

การลดความคลาดเคลื่อนในกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตา



นางสาวชญาณี หวังประดิษฐ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ERRORS REDUCTION IN OPTICAL LENS FINISHING PROCESS



Miss Chayanee Wangpradit

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 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การลดความคลาดเคลื่อนในกระบวนการตัดแต่งเลนส์  
แว่นตา

โดย

นางสาวชฎานี หวังประดิษฐ์


สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหการ

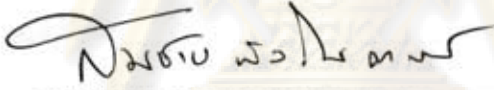
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

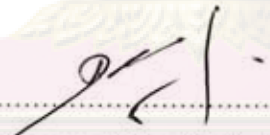
รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศนिरูวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ จีรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพ็ชร์)

ศูนย์วิทยุโทรพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชญาณี หวังประดิษฐ์ : การลดความคลาดเคลื่อนในกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตา.  
(ERRORS REDUCTION IN OPTICAL LENS FINISHING PROCESS) อ.ที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย, 223 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาสาเหตุและลดความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ในกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตา มีการนำหลักการทางสถิติ การวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการ การวิเคราะห์ระบบการวัด และการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ และปรับปรุงความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากการระดมความคิดเพื่อนิยามปัญหาด้วยแผนภาพกึ่งไม้ และกำหนดขอบเขตของปัญหาโดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ข้อบกพร่อง กำหนดสาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพกังปลา หลังจากนั้นทำการออกแบบกระบวนการวัดและเครื่องมือวัดที่เหมาะสมก่อนเข้าสู่กระบวนการออกแบบการทดลอง โดยเริ่มจากการเลือกปัจจัยระดับของแต่ละปัจจัย และตัวแปรตอบสนอง เลือกรูปแบบของการทดลอง (กระบวนการบล็อกเลนส์เลือกใช้การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$  และกระบวนการตัดเลนส์เลือกใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล) แล้วดำเนินการทดลองโดยค่าเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้าคือ ไม่เกิน 3 องศา การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ และวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย ทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง สุดท้ายจะทำการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์

ผลลัพธ์ของงานวิจัยคือ สามารถกำหนดปัจจัยและระดับของแต่ละปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการบล็อกเลนส์คือ เครื่อง V.Pro กับฟังก์ชันการทำงานแบบ Automatic สำหรับกระบวนการตัดเลนส์คือ เครื่อง ES-3 กับ Clamp ขนาดใหญ่ หลังการปรับปรุงพบว่า สามารถลดค่าการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์โดยเฉลี่ยลงได้คือ สำหรับกระบวนการบล็อกเลนส์ลดลงจาก 0.2723 เป็น 0.2215 และกระบวนการตัดเลนส์ลดลงจาก 1.0829 เป็น 0.9376 แต่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการเพิ่มขึ้น เนื่องจากความแปรปรวนของการสุ่มตัวอย่างเลนส์ อีกทั้งส่งผลให้ค่า Cp ลดลงเป็น 5.37 และ 1.86 สำหรับกระบวนการบล็อกเลนส์และตัดเลนส์ตามลำดับ แต่ค่าดังกล่าวยังอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้คือ มากกว่า 1.33

ภาควิชา..... วิศวกรรมอุตสาหการ.....ลายมือชื่อนิสิต.....ชญาณี หวังประดิษฐ์  
สาขาวิชา..... วิศวกรรมอุตสาหการ.....ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
ปีการศึกษา..... 2551.....

5070251021 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : AXIS / FACTORS / MEASUREMENT / EXPERIMENT / IMPROVEMENT

CHAYANEE WANGPRADIT : ERRORS REDUCTION IN OPTICAL LENS FINISHING PROCESS. ADVISOR: ASSOC.PROF. DAMRONG THAWESAENGSKULTHAI, 223 pp.

The objectives of this research are to find causes and errors reduction of the lens axis in optical lens finishing process. Applied statistical, FMEA, MSA and DOE were used to investigate the factors influencing and reduced the axis error of lens. The process began with problem identification by brainstorming, were chosen the scope of problem by Tree Diagram and the causes of problem by Cause and Effect Diagram. Before applying the design of experiment, the appropriate design on the method and equipment of measurement were implemented. The process of experiment began with choice of factors and levels of each factors which responded to variable identification (axis). Experimental design (The algorithm of the Design of Experiment with  $2^k$  Fraction Factorial Design for blocking and Fraction Factorial Design for edging process) was initiated with the experiment in order to achieve the required axis and 3 degrees variance of the customer specifications. Statistical data analysis were used to optimize the levels of each factors significantly. Finally, improvement process was considered to decrease the axis error.

The result of experiment was concluded with the optimal of factors and levels of each factors which intensed to the axis of the lens. For the blocking process such as V.Pro blocker should be automatic function and edging process such as ES-3 edger should be the large of clamp. The error reduction of the lens axis were decreasing from 0.2723 to 0.2215 for blocking process and 1.0829 to 0.9376 for edging process. But the standard deviation increased because of the variation of sampled lenses. It caused reduction of the Cp, were 5.37 and 1.86 for blocking and edging process respectively which were above acceptable level ( $Cp \geq 1.33$ ).

Department : ..... Industrial Engineering .....

Student's Signature

ชญาณี หวังประสิทธิ์

Field of Study : ..... Industrial Engineering .....

Advisor's Signature



Academic Year : 2008 .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้ที่ให้คำปรึกษาทั้งด้านทฤษฎีและหลักการที่นำมาประยุกต์ใช้กับงานจริงในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ และขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร ประธานกรรมการสอบ รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เเงาประเสริฐวงศ์ กรรมการ และรองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกคี่ก กรรมการภายนอก มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ พร้อมทั้งตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องภายใน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ประโยชน์และความดีอันพึงเกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอขอบแต่ บิดา มารดา พี่น้อง เพื่อนนิสิต และพี่ๆ ในบริษัทกรณีศึกษาทุกคน นอกจากนั้นขอขอบคุณทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้ ที่กรุณาให้ความร่วมมือช่วยเหลือ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จไปได้ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	6
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	7
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	10
2.1.1 เทคนิคการควบคุมคุณภาพ.....	10
2.1.2 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต.....	18
2.1.3 การวิเคราะห์ระบบการวัด.....	19
2.1.4 การออกแบบการทดลอง.....	25
2.1.5 หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล.....	33
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	40
บทที่ 3 การศึกษากระบวนการตัดแต่งเลนส์.....	51
3.1 กระบวนการตัดแต่งเลนส์.....	51
3.2 ประวัติความเป็นมาและรายละเอียดของโรงงานกรณีศึกษา.....	52

	หน้า
บทที่ 4 การดำเนินงานวิจัย.....	86
4.1 การค้นหาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อปัญหา.....	86
4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น.....	96
4.3 การออกแบบเครื่องมือวัด.....	103
4.4 การออกแบบกระบวนการวัด.....	104
4.5 การวิเคราะห์ระบบการวัด.....	106
4.6 การออกแบบการทดลอง.....	126
4.7 การปรับปรุงกระบวนการ.....	154
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	160
5.1 สรุปผลงานวิจัย.....	160
5.1.1 สรุปผลการเลือกปัญหาและกำหนดขั้นตอนของงานวิจัย.....	160
5.1.2 สรุปผลการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบของปัญหา.....	160
5.1.3 สรุปสาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพสาเหตุและผล.....	161
5.1.4 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด.....	163
5.1.5 สรุปผลการออกแบบการทดลอง.....	164
5.1.6 สรุปผลการปรับปรุงกระบวนการ.....	166
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในงานวิจัย.....	170
5.3 ข้อจำกัดของงานวิจัย.....	170
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	170
รายการอ้างอิง.....	172
ภาคผนวก.....	175
ภาคผนวก ก เกณฑ์ของตัวเลขการประเมินลำดับก่อนหลังของความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN).....	176
ภาคผนวก ข องค์ประกอบและหน้าจอแสดงผลของเครื่องจักร.....	179



ภาคผนวก ค	ขั้นตอนโดยละเอียดในการวัดค่า Axis ของเลนส์ด้วยโปรแกรม Measuremind 3D Multisensor ของเครื่อง Smartscope สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด.....	183
ภาคผนวก ง	แบบฟอร์มของการบันทึกข้อมูลในการวิเคราะห์ระบบการวัด.....	202
ภาคผนวก จ	ขั้นตอนโดยละเอียดของการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อวิเคราะห์ระบบการวัดโดยวิธี ANOVA.....	204
ภาคผนวก ฉ	ขั้นตอนโดยละเอียดของการออกแบบการทดลอง.....	209
ภาคผนวก ช	ขั้นตอนโดยละเอียดของการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลอง.....	214
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....		223



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	สถิติการปฏิเสธสินค้าจากลูกค้าในกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม 2551.....	2
1.2	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	9
2.1	ประเภทของแผนภูมิและสูตรการคำนวณ.....	15
2.2	การตัดสินใจในการทดสอบสมมติฐาน.....	35
2.3	การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ One-Way-ANOVA.....	37
2.4	การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการทดลองแบบสุ่มในบล็อก.....	38
2.5	การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ Two-Fixed Effect Model.....	39
2.6	ค่าพารามิเตอร์และตัวบ่งชี้ความสามารถของกระบวนการ.....	49
3.1	ชนิดของเลนส์.....	53
3.2	ชนิดของเฟรม.....	54
3.3	ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องบล็อกเลนส์กับเครื่องตัดเลนส์.....	59
3.4	ขนาดและรูปแบบของตัวจับยึด.....	60
3.5	รูปแบบของการตัดเลนส์.....	66
3.6	การตรวจสอบความพอดีของการประกอบเลนส์กับเฟรมแบบโลหะ.....	73
4.1	FMEA สำหรับกระบวนการ.....	89
4.2	สรุปผลการวิเคราะห์ FMEA.....	92
4.3	คุณสมบัติและลักษณะการใช้งานของเครื่องมือวัดที่มีอยู่เดิม.....	97
4.4	ผลการวัด Axis ของเลนส์หลังกระบวนการบล็อกเลนส์ในการวิเคราะห์ความแม่นยำก่อนการปรับปรุงระบบการวัด.....	107
4.5	ผลการวัด Axis ของเลนส์หลังกระบวนการตัดเลนส์ในการวิเคราะห์ความแม่นยำก่อนการปรับปรุงระบบการวัด.....	111
4.6	ผลการวัด Axis ของเลนส์หลังกระบวนการบล็อกเลนส์ในการวิเคราะห์ความแม่นยำหลังการปรับปรุงระบบการวัด.....	118
4.7	ผลการวัด Axis ของเลนส์หลังกระบวนการตัดเลนส์ในการวิเคราะห์ความแม่นยำหลังการปรับปรุงระบบการวัด.....	122

ตารางที่	หน้า
4.8	การสุ่มลำดับการทดลองในกรณีของกระบวนการบล็อกเลนส์..... 132
4.9	การสุ่มลำดับการทดลองในกรณีของกระบวนการตัดเลนส์..... 132
4.10	ข้อมูลของการวัดค่า Axis หลังกระบวนการบล็อกเลนส์..... 133
4.11	ข้อมูลของการวัดค่า Axis หลังกระบวนการตัดเลนส์..... 133
4.12	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแฟคทอเรียลแบบ $2^k$ ของ กระบวนการบล็อกเลนส์..... 137
4.13	Effects และ Coefficients สำหรับค่า Axis ของเลนส์แบบ Coded Unit ของ การทดลองแฟคทอเรียลแบบ $2^k$ ของกระบวนการบล็อกเลนส์..... 137
4.14	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเชิงแฟคทอเรียลของ กระบวนการตัดเลนส์..... 145
4.15	สรุประดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยของกระบวนการบล็อกเลนส์..... 152
4.16	สรุประดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยของกระบวนการตัดเลนส์..... 152
4.17	เปรียบเทียบผลการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองก่อนและหลังปรับปรุง กระบวนการ..... 158
5.1	สรุประดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยของกระบวนการบล็อกเลนส์..... 165
5.2	สรุประดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยของกระบวนการตัดเลนส์..... 165
5.3	เปรียบเทียบผลการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองก่อนและหลังปรับปรุง กระบวนการ..... 168
ก-1	ระดับความรุนแรงของผลกระทบ (กรณีศึกษาบริษัท ABC ทดลองใช้ 01/05/2551)..... 177
ก-2	เกณฑ์การให้คะแนนโอกาสที่เกิดขึ้น (กรณีศึกษาบริษัท ABC ทดลองใช้ 01/05/2551)..... 177
ก-3	เกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการตรวจจับความคลาดเคลื่อนของ สาเหตุ (กรณีศึกษาบริษัท ABC ทดลองใช้ 01/05/2551)..... 178
ง-1	แบบฟอร์มของการบันทึกข้อมูลในการวิเคราะห์ระบบการวัด..... 203

## สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	แผนภาพพาเรโตของการปฏิเสธสินค้าจากลูกค้า (กรณีศึกษาบริษัท ABC).....	1
1.2	แผนภาพกึ่งไม่แสดงความคลาดเคลื่อนของ Axis.....	5
1.3	แผนภาพกึ่งไม่แสดงความคลาดเคลื่อนของ PD.....	6
2.1	หลักการพาเรโต.....	11
2.2	เกณฑ์การเลือกใช้แผนภูมิควบคุม.....	16
2.3	แนวความคิดแผนภูมิควบคุม.....	17
2.4	การจำแนกสาเหตุของการวิเคราะห์ระบบการวัด.....	19
2.5	ประเภทความผันแปรของระบบการวัด.....	23
2.6	แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ.....	26
2.7	การออกแบบบล็อกแบบสุ่มบริบูรณ์.....	31
3.1	แผนผังแผนกตัดแต่งเลนส์.....	52
3.2	แผนผังการบริหารงานแผนกตัดแต่งเลนส์.....	53
3.3	ขั้นตอนกระบวนการผลิตแผนกตัดแต่งเลนส์.....	54
3.4	การรับวัตถุดิบ.....	55
3.5	เลนส์และเฟรมตามใบรายการสินค้า.....	55
3.6	เครื่อง Tracer (TESS).....	56
3.7	การวัดเฟรมแบบพลาสติก.....	56
3.8	การวัดเฟรมแบบโลหะ.....	57
3.9	การวัดเฟรมแบบเซาะร่องหรือแบบเจาะโดยใช้เลนส์ตัวอย่าง.....	57
3.10	การวัดเฟรมแบบเซาะร่องหรือแบบเจาะโดยใช้เลนส์จริง.....	58
3.11	ชนิดของเครื่องบล็อกเลนส์.....	58
3.12	การกำหนดจุดอ้างอิงบนเลนส์ของเครื่อง Focimeter.....	59
3.13	การติดตัวจับยึดกับสติกเกอร์.....	60
3.14	การวางตัวจับยึดติดกับหัว chuck ของเครื่อง WECO Verifier Pro.....	61
3.15	การวางเลนส์ก่อนการบล็อกเลนส์ของเครื่อง WECO Verifier Pro.....	61
3.16	กระบวนการบล็อกเลนส์ของเครื่อง WECO Verifier Pro.....	61

รูปที่	หน้า
3.17	การวางตัวจับยึดติดกับหัว chuck ของเครื่อง 3B..... 62
3.18	การวางเลนส์ก่อนการบล็อกเลนส์ของเครื่อง 3B..... 62
3.19	เลนส์ที่ผ่านกระบวนการบล็อกเลนส์..... 62
3.20	ชนิดของเครื่องตัดเลนส์..... 63
3.21	รูปแบบและขนาดของหัว Chuck และการเลือกตัวจับยึดที่เหมาะสม..... 63
3.22	การตัดเลนส์แบบหยาบ..... 64
3.23	การตัดเลนส์แบบละเอียด..... 64
3.24	การเจาะเลนส์..... 64
3.25	การเซาะร่องเลนส์..... 65
3.26	การตัดเลนส์แบบ Organic..... 65
3.27	การตัดเลนส์แบบ Polycarbonate..... 65
3.28	การขัดเงาแบบใช้พนักงานในการขัด..... 66
3.29	การลบคมแบบอัตโนมัติ..... 67
3.30	การลบคมแบบใช้พนักงานในการขัด..... 67
3.31	การเจาะเลนส์..... 68
3.32	การเจาะเลนส์แบบอัตโนมัติ..... 68
3.33	การใช้ไม้บรรทัด Digital ในการกำหนดตำแหน่งการเจาะเลนส์..... 69
3.34	การกำหนดจุดบนเลนส์ก่อนการเจาะเลนส์..... 69
3.35	การกำหนดตำแหน่งของการเจาะเลนส์..... 69
3.36	การลบคมรูเจาะ..... 70
3.37	การกำหนดพื้นที่ของการทำความสะอาดเลนส์..... 70
3.38	ลำดับขั้นตอนการประกอบเลนส์กับเฟรมแบบพลาสติก..... 71
3.39	การเริ่มประกอบเลนส์กับเฟรมแบบพลาสติก..... 71
3.40	เครื่อง Heater..... 72
3.41	การตรวจสอบมาตรฐานข้อกำหนดด้านความเครียดของเลนส์..... 72
3.42	การนำเลนส์มาประกอบกับเฟรมแบบโลหะ..... 72
3.43	การขึ้นสกรูของเฟรมแบบโลหะ..... 73
3.44	ส่วนประกอบของการประกอบเฟรมแบบ Semi rimless..... 74

รูปที่	หน้า	
3.45	การประกอบเลนส์กับเฟรมแบบไม่มีกรอบด้านเดียว.....	74
3.46	การประกอบริบบิ้นเข้ากับเฟรมแบบไม่มีกรอบด้านเดียว.....	75
3.47	ส่วนประกอบของการประกอบเลนส์แบบไม่มีกรอบทั้งสองด้าน.....	75
3.48	การขันสกรูขึ้นส่วนเชื่อมต่อตรงกลางของเฟรมแบบไม่มีกรอบทั้งสองด้าน.....	76
3.49	การประกอบขาแวนของเฟรมแบบไม่มีกรอบทั้งสองด้าน.....	76
3.50	ส่วนประกอบของการประกอบเฟรมแบบติดกาว.....	77
3.51	การติดแผ่น Blue Chip กับเลนส์ในการประกอบเฟรมแบบติดกาว.....	77
3.52	การหยด Polycarbonate specific glue ลงบนวัตถุ.....	77
3.53	การหยด Polycarbonate specific glue ลงบนรูของเลนส์.....	78
3.54	การกดเลนส์เพื่อให้กาวจับยึดกับเลนส์.....	78
3.55	วิธีการถอดตัวจับยึดที่ถูกต้อง.....	78
3.56	การตรวจสอบเพื่อที่จะให้ได้ขนาดและรูปร่างของเฟรมที่ถูกต้อง.....	79
3.57	ลักษณะการตรวจสอบ Curve ของเฟรม.....	79
3.58	ลักษณะการตรวจสอบระดับแนวแกนของเฟรม.....	80
3.59	ลักษณะการตรวจสอบระดับแนวแกนของเลนส์.....	80
3.60	ลักษณะการตรวจสอบมุมระหว่างการมองของตาคนกับเลนส์.....	81
3.61	ลักษณะการตรวจสอบมุมการกางออกของขาแวน.....	81
3.62	ลักษณะการตรวจสอบระดับของขาแวน.....	81
3.63	ลักษณะการตรวจสอบมุมของผิวหน้าและมุมระหว่างจุมูกทั้งสองด้าน.....	82
3.64	ลักษณะการตรวจสอบ 4 จุดสัมผัสของเฟรม.....	82
3.65	การล้างและทำความสะอาดในถังอุลตราโซนิค.....	82
3.66	การล้างและทำความสะอาดโดยพนักงานโดยตรง.....	83
3.67	การล้างและทำความสะอาดด้วยเครื่องล้างเลนส์อัตโนมัติ.....	83
3.68	ลักษณะการตรวจสอบระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางตาดำด้านขวากับด้านซ้าย..	84
3.69	ลักษณะการตรวจสอบความสูงจากจุดกึ่งกลางตาดำถึงขอบล่างสุดของเลนส์...	84
3.70	การบรรจุกล่องและจัดส่งให้กับลูกค้า.....	85
4.1	โอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนแต่ละประเภทในกระบวนการตัดแต่งเลนส์...	87
4.2	แผนภูมิพาเรโตแสดงการจัดลำดับความสำคัญของค่า RPN.....	93

รูปที่	หน้า	
4.3	แผนภาพก้างปลาแสดงสาเหตุของความคลาดเคลื่อนของ Axis.....	94
4.4	เครื่อง Focimeter.....	98
4.5	กระบวนการวัด Axis ของเครื่อง Focimeter.....	98
4.6	เครื่อง Trinocular.....	99
4.7	ขั้นตอนการวางเลนส์บนเครื่อง Trinocular.....	99
4.8	จุด Micro-circle บนเลนส์ชนิด Progressive lens.....	100
4.9	เครื่อง Smartscope.....	100
4.10	สถิติของการเกิดความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์....	102
4.11	องค์ประกอบของเลนส์ไร้รอยต่อ.....	103
4.12	การออกแบบเครื่องมือวัดโดยโปรแกรมสำเร็จรูป.....	104
4.13	ชิ้นงานจริงของเครื่องมือ (jig).....	104
4.14	การลากเส้นระหว่างจุดกึ่งกลางของวงกลม Micro-circle .....	105
4.15	การกำหนดจุดบนตัวจับยึดเพื่อลากเส้น.....	105
4.16	การคำนวณค่ามุมความคลาดเคลื่อน.....	106
4.17	ผลการทบทวนความแม่นยำของระบบการวัดหลังกระบวนการบล็อกเลนส์ก่อน การปรับปรุงโดยวิธี ANOVA.....	108
4.18	ผลการทบทวนความแม่นยำของระบบการวัดหลังกระบวนการบล็อกเลนส์ก่อน การปรับปรุงในส่วนของ Session โดยวิธี ANOVA.....	109
4.19	ผลการทบทวนความแม่นยำของระบบการวัดหลังกระบวนการตัดเลนส์ก่อน การปรับปรุงโดยวิธี ANOVA.....	112
4.20	ผลการทบทวนความแม่นยำของระบบการวัดหลังกระบวนการตัดเลนส์ก่อน การปรับปรุงในส่วนของ Session โดยวิธี ANOVA.....	113
4.21	ผลการทบทวนความแม่นยำของระบบการวัดหลังกระบวนการบล็อกเลนส์หลัง การปรับปรุงโดยวิธี ANOVA.....	119
4.22	ผลการทบทวนความแม่นยำของระบบการวัดหลังกระบวนการบล็อกเลนส์หลัง การปรับปรุงในส่วนของ Session โดยวิธี ANOVA.....	120
4.23	ผลการทบทวนความแม่นยำของระบบการวัดหลังกระบวนการตัดเลนส์หลังการ ปรับปรุงโดยวิธี ANOVA.....	123

รูปที่	หน้า
4.24 ผลการทบทวนความแม่นยำของระบบการวัดหลังกระบวนการตัดเลนส์หลังการปรับปรุงในส่วนของ Session โดยวิธี ANOVA.....	124
4.25 ขั้นตอนการพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อทำการทดลอง.....	126
4.26 Normal Probability Plot แสดงการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลจากกระบวนการบลิ๊อคเลนส์.....	134
4.27 พาเรโตแสดงผลของปัจจัยในการทดลองแพคทอเรียลแบบ $2^k$ .....	135
4.28 Normal Probability Plot แสดงผลของปัจจัยการทดลองแพคทอเรียลแบบ $2^k$ ...	136
4.29 Interaction Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อค่าค่า Axis ของเลนส์ของกระบวนการบลิ๊อคเลนส์.....	138
4.30 Main Effects Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อค่า Axis ของเลนส์ของกระบวนการบลิ๊อคเลนส์.....	139
4.31 กราฟแสดงการวิเคราะห์ตกค้างของผลการทดลองของกระบวนการบลิ๊อคเลนส์	140
4.32 กราฟแสดงผลการทดสอบความสุ่ม Residuals Versus the Order of the Data ของกระบวนการบลิ๊อคเลนส์.....	141
4.33 กราฟแสดงผลการทดสอบความสุ่ม Normal Probability Plot of the Residuals ของกระบวนการบลิ๊อคเลนส์.....	142
4.34 กราฟแสดงผลการทดสอบความสุ่ม Residuals Versus the Fitted Value ของกระบวนการบลิ๊อคเลนส์.....	143
4.35 Normal Probability Plot แสดงการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลจากกระบวนการตัดเลนส์.....	144
4.36 Interaction Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อค่า Axis ของเลนส์ของกระบวนการตัดเลนส์.....	146
4.37 Main Effects Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อค่า Axis ของเลนส์ของกระบวนการตัดเลนส์.....	147
4.38 กราฟแสดงการวิเคราะห์ตกค้างของผลการทดลองของกระบวนการตัดเลนส์.....	148
4.39 กราฟแสดงผลการทดสอบความสุ่ม Residuals Versus the Order of the Data ของกระบวนการตัดเลนส์.....	149



รูปที่		หน้า
4.40	กราฟแสดงผลการทดสอบความสุ่ม Normal Probability Plot of the Residuals ของกระบวนการตัดเลนส์.....	150
4.41	กราฟแสดงผลการทดสอบความสุ่ม Residuals Versus the Fitted Value ของกระบวนการตัดเลนส์.....	151
4.42	การทดสอบเพื่อยืนยันความสามารถของกระบวนการบล็อกเลนส์.....	152
4.43	การทดสอบเพื่อยืนยันความสามารถของกระบวนการตัดเลนส์.....	153
4.44	การทดสอบเพื่อยืนยันความสามารถของกระบวนการบล็อกเลนส์หลังการปรับปรุง.....	156
4.45	การทดสอบเพื่อยืนยันความสามารถของกระบวนการตัดเลนส์หลังการปรับปรุง	157

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันการเจริญเติบโตทางอุตสาหกรรมของประเทศไทยมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว อันเนื่องมาจากการเพิ่มจำนวนของประชากรและความต้องการในด้านการอุปโภคและบริโภคที่ไม่จำกัด ส่งผลให้ในภาคอุตสาหกรรมต้องมีการเพิ่มกำลังการผลิตเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของลูกค้าอย่างทั่วถึง เมื่อความต้องการสูงขึ้นก็จะก่อให้เกิดการแข่งขันภายในอุตสาหกรรมประเภทเดียวกันในการผลิตสินค้าเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างตรงใจ โดยสามารถมีส่วนแบ่งทางการตลาดได้มากที่สุด สำหรับการตอบสนองความต้องการของลูกค้าก็นั้นมักจะคำนึงถึงคุณภาพของสินค้าเป็นสิ่งสำคัญ เพราะถ้าหากไม่สามารถควบคุมและพัฒนาคุณภาพให้เป็นไปตามมาตรฐาน ก็จะส่งผลให้ลูกค้าเกิดการเปลี่ยนแปลงการเลือกซื้อสินค้าไปยังผู้ผลิตรายอื่นๆ จะเห็นได้ว่าในกระบวนการผลิตมักพบข้อบกพร่องและความไม่สมบูรณ์แบบของสินค้าอยู่บ่อยครั้ง ซึ่งความคลาดเคลื่อนดังกล่าวจะส่งผลต่อความเชื่อมั่นของลูกค้า ดังนั้นการปรับปรุงและพัฒนาสินค้าเพื่อทำให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจนั้น จึงเป็นปัจจัยอันดับแรกที่ทุกภาคอุตสาหกรรมไม่ควรมองข้าม เพราะถ้าหากเกิดความบกพร่องซ้ำๆ ก็จะมีผลกระทบต่อความพึงพอใจของลูกค้า เกิดการสูญเสียรายรับขององค์กร และอาจจะนำไปสู่การล้มเหลวของกิจการ ทำให้หลายองค์กรเล็งเห็นความสำคัญในการปรับปรุงและควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าอย่างสูงสุด

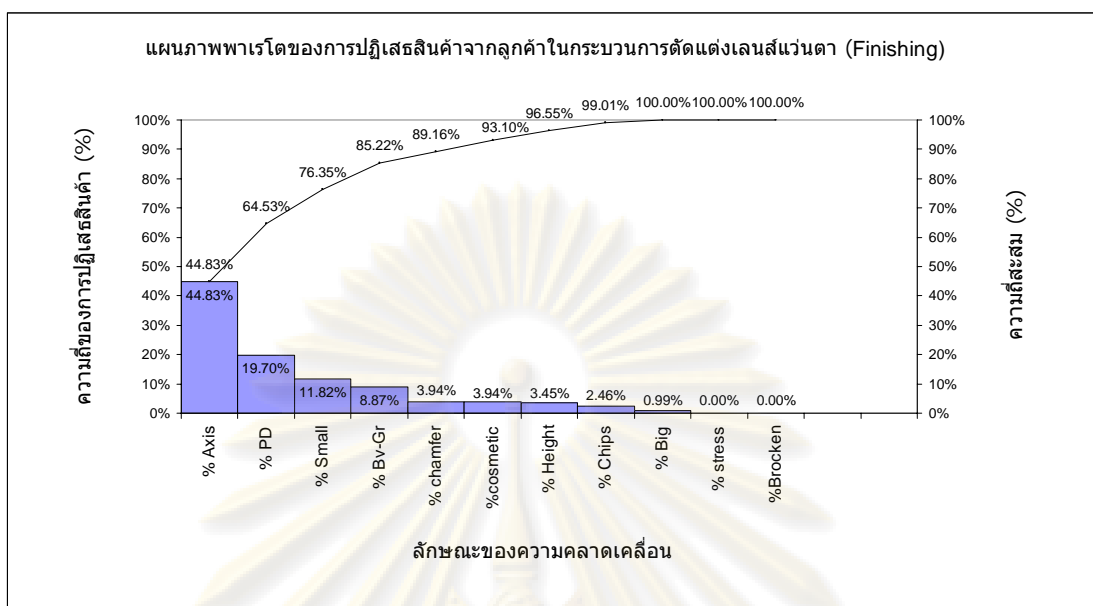
ในอุตสาหกรรมการผลิตเลนส์แว่นตาก็เช่นเดียวกัน การพิจารณาความพึงพอใจในความสมบูรณ์แบบของผลิตภัณฑ์ (แว่นตา) เพื่อให้ตรงกับตามความต้องการของลูกค้าเป็นสิ่งสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากการสวมใส่แว่นตาในชีวิตประจำวันของลูกค้าเป็นปัจจัยประการสำคัญที่ต้องคำนึงถึง เพราะดวงตาเป็นอวัยวะที่สำคัญเป็นลำดับต้นๆ ของร่างกายที่ทุกคนไม่อาจจะละเลยได้ ฉะนั้นในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เพื่อก่อให้เกิดความปลอดภัย มีคุณภาพ และเหมาะสมกับการใช้งานนั้นจึงเป็นสิ่งแรกที่ลูกค้าเลือกพิจารณา สำหรับผู้ผลิตก็ควรคำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้เป็นประการสำคัญเช่นกัน เพราะถ้าหากลูกค้าเกิดความไม่พอใจในตัวสินค้าก็อาจจะส่งผลให้การบริโภคสินค้าซ้ำจากผู้ผลิตรายเดิมลดลงและเปลี่ยนไปเลือกซื้อสินค้าจากผู้ผลิตรายใหม่ๆ ดังนั้นในการผลิตเลนส์แว่นตาจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมคุณภาพของเลนส์ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า รวมทั้งควรมีมาตรการในการรักษาความภักดีของลูกค้าไว้ แต่เนื่องจากปัจจุบันทางบริษัทฯ ได้รับ

การปฏิเสธสินค้าจากลูกค้าเป็นจำนวนมาก ประกอบด้วยความคลาดเคลื่อนหลากหลายประเภท และในความคลาดเคลื่อนแต่ละประเภทล้วนส่งผลต่อคุณภาพของเลนส์ทั้งสิ้น ซึ่งลูกค้าเกิดความไม่พึงพอใจในตัวสินค้าและมีความต้องการให้ทางบริษัทฯ คิดค้นวิธีการในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ส่งผลให้ทางบริษัทฯ ต้องทำการระดมความคิด (Brainstroming) จากพนักงานและผู้มีประสบการณ์ในองค์กร เพื่อปรับปรุงแก้ไขความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพราะปัญหาดังกล่าวทำให้เกิดการสูญเสียรายได้และเวลาในการแก้ไขสินค้าให้ลูกค้าเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ปัจจุบันในกระบวนการผลิตสามารถตรวจสอบความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นได้เพียงขั้นตอนหลังจากสิ้นสุดกระบวนการผลิตเท่านั้น แต่ยังไม่สามารถตรวจสอบสาเหตุของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นว่าเกิดจากกระบวนการย่อยกระบวนการใด เนื่องจากในกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตา (Finishing) ประกอบด้วย 5 กระบวนการย่อยคือ กระบวนการวัดขนาดและรูปร่างของเลนส์ (Tracing) กระบวนการกำหนดจุดอ้างอิงบนเลนส์ (Marking/Stamping) กระบวนการบล็อกเลนส์ (Blocking) กระบวนการตัดเลนส์ (Edging) และกระบวนการประกอบเลนส์ (Mounting/Fitting) ซึ่งในส่วนของการรายละเอียดจะกล่าวในบทถัดไป

จากการรวบรวมสถิติการปฏิเสธสินค้าจากลูกค้าในกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม 2551 แสดงดังตารางที่ 1.1 และนำไปสู่การสร้างแผนภาพพาเรโต เพื่ออธิบายความถี่ในการปฏิเสธสินค้าจากลูกค้าในกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตาแต่ละประเภท แสดงดังรูปที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 สถิติการปฏิเสธสินค้าจากลูกค้าในกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตาระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม 2551

สถิติการปฏิเสธ สินค้าจากลูกค้า	ลักษณะของความคลาดเคลื่อน										
	Axis	PD	Small	By-GV	Chamber	Cosmetic	Height	Chips	Big	Stress	Broken
จำนวน (ครั้ง)	76	33	20	15	7	7	6	4	2	0	0
ความถี่ (%)	44.83	19.70	11.82	8.87	3.94	3.94	3.45	2.46	0.99	0.00	0.00
ความถี่สะสม (%)	44.83	64.53	76.35	85.22	89.16	93.10	96.55	99.01	100.00	100.00	100.00



รูปที่ 1.1 แผนภาพพาเรโตของการปฏิเสธสินค้าจากลูกค้า (กรณีศึกษาบริษัท ABC)

