3	890	110	2	3674	159233	35039	4.54	4	230000	0:46	5:19	10:15
54.3	43.3	890	110	2	3827	165868	35039	4.73			5:19	10:03	-
54.3	43.3	890	110	2	1378	59712	35039	1.70	4	230000	10:03	11:45	16:49
54.7	43.3	890	110	2	4099	177632	35039	5.07	4	230000	11:45	16:49	23:23
54.7	43.3	890	110	2	3795	164474	35039	4.69			16:49	21:31	-
54.7	45.9	890	110	2	38	1755	35039	0.05			21:31	21:34	-

ภาคผนวก จ
การสร้างตารางแบบจำลองการตัด

1. การสร้างตารางแบบจำลองการตัดตามแนวขวาง

ใช้โปรแกรม Microsoft Excel 2010 ในการสร้างตารางแบบจำลอง โดยทำการสร้างช่องที่ต้องนำค่าขนาดกระจกจากแผนการตัดไปใส่ เพื่อทำการจำลองการตัดโดยแบ่งจำนวนช่องต่างๆดังนี้

1. ขนาดการตัดตามแนวทางการไหลหน่วยเป็นนิ้ว เป็นขนาดกระจกที่ทำการตัดตามแนวทางการไหล
2. ขนาดการตัดตามแนวขวางการไหลหน่วยเป็นนิ้ว เป็นขนาดกระจกที่ทำการตัดตามแนวขวางการไหล
3. จำนวนกระจกที่จะทำการตัด มีหน่วยเป็นจำนวนแผ่นที่ต้องทำการตัด
4. ความเร็วในการไหลของกระจก คือความเร็วในการไหลของกระจกที่ถูกดึงมาจากเตาหลอมและไหลมายังเครื่องจักรตัดกระจกมีหน่วยเป็นเมตรต่อชั่วโมง
5. ความกว้างของกระจกที่ถูกดึงมา คือความกว้างของกระจกที่ใช้ในการตัดหลังจากดึงมาจากเตาหลอม มีหน่วยเป็นนิ้ว
6. จำนวนเครื่องจักรตัดตามแนวขวางการไหลที่ใช้งาน หมายถึงจำนวนเครื่องจักรตัดที่ใช้ในขณะที่ทำการตัดกระจก
7. ขนาดใบมีดตัด คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดตัดที่ใช้งาน มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
8. ระยะทางใช้งานของใบมีดตัด คือระยะที่ต้องการใช้งานใบมีดตัดในแบบจำลอง มีหน่วยเป็นนิ้ว

จากหัวข้อที่กำหนดข้างต้นสามารถนำมาสร้างเป็นตารางได้ดังแสดงในตาราง จ.1

ต่อมาจะเป็นส่วนในการสร้างสูตรการคำนวณ เพื่อใช้ในการแปลงแผนการตัดที่ได้ให้อยู่ในรูปของเวลาที่ใช้ในการตัดและเวลาที่ต้องทำการเปลี่ยนใบมีดตัด โดยจะทำการกำหนดช่องต่างๆ โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

ระยะที่ต้องตัดตามแนวขวางการไหล = $\frac{\text{จำนวนแผ่นกระจกที่ตัด x ความกว้างของกระจกที่ถูกดึงมา}}{\text{จำนวนเครื่องตัดที่ใช้งาน}}$

ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง) = ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง) x 1,000 / 25.4

ความเร็วในการตัดตามแนวขวางการไหล (นิ้วต่อชั่วโมง) = ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง) x ความกว้างของกระจกที่ถูกดึงมา / (ขนาดการตัดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว) x จำนวนเครื่องตัดที่ใช้)

ระยะเวลาในการตัด = $\frac{\text{ระยะที่ต้องตัดตามแนวขวางการไหล}}{\text{ความเร็วในการตัดตามแนวขวางการไหล}}$

เวลาที่สามารถใช้งานใบมีดตัดใบใหม่ = $\frac{\text{ระยะทางใช้งานของใบมีดตัดที่กำหนด}}{\text{ความเร็วในการตัดตามแนวขวางการไหล}}$

เหลือเวลาใช้งานใบมีด = เวลาที่สามารถใช้งานใบมีดตัดใบใหม่ – ระยะเวลาในการตัด

2. การสร้างตารางการแบบจำลองการตัดตามแนวทางการไหล

ลักษณะการสร้างเหมือนกันกับการตัดตามแนวขวางการไหล โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

ระยะที่ต้องตัดตามแนวทางการไหล =ขนาดการตัดตามแนวทางการไหล xจำนวนแผ่นกระจกที่ตัด

ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง) = ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง) x 1,000 / 25.4

$$\text{ระยะเวลาในการตัด} = \frac{\text{ระยะที่ต้องตัดตามแนวทางการไหล}}{\text{ความเร็วในการตัดตามแนวทางการไหล}}$$

$$\text{เวลาที่สามารถใช้งานใบมีดตัดใบใหม่} = \frac{\text{ระยะทางใช้งานของใบมีดตัดที่กำหนด}}{\text{ความเร็วในการตัดตามแนวทางการไหล}}$$

เหลือเวลาใช้งานใบมีด = เวลาที่สามารถใช้งานใบมีดตัดใบใหม่ – ระยะเวลาในการตัด

จากสูตรการคำนวณที่กำหนดข้างต้นสามารถนำมาสร้างเป็นตารางได้ดังแสดงในตาราง จ.2

ตาราง จ.1 แสดงการสร้างแบบจำลองการตัดตามแนวขวางการไหล

ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)	ขนาดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว)	ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง)	ความกว้างของกระจกที่ถูกดึงมา (นิ้ว)	จำนวนของหัวใบมีดตัดที่ใช้	จำนวนแผ่นกระจกที่ตัด (แผ่น)	ระยะทางที่ต้องตัด (นิ้ว)	ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง)	ความเร็วในการตัดแนวขวางการไหล (นิ้วต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาในการตัดกระจก (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)	เวลาเริ่มตัด	เวลาครบยอด	เวลาเปลี่ยนใบมีด

ตาราง จ.2 แสดงการสร้างแบบจำลองการตัดตามแนวทางการไหล

ขนาดตามแนวการไหล (นิ้ว)	ขนาดตามแนวขวางการไหล (นิ้ว)	ความเร็วในการไหลของกระจก (เมตรต่อชั่วโมง)	ความกว้างของกระจกที่ถูกดึงมา (นิ้ว)	จำนวนของหัวใบมีดตัดที่ใช้	จำนวนแผ่นกระจกที่ตัด (แผ่น)	ระยะทางที่ต้องตัด (นิ้ว)	ความเร็วการไหลกระจก (นิ้วต่อชั่วโมง)	ระยะเวลาในการตัดกระจก (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดตัด (มิลลิเมตร)	ระยะทางใช้งานใบมีดตัด (นิ้ว)	เวลาเริ่มตัด	เวลาครบยอด	เวลาเปลี่ยนใบมีด

ภาคผนวก ฉ
ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

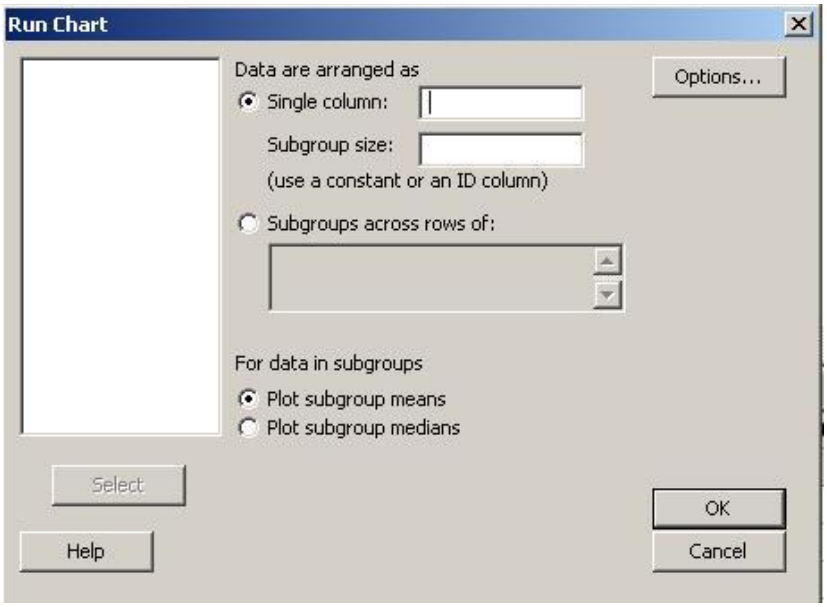
1. การทดสอบเรื่องความสุ่มโดยการทำรันชาร์ต (Run Chart)

การเรียกคำสั่ง

Stat > Quality Tools > Run Chart

รันชาร์ต จะถูกใช้เพื่อการดูลักษณะของข้อมูล และเพื่อสรุปในการทดสอบเรื่องความสุ่ม กราฟ รันชาร์ต จะทำการพล๊อตค่าข้อมูลแต่ละค่าเรียงตามลำดับกลุ่มข้อมูล และมีเส้นอ้างอิงตามแนวนอนที่แสดงค่ามัธยฐาน ในกรณีที่มีจำนวนกลุ่มข้อมูลมากกว่าหนึ่ง การทดสอบเรื่องพฤติกรรมความสุ่มของข้อมูลเพื่อดูเรื่องแนวโน้ม (Trend), ความเป็นวัฏจักร (Oscilliation), ความไม่เป็นหนึ่งเดียวของข้อมูล (Mixtures) และการแยกกลุ่มของข้อมูล (Clustering) โดยรูปแบบเหล่านี้จะบ่งชี้ได้ว่าความผันแปรนั้นมาจาก special causes (มาจากนอกระบบที่สามารถจัดการได้) ส่วน common causes ที่มีอยู่ในกระบวนการและถือเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการ โดยกระบวนการจะอยู่ภายใต้การควบคุมก็ต่อเมื่อความผันแปรนั้นมาจาก common causes เท่านั้น โดยในที่นี้จะใช้โปรแกรม SPSS ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังแสดงในรูป จ.1

รูป จ.1 แสดงรายละเอียดไดอะล๊อกบ๊อกซ์



Data are arranged as	
Single Column	เลือกคอลัมน์ (กรณีที่ข้อมูลอยู่ในคอลัมน์เดียว)
Subgroup size	ใส่ค่าของจำนวนกลุ่มข้อมูล (ในกรณีที่กลุ่มข้อมูล มีขนาดเท่ากัน) หรือ คอลัมน์ที่ระบุ subscript (กรณีกลุ่มข้อมูลมีขนาดไม่เท่ากัน)
Subgroup across rows	เลือกช่องนี้เมื่อข้อมูลถูกจัดเรียงในลักษณะเรียงแถวหลายคอลัมน์ ใส่ช่วงคอลัมน์ที่บรรจุข้อมูล
For data in subgroups	เลือกให้กราฟแสดงค่าเฉลี่ยหรือค่ามัธยฐาน
Plot subgroup means	เลือกเมื่อต้องการให้กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูล ในกราฟ
Plot subgroup median	เลือกเมื่อต้องการให้กราฟแสดงค่ามัธยฐานของกลุ่มข้อมูล ในกราฟ