จากรูปที่ 1 สามารถแบ่งลักษณะของความคลาดเคลื่อนเป็น 11 ประเภทดังนี้

1. Axis เป็นความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น 44.83% เป็นลักษณะความคลาดเคลื่อนที่มีการปฏิเสธสินค้าจากลูกค้าสูงสุด

2. PD (Pupillary Distance) เป็นความคลาดเคลื่อนด้านตำแหน่งของระยะห่างจากจุดกึ่งกลางตาดำด้านซ้ายถึงด้านขวาของเลนส์ มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 19.70%

3. Small เป็นความคลาดเคลื่อนของเลนส์ที่มีขนาดเล็กเกินไปหลังจากกระบวนการตัดเลนส์ ทำให้ไม่สามารถประกอบเลนส์ให้พอดีกับเฟรมได้ในกระบวนการประกอบเลนส์ มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 11.82%

4. Bv-Gr (Bevel-Groove) เป็นความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งร่องและขอบเลนส์ไม่ถูกต้องตามรายการสินค้าที่ลูกค้ากำหนด รวมทั้งเกิดความไม่สวยงามหลังจากกระบวนการประกอบเลนส์ มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 8.87%

5. Chamfer เป็นความคลาดเคลื่อนที่เลนส์มีความคมของขอบเลนส์ปรากฏหลังจากการประกอบเลนส์ ก่อให้เกิดอันตรายกับลูกค้าขณะสวมใส่ มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 3.94%

6. Cosmetic เป็นความคลาดเคลื่อนของความผิดปกติบนเลนส์ ได้แก่ รอยขีดข่วน (Scrath), รอยแตก (Crazing) บนเลนส์ มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 3.94%

7. Height เป็นความคลาดเคลื่อนของระยะจากจุดกึ่งกลางตาถึงขอบล่างสุดของเฟรมไม่ถูกต้องตามรายการสินค้าที่ถูกค้ากำหนด มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 3.45%

8. Chips เป็นความคลาดเคลื่อนจากเศษเลนส์เกาะบนผิวเลนส์หลังกระบวนการตัดเลนส์ ส่งผลให้ขอบเลนส์ไม่ได้คุณภาพตามที่ลูกค้ากำหนด มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 2.46%

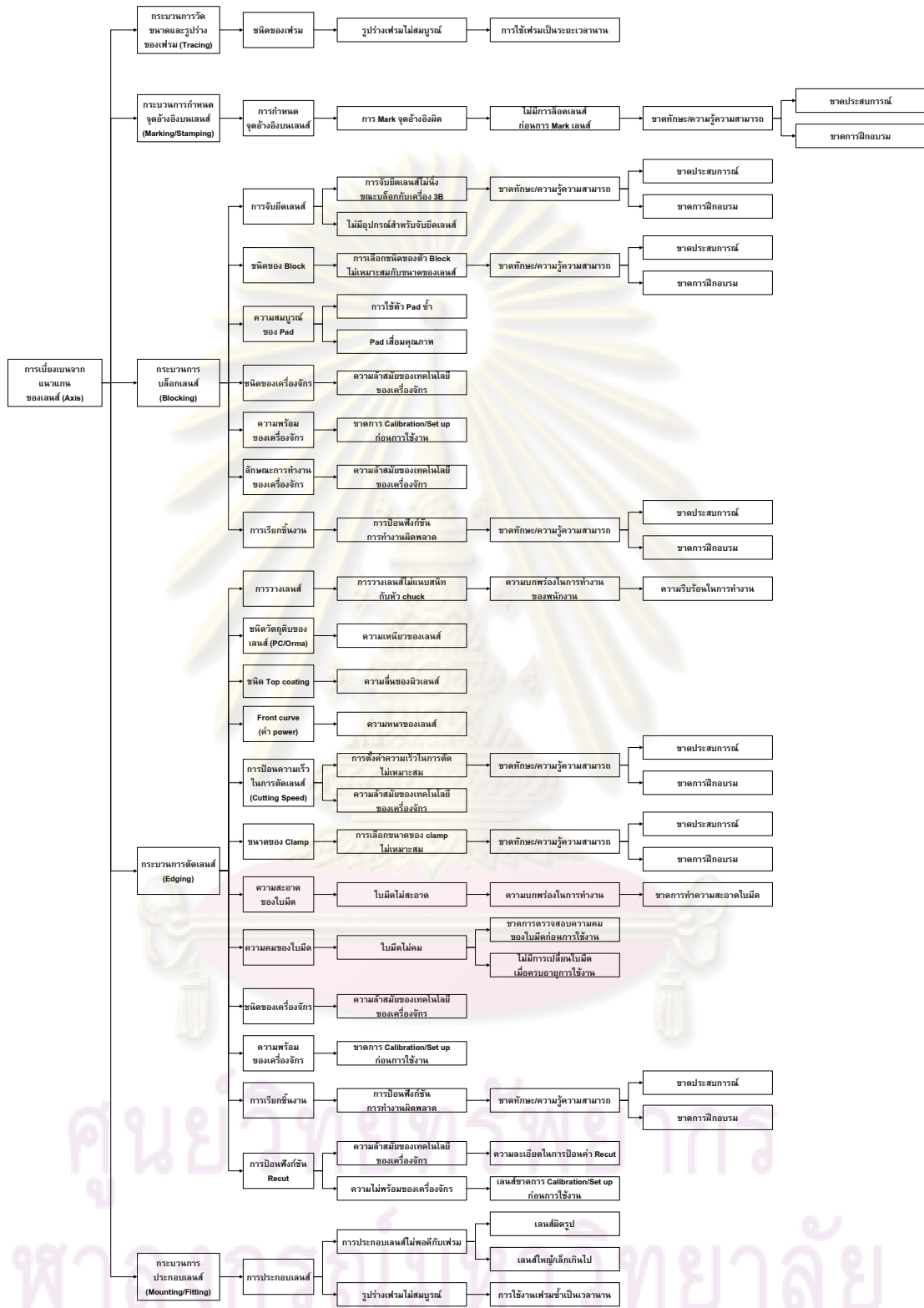
9. Big เป็นความคลาดเคลื่อนของเลนส์ที่มีขนาดใหญ่เกินไปหลังจากกระบวนการตัดเลนส์ ทำให้เลนส์มีความแน่นเกินไป เกิดความไม่พอดีในกระบวนการประกอบเลนส์ มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 0.99%

10. Stress เป็นความคลาดเคลื่อนของเลนส์ที่มีความเครียดมากเกินไป มีผลต่อความปลอดภัยทางสายตาขณะที่ลูกค้าสวมใส่แว่นตา ยังไม่มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในช่วงเวลาดังกล่าว

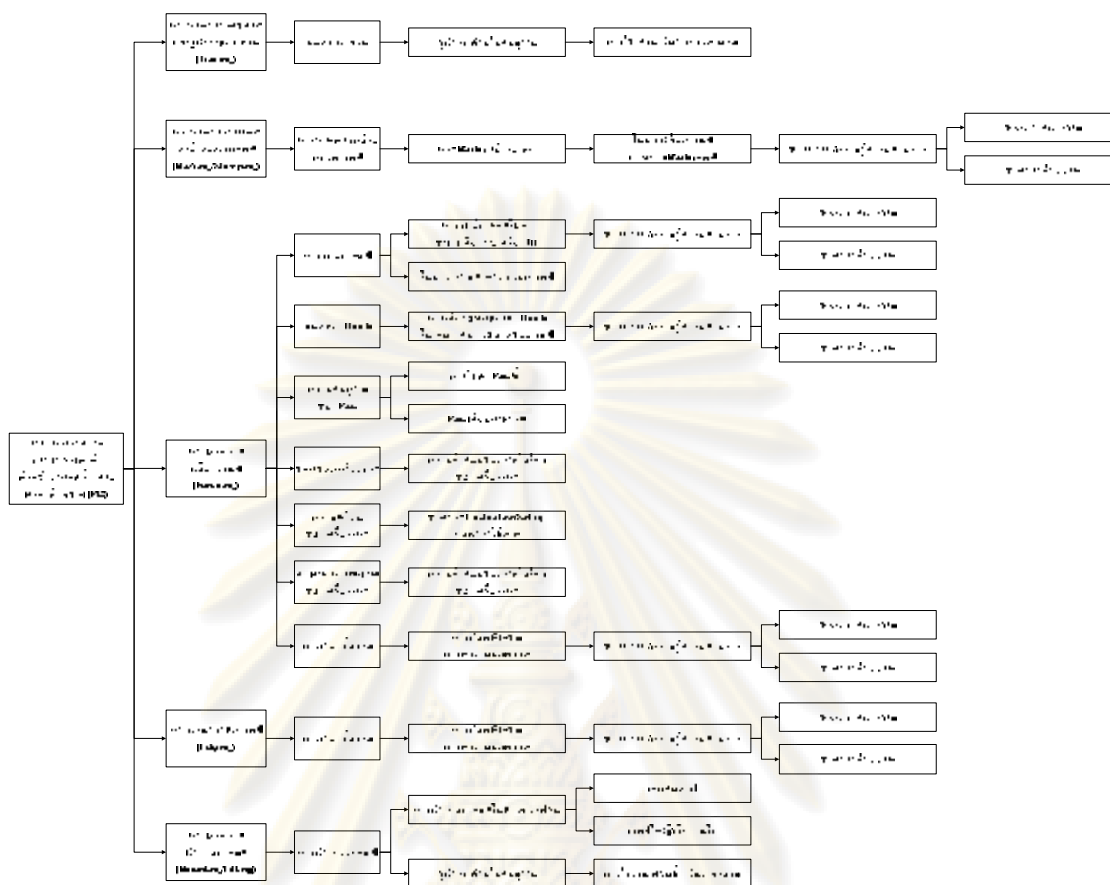
11. Brocken เป็นความคลาดเคลื่อนจากการแตกของเลนส์ ขณะทำการตัดเลนส์ ยังไม่มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในช่วงเวลาดังกล่าวเช่นกัน

จากแผนภาพพาเรโตข้างต้น พบว่ามีประเภทความคลาดเคลื่อนจำนวนน้อยเพียง 3 ประเภทที่มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในระดับสูงคือ ความคลาดเคลื่อนประเภท Axis, PD และ Small ซึ่งเป็นข้อมูลที่เป็นไปตามกฎ 80-20 ตามหลักการของพาเรโตคือ มีความคลาดเคลื่อนสะสมเท่ากับ 76.35% ดังนั้นสามารถใช้ในการคาดการณ์ได้ ซึ่งความคลาดเคลื่อนในทุกกรณีส่งผลกระทบต่อความเชื่อมั่นของลูกค้า รวมทั้งทำให้ทางบริษัท สูญเสียรายได้ในส่วนนี้สำหรับการแก้ไขสินค้าให้กับลูกค้าเป็นจำนวนมาก ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดร่วมกับทางบริษัท ในการค้นหาสาเหตุของการปฏิเสธสินค้า เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงแก้ไขความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นดังกล่าวในกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตาต่อไป จะเห็นได้ว่าความคลาดเคลื่อนประเภท Axis และ PD มีความถี่ในการเกิดความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับสูง งานวิจัยนี้จึงพิจารณาความคลาดเคลื่อนในส่วนนี้ ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นยังไม่ทราบสาเหตุว่าเกิดจากกระบวนการย่อยกระบวนการใด ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลพบว่า ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย ผู้วิจัยจึงใช้วิธีระดมความคิด (Brainstroming) จากพนักงานและวิศวกรที่มีประสบการณ์ในแผนกตัดแต่งเลนส์ ซึ่งแสดงโดยอาศัยแผนภาพกิ่งไม้ (Tree Diagram) แสดงดังรูปที่ 1.2 และ 1.3 ตามลำดับ



รูปที่ 1.2 แผนภาพกิ่งไม้แสดงความคลาดเคลื่อนของ Axis



รูปที่ 1.3 แผนภาพกิ่งไม้แสดงความคลาดเคลื่อนของ PD

จากแผนภาพกิ่งไม้พบว่า ความคลาดเคลื่อนทั้งสองประเภทเป็นความคลาดเคลื่อนที่สามารถเกิดขึ้นได้ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตา ซึ่งความคลาดเคลื่อนดังกล่าวเกิดจากแต่ละกระบวนการย่อยๆ ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น แต่เนื่องจากในการแก้ไขปัญหาแต่ละกระบวนการต้องใช้งบประมาณค่อนข้างสูง รวมทั้งมีเวลาในการดำเนินงานในบริษัท ค่อนข้างจำกัด ผู้วิจัยจึงเลือกพิจารณาความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ (Axis) เพียง 1 ประเภทเท่านั้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อค้นหาสาเหตุและลดความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตา

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ (Axis) ที่เกิดขึ้นในส่วนของแผนการตัดแต่งเลนส์แว่นตา (Finishing) โดยกระบวนการที่เลือกพิจารณาประกอบด้วย กระบวนการบล็อกเลนส์ (Blocking) และกระบวนการตัดเลนส์ (Edging) เท่านั้น

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้เครื่องมือวัดและกระบวนการวัดสำหรับใช้วัดค่าความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์สำหรับกระบวนการบล็อกเลนส์และกระบวนการตัดเลนส์

1.4.2 ทราบปัจจัยที่ส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ในกระบวนการบล็อกเลนส์และกระบวนการตัดเลนส์

1.4.3 สามารถค้นหาสาเหตุของความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ในกระบวนการบล็อกเลนส์และกระบวนการตัดเลนส์

1.4.4 สามารถลดความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการบล็อกเลนส์และกระบวนการตัดเลนส์

### 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ศึกษากระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตาพร้อมทั้งเก็บรวบรวมข้อมูลความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ระหว่างเดือนมกราคมถึงพฤษภาคม 2551 โดยอาศัยแผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram)

1.5.3 วิเคราะห์ข้อมูลความคลาดเคลื่อนในกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตาพร้อมทั้งเลือกความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในระดับสูง

1.5.4 ระดมความคิด (Brainstroming) เพื่อนิยามปัญหาที่เกิดขึ้นจากกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตาโดยอาศัยแผนภาพกิ่งไม้ (Tree Diagram)

1.5.5 กำหนดขอบเขตของปัญหาโดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ข้อบกพร่องของกระบวนการ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA)

1.5.6 ระบุสาเหตุที่ส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนในกระบวนการบล็อกเลนส์และกระบวนการตัดเลนส์โดยอาศัยแผนภาพก้างปลา (Cause and Effect Diagram)



1.5.7 วิเคราะห์แต่ละสาเหตุของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปสู่แนวทางการแก้ไขปัญหา

1.5.8 พิจารณาเลือกปัจจัยหลัก ระดับของแต่ละปัจจัย พร้อมทั้งรูปแบบของการทดลองที่เหมาะสมของกระบวนการบล็อกเลนส์และกระบวนการตัดเลนส์

1.5.9 ออกแบบกระบวนการวัดและเครื่องมือช่วยในการวัด ซึ่งใช้ในการเก็บรวบรวมค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการบล็อกเลนส์และกระบวนการตัดเลนส์

1.5.10 วิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของเครื่องมือวัดก่อนการเก็บข้อมูลจริงโดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA)

1.5.11 ดำเนินการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลความคลาดเคลื่อนดังกล่าวโดยอาศัยหลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

1.5.12 นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปกรอกลงในโปรแกรม Minitab เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of variance: ANOVA) รวมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

1.5.13 ทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง (Confirmation)

1.5.14 ทำการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ (Axis) ของกระบวนการบล็อกเลนส์และกระบวนการตัดเลนส์

1.5.15 สรุปผลและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ลำดับ	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	ระยะเวลาดำเนินงานวิจัย										
		เม.ย. 51	พ.ค. 51	มิ.ย. 51	ก.ค. 51	ส.ค. 51	ก.ย. 51	ต.ค. 51	พ.ย. 51	ธ.ค. 51	ม.ค. 52	ก.พ. 52
1	ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง											
2	ศึกษากระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตา พร้อมทั้งเก็บรวบรวมข้อมูลความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดแต่งเลนส์											
3	วิเคราะห์ข้อมูลความคลาดเคลื่อนในกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตา พร้อมทั้งเลือกความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในระดับสูงสุด											
4	ระดมความคิดเพื่อนิยามปัญหาที่เกิดขึ้นจากกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตาโดยอาศัยแผนภาพกึ่งไม้											
5	กำหนดขอบเขตของปัญหาโดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ข้อบกพร่องของกระบวนการ											
6	ระบุสาเหตุที่ส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนในกระบวนการบล็อกลেনส์และกระบวนการตัดเลนส์โดยอาศัยแผนภาพก้างปลา											
7	วิเคราะห์สาเหตุของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปสู่แนวความคิดการแก้ไขปัญหา											
8	เลือกปัจจัยหลัก ระดับของแต่ละปัจจัย พร้อมทั้งรูปแบบของการทดลองที่เหมาะสม											
9	ออกแบบกระบวนการวัดและเครื่องมือวัดที่เหมาะสมที่ใช้ในการเก็บรวบรวมค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตา											
10	วิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของเครื่องมือวัดก่อนการเก็บข้อมูลจริงโดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ระบบการวัด											
11	ดำเนินการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลความคลาดเคลื่อนโดยอาศัยหลักการออกแบบการทดลอง											
12	นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปกรอกลงในโปรแกรม Minitab เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล รวมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ											
13	ทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง											
14	ทำการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์											

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการค้นหาปัจจัยที่ส่งผลต่อสาเหตุของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตาจำเป็นต้องอาศัยการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆ เข้ามาช่วยในการแก้ไขปัญหาเพื่อนำไปสู่การบรรลุถึงวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยแนวคิดและทฤษฎี

##### 2.1.1 เทคนิคการควบคุมคุณภาพ (Technical Quality Control)

เครื่องมือแก้ปัญหาและการจัดการคุณภาพที่เลือกใช้ ประกอบด้วย

###### 1. แผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram)

เป็นเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของข้อมูลที่มีการจำแนกประเภท กลไกการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพ (เพื่อการคาดการณ์) แบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ

กรณีข้อมูลมีเสถียรภาพในระยะเวลาหนึ่งจะสามารถคาดการณ์ได้ว่าข้อมูลประเภทใดควรมีค่ามากที่สุด ซึ่งหากมีการเก็บข้อมูลนานๆ จะเกิดการสะสม และทำให้ค่าสะสมของข้อมูลแต่ละประเภทมีความแตกต่างกันค่อนข้างชัดเจน

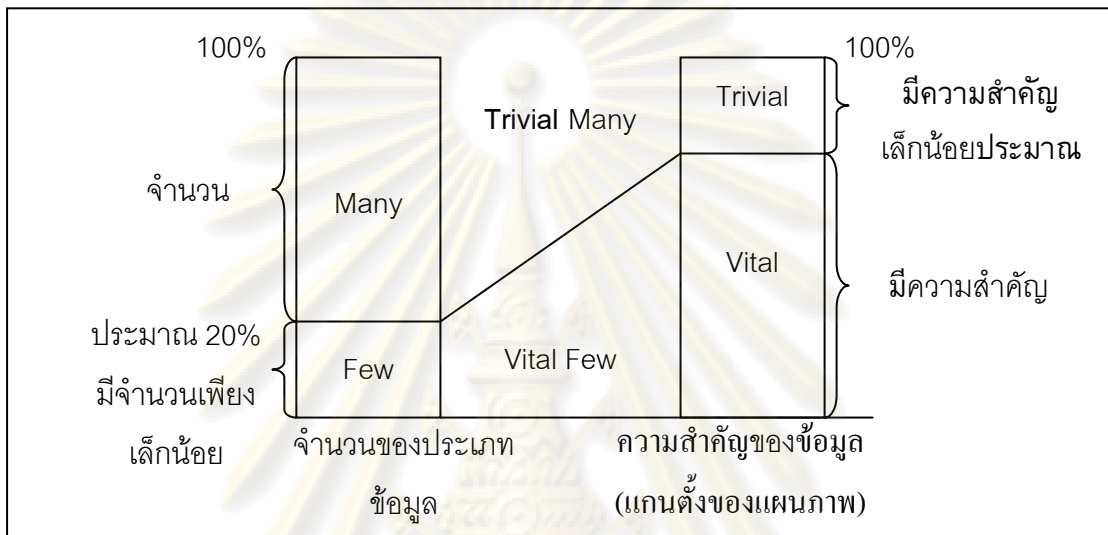
กรณีข้อมูลไม่มีเสถียรภาพที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ในแต่ละช่วงเวลา จะไม่สามารถกำหนดได้ว่าข้อมูลแบบใดจะมีความถี่มากที่สุด ซึ่งเป็นลักษณะของความไร้เสถียรภาพ โดยลักษณะดังกล่าวจะพบว่าข้อมูลจะมีการสะสม และค่าสะสมจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันคือ แตกต่างกันอย่างไม่เด่นชัด

ประโยชน์ของแผนผังพาเรโต

1. สามารถบ่งชี้ให้เห็นว่าหัวข้อใดเป็นปัญหามากที่สุด
2. สามารถเข้าใจว่าแต่ละหัวข้อมีอัตราส่วนเป็นเท่าใดในส่วนทั้งหมด
3. ใช้กราฟแท่งบ่งชี้ขนาดของปัญหา ทำให้โน้มน้าวจิตใจได้ดี
4. ไม่ต้องใช้การคำนวณที่ยุ่งยาก ก็สามารถจัดทำได้และใช้ในการเปรียบเทียบผลได้
5. ใช้สำหรับการตั้งเป้าหมาย ทั้งตัวเลขและปัญหา

ถ้าหากข้อมูลอยู่ในสถานะเสถียรภาพ ข้อมูลที่มีความสำคัญจะมีจำนวนเพียงเล็กน้อย (Vital Few) ในขณะที่ข้อมูลที่เหลืออีกจำนวนมากจะมีความสำคัญเพียงเล็กน้อย (Trivial

Many) ตัวแบบของความมีเสถียรภาพของข้อมูลนั้น จะมีลักษณะข้อมูลที่มีความสำคัญมาก (ประมาณ 80% ของตัววัดความสำคัญทั้งหมด) มาจากประเภทข้อมูลจำนวนเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 20% ของประเภทของข้อมูลทั้งหมด) เรียกกฎหลักการพาเรโตนี้ว่า กฎ 80-20 อธิบายได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 หลักการพาเรโต (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2550)

การตีความหมายแผนภาพพาเรโต

แผนภาพพาเรโตใช้ในการตีความความมีเสถียรภาพหรือไม่ของข้อมูลที่พิจารณาโดยมีข้อกำหนดคือ ถ้าตัวแบบของข้อมูลเป็นไปตามหลักการพาเรโต แสดงว่าข้อมูลนั้นอยู่ในสถานะเสถียรภาพและสามารถใช้คาดการณ์ได้ แต่ถ้าตัวแบบของข้อมูลไม่ได้เป็นไปตามหลักการของพาเรโต แสดงว่าข้อมูลไร้เสถียรภาพอันเนื่องจากข้อมูลที่เก็บมาอยู่ในสถานะการปรับตัว (Transient State) จึงควรมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม หรืออีกกรณีหนึ่งคือ ข้อมูลนั้นมาจากกระบวนการที่ไร้เสถียรภาพมีความจำเป็นต้องแก้ไขด้วยการทำให้กระบวนการมีมาตรฐาน

2. แผนภาพกิ่งไม้ (Tree Diagram)

ในการแก้ปัญหาทางคุณภาพนั้น เมื่ออธิบายถึงปัญหาแล้วก็มีความจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุรากเหง้าต่อไป และเมื่อทราบถึงสาเหตุรากเหง้าแล้ว ก็มีความจำเป็นต้องกำหนดวิธีการ สำหรับการดำเนินการปฏิบัติการแก้ไขเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาขึ้นซ้ำอีก

แผนภาพกึ่งไม้คือ แผนภาพที่แสดงถึงแผนอย่างเป็นระบบของวิถีทาง (Path) และงาน (Tasks) ที่จำเป็นต่อการทำให้บรรลุเป้าหมายหลัก (Primary Goal) และเป้าหมายรองที่เกี่ยวข้อง (Related Subgoals) โดยจะทำให้ผู้วิเคราะห์เห็นภาพโดยรวมของวิธีการและตัววัดต่างๆ ที่มีความจำเป็นต่อการทำให้บรรลุตามจุดประสงค์ที่ต้องการ อาจจำแนกแผนภาพกึ่งไม้ออกเป็น 2 ประเภทคือ

2.1 ประเภทการพัฒนาองค์ประกอบ (Component-development type) จะแสดงถึงองค์ประกอบในรูปของจุดประสงค์และวิธีการ

2.2 ประเภทการพัฒนาวิธีการ (Means-development type) จะแสดงถึงการพัฒนาอย่างเป็นระบบสำหรับแนวทางตลอดจนวิธีการในการแก้ปัญหาหรือการบรรลุวัตถุประสงค์

ในการสร้างแผนภาพกึ่งไม้ที่มีความจำเป็นที่หัวข้อปัญหาจะต้องมีความชัดเจน ไม่คลุมเครือ และต้องกำหนดจุดประสงค์ให้ชัดเจนว่าต้องการจะวางแผนคุณภาพ (แผนภาพกึ่งไม้แบบพัฒนาองค์ประกอบ) หรือจะแก้ปัญหาคุณภาพ (แผนภาพกึ่งไม้แบบพัฒนาวิธีการ)

การตีความหมายแผนภาพกึ่งไม้

ในกรณีที่ใช้แผนภาพกึ่งไม้ประเภทพัฒนาองค์ประกอบ ซึ่งใช้ในการวางแผนคุณภาพ วัตถุประสงค์หรือเป้าหมายที่กำหนดที่ลำดับของแผนภาพกึ่งไม้จะมีความหมายเป็นนโยบายคุณภาพหรือความต้องการของลูกค้า และกึ่งไม้จะมีความหมายเป็นกลยุทธ์หรือหน้าที่ด้านคุณภาพ (Quality Function) ที่ทำให้บรรลุต่อความต้องการของลูกค้า ดังนั้นแผนภาพกึ่งไม้ในรูปแบบนี้จะอยู่ในลักษณะการแปรหน้าที่ด้านคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD)

สำหรับกรณีที่ใช้แผนภาพกึ่งไม้เป็นประเภทการพัฒนาวิธีการ ซึ่งใช้ในงานแก้ปัญหาคุณภาพ วัตถุประสงค์หรือเป้าหมายที่กำหนดที่ลำดับของแผนภาพกึ่งไม้จะหมายความถึงสาเหตุรากเหง้าของปัญหาที่ต้องการการแก้ไข และกึ่งไม้จะมีความหมายเป็นมาตรการตอบโต้เพื่อให้เกิดการแก้ไขที่สาเหตุรากเหง้าของปัญหา ดังนั้นแผนภาพกึ่งไม้ในรูปแบบนี้จะอยู่ในลักษณะการแปรวิธีการ (Means Deployment)

นอกจากนี้ อาจกำหนดให้วัตถุประสงค์ที่ลำดับของแผนภาพแสดงถึงปัญหา และกึ่งไม้แสดงถึงสาเหตุรากเหง้าของปัญหาดังกล่าว ดังนั้นแผนภาพจึงอยู่ในลักษณะของแผนภาพแสดงสาเหตุและผลคล้ายๆ กับแผนภาพก้างปลา เพียงแต่มีความแตกต่างกันตรงที่แผนภาพกึ่งไม้ไม่ต้องกำหนดแนวความคิดของสาเหตุ เพียงแต่ระบุว่าสาเหตุหลักหรือรองเท่านั้น

### 3. แผนภาพก้างปลา (Cause and Effect Diagram)

ในการวิเคราะห์ความผันแปรเพื่อศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลนั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องดำเนินการระดมสมอง (Brainstorming) ถึงสาเหตุต่างๆ ของความผันแปรเพื่อการพิสูจน์ตามข้อเท็จจริงสำหรับการแก้ไข ทั้งนี้เนื่องจากปัญหาที่เลือกมาเป็นหัวข้อปัญหานั้น เป็นปัญหาที่กลุ่มไม่ทราบสาเหตุแท้จริงและวิธีการแก้ไขมาก่อน

แผนภาพก้างปลา เป็นแผนภาพที่มีประโยชน์สำหรับนำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลประเด็นที่พิจารณา แผนภาพก้างปลาสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

#### 3.1 การวิเคราะห์ความผันแปร (Dispersion Analysis)

แผนภาพก้างปลาแบบนี้จะใช้แสดงสาเหตุของการเกิดความผันแปรในคุณภาพที่แสดงด้วยห้วปลาตามลำดับก่อนหลังด้วยการตั้งคำถามว่า ทำไมจึงเกิดความผันแปรขึ้นเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ โดยผู้สร้างก้างปลาประเภทนี้ จะต้องสำนึกไว้เสมอว่าความผันแปรทุกตัวสามารถตรวจจับและทำให้ลดลงได้ โดยจุดเด่นของก้างปลาประเภทนี้จะช่วยแสดงอย่างเป็นระบบถึงปัจจัยที่มีผลต่อความผันแปร แต่อย่างไรก็ตามก้างปลาแบบนี้จะมีจุดอ่อนคือ ขึ้นอยู่กับวิธีการคิดของผู้สร้างค่อนข้างมาก ถ้าหากมีการถามตอบโดยขาดวิธีคิดอย่างเป็นระบบ ก็จะทำให้แผนภาพก้างปลาไม่มีประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ปัญหาแต่อย่างใด แผนภาพก้างปลาแบบนี้จะพบมากที่สุดในการคิวซีเซอร์เคิลสำหรับอุตสาหกรรมไทย

#### 3.2 การจำแนกตามกระบวนการผลิต (Process Classification)

แผนภาพก้างปลาประเภทนี้ ใช้สำหรับการแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลโดยมีการจำแนกตามกระบวนการย่อยต่างๆ โดยแผนภาพก้างปลาประเภทนี้จะมีจุดเด่นคือสามารถสร้างได้ง่ายและสื่อข้อความได้ความหมายดี เพราะสามารถสร้างแผนภาพก้างปลาสาเหตุและผลที่แต่ละกระบวนการย่อยแล้วจึงนำมาต่อกระบวนการกัน แต่มีจุดอ่อนคือทำให้ดูเหมือนว่ามีสาเหตุซ้อนสาเหตุ ทำให้มีสาเหตุมากกว่าหนึ่งปัจจัยซึ่งทำให้ยากต่อการวิเคราะห์

#### 3.3 การกำหนดรายการของสาเหตุ (Cause Enumeration)

แผนภาพก้างปลาแบบนี้จะเหมือนกับกรณีการวิเคราะห์ความผันแปร แต่จะมีความแตกต่างกันตรงที่ว่า แผนภาพก้างปลาประเภทนี้จะมุ่งสู่รายการสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา แผนภาพก้างปลาประเภทนี้มีประโยชน์คือ ทำให้รับทราบรายการของสาเหตุทั้งหมดจากระบบของงาน ทำให้พิสูจน์หาสาเหตุได้ค่อนข้างง่าย แต่มีข้อเสียคือ มีความยากในการสร้างค่อนข้างมาก เพราะนอกจากจะต้องพยายามระดมสมองหาสาเหตุที่คาดว่าจะเป็นไปได้ทั้งหมดแล้วยังต้องมีการทบทวนอยู่เสมอ เพื่อให้มั่นใจว่าสาเหตุหลักๆ ไม่ได้ตกลงไปจากการพิจารณา

ในการวิเคราะห์ปัญหาโดยคิซซีเซอร์เคิล ถือว่าแผนภาพก้างปลาประเภทการวิเคราะห์ความผันแปรนี้มีประโยชน์มากที่สุด เพราะใช้วิเคราะห์ปัญหาที่มีความผันแปร ในขณะที่แผนภาพก้างปลากำหนดรายการของสาเหตุที่ใช้วิเคราะห์ปัญหาที่เรื้อรังเหมาะกับปัญหาการปรับปรุงคุณภาพ และแผนภาพก้างปลาแบบจำแนกตามกระบวนการผลิตเหมาะสมอย่างยิ่งกับการสร้างแผนภูมิควบคุม

การตีความหมายแผนภาพก้างปลา

ในการตีความหมายแผนภาพก้างปลาจะอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์ความผันแปร กล่าวคือ ทำการพิจารณาว่าเมื่อมีการปรับระดับของสาเหตุ จะทำให้ลักษณะคุณภาพที่ระบุปัญหาเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ ถ้าหากมีการปรับระดับสาเหตุแล้วไม่มีผลใดๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะด้านคุณภาพ ก็แสดงว่าสาเหตุและผลนั้นไม่ได้มีความสัมพันธ์ใดๆ ต่อกันก็ควรมีการทบทวนแผนภาพก้างปลาใหม่

#### 4. แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

แผนภูมิควบคุม ใช้ในการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของข้อมูลเพื่อการคาดการณ์ ในกรณีที่มีข้อมูลเพียงประเภทเดียว

กลไกสำคัญของแผนภูมิควบคุมคือ การพิจารณาแยกความผันแปรจากสาเหตุแบบผิดธรรมชาติออกจากสาเหตุแบบธรรมชาติด้วยพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม แผนภูมิควบคุมมีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับประเภทของข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ จำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ

แผนภูมิควบคุมแบบข้อมูลผันแปร (Variable Control Chart) ซึ่งเป็นแผนภูมิที่ควบคุมข้อมูลจากการวัด ซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้กัน 2 อย่างคือ แผนภูมิ  $\bar{X} - R$  สำหรับข้อมูลแบบกลุ่ม และ  $X - MR$  สำหรับข้อมูลเชิงเดี่ยว (แผนภูมิอื่นๆ อาทิ  $\bar{X} - S$  จะไม่นิยมใช้กันในคิซซีเซอร์เคิลเพราะว่ามีความยากในการคำนวณทางสถิติที่ขัดแย้งกับหลักการการทำให้ง่าย)

แผนภูมิควบคุมแบบข้อมูลแอตทริบิวต์ (Attributes Control Chart) เป็นแผนภูมิที่ควบคุมข้อมูลจากการนับและมีลักษณะแบบช่วง ซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้กัน 2 อย่างคือ แผนภูมิ p สำหรับการตรวจสอบข้อมูลจากการสุ่มตรวจ และแผนภูมิ u สำหรับการตรวจสอบข้อมูลภายในหนึ่งหน่วยมาตรฐาน

ประเภทแผนภูมิควบคุม คุณลักษณะคุณภาพที่ควบคุมตลอดจนสูตรที่ใช้ประมาณการขนาดความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติ หรือ UCL และ LCL แสดงถึงเกณฑ์การเลือกใช้แผนภูมิแต่ละประเภทได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ประเภทของแผนภูมิและสูตรการคำนวณ (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2550)

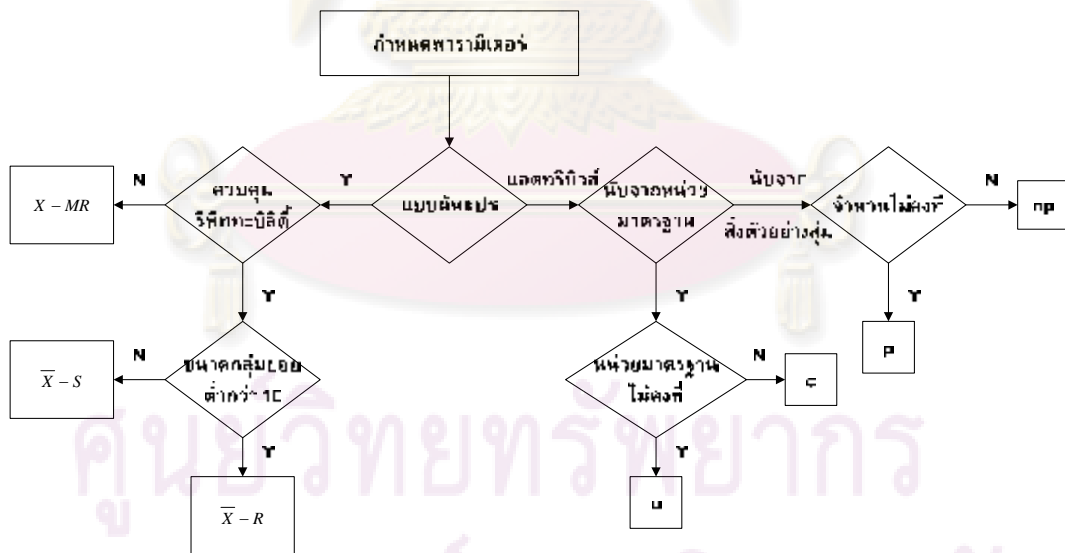
ชนิดข้อมูล	ประเภทแผนภูมิ	สูตรการคำนวณพิกัดควบคุม
ข้อมูลผันแปร	$\bar{X} - R$	แผนภูมิ $R$ $UCL = D_4 \bar{R}$ $CL = \bar{R}$ $LCL = D_3 \bar{R}$ แผนภูมิ $\bar{X}$ $UCL = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$ $CL = \bar{\bar{X}}$ $LCL = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$
	$\bar{X} - MR$	แผนภูมิ $MR$ $UCL = 3.267 \bar{MR}$ $CL = \bar{MR}$ $LCL = 0$ แผนภูมิ $\bar{X}$ $UCL = \bar{\bar{X}} + 2.66 \bar{MR}$ $CL = \bar{\bar{X}}$ $LCL = \bar{\bar{X}} - 2.66 \bar{MR}$
ข้อมูลแบบแอตทริบิวต์	จำนวนนับต่อการสุ่มสิ่ง ตัวอย่าง • ถ้าคุมจำนวน (แผนภูมิ np) ถ้าคุมสัดส่วน (แผนภูมิ p) จำนวนนับต่อการสุ่มสิ่ง ตัวอย่าง • ถ้าคุมจำนวน (แผนภูมิ np) ถ้าคุมสัดส่วน (แผนภูมิ p)	แผนภูมิ np $UCL = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}\left(1 - \frac{n\bar{p}}{n}\right)}$ $CL = n\bar{p}$ $LCL = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}\left(1 - \frac{n\bar{p}}{n}\right)}$ แผนภูมิ p $UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$ $CL = \bar{p}$ $LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$



ตารางที่ 2.1 (ต่อ) ประเภทของแผนภูมิและสูตรการคำนวณ (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2550)

ชนิดข้อมูล	ประเภทแผนภูมิ	สูตรการคำนวณพิกัดควบคุม
ข้อมูลแบบแอตทริบิวต์	จำนวนนับต่อหน่วยมาตรฐาน • ถ้าคุมจำนวน (แผนภูมิ c) ถ้าคุมสัดส่วน (แผนภูมิ u)	แผนภูมิ c $UCL = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$ $CL = \bar{c}$ $LCL = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$
		แผนภูมิ u $UCL = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$ $CL = \bar{u}$ $LCL = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$

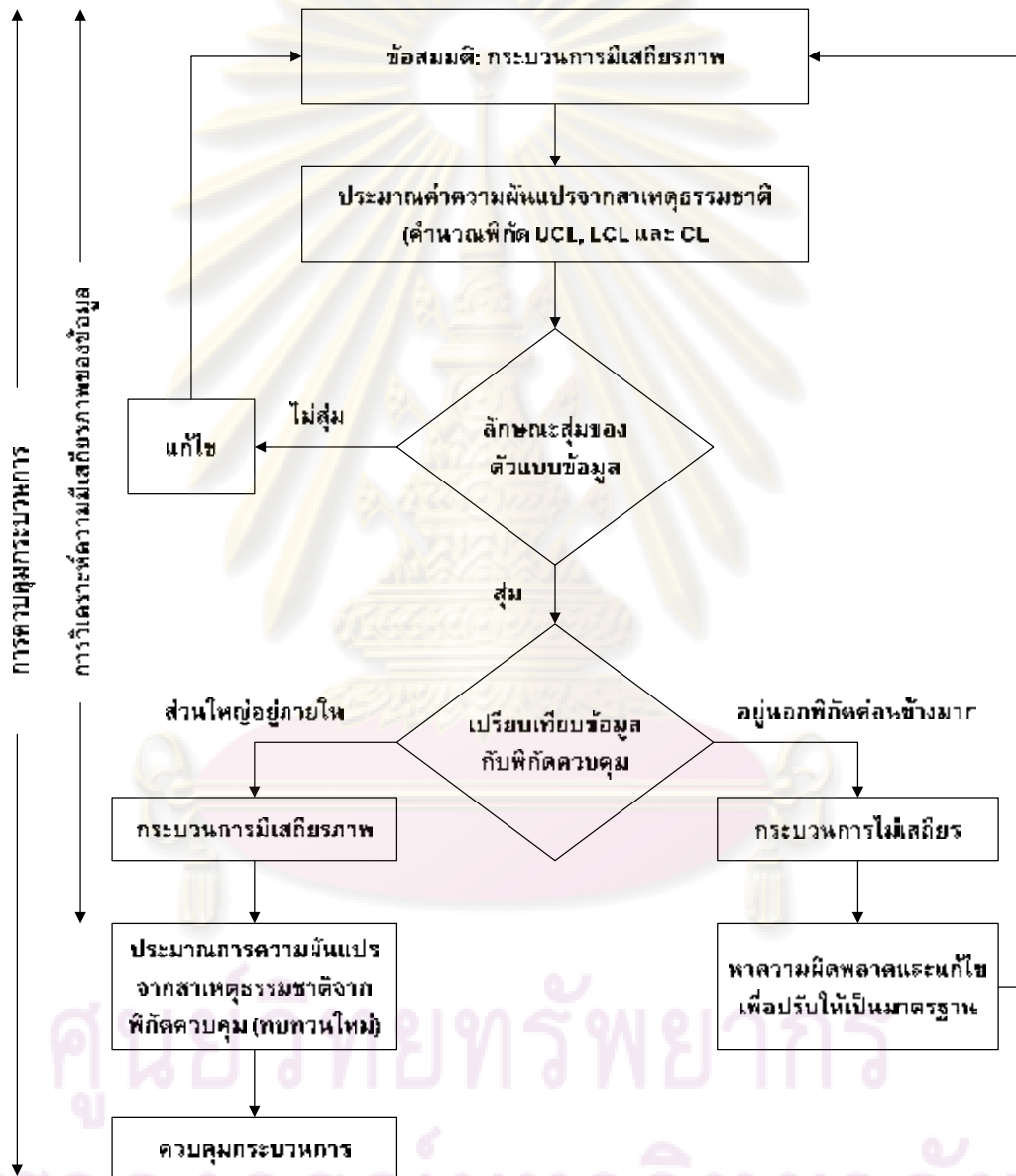
ในการเลือกใช้ประเภทแผนภูมิจะต้องอาศัยการพิจารณาชนิดของข้อมูลหลังจากการรวบรวมข้อมูล โดยมีเกณฑ์ในการเลือกใช้แผนภูมิควบคุม แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เกณฑ์การเลือกใช้แผนภูมิควบคุม (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2550)

โดยสรุปแล้ว แผนภูมิควบคุมจะอยู่บนแนวความคิดดังรูปที่ 2.3 ซึ่งพบว่าจะต้องดำเนินการให้กระบวนการที่เก็บข้อมูลเป็นมาตรฐานก่อนเสมอจึงสามารถประยุกต์แผนภูมิควบคุม

ได้ และในการประยุกต์แผนภูมิควบคุมจะให้ได้ทั้งการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของกระบวนการผ่านการวิเคราะห์ข้อมูล และถ้าหากกระบวนการมีความเสถียรภาพจะสามารถใช้แผนภูมิควบคุมในการคาดการณ์ขนาดความผันแปรภายใต้สาเหตุธรรมชาติ ซึ่งสามารถใช้ควบคุมกระบวนการต่อไปได้



รูปที่ 2.3 แนวความคิดแผนภูมิควบคุม (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2550)

## 2.1.2 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA)

การวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต เป็นการศึกษาลักษณะความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นเพื่อจะระบุผล

จุดประสงค์ของ FMEA คือ เพื่อกำหนดแง่มุมของการออกแบบผลิตภัณฑ์ การผลิตหรือการปฏิบัติงาน ซึ่งมีความวิกฤตต่อความล้มเหลวในรูปแบบต่างๆ เพื่อที่จะลดความล้มเหลวนั้น

การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ เป็นเทคนิคทางวิศวกรรมตัวหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษา วิเคราะห์ถึงข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นแล้ว เพื่อ

1. ระบุถึงผลกระทบ และความรุนแรงของข้อบกพร่องเหล่านั้น จะนำไปสู่การบ่งชี้และสาเหตุของข้อบกพร่องเหล่านั้น รวมถึงการพิจารณาอัตราการเกิดขึ้นของสาเหตุเหล่านั้นๆ

2. ตรวจสอบการควบคุมในปัจจุบันว่า มีการควบคุมหรือป้องกันไม่ให้เกิดสาเหตุที่ถูกระบุมานั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร มีประสิทธิภาพในการควบคุม ตรวจสอบและป้องกันได้ดีเพียงไร

3. จัดลำดับความสำคัญและเร่งด่วนในการแก้ปัญหา

4. ทำการแก้ปัญหา (Corrective Action) สำหรับปัญหาและสาเหตุที่วิกฤต

5. รวบรวมแนวทางในการแก้ปัญหาโดยจัดเก็บเป็นลักษณะเอกสาร เพื่อให้สามารถนำมาศึกษาถึงแนวทางการปฏิบัติที่ผ่านมา จุดประสงค์หลักของ FMEA คือ การลดข้อบกพร่องต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้น หรือเกิดขึ้นในการผลิตหรือการปฏิบัติงาน ซึ่งจำเป็นจะต้องใช้ประสบการณ์ความสามารถและความเชี่ยวชาญจากแผนกต่างๆ เพื่อที่จะได้มาประชุมร่วมกันเพื่อระบุถึง

- ข้อบกพร่อง

- ผลกระทบและความรุนแรง

- สาเหตุและอัตราการเกิด

- วิธีการควบคุมและประสิทธิภาพในการควบคุม

- แนวทางแก้ไข

FMEA มีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน เช่น

1. Design FMEA เป็นการวิเคราะห์ลักษณะความล้มเหลวและผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความล้มเหลวนั้นในการใช้งานผลิตภัณฑ์ โดยผู้ออกแบบ (Design) จะต้องคำนึงว่าในการใช้งานจริงนั้น จะเกิดความล้มเหลว (Failure) แบบใดขึ้นบ้าง และจะส่งผลกระทบต่อส่วนอื่นๆ อย่างไร

2. Process FMEA เป็นการวิเคราะห์ลักษณะความล้มเหลวและผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการการผลิต หรือกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ FMEA

1. ระบุผลิตภัณฑ์หรือองค์ประกอบของระบบหรือส่วนของกระบวนการ
2. ทำรายการ Mode ของความล้มเหลวแต่ละส่วนนั้น
3. กำหนดผลที่แต่ละ Mode ของความล้มเหลวจะมีต่อส่วนต่างๆ ในข้อ 1.
4. ทำรายการสาเหตุที่เป็นไปได้ของแต่ละ Mode ของความล้มเหลว
5. ให้ประเมิน Mode ของความล้มเหลวนี้เป็นตัวเลข มีสเกล 1-10 อาจจะใช้

ประสบการณ์หรือข้อมูลความเชื่อถืออื่นใด ร่วมกับวิจรณ์ญาณเพื่อกำหนดค่าดังกล่าวให้กับ

O : โอกาสในการเกิดความล้มเหลว (1=low, 10=high)

S : ความร้ายแรงหรือความวิกฤตของความล้มเหลว (1=low, 10=high)

D : ความยากในการค้นพบความเสียหายก่อนที่จะส่งถึงมือลูกค้า (1= ง่าย, 10 = ยาก)

6. คำนวณผลคูณของ O X S X D ซึ่งเรียกค่านี้ว่า RPN (Risk Priority Number) ทำให้การคำนวณทุก Mode ของความล้มเหลว ค่า RPN แสดงถึงความเร่งด่วนเมื่อเทียบกับ Mode อื่นๆ

7. ให้ระบุดำเนินการแก้ไข

### 2.1.3 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA)

การวิเคราะห์ระบบการวัด มีจุดประสงค์สำคัญในการวิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด ด้วยการจำแนกสาเหตุออกได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การจำแนกสาเหตุของการวิเคราะห์ระบบการวัด (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2546)

เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของค่าวัดมีทั้งปริมาณที่สามารถกำจัดได้และกำจัดไม่ได้ จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการกำจัดปริมาณที่สามารถควบคุมได้ก่อน ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาด หลังจากนั้นให้ดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือ เพื่อกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ หลังจากนั้นจะมีการลดความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มด้วยการประเมินแหล่งความผันแปรต่างๆ ทั้งจากเครื่องมือวัด พนักงานวัด ตลอดจนสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อค่าวัด ถ้าพิจารณาถึงองค์ประกอบของค่าวัดแต่ละค่าแล้ว จะได้ว่า

$$X_{ij} = \mu + b + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

โดยที่	$X_{ij}$	คือ ค่าวัด
	$\mu$	คือ ค่าจริงของงาน
	$b$	คือ ค่าไบอัส
	$\alpha_i$	คือ ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุด้านชิ้นงาน
	$\beta_j$	คือ ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุด้านพนักงาน
	$(\alpha\beta)_{ij}$	คือ ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุร่วมของชิ้นงานกับพนักงาน
	$\varepsilon_{ij}$	คือ ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุแบบสุ่ม

โดยกำหนดค่าวัดในรูปของความผันแปร (Measurement Variation) ได้ว่า

$$\sigma_x^2 = \sigma_\alpha^2 + \sigma_\beta^2 + \sigma_{\alpha\beta}^2 + \sigma^2 \quad (2)$$

โดยที่	$\sigma_x^2$	คือ ค่าความผันแปร
	$\sigma_\alpha^2$	คือ ค่าความผันแปรจากชิ้นงาน
	$\sigma_\beta^2$	คือ ค่าความผันแปรจากพนักงานวัด
	$\sigma_{\alpha\beta}^2$	คือ ค่าความผันแปรร่วมของชิ้นงานกับพนักงานวัด
	$\sigma^2$	คือ ค่าความผันแปรอื่นๆ

### ขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบการวัด

#### ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดหัวข้อปัญหา

ขั้นตอนนี้ ทำการกำหนดหัวข้อปัญหาของกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ที่จะทำการแก้ไข จากนั้นทำการสังเกตการณ์ปัญหาโดยการทวนสอบระบบการวัดเพื่อพิจารณาว่าระบบการวัดมีผลค่าความผันแปรของตัวแปรตอบสนองที่ใช้ระบุปัญหาอย่างน้อยเพียงไร กรณีที่ระบบการวัดมีความผันแปรค่อนข้างมาก ให้กำหนดเป็นหัวข้อปัญหาสำหรับการแก้ไขปัญหาระบบการวัดต่อไป

### ขั้นตอนที่ 2 การกำหนดทีมแก้ไขปัญหา

กรณีปัญหาของระบบการวัดไม่มีความสลับซับซ้อน ผู้แก้ไขปัญหาระบบการ อาจจะดำเนินการแก้ไขปัญหาระบบการวัดได้โดยลำพัง แต่ถ้าระบบการวัดมีความสลับซับซ้อน และใช้เทคโนโลยีสูง มีความจำเป็นต้องแก้ไขปัญหโดยอาศัยทีมงานแบบข้ามสายงาน (Cross-Functional Team) ซึ่งอาจจะประกอบด้วยฝ่ายวิศวกรรม ฝ่ายผลิต และฝ่ายประกันคุณภาพ โดย จำนวนสมาชิกจะขึ้นอยู่กับความสลับซับซ้อนของปัญหา โดยทั่วไปควรมีสมาชิกประมาณ 5-7 คน และไม่ควรมากเกิน 10 คน เพราะจะทำให้ทีมงานใหญ่เกินไปทำให้การแก้ไขปัญหามีความคล่องตัว และทีมงานแก้ไขปัญหานี้ควรจะเป็นหน้าที่ให้ชัดเจน พร้อมกำหนดแผนการประชุมและแผน ดำเนินงานไว้ล่วงหน้า

### ขั้นตอนที่ 3 การแสดงแผนภาพการไหลของระบบการวัด

ทีมแก้ไขจะต้องทำความเข้าใจกับแผนภาพการไหลของกระบวนการ ตลอดจน แผนภาพการไหลของระบบการวัด พร้อมการอธิบายถึงสารสนเทศทั้งที่ทราบและไม่ทราบของ ระบบระบบการวัดที่มีความสัมพันธ์กับกระบวนการ โดยประเด็นสำคัญที่สุดที่ทีมแก้ไขปัญหา จะต้องหาข้อสรุปในขั้นตอนนี้คือ แนวความคิดในการวัดงานของระบบการวัดที่พิจารณา ดังนั้น ใน กรณีที่มีความจำเป็นอาจจะมีการเสนอชื่อผู้เชี่ยวชาญเข้ามาร่วมทีมแก้ไขปัญหาเพิ่มเติม

### ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์สาเหตุและผล

ทีมแก้ไขปัญหาคงต้องอาศัยหลักการระดมสมอง (Brainstorming) ในการระดม ความคิด เพื่อค้นหาสมมติฐานของสาเหตุความผันแปรของระบบการวัด โดยทีมแก้ไขปัญห อาจกำหนดให้อยู่ในรูปของแผนภาพก้างปลา และเมื่อระดมสมองพร้อมจัดความคิดแล้ว ให้ทีม แก้ไขปัญหาทำการอธิบายถึงสารสนเทศทั้งที่ทราบและไม่ทราบ เพื่อกำหนดว่าปัจจัยใดคือสิ่งที่ ควรจะเป็นแนวโน้มของสาเหตุ

### ขั้นตอนที่ 5 การพิสูจน์สาเหตุและกำหนดมาตรการตอบโต้

หลังจากกำหนดสมมติฐานของสาเหตุความผันแปรแล้ว จะดำเนินการพิสูจน์ สมมติฐานโดยอาศัยตรรกะหรือข้อเท็จจริงจากกลวิธีทางสถิติ อาทิ การทดสอบด้วย ANOVA และ เมื่อทราบสาเหตุรากเหง้าของความผันแปรแล้วให้กำหนดแนวความคิดในการแก้ไขปัญห พร้อม สร้างทางเลือกเป็นมาตรการตอบโต้ เพื่อทำการเลือกมาตรการตอบโต้ที่มีความเหมาะสมที่สุด

### ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบความถูกต้องของมาตรการตอบโต้

เป็นการพิจารณาถึงความถูกต้องของมาตรการตอบโต้ที่เลือกมา ซึ่งส่วนใหญ่

มักจะอาศัยการดำเนินการด้วยหลักการออกแบบการทดลอง จากนั้นจึงจะประยุกต์ในระดับการผลิตจำนวนมาก (Mass Production) ภายใต้ปัจจัยที่แปรเปลี่ยนไปโดยสาเหตุธรรมชาติ

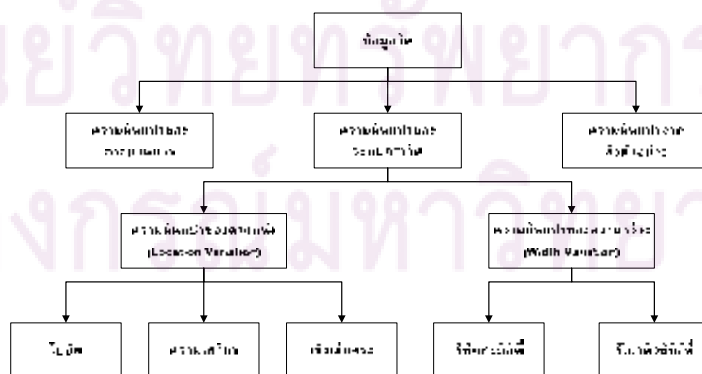
ขั้นตอนที่ 7 การจัดทำมาตรฐาน

ภายหลังจากการนำมาตรการตอบโต้ไปใช้และมีการปรับแก้จนกระทั่งมั่นใจว่าได้ผลที่ดีแล้ว ให้ทำการแก้คู่มือการทำงานที่เกี่ยวข้อง ทั้งคู่มือการทำงาน (Work Instruction Manual) ระเบียบวิธีทำงาน (Procedure Manual) และให้ผู้มีอำนาจลงนามอนุมัติ (Buy-in) โดยการดำเนินการดังกล่าวจะทำให้เกิดความมั่นใจได้ว่า สิ่งที่ได้รับการปรับแก้นี้จะได้รับการปฏิบัติต่อไป เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหากระบวนการวัดดังกล่าวเกิดขึ้นซ้ำอีก

การวิเคราะห์ผลระบบการวัด มีประเด็นสำคัญที่ต้องพิจารณา 3 ประการคือ

1. ความไว (Sensitivity) ของระบบการวัดคือ อินพุตที่เล็กที่สุดที่ทำให้เกิดสัญญาณเอาต์พุตที่สามารถตรวจจับได้หรือสามารถใช้ได้ โดยการพิจารณาความไวว่ามีความเพียงพอหรือไม่
2. ความเสถียร (Stable) คือ ความแตกต่างของค่าความผันแปรตลอดช่วงการใช้งานของเกจวัด โดยถือเป็นค่ารีพีทเทบิลิตีต่อขนาดชิ้นงาน (Repeatability Over Size)
3. ความสม่ำเสมอ (Consistent) หมายถึง ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลจากระบบการวัดต้องสม่ำเสมอตลอดช่วงที่คาดหมาย (Expected Range) และมีความผันแปรอย่างเพียงพอต่อการควบคุมผลิตภัณฑ์และกระบวนการ หรือความแตกต่างของค่าความผันแปรตลอดช่วงการใช้งานของเกจวัด โดยถือเป็นค่ารีพีทเทบิลิตีต่อเวลา (Repeatability Over Time)

ประเภทความผันแปรของระบบการวัด



รูปที่ 2.5 ประเภทความผันแปรของระบบการวัด (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2546)

## จากรูปที่ 2.5 ความผันแปรของระบบการวัด ประกอบด้วย

### 1. ความผันแปรของตำแหน่ง (Location Variation)

เป็นคุณสมบัติของการเข้าใกล้ของค่าเฉลี่ยจากผลจากการวัดหลายๆ ครั้ง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง (Reference Value) สามารถกำหนดได้ด้วยค่าความผันแปร ดังนี้

ไบอัส (Bias) หรือปริมาณความเอนเอียง หมายถึง ความแตกต่างระหว่างค่าจริง (หรือค่าอ้างอิง) กับค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่วัดได้บนคุณลักษณะและชิ้นงานวัดเดียวกัน โดยคุณสมบัติด้านไบอัสนี้จะเป็นตัววัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบของระบบการวัด

ความเสถียร (Stability) หรือการเลือนออกไปแบบค่อยเป็นค่อยไปของค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากระบบการวัด หมายถึง ความผันแปรทั้งหมดในการวัดที่ได้จากระบบการวัดหนึ่งโดยอาศัยชิ้นงานหรือค่ามาตรฐานเดียวกันในการวัดคุณลักษณะประการหนึ่งตลอดช่วงเวลาที่ยาวนานขึ้น

เชิงเส้นตรง (Linearity) หมายถึง ความแตกต่างของค่าไบอัสตลอดช่วงการใช้งานของอุปกรณ์วัด หรือค่าความแตกต่างของไบอัสเมื่อมีการเปลี่ยนย่านวัดไป

### 2. ความผันแปรของความกว้าง (Width Variation)

โดยทั่วไปเรียกความผันแปรของความกว้างของระบบการวัดว่าความแม่นยำ (Precision) ซึ่งหมายถึง อิทธิพลโดยรวมของความสามารถในการแยกความแตกต่าง (Dis-crimination) ความไว (Sensitivity) และความสามารถในการทำซ้ำ หรือรีพีทะบิลิตี้ ตลอดช่วงการใช้งานของระบบการวัด ซึ่งค่าของความแม่นยำจะเป็นตัววัดความผันแปรของระบบการวัดในรูปความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของระบบการวัด สามารถแบ่งความผันแปรออกเป็น

รีพีทะบิลิตี้ (Repeatability) หรือความผันแปรภายในเงื่อนไขของระบบการวัด หมายถึง ความผันแปรของค่าวัดรอบค่าที่ควรจะเป็น (Expected Value) ของระบบการวัดที่ทำการวัดโดยการใช้พนักงานวัดคนเดียว อุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดงานชิ้นเดียวกันซ้ำๆ ซึ่งโดยทั่วไปในอุตสาหกรรมหมายถึง ความผันแปรของอุปกรณ์ (Equipment Variation: EV) ทั้งนี้เพราะความผันแปรภายในเงื่อนไขเดียวกันของระบบการวัดมักจะมีผลมาจากตัวอุปกรณ์

รีโพรดูซิบิลิตี้ (Reproducibility) หรือความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของระบบการวัด หมายถึง ความผันแปรที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากการใช้อุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานเดียวกันด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ซึ่งในอุตสาหกรรมทั่วไปมักจะหมายถึง ความแตกต่างระหว่างพนักงานวัด



### การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัด

การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความผันแปรของความกว้างของระบบการวัด ซึ่งหมายถึงความผันแปรจากความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของระบบการวัด ในการศึกษาที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเริ่มจากการวางแผนการศึกษา โดยมีประเด็นพิจารณาดังนี้

#### 1. วิธีการและเวลาที่จะมีการสอบเทียบเครื่องมือวัด

การสอบเทียบเครื่องมือวัดถือเป็นการดำเนินการที่มีความสำคัญมากต่อการพิจารณาถึงความคลาดเคลื่อนด้านความถูกต้องในระบบการวัด โดยปกติจะต้องมีการสอบเทียบก่อนการศึกษารีฟิทะบิลิตีและรีโปรดิวซิบิลิตี และไม่ควรมีการสอบเทียบใหม่ถ้าหากการศึกษายังไม่สิ้นสุดลง เพราะถ้ามีการสอบเทียบใหม่ในระหว่างการศึกษาแล้ว จะทำให้เกิดความผันแปรจากการสอบเทียบรวมอยู่กับค่ารีฟิทะบิลิตีของระบบการวัดด้วย จึงต้องพยายามลดค่าความผันแปรโดยพยายามให้พนักงานวัดทุกคนมีความเข้าใจในกระบวนการวิธีการสอบเทียบและดำเนินการอย่างสม่ำเสมอ

#### 2. จำนวนพนักงานวัดที่ใช้สำหรับการศึกษา GR&R

3. ในการกำหนดจำนวนพนักงานวัดที่เหมาะสมสำหรับการศึกษานั้น มีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาก่อนว่าในระบบการผลิตมีพนักงานวัดจำนวนเท่าใด ถ้าหากเครื่องมือวัดดังกล่าวไม่ใช่พนักงานในการดำเนินการวัดเลย หรือมีการใช้พนักงานวัดเพียงคนเดียว แสดงว่าค่าความผันแปรในระบบการวัดไม่ได้มีผลจากสาเหตุด้านพนักงานวัด ในกรณีที่ระบบการวัดมีพนักงานวัดจำนวนหลายคน ให้ทำการสุ่มพนักงานวัดมาทำการศึกษาอย่างน้อย 2 คน โดยพนักงานวัดทุกคนจะต้องเป็นพนักงานที่ผ่านการฝึกอบรมมาอย่างดี และปฏิบัติงานเกี่ยวกับงานวัดในอุปกรณ์วัดที่ทำการศึกษาจำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้วัดในการศึกษา GR&R

จำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการศึกษา โดยปกติจะใช้ 10 สิ่งตัวอย่าง ถ้าไม่สามารถดำเนินการได้ จะต้องพยายามให้ (จำนวนของสิ่งตัวอย่าง x จำนวนของพนักงานวัด) มากกว่า 15 และถ้าไม่สามารถดำเนินการตามกรณีนี้ ให้เพิ่มจำนวนซ้ำของการวัดในแต่ละสิ่งตัวอย่าง และสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการวัดต้องเป็นสิ่งตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในกรณีที่จะทำให้ระบบการวัดมีคุณภาพด้านความผันแปรเพียงพอต่อการตรวจจับความผันแปรของชิ้นงาน จะต้องทำให้ข้อมูลมีความแตกต่างกันไม่ต่ำกว่า 5 ประเภท

#### 4. จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้น

โดยปกติแล้วแนะนำให้ทำการวัดซ้ำที่แต่ละสิ่งตัวอย่างด้วยจำนวนซ้ำเท่าๆ กัน ซึ่งโดยทั่วไปกำหนดให้มีการวัดซ้ำสำหรับพนักงานวัดแต่ละคนจำนวน 2-3 ครั้งต่อชิ้นงานแต่ละชิ้น

## 5. วิธีการลดความผันแปรภายในสิ่งตัวอย่างของการศึกษา GR&R

ในการศึกษา GR&R บางกรณีนั้น จะไม่สามารถกำจัดความผันแปรภายในสิ่งตัวอย่างออกจากการวัดซ้ำ ซึ่งทำให้ไม่สามารถเฉลี่ยออกความผันแปรภายในสิ่งตัวอย่างออกไปได้ ในกรณีนี้ถ้ามีความจำเป็นต้องประมาณการค่ารีพีทเทเบิลิตีให้มีความถูกต้องที่สุด ก็จำเป็นต้องทำการทดลองขึ้นมาเพื่อชี้บ่งถึงปริมาณความผันแปรดังกล่าว

## 6. วิธีการวิเคราะห์ผลรีพีทเทเบิลิตีและรีโพรดิวซิเบิลิตี

เมื่อการทดลองสิ้นสุดลงต้องมีวิเคราะห์ผลคุณภาพของข้อมูล คือ การวิเคราะห์ผลความสามารถในการแยกความแตกต่างของค่าวัด ความเสถียร และความสม่ำเสมอของระบบการวัด จากนั้นจึงทำการประเมินผลรีพีทเทเบิลิตีและรีโพรดิวซิเบิลิตี ซึ่งมีทั้งหมด 3 วิธี คือ

วิธีอาศัยค่าพิสัย (Range Method) ซึ่งเหมาะกับการทดลองในช่วงสั้นๆ และไม่มีการวัดซ้ำ ข้อดีของวิธีการนี้คือ วิเคราะห์ผลได้ง่าย แต่มีข้อเสียที่สำคัญคือ ไม่สามารถแยกรีพีทเทเบิลิตีออกจากรีโพรดิวซิเบิลิตีได้

วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range Method) ซึ่งเหมาะสมกับการทดลองซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างของพนักงานวัดแต่ละคน ซึ่งวิธีการนี้ทำให้สามารถแยกรีพีทเทเบิลิตีออกจากรีโพรดิวซิเบิลิตีได้ แต่ไม่สามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่ารีพีทเทเบิลิตีได้

วิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ซึ่งเหมาะกับการวิเคราะห์ผลการศึกษาที่ได้มาจากการออกแบบการทดลองเพื่อพิจารณาว่าพนักงานและชิ้นงานเป็นสาเหตุความผันแปรอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ และวิธีการนี้จะสามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่ารีพีทเทเบิลิตีได้ แต่อย่างไรก็ดีวิธีการนี้มีข้อเสียตรงที่ความยุ่งยากในการคำนวณ จึงต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Minitab) ช่วยในการคำนวณ

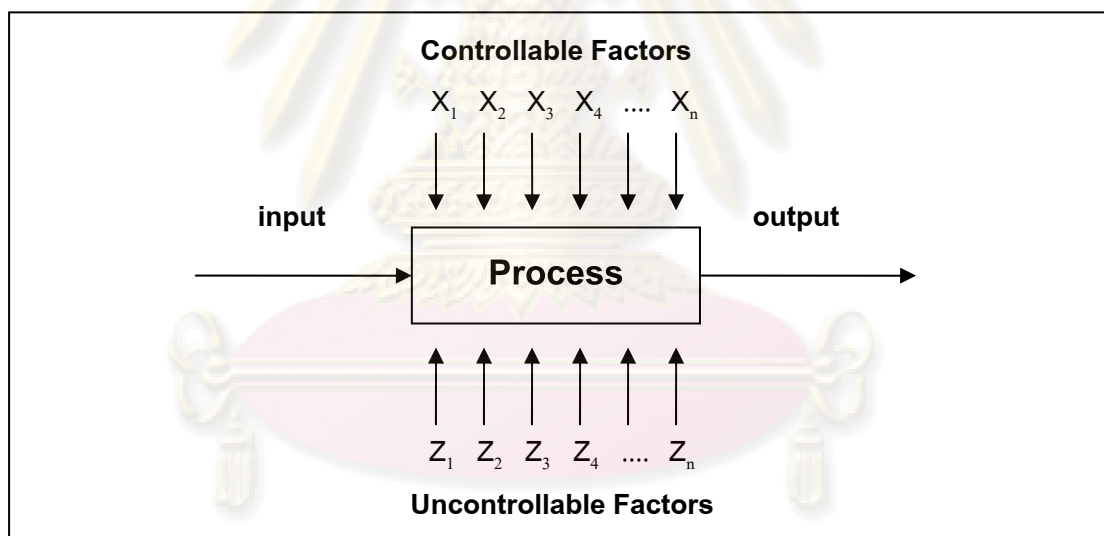
### 2.1.4 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