การแปลผลในการทดสอบเรื่องความสุ่ม

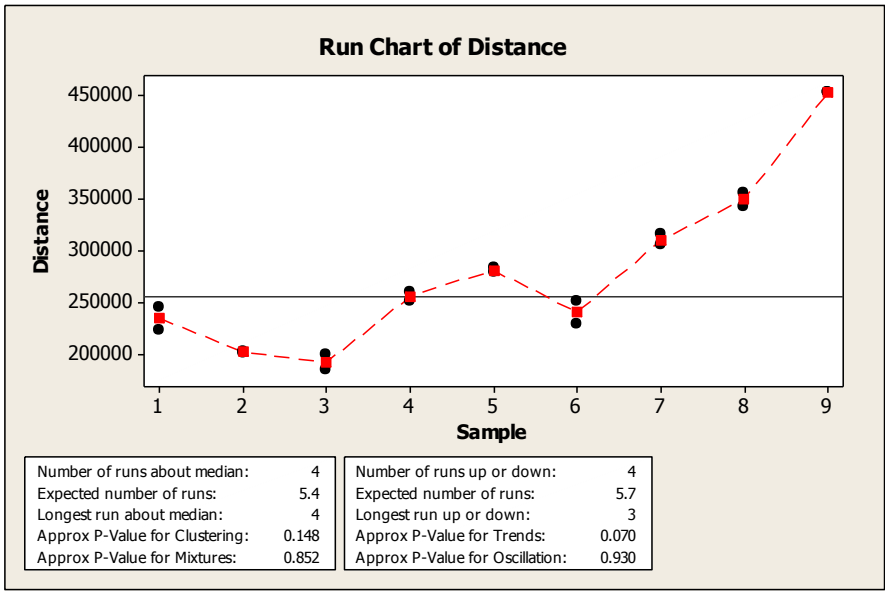
รูปแบบข้อมูลที่ได้จากกระบวนที่อยู่ภายใต้การควบคุม คือ ไม่มีรูปแบบแน่นอนของข้อมูล (ข้อมูลเรียงตัวแบบสุ่ม) ซึ่งความผันแปรของข้อมูลต้องมีผลมาจาก common causes อย่างเดียวเท่านั้น

ตาราง จ.1 แสดงการสรุปผลจากกราฟรันชาร์ต ในการทดสอบเรื่องความสุ่ม

การทดสอบเรื่องความสุ่ม	เงื่อนไข	ตัวบ่งชี้
Number of runs about the median	มีค่ารันมากกว่าค่าที่ควรจะเป็น	เป็นข้อมูลที่มาจากสองกลุ่มประชากร (Mixture)
	มีค่ารันน้อยกว่าค่าที่ควรจะเป็น	ข้อมูลมีการแยกกลุ่ม (Clustering)
Number of runs up or down	มีค่ารันมากกว่าค่าที่ควรจะเป็น	ข้อมูลเป็นวัฏจักร (มีคลื่นขึ้นลงช่วงสั้น) (Oscillation)
	มีค่ารันน้อยกว่าค่าที่ควรจะเป็น	ข้อมูลมีลักษณะเป็นแนวโน้ม (Trend)

ทำการทดสอบข้อมูลจากการทดลองเบื้องต้นหาช่วงการใช้งานความดันกดตัดที่เหมาะสม ของใบมีดตัดในแต่ละขนาด เพื่อทำการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล แสดงได้ดังรูป จ.1

รูป จ.2 ผลที่ได้จากการทดสอบ Run Chart



จากผลการทดสอบมีระดับนัยสำคัญที่ 0.05 พบว่าค่า p-values = 0.148 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 (α) จึงสรุปได้ว่าไม่มีผลจากปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อระยะการใช้งานใบมีดตัดนี้ และจากตาราง จ.1 ในการทดสอบเรื่องความสุ่ม พบว่าข้อมูลที่ได้มีการแยกกลุ่มและมีลักษณะเป็นแนวโน้ม (Trend)

2. วิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระ

กานต์ณัฐ ณ บางช้าง (2554) ได้กล่าวถึงการวิเคราะห์การถดถอยเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามโดยนำข้อมูลของตัวแปรอิสระมาใช้ในการอธิบายตัวแปรตาม มีแนวความคิดมาจากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) ที่บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตาม ดังนั้นจึงมีการพิจารณาถึงลำดับของตัวแปรอิสระที่ถูกเลือกเข้ามาอยู่ในตัวแบบการถดถอยที่ให้ตัวแบบการถดถอยที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งวิธีการเลือกตัวแปรอิสระดังกล่าวมีหลายวิธี และวิธีที่ได้รับความนิยม ได้แก่

2.1 วิธีพิจารณาทุกตัวแบบที่เป็นไปได้ (All Enter) เป็นวิธีการเลือกตัวแบบการถดถอยที่ดีที่สุดจากตัวแบบการถดถอยทุกตัวแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมด ขั้นตอนการพิจารณาเริ่มจากการเลือกตัวแบบถดถอยที่ดีที่สุดในกลุ่มที่มีจำนวนตัวแปรอิสระเท่ากัน แล้วนำตัวแบบการถดถอยที่ดีที่สุดในแต่ละกลุ่มมาเปรียบเทียบกัน แบ่งตามจำนวนตัวแปรอิสระที่อยู่ในตัวแบบ ค่าสถิติที่นิยมใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณา ได้แก่ ผลรวมกำลังสองของการถดถอย (SSR) ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R2) และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดแบบปรับ (R^2_a) ในกรณีการใช้ค่า SSE และ MSE จะเลือกตัวแบบการถดถอยที่ให้ค่าดังกล่าวต่ำที่สุด แต่ในกรณีใช้ค่า SSR, R^2 และ R^2_a จะเลือกตัวแบบการถดถอยที่ให้ค่าสถิติดังกล่าวสูง ดังนั้นวิธีการนี้ตัวแบบการถดถอยทั้งหมดจะต้องมาจากการพิจารณาแต่ละตัวแปร ถึงแม้ว่าวิธีการนี้จะทำให้ทราบถึงตัวแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมด แต่ขั้นตอนดังกล่าวจำเป็นที่จะต้องใช้เวลาเป็นอย่างมากในการพิจารณา วิธีการนี้จะเป็นประโยชน์ในกรณีที่มีจำนวนตัวแปรอิสระที่ใช้ในการพิจารณาไม่มากนัก ถึงแม้ว่าในปัจจุบันการประมวลผลโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทันสมัยจะใช้เวลาน้อยในการประมวลผลแต่ก็ยังคงใช้เวลามาก ในกรณีที่มีจำนวนตัวแปรอิสระมาก เนื่องจากต้องพิจารณาตัวแบบถึง 2^k-1 ตัวแบบ เมื่อ k คือจำนวนตัวแปรอิสระที่อยู่ในตัวแบบ

2.2 วิธีเลือกตัวแปรอิสระแบบไปข้างหน้า (Forward) เป็นวิธีการเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาอยู่ในตัวแบบการถดถอย โดยเลือกตัวแปรอิสระครั้งละหนึ่งตัวแปรและพิจารณาเลือกจนกระทั่งไม่มีตัวแปรอิสระใดที่มีส่วนในการอธิบายความผันแปรของตัวแปรตามได้อีก เมื่อตัวแปรอิสระใดถูกเลือกเข้ามาอยู่ในตัวแบบการถดถอยแล้วจะไม่มีการพิจารณานำออกในภายหลัง ขั้นตอนของวิธีเลือกตัวแปรอิสระแบบไปข้างหน้า มีดังนี้

1) เริ่มจากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม โดยเลือกตัวแปรอิสระซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับตัวแปรตามสูงที่สุด เข้าสู่ตัวแบบเป็นตัวแรก

2) พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วน (Partial Correlation) เมื่อกำหนดว่าตัวแปรอิสระที่เข้ามาในขั้นตอนแรกอยู่ในตัวแบบแล้ว โดยเลือกตัวแปรอิสระที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนกับตัวแปรตามสูงที่สุด ทำขั้นตอนเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่สามารถหาตัวแปรอิสระเข้าสู่ตัวแบบได้

2.3 วิธีตัดตัวแปรอิสระออกแบบถอยหลัง เป็นวิธีการเลือกตัวแบบการถดถอยที่มีขั้นตอนตรงกันข้ามกับวิธีเลือกตัวแปรอิสระแบบไปข้างหน้า โดยเริ่มจากตัวแบบเต็มรูปแล้วพิจารณานำตัวแปรอิสระที่มีส่วนในการอธิบายความผันแปรของตัวแปรตามน้อยที่สุด หรือให้ค่าสถิติ F (F –value) น้อยที่สุด ออกไปจากตัวแบบเป็นตัวแรก จากนั้นพิจารณาค่าสถิติ F บางส่วน (Partial F-value) ที่มีค่าน้อยกว่าที่กำหนดไว้เป็นเกณฑ์ในการนำตัวแปรอิสระออกจากตัวแบบเป็นตัวถัดมา ขั้นตอนของวิธีการนี้จะสิ้นสุดเมื่อไม่มีตัวแปรอิสระใดถูกตัดออกจากตัวแบบอีกหรือกล่าวคือ ไม่มีค่าสถิติ F บางส่วนที่มีค่าน้อยกว่าที่กำหนดไว้เป็นเกณฑ์ในการนำตัวแปรอิสระออก

จากตัวแบบ

2.4 วิธีการถดถอยแบบขั้นตอน (Stepwise regression method) เป็นวิธีการเลือกตัวแปรอิสระเข้าในตัวแบบการถดถอยครั้งละหนึ่งตัวแปร ตัวแปรอิสระใดที่ถูกเลือกเข้ามาอยู่ในตัวแบบการถดถอยแล้วจะต้องมีการทดสอบว่าตัวแปรอิสระที่อยู่ในตัวแบบการถดถอยแล้วมีส่วนในการอธิบายความผันแปรของตัวแปรตาม ขณะที่มีตัวแปรอิสระอื่นอยู่ในตัวแบบการถดถอย นั่นคือตัวแปรอิสระใดที่ถูกเลือกเข้าอยู่ในตัวแบบการถดถอยแล้วอาจจะถูกนำออกไปได้ภายหลังถ้าพบว่าตัวแปรอิสระนั้นไม่มีนัยสำคัญ หรือกล่าวได้ว่า วิธีการถดถอยแบบขั้นตอนเป็นวิธีที่รวมขั้นตอนของวิธีเลือกตัวแปรอิสระแบบไปข้างหน้าและวิธีตัดตัวแปรอิสระออกแบบถอยหลังเข้าไว้ด้วยกัน โดยขั้นตอนของวิธีการถดถอยแบบขั้นตอน แบ่งได้ ดังนี้

1) เหมือนกับวิธีเลือกตัวแปรอิสระแบบไปข้างหน้า คือ เริ่มต้นพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม โดยเลือกตัวแปรอิสระซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับตัวแปรตามสูงที่สุดเข้าสู่ตัวแบบเป็นตัวแรก

2) ภายหลังจากที่ตัวแปรอิสระถูกนำเข้าในตัวแบบแล้วจะมีการทดสอบนัยสำคัญของตัวแปรอิสระที่นำเข้าไปเป็นตัวแรก โดยใช้ค่าสถิติ t (t – value) หรือ ค่าสถิติ F (F –value)

3) พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม โดยจะเลือกตัวแปรอิสระที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนกับตัวแปรตามสูงที่สุด เข้ามาอยู่ในตัวแบบเป็นตัวต่อมา