การออกแบบการทดลอง หมายถึง การออกแบบทดลองเพื่อตรวจสอบว่าปัจจัยหรือตัวแปรใดที่มีผลต่อสิ่งให้มีความสำคัญในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา โดยมีจุดมุ่งหมายดังนี้

1. เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือ การพิสูจน์ข้อเท็จจริงหรือความเชื่อจากประสบการณ์หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต
2. เพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการ

### ส่วนประกอบของการทดลอง

1. ทรีทเมนต์ (Treatment) คือ สิ่งหรือวิธีที่ปฏิบัติต่อสิ่งทดลอง เพื่อวัดผลเปรียบเทียบตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง
2. หน่วยทดลอง (Experiment Unit) เป็นมาตราหรือหน่วยใช้วัดอิทธิพลของทรีทเมนต์ ซึ่งโดยคำจำกัดความ หมายถึง สิ่งหนึ่งหรือกลุ่มหนึ่งของการทดลอง ซึ่งได้รับจากทรีทเมนต์เดียวกันในการกระทำครั้งใดครั้งหนึ่ง หน่วยทดลองมีขนาดไม่จำกัด อาจผันแปรไปจากการทดลองหนึ่งไปสู่อีกการทดลองหนึ่ง แม้ว่าจะใช้สิ่งทดลองเหมือนกันก็ตาม ในการทำการทดลองแต่ละครั้งจึงต้องให้คำจำกัดความของหน่วยทดลองให้ชัดเจน
3. ปัจจัย (Factor) ได้แก่ กลุ่มของทรีทเมนต์ทั้งหลายที่มีความเกี่ยวข้องกัน (A Particular Class of Related Treatment) อาจใช้คำว่าตัวแปรอิสระก็ได้ ปัจจัยนั้นอาจเป็นได้ทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพและปริมาณ



รูปที่ 2.6 แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ (ปารเมศ ชูติมา, 2545)

จากรูปที่ 2.6 ปัจจัยสามารถแบ่งออกเป็น

ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการดำเนินการทดลอง

ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยได้ เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยีและต้นทุน ปัจจัยที่ไม่

สามารถควบคุมแบ่งออกเป็น

3.2.1 ตัวแปรรบกวน (Noise Variable) หรือ Background Variable หรือตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) ในการทดลอง แต่ไม่ใช่ปัจจัยที่กำลังทำการศึกษา ส่วนใหญ่มักได้แก่ เวลา หรือเครื่องมืออุปกรณ์ เป็นต้น

3.2.2 Nuisance Variable คือ ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง แต่ไม่ทราบมาก่อน สามารถกำจัดอิทธิพลของ Nuisance Variable ได้โดยการสุ่ม

4. ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) คือ ตัวแปรที่ถูกสังเกตหรือวัดค่าในการทดลอง เรียกอีกอย่างว่า ตัวแปร ซึ่งเป็นตัวแปรที่สะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระ ในการทดลองหนึ่งๆ อาจวัดค่าตัวแปรตามมากกว่า 1 ก็ได้ การเลือกตัวแปรตามที่ดีควรพิจารณาจากความไว (Sensitivity) ความเชื่อถือได้ (Reliability) การแจกแจงของตัวแปรและความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ นอกจากนี้ในการเลือกตัวแปรตามจะต้องพิจารณาค่าสังเกตที่ได้รับจากทรีทเมนต์ต่างๆ ควรมีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งสมมติฐานความเป็นปกติ (Normality) นี้เป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบการทดลอง ซึ่งอาจจะใช้การแปลงข้อมูล (Transformation) ค่าสังเกตที่มีการแจกแจงไม่ปกติเป็นแบบปกติ

วัตถุประสงค์ของการทดลองอาจเกี่ยวข้องกับประเด็นต่างๆ ดังนี้

1. หาตัวแปรที่มีผลมากที่สุดต่อผลตอบ  $y$  (Response)
2. หาวิธีการตั้งค่าของ  $x$  (Input) ที่มีผลต่อค่าตอบ  $y$  เพื่อให้  $y$  อยู่ที่ค่าที่ต้องการ
3. หาวิธีการตั้งค่าของ  $x$  (Input) ที่มีผลต่อค่าตอบ  $y$  เพื่อให้  $y$  มีค่าน้อย
4. หาวิธีการตั้งค่าของ  $x$  (Input) ที่มีผลต่อค่าตอบ  $y$  เพื่อให้ผลของตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้  $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$  มีค่าน้อยที่สุด

หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง

หลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลองมีดังนี้

1. เรพลีเคชัน (Replication) หมายถึง การทำการทดลองซ้ำ เรพลีเคชันมีคุณสมบัติ 2 ประการคือ ประการแรกทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ ตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้กลายเป็นหน่วยของการวัดขั้นพื้นฐานสำหรับพิจารณาว่า ความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่ ประการที่สองถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง ดังนั้นเรพลีเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบ

2. แรนดอมไมเซชัน (Randomization) หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่า ข้อมูลหรือความผิดพลาดจะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ แรนดอมไมเซชันจะทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริง สามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

3. บล็อกกิง (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจจะหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซตทั้งหมดของวัสดุ

### แนวทางในการออกแบบการทดลอง

การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ทุกคนที่เกี่ยวข้องในการทดลองจะต้องเข้าใจอย่างถ่องแท้ว่า กำลังศึกษาอะไร จะเก็บข้อมูลได้อย่างไร และจะวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้อย่างไร ขั้นตอนในการดำเนินการมีดังนี้

1. การนิยามปัญหา (Recognition of and statement of the problem) เป็นการระบุว่าความต้องการในการผลิตคืออะไร และต้องการรู้อะไรบ้างในการผลิต ซึ่งการนิยามปัญหานี้ ผู้ทดลองต้องทำความเข้าใจต่อสภาพปัญหาที่จะเกี่ยวข้องไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลอง ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการวางแผนและดำเนินการทดลองต่อไป

2. การเลือกปัจจัย และระดับของปัจจัย (Choice of factors and levels) เป็นการใช้หลักการทางทฤษฎีและประสบการณ์จากงานวิจัยต่างๆ เพื่อระบุว่าปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง และในแต่ละปัจจัยควรจะมีช่วงในการทดลองอย่างไร สุดท้ายคือ ระบุว่าแบบกำหนดตายตัว (Fixed Effect) แบบสุ่ม (Random Effect) หรือแบบผสม (Mixed Effect) ซึ่งสามารถอธิบายได้พอสังเขปดังนี้

2.1 แบบกำหนดตายตัว (Fixed Effect) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน

2.2 แบบสุ่ม (Random Effect) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน

2.3 แบบผสม (Mixed Effect) หมายถึง การผสมระดับของปัจจัยที่เป็นทั้งแบบกำหนดตายตัวและแบบสุ่ม

3. การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Choice of response variable)

การเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทดลองต้องแน่ใจว่าตัวแปรตอบสนองนี้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง ซึ่งมักจะเป็น

ค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ และเป็นไปได้ว่าในการทดลองหนึ่งอาจมีตัวแปรตอบสนองหลายตัว จึงจำเป็นต้องกำหนดว่า อะไรบ้างคือตัวแปรตอบสนองและสามารถวัดค่าดังกล่าวได้อย่างไร ก่อนเริ่มดำเนินการทดลองควรมีการวิเคราะห์ระบบการวัดค่าตัวแปรตอบสนองนั้น เพื่อให้มั่นใจได้ว่าระบบการวัดดังกล่าวสามารถใช้กับการทดลองได้

#### 4. การเลือกการออกแบบการทดลอง (Choice of experiment design)

การเลือกการออกแบบเกี่ยวกับการทดลองขนาดของสิ่งตัวอย่าง (Replications) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล การเลือกใช้หลักการพื้นฐานใดบ้างในการออกแบบ ซึ่งในการเลือกการออกแบบจำเป็นต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองตลอดเวลา

#### 5. การดำเนินการทดลอง (Performing for experiment)

การดำเนินการทดลองเป็นการทำตามแผนการทดลองที่ออกแบบไว้ ซึ่งจำเป็นต้องติดตามกระบวนการดำเนินการอย่างระมัดระวัง เนื่องจากหากมีสิ่งผิดพลาดเกิดขึ้นจะทำให้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ต่อได้

#### 6. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ (Statistical analysis of data)

ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะนำวิธีการทางสถิติมาใช้ เพื่อพิจารณาว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลองหรือไม่ ทั้งนี้ในการวิเคราะห์ควรใช้ความรู้ทางวิศวกรรมหรือความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่มีเหตุผลและมีความน่าเชื่อถือ

#### 7. การทดสอบเพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing)

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว ผู้ทดลองต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติของกระบวนการที่เกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้ควรนำเอาวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วยในการนำเสนอข้อมูล นอกจากนี้ควรทำการทดลองเพื่อยืนยัน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปอีกครั้ง

### การเลือกรูปแบบการทดลอง

#### 1. การออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized

Design: CRD)

เป็นแผนการทดลองแบบง่ายที่สุด เหมาะกับการทดลองที่ไม่สามารถแยกได้ว่าหน่วยทดลองที่นำมาใช้นั้นมีลักษณะแตกต่างกันอย่างไรก่อนการทดลอง การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลองนี้จะแยกสาเหตุของความผันแปรของข้อมูลทั้งหมดว่าเนื่องมาจากอิทธิพลของทรีทเมนต์แต่เพียงอย่างเดียว ไม่มีสาเหตุจากปัจจัยอื่น จึงเรียกข้อมูลนี้ว่าข้อมูลแบบแจกแจงทางเดียว (One-Way Classification)

ตามแผนการทดลองแสดงว่า เมื่อหน่วยทดลองได้รับทรีทเมนต์ที่ต้องการทดสอบแล้ว ความแตกต่างของข้อมูลที่เก็บได้จากแต่ละหน่วยทดลองจะต้องเกิดจากอิทธิพลของทรีทเมนต์ที่แตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อให้แผนการทดลองมีประสิทธิภาพสูงสุด หน่วยทดลองที่นำมาใช้ควรมีลักษณะที่สม่ำเสมอหรือคล้ายคลึงกันมากที่สุด (Homogenous) หรือมีความผันแปรระหว่างหน่วยทดลองที่น้อยที่สุด หลักสำคัญของแผนการทดลองนี้คือ การจัดทรีทเมนต์ให้กับหน่วยทดลองหรือจัดหน่วยทดลองให้กับทรีทเมนต์จะต้องเป็นไปโดยสุ่ม ไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับการสุ่ม

โครงสร้างข้อมูล

สมมติให้การทดลองมี	a	ทรีทเมนต์ (หรือ a ระดับ)				
	n	คือ จำนวนค่าสังเกตในแต่ละทรีทเมนต์				
	$Y_{ij}$	คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i				
Treatment	1	2	...	i	...	a
	$Y_{11}$	$Y_{21}$		$Y_{i1}$		$Y_{a1}$
	$Y_{12}$	$Y_{22}$		$Y_{i2}$		$Y_{a2}$
	$Y_{13}$	$Y_{23}$		$Y_{i3}$		$Y_{a3}$
	.	.		.		.
	.	.		.		.
	$Y_{1n}$	$Y_{2n}$		$Y_{in}$		$Y_{an}$
Totals	$Y_1$	$Y_2$		$Y_i$		$Y_a$ $y_{..}$ = Grand Total
Sample means	$Y_1$	$Y_2$		$Y_i$		$Y_a$ $y_{..}$ = Grand Mean

ตัวแบบทางสถิติของแผนการทดลองนี้ คือ

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij} \quad ; \quad \begin{matrix} i = 1,2,\dots,a \\ j = 1,2,\dots,n \end{matrix} \quad (3)$$

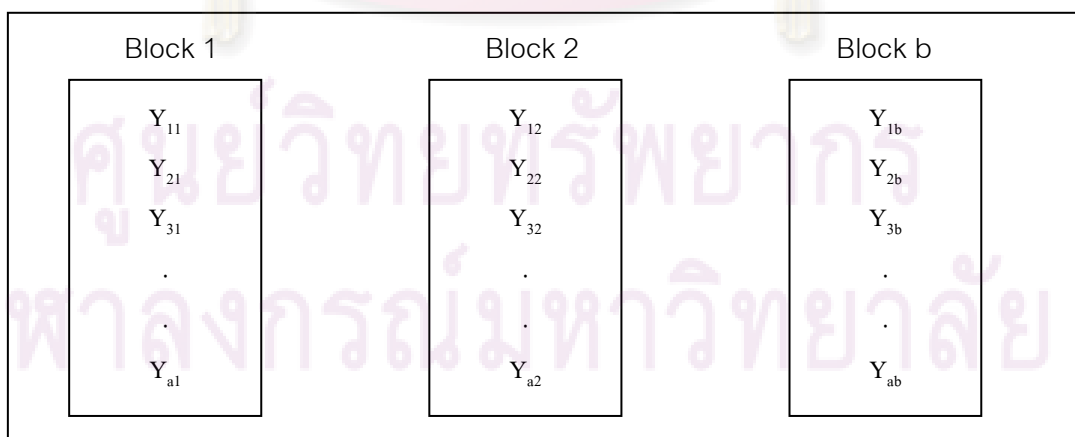
- โดยที่
- $Y_{ij}$  คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i
  - $\mu$  คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร
  - $\tau_i$  คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i
  - $\epsilon_{ij}$  คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

## 2. การออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCB)

ในบางการทดลองอาจประสบปัญหาเกี่ยวกับหน่วยการทดลองที่ใช้ไม่มีความสม่ำเสมอ ทำให้การทดลองแบบสุ่มตลอดไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากความผันแปรของข้อมูลจะไม่ใช่มูลของทรีทเมนต์เพียงอย่างเดียว แต่ยังมีความผันแปรที่เกิดจากหน่วยทดลองรวมอยู่ด้วย ซึ่งความผันแปรส่วนหลังนี้จะไปรวมอยู่กับความคลาดเคลื่อนของการทดลอง ทำให้ผลรวมของผลบวกของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนมีค่าสูงขึ้น มีผลต่อการทดสอบทำให้เกิดความผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงต้องพยายามแยกผลอันเกิดจากอิทธิพลอื่น ที่ไม่ใช่ทรีทเมนต์ออกจากความแปรปรวนทั้งหมด เพื่อให้แน่ใจว่าผลที่นำมาวิเคราะห์นั้นเป็นอิทธิพลของทรีทเมนต์ (Treatment Effect) แต่เพียงอย่างเดียว

แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม เป็นวิธีหนึ่งในหลายๆ วิธีของการจำแนกแบบสองทาง (Two-Way Classification) จะใช้เมื่อหน่วยทดลองมีความแตกต่างกัน 2 ลักษณะคือ ทางแนวนอน (Row) และทางแนวตั้ง (Column) มีหลักการคือ พยายามจัดหน่วยทดลองที่มีความคล้ายคลึงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งจะเรียกว่า บล็อก ดังนั้นความแปรปรวนระหว่างหน่วยทดลองในบล็อกเดียวกันจึงมีค่าต่ำ และให้ความแตกต่างระหว่างบล็อกมีค่าสูง ในแต่ละบล็อกกระทำโดยสุ่ม กรณีนี้จะทำให้แยกความแตกต่างระหว่างบล็อกออกมาจากยอดรวมของผลบวกของกำลังสองได้

โครงสร้างข้อมูล สมมติให้การทดลองมี  $a$  ทรีทเมนต์ และ  $b$  บล็อก ตามแผนภาพ จะเห็นว่ามีค่าสังเกต 1 ค่าต่อ 1 ทรีทเมนต์ในแต่ละบล็อก



รูปที่ 2.7 การออกแบบบล็อกแบบสุ่มสมบูรณ์ (ปารเมศ ชูติมา, 2545)



ตัวแบบทางสถิติของแผนการทดลองนี้

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad ; \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, b \end{array} \quad (4)$$

โดยที่	$Y_{ij}$	คือ ค่าสังเกตที่ $j$ เมื่อได้รับทรีทเมนต์ $i$
	$\mu$	คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร
	$\tau_i$	คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ $i$
	$\beta_j$	คือ อิทธิพลการเกิดจากบล็อกที่ $j$
	$\varepsilon_{ij}$	คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

### 3. การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design)

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล เป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ในกรณีที่มีปัจจัย ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยทุกๆ Treatment Combination ของปัจจัยทุกตัวที่ศึกษาจะถูกพิจารณาไปพร้อมๆ กัน

ผลที่เกิดขึ้นจากปัจจัยหนึ่ง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบที่เกิดจากการเปลี่ยนระดับของปัจจัยนั้นๆ ซึ่งเรียกว่า ผลหลัก (Main Effect) ในการทดลองที่มีผลแตกต่างของผลตอบที่เกิดขึ้นบนระดับต่างๆ ของปัจจัยหนึ่งมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับอื่นๆ ทั้งหมดของปัจจัยอื่น ซึ่งหมายถึง ผลตอบของปัจจัยหนึ่งขึ้นอยู่กับระดับของปัจจัยอื่นๆ นั่นเอง เรียกเหตุการณ์นี้ว่า การมี อันตรกิริยา (Interaction) ต่อกันระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยค่าที่จุดต่างๆ คือตัวแปรตอบสนอง เมื่อมีปัจจัย 2 ตัวคือ A และ B โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับคือ - หรือ Low และ + หรือ High ประโยชน์ของการทดลองแบบแฟคทอเรียล คือ มีจำนวนการทดลองน้อยกว่าการทดลองแบบอื่น และยังให้ผลที่เกี่ยวข้อง (Interaction Effect) ซึ่งมีความสำคัญมาก และไม่สามารถหาค่าได้จากการทดลองแบบเปรียบเทียบอย่างง่ายและการทดลองทีละปัจจัย (One factor at a time) ทั้งนี้ถ้าหากมีการละเลยผลของ Interaction อาจทำให้ข้อสรุปผิดพลาด

### 4. การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ $2^k$ ( $2^k$ Factorial Design)

การออกแบบแฟคทอเรียลที่มีความสำคัญที่สุดคือ กรณีที่มีปัจจัย  $K$  ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับเหล่านี้อาจเกิดข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรือเวลา เป็นต้น หรืออาจเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพก็ได้ เช่น เครื่องจักร หรือคนงาน เป็นต้น และ 2 ระดับจะแทนด้วยระดับสูง หรือต่ำ ของปัจจัยหนึ่งๆ หรือการมี หรือไม่มี ของปัจจัยนั้นๆ ก็ได้

ใน 1 เพลทที่เกิดที่ปริบูรณ์สำหรับการออกแบบ ประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น  $2 \times 2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$  ข้อมูล เรียกการออกแบบลักษณะนี้ว่า การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$

โดยกำหนด

1. ปัจจัยทั้งหมดมีค่าตายตัว
2. การออกแบบเป็นแบบเชิงสุ่มปริบูรณ์ (Completely Randomized)
3. สมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นปกติเป็นที่ยอมรับได้

## 2.1.5 หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

จากสมการ 
$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad (5)$$

โดยที่  $\mu$  คือ ค่าเฉลี่ย  
 $\tau$  คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย  
 $\varepsilon$  คือ ความคลาดเคลื่อน

ในการออกแบบการทดลองส่วนใหญ่ มักตั้งสมมติฐานในการวิเคราะห์จากการที่  $y$  ตัวแปรมีการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ดังนั้น  $y$  จะมีการกระจายแบบนี้ได้ต้องให้  $\varepsilon$  มีการกระจายแบบปกติด้วย และต้องเป็นการกระจายที่เป็นอิสระ  $\varepsilon_{ij} \sim NID(0, \sigma^2)$

การตรวจสอบ  $\varepsilon_{ij}$  มี 3 ขั้นตอน คือ

- 1.1 การตรวจสอบการกระจายว่าเป็นแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) หรือไม่ โดยการใช้วิธีการดังนี้

- การทดสอบแบบไคร้สแควร์ ( $\chi^2$  - Goodness of Fit Test)
- การทดสอบแบบโคโกโมรอฟ-สเมอ์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov Test)
- การทดสอบโดยใช้กระดาษตรวจสอบการแจกแจงปกติ (Normality Probability Plot: NOPP)

- 1.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) แล้วดูลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิว่าเป็นรูปแบบอิสระหรือไม่

1.3 การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจายค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ในแต่ละระดับของปัจจัย ถ้ารูปร่างของการกระจายของข้อมูลที่ออกมาไม่เป็นลักษณะของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแปรปรวน (Megaphone) แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

## 2. การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

การทดสอบสมมติฐานเชิงสถิติ เป็นถ้อยแถลงที่เกี่ยวกับความน่าจะเป็นของตัวแปรแบบสุ่มที่มีความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ที่มากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งค่าพารามิเตอร์ สมมติฐานแบ่งได้ 2 ชนิด คือ

สมมติฐานที่กำหนด (Null Hypothesis) เป็นข้อสงสัยหรือข้อสมมติเกี่ยวกับลักษณะต่างๆ ในประชากรที่ต้องการพิสูจน์ว่าจริงหรือไม่ โดยใช้สัญลักษณ์  $H_0$

สมมติฐานแย้ง (Alternative Hypothesis) เป็นข้อความหรือความคิดเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่หวังว่าจะเป็น โดยจะต้องมีความหมายที่แย้งกับสมมติฐานที่กำหนด โดยใช้สัญลักษณ์  $H_1$  โดยโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะทำการปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด (Reject  $H_0$ ) จะถูกกำหนดโดยระดับนัยสำคัญ ซึ่งเป็นโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่น้อยมากที่ค่าพารามิเตอร์จะตกอยู่ในช่วงของการปฏิเสธสมมติฐานเป็นจริง โดยทั่วไปมักจะทำการเปลี่ยนช่วงของการปฏิเสธสมมติฐานหรือระดับความมีนัยสำคัญเป็นค่าวิกฤติ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบหรือตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนดการตัดสินใจที่ยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนดอาจเกิดความผิดพลาดได้ 2 กรณี คือ

กรณี 1 ความผิดพลาดที่เกิดจากการปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด โดยที่สมมติฐานที่กำหนดมีความถูกต้องหรือมีความเป็นจริง เรียกว่า ความผิดพลาดแบบที่ 1 (Type I Error) ซึ่งความผิดพลาดนี้คือ ระดับความมีนัยสำคัญในการตรวจสอบสมมติฐาน

กรณี 2 ความผิดพลาดที่เกิดจากการยอมรับสมมติฐานที่กำหนด โดยที่สมมติฐานที่กำหนดมีความไม่ถูกต้องหรือไม่มีความจริง เรียกว่า ความผิดพลาดแบบที่ 2 (Type II Error)

ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การตัดสินใจในการทดสอบสมมติฐาน (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2545)

สมมติฐานที่กำหนด	สมมติฐานที่กำหนดมีความถูกต้อง	สมมติฐานที่กำหนดไม่มีความถูกต้อง
ยอมรับ	การตัดสินใจที่ถูกต้อง	ความผิดพลาดแบบที่ 2
ปฏิเสธ	ความผิดพลาดแบบที่ 1	การตัดสินใจที่ถูกต้อง

โอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดแบบที่ 1 และแบบที่ 2 สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\alpha &= P(\text{ความผิดพลาดแบบที่ 1}) \\ &= P(\text{การปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด: สมมติฐานที่กำหนดถูกต้อง})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta &= P(\text{ความผิดพลาดแบบที่ 2}) \\ &= P(\text{การยอมรับสมมติฐานที่กำหนด: สมมติฐานที่กำหนดไม่ถูกต้อง})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{โดยที่ } 1 - \beta &= \text{อำนาจของการทดสอบ} \\ &= P(\text{การปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด: สมมติฐานที่กำหนดถูกต้อง})\end{aligned}$$

### 3. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA)

ภายหลังจากที่ได้ออกแบบการทดลอง และทำการทดลองแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็คือ การนำข้อมูลที่รวบรวมได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ เพื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ หรือหาแนวโน้มต่อไปโดยใช้หลักการของ ANOVA หรือ การถดถอย (Regression)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นวิธีการคำนวณแบบเลขคณิต โดยการแยกผลรวมกำลังสองทั้งหมด (Total Sum of Square: SST) ออกเป็นส่วนต่างๆ ตามแหล่งกำเนิดหรือสาเหตุ โดยจะวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อการทดลองโดยพิจารณาความแตกต่าง โดยวัดความแตกต่างรวมออกมาในรูปของความแปรปรวนแล้วแตกออกมาเป็นความแตกต่างย่อย ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างย่อยเหล่านั้น หากความแตกต่างใดมีค่ามากกว่า แสดงว่าปัจจัยนั้นทำให้เกิดความแตกต่าง โดยมีผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square; MS) ซึ่งเป็นตัวที่ประมาณค่าความแปรปรวนที่ดีที่สุด

$$MS = \frac{SS}{df} \quad (6)$$

เมื่อ  $SS$  คือ ผลรวมกำลังสอง (Sum of Square)

$df$  คือ องศาของอิสรภาพ (Degree of Freedom)

สามารถอธิบายการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละแบบการทดสอบได้ดังนี้

### 1. การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD)

สามารถแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็น 2 ส่วน คือ ความแปรปรวนเนื่องจากการให้ที่รีทเมนต์ต่างกัน และความแปรปรวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลอง การสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Model)

$$\begin{aligned} \text{ตัวแบบ} \quad y_{ijkl} &= \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} & ; \quad & i = 1, 2, \dots, a \\ & & & j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (7)$$

โดยที่  $y_{ij}$  คือ ค่าสังเกตที่  $j$  เมื่อได้รับที่รีทเมนต์  $i$

$\mu$  คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

$\tau_i$  คือ อิทธิพลอันเกิดจากที่รีทเมนต์  $i$

$\varepsilon_{ij}$  คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ในการวิเคราะห์จะทำการแบ่งความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตออกเป็น ส่วนๆ โดยจะกำหนดความผันแปรให้ทั้งหมดของค่าสังเกตในรูปของผลรวมกำลังสองทั้งหมด (The Total Sum of Squares)  $SS_T$  โดยที่

$$SS_T = \left[ \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 \right] - (y_{\dots}^2 / N) \quad (8)$$

$$SS_{Tr} = \left[ \sum_{i=1}^a y_i^2 / n \right] - (y_{\dots}^2 / N) \quad (9)$$

$$SS_E = SS_T - SS_{Tr} \quad (10)$$

ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ของผลรวมกำลังสองของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 โดยที่ถ้าหากค่า  $F_0 \leq F_{\alpha, v_1, v_2}$  แล้วถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesis ได้

ตารางที่ 2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ One-Way-ANOVA (параметр शुद्धिमा, 2545)

Source of Variation (SOV)	Sum of Squares (SS)	Degree of Freedom (df)	Mean Squares (MS)	$F_0$
Treatment	$SS_{Tr}$	$a - 1$	$MS_{Tr}$	$MS_{Tr} / MS_E$
Error	$SS_E$	$N - a$	$MS_E$	
Total	$SS_T$	$N - 1$		

2. การทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design : RCB)

แยกความแปรปรวนออกเป็น 3 ส่วน คือ ความแปรปรวนเนื่องจากการให้ทรีทเมนต์ต่างกัน ความแปรปรวนเนื่องจากการบล็อก และความแปรปรวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

การสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Model)

$$\text{ตัวแบบ} \quad y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad ; \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, i \\ j = 1, 2, \dots, n \end{array} \quad (11)$$

โดยที่  $y_{ij}$  คือ ค่าสังเกตที่  $j$  เมื่อได้รับทรีทเมนต์  $i$   
 $\mu$  คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร  
 $\tau_i$  คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์  $i$   
 $\beta_j$  คือ อิทธิพลอันเกิดจากบล็อกที่  $j$   
 $\varepsilon_{ij}$  คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ในการวิเคราะห์จะทำโดยการแบ่งความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตออกเป็น ส่วนๆ โดยจะกำหนดความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตในรูปของผลรวมกำลังทั้งหมด (The Total Sum of Squares)  $SS_T$  โดยที่

$$SS_T = \left[ \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 \right] - (y^2 / N) \quad (12)$$

$$SS_{Tr} = \left[ \sum_{i=1}^a y_i^2 / n \right] - (y^2 / N) \quad (13)$$

$$SS_B = \left[ \sum_{j=1}^b y_j^2 / a \right] - (y^2 / N) \quad (14)$$

$$SS_E = SS_T - SS_{Tr} - SS_B \quad (15)$$

ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ของผลรวมกำลังของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.4 โดยที่ถ้าหากค่า  $F_0 \leq F_{\alpha, v_1, v_2}$  แล้ว ถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesis ได้

ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการทดลองแบบสุ่มในบล็อก (ปารเมศ ชูติมา, 2545)

Source of Variation (SOV)	Sum of Squares (SS)	Degree of Freedom (df)	Mean Squares (MS)	$F_0$
Treatment	$SS_{Tr}$	$a - 1$	$MS_{Tr}$	$MS_{Tr} / MS_E$
Block	$SS_B$	$b - 1$	$MS_B$	
Error	$SS_E$	$(a - 1)(b - 1)$	$MS_E$	$MS_B / MS_E$
Total	$SS_T$	$N - 1$		

### 3. การทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Experiment)

สามารถแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็นความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัย ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

การสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีที่มีตัวแปร 2 ตัว ของตัวแปรแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Mode)

$$\text{ตัวแบบ} \quad y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} ; \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, b \\ k = 1, 2, \dots, n \end{array} \quad (16)$$

โดยที่  $y_{ij}$  คือ ค่าสังเกตที่  $j$  ในทรีทเมนต์ที่  $i$   
 $\mu$  คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทั้งหมด

$\tau_i$  คือ อิทธิพลของปัจจัย A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ i  
 $\beta_j$  คือ อิทธิพลของปัจจัย B ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ j  
 $(\tau\beta)_{ij}$  คือ อิทธิพลร่วมของปัจจัย A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ i และปัจจัย B ที่เกิดจาก ทรีทเมนต์ที่ j  
 $\varepsilon_{ijk}$  คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abn} \quad (17)$$

$$SS_A = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_i^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abn} \quad (18)$$

$$SS_B = \frac{1}{an} \sum_{j=1}^b y_j^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abn} \quad (19)$$

$$SS_{subtotals} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abn} \quad (20)$$

$$SS_{AB} = SS_{subtotals} - SS_A - SS_B \quad (21)$$

$$SS_E = SS_T - SS_{AB} - SS_A - SS_B \quad (22)$$

ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ของผลรวมกำลังสองของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.5 โดยที่ถ้าหาก  $F_0 \leq F_{\alpha, v_1, v_2}$  แล้วถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesis ได้

ตารางที่ 2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ Two-Fixed Effect Model (ปารเมศ ชูติมา, 2545)

Source of Variation (SOV)	Sum of Squares (SS)	Degree of Freedom (df)	Mean Squares (MS)	$F_0$
A	$SS_A$	$a - 1$	$MS_A$	$MS_A / MS_E$ $MS_B / MS_E$ $MS_{AB} / MS_E$
B	$SS_B$	$b - 1$	$MS_B$	
AB	$SS_{AB}$	$(a - 1)(b - 1)$	$MS_{AB}$	
Error	$SS_E$	$ab(n - 1)$	$MS_E$	
Total	$SS_T$	$abn - 1$		



## 2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 1. สุรพล สุรบรรเจิดพร, (2542)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเชื่อมตีบูก-ตะกั่วบนแผ่นลายวงจรพิมพ์ด้วยเครื่องเชื่อมอัตโนมัติ และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลอง เพื่อลดจุดบกพร่องของรอยเชื่อม พร้อมพัฒนากระบวนการให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น การศึกษาครั้งนี้ใช้หลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มาใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาถึงปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยคือ ความเร็วของสายพาน อุณหภูมิในส่วนการอบความร้อน ค่าความถ่วงจำเพาะของฟลักซ์ และลักษณะการไหลของโลหะผสมซิลิโคน โดยมุ่งเน้นผลทางด้านคุณภาพที่สอดคล้องในเรื่องจำนวนการเกิดจุดบกพร่องของรอยเชื่อม ตรวจสอบลักษณะจุดบกพร่องของรอยเชื่อมประเภท Excessive Solder, Insufficient Solder และ Bridging (or Shorting) เท่านั้น ผลการวิจัยพบว่า ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนจุดบกพร่องคือ ลักษณะการไหลของโลหะผสมซิลิโคน และความเร็วของสายพาน ส่วนปัจจัยทางด้านอุณหภูมิในส่วนการอบความร้อน และค่าความถ่วงจำเพาะของฟลักซ์ที่มีอิทธิพลค่อนข้างน้อยต่อการเกิดจุดบกพร่องของรอยเชื่อมเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่นๆ ในการทดลองค่าของตัวแปรที่ทำให้เกิดผลทางด้านคุณภาพที่ดีคือ การปรับลักษณะการไหลของโลหะผสมซิลิโคนให้มีการเคลื่อนที่ทั้งสองด้าน และความเร็วของสายพานเท่ากับ 108 เซนติเมตรต่อนาที ซึ่งจะสามารถลดจำนวนจุดบกพร่องลงได้

ความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยคือ การเลือกใช้หลักการออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดค่า Axis ของเลนส์ หลังจากนั้นจะสรุประดับของแต่ละปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อนำไปสู่การพัฒนากระบวนการให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ในการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดค่า Axis ของเลนส์