4) หลังจากนั้นจึงทำการทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแปรที่เข้ามาเป็นตัวสุดท้ายก่อน โดยพิจารณาจากค่าสถิติ F บางส่วน ถ้ามีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้จะต้องนำตัวแปรนั้นออกจากตัวแบบ แต่ถ้าค่าสถิติ F บางส่วนมีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ก็จะย้อนกลับไปทดสอบตัวแปรอิสระตัวก่อนหน้าที่เข้ามาอยู่ในตัวแบบโดยพิจารณาจากค่าสถิติ F บางส่วนเช่นเดียวกัน

ทำซ้ำในขั้นตอนที่สามและสี่ต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่สามารถนำตัวแปรอิสระใดออกจากตัวแบบได้หรือไม่สามารถนำตัวแปรอิสระใดเข้าสู่ตัวแบบได้อีก จะพบว่าวิธีการถดถอยแบบขั้นตอนใช้การพิจารณาค่าสถิติ F บางส่วน ดังนั้นการกำหนดระดับนัยสำคัญของค่าสถิติ F สำหรับเลือกตัวแปรอิสระเข้า (α_{enter}) และนำตัวแปรอิสระออก (α_{stay}) จึงมีความสำคัญ ซึ่งถ้ามีการกำหนดให้แตกต่างกัน จะทำให้การเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาในตัวแบบลดลง หรือทำให้นำตัวแปรอิสระออกจากตัวแบบเพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าวิธีการถดถอยแบบขั้นตอนจะเป็นวิธีที่รวมทั้งสองวิธีไว้ด้วยกัน แต่ในกรณีที่ตัวแปรอิสระแต่ละตัวแปรมีความสัมพันธ์กันสูง จะทำให้เกิดปัญหาเช่นเดียวกันกับในวิธีเลือกตัวแปรอิสระแบบไปข้างหน้าและวิธีตัดตัวแปรอิสระออกแบบถอยหลัง นอกจากนี้การมีเพียงตัวแบบเดียวในแต่ละขั้นตอนจะทำให้เป็นเรื่องที่ยุ่งยากสำหรับผู้วิเคราะห์เพราะต้องใช้ประสบการณ์ในการพิจารณาหาตัวแบบที่เหมาะสม โดยแม้ว่าจะยินยอมให้ผู้วิเคราะห์สามารถพิจารณาถึงข้อมูลทั้งหมด แต่ก็อาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการเลือกตัวแปรอิสระที่ไม่สำคัญเข้าสู่ตัวแบบหรือนำตัวแปรอิสระที่มีความสำคัญออกจากตัวแบบ ดังนั้นจึงควรกำหนดระดับนัยสำคัญของการเลือกตัวแปรอิสระเข้าในตัวแบบ (α_{enter}) กับระดับนัยสำคัญของการนำตัวแปรอิสระออกจากตัวแบบ (α_{stay}) ให้มีค่าเท่ากัน แต่ก็ไม่ได้มีการระบุว่า α_{stay} ควรจะมีค่าน้อยกว่า α_{enter} อย่างไรก็ตามมีเหตุผลที่เลือก α_{stay} มากกว่า α_{enter} เนื่องจากทำให้ตัวแปรอิสระมีระดับนัยสำคัญลดลง และทำให้ตัวแปรอิสระตัวปัจจุบันที่เข้ามาอยู่ในตัวแบบมีโอกาสมากขึ้นในการอยู่ในตัวแบบต่อไป นอกจากนี้มีข้อแนะนำว่า ควรกำหนดค่าระดับนัยสำคัญของการเลือกตัวแปรอิสระเข้าในตัวแบบ

(α_{enter}) กับระดับนัยสำคัญของการนำตัวแปรอิสระออกจากตัวแบบ (α_{stay}) ให้อยู่ระหว่าง 0.05 กับ 0.10 เพราะถ้ามีค่ามากกว่า 0.10 จะทำให้ตัวแปรอิสระที่ถูกเลือกไว้ในตัวแบบมีมากเกินความจำเป็น

บางครั้งขั้นตอนวิธีการถดถอยแบบขั้นตอนอาจรวมตัวแปรอิสระที่ไม่มีความสำคัญอยู่ในตัวแบบและนำตัวแปรอิสระที่มีความสำคัญออกจากตัวแบบ แต่มีข้อดี คือตัวแปรอิสระบางตัวอาจไม่มีนัยสำคัญเมื่ออยู่ในตัวแบบ แต่เมื่อมีตัวแปรอิสระอื่นเข้าไปอยู่ในตัวแบบด้วย อาจทำให้ตัวแปรอิสระทั้งคู่มีนัยสำคัญและตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลร่วม(Interaction)จะมีการนำมาพิจารณาในวิธีการถดถอยแบบขั้นตอนด้วย ซึ่งวิธีอื่นไม่ได้นำมาใช้ในการพิจารณา ดังนั้นจึงทำให้วิธีนี้มีตัวแปรอิสระที่นำมาพิจารณามากขึ้นซึ่งอาจจะส่งผลให้มีตัวแปรอิสระที่ไม่เหมาะสมมากขึ้นที่อยู่ในตัวแบบ แต่ในทางตรงกันข้ามเป็นการช่วยป้องกันปัญหาการนำตัวแปรอิสระที่มีความสำคัญออกจากตัวแบบ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าวิธีการถดถอยแบบขั้นตอนเป็นวิธีการที่ช่วยในการค้นหาตัวแบบที่มีความเหมาะสม โดยไม่ใช้ตัวแปรอิสระมากเกินไป

3. วิเคราะห์ผลการทดลองครั้งแรกที่ทดลองเพื่อหาช่วงการใช้ความดันที่เหมาะสม

ทำการทดสอบสมมุติฐานของชุดข้อมูลจากการทดลองเบื้องต้น ที่ทดลองเพื่อหาช่วงการใช้งานความดันกดตัดที่เหมาะสมของใบมีดตัดในแต่ละขนาด ตามแนวขวางการไหลโดยตั้งสมมุติฐานว่า

H_0 : ไม่มีความแตกต่างของระยะทางการใช้งานกับความดันที่ใช้กดตัดและขนาดของใบมีดตัด อย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : มีความแตกต่างของระยะทางการใช้งานกับความดันที่ใช้กดตัดกับขนาดของใบมีดตัดอย่างมีนัยสำคัญ

ในที่นี้จะใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการทดสอบได้ผลดังแสดง

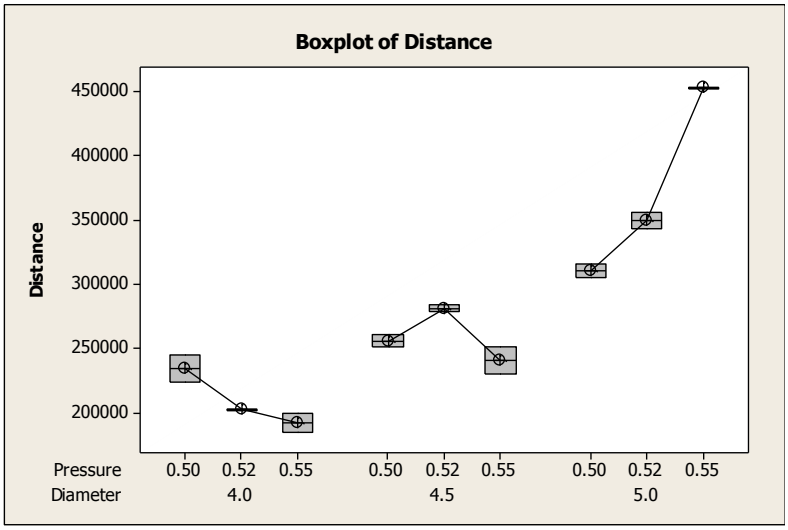
Two-way ANOVA: Distance versus Diameter, Pressure

Source	DF	SS	MS	F	P
Diameter	2	8.22166E+10	4.11083E+10	485.64	0.000
Pressure	2	2.42762E+09	1.21381E+09	14.34	0.002
Interaction	4	2.29117E+10	5.72792E+09	67.67	0.000
Error	9	7.61831E+08	8.46479E+07		
Total	17	1.08318E+11			

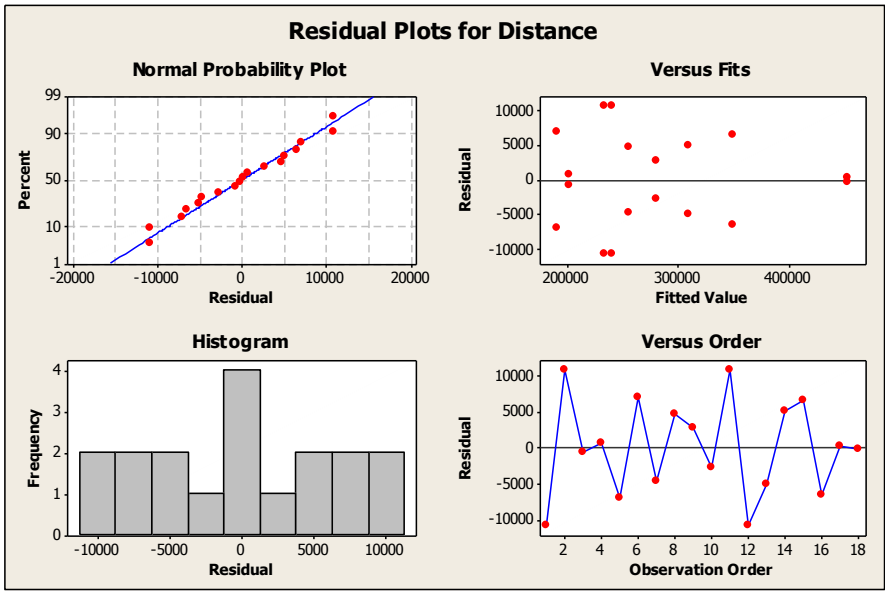
S = 9200 R-Sq = 99.30% R-Sq(adj) = 98.67%

จากผลที่ได้พบว่าค่า P-Value ของ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความดันที่ใช้กดตัดมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จะทำการปฏิเสธสมมุติฐานหลัก ซึ่งแสดงว่าผลของระยะทางการใช้งานต่อความดันที่ใช้กดตัดกับขนาดของใบมีดตัดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทำการ Plot ผลของข้อมูลโดยใช้ Boxplot พบว่าเมื่อใบมีดตัดมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นจะต้องใช้ความดันกดตัดที่สูงขึ้น จึงจะได้ระยะทางการใช้งานที่สูงที่สุด ดังแสดงในรูป จ.3 และแสดง Residual plot ดังแสดงในรูป จ.4

รูป จ.3 ผลที่ได้จากการทดสอบ Boxplot



รูป จ.4 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบ Residual



3. ผลการทดสอบจากโปรแกรม Minitab จากข้อมูลการตัดครั้งที่ 1 ตามแนวขวางการไหล

ทำการนำผลการทดลองครั้งที่ 1 ทั้งหมดตามแนวทางการไหลมาเข้าโปรแกรม Minitab หาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ จากข้อมูลผลการทดลองที่เก็บมาได้ เพื่อกำหนดเป็นมาตรฐานระยะการใช้งานใบมีดตัดตามแนวขวางการไหลที่เหมาะสม โดยผลการวิเคราะห์สามารถแสดงได้ดังนี้