### 2. มะลิ แซ่อึ้ง, (2544)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหนาผิวเคลือบในกระบวนการเคลือบตีบูกด้วยไฟฟ้า ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตใหม่ในการผลิตแผงวงจรไฟฟ้ารวม งานวิจัยนี้ได้ระบุปัจจัยทั้งหมดที่มีผลต่อความหนาผิวเคลือบโดยใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล จากการวิเคราะห์แผนภูมิดังกล่าว ทำให้ทราบว่า 6 ปัจจัยที่นำจะมีผลต่อค่าความหนา ปัจจัยเหล่านี้ประกอบด้วย (1) ความเข้มข้นน้ำยาตีบูก (2) Additive (3) Electrolyze (4) ความสูงของแผ่นกั้น (5) เวลาที่ใช้ในการเคลือบผิว และ (6) ความหนาแน่นกระแส โดยเลือกวิธีการออกแบบการทดลองวิธี Taguchi เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนาผิวเคลือบเฉลี่ย และให้ค่า

ความแข็งต่อค่าตอบสนอง จากการทดลองพบว่า มีเพียง 3 ปัจจัยเท่านั้นที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาผิวเคลือบคือ ความเข้มข้นน้ำยาดีบุก เวลาที่ใช้ในการเคลือบผิว และความหนาแน่นกระแสความสูงของแผ่นกั้นที่ 35 มิลลิเมตรให้ความแข็งต่อค่าตอบสนอง หลังจากนั้นเลือกใช้การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลมาวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมที่จะได้ความหนาของผิวเคลือบใกล้เคียงค่ากึ่งกลาง และมีความผันแปรน้อยที่สุด โดยไม่มีข้อบกพร่องของคุณสมบัติทางกายภาพ หลังกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าและกระบวนการตัดและขึ้นรูปขางาน และการทดสอบไซลเดอรัวบิลิตี้ ผลการทดลองพบว่า มี 2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลคือ เวลาที่ใช้ในการเคลือบผิว และความหนาแน่นกระแส ด้วยสภาวะที่เหมาะสมคือ ความหนาแน่นกระแส 30 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร และเวลาที่ใช้ในการเคลือบ 55 วินาที

ความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยคือ การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า Axis ของเลนส์ที่เกิดจากกระบวนการตัดแต่งเลนส์ รวมทั้งกำหนดปัจจัยและระดับของแต่ละปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการเพื่อทำให้เกิดค่า Axis ที่น้อยที่สุด

### 3. วิชาญ วรรณ, (2545)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเหล็กปลายสั้น และเสนอเงื่อนไขที่เหมาะสม (Suitable Condition) ที่ทำให้เกิดเหล็กปลายสั้นที่มีความยาวน้อยที่สุด ภายใต้เงื่อนไขที่เป็นไปได้ งานวิจัยนี้เริ่มต้นจากการพิจารณาหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเหล็กปลายสั้น โดยเริ่มจากการระดมสมองแล้วทำการเลือกปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อการเกิดเหล็กปลายสั้นสำหรับกระบวนการหล่อเหล็กแท่งแบบต่อเนื่อง ได้แก่ (1) อัตราการไหลของน้ำหล่อเหล็กแท่งช่วงที่หนึ่ง (2) ความเร็วในการหล่อเหล็กแท่ง และ (3) อุณหภูมิน้ำเหล็กในทันดิช โดยใช้แผนการทดลองแบบ  $2^k$  แฟคทอเรียลในการทดลองเบื้องต้น โดยทุกระดับของปัจจัยมี 2 ระดับ หลังจากนั้นทำการทดลองซ้ำอีกครั้งโดยเพิ่มระดับของปัจจัยเป็น 3 ระดับ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดเหล็กปลายสั้นที่มีความยาวน้อยที่สุด หลังจากการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดเหล็กปลายสั้นที่มีความยาวน้อยที่สุดคือ (1) อัตราการไหลของน้ำหล่อเหล็กแท่งช่วงที่หนึ่ง 200 ลิตรต่อนาที (2) ความเร็วในการหล่อเหล็กแท่ง 0.9 เมตรต่อนาที และ (3) อุณหภูมิน้ำเหล็กในทันดิช 1,530 องศาเซลเซียส จากสภาวะดังกล่าวข้างต้น พบว่าสามารถลดความยาวของเหล็กปลายสั้นลงได้ 158 มิลลิเมตร จากความยาวเดิม  $681 \pm 17$  มิลลิเมตร และยังพบว่าสามารถลดความยาวเผื่อตัดของเหล็กปลายสั้นลงได้ 264 มิลลิเมตร จากความยาวเดิม 349 มิลลิเมตร ดังนั้นสามารถลดความยาวของเหล็กปลายสั้นลงได้ทั้งหมด 422 มิลลิเมตร หรือคิดเป็น

มูลค่าการลดของเสียจากเหล็กปลายสั้นเท่ากับ 629,856 บาทต่อปี อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยคือ ในการทดลองของกระบวนการบล็อกเลนส์จะเลือกใช้รูปแบบการทดลองแบบ  $2^k$  แฟคทอเรียล เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่า Axis ของเลนส์ที่เกิดจากกระบวนการบล็อกเลนส์ รวมทั้งกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการเพื่อนำไปสู่การพัฒนากระบวนการให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ในการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดค่า Axis ของเลนส์

#### 4. ชันต์ถ์ โจรณะบุรานนท์, (2546)

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการลดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการพิมพ์ออฟเซต 4 สี โดยการดำเนินการทดลอง 5 ขั้นตอนคือ การกำหนดปัญหา จัดตั้งทีมทำการระดมสมองสำรวจปัญหา กำหนดเป้าหมายและขอบเขต พบว่า กลุ่มเครื่องพิมพ์ 2 ที่ใช้ในการผลิตมีสัดส่วนและเวลาสูญเสียเปล่าสูงที่สุด ซึ่งเป็นผลจากการปรับแต่งค่าความสามารถของกระบวนการอยู่ในเกณฑ์ไม่ดีคือ สีดำ 0.22 สีฟ้า 0.74 สีแดง 0.43 และสีเหลือง 0.51 ควรนำมาปรับปรุง แล้วคัดเลือกตัวแปรวัดปัจจัยป้อนเข้าโดยใช้แผนภาพก้างปลา ตารางสาเหตุและผล เชื่อมโยงเพื่อหาความรุนแรงของปัญหาด้วยวิธีการ FMEA ตลอดจนทำการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบเครื่องมือวัดคือ เครื่อง Spectrophotometer สามารถแยกความแตกต่างของข้อมูล (ndc) ได้ 27 ข้อมูล ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ หลังจากนั้นทำการทดสอบสมมติฐานของตัวแปรวัดปัจจัยป้อนเข้าที่ผ่านการคัดเลือกจำนวน 4 ปัจจัยโดยเลือกการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$  โดยเพิ่มจุดศูนย์กลาง 3 จุด ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาอิทธิพลของตัวแปรวัดปัจจัยป้อนเข้าคือการควบคุมรอบการจ่ายน้ำ การควบคุมรอบการจ่ายหมึก และการควบคุมปริมาณของ Ink Key ที่มีผลต่อความแปรปรวนต่างสีของ สีดำ สีฟ้า สีแดง และสีเหลือง โดยรูปแบบของการทดลองนี้เป็นลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature) และหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัย จากนั้นเพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองจึงใช้หลักการทางสถิติพบว่า มีค่า Mean ของสีดำเท่ากับ 50.1 สีฟ้า 43.3 สีแดง 46.3 และสีเหลือง 31.9 สามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตได้จริง และทำการควบคุมและป้องกันปัญหา

หลังจากการปรับปรุงพบว่า ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) ของค่าความแปรปรวนต่างสีคือ สีดำ 1.44 สีฟ้า 1.21 สีแดง 1.41 และสีเหลือง 1.13 สูงขึ้นอยู่ในเกณฑ์ดี และจากการปฏิบัติตามเอกสารวิธีการปฏิบัติงาน ทำให้เวลาที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องจักรลดลงจากเดิมเฉลี่ย 0.27 Hours/color ลดลงเหลือเฉลี่ย 0.21 Hours/color

เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ลดลง 20.92% เป็นผลทำให้เวลาลดลงต่ำกว่าเป้าหมายที่บริษัทตั้งเอาไว้คือ 0.25 Hours/color

ความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยคือ การกำหนดขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยของการลดความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ ประกอบด้วย การกำหนดปัญหาจัดตั้งทีมเพื่อทำการระดมสมองในการนิยามปัญหาด้วยแผนภาพกึ่งไม้ กำหนดขอบเขตของปัญหาโดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ข้อบกพร่อง และกำหนดสาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพสาเหตุและผล หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบเครื่องมือวัด และเลือกการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$  สำหรับกระบวนการบล็อกเลนส์ และการทดลองเชิงแฟคทอเรียลสำหรับกระบวนการตัดเลนส์ แล้วทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง สุดท้ายทำการเปรียบเทียบหลังจากการปรับปรุงกระบวนการ

#### 5. วินิตา เพชรรุ่ง, (2546)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ถึงความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดเพื่อนำไปสู่การปรับปรุงและความถูกต้องตามข้อกำหนดของระบบบริหารคุณภาพ QS9000 ขอบเขตของการวิเคราะห์จะศึกษาวิจัยเครื่องมือวัดที่ใช้ภายในสายการผลิตสีลของบริษัทกรณีศึกษาที่เป็นอุตสาหกรรมการผลิตวงจรรวม ความถูกต้องของเครื่องมือวัดทุกชนิดก่อนว่าถูกต้องตามเกณฑ์ของระบบ QS9000 ขั้นตอนต่อไปจะศึกษาความแม่นยำของระบบการวัด โดยแบ่งการศึกษาตามลักษณะของข้อมูลในการวัดคือ ข้อมูลแบบข้อมูลวัด และข้อมูลแบบข้อมูลนับ

ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่า ความแปรปรวนของระบบการวัดแบบข้อมูลวัดเนื่องมาจากเครื่องมือวัดที่มีความแม่นยำต่ำเป็นสาเหตุหลัก และสาเหตุอื่นๆ ที่เกิดจากพนักงานผู้วัดมีความรู้และทักษะไม่เพียงพอ การเพิ่มความแม่นยำของเครื่องมือวัด โดยส่งเสริมการเพิ่มความรู้และทักษะให้กับพนักงานผู้วัด เพื่อขจัดความแปรปรวนของระบบการวัดแบบข้อมูลวัด แต่สำหรับการศึกษาระบบการวัดแบบข้อมูลนับพบว่าความแปรปรวนของระบบการวัดไม่นับสำคัญ โดยได้จัดทำคู่มือสำหรับการปฏิบัติงานเพื่อให้พนักงานใช้อ้างอิง

ความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยคือ การวิเคราะห์ถึงความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดเพื่อนำไปสู่การกำหนดเป็นมาตรฐานของบริษัทฯ ก่อนการเก็บข้อมูลจริง

#### 6. มัณยามภรณ์ ภูริปัญญาคุณ, (2547)

การศึกษานี้ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงกระบวนการชุบไฟฟ้าเครื่องประดับเนื่องจากพบว่ามีปัญหาข้อบกพร่องเกิดขึ้นในแผนกชุบตัวเรือนได้แก่ ปัญหาชิ้นงานเป็นรอย เป็น

คราบ และทองลอกง่าย ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นทำให้ต้องนำกลับไปซ่อมยังแผนกต่างๆ เสียทั้งทรัพยากร เวลา วัสดุและแรงงาน นำไปสู่การวิเคราะห์ถึงสาเหตุของข้อบกพร่องและทำการปรับปรุงกระบวนการชุบเครื่องประดับแผนกชุบตัวเรือนให้มีการควบคุมที่ดี และมีการทำงานที่มีมาตรฐานและเหมาะสม

จากการศึกษาพบว่าปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากการขาดการตรวจสอบในกระบวนการผลิต วิธีการปฏิบัติงานไม่เหมาะสม ขาดการควบคุมในการทำงาน และมีสาเหตุจากชิ้นงาน น้ำยาชุบและน้ำล้างในกระบวนการ ซึ่งได้ทำการปรับปรุงโดยกำหนดวิธีการปฏิบัติงานที่เหมาะสม สร้างระบบการทำงานให้มีการควบคุมการปฏิบัติงานโดยกำหนดเป็นมาตรฐานการทำงาน ทำให้มีมาตรฐานวิธีการทำงานต่างๆ ในรูปแบบของเอกสารอย่างชัดเจน จัดทำคู่มือน้ำยาชุบโลหะของแผนกชุบตัวเรือน จัดทำใบตรวจสอบน้ำยาชุบกำหนดวิธีการตรวจสอบน้ำยาชุบโลหะและน้ำล้างในกระบวนการและมีการวิเคราะห์น้ำยาชุบโลหะด้วยการทำฮัลเซล

จากการวิจัยพบว่า กระบวนการชุบมีวิธีการทำงานที่เป็นมาตรฐานขึ้นและมีการควบคุมที่ดี ทำให้ปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นมีจำนวนลดลงจาก 0.591% เป็น 0.184% นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบการทำงานของพนักงานให้มีมาตรฐานเดียวกันโดยนำวิธีการทำงานมาตรฐานที่ได้มาอบรมการปฏิบัติงานแก่พนักงานและทำการประเมินผลพนักงานโดยใช้แนวทางการวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA)

ความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยคือ การปรับปรุงกระบวนการโดยการลดความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ รวมถึงการกำหนดมาตรฐานในการวัดค่า Axis ของเลนส์ก่อนการเก็บข้อมูลจริง

## 7. สุชาติ แซ่แต้, (2548)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายในการปรับปรุงกระบวนการผลิตของกล่องกระดาษลูกฟูก เพื่อปรับปรุงแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกให้ดีขึ้น และลดการสูญเสียแรงเสียดทานให้น้อยที่สุด อันเนื่องมาจากมีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อแรงเสียดทานหลายปัจจัย ดังนั้นจึงได้มีการนำหลักการทางสถิติและแนวทางของการออกแบบการทดลองมาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการ หลังจากทำการค้นหาปัจจัย และกำหนดค่าระดับของแต่ละปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแรงเสียดทาน (Friction) ของกล่องกระดาษลูกฟูก โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ  $2^{k-D}$  Fraction Factorial Design Resolution และนำไปวิเคราะห์หาระดับที่เหมาะสมของการปรับค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้ค่าแรงเสียดทานไม่ต่ำกว่าข้อกำหนดของลูกค้าคือ 26 องศา โดยการ

กำหนดระยะกดของ Print Roll Gap เท่ากับ 7 มิลลิเมตร ค่าน้ำยาวานิช (Anti Slip) ประเภท B ความหนืดของหมึกพิมพ์ (InkViscosity) เท่ากับ 12.5 วินาที และระยะกดของ Feed Belt Gap เท่ากับ 8.5 มิลลิเมตร แล้วทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลก่อนนำไปใช้ในการผลิตจริง จากนั้นทำการควบคุมปัจจัยที่สำคัญทั้งสี่ด้วยกระบวนการเชิงสถิติ ผลหลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตพบว่า มีปริมาณของเสียลดลงจาก  $889 \times 10^3$  DPPM เหลือเพียง 11.20 DPPM และความสามารถของกระบวนการ ( $C_{pk}$ ) เพิ่มขึ้นจาก (-0.51) เป็น 1.34

ความเกี่ยวข้องกับการวิจัยคือ วัตถุประสงค์ในการปรับปรุงกระบวนการให้ดีขึ้น โดยงานวิจัยจะเน้นการลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตารวมทั้งการปรับปรุงกระบวนการ โดยมีการค้นหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกน หลังจากนั้นนำไปสู่การเลือกวิธีการในการออกแบบการทดลอง

#### 8. สุรัชย์ จิรศักดิ์สิริกุล, (2548)

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาเหตุปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การเกิดของเสียในการผลิตแผ่นเทอร์โมเซตติงลามิเนต การดำเนินงานวิจัยทำโดยการศึกษาระบบการผลิตทุกๆ ขั้นตอน และเก็บข้อมูลพร้อมกับการจำแนกประเภทของเสียของผลิตภัณฑ์ จากนั้นทำการค้นหาและวิเคราะห์สาเหตุการเกิดของเสียในการผลิตแผ่นเทอร์โมเซตติงลามิเนต ประเภทของของเสียมี 3 ประเภทคือ การเกิดคราบสีขาวบนแผ่นผลิตภัณฑ์ การมีเศษสิ่งแปลกปลอมบนแผ่นผลิตภัณฑ์ และการเกิดสิ่งสกปรกบนแผ่นผลิตภัณฑ์

การวิเคราะห์ปัญหาการเกิดคราบสีขาวบนผลิตภัณฑ์ หลังการปรับปรุงเป็นผลให้ปริมาณของเสียจากปัญหาคราบสีขาวลดลงจากร้อยละ 3.77 เหลือร้อยละ 1.27 ของจำนวนการผลิต การวิเคราะห์ปัญหาการเกิดเศษสิ่งแปลกปลอมบนแผ่นผลิตภัณฑ์ ผลการดำเนินงานพบว่า ปัญหาเศษสิ่งแปลกปลอมมีปริมาณของเสียลดลงจากร้อยละ 2.30 เหลือร้อยละ 1.35 ส่วนการวิเคราะห์ปัญหาการเกิดสิ่งสกปรกบนแผ่นผลิตภัณฑ์ ผลจากการดำเนินงานพบว่า ปัญหาสิ่งสกปรกมีปริมาณของเสียลดลงจากร้อยละ 1.99 เหลือร้อยละ 1.51

สรุปรวมปัญหาของเสียทั้งหมดหลังการปรับปรุงพบว่า ปริมาณของเสียทั้งหมดมีปริมาณลดลงจากร้อยละ 6.77 เหลือร้อยละ 4.14 ของจำนวนการผลิต เมื่อคิดเป็นมูลค่าของเสียที่สามารถลดลงได้เฉลี่ยประมาณ 836,150 บาทต่อเดือน

ความเกี่ยวข้องกับการวิจัยคือ การค้นหาปัจจัยและสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์นำไปสู่การลดความคลาดเคลื่อนดังกล่าว

### 9. ธนัฐชยา อุดรทัตษ์, (2549)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยการควบคุมการอัดขึ้นรูปผงแทนทาลัม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดและควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของการอัดขึ้นรูปผงแทนทาลัม และลดของเสียของชิ้นงานที่เกิดจากการอัดขึ้นรูป ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ การศึกษาเรื่องการโค้งงอของลวดขางานและศึกษาเรื่องความหนาแน่นของชิ้นงานที่มีผลต่อความแข็งแรงและการแตกร้าวของชิ้นงาน การศึกษาการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของชิ้นงาน ได้ดำเนินการปรับเพิ่มน้ำหนักของชิ้นงานเพิ่มขึ้นจากเดิมเท่ากับ 2%, 4% และ 6% โดยกำหนดให้ปริมาตรของชิ้นงานคงที่ ประยุกต์ใช้ปัจจัยควบคุมการขึ้นรูปชิ้นงานที่ได้จากการศึกษาข้างต้น ตรวจสอบค่าแรงยึดระหว่างชิ้นงานและลวดขางาน ค่าเฉลี่ยของความเก็บประจุของชิ้นงาน งานร้าว และศึกษาความสัมพันธ์ของน้ำหนักกับคุณสมบัติที่ได้ เปรียบเทียบผลก่อนและหลังการศึกษา โดยพิจารณาค่าดัชนีชี้วัดได้แก่ อัตราผลผลิตคุณภาพ การประหยัดค่าวัตถุดิบ และค่าใช้จ่ายค่าแรงงานทางตรง

ผลการศึกษาพบว่า เงื่อนไขที่ทำให้ลวดขางานโค้งงอน้อยที่สุดคือ ความเร็วการอัดขึ้นรูปต่อถาด และการปรับน้ำหนักเพิ่ม 4% ทำให้ความหนาแน่น หลังการอัดขึ้นรูปเท่ากับ  $5.2 \text{ g/mm}^3$  สามารถลดของเสียจาก 18.9% เหลือ 7.3% และลดความสูญเสียค่าวัตถุดิบแทนทาลัมจาก 283 บาทต่อพันชิ้นงาน เหลือ 79 บาทต่อพันชิ้นงาน (หรือคิดเป็นผลประหยัดได้ 2,622,121 บาทต่อปี)

ความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยคือ การคัดเลือกปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ หลังจากนั้นทำการกำหนดระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยแล้วทำการปรับปรุงกระบวนการเพื่อเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง

### 10. พิทักษ์ พนาวัน, (2549)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาสภาวะและปริมาณการที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นรองสินค้า พร้อมทั้งศึกษาสมบัติทางด้านแรงดึง และการทนต่อแรงกระแทกของแผ่นรองสินค้าผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นรองสินค้า โดยแผ่นรองสินค้าที่ขึ้นรูปจะใช้ใยมะพร้าวและฟางข้าวในอัตราส่วน 50/50 ซึ่งเส้นใยจากใยมะพร้าวและฟางข้าวที่ผ่านการเตรียมมาแล้ว ถูกนำมาผสมกับการยูเรียฟอรัลดีไฮด์เกรด EU- 617 แล้วถูกนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นโดยกระบวนการอัดด้วยความร้อน พบว่าเมื่ออัดเส้นใยที่มีปริมาณการ 12% 16% 20% และ 25% โดยน้ำหนักเส้นใยแห้งด้วยการอัดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิ 150 – 160 องศาเซลเซียส ในเวลา 4 นาที สามารถทำให้เกิดการเชื่อมโยงของกาวที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาจากสมบัติการ

ด้านทางแรงดึงและแรงกระแทกของแผ่นรองสินค้าที่ผลิตได้ ผลการทดสอบสมบัติการต้านทางแรงดึงและแรงกระแทกของแผ่นรองสินค้า พบว่าสมบัติการต้านทานแรงดึงมีค่าอยู่ระหว่าง 1185.7 – 3106.5 MPa และสมบัติการต้านทางแรงกระแทกมีค่าอยู่ระหว่าง 14.34 – 33.09 J/m<sup>2</sup> ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่นและปริมาณกาวที่ใช้ ค่าการต้านทานแรงดึงและแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นและปริมาณกาวเพิ่มขึ้น

ความเกี่ยวข้องกับการวิจัยคือ การค้นหาระดับของแต่ละปัจจัยที่มีความเหมาะสมต่อกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตา อย่างเช่น ชนิดของเครื่องจักร ฟังก์ชันการทำงานของเครื่องจักร ความเร็วในการตัดเลนส์ (Cutting Speed) เป็นต้น เพื่อนำไปสู่การตัดสินใจเลือกปัจจัยที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนมากที่สุด

#### 11. วิรุทธิ์ สิมเสมอ, (2549)

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกำลังการผลิตของเครื่องรีโฟลว์ ซึ่งใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design) โดยมีตัวแปรตอบสนองที่สนใจ 2 ตัวคือ เวลาที่คงอยู่ และอุณหภูมิสูงสุด เนื่องจากอุณหภูมิของการทำรีโฟลว์ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์สูงขึ้น ส่งผลให้เวลาที่คงอยู่และอุณหภูมิสูงสุดของการรีโฟลว์ในการผลิตตัวเก็บประจุสูงขึ้นตามไปด้วย โดยการลดความเร็วของสายพานของเครื่องรีโฟลว์ช้าลงจาก 1.0 เมตรต่อวินาที เป็น 0.6 เมตรต่อวินาที เพื่อเพิ่มเวลาที่คงอยู่จาก 10 วินาที เป็น 30 วินาที และอุณหภูมิสูงสุดไม่เกิน 270 องศาเซลเซียส ก็จะสามารถเพิ่มกำลังการผลิตของเครื่องรีโฟลว์ได้ จากการใช้แผนภาพก้างปลาและการวิเคราะห์สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) พบว่า ปัจจัยที่ถูกเลือกและใช้ในการทดลองเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$  มี 5 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิของฮีตเตอร์ตัวที่ 1 อุณหภูมิของฮีตเตอร์ตัวที่ 2 อุณหภูมิของฮีตเตอร์ตัวที่ 3 อุณหภูมิของฮีตเตอร์ตัวที่ 4 และความเร็วของสายพาน

จากการทดลองข้างต้นพบว่า ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองโดยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล  $2^3$  มี 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิของฮีตเตอร์ตัวที่ 3 อุณหภูมิของฮีตเตอร์ตัวที่ 4 และความเร็วของสายพาน ผลจากการทดลองสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อเวลาที่คงอยู่และอุณหภูมิสูงสุดได้คือ 1.0 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของฮีตเตอร์ตัวที่ 3 เปลี่ยนจาก 260 องศาเซลเซียสเป็น 255 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของฮีตเตอร์ตัวที่ 4 เปลี่ยนจาก 260 องศาเซลเซียสเป็น 265 องศาเซลเซียส เมื่อได้ประยุกต์ใช้การตั้งค่าของเครื่องรีโฟลว์นี้ สามารถลดเวลานำในการผลิตตัวเก็บประจุชนิดแทนทาลัมแบบ Green series โดยรวมได้ 11.6% และความสามารถเพิ่มกำลังการผลิตรวมได้ 32 ล้านชิ้นต่อเดือน



ความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยคือ การเลือกรูปแบบของการออกแบบการทดลองแบบ  $2^k$  สำหรับกระบวนการบล็อกเลนส์ แล้วทำการกำหนดระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย และปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์

## 12. ปิยะ ศิริธรรมปิติ, (2550)

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาพารามิเตอร์ของกระบวนการกลึงเหล็กกล้าคาร์บอน โดยการประยุกต์ใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาเงื่อนไขการตัดดีที่สุด ซึ่งเป็นเงื่อนไขการตัดที่ให้ความหยাবผิวชิ้นงานต่ำ ความสึกหรอมีดตัดต่ำ และใช้แรงในการตัดต่ำ

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการทดลองแปรผันเงื่อนไขในการตัดดังนี้ อัตราป้อนป้อนตัด 0.15 และ 0.18 มิลลิเมตรต่อรอบ ความเร็วตัด 150, 250 และ 350 เมตรต่อนาที ความลึกตัด 0.5 และ 1.0 มิลลิเมตร โดยใช้วิธีการหล่อเย็นแบบแห้ง แบบเปียก และแบบสารหล่อเย็นน้อยที่สุด ที่ความดันในการฉีดสารหล่อเย็น 3,5,7 บาร์ ซึ่งออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคเชิงแฟคทอเรียล ผลตอบที่สนใจ 5 ตัวคือ ความหยাবผิวชิ้นงาน ความสึกหรอมีดตัด แรงตัดแนวแกน แรงตัดแนวรัศมี และแรงตัดหลัก

ผลจากการทดลองพบว่า ด้วยความเชื่อมั่นที่ 95% ความเร็วตัดมีผลต่อผลตอบทั้ง 5 ตัว อัตราป้อนตัดไม่มีผลต่อแรงตัดแนวรัศมี ความลึกตัดไม่มีผลต่อความหยাবผิวชิ้นงานและแรงตัดแนวแกน โดยเงื่อนไขการตัดที่ให้ผลตอบทั้ง 5 ตัวดีที่สุดคือ เงื่อนไขการตัดที่อัตราป้อนตัด 0.15 มิลลิเมตรต่อรอบ ความเร็วตัด 250 เมตรต่อนาที ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร ด้วยการตัดแบบแห้ง

ความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยคือ การพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ โดยทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

## 13. A.L.D. Skury, G.S. Bobrovnichii and S.N. Monteiro, (2004)

การวิเคราะห์การประยุกต์ใช้การหลอมละลายต่างในการทำเพชรให้บริสุทธิ์ที่เหมาะสม เพื่อแก้ปัญหาสิ่งเจือปนในเพชร โดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Experiment factorial design) และวิธีการพื้นผิวตอบ (Response surface methodology) โดยมีปัจจัยที่ศึกษา 4 ปัจจัย ได้แก่ โปแตสเซียมไนเตรต ( $KNO_3$ ) โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) อุณหภูมิ และเวลามีผิวของเพชรเป็นตัวแปรผลตอบ จากการทดลองพบว่า การตั้งค่าของปัจจัยที่ดีที่สุดในการทดลองคือ การตั้งอุณหภูมิที่  $475\text{ }^{\circ}\text{C}$  ใช้เวลา 70 นาที จำนวนโพแตสเซียมไนเตรต ( $KNO_3$ ) เท่ากับ 142.5 กรัม และจำนวนโพแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 244 กรัม

ความเกี่ยวข้องกับการวิจัยคือ การเลือกวิธีการออกแบบการทดลองที่เหมาะสมกับปัจจัยที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตา นำไปสู่การเลือกระดับของแต่ละปัจจัยที่ให้ผลดีที่สุดสำหรับการทดลอง

#### 14. Mohammad A. Younes and M. Shahtout, M.N. Damir, (2005)

บทความนี้กล่าวถึงการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และความสามารถของเครื่องจักรในกระบวนการ Hot Rolling การออกแบบการทดลอง นำไปสู่การเลือกพารามิเตอร์และตัวบ่งชี้ความสำเร็จของกระบวนการ แสดงดังตารางที่ 2.6 การทดลองจะช่วยให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดสำหรับการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และความสามารถของเครื่องจักรในกระบวนการ หลังจากกำหนดพารามิเตอร์ของกระบวนการ ได้แก่ Slab temperature ( $T_s$ ), Reduction ratio ( $R_d$ ) และ The exit strip speed ( $S_p$ ) และตัวบ่งชี้ลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ คือ Profile and flatness of rolled sheets และ Distance between chatter marks พารามิเตอร์เหล่านี้เป็นผลทางตรงมาจากความไม่แน่นอนของตัวบ่งชี้ความสามารถของเครื่องจักร ประกอบด้วย Rolling force, Vibration measurement และ The rolling mill wear rate

ตารางที่ 2.6 ค่าพารามิเตอร์และตัวบ่งชี้ความสามารถของกระบวนการ

Process parameter	Before modification	After modification
Slab temperature	1100-1115 °C	1120-1140 °C
Reduction ratio	53-58%	48-52%
Rolling force	24000-28000 kN	< 23000 kN
Vibration level	2.0-6.0 mm/s	< 2.0 mm/s
Distance between chatter marks	0-200 cm	< 200 cm

หลังจากการปรับปรุงพบว่า

- Rolling force ลดลง 15%
- Reduction ratio ลดลง 8%
- Percent of rejected products ลดลงจาก 15% เป็น 5.7%

ความเกี่ยวข้องกับการวิจัยคือ การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนในกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตา เพื่อนำไปสู่การค้นหาสาเหตุของความคลาดเคลื่อนดังกล่าว และการปรับปรุงกระบวนการและลดความคลาดเคลื่อนของค่า Axis ของเลนส์ต่อไป

15. Chen Xiaobo, Xi Jun tong, Jiang Tao and Jin Ye, (2007)

บทความนี้กล่าวถึงระบบการวัดรูปร่างสามมิติ โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการสรุปรายละเอียดพื้นฐานของมุม การบิดเบือนของเลนส์ และหน่วยของการฉายภาพ เพื่อใช้ในการอธิบายความถูกต้องของระบบ สิ่งสำคัญในการออกแบบคือ โครงสร้างควรที่จะใช้กับการส่องผ่านของลำแสงที่มีคุณภาพสูง มีความถูกต้องสูง หลังจากเครื่องมือวัดได้รับมาตรฐานและทำการวัด พบว่ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นน้อยกว่า 0.04 มิลลิเมตร ความผันแปรของระบบเท่ากับ 0.035 ความแปรปรวนเฉลี่ยเท่ากับ 0.076 และสามารถแสดงผลการวัดมุมได้  $360^{\circ}$  การพัฒนาระบบการวัดรูปร่างดังกล่าวเป็นความคาดหวังสำหรับอุตสาหกรรม

ความเกี่ยวข้องกับการวิจัยคือ การวิเคราะห์ความแม่นยำของเครื่องมือวัด หลังจากการออกแบบและทดลองใช้ในการวัดค่าความคลาดเคลื่อน พร้อมทั้งกำหนดมาตรฐานของเครื่องมือ ซึ่งเครื่องมือวัดดังกล่าวจะต้องอยู่ในสภาวะมีเสถียรภาพและได้รับมาตรฐานการรับรองจากบริษัท ก่อนจะนำไปใช้ในขั้นตอนการเก็บข้อมูลความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจริงในกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### การศึกษากระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตา

#### 3.1 กระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตา

อุตสาหกรรมผลิตเลนส์ เป็นอุตสาหกรรมที่มีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องและมีการแข่งขันในอุตสาหกรรมประเภทเดียวกันค่อนข้างสูง ดังนั้นการดำเนินธุรกิจในปัจจุบันจึงต้องมีการปรับปรุงองค์ประกอบอย่างต่อเนื่องทั้งกระบวนการผลิตและการบริการให้มีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผล ซึ่งถือว่าเป็นส่วนสำคัญของการพัฒนาองค์กร ไม่เพียงขึ้นอยู่กับการวางแผน การควบคุมและการปรับปรุงกระบวนการผลิตเท่านั้น องค์กรจะต้องเข้าใจถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และบริการ ตลอดจนการดำเนินงานขององค์กรทั้งหมด ซึ่งลูกค้าจะเป็นผู้ตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์หรือรับบริการนั้นๆ จากองค์กร

โรงงานที่ใช้เป็นกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตเลนส์แว่นตารายใหญ่ของประเทศ ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดของบริษัท คือ เลนส์แว่นตา ซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตหลายขั้นตอน อันประกอบด้วย 3 กระบวนการหลักคือ กระบวนการขึ้นรูปเลนส์ (Surfacing) กระบวนการเคลือบเลนส์ (HMC) และกระบวนการตัดแต่งเลนส์ (Finishing) จากการเก็บข้อมูลของแผนกตัดแต่งเลนส์ จากอดีตจนถึงปัจจุบัน พบว่าบริษัทฯ ประสบกับปัญหาที่สำคัญ คือ เกิดความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ (Axis) ซึ่งเป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในระดับสูง ส่งผลต่อการปฏิเสธสินค้าจากลูกค้า โดยปัจจุบันทางบริษัทฯ ยังไม่ทราบสาเหตุของความคลาดเคลื่อนดังกล่าวว่าเกิดจากกระบวนการย่อยกระบวนการใด เนื่องจากแผนกตัดแต่งเลนส์ประกอบด้วย 5 กระบวนการย่อย ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดของกระบวนการในขั้นตอนถัดไป