Response Surface Regression: ระยะทาง versus ขนาดใบมีด, ความดัน

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Distance

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	215521	15963	13.502	0.000
ขนาดใบมีด	77421	13173	5.877	0.000
ความดัน	7799	11096	0.703	0.490
ขนาดใบมีด*ขนาดใบมีด	52771	21642	2.438	0.024
ความดัน*ความดัน	4804	17533	0.274	0.787
ขนาดใบมีด*ความดัน	47117	16907	2.787	0.011

S = 42022.2 PRESS = 71205364189

R-Sq = 70.66% R-Sq(pred) = 43.66% R-Sq(adj) = 63.67%

Analysis of Variance for Distance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	89304381865	89304381865	17860876373	10.11	0.000
Linear	2	64697674286	70848815151	35424407575	20.06	0.000
Square	2	10892240423	10825030898	5412515449	3.07	0.068
Interaction	1	13714467156	13714467156	13714467156	7.77	0.011
Residual Error	21	37083160773	37083160773	1765864799		
Total	26	1.26388E+11				

Obs	StdOrder	Distance	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	1	310176.500	295601.275	27584.714	14575.225	0.46
2	2	349528.500	334922.763	22147.744	14605.737	0.41
3	3	452713.500	405433.418	26380.364	47280.082	1.45
4	4	240050.000	270542.735	22419.645	-30492.735	-0.86
5	5	247114.000	302325.569	17073.488	-55211.569	-1.44
6	6	368384.000	361528.244	20536.461	6855.756	0.19
7	7	252945.000	273950.059	14841.394	-21005.059	-0.53
8	8	290139.000	321844.754	17643.547	-31705.754	-0.83
9	9	288791.500	249796.232	14630.160	38995.268	0.99
10	10	235547.500	286382.947	17307.452	-50835.447	-1.33
11	11	187649.000	220697.215	17499.377	-33048.215	-0.87
12	12	286913.500	229864.089	15101.086	57049.411	1.45
13	13	236250.000	255142.823	18424.695	-18892.823	-0.50
14	14	255700.000	212525.409	17008.300	43174.591	1.12
15	15	281125.000	214153.629	15345.054	66971.371	1.71
16	16	240200.000	228124.383	20050.137	12075.617	0.33
17	17	151062.000	208575.286	16414.050	-57513.286	-1.49
18	18	227010.000	202664.852	15083.442	24345.148	0.62
19	19	239432.000	208846.846	16041.054	30585.154	0.79
20	20	182357.000	195397.759	14605.871	-13040.759	-0.33
21	21	237070.000	213340.090	16781.576	23729.910	0.62
22	22	138504.000	192352.349	14835.412	-53848.349	-1.37
23	23	232036.000	222055.017	19722.565	9980.983	0.27
24	24	131660.000	193528.622	17115.029	-61868.622	-1.61
25	25	234000.000	234991.627	25377.473	-991.627	-0.03
26	26	201934.000	198926.579	22247.714	3007.421	0.08
27	27	191580.000	156357.431	36001.574	35222.569	1.63

X denotes an observation whose X value gives it large leverage.

จากผลการวิเคราะห์โดยโปนแกรม Minitab Version 15 จะทำให้เราทราบถึงสัมประสิทธิ์ในแต่ละพจน์ ดังนี้

Estimated Regression Coefficients for Distance using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	14652776
ขนาดใบมีด	-3723811
ความดัน	-24719888
ขนาดใบมีด*ขนาดใบมีด	211084
ความดัน*ความดัน	7685616
ขนาดใบมีด*ความดัน	3769327

ดังนั้นสมการที่ได้จากการทำตัวแบบการถดถอย คือ

$S = 14{,}652{,}776 - 3{,}723{,}811\ D - 24{,}719{,}888\ P + 211{,}084\ D^2 + 7{,}685{,}616\ P^2 + 3{,}769{,}327\ D*P$

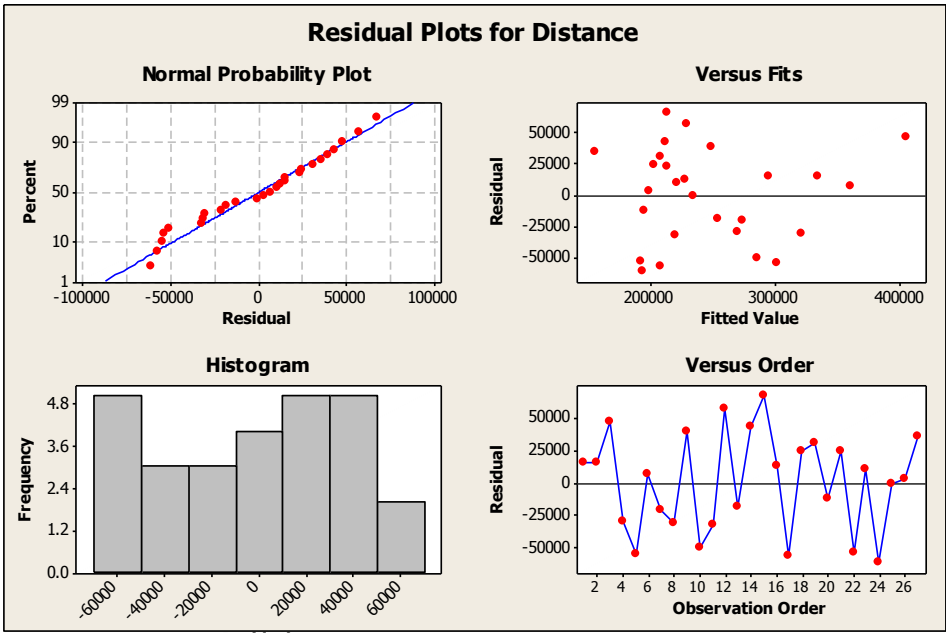
โดยกำหนดตัวแปร D คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดตัด หน่วยมิลลิเมตร

P คือความดันกดตัดหน่วย kgf/cm^2

S คือระยะทางการตัด

สมการที่ได้มีค่า R-Sq = 70.66% , R-Sq(adj) = 63.67%

Residual Plots for Distance



ผลการวิเคราะห์ตัวแบบการถดถอยที่ได้พบว่า ผลของค่าคงที่, ขนาดใบมีด, ขนาดใบมีด^2 และผลของขนาดใบมีดกับความดัน มีความสัมพันธ์กับระยะทางการตัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.10 และสามารถใช้ทำนายระยะทางการใช้งานใบมีด ได้ร้อยละ 70.66 โดยมีความคลาดเคลื่อนในการทำนายเท่ากับ $\pm$ 42,022.2 นิ้ว จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าค่าของผลร่วมระหว่างตัวแปร (Interaction) ก็มีผลต่อระยะทางที่

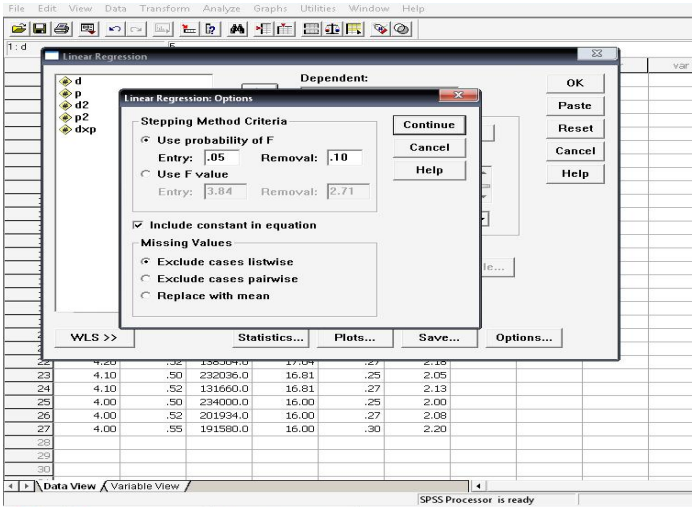
ได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ผลของตัวแปรกำลังสองก็มีผลต่อระยะทางที่ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.07

4. ขั้นตอนการเลือกตัวแปรเข้าสู่ตัวแบบการถดถอยด้วยวิธีการ Stepwise

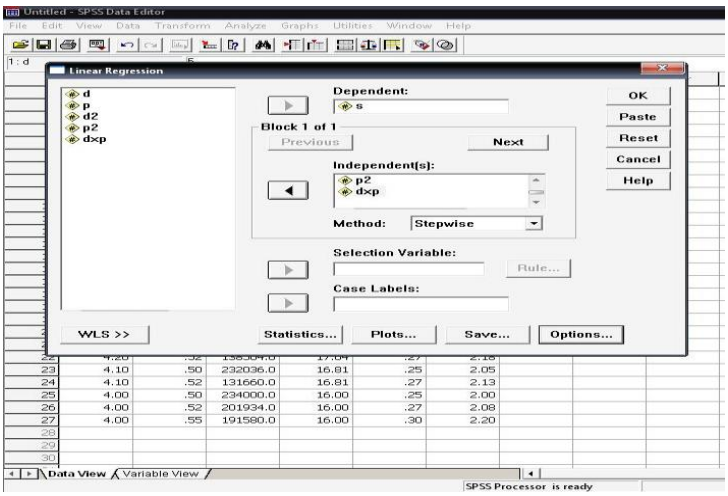
จากข้อแนะนำในกระบวนการเลือกตัวแปรเข้าสู้ตัวแบบการถดถอยด้วยวิธีการ Stepwise ที่ว่า ควรกำหนดค่าระดับนัยสำคัญของการเลือกตัวแปรอิสระเข้าในตัวแบบ (α_{enter}) กับระดับนัยสำคัญของการนำตัวแปรอิสระออกจากตัวแบบ (α_{stay}) ให้อยู่ระหว่าง 0.05 กับ 0.10 เพื่อไม่ทำให้ตัวแปรอิสระที่ถูกเลือกไว้ในตัวแบบมีมากเกินความจำเป็น ในที่นี้ได้ทำการใช้โปรแกรม SPSS ช่วยในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้

จากผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม SPSS สามารถแสดงได้ดังนี้

1. นำชุดข้อมูลใส่ในโปรแกรม SPSS เลือก Analyze > Linear Regression
2. ในหน้าต่าง Option ให้ใส่ค่า α_{enter} เท่ากับ 0.05 และ α_{stay} เท่ากับ 0.10 ตามที่ได้เลือกกำหนดไว้
3. กด Continue กลับมายังหน้า Linear regression



4. ในช่อง Method ให้เลือก Stepwise ในการวิเคราะห์
5. กด OK เพื่อทำการวิเคราะห์ชุดข้อมูล



โดยในโปรแกรมได้กำหนดตัวแปรดังนี้

ตัวแปรตาม

กำหนดให้ S คือระยะทางการตัด

ตัวแปรต้น กำหนดให้

D คือ ขนาดใบมีดตัด

P คือ ขนาดของความดันกดตัด

DxP คือ ผลคูณระหว่าง ขนาดใบมีดตัดกับขนาดของความดันกดตัด

D2 คือ ผลของขนาดใบมีดตัดยกกำลังสอง

P2 คือ ผลของขนาดของความดันกดตัดยกกำลังสอง

ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรม SPSS สามารถแสดงได้ดังนี้

Variables Entered/Removed[a]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	DXP	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a. Dependent Variable: S

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.710[a]	.504	.485	50052.67643	.504	25.449	1	25	.000	2.520

a. Predictors: (Constant), DXP

b. Dependent Variable: S

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	6.4E+10	1	6.376E+10	25.449	.000[a]
	Residual	6.3E+10	25	2505270417		
	Total	1.3E+11	26			

a. Predictors: (Constant), DXP

b. Dependent Variable: S

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B		Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	-300485	109106.8		-2.754	.011	-525195.128	-75775.620					
	DXP	232641.5	46116.32	.710	5.045	.000	137663.133	327619.818	.710	.710	.710	1.000	1.000

a. Dependent Variable: S

Excluded Variables[b]

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics		
						Tolerance	VIF	Minimum Tolerance
1	D2	.347[a]	1.013	.321	.202	.169	5.912	.169
	P2	-.185[a]	-1.041	.308	-.208	.625	1.599	.625
	D	.295[a]	.857	.400	.172	.169	5.925	.169
	P	-.185[a]	-1.041	.308	-.208	.625	1.599	.625

a. Predictors in the Model: (Constant), DXP

b. Dependent Variable: S

จากผลลัพธ์ที่ได้จากการนำชุดข้อมูลทดลองครั้งที่ 1 ที่จะนำไปหาสมการความสัมพันธ์ วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS ด้วยวิธีการ Stepwise พบว่า ผลที่ได้จากการเลือกตัวแปรทั้ง 5 ประเภท ตัวแปรที่ทำการเลือกคือตัวแปรผลร่วมของขนาดความดันกดตัดกับขนาดของใบมีดตัดเป็นตัวแปรในการทำนายผล โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 50.4 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้เมื่อทำการพิจารณาค่า Variance inflation factor (VIF) ที่ได้มีค่าไม่มากกว่า 10 และค่า Tolerance ไม่น้อยกว่า 0.2 แสดงว่าตัวแปรอิสระที่นำมาวิเคราะห์ไม่มีความสัมพันธ์กันเองเกิดขึ้น (Multicollinearity) โดยสมการความสัมพันธ์ที่ได้จากวิธีการ Stepwise สามารถแสดงได้ดังนี้

$$S = -300,485 + 232,641.5DP$$

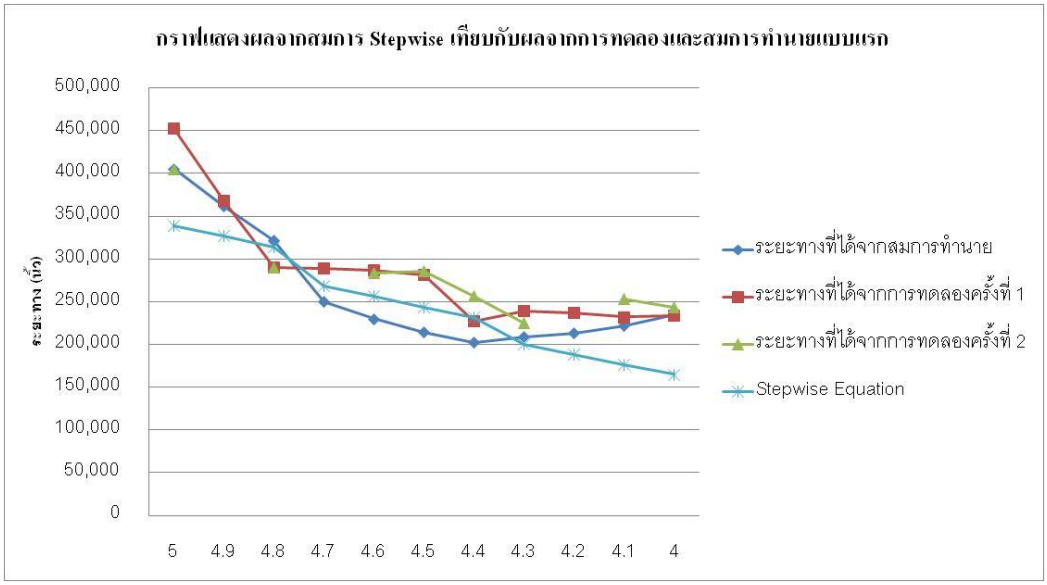
เมื่อ S คือระยะทางการตัด

D คือ ขนาดใบมีดตัด

P คือ ขนาดของความดันกดตัด

โดยเมื่อทำการแทนค่าตัวแปรลงในสมการจากวิธีการ Stepwise เทียบกับผลที่ได้จากการทดลองทั้งสองครั้ง และผลที่ได้จากการใช้สมการทำนายและนำมาแสดงผลในรูปแบบกราฟ ดังแสดงในรูป จ.6 จะพบว่าผลที่ได้จากสมการ มีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าผลที่ได้จากสมการแบบรวมทุกตัวแปร และสมการที่ได้จาก Stepwise เมื่อทำการแทนค่าตัวแปรแล้วผลที่ได้ไม่สอดคล้องกับผลการทดลองจริงที่ได้ นอกจากนี้ยังให้ค่า R^2 ที่มีค่าต่ำกว่า ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสมการที่รวมผลของตัวแปรทุกแบบให้ผลการทำนายระยะทางได้แม่นยำที่สุด ดังนั้นผลที่จะนำมาใช้ในสมการถดถอยเพื่อทำการทำนายระยะการใช้งานนั้น จะไม่สามารถตัดพจน์ของกำลังสอง และพจน์ของตัวแปรร่วมจากตัวแบบได้

รูป จ.6 กราฟแสดงผลจากสมการจากวิธี Stepwise เทียบกับผลจากการทดลองและสมการทำนาย


กราฟแสดงผลจากสมการ Stepwise เทียบกับผลจากการทดลองและสมการทำนายแบบแรก
500,000
450,000
400,000
350,000
300,000
250,000
200,000
150,000
100,000
50,000
0
5
4.9
4.8
4.7
4.6
4.5
4.4
4.3
4.2
4.1
4
ระยะทางที่ได้จากสมการทำนาย
ระยะทางที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1
ระยะทางที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 2
Stepwise Equation

5. การทดสอบความแตกต่างของการใช้ความดันกดตัดตามแนวทางการไหล

ทำการทดสอบสมมุติฐานของชุดข้อมูลจากการทดลองเบื้องต้น ที่ทดลองเพื่อหาช่วงการใช้งานความดันกดตัดที่เหมาะสมของใบมีดตัดในแต่ละขนาดที่ความดัน 1.5 และ 1.6 kgf/cm^2 ตามแนวทางการไหล โดยตั้งสมมุติฐานว่า

H_0 : การเลือกความดันที่ใช้กดตัดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : การเลือกความดันที่ใช้กดตัดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ในที่นี้จะใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการทดสอบได้ผลดังแสดง

Two-way ANOVA: ระยะทางการใช้งาน versus ความดันกดตัด, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีด

Source	DF	SS	MS	F	P
ความดันกดตัด	1	9.62802E+10	9.62802E+10	10.49	0.006
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีด	2	4.97015E+10	2.48508E+10	2.71	0.101
Error	14	1.28492E+11	9.17799E+09		
Total	17	2.74474E+11			

S = 95802 R-Sq = 53.19% R-Sq(adj) = 43.15%

ความดัน Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

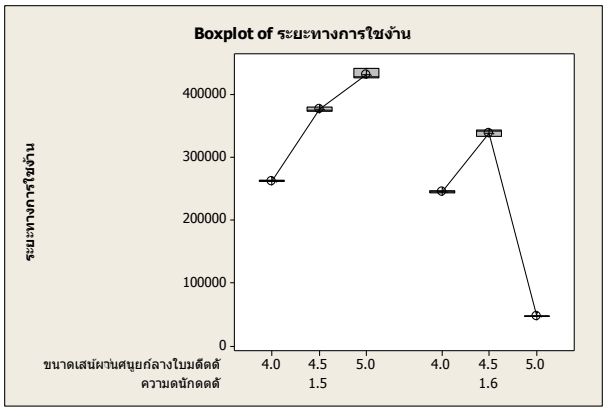
กดตัด Mean --+---------+---------+---------+-------

1.5 356435 (--------*-------)

1.6 210162 (-------*--------)

--+---------+---------+---------+-------

160000 240000 320000 400000



ผลการวิเคราะห์ค่า P-Value ของความดันน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่า การเลือกความดันที่ใช้กดตัดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และจากกราฟ Boxplot แสดงให้เห็นว่า เมื่อเลือกใช้ความดันกดตัดที่ 1.5 kgf/cm^{2}จะให้ระยะทางการใช้งานที่สูงกว่าความดันกดตัดที่ 1.6 kgf/cm^2 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าความดันกดตัดที่เหมาะสมของการตัดตามแนวทางการไหลคือ 1.5 kgf/cm^2

ภาคผนวก ซ
คู่มือปฏิบัติงานการตัดกระจกในแผนกกระบวนการตัด

AGC Flat Glass (Thailand) Public Company Limited

บริษัท กระจกไทยอาซาฮี จำกัด (มหาชน)

Section & Department :	Cold Department	
Job name/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน เรื่อง :	ขั้นตอนการทำงานการตัดกระจกในแผนกกระบวนการตัด	
Code/เอกสารเลขที่ : CU-43-xxx	Rev./แก้ไขครั้งที่ : 01	Eft./วันที่ : 9/10/2012
Position/ตำแหน่งงานที่รับผิดชอบ :	พนักงานควบคุมการตัด	
Approved/อนุมัติโดย : -		Page/หน้าที่ : 1/17

แก้ไขครั้งที่	หน้าที่แก้ไข	จำนวนหน้าทั้งหมด	รายละเอียดการแก้ไข	วันที่บังคับใช้	ผู้บันทึก
01	-		เริ่มต้นเอกสาร	9/10/2012	นิติพงษ์

AGC Flat Glass (Thailand) Public Company Limited

บริษัท กระจกไทยอาซาฮี จำกัด (มหาชน)

Section & Department :	Cold Department				
Job name/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน เรื่อง :	ขั้นตอนการทำงานการตัดกระจกในแผนกระบวนการตัด				
Code/เอกสารเลขที่ :	CU-43-xxx	Rev./แก้ไขครั้งที่ :	01	Eft./วันที่ :	9/10/2012
Position/ตำแหน่งงานที่รับผิดชอบ :	พนักงานควบคุมการตัด				
Approved/อนุมัติโดย :	-			Page/หน้าที่ :	2/17

Purpose/วัตถุประสงค์ และขอบเขต	อุปกรณ์ & วัสดุ
เพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานของพนักงานควบคุมการตัด 	1.คีมปากหางจระเข้ 2.คีมหุบแหวน 3.เหล็กปลายแหลม ดันแกนใบมีด 4.ประแจ L เบอร์ 3 5.ประแจ L เบอร์ 2
อุปกรณ์ความปลอดภัย	รายละเอียด
	หมวกนิรภัย > ป้องกันอันตรายวัสดุที่อาจกระเด็นหรือตกใส่ศีรษะ **ปลอกแขน** > ป้องกันการบาดเจ็บจากกระจกบาดในการทำงาน **ถุงมือผ้า** > ป้องกันการบาดเจ็บจากกระจกบาดในการทำงาน

AGC Flat Glass (Thailand) Public Company Limited

บริษัท กระจกไทยอาซาฮี จำกัด (มหาชน)

Section & Department :	Cold Department		
Job name/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน เรื่อง :	ขั้นตอนการทำงานการตัดกระจกในแผนกกระบวนการตัด		
Code/เอกสารเลขที่ : CU-43-xxx	Rev./แก้ไขครั้งที่ : 01	Eft./วันที่ : 9/10/2012	
Position/ตำแหน่งงานที่รับผิดชอบ :	พนักงานควบคุมการตัด		
Approved/อนุมัติโดย : -		Page/หน้าที่ : 3/17	