ปัจจุบันการตอบสนองของความพึงพอใจของลูกค้าเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จตัวหนึ่งที่สำคัญมากของการดำเนินธุรกิจ ดังนั้นการลดความคลาดเคลื่อนในกระบวนการตัดแต่งเลนส์ จึงเป็นการแก้ไขปัญหามีความสำคัญมาก ถ้าหากสามารถค้นหาสาเหตุของความคลาดเคลื่อนได้ก็จะนำไปสู่การลดความคลาดเคลื่อนของกระบวนการได้ในที่สุด รวมทั้งเพิ่มความเชื่อมั่นให้กับลูกค้า นอกจากนี้ยังทำให้ลดการสูญเสียค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาให้กับลูกค้าอีกด้วย

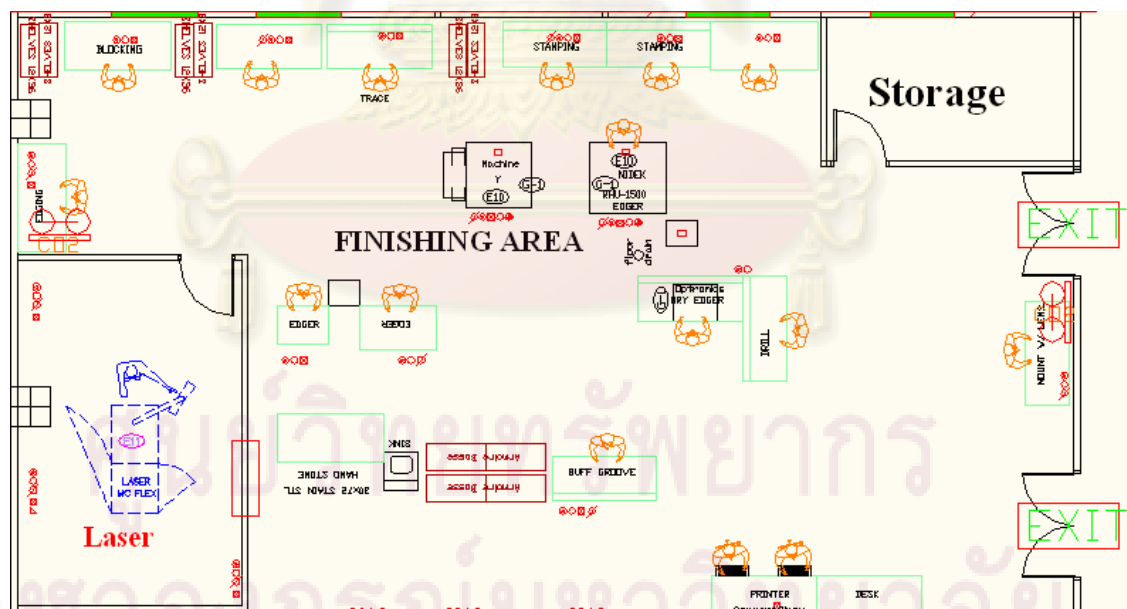
### 3.2 ประวัติความเป็นมาและรายละเอียดของโรงงานการศึกษา

#### 3.2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของบริษัทฯ

บริษัทฯ การศึกษา ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับเลนส์แว่นตา ซึ่งเป็นผู้ผลิตเลนส์แว่นตาส่งออก เนื่องจากในบริษัทฯ มีส่วนของการดำเนินงานหลายส่วน แต่ในที่นี้จะกล่าวรายละเอียดในส่วนของการกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ (New Product) ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่คือ

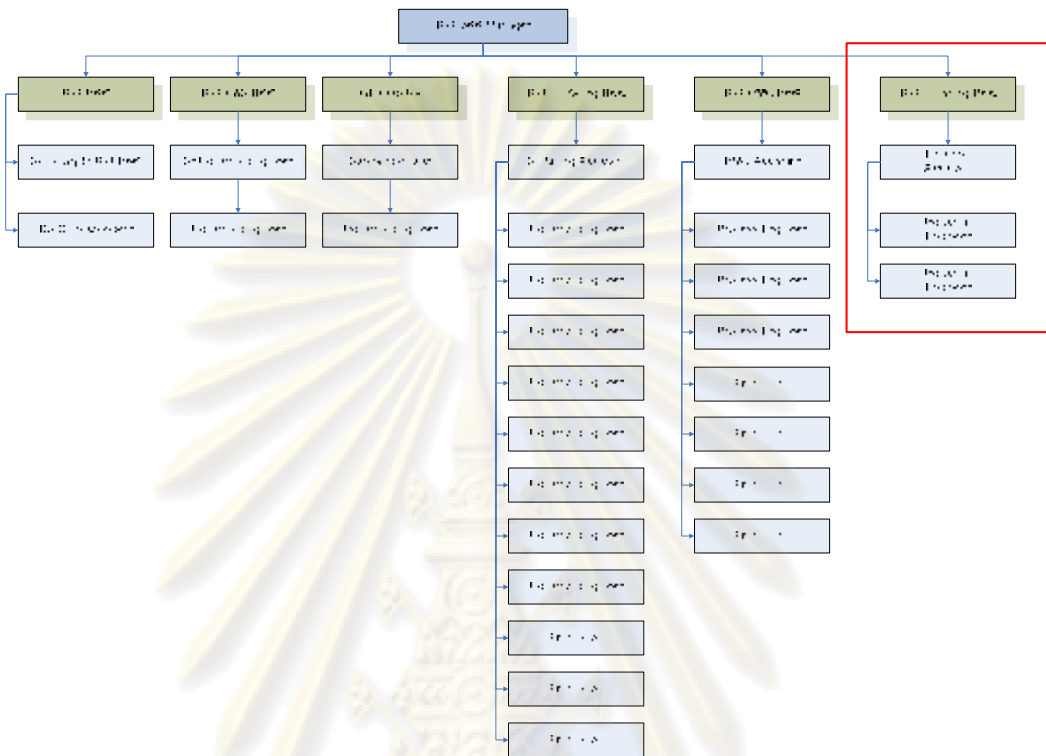
1. Surfacing Process เป็นกระบวนการกัดเลนส์และขัดเลนส์ให้ได้ค่าทางสายตาตามใบรายการสินค้าที่ลูกค้ากำหนด
2. Hard Multi-coat Process (HMC) เป็นกระบวนการเคลือบแข็งเลนส์เพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านความแข็งแรง และยืดอายุการใช้งานให้กับเลนส์
3. Finishing Process เป็นกระบวนการตัดแต่งเลนส์ รวมทั้งการประกอบเลนส์เข้ากับเฟรมตามใบรายการสินค้าของลูกค้า (Make to order)

ในที่นี้จะพิจารณากระบวนการตัดแต่งเลนส์ (Finishing Process) เท่านั้น ซึ่งแสดงแผนผังพื้นที่การทำงานของแผนกดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังแผนกตัดแต่งเลนส์

### 3.2.2 โครงสร้างองค์กรของแผนกตัดแต่งเลนส์



รูปที่ 3.2 แผนผังการบริหารงานแผนกตัดแต่งเลนส์

จากรูปที่ 3.2 ในที่นี้จะขออธิบายเฉพาะหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับ  
 ครงงานวิจัยนี้เท่านั้น คือ แผนกตัดแต่งเลนส์ (Finishing)

### 3.2.3 ผลิตรภัณฑ์ของบริษัทฯ






ทางบริษัทฯ ได้ผลิตเลนส์แว่นตาเพื่อจำหน่ายทั้งสิ้น 3 ชนิด แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ชนิดของเลนส์

ชนิดที่	ชนิดของเลนส์	รูปภาพประกอบ
1	เลนส์ค่าสายตาเดียว (Single Vision Lens)	
2	เลนส์ไร้รอยต่อ (Progressive Lens)	
3	เลนส์ผู้สูงอายุ (Bifocal Lens)	

ก่อนการส่งสินค้าไปยังลูกค้า เเลนส์จะต้องผ่านการประกอบกับเฟรมตามที่ลูกค้ากำหนดในใบรายการสินค้าทุกครั้ง ซึ่งในแต่ละครั้งลูกค้าจะกำหนดชนิดของเฟรมที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ชนิดของเฟรม

ชนิดที่	ชนิดของเฟรม	รูปภาพประกอบ
1	แบบพลาสติก (Plastic Rims)	
2	แบบโลหะ (Metal Rims)	
3	แบบไม่มีกรอบด้านเดียว (Semi rimless frames or grooved)	
4	แบบไม่มีกรอบสองด้าน (Rimless or drilled)	
5	แบบติดกาว (Glued frames)	

#### 3.2.4 กระบวนการผลิตของแผนกตัดแต่งเลนส์



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนกระบวนการผลิตแผนกตัดแต่งเลนส์

หลังจากรับวัตถุดิบมาจากคลังสินค้าหรือรับรายการสินค้ามาจากลูกค้า เช่น Rx-Lab, Mass Production, ร้านแว่น เป็นต้น จะมีพนักงานเป็นผู้ลำเลียงวัตถุดิบมายังแผนก RxT Finishing Platform (กระบวนการตัดแต่งเลนส์) เพื่อเข้าสู่กระบวนการต่อไป แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การรับวัตถุดิบ

#### กระบวนการที่ 1: Preparation

กระบวนการแรกของกระบวนการผลิตในแผนก Finishing เป็นกระบวนการที่พนักงานเริ่มต้นการทำงาน โดยในกระบวนการดังกล่าวสามารถแยกย่อยขั้นตอนการทำงานออกเป็น 3 ส่วนย่อยๆ ดังนี้

##### ส่วนที่ 1 การวัดขนาดของเฟรม

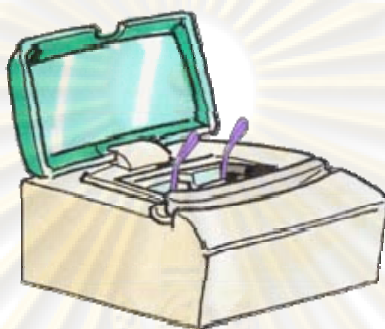
พนักงานจะนำเฟรมที่ลูกค้ากำหนดและส่งมาพร้อมกับการสั่งสินค้า ซึ่งเป็นเฟรมต้นแบบที่ใช้ในการวัดขนาดของเฟรม แสดงดังรูปที่ 3.5 ก่อนการวัดขนาดของเฟรมทุกครั้ง พนักงานจะนำเฟรมและเลนส์แบบ Finish Lens (เลนส์ที่ผ่านกระบวนการผลิตในทุกขั้นตอนมาแล้ว) มาจัดวางในกล่องที่จัดเตรียมไว้



รูปที่ 3.5 เลนส์และเฟรมตามใบรายการสินค้า



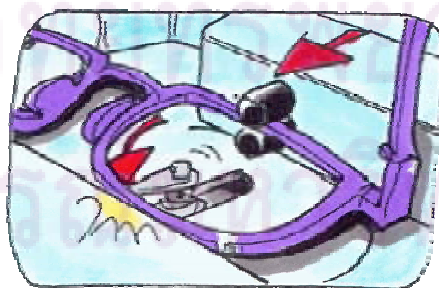
หลังจากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนของการวัดขนาดของเฟรมด้วยเครื่อง Tracer ซึ่งในที่นี้เครื่องที่ใช้ในการวัดขนาดของเฟรมมี 2 เครื่อง ได้แก่ TESS และ NIDEK แต่มีการใช้งานเพียงเครื่องเดียวคือเครื่อง TESS แสดงดังรูปที่ 3.6 เนื่องจากเป็นเครื่องที่ได้รับมาตรฐานจาก Standard Essilor (มาตรฐานการกำหนดของทางบริษัท)



รูปที่ 3.6 เครื่อง Tracer (TESS)

เนื่องจากเฟรมมีความหลากหลายของชนิดและรูปแบบ ดังนั้นในการวัดขนาดของเฟรมจึงมีวิธีการวัดที่แตกต่างกันดังนี้

กรณีเฟรมแบบพลาสติก (Plastic Rims) ในการวัดขนาดของเฟรม พนักงานจะนำเฟรมมาวางในเครื่อง Tracer ณ ตำแหน่งที่กำหนด หลังจากนั้นพนักงานจะเป็นผู้เลื่อนตัวจับยึด เพื่อให้เฟรมอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง ซึ่งตำแหน่งของการวางเฟรมควรที่จะอยู่ในตำแหน่งตรงกลาง สำหรับการทำงานของเครื่อง จะมีตัว Stylus (หัวเข็ม) ทำหน้าที่ในการวิ่งรอบเพื่อวัดขนาดเฟรมในแต่ละด้าน (ขวาและซ้าย) เพื่อทำการวัดด้วยระบบอัตโนมัติ แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การวัดเฟรมแบบพลาสติก

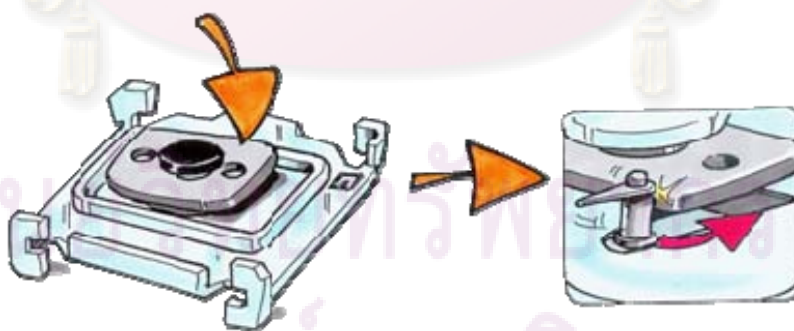
กรณีเฟรมแบบโลหะ (Metal Rims) ในการวัดขนาดของเฟรม จะมีขั้นตอนการวัด เช่นเดียวกับเฟรมแบบพลาสติก แต่เนื่องจากเป็นเฟรมแบบโลหะ ขนาดความหนาของเฟรมจะมีขนาดเล็กกว่าเฟรมแบบพลาสติก ดังนั้นในการทำงานของเครื่องจะมีข้อแตกต่างกันในส่วนสุดท้ายของการวัดขนาดของเฟรมคือ ตัว Stylus จะทำการวัดมุม (Groove Angle) อีกครั้งก่อนสิ้นสุดการวัด แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การวัดเฟรมแบบโลหะ

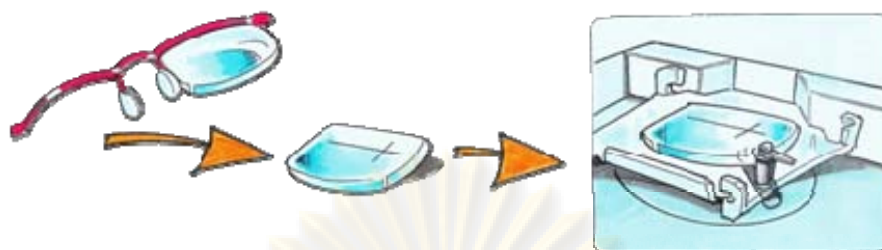
กรณีเฟรมแบบเซาะร่องหรือแบบเจาะ (Grooved or Drill Frames) ในการวัดขนาดของเฟรมจะไม่สามารถใช้เฟรมโดยตรงในการวัดได้ เนื่องจากเฟรมดังกล่าวไม่มีขอบแบบเต็มเฟรม ดังนั้นในการวัดขนาดของเฟรมสามารถกระทำได้โดย

- ใช้เลนส์ตัวอย่าง (Pattern) ของเฟรมในการวัดโดยเลือกวัดเพียงหนึ่งด้าน หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการคัดลอกเลนส์อีกด้านให้โดยอัตโนมัติ แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การวัดเฟรมแบบเซาะร่องหรือแบบเจาะโดยใช้เลนส์ตัวอย่าง

- ใช้เลนส์จริงที่ติดมากับเฟรม ในการวัดโดยเลือกวัดเพียงหนึ่งด้าน หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการคัดลอกเลนส์อีกด้านให้โดยอัตโนมัติเช่นกัน แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การวัดเฟรมแบบเซาะร่องหรือแบบเจาะโดยใช้เลนส์จริง

### ส่วนที่ 2 การสร้างชื่อชิ้นงานใหม่ (Created New Job)

หลังจากผ่านกระบวนการทำงานในส่วนที่ 1 ข้อมูลที่ได้จากการวัดขนาดของเฟรม จะถูกส่งผ่าน Software Shape Leader (โปรแกรมที่ใช้ในการแสดงผลรูปร่างของเฟรมที่ผ่านมาจากกระบวนการในส่วนที่ 1) เพื่อแปลงเป็นไฟล์ หลังจากนั้นจะเริ่มป้อนค่าชื่อและรายละเอียดของชิ้นงานใหม่ (New Job) ที่ทำการกำหนดไว้ข้างต้นด้วย Software pPiecesControl เมื่อป้อนข้อมูลครบถ้วนก่อนการเลือกปุ่ม Generate OF ต้องทำการเปิดข้อมูลจากไฟล์ D:\data\receive\order จาก Software ตัวถัดไปก่อนเพื่อพิจารณาว่าการ Created New Job นั้นถูกต้อง

### ส่วนที่ 3 การบล็อกเลนส์ (Blocking)

เป็นขั้นตอนของการบล็อกเลนส์เพื่อจับยึดกับตัวจับยึด (Block) ก่อนเข้าสู่กระบวนการตัดเลนส์ ในที่นี้เครื่องบล็อกเลนส์มีทั้งหมด 2 เครื่อง แสดงดังรูปที่ 3.11 ได้แก่ เครื่อง WECO Verifier Pro และเครื่อง 3B



3B



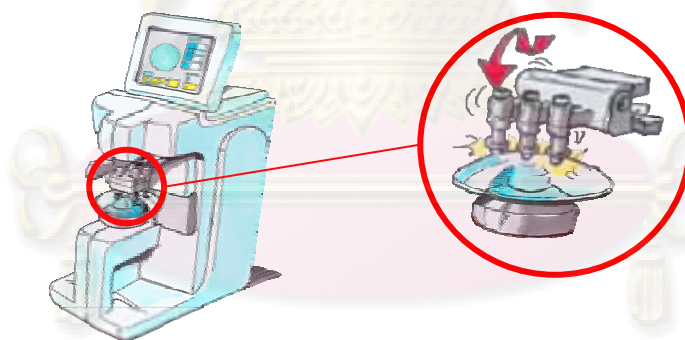
WECO Verifier Pro

รูปที่ 3.11 ชนิดของเครื่องบล็อกเลนส์

ซึ่งกระบวนการนี้จะเป็นประโยชน์ในกรณีของการจับยึดระหว่างตัวเลนส์กับหัว Chuck ของเครื่องตัดเลนส์ในแต่ละเครื่อง เนื่องจากเครื่องตัดเลนส์มีจำนวนทั้งหมด 4 เครื่อง ได้แก่ ES-3, 7E, Triumph และ Compass ซึ่งหัว Chuck ในแต่ละเครื่องก็มีขนาดและรูปแบบที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการบดล็อกเลนส์จึงต้องมีการพิจารณาให้มีความสัมพันธ์กับเครื่องตัดเลนส์ด้วย แสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องบดล็อกเลนส์กับเครื่องตัดเลนส์

เครื่องที่	ชื่อเครื่อง Block	เครื่องตัดเลนส์ที่ใช้	หมายเหตุ
1	WECO Verifier Pro	- Triumph - Compass - ES-3	
2	3B	- 7E - ES-3	ก่อนการบดล็อกต้องผ่านการกำหนดจุดอ้างอิงบนเลนส์จากเครื่อง Focimeter ก่อนเสมอแสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การกำหนดจุดอ้างอิงบนเลนส์ของเครื่อง Focimeter

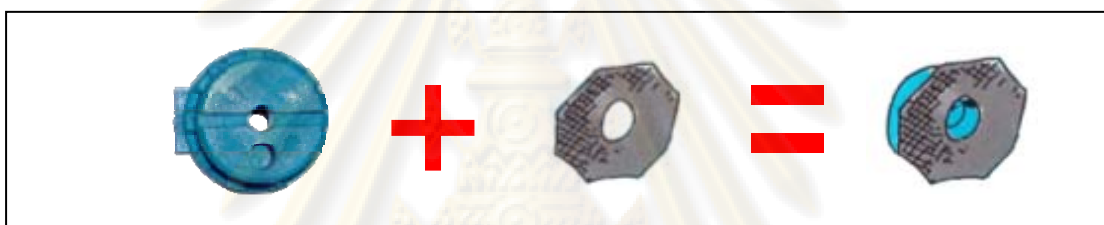
สำหรับการบดล็อกเลนส์ ลักษณะการทำงานของเครื่องบดล็อกเลนส์มีข้อแตกต่างกันดังนี้

- เครื่อง WECO Verifier Pro เป็นเครื่องที่มีหลักการทำงานทั้งแบบการปฏิบัติงานจริงด้วยความสามารถของพนักงานโดยอาศัยคู่มือการใช้งาน (Manual) และแบบการปฏิบัติงานด้วยการทำงานโดยอัตโนมัติของเครื่อง (Automatic) องค์ประกอบและหน้าจอแสดงผลของเครื่องแสดงในภาคผนวก ข

- เครื่อง 3B เป็นเครื่องที่มีหลักการทำงานทั้งแบบการปฏิบัติงานจริงด้วยความสามารถของพนักงานโดยอาศัยคู่มือการใช้งาน (Manual) และแบบการปฏิบัติงานด้วยการทำงานโดยอัตโนมัติของเครื่อง (Automatic) ก่อนการบล็อกทุกครั้งต้องมีการกำหนดจุดอ้างอิงบนเลนส์จากเครื่อง Focimeter ก่อนเสมอ องค์ประกอบและหน้าจอแสดงผลของเครื่องแสดงในภาคผนวก ข

ขั้นตอนของการบล็อกเลนส์ของเครื่อง WECO Verifier Pro

1. นำตัวจับยึด (Block) มาติดกับสติ๊กเกอร์ (Pad) เพื่อเป็นตัวจับยึดกับขั้นตอนของการบล็อกเลนส์ แสดงดังภาพที่ 3.13 ซึ่งในการบล็อกแต่ละเครื่องก็จะใช้ตัวจับยึดที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 3.4 ขึ้นอยู่กับหัว Chuck บนเครื่องบล็อกด้วย



รูปที่ 3.13 การติดตัวจับยึดกับสติ๊กเกอร์

ตารางที่ 3.4 ขนาดและรูปแบบของตัวจับยึด

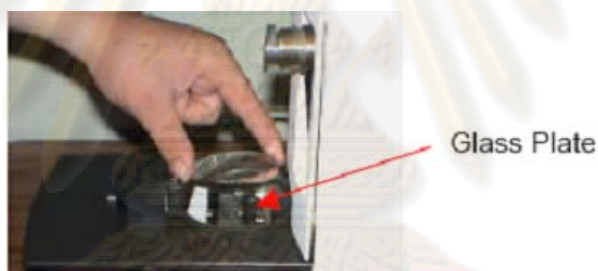
แบบที่	ลักษณะของตัวจับยึด	ขนาด
1		$B \geq 27\text{mm}$
2		$27\text{mm} > B \geq 20\text{mm}$
3		$20\text{mm} > B \geq 18\text{mm}$
4		$B \geq 27\text{mm}$
5		$27\text{mm} > B \geq 20\text{mm}$

2. นำตัวจับยึดที่ติดสติกเกอร์มาใส่ที่หัว Chuck ให้แน่นสนิทกับฐานพอดี แสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การวางตัวจับยึดติดกับหัว chuck ของเครื่อง WECO Verifier Pro

3. นำเลนส์ที่จะทำการบล็อกมาวางลงบน Glass Plate แสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การวางเลนส์ก่อนการบล็อกเลนส์ของเครื่อง WECO Verifier Pro

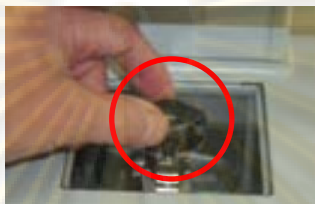
4. เริ่มการทำงานโดยโปรแกรมการบล็อกเลนส์ แสดงดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 กระบวนการบล็อกเลนส์ของเครื่อง WECO Verifier Pro

ขั้นตอนของการบดล็อกเลนส์ของเครื่อง 3B

1. นำตัวจับยึดมาติดกับสติกเกอร์ เพื่อเป็นตัวจับยึดกับขั้นตอนของการบดล็อกเลนส์ เช่นเดียวกับเครื่อง WECO Verifier Pro
2. นำตัวจับยึดที่ติดสติกเกอร์มาใส่ที่หัว Chuck ให้แนบสนิทกับฐานพอดี แสดงดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 การวางตัวจับยึดติดกับหัว chuck ของเครื่อง 3B

3. เลือกฟังก์ชันการใช้งานเพื่อเลื่อนตัวจับยึดไปไว้ ณ ตำแหน่งที่กำหนด
4. พนักงานทำการจับเลนส์ (ผ่านการกำหนดจุดอ้างอิงบนเลนส์มาแล้ว) วางลงบนจุดพักเลนส์ โดยให้ด้านที่ต้องการติดตัวจับยึดวางอยู่ด้านล่าง แสดงดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 การวางเลนส์ก่อนการบดล็อกเลนส์ของเครื่อง 3B

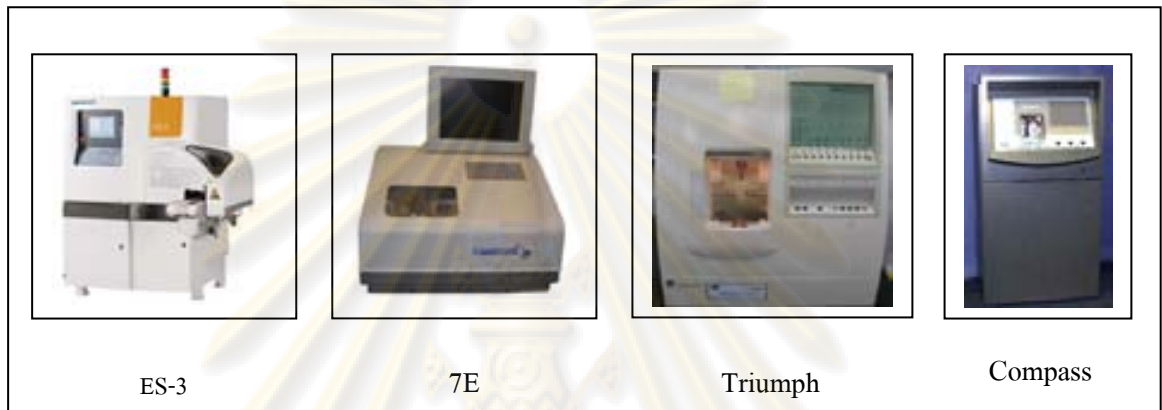
5. พนักงานทำการเหยียบสวิตช์ ซึ่งวางอยู่ใต้เครื่อง 3B เพื่อทำการบดล็อกเลนส์ได้เลนส์ที่ผ่านการบดล็อก แสดงดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 เลนส์ที่ผ่านกระบวนการบดล็อกเลนส์

## กระบวนการที่ 2: Edging

- เป็นกระบวนการตัดเลนส์ ในที่นี้เครื่องตัดเลนส์มีทั้งหมด 4 เครื่อง แสดงดังภาพที่ 3.20 ได้แก่ เครื่อง ES-3, เครื่อง 7E, เครื่อง Triumph และเครื่อง Compass องค์ประกอบและหน้าจอแสดงผลของแต่ละเครื่องแสดงในภาคผนวก ข



รูปที่ 3.20 ชนิดของเครื่องตัดเลนส์

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าเครื่องตัดเลนส์แต่ละเครื่องจะสามารถใช้งานได้กับเลนส์ที่ผ่านการบล็อกจากเครื่องบล็อกเลนส์ที่แตกต่างกัน เนื่องจากหัว Chuck ในแต่ละเครื่องมีรูปแบบและขนาดที่ต่างกัน แสดงดังรูปที่ 3.21

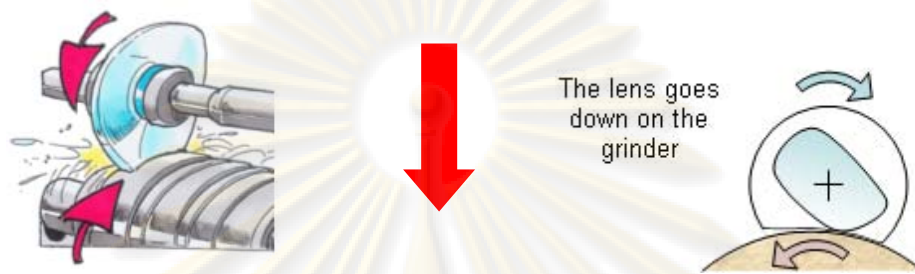


รูปที่ 3.21 รูปแบบและขนาดของหัว Chuck และการเลือกตัวจับยึดที่เหมาะสม



รูปแบบการทำงานของเครื่องตัดเลนส์แบ่งออกเป็น

1. การตัดหยาบ (Grinding) เป็นขั้นตอนแรกของการตัดเลนส์ โดยเครื่องตัดจะตัดเลนส์ให้ได้ตามรูปร่างที่ต้องการ แต่ขนาดอาจจะยังไม่เป็นไปตามต้องการ แสดงดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 การตัดเลนส์แบบหยาบ

การตัดละเอียด (Milling) เป็นการตัดเลนส์ให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ แสดงดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 การตัดเลนส์แบบละเอียด

2. การเจาะ (Drilling) เป็นขั้นตอนของการเจาะเลนส์ในกรณีที่เป็นแบบ Groove และ Rimless แสดงดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 การเจาะเลนส์

3. การเซาะร่อง (Notching) เป็นขั้นตอนการเซาะร่องเลนส์เพื่อใช้ในการประกอบขาแว่น กรณีที่เฟรมเป็นแบบ Groove และ Rimless แสดงดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 การเซาะร่องเลนส์

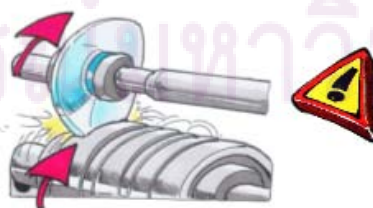
สำหรับกระบวนการตัดเลนส์ มีวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเลนส์อยู่ 2 ชนิด ได้แก่ เลนส์แบบ Organic และเลนส์แบบ Polycarbonate ซึ่งแต่ละชนิดจะมีกระบวนการผลิตที่ต่างกันบางประการคือ การใช้น้ำหล่อเย็น

เลนส์แบบ Organic จะใช้น้ำหล่อเย็นในกระบวนการตัดเลนส์ แสดงดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 การตัดเลนส์แบบ Organic

เลนส์แบบ Polycarbonate จะไม่ใช้น้ำหล่อเย็นในกระบวนการตัดเลนส์ แสดงดังรูปที่ 3.27






รูปที่ 3.27 การตัดเลนส์แบบ Polycarbonate

กระบวนการตัดเลนส์แบ่งออกเป็น

1. การตัดเลนส์ (Roughing) สามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ แสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 รูปแบบของการตัดเลนส์

แบบที่	รูปแบบของการตัดเลนส์	จุดประสงค์ของการตัด	รูปภาพประกอบ
1	แบบ Bevel	เพื่อให้ตำแหน่งและการประกอบเลนส์พอดีกับขนาดของเฟรม	
2	แบบ Rimless	เพื่อเป็นการเตรียมพื้นผิวของเลนส์ก่อนเข้าสู่การตัดแบบ Groove และทำให้ลักษณะของเลนส์เหมาะสมกับเฟรมแบบ Rimless	
3	แบบ Groove	เพื่อให้ตำแหน่งและการประกอบเลนส์พอดีกับขนาดของเฟรมแบบไนลอน (Nylor or Semi-rimless)	

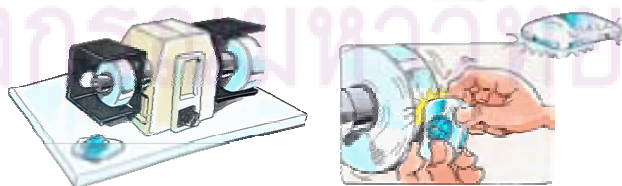
2. การขัดเงาเลนส์ (Polishing)

เป็นกระบวนการที่ทำหลังจากการตัดเลนส์ แต่มีบางกรณีที่สามารถกระทำได้ไปพร้อมๆ กับกระบวนการตัดเลนส์ ซึ่งในการบิอนค่าต่างๆ ก่อนการตัดเลนส์จะมีฟังก์ชันการใช้งานที่สามารถกำหนดการทำ Polishing ไปพร้อมกับการตัดเลนส์

ดังนั้น กระบวนการขัดเงาเลนส์จึงสามารถแบ่งวิธีการออกเป็น 2 วิธี คือ

2.1 การขัดเงาแบบอัตโนมัติ (Automatic Polishing) เป็นการขัดเงาโดยการบิอนค่าอัตโนมัติที่เครื่องตัดเลนส์ แล้วเครื่องตัดเลนส์จะทำการขัดเงาแบบอัตโนมัติ

2.2 การขัดเงาแบบใช้พนักงานในการขัด (Manual Polishing) เป็นการขัดเงาโดยพนักงานเป็นผู้จับเลนส์โดยตรง เพื่อขัดเงาด้วยเครื่องขัดแบบ Manual แสดงดังรูปที่ 3.28



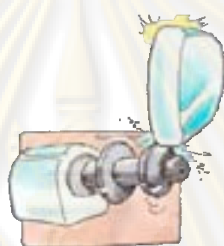
รูปที่ 3.28 การขัดเงาแบบใช้พนักงานในการขัด

### 3. การลบคมเลนส์ (Chamfering or Pin Bevel)

เป็นกระบวนการที่ทำหลังจากการตัดเลนส์ แต่มีบางกรณีที่สามารถกระทำได้ไปพร้อมๆ กับกระบวนการตัดเลนส์ ซึ่งในการป้อนค่าต่างๆ ก่อนการตัดเลนส์จะมีฟังก์ชันการใช้งานที่สามารถกำหนดการทำ Chamfering ไปพร้อมกับการตัดเลนส์

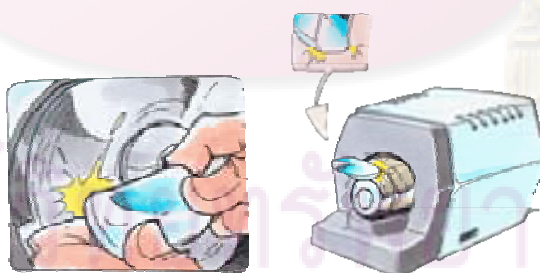
ดังนั้น กระบวนการลบคมเลนส์จึงสามารถแบ่งวิธีการออกเป็น 2 วิธี คือ