Job step/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Picture)	Point & reason (success or failure,safety,ease)/ ข้อควรระวัง, ประเด็นหลัก, การจงใจ	Document & Tools & Material&Reason/เอกสารที่เกี่ยวข้อง, อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้และเหตุผล
1.ขั้นตอนการถอดหัว C/W -Cutter มาเปลี่ยนใบมีด 1.1 รูปร่างหน้าตาของ C/W - Cutter 1.2 ตู้ Control Panel ปกติที่ปุ่มกดจะมีไฟติดอยู่ 3 ปุ่ม 1. Operation Power "NO" 2.Cutter "USE" 3.CPU Mode "ON" 1.3 กดปุ่มแถว CPU Mode เป็น "OFF" (ไฟที่ปุ่ม ON จะดับไป เป็นการป้องกัน C/W วิ่งทำงาน 1.4 ที่หัว C/W - cutter จะมีน็อตหกเหลี่ยมเป็นตัวยึดติดแกนทองเหลืองของ C/W -cutter อยู่ในลักษณะร้อยน็อต ตัวผู้ทะลุผ่านไปอีกด้านหนึ่งโดนมีน็อตหางปลาเป็นตัวล็อคให้แน่น 	ก่อนที่จะทำการเปลี่ยนใบมีดตัด ต้องตรวจสอบว่าเครื่องจักรหยุดทำงาน เป็นที่เรียบร้อย เพื่อป้องกัน ครื่องจักรตัดอาจวิ่งชนร่างกายได้	

AGC Flat Glass (Thailand) Public Company Limited

บริษัท กระจกไทยอาซาฮี จำกัด (มหาชน)

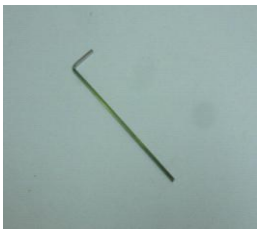
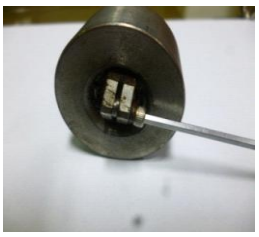
Section & Department :	Cold Department		
Job name/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน เรื่อง :	ขั้นตอนการทำงานการตัดกระจกในแผนกกระบวนการตัด		
Code/เอกสารเลขที่ : CU-43-xxx	Rev./แก้ไขครั้งที่ : 01		Eft./วันที่ : 9/10/2012
Position/ตำแหน่งงานที่รับผิดชอบ :	พนักงานควบคุมการตัด		
Approved/อนุมัติโดย : -			Page/หน้าที่ : 4/17

Job step/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Picture)	Point & reason (success or failure,safety,ease)/ ข้อควรระวัง, ประเด็นหลัก, การจงใจ	Document & Tools & Material&Reason/เอกสารที่เกี่ยวข้อง, อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้และเหตุผล
1.5 แสดงให้เห็นหัวน็อต หกเหลี่ยมอีกด้านหนึ่ง		
1.6 นำประแจ L เบอร์ 3 มาขันน็อตตัวผู้ออก		
1.7 อีกด้านที่ปืนน็อตหางปลาตัวเมียใช้มือจับไว้		
1.8 เมื่อถอดน็อตทีล็อคออกมาจะได้น็อตตัวผู้พร้อมแหวนรอง และน็อตหางปลา ส่วนหัว C/W -cutter ประกอบด้วย Cutter		

AGC Flat Glass (Thailand) Public Company Limited

บริษัท กระจกไทยอาซาฮี จำกัด (มหาชน)

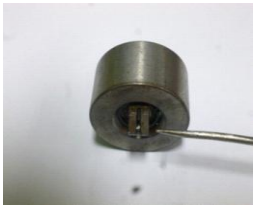
Section & Department :	Cold Department		
Job name/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน เรื่อง :	ขั้นตอนการทำงานการตัดกระจกในแผนกกระบวนการตัด		
Code/เอกสารเลขที่ : CU-43-xxx	Rev./แก้ไขครั้งที่ : 01	Eft./วันที่ : 9/10/2012	
Position/ตำแหน่งงานที่รับผิดชอบ :	พนักงานควบคุมการตัด		
Approved/อนุมัติโดย : -		Page/หน้าที่ : 5/17	

Job step/**ขั้นตอนการปฏิบัติงาน** (Picture)	Point & reason (success or failure,safety,ease)/ ข้อควรระวัง, ประเด็นหลัก, การจงใจ	Document & Tools & Material&Reason/**เอกสารที่เกี่ยวข้อง, อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้และเหตุผล**
ที่ส่วนของหัว Cutter chip จะมีน็อตหกเหลี่ยม ตัวเล็กๆพร้อมแหวนรองล็อตกันแกนใบมีดหลุดอยู่ 1.9 ใช้ประแจ L เบอร์ 2  1.10 นำประแจ L เบอร์ 2 มาขันน็อตตัวผู้พร้อมแหวนรองออก  1.11 น็อตหกเหลี่ยม พร้อมแหวนรองที่หลุดออกมา		

AGC Flat Glass (Thailand) Public Company Limited

บริษัท กระจกไทยอาซาฮี จำกัด (มหาชน)

Section & Department :	Cold Department		
Job name/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน เรื่อง :	ขั้นตอนการทำงานการตัดกระจกในแผนกกระบวนการตัด		
Code/เอกสารเลขที่ : CU-43-xxx	Rev./แก้ไขครั้งที่ : 01		Eft./วันที่ : 9/10/2012
Position/ตำแหน่งงานที่รับผิดชอบ :	พนักงานควบคุมการตัด		
Approved/อนุมัติโดย : -			Page/หน้าที่ : 6/17

Job step/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Picture)	Point & reason (success or failure,safety,ease)/ ข้อควรระวัง, ประเด็นหลัก, การจงใจ	Document & Tools & Material&Reason/เอกสารที่เกี่ยวข้อง, อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้และเหตุผล
1.12 ใช้เหล็กปลายแหลมสำหรับช่วยดันแกนใบมีด		
1.13 นำปลายของเหล็กแหลม มาดันที่รูฝั่งตรงข้ามกับด้ามที่ใส่แกนใบมีด จนแกนใบมีด เลื่อนหลุดออกมา 		
1.14 แกนใบมีดและใบมีด ที่หลุดออกจากหัว Cutter chip แล้ว		
1.15 ลักษณะแกนใบมีดและใบมีด สังเกตุแกนใบมีด จะพบว่าฝั่งหนึ่งปลายจะแหลมสโลป ซึ่งเป็นด้านที่ใช้สวมเข้ากับหัว Cutter chip		

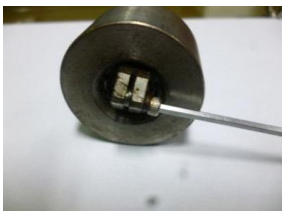
AGC Flat Glass (Thailand) Public Company Limited **บริษัท กระจกไทยอาซาฮี จำกัด (มหาชน)**			
Section & Department :	Hot & Cold Department		
Job name/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน เรื่อง :	ขั้นตอนการทำงานการตัดกระจกในแผนกกระบวนการตัด		
Code/เอกสารเลขที่ : CU-43-xxx	Rev./แก้ไขครั้งที่ :	01	Eft./วันที่ : 9/10/2012
Position/ตำแหน่งงานที่รับผิดชอบ :	พนักงานควบคุมการตัด		
Approved/อนุมัติโดย :			Page/หน้าที่ : 7/17

Job step/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Picture)	Point & reason (success or failure,safety,ease)/ ข้อควรระวัง, ประเด็นหลัก, การจงใจ	Document & Tools & Material&Reason/เอกสารที่เกี่ยวข้อง, อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้และเหตุผล
1.16 จุดเก็บใบมีดมุมต่างๆ Online จะมีแถว USED = ใช้แล้ว NEW = ของใหม่ 		
1.17 เก็บใบมีดเก่าเข้ากล่อง USED และนำใบมีดใหม่ออกจากกล่อง NEW 	กำหนดให้ใช้ใบมีดขนาดเดียวกันในแต่ละวัน พนักงานที่ทำการควบคุมการตัด ให้ทำการสังเกตุกล่องใบมีดที่นำมาส่งต้องมีขนาดเดียวกันทั้งหมด	
1.18 หากเดิมแกนใบมีดสึกแล้ว ก็ทำการเปลี่ยนแกนใบมีดใหม่ ตามไปด้วย 		
1.19 ใส่ใบมีดและแกนใบมีด กลับเข้าที่เดิม 		

AGC Flat Glass (Thailand) Public Company Limited

บริษัท กระจกไทยอาซาฮี จำกัด (มหาชน)

Section & Department :	Hot & Cold Department		
Job name/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน เรื่อง :	ขั้นตอนการทำงานการตัดกระจกในแผนกกระบวนการตัด		
Code/เอกสารเลขที่ : CU-43-xxx	Rev./แก้ไขครั้งที่ :	01	Eft./วันที่ : 9/10/2012
Position/ตำแหน่งงานที่รับผิดชอบ :	พนักงานควบคุมการตัด		
Approved/อนุมัติโดย :			Page/หน้าที่ : 8/17

Job step/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Picture)	Point & reason (success or failure,safety,ease)/ ข้อควรระวัง, ประเด็นหลัก, การจงใจ	Document & Tools & Material&Reason/เอกสารที่เกี่ยวข้อง, อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้และเหตุผล
1.20 ใช้ประแจ L เบอร์ 2 เตรียมขันน็อต พร้อมแหวนรอง กลับเข้าที่เดิม 1.21 นำน็อตพร้อมแหวนรองประกอบเข้ากับหางประแจ L เบอร์ 2 เพื่อสะดวกในการขันน็อต 1.22 ทำการขันน็อตพร้อมแหวนรองกลับเข้าที่เดิม  1.23 เมื่อขันน็อตพร้อมแหวนรองกลับเข้าที่แล้ว สังกตุแหวน รองต้องกดทับแกนใบมีดไว้ เป็นการป้องกันแกนใบมีด เลื่อนหลุด ขณะใช้งาน		

AGC Flat Glass (Thailand) Public Company Limited

บริษัท กระจกไทยอาซาฮี จำกัด (มหาชน)

Section & Department :	Hot & Cold Department		
Job name/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน เรื่อง :	ขั้นตอนการทำงานการตัดกระจกในแผนกกระบวนการตัด		
Code/เอกสารเลขที่ : CU-43-xxx	Rev./แก้ไขครั้งที่ :	01	Eft./วันที่ : 9/10/2012
Position/ตำแหน่งงานที่รับผิดชอบ :	พนักงานควบคุมการตัด		
Approved/อนุมัติโดย :			Page/หน้าที่ : 9/17

Job step/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Picture)	Point & reason (success or failure,safety,ease)/ ข้อควรระวัง, ประเด็นหลัก, การจงใจ	Document & Tools & Material&Reason/เอกสารที่เกี่ยวข้อง, อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้และเหตุผล
2. ขั้นตอนการเปลี่ยน Cutter Chip หลังจากถอดแกนใบมีด ออกแล้ว ถ้าต้องการเปลี่ยนหัว Cutter chip ก็ดำเนินการต่อจากขั้นตอนนี้ได้ 2.1 สังเกตุจะมีแหวนสปริงล็อคระหว่างหัว Cutter chip กับหัว Cutter Holder อยู่ 2.2 ใช้คีมหุบแหวน หุบและดึงแหวนสปริงออกมาจากร่องของหัว Cutter Holder 2.3 แหวนสปริงจะหลุดออกมา 2.4 แหวนสปริงที่ใช้ล็อค หากของเดิม บิด - เบี้ยว ก็ควรทำการเปลี่ยนใหม่ด้วย 2.5 ทำการเปลี่ยนใบมีดตัดใบใหม่และทำการประกอบใบมีดกลับลงไปในชุดหัวตัดตามแนวขวาง 2.6 เมื่อประกอบชุดหัว Cutter chip เสร็จทั้งหมดจะได้ผลดังรูป พร้อมนำไปใช้งาน 	การหุบแหวนสปริงให้ทำด้วยความระมัดระวัง เพราะอาจกระเด็นโดนใบหน้า และดวงตาได้	

AGC Flat Glass (Thailand) Public Company Limited

บริษัท กระจกไทยอาซาฮี จำกัด (มหาชน)

Section & Department :	Hot & Cold Department		
Job name/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน เรื่อง :	ขั้นตอนการทำงานการตัดกระจกในแผนกกระบวนการตัด		
Code/เอกสารเลขที่ : CU-43-xxx	Rev./แก้ไขครั้งที่ :	01	Eft./วันที่ : 9/10/2012
Position/ตำแหน่งงานที่รับผิดชอบ :	พนักงานควบคุมการตัด		
Approved/อนุมัติโดย :			Page/หน้าที่ : 10/17

Job step/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Picture)	Point & reason (success or failure,safety,ease)/ ข้อควรระวัง, ประเด็นหลัก, การจงใจ	Document & Tools & Material&Reason/เอกสารที่เกี่ยวข้อง, อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้และเหตุผล
3. ขั้นตอนการใส่หัวใบมีดตัดตามแนวขวาง 3.1 นำชุดหัว C/W - Cutter นำน็อตตัวผู้พร้อมแหวนรองร้อยผ่านรูน็อตนำประแจ L เบอร์ 3 มาใช้หมุนน็อตตัวผู้ 3.2 อีกฝั่งใช้มือจับน็อตหางปลาตัวเมีย หมุนเข้าล็อคจนสุดเกลียวของน็อตตัวผู้ 3.3 ด้านประแจ L เบอร์ 3 หมุนน็อตตัวผู้ล็อคให้แน่น 		

AGC Flat Glass (Thailand) Public Company Limited

บริษัท กระจกไทยอาซาฮี จำกัด (มหาชน)

Section & Department :	Hot & Cold Department		
Job name/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน เรื่อง :	ขั้นตอนการทำงานการตัดกระจกในแผนกกระบวนการตัด		
Code/เอกสารเลขที่ : CU-43-xxx	Rev./แก้ไขครั้งที่ :	01	Eft./วันที่ : 9/10/2012
Position/ตำแหน่งงานที่รับผิดชอบ :	พนักงานควบคุมการตัด		
Approved/อนุมัติโดย :			Page/หน้าที่ : 11/17

Job step/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Picture)	Point & reason (success or failure,safety,ease)/ ข้อควรระวัง, ประเด็นหลัก, การจงใจ	Document & Tools & Material&Reason/เอกสารที่เกี่ยวข้อง, อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้และเหตุผล
4. ขั้นตอนการปรับน้ำมันของชุดตัดตามแนวขวาง 4.1 ด้านข้างของชุดหัวตัดจะมีวาล์ว ปิด - เปิด น้ำมันก๊าด ที่ใช้สำหรับหล่อลื่นรอยตัดอยู่ 	ในการตัดทุกครั้งต้องทำการเปิดวาร์วให้น้ำมันก๊าดไหลลงชุดหัวตัดทุกครั้ง ไม่เช่นนั้นใบมีดตัดจะหมดสภาพการตัดอย่างรวดเร็ว เนื่องจากไม่มีสารหล่อเย็นใบมีดในขณะทำการตัด	
5.2 หมุนวาล์วเปิดให้น้ำมันก๊าดไหล 		
5.3 น้ำมันก๊าดจะไหลไปตามสายน้ำมันผ่าน สวิทช์ ปิด - เปิด แบบกระเดื่องกด และไหลลงถ้วยรับน้ำมันที่ติดกับตัวหัวตัด จากนั้นจะไหลลงสู่หัวตัดขณะทำการตัด 		

AGC Flat Glass (Thailand) Public Company Limited บริษัท กระจกไทยอาซาฮี จำกัด (มหาชน)			
Section & Department :	Hot & Cold Department		
Job name/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน เรื่อง :	ขั้นตอนการทำงานการตัดกระจกในแผนกกระบวนการตัด		
Code/เอกสารเลขที่ : CU-43-xxx	Rev./แก้ไขครั้งที่ :	01	Eft./วันที่ : 9/10/2012
Position/ตำแหน่งงานที่รับผิดชอบ :	พนักงานควบคุมการตัด		
Approved/อนุมัติโดย :			Page/หน้าที่ : 12/17

Job step/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Picture)	Point & reason (success or failure,safety,ease)/ ข้อควรระวัง, ประเด็นหลัก, การจงใจ	Document & Tools & Material&Reason/เอกสารที่เกี่ยวข้อง, อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้และเหตุผล
6. ขั้นตอนการตั้งความดันและเริ่มใช้งานเครื่องจักร 6.1 กดปุ่ม CPU Mode เป็น "ON" (ไฟที่ปุ่ม ON จะติด) เพื่อให้เครื่องจักรเริ่มทำงาน 		
6.2 Panal ที่ติดตั้งวาล์วปรับลมของหัวตัดตามแนวขวางการไหล ซึ่งวาล์ว 1 ชุด 3 ตัวต้องใช้ควบคุม C/W 1 ตัวดังนี้ 1. Cutter Pressure ความดันกดตัดลงบนแผ่นกระจก 2. Cutter Ascending Pressure เป็นความดันในการยกตัวขึ้นของใบมีด โดยทำการตั้งไว้ที่ 0.55 kgf/cm^2 	Cutter Ascending Pressure ในการทำงานจะไม่มีการปรับค่านี้ โดยพนักงานที่ปฏิบัติงานต้องทำการตรวจสอบความดันจุดนี้ เพราะหากเกิดการรั่ว อาจทำให้หัวตัดไม่ยกตัวขึ้นเมื่อตัดตามแนวขวางสุดทางแล้ว	
6.3 หมุนวาล์วแต่ละตัวเพื่อปรับความดัน โดยให้ทำการปรับตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ - ปรับความดันกดตัดที่ Cutter Pressure 	มาตรฐานการใช้งานความดันกดตัด ให้ทำการดูในแฟ้มเอกสารมาตรฐานที่อยู่ในห้องควบคุมการตัด และให้ทำการปรับค่าความดันให้เหมาะสมกับขนาดใบมีดตัดที่ใช้งานในแต่ละวัน	

AGC Flat Glass (Thailand) Public Company Limited บริษัท กระจกไทยอาซาฮี จำกัด (มหาชน)			
Section & Department :	Hot & Cold Department		
Job name/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน เรื่อง :	ขั้นตอนการทำงานการตัดกระจกในแผนกกระบวนการตัด		
Code/เอกสารเลขที่ : CU-43-xxx	Rev./แก้ไขครั้งที่ :	01	Eft./วันที่ : 9/10/2012
Position/ตำแหน่งงานที่รับผิดชอบ :	พนักงานควบคุมการตัด		
Approved/อนุมัติโดย :			Page/หน้าที่ : 13/17

Job step/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Picture)	Point & reason (success or failure,safety,ease)/ ข้อควรระวัง, ประเด็นหลัก, การจงใจ	Document & Tools & Material&Reason/เอกสารที่เกี่ยวข้อง, อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้และเหตุผล
6.4 ดูความดันกดตัดที่ Pressuer Gauge 		
7. การบันทึกข้อมูลการใช้งานใบมีดตัดตามแนวขวางการไหล หลังจากที่เริ่มใช้งานใบมีดตัดแล้วให้ทำการบันทึกข้อมูลการตัดลงในแบบฟอร์มการตรวจสอบสภาพการทำงาน CF-43-221 และทำการลงข้อมูลในตาราง ติดตามการตัดที่อยู่หน้างาน โดยทำการลงเวลาที่เริ่มใช้งาน เวลาสิ้นสุดการใช้งานตามมาตรฐานที่กำหนด ตามช่องของเครื่องจักรตัดที่ใช้งาน เพื่อให้ผู้ที่มารับงานในกะ ถัดไปทราบถึงเวลาการใช้งานใบมีดตัดที่เหลืออยู่ และทำการเปลี่ยนก่อนเกิดความเสียหายต่อกระจกขึ้น 		เอกสารการตรวจสอบสภาพประจำกะ Cutting Mainline Daily Report CF-43-221

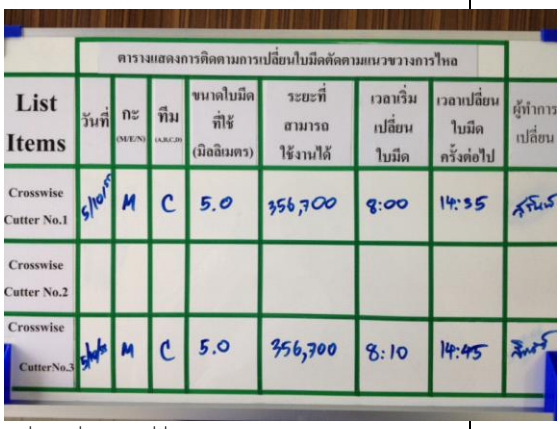
AGC Flat Glass (Thailand) Public Company Limited

บริษัท กระจกไทยอาซาฮี จำกัด (มหาชน)

Section & Department :	Hot & Cold Department		
Job name/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน เรื่อง :	ขั้นตอนการทำงานการตัดกระจกในแผนกระบวนการตัด		
Code/เอกสารเลขที่ : CU-43-xxx	Rev./แก้ไขครั้งที่ :	01	Eft./วันที่ : 9/10/2012
Position/ตำแหน่งงานที่รับผิดชอบ :	พนักงานควบคุมการตัด		
Approved/อนุมัติโดย :			Page/หน้าที่ : 14/14

Job step/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Picture)	Point & reason (success or failure,safety,ease)/ ข้อควรระวัง, ประเด็นหลัก, การจงใจ	Document & Tools & Material&Reason/เอกสารที่เกี่ยวข้อง, อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้และเหตุผล

วิธีการบันทึกข้อมูลในตารางติดตามการใช้งานใบมีด



ตารางแสดงการติดตามการเปลี่ยนใบมีดตัดตามแนวขวางการไหล

List Items	วันที่	กะ (M/E/N)	ทีม (A,B,C,D)	ขนาดใบมีดที่ใช้ (มิลลิเมตร)	ระยะที่สามารถใช้งานได้	เวลาเริ่มเปลี่ยนใบมีด	เวลาเปลี่ยนใบมีดครั้งต่อไป	ผู้ทำการเปลี่ยน
Crosswise Cutter No.1	5/10/55	M	C	5.0	356,700	8:00	14:35	สวัสดิ์
Crosswise Cutter No.2								
Crosswise CutterNo.3	5/10/55	M	C	5.0	356,700	8:10	14:45	สวัสดิ์