3.1 การลบคมแบบอัตโนมัติ (Automatic Chamfering) เป็นการลบคมโดยการป้อนค่าอัตโนมัติที่เครื่องตัดเลนส์ เครื่องตัดเลนส์จะลบคมแบบอัตโนมัติ แสดงดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 การลบคมแบบอัตโนมัติ

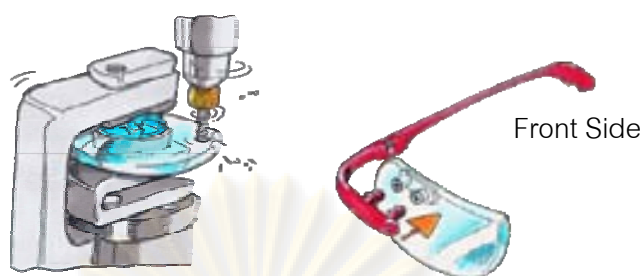
3.2 การลบคมแบบใช้พนักงานในการลบคม (Manual Chamfering) เป็นการลบคมโดยพนักงานจะเป็นผู้จับเลนส์โดยตรง เพื่อลบคมด้วยเครื่องลบคมแบบ Manual แสดงดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 การลบคมแบบใช้พนักงานในการขัด

### 4. การเจาะเลนส์ (Drilling or Notching)

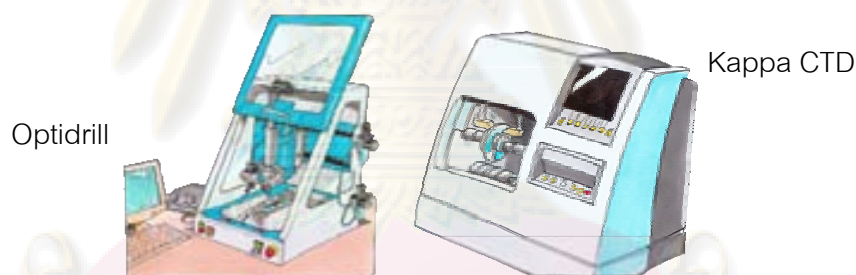
จุดประสงค์หลักของการเจาะเลนส์ คือ เพื่อใช้ในกระบวนการประกอบเลนส์กับขาแว่น ในการประกอบเลนส์ต้องประกอบจากด้านหน้าเลนส์เสมอ แสดงดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 การเจาะเลนส์

ในกระบวนการการเจาะเลนส์สามารถแบ่งวิธีการออกเป็น 2 วิธี คือ

4.1 การเจาะเลนส์แบบอัตโนมัติ (Automatic Drilling) เป็นการเจาะโดยการป้อนค่าอัตโนมัติที่เครื่องตัดเลนส์ เครื่องตัดเลนส์จะทำการเจาะแบบอัตโนมัติ หรือการป้อนค่าที่เครื่องเจาะเลนส์หลังจากการตัดเลนส์เรียบร้อยแล้ว ซึ่งเครื่องจักรจะทำงานด้วยระบบ Digital Control แสดงดังรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 การเจาะเลนส์แบบอัตโนมัติ

4.2 การเจาะแบบใช้พนักงานในการเจาะ (Manual Polishing) เป็นการเจาะโดยพนักงานจะเป็นผู้จับเลนส์กับตัวจับยึดของเครื่องเจาะเลนส์ เพื่อเจาะด้วยเครื่องเจาะเลนส์แบบ Manual

สำหรับกระบวนการเจาะแบบ Manual ยังแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ ดังนี้  
การใช้ไม้บรรทัด Digital ในการกำหนดตำแหน่งการเจาะเลนส์  
แสดงดังภาพที่ 3.33



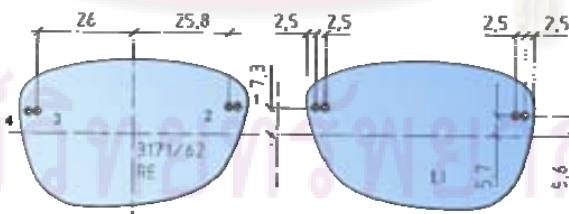
รูปที่ 3.33 การใช้ไมโครวัด Digital ในการกำหนดตำแหน่งการเจาะเลนส์

การกำหนดจุดบนเลนส์ก่อนการเจาะเลนส์ แสดงดังรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 การกำหนดจุดบนเลนส์ก่อนการเจาะเลนส์

ก่อนการเจาะเลนส์ทุกครั้ง พนักงานจะต้องกำหนดตำแหน่งของการเจาะเลนส์ที่ถูกต้อง และเหมาะสม เพื่อจะได้เลนส์ที่จะใช้ในการประกอบกับเฟรมได้อย่างมีคุณภาพมากที่สุด แสดง ตำแหน่งมาตรฐานของการเจาะเลนส์ดังรูปที่ 3.35

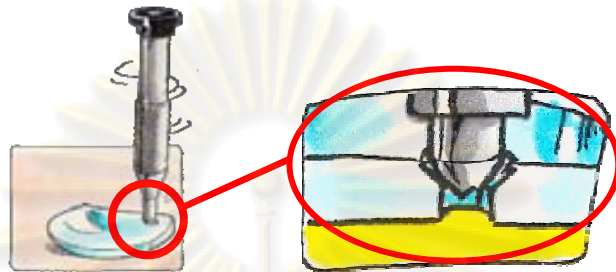


รูปที่ 3.35 การกำหนดตำแหน่งของการเจาะเลนส์

##### 5. การลบคมรูเจาะ (Hole Chamfreining)

เป็นกระบวนการที่กระทำหลังจากการเจาะเลนส์ เนื่องจากขณะที่ทำการเจาะเลนส์อาจมีบางส่วนของเลนส์ที่เกิดรอยร้าวหรือรอยแตก ในการทำ Chamfreining จึงมีผลดีใน

กรณีที่มีการประกอบเลนส์รอยร้าวหรือรอยแตกดังกล่าวจะไม่ขยายขนาดเป็นวงกว้าง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของเลนส์ในที่สุด แสดงดังรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 การลบคมรูเจาะ

### กระบวนการที่ 3: Mounting or Fitting

เป็นกระบวนการประกอบเลนส์ เนื่องจากเฟรมมีหลากหลายประเภท ดังนั้นในการประกอบเลนส์กับเฟรมแต่ละประเภทจึงมีข้อแตกต่างกันไปด้วย ก่อนการประกอบเลนส์พนักงานจะต้องทำความสะอาดเลนส์ทุกครั้ง ซึ่งเลนส์แต่ละชนิดจะมีการกำหนดพื้นที่ของการทำความสะอาดที่แตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 3.37



รูปที่ 3.37 การกำหนดพื้นที่ของการทำความสะอาดเลนส์

พื้นที่ในส่วนของการแวง (สีส้ม) เป็นพื้นที่ที่กำหนดให้มีการทำความสะอาดทุกครั้งก่อนการประกอบเลนส์ สามารถแบ่งวิธีการได้ตามชนิดของเฟรมดังนี้

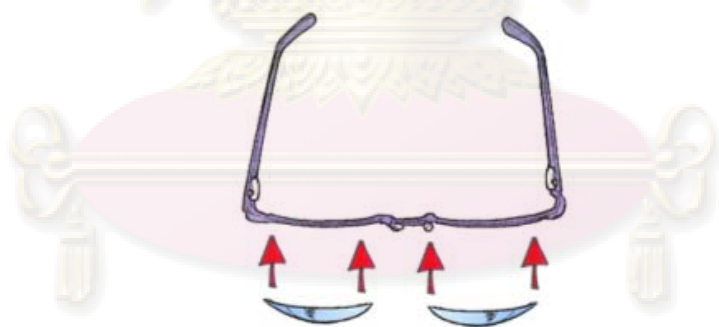
### 1. เฟรมแบบพลาสติก (Plastic Frame)

ขั้นตอนของการประกอบเลนส์แบบพลาสติก แสดงดังรูปที่ 3.38



รูปที่ 3.38 ลำดับขั้นตอนการประกอบเลนส์กับเฟรมแบบพลาสติก

1. นำเลนส์มาประกอบกับเฟรมโดยเริ่มการใส่เลนส์จากด้านขมับ (Temporal) โดยการใส่เลนส์จะต้องใส่จากบริเวณด้านหน้าเสมอ เริ่มประกอบจากเลนส์ด้านขวา แสดงดังรูปที่ 3.39



รูปที่ 3.39 การเริ่มประกอบเลนส์กับเฟรมแบบพลาสติก

2. หลังจากนั้นก็เลื่อนมาใส่เลนส์ด้านใกล้กับจมูก (Nasal)
3. ถัดมาใส่เลนส์บริเวณด้านล่างของขมับ
4. สุดท้ายจึงกดเลนส์ให้แนบสนิทพอดีกับเฟรม

กรณีที่ประกอบเลนส์ไม่สนิทพอดี อาจเกิดจากเฟรมมีความยืดหยุ่นน้อย สามารถเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับเฟรมได้โดยการให้ความร้อนกับเฟรมด้วยเครื่อง Heater แสดงดังรูปที่ 3.40





รูปที่ 3.40 เครื่อง Heater

หลังจากการประกอบเลนส์จะมีการตรวจสอบว่าเลนส์ที่ประกอบกับเฟรมเป็นไปตามมาตรฐานข้อกำหนดด้านความเครียดของ Essilor หรือไม่ โดยตรวจสอบโดยใช้เครื่อง Polariscope ในการวัด แสดงดังรูปที่ 3.41



ระดับความเครียดที่ยอมรับได้      ระดับความเครียดที่ยอมรับไม่ได้

รูปที่ 3.41 การตรวจสอบมาตรฐานข้อกำหนดด้านความเครียดของเลนส์

## 2. เฟรมแบบโลหะ (Metal Frame)

ขั้นตอนของการประกอบเลนส์แบบโลหะ

1. เริ่มการขันสกรูของเฟรมทั้งสองข้าง โดยเริ่มทำจากด้านขวาก่อนเสมอ
2. นำเลนส์มาประกอบกับเฟรมให้ได้ตำแหน่งเหมาะสม แสดงดังรูปที่ 3.42



รูปที่ 3.42 การนำเลนส์มาประกอบกับเฟรมแบบโลหะ

### 3. ชั้นสกรูให้แน่น แสดงดังรูปที่ 3.43





รูปที่ 3.43 การขันสกรูของเฟรมแบบโลหะ

หลังจากการประกอบเลนส์จะมีการตรวจสอบว่าเลนส์ที่ใส่กับเฟรมเป็นไปตามมาตรฐานข้อกำหนดหรือไม่ โดยการตรวจสอบจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

- ตรวจสอบความพอดีของการประกอบเลนส์กับเฟรมแสดงดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 การตรวจสอบความพอดีของการประกอบเลนส์กับเฟรมแบบโลหะ

แบบที่	รูปภาพประกอบ	คำอธิบาย	ระดับความพึงพอใจ
1		เลนส์มีขนาดพอดีกับเฟรม	Good
2		เลนส์มีขนาดใหญ่กว่าเฟรม	Poor
3		เลนส์มีขนาดเล็กกว่าเฟรม	Poor

การตรวจสอบความเครียด ทำเช่นเดียวกับเฟรมแบบพลาสติก

### 3. เฟรมแบบไม่มีกรอบด้านเดียว (Semi rimless frames or grooved)

ส่วนประกอบของการประกอบเฟรมแบบ Semi rimless แสดงดังรูปที่ 3.44 ประกอบด้วย

- Nylon frame
- Grooved lenses
- Plastic assembly ribbon



รูปที่ 3.44 ส่วนประกอบของการประกอบเฟรมแบบ Semi rimless

ขั้นตอนของการประกอบเลนส์แบบไม่มีกรอบด้านเดียว

1. นำเลนส์มาวางในเฟรม โดยเริ่มประกอบเลนส์จากด้านขวาก่อน แสดงดัง

รูปที่ 3.45



รูปที่ 3.45 การประกอบเลนส์กับเฟรมแบบไม่มีกรอบด้านเดียว

2. นำ Ribbon สอดเข้าไปบริเวณขอบเลนส์ทั้งสองด้าน แสดงดังรูปที่ 3.46

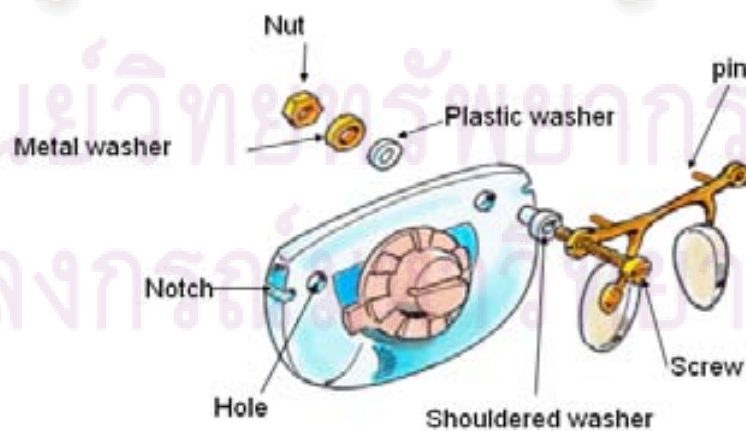


รูปที่ 3.46 การประกอบริบบิ้นเข้ากับเฟรมแบบไม่มีกรอบด้านเดียว

3. ใช้คู่มือในการดึง Ribbon จนแน่ใจว่าเลนส์กับเฟรมแนบสนิทกันพอดี
4. เฟรมแบบไม่มีกรอบสองด้าน (Rimless or drilled)

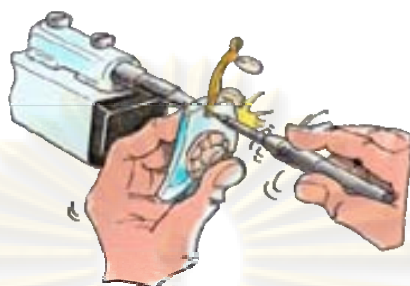
ขั้นตอนของการประกอบเลนส์แบบไม่มีกรอบสองด้าน

1. นำเลนส์มาทำการ Chamfreining บริเวณที่เจาะรูทุกจุด
2. นำเลนส์ด้านขวาประกอบเข้ากับตัวเชื่อมต่อเลนส์ตรงกลาง โดยเริ่มจากการใส่ชิ้นส่วน Shouldered washer ทั้งด้านหน้าและด้านหลังเลนส์ก่อน หลังจากนั้นนำ Scew มาใส่ด้านหน้าเลนส์ และนำ Metal washer และ Nut มาใส่ด้านหลังเลนส์ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 3.47



รูปที่ 3.47 ส่วนประกอบของการประกอบเลนส์แบบไม่มีกรอบทั้งสองด้าน

3. เริ่มขันสกรูทางด้านหลังของเลนส์ให้แน่น แสดงดังรูปที่ 3.48



รูปที่ 3.48 การขันสกรูชิ้นส่วนเชื่อมต่อตรงกลางของเฟรมแบบไม่มีกรอบทั้งสองด้าน

4. เลนส์ด้านซ้ายก็ทำเช่นเดียวกัน
5. หลังจากนั้นนำขาแว่นด้านขวาไปประกอบเข้ากับเลนส์ โดยขั้นตอนการประกอบจะทำเช่นเดียวกับข้อ 1 แสดงดังรูปที่ 3.49

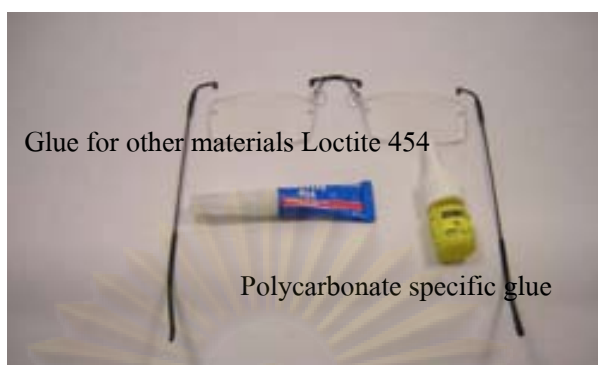


รูปที่ 3.49 การประกอบขาแว่นของเฟรมแบบไม่มีกรอบทั้งสองด้าน

6. ทำการขันสกรูให้แน่น
7. เลนส์ด้านซ้ายก็ทำเช่นเดียวกัน
4. เฟรมแบบติดกาว (Glued frames)

ส่วนประกอบของการประกอบเฟรมแบบติดกาวแสดงดังรูปที่ 3.50 ประกอบด้วย

- Glue for other materials Loctite 454
- Polycarbonate specific glue

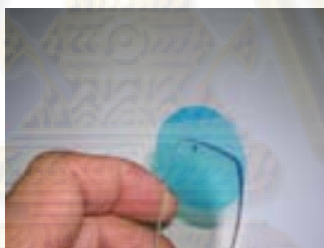


รูปที่ 3.50 ส่วนประกอบของการประกอบเฟรมแบบติดกาว

ขั้นตอนของการประกอบเลนส์แบบติดกาว

1. นำแผ่น Blue Chip มาติดที่ด้านหลังของเลนส์ เริ่มจากเลนส์ด้านขวา

แสดงดังรูปที่ 3.51



รูปที่ 3.51 การติดแผ่น Blue Chip กับเลนส์ในการประกอบเฟรมแบบติดกาว

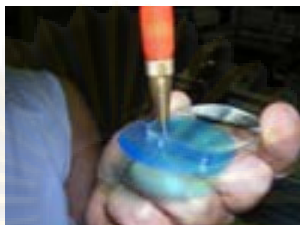
2. หยด Polycarbonate specific glue ลงบนวัตถุเพื่อใช้ติดเลนส์กับขาแว่น

แสดงดังรูปที่ 3.52



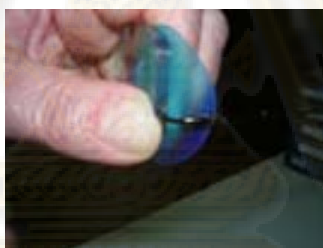
รูปที่ 3.52 การหยด Polycarbonate specific glue ลงบนวัตถุ

3. นำวัตถุที่หยด Polycarbonate specific glue จากข้อ 2 มาหยดลงบน บริเวณรูที่ต้องการติดกาวด้านหน้าเลนส์ แสดงดังรูปที่ 3.53



รูปที่ 3.53 การหยด Polycarbonate specific glue ลงบนรูของเลนส์

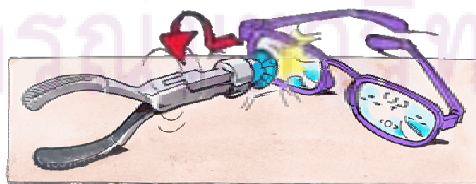
4. กัดบริเวณที่หยด Polycarbonate specific glue ค้างไว้ประมาณ 20 วินาที แสดงดังรูปที่ 3.54



รูปที่ 3.54 การกัดเลนส์เพื่อให้กาวจับยึดกับเลนส์

5. ดึงแผ่น Blue Chip ออก
6. เลนส์ด้านซ้ายก็ทำเช่นเดียวกัน

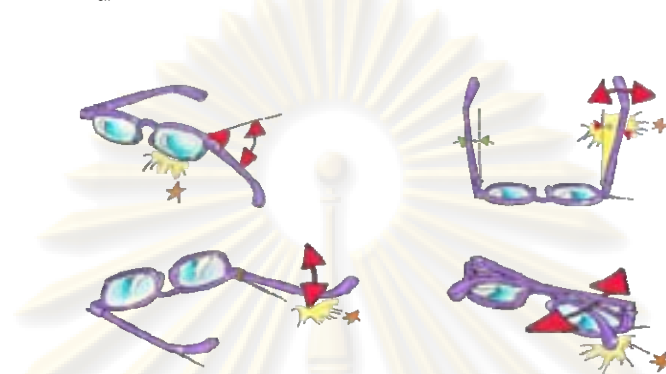
หลังจากกระบวนการประกอบเลนส์ ขั้นตอนต่อไปเป็นการถอดตัวจับยึดออกจากเลนส์ ก่อนเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบข้อบกพร่องที่เกิดจากกระบวนการทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 3.55



รูปที่ 3.55 วิธีการถอดตัวจับยึดที่ถูกต้อง

#### กระบวนการที่ 4: Frame Alignment

จุดประสงค์หลักของการตรวจสอบเพื่อที่จะให้ได้ขนาดและรูปร่างของเฟรมที่ถูกต้อง เป็นไปตามมาตรฐานของ Essilor แสดงดังรูปที่ 3.56



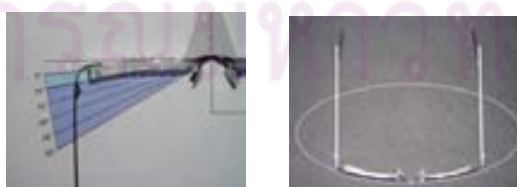
รูปที่ 3.56 การตรวจสอบเพื่อที่จะให้ได้ขนาดและรูปร่างของเฟรมที่ถูกต้อง

ลักษณะการตรวจสอบ Frame Alignment แบ่งออกเป็น 7 ส่วน ดังนี้

1. Curve
2. Lenses plan
3. Pantoscopic angle
4. Temples opening
5. Temples closing
6. Face angle
7. Nose angle
8. 4 pressure points

ส่วนที่ 1: Curve

เป็นการตรวจสอบว่าเฟรมอยู่ในวงรีมาตรฐานหรือไม่ แสดงดังรูปที่ 3.57

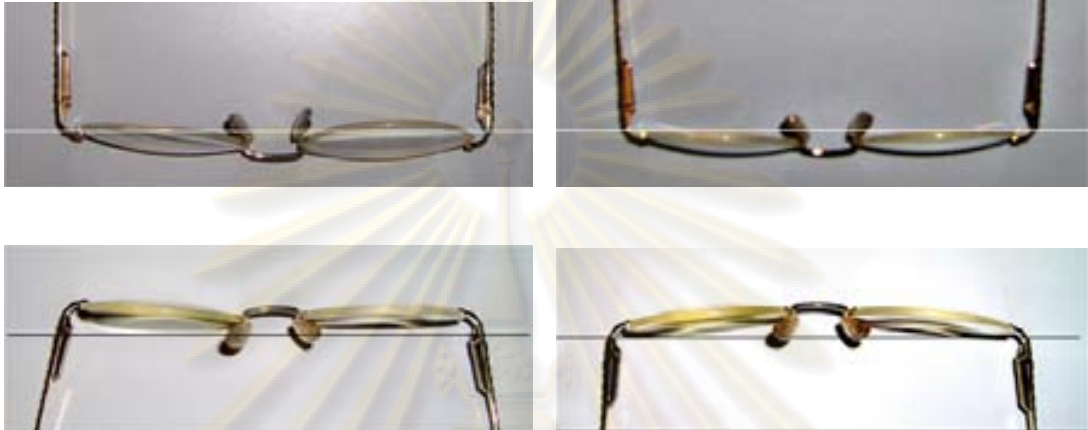


รูปที่ 3.57 ลักษณะการตรวจสอบ Curve ของเฟรม



## ส่วนที่ 2: Lenses plan

เป็นการตรวจสอบระดับแนวแกนของเฟรมว่าเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่ มองจากด้านบน (Top view) แสดงดังรูปที่ 3.58

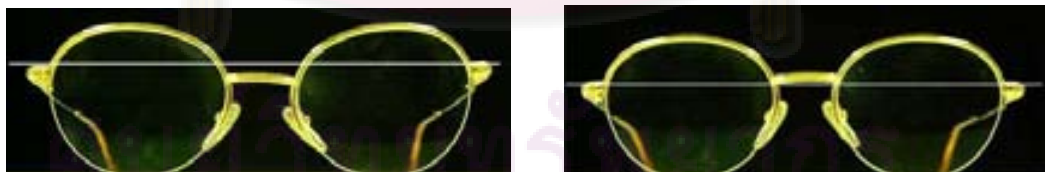


ระดับของเฟรมที่ไม่ถูกต้อง

ระดับของเฟรมที่ถูกต้อง

รูปที่ 3.58 ลักษณะการตรวจสอบระดับแนวแกนของเฟรม

การตรวจสอบแกนของผิวหน้าเลนส์ (face's axis) แกนของหมุดยี่ (pin's axis) ขึ้นส่วนเชื่อมต่อระหว่างเลนส์ด้านซ้ายและด้านขวา (nose pieces and bridge) ว่าอยู่ในมาตรฐาน Essilor หรือไม่ มองจากด้านหน้า (Front View) แสดงดังรูปที่ 3.59



ระดับของแกนที่ไม่ถูกต้อง

ระดับของแกนที่ถูกต้อง

รูปที่ 3.59 ลักษณะการตรวจสอบระดับแนวแกนของเลนส์

### ส่วนที่ 3: Pantoscopic angle

เป็นการตรวจสอบมุมระหว่างการมองของตาคนกับเลนส์ขณะที่สวมใส่แว่น มุมอยู่ระหว่าง  $8^{\circ}$  ถึง  $12^{\circ}$  แสดงดังรูปที่ 3.60



รูปที่ 3.60 ลักษณะการตรวจสอบมุมระหว่างการมองของตาคนกับเลนส์

### ส่วนที่ 4: Temples opening

เป็นการตรวจสอบมุมการกางออกของขาแว่น อยู่ระหว่าง  $95^{\circ}$  ถึง  $105^{\circ}$  แสดงดัง

รูปที่ 3.61



รูปที่ 3.61 ลักษณะการตรวจสอบมุมการกางออกของขาแว่น

### ส่วนที่ 5: Temple closing

เป็นการตรวจสอบระดับของขาแว่น แสดงดังรูปที่ 3.62



รูปที่ 3.62 ลักษณะการตรวจสอบระดับของขาแว่น

### ส่วนที่ 6: Face angle and Nose angle

เป็นการตรวจสอบมุมของผิวหน้าและมุมระหว่างจมูกทั้งสองด้าน ดังรูปที่ 3.63



รูปที่ 3.63 ลักษณะการตรวจสอบมุมของผิวหน้าและมุมระหว่างจมูกทั้งสองด้าน

### ส่วนที่ 7: 4 pressure points

เป็นการตรวจสอบ 4 จุดสัมผัสให้เป็นไปตามมาตรฐาน ดังรูปที่ 3.64



รูปที่ 3.64 ลักษณะการตรวจสอบ 4 จุดสัมผัสของเฟรม

### กระบวนการที่ 5: Frame Cleaning

เป็นกระบวนการการล้างและทำความสะอาดเฟรม สามารถแบ่งกระบวนการล้างเฟรมออกเป็น 3 วิธีการ คือ

1. ล้างในถังอัลตราโซนิก (Ultrasonic tank) แสดงดังรูปที่ 3.65



รูปที่ 3.65 การล้างและทำความสะอาดในถังอัลตราโซนิก

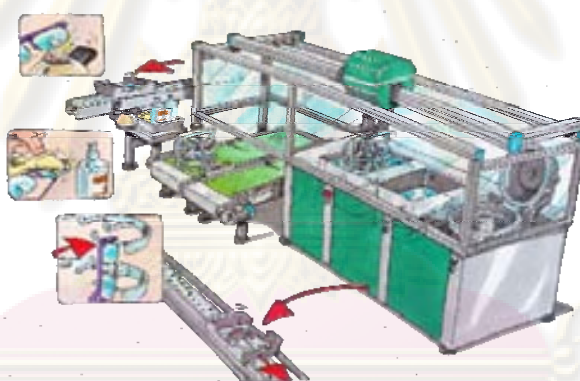
2. ล้างโดยพนักงานโดยตรง (Manual) แสดงดังรูปที่ 3.66



รูปที่ 3.66 การล้างและทำความสะอาดโดยพนักงานโดยตรง

3. ล้างด้วยเครื่องล้างเลนส์อัตโนมัติ (Automatic: washing machine) แสดงดัง

รูปที่ 3.67



รูปที่ 3.67 การล้างและทำความสะอาดด้วยเครื่องล้างเลนส์อัตโนมัติ

#### กระบวนการที่ 6: Inspection/Shipment

เป็นกระบวนการควบคุมคุณภาพและการจัดส่งสินค้า

ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพก่อนการจัดส่งให้ลูกค้า แบ่งเป็น 7 ขั้นตอน ดังนี้

1. Inspection based on the job order  
เป็นขั้นตอนการตรวจสอบขั้นพื้นฐานทั้งหมดของชิ้นงาน
2. Shape and fitting of lenses  
เป็นขั้นตอนการตรวจสอบขนาดและความพอดีของการประกอบเลนส์

3. Lens type (Substrate and added values)

เป็นการตรวจสอบชนิดของเลนส์ว่าเป็นไปตาม order หรือไม่

4. Power and axis

เป็นการตรวจสอบค่าทางสายตาและระดับแนวแกนของเฟรม

5. Pupillary Distances

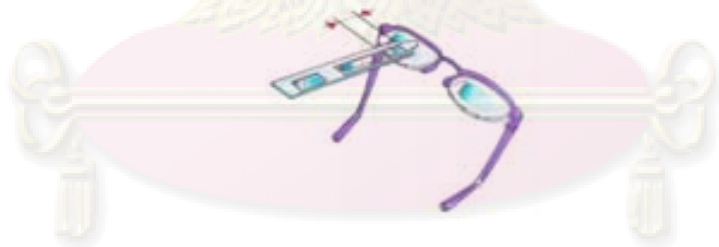
เป็นการตรวจสอบระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางตาดำด้านขวากับจุดกึ่งกลางตาดำด้านซ้าย แสดงดังรูปที่ 3.68



รูปที่ 3.68 ลักษณะการตรวจสอบระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางตาดำด้านขวากับด้านซ้าย

6. Fitting height

เป็นการตรวจสอบความสูงจากจุดกึ่งกลางตาดำจนถึงขอบล่างสุดของเลนส์ แสดงดังรูปที่ 3.69



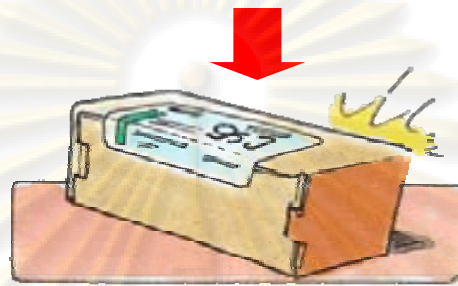
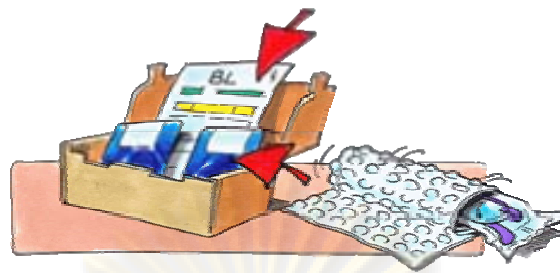
รูปที่ 3.69 ลักษณะการตรวจสอบความสูงจากจุดกึ่งกลางตาดำถึงขอบล่างสุดของเลนส์

7. Cosmetic and esthetic frame control

เป็นการตรวจสอบความสวยงามของการประกอบเลนส์

หลังจากผ่านกระบวนการตรวจสอบในทุกขั้นตอนแล้ว จะต้องล้างทำความสะอาดเลนส์อีกครั้ง

ขั้นตอนสุดท้ายคือการบรรจุกล่องและจัดส่งให้กับลูกค้า แสดงดังรูปที่ 3.70



รูปที่ 3.70 การบรรจุกล่องและจัดส่งให้กับลูกค้า



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.1 การค้นหาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อปัญหา

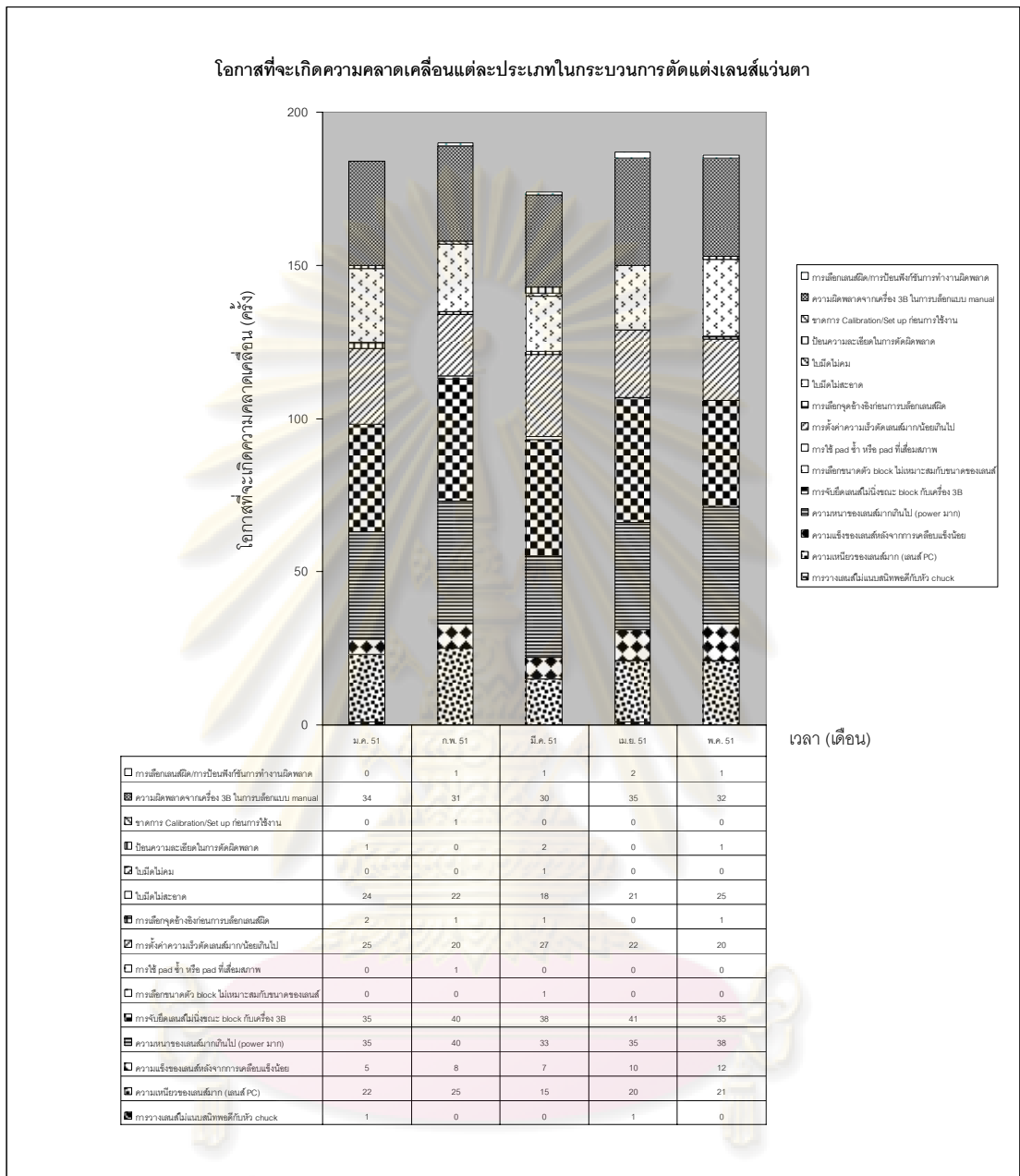
หลังจากทราบปัญหาจากกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตา ในงานวิจัยนี้ได้เลือกหลักการวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) มาใช้ในการพิจารณาเลือกกระบวนการย่อยที่มีความคลาดเคลื่อนและมีผลกระทบเกิดขึ้นมากที่สุดต่อกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตา ซึ่งในการวิเคราะห์หน้าที่ของกระบวนการได้กำหนดถึงสาเหตุลักษณะข้อบกพร่องตลอดจนผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยการประเมินค่าความเสี่ยง (Risk) อาศัยตัวเลขประเมินลำดับก่อนหลังของความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN) คือ