ช่องที่ 1 วันที่ ให้ลงวันที่ที่ปฏิบัติงาน

ช่องที่ 2 กะ ให้ลงกะที่ทำงาน โดยเช้าแทนด้วยตัวย่อ M
บ่ายแทนด้วยตัวย่อ E และกะดึกแทนด้วยตัวย่อ N

ช่องที่ 3 ทีม หมายถึงทีมที่ทำการปฏิบัติงาน

ช่องที่ 4 ขนาดใบมีดที่ใช้งานให้ดูจากกล่องรับใบมีด
ในแต่ละวันใบมีดที่ใช้จะมีขนาดเดียวกัน

ช่องที่ 5 ระยะการใช้งานให้ลงค่าที่สามารถใช้งานใบมีดตัดได้
ตามมาตรฐานที่กำหนด

ช่องที่ 6 เวลาเริ่มเปลี่ยนใบมีด หมายถึงเวลาเริ่มต้นการใช้งาน
ใบมีดแต่ละใบ

ช่องที่ 7 เวลาเปลี่ยนใบมีดครั้งต่อไป ให้ทำการบวกจำนวนเวลา
การใช้งานใบมีดที่เปลี่ยนไปตามมาตรฐาน และลงบันทึก
เวลาที่ต้องทำการเปลี่ยนใบมีดไว้ เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงาน
อื่นทราบเวลาในการใช้งานใบมีดที่เหลืออยู่

ช่องที่ 8 ผู้ทำการเปลี่ยน ให้ทำการลงชื่อผู้ที่ทำการเปลี่ยนไว้
เพื่อให้ทราบไว้ ใครเป็นผู้ที่ปฏิบัติงานในจุดงาน

เอกสารอ้างอิง

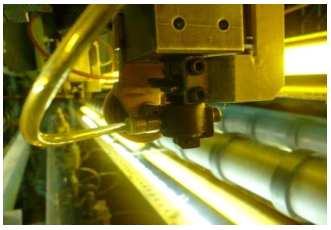
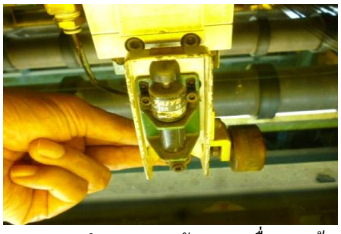
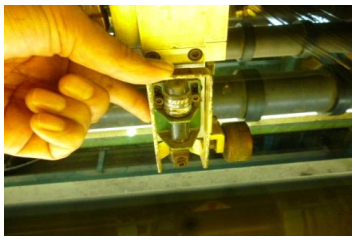
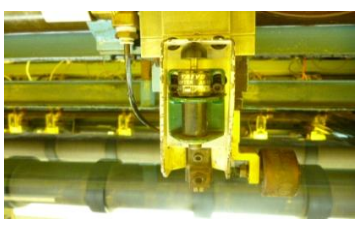
เอกสารการตรวจสอบสภาพประจำกะ CF-43-221

Cutting Mainline Daily Report

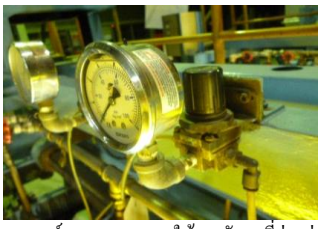
AGC Flat Glass (Thailand) Public Company Limited

บริษัท กระจกไทยอาซาฮี จำกัด (มหาชน)

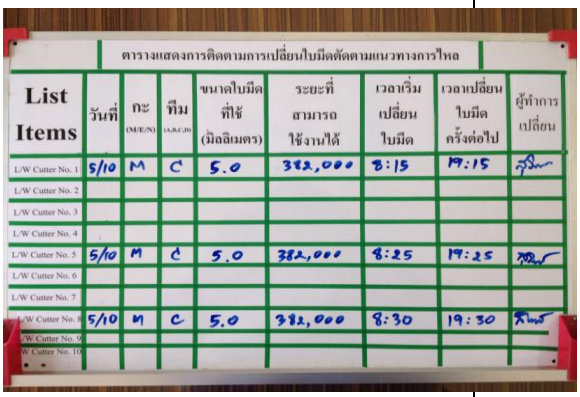
Section & Department :	Hot & Cold Department		
Job name/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน เรื่อง :	ขั้นตอนการทำงานการตัดกระจกในแผนกกระบวนการตัด		
Code/เอกสารเลขที่ : CU-43-xxx	Rev./แก้ไขครั้งที่ :	01	Eft./วันที่ : 9/10/2012
Position/ตำแหน่งงานที่รับผิดชอบ :	พนักงานควบคุมการตัด		
Approved/อนุมัติโดย :			Page/หน้าที่ : 15/17

Job step/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Picture)	Point & reason (success or failure,safety,ease)/ ข้อควรระวัง, ประเด็นหลัก, การจงใจ	Document & Tools & Material&Reason/เอกสารที่เกี่ยวข้อง, อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้และเหตุผล
ขั้นตอนการเปลี่ยนหัวการตัดตามแนวทางการไหล 1. นำชุดหัวตัดตามแนวทางการไหลไปสวมที่แท่นของหัวตัดตามแนวทางการไหล 	ลักษณะของหัวตัดจะเหมือนกันกับการตัดตามแนวขวางการไหล แตกต่างกันที่แท่นที่ยึดติดกับราวตัดซึ่งมีลักษณะเป็นตัวยู	
2 ทำการร้อยน็อตตัวผู้ ผ่านรูใส่น็อตเข้าไปก่อนแล้วใช้นิ้วจับน็อตหางปลาตัวเมียให้ ตรงกับน็อตตัวผู้ 	ในการประกอบต้องทำการปิดเครื่องจักรชุดแรงดันลมกดก่อน เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้น โดยหัวกดตัดกระแทกกับนิ้วขณะทำการประกอบชุดหัวตัด	
3. ทดสอบระยะการทำงานของชุดหัว Cutter เมื่อลงสุดต้องไม่ถูกโช๊คค้ำไว้ ถ้าถูกโช๊คค้ำต้องปรับระยะโช๊คให้มีช่องว่างของหัวโช๊ค ดับตัวโช๊คประมาณ 2 มม. 		
4. หัวตัดตามแนวทางการไหลพร้อมใช้งาน 		

AGC Flat Glass (Thailand) Public Company Limited บริษัท กระจกไทยอาซาฮี จำกัด (มหาชน)			
Section & Department :	Hot & Cold Department		
Job name/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน เรื่อง :	ขั้นตอนการทำงานการตัดกระจกในแผนกกระบวนการตัด		
Code/เอกสารเลขที่ : CU-43-xxx	Rev./แก้ไขครั้งที่ :	0	Eft./วันที่ : 9/10/2012
Position/ตำแหน่งงานที่รับผิดชอบ :	พนักงานควบคุมการตัด		
Approved/อนุมัติโดย :			Page/หน้าที่ : 16/17

Job step/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Picture)	Point & reason (success or failure,safety,ease)/ ข้อควรระวัง, ประเด็นหลัก, การจงใจ	Document & Tools & Material&Reason/เอกสารที่เกี่ยวข้อง, อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้และเหตุผล
5. หัวตัดตามแนวทางการไหลแต่ละตัวจะมี Pressure Gauge สำหรับดูแรงลมในการทำงาน ในแต่ละความหนาของกระจก 6. ด้านหลังของ Pressure Gauge จะมี Regulator สำหรับปรับความดันกดตัด  7 ทำการหมุนวาล์วของ Regulator ให้แรงดันลมที่อ่านค่าได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ 8. จะมีวาล์ว ปิด - เปิด น้ำมันก๊าด สำหรับใช้หล่อลื่นรอยตัด 	มาตรฐานการใช้งานความดันกดตัด ให้ทำการดูในแฟ้มเอกสารมาตรฐานที่อยู่ในห้องควบคุมการตัด ในการตัดทุกครั้งต้องทำการเปิดวาร์วให้น้ำมันก๊าดไหลลงชุดหัวตัดทุกครั้ง ไม่เช่นนั้นใบมีดตัดจะหมดสภาพการตัดอย่างรวดเร็ว เนื่องจากไม่มีสารหล่อเย็นใบมีดในขณะทำการตัด	

AGC Flat Glass (Thailand) Public Company Limited บริษัท กระจกไทยอาซาฮี จำกัด (มหาชน)			
Section & Department :	Hot & Cold Department		
Job name/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน เรื่อง :	ขั้นตอนการทำงานการตัดกระจกในแผนกกระบวนการตัด		
Code/เอกสารเลขที่ : CU-43-xxx	Rev./แก้ไขครั้งที่ :	0	Eft./วันที่ : 9/10/2012
Position/ตำแหน่งงานที่รับผิดชอบ :	พนักงานควบคุมการตัด		
Approved/อนุมัติโดย :			Page/หน้าที่ : 17/17

Job step/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Picture)	Point & reason (success or failure,safety,ease)/ ข้อควรระวัง, ประเด็นหลัก, การจูงใจ	Document & Tools & Material&Reason/เอกสารที่เกี่ยวข้อง, อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้และเหตุผล
7. การบันทึกข้อมูลการใช้งานใบมีดตัดตามแนวขวางการไหล หลังจากที่เริ่มใช้งานใบมีดตัดแล้วให้ทำการบันทึกข้อมูลการตัดลงในแบบฟอร์มการตรวจสอบสภาพการทำงาน CF-43-221 และทำการลงข้อมูลในตาราง ติดตามการตัดที่อยู่หน้างาน โดยทำการลงเวลาที่เริ่มใช้งาน เวลาสิ้นสุดการใช้งานตามมาตรฐานที่กำหนด ตามช่องของเครื่องจักรตัดที่ใช้งาน เพื่อให้ผู้ที่มารับงานในกะ ถัดไปทราบถึงเวลาการใช้งานใบมีดตัดที่เหลืออยู่ และทำการเปลี่ยนก่อนเกิดความเสียหายต่อกระจกขึ้น วิธีการบันทึกข้อมูลในตารางติดตามการใช้งานใบมีดตามแนวทางการไหล มีวิธีการลงเหมือนกับการตัดตามแนวขวางการไหล ที่ได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้ ที่ได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้  ตารางแสดงการติดตามการเปลี่ยนใบมีดตัดตามแนวทางการไหล List Items / วันที่ / กะ (M/E/N) / ทีม (A,B,C,D) / ขนาดใบมีดที่ใช้ (มิลลิเมตร) / ระยะที่สามารถใช้งานได้ / เวลาเริ่มเปลี่ยนใบมีด / เวลาเปลี่ยนใบมีดครั้งต่อไป / ผู้ทำการเปลี่ยน L/W Cutter No. 1 — 5/10 — M — C — 5.0 — 382,000 — 8:15 — 19:15 L/W Cutter No. 5 — 5/10 — M — C — 5.0 — 382,000 — 8:25 — 19:25 L/W Cutter No. 9 — 5/10 — M — C — 5.0 — 382,000 — 8:30 — 19:30 **เอกสารอ้างอิง** เอกสารการตรวจสอบสภาพประจำกะ CF-43-221 Cutting Mainline Daily Report		เอกสารการตรวจสอบสภาพประจำกะ Cutting Mainline Daily Report CF-43-221

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนิติพงษ์ เล็กสุพรรณโรจน์ เกิดเมื่อวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปีการศึกษา 2549 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2553 ปัจจุบันมีประสบการณ์ในการทำงานตำแหน่งวิศวกรฝ่ายผลิต บริษัทผลิตกระจกแผ่นเรียบพื้นฐาน เป็นเวลา 6 ปี