S = ความรุนแรง (Severity) พิจารณาจากผลกระทบที่เกิดขึ้นกับลูกค้า เกณฑ์การให้คะแนนคือ 1-10 ซึ่งอธิบายได้ดังภาคผนวก ก ตารางที่ ก-1

O = โอกาสที่เกิดขึ้น (Occurrence) พิจารณาจากความเป็นไปได้ในการเกิดสาเหตุของข้อบกพร่อง เกณฑ์การให้คะแนนคือ 1-10 ซึ่งอธิบายได้ดังภาคผนวก ก ตารางที่ ก-2

โอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนในกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตาระหว่างเดือนมกราคมถึงพฤษภาคม 2551 แสดงดังรูปที่ 4.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 โอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนแต่ละประเภทในกระบวนการตัดแต่งเลนส์

D = ความสามารถในการตรวจจับ (Detection) โดยพิจารณาได้จากคุณสมบัติด้านความสามารถของระบบการควบคุมที่ใช้ในปัจจุบัน เกณฑ์การให้คะแนนคือ 1-10 อธิบายได้ดังภาคผนวก ก ตารางที่ ก-3

เมื่อทำการวิเคราะห์ความเสี่ยง RPN แล้วจะทำการพิจารณาเลือกลักษณะข้อบกพร่องที่มีค่าความเสี่ยงมากๆ แต่มีจำนวนไม่มาก (Vital few failure modes) หลักเกณฑ์ใน



การพิจารณาเพื่อเลือกข้อบกพร่องมาทำการแก้ไขนี้ จะเริ่มจากการพิจารณาลักษณะข้อบกพร่องที่มีค่า RPN สูงเพื่อนำปัจจัยมาวิเคราะห์ต่อ ในกรณีที่มีลักษณะข้อบกพร่องมีคะแนน RPN เท่ากัน จะพิจารณาจากความรุนแรงที่มีผลกระทบต่อลูกค้า (S) สูงก่อน และถ้ากรณีที่มีลักษณะข้อบกพร่องมีคะแนน RPN และ S เท่ากัน ให้พิจารณาเลือกลักษณะข้อบกพร่องที่มีความเป็นไปได้ในการเกิดสาเหตุ (O) มากกว่ามาดำเนินการวิเคราะห์เป็นปัจจัยในขั้นต่อไป

ค่า O, S และ D นิยมใช้เป็นตัวเลขจำนวนเต็มมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 ดังนั้นค่าระดับความเสี่ยงต่ำสุดของการเกิดปัญหาคือค่า RPN เท่ากับ 1 มาจาก  $1 \times 1 \times 1$  หมายความว่าความถี่ของการเกิดปัญหามีน้อยมากและความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหามีน้อยมาก และสามารถตรวจจับปัญหาได้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้า ในขณะที่ค่าระดับความเสี่ยงสูงสุดของการเกิดปัญหาคือค่า RPN เท่ากับ 1,000 มาจาก  $10 \times 10 \times 10$  หมายความว่า ความถี่ของการเกิดปัญหามีมากและความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหามีมากรวมถึงความสามารถในการตรวจจับปัญหามีต่ำ สามารถวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตได้แสดงดังตารางที่ 4.1 รวมทั้งการสรุปผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.2 และการจัดลำดับความสำคัญโดยอาศัยแผนภูมิพาเรโตแสดงดังรูปที่ 4.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 FMEA สำหรับกระบวนการ

POTENTIAL  
FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS  
(PROCESS FMEA)

FMEA Number FMEA-01-2008

Page 1 of 3

Prepared By: FMEA Team Approved By: RxT Finishing Manager

FMEA Date (Orig.) 01-06-2008 Revision: \_\_\_\_\_

Effective date: 01-07-2008

Product Optical Lens

Model Year(s)/Vehicle(s) Excellent Optical Lens 2008

Core Team: RxT Finishing Manager, Industrial Engineer 1, Industrial Engineer 2, Operator

Production Function Requirements	Potential Errors Mode	Sev	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Errors	Occ	Current Process Controls Detection	Det	RPN	Recommended Action(s)	Action Results				
									Action Taken	Sev	Occ	Det	RPN
ชนิดของเฟรม	รูปร่างของเลนส์ไม่ถูกต้อง	6	รูปร่างของเฟรมไม่สมบูรณ์	1	ตรวจสอบความสมบูรณ์ของเฟรมก่อนการใช้งาน	7	42	เปลี่ยนเฟรมเมื่อครบอายุการใช้งาน					
การกำหนดจุดอ้างอิง (Reference) บนเลนส์	ตัว Block ติดบนเลนส์ผิดตำแหน่ง/ ไม่อยู่ในแนวแกน	3	การ Mark จุดอ้างอิงผิด	6	ตรวจสอบแนวแกนของจุด อ้างอิงบนเลนส์ก่อนการบล็อก	3	54	ตรวจสอบแกนของจุดอ้างอิงบนเลนส์ก่อนบล็อกทุกครั้ง					
การจับยึดเลนส์	ตัว Block ติดบนเลนส์ผิดตำแหน่ง/ ไม่อยู่ในแนวแกน	7	การจับยึดเลนส์ไม่มั่นคงแบบล็อกกับเครื่อง 3B	10	ตรวจสอบการจับยึดเลนส์ให้มั่นคงก่อนการบล็อกเลนส์	3	210	ฝึกอบรมพนักงานในการจับเลนส์ให้มั่นคงที่สุด					
			ไม่มีอุปกรณ์สำหรับจับยึดเลนส์	10	เลนส์ไม่มีการเลื่อนขณะบล็อกเลนส์	5	350	ทำการออกแบบอุปกรณ์ในการจับยึดเลนส์					
ชนิดของ Block	ตัว Block ติดบนเลนส์นอกขอบเลนส์/ติดเลนส์โดนพื้นของตัว Block	7	การเลือกชนิดตัว Block ไม่เหมาะสมกับขนาดของเลนส์	3	ตรวจสอบขนาดของตัว Block ก่อนการบล็อกเลนส์	3	63	ทำการตรวจสอบขนาดของตัว Block ให้เหมาะสมกับขนาดของเลนส์					
ความสมบูรณ์ของ Pad	ตัว Block ติดไม่แนบสนิทกับเลนส์	3	การใช้ตัว Pad ชั่ว	5	ตรวจสอบคุณภาพของ Pad	1	15	ใช้ Pad เพียงครั้งเดียว					
			Pad เสื่อมสภาพ	1	ตรวจสอบคุณภาพของ Pad	1	3	ทำการตรวจสอบความพร้อมของ Pad ก่อนการใช้งาน					
ชนิดของเครื่องจักร	เลนส์เกิดการบิดขณะตัด/ขนาดของเลนส์เล็กเกินไป	7	ความล้ำสมัยของเทคโนโลยีของเครื่องจักร	6	ตรวจสอบความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง	4	168	ทำการทดลองเพื่อเลือกเครื่องจักรที่เหมาะสมในการบล็อกและการตัดเลนส์					
ความพร้อมของเครื่องจักร	เลนส์เล็กบุหลังกการตัด	4	ขาดการ Calibration/Set up ก่อนการใช้งาน	6	ตรวจสอบความพร้อมในการทำงานของเครื่องจักร	4	96	ทำการ Calibration/Set up เครื่องจักรก่อนการใช้งาน					
Rev	Date Revised	Content of Revision	Checked	Approved	Rev	Date Revised			Checked	Approved			

ตารางที่ 4.1 FMEA สำหรับกระบวนการ (ต่อ)

POTENTIAL  
FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS  
(PROCESS FMEA)

FMEA Number FMEA-01-2008

Page 2 of 3

Prepared By: FMEA Team Approved By: RxT Finishing Manager

FMEA Date (Orig.) 01-06-2008 Revision: \_\_\_\_\_

Effective date: 01-07-2008

Product Optical Lens

Model Year(s)/Vehicle(s) Excellent Optical Lens 2008

Core Team: RxT Finishing Manager, Industrial Engineer 1, Industrial Engineer 2, Operator

Production Function Requirements	Potential Errors Mode	Sev	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Errors	Occ	Current Process Controls Detection	Det	RPN	Recommended	Action Results				
								Action(s)	Action Taken	Sev	Occ	Det	RPN
ลักษณะการทำงานของเครื่องจักร (Auto/Manual)	ตัว block ติดบนเลนส์ผิดตำแหน่ง	7	ความล่าช้าของเทคโนโลยีของเครื่องจักร	10	ตรวจสอบฟังก์ชันการทำงานของเครื่องจักร	2	140	ทำการทดลองเพื่อเลือกลักษณะการทำงานที่เหมาะสมที่สุดในการบล็อกเลนส์					
การเรียกชิ้นงาน	ตัดเลนส์สลับด้านกัน	7	การป้อนฟังก์ชันการทำงานผิดพลาด	4	ตรวจสอบค่าการตัดที่หน้าจอก่อนการตัดเลนส์	3	84	ทำการตรวจสอบความถูกต้องค่าของการตัดเลนส์ทุกครั้งก่อนการตัดเลนส์					
การวางเลนส์	เลนส์เกิดการบิดขณะตัด	7	การวางเลนส์ไม่แนบสนิทพอดีกับหัว chuck	4	ตรวจสอบการจับวางเลนส์ให้แนบสนิทกับหัว chuck	1	28	ทำการตรวจสอบการจับวางเลนส์ให้ถูกต้อง					
ชนิดวัตถุดิบของเลนส์ (PC/Oma)	เกิดแรงกดมากทำให้เลนส์เกิดการบิดขณะตัด	3	ความเหนียวของเลนส์	10	ตรวจสอบคุณสมบัติของวัตถุดิบของเลนส์แต่ละชนิด	2	60	ทดลองตัดเลนส์เพื่อเลือกชนิดของเลนส์ที่เหมาะสมที่สุดในการค้นหาความผิดพลาด					
ชนิด Top coating	เกิดการบิดที่ผิวหน้าเลนส์ขณะตัด	3	ความสิ้นของผิวเลนส์	10	ตรวจสอบระดับของการเคลือบแข็ง (Hard Coating / AR) ของเลนส์	2	60	ทดลองตัดเลนส์เพื่อเลือกเลนส์ที่มีค่า Top coating ที่เหมาะสมที่สุดในการค้นหาความผิดพลาด					
Front curve (ค่า power)	เลนส์เกิดการบิดขณะตัด	3	ความหนาของเลนส์	10	ตรวจสอบค่า power ของเลนส์	2	60	ทดลองการตัดเลนส์เพื่อเลือกเลนส์ที่มีค่า power ที่เหมาะสมที่สุดในการค้นหาความผิดพลาด					
Rev	Date Revised	Content of Revision		Checked	Approved	Rev	Date Revised	Checked	Approved				

ตารางที่ 4.1 FMEA สำหรับกระบวนการ (ต่อ)

POTENTIAL  
FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS  
(PROCESS FMEA)

FMEA Number FMEA-01-2008

Page 3 of 3

Prepared By: FMEA Team Approved By: RxT Finishing Manager

FMEA Date (Orig.) 01-06-2008 Revision: \_\_\_\_\_

Effective date: 01-07-2008

Product Optical Lens

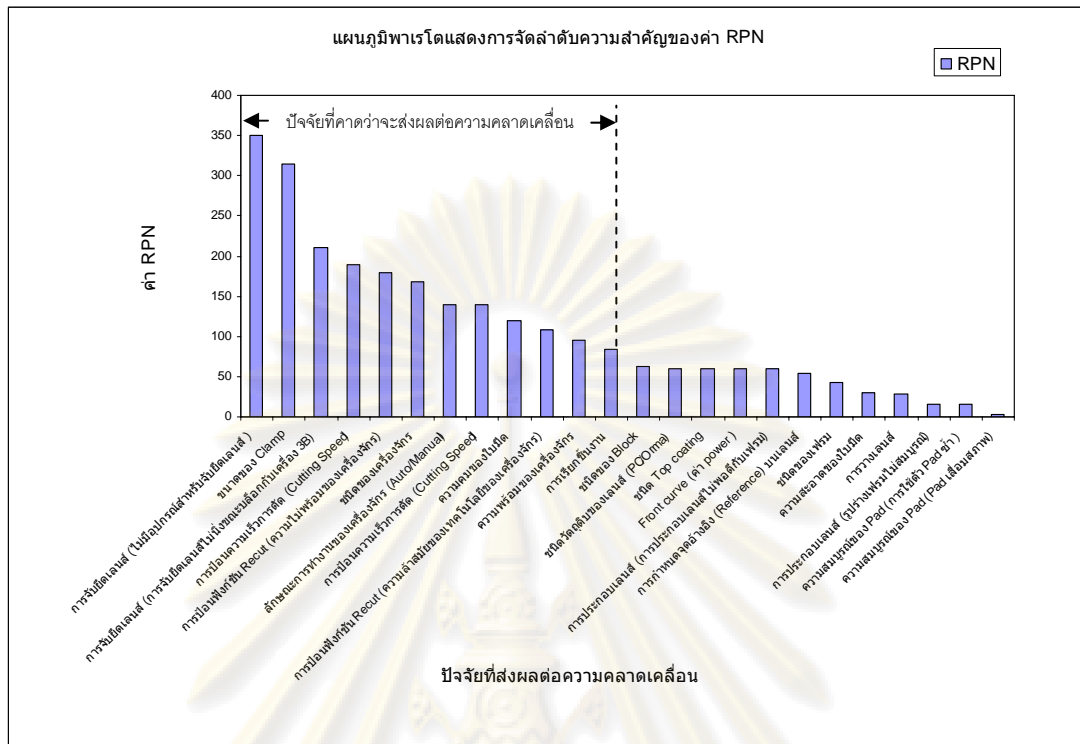
Model Year(s)/Vehicle(s) Excellent Optical Lens 2008

Core Team: RxT Finishing Manager, Industrial Engineer 1, Industrial Engineer 2, Operator

Production Function Requirements	Potential Errors Mode	Sev	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Errors	Occ	Current Process Controls Detection	Det	RPN	Recommended	Action Results				
								Action(s)	Action Taken	Sev	Occ	Det	RPN
การป้อนความเร็วการตัด (Cutting Speed)	เกิดแรงกระแทกระหว่างการตัด ทำให้เลนส์เกิดการบิด	7	การตั้งค่าความเร็วในการตัดไม่เหมาะสม	9	การปรับตั้งความเร็วการตัดตามประสบการณ์การทำงาน	3	189	ทำการทดลองตั้งความเร็วการตัดที่เหมาะสมในการตัดเลนส์					
			ความล่าช้าของเทคโนโลยีของเครื่องจักร	10	ทดลองปรับตั้งความเร็วในการตัดเลนส์ที่เหมาะสม	2	140	ทำการทดลองตั้งความเร็วการตัดที่เหมาะสมในการตัดเลนส์					
ขนาดของ Clamp	เลนส์เกิดการบิดขณะตัด	7	การเลือกขนาดของ clamp ไม่เหมาะสม	9	ตรวจสอบขนาดและการจับยึดเลนส์ของหัว chuck	5	315	ทำการตรวจสอบสภาพการพร้อมใช้งานของหัว chuck					
ความสะอาดของใบมีด	เกิดรอยขีดข่วนบนเลนส์	3	ใบมีดไม่สะอาด	10	ตรวจสอบความสะอาดของใบมีด	1	30	ทำความสะอาดใบมีดทุกครั้งก่อนการตัดเลนส์					
ความคมของใบมีด	เลนส์เกิดการบิดเนื่องจากมีการติดขัดขณะตัดเลนส์	4	ใบมีดไม่คม	6	ตรวจสอบความคมของใบมีด	5	120	ทำการตรวจสอบความคมและความพร้อมการใช้งานของใบมีด					
การป้อนฟังก์ชัน Recut	เลนส์เกิดการเสียรูป/เกิดการบิดขณะตัด	6	ความล่าช้าของเทคโนโลยีของเครื่องจักร	6	การปรับตั้งค่า recut ตามประสบการณ์การทำงาน	3	108	ทำการ Calibration/Set up เครื่องจักรก่อนการใช้งาน					
			ความไม่พร้อมของเครื่องจักร	10	ตรวจสอบความพร้อมในการทำงานของเครื่องจักร	3	180	ทำการ Calibration/Set up เครื่องจักรก่อนการใช้งาน					
การประกอบเลนส์	เลนส์ไม่พอดีกับเฟรม	2	การประกอบเลนส์ไม่พอดีกับเฟรม	10	ตรวจสอบความพอดีในการประกอบเลนส์กับเฟรม	3	60	ตรวจสอบขนาดของเลนส์ทุกครั้งหลังการตัดเลนส์					
			รูปร่างเฟรมไม่สมบูรณ์	8	ตรวจสอบความยืดหยุ่นของเฟรม	1	16	เปลี่ยนเฟรมเมื่อครบอายุการใช้งาน					
Rev	Date Revised	Content of Revision	Checked	Approved	Rev	Date Revised		Checked	Approved				

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการวิเคราะห์ FMEA

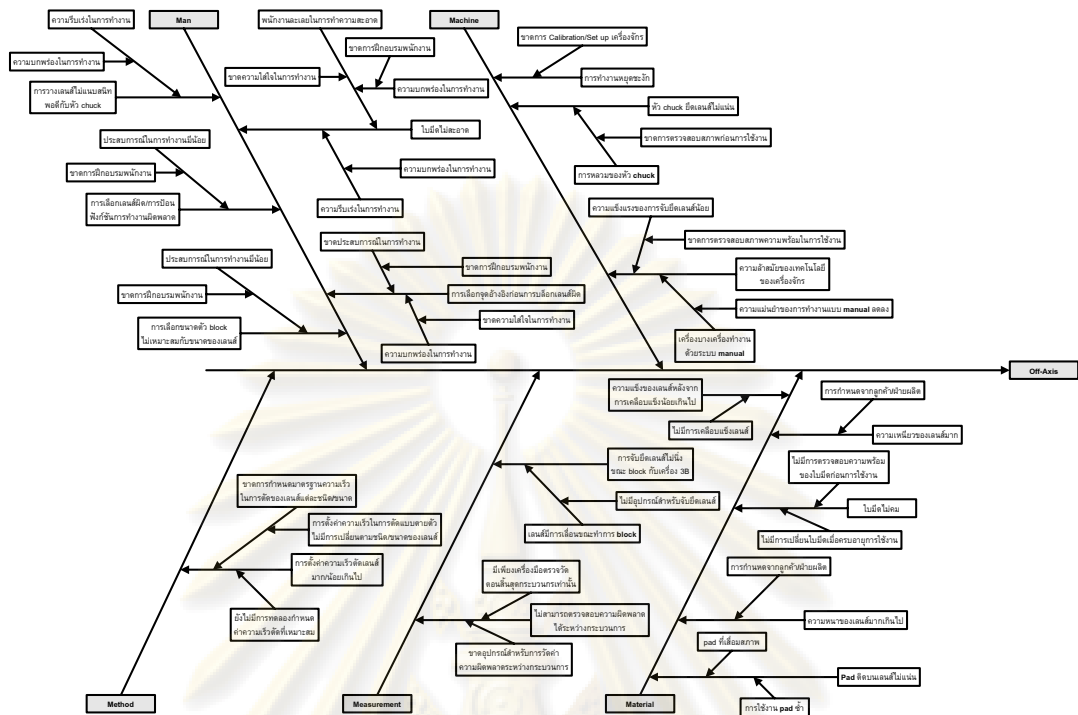
No.	ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อน	สาเหตุของความคลาดเคลื่อน	กระบวนการที่พบความคลาดเคลื่อน					RPN
			Tracing	Marking	Blocking	Edging	Mounting	
1	การจับยึดเลนส์	ไม่มีอุปกรณ์สำหรับจับยึดเลนส์			✓			350
2	ขนาดของ Clamp	การเลือกขนาดของ clamp ไม่เหมาะสม				✓		315
3	การจับยึดเลนส์	การจับยึดเลนส์ไม่แน่นจนระดับล็อกกับเครื่อง 3B			✓			210
4	การป้อนความเร็วการตัด (Cutting Speed)	ความล้าสมัยของเทคโนโลยีของเครื่องจักร				✓		189
5	การป้อนฟังก์ชัน Recut	ความไม่พร้อมของเครื่องจักร				✓		180
6	ชนิดของเครื่องจักร	ความล้าสมัยของเทคโนโลยีของเครื่องจักร			✓	✓		168
7	ลักษณะการทำงานของเครื่องจักร (Auto/Manual)	ความล้าสมัยของเทคโนโลยีของเครื่องจักร			✓			140
8	การป้อนความเร็วการตัด (Cutting Speed)	ความล้าสมัยของเทคโนโลยีของเครื่องจักร				✓		140
9	ความคมของใบมีด	ใบมีดไม่คม				✓		120
10	การป้อนฟังก์ชัน Recut	ความล้าสมัยของเทคโนโลยีของเครื่องจักร				✓		108
11	ความพร้อมของเครื่องจักร	ขาดการ Calibration/Set up ก่อนการใช้งาน			✓	✓		96
12	การเรียกชิ้นงาน	การป้อนฟังก์ชันการทำงานผิดพลาด			✓	✓		84
13	ชนิดของ Block	การเลือกชนิดตัว Block ไม่เหมาะสมกับขนาดของเลนส์			✓			63
14	ชนิดวัตถุผิวของเลนส์ (PC/Orma)	ความเหนียวของเลนส์				✓		60
15	ชนิด Top coating	ความลื่นของผิวเลนส์				✓		60
16	Front curve (ค่า power)	ความหนาของเลนส์				✓		60
17	การประกอบเลนส์	การประกอบเลนส์ไม่พอดีกับเฟรม					✓	60
18	การกำหนดจุดอ้างอิง (Reference) บนเลนส์	การ Mark จุดอ้างอิงผิด		✓				54
19	ชนิดของเฟรม	รูปร่างของเฟรมไม่สมบูรณ์	✓					42
20	ความสะอาดของใบมีด	ใบมีดไม่สะอาด				✓		30
21	การวางเลนส์	การวางเลนส์ไม่แนบสนิทพอดีกับหัว chuck				✓		28
22	การประกอบเลนส์	รูปร่างเฟรมไม่สมบูรณ์					✓	16
23	ความสมบูรณ์ของ Pad	การใช้ตัว Pad ชั่ว			✓			15
24	ความสมบูรณ์ของ Pad	Pad เสื่อมสภาพ			✓			3



รูปที่ 4.2 แผนภูมิพาเรโตแสดงการจัดลำดับความสำคัญของค่า RPN

จากผลการวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต (FMEA) นำระดับคะแนน RPN มาจัดเรียงจากมากไปน้อยและสร้างแผนภูมิพาเรโต เพื่อพิจารณาลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของ Axis มีทั้งหมด 9 ปัจจัย ซึ่งเกิดจาก 12 สาเหตุ และเกิดจากกระบวนการบล็อกเลนส์ (Blocking) และกระบวนการตัดเลนส์ (Edging) เท่านั้น ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกพิจารณาเพียงสองกระบวนการดังกล่าวในการค้นหาสาเหตุของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดแต่งเลนส์ อีกทั้งในบางปัจจัยสามารถเกิดขึ้นได้จากทั้งสองกระบวนการร่วมกัน

จากการรวบรวมปัจจัยที่ส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนข้างต้นนำไปสู่การเลือกเทคนิคแผนภาพก้างปลา (Cause and Effect Diagram) มาใช้ในการวิเคราะห์ความผันแปรเพื่อศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ในการพิสูจน์ข้อเท็จจริงสำหรับการแก้ไขปรับปรุงความคลาดเคลื่อนดังกล่าวต่อไป ซึ่งที่มาของสาเหตุของความคลาดเคลื่อนประกอบด้วย คน (Man), เครื่องจักร (Machine), วัตถุดิบ (Material), กระบวนการทำงาน (Method) และกระบวนการวัด (Measurement) แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แผนภาพก้างปลาแสดงสาเหตุและผลของความคลาดเคลื่อนของ Axis

จากแผนภาพก้างปลาสามารถสรุปแนวทางในการแก้ไขปัญหาได้ดังนี้

1. สาเหตุจากคน (Man) จะเห็นได้ว่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดจากพนักงานขาดความรู้ความสามารถ/ทักษะ/ประสบการณ์ในการทำงาน รวมทั้งขาดความพร้อมในการทำงาน ซึ่งสาเหตุจากพนักงาน ประกอบด้วย

- การวางเลนส์ไม่แนบสนิทกับหัว Chuck
- การเลือกเลนส์ผิด/การป้อนฟังก์ชันการทำงานผิดพลาด
- การเลือกชนิดของตัวจับยึด (Block) ไม่เหมาะสมกับหัว Chuck
- การกำหนดจุดอ้างอิงก่อนการปรับล็อกเลนส์ผิด
- ไขมีดไม่สะอาด

ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานได้ผลไม่เต็มที่ แนวคิดในการแก้ไขปัญหาคือการจัดวางแผนการฝึกอบรมพนักงานทางด้านการปฏิบัติงานที่ถูกต้องและถูกวิธี รวมทั้งเตรียมความพร้อมทางด้านร่างกายและจิตใจของพนักงานอย่างต่อเนื่อง

## 2. สาเหตุจากเครื่องจักร (Machine) ประกอบด้วย

- ขาดการสอบเทียบและตั้งค่า (Calibration/Set up) เครื่องจักรก่อนการใช้งาน ส่งผลให้เครื่องจักรมีการหยุดชะงัก หรือต้องหยุดการทำงานชั่วคราวขณะเดินเครื่อง นำไปสู่แนวคิดในการแก้ไขปัญหาคือ การตรวจสอบความพร้อมของเครื่องจักรก่อนการใช้งานทุกครั้ง รวมทั้งจัดตารางสำหรับการสอบเทียบ (Calibration) เครื่องจักรอยู่เสมอ
- หัว Chuck ขนาดไม่เหมาะสม/ยึดเลนส์ไม่แน่น ส่งผลให้เลนส์เกิดการบิดระหว่างกระบวนการตัดเลนส์ อาจเกิดจากแรงจับยึด (Clamping pressure) ลดลง แนวคิดในการแก้ไขปัญหาคือ ตรวจสอบสภาพความพร้อมของหัว Chuck ที่ใช้ในการจับยึดเลนส์ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน
- ความล้าสมัยของเทคโนโลยีของเครื่องจักร เนื่องจากมีความจำเป็นต้องใช้งานเครื่องจักรทุกเครื่อง โดยไม่สามารถปฏิเสธการเลือกใช้งานเครื่องจักรเครื่องใดเครื่องหนึ่งได้ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องจักรแบบทันสมัยหรือล้าสมัย จึงมีแนวคิดในการแก้ไขปัญหาคือ เพิ่มรอบในการสอบเทียบ (Calibration) สำหรับเครื่องจักรแบบล้าสมัยให้มากขึ้น เพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการ

## 3. สาเหตุจากวัตถุดิบ (Material) สามารถแบ่งการพิจารณาออกเป็น

3.1 วัตถุดิบทางตรง ส่วนใหญ่มักมาจากการกำหนดค่าจากใบรายการสินค้าของลูกค้า โดยฝ่ายผลิตไม่สามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลความต้องการของลูกค้าได้ อันได้แก่ ความหนาของเลนส์ ชนิดของเลนส์ (คุณสมบัติด้านความเหนียวของเลนส์) เป็นต้น

### 3.2 วัตถุดิบทางอ้อม อันได้แก่

- สติกเกอร์ (Pad) ติดบนเลนส์ไม่แนบสนิท เกิดจากการเลือกใช้สติกเกอร์ซ้ำ แนวคิดในการแก้ไขปัญหาคือ ไม่ควรใช้สติกเกอร์ซ้ำหลายครั้งเพราะจะทำให้ความเหนียวของกาวของสติกเกอร์ลดลง
- ไบมีดไม่คม เกิดจากการใช้ไบมีดซ้ำเป็นระยะเวลานาน หรือใช้ตัดเลนส์ที่มีความหนาบ่อยครั้งทำให้ความคมของไบมีดลดลง แนวคิดในการแก้ไขปัญหาคือ ควรมีการตรวจสอบความคมของไบมีดก่อนการตัดเลนส์ทุกครั้ง รวมทั้งมีการเปลี่ยนไบมีดเมื่อครบอายุการใช้งาน

## 4. สาเหตุจากกระบวนการทำงาน (Method) ได้แก่

- การตั้งค่าความเร็วในการตัดเลนส์มากหรือน้อยเกินไป เนื่องจากยังไม่มี การทดลองการตั้งค่าความเร็วในการตัดเลนส์ที่เหมาะสมสำหรับเลนส์แต่ละชนิด/ขนาด รวมทั้ง



ขาดการจัดทำค่าความเร็วในการตัดเลนส์เป็นค่ามาตรฐาน สำหรับแนวคิดในการแก้ไขปัญหาคือ ทำการทดลองตั้งค่าความเร็วของเครื่องจักรแต่ละเครื่องในการตัดเลนส์โดยอาศัยหลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

- การเลือกขนาดของ Clamp ไม่เหมาะสมกับการทำงานของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง สำหรับแนวคิดในการแก้ไขปัญหาคือ ทำการทดลองการเปลี่ยนขนาดของ Clamp เพื่อให้เกิดความเหมาะสมและเกิดความคลาดเคลื่อนระหว่างการตัดเลนส์น้อยที่สุดโดยอาศัยหลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

#### 5. สาเหตุจากกระบวนการวัด (Measurement) ประกอบด้วย

- การจับยึดเลนส์ไม่นิ่งขณะบล็อกเลนส์บนเครื่อง 3B เนื่องจากเครื่อง 3B มีระบบการทำงานแบบ Manual ส่งผลให้เกิดแรงกระแทกขณะทำการบล็อกเลนส์ เพราะพนักงานไม่สามารถจับยึดเลนส์ให้อยู่กับที่ได้ (Uncontrollable) รวมทั้งยังขาดอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดเลนส์ แต่เนื่องจากกระบวนการในการออกแบบในส่วนนี้ค่อนข้างยุ่งยาก เนื่องจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักรค่อนข้างมีวิธีการที่ตายตัว ถ้าหากออกแบบอุปกรณ์เพิ่มเติมขึ้นมาใหม่ก็จะสูญเสียเวลาในการติดตั้ง และอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องจักรเดิม ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดเบื้องต้นในการแก้ไขปัญหาคือ ฝึกอบรมพนักงานให้มีความชำนาญในการจับยึดเลนส์เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากการเลื่อนขณะทำการบล็อกเลนส์

- ไม่สามารถตรวจสอบความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการได้ เนื่องจากยังไม่มีเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าว ทำให้ไม่สามารถค้นหาต้นเหตุของการเกิดความคลาดเคลื่อนดังกล่าวได้ จึงมีแนวคิดในการแก้ปัญหาโดยการออกแบบกระบวนการวัดและเครื่องมือวัดใหม่ที่เหมาะสม เพื่อนำมาใช้ในการวัดค่าความคลาดเคลื่อนเพื่อบ่งชี้ที่มาของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น

หลังจากการออกแบบและผลิตเครื่องมือแล้วจะต้องทำการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของเครื่องมือวัดโดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) ก่อนนำไปใช้ในการทดลองเก็บข้อมูลจริง

## 4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น

### 4.2.1 การวิเคราะห์เครื่องมือวัดที่มีอยู่เดิม

เนื่องจากความคลาดเคลื่อนที่มีสาเหตุมาจากกระบวนการวัด (Measurement) มาจากการรวบรวมความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการใช้เครื่องมือวัดที่มีอยู่เดิม ซึ่งไม่สามารถค้นหา

ต้นเหตุของความคลาดเคลื่อนดังกล่าวว่าเกิดจากกระบวนการย่อยกระบวนการใด และเกิดจากเครื่องจักรเครื่องใด เป็นเพียงการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนตอนสิ้นสุดกระบวนการเท่านั้น ดังนั้นจึงนำไปสู่แนวคิดในการออกแบบกระบวนการวัดและเครื่องมือช่วยในการวัดขึ้นใหม่ เพื่อช่วยในการค้นหาสาเหตุของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ซึ่งก่อนการออกแบบนั้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาคุณสมบัติและลักษณะการใช้งานของเครื่องมือวัดที่มีอยู่เดิม ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติและลักษณะการใช้งานของเครื่องมือวัดที่มีอยู่เดิม

ชั้นที่	รูปประกอบ	คุณสมบัติ	ข้อจำกัด
1		ใช้ในกระบวนการวัดค่าความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้กับกระบวนการบล็อกเท่านั้น</li> <li>- ใช้กับฟังก์ชัน Manual เท่านั้น</li> <li>- ใช้กับ ABC Block เท่านั้น</li> <li>- ความแม่นยำค่อนข้างน้อย</li> </ul>
2		ใช้ในกระบวนการวัดค่าความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ โดยใช้คู่กับเครื่อง Focimeter	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้วัดชิ้นงานเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการเท่านั้น</li> <li>- Fixed รูปร่างของเลนส์</li> </ul>

#### 4.2.2 การวิเคราะห์เครื่องจักรที่ใช้กับเครื่องมือวัด

จากกระบวนการตัดแต่งเลนส์พบว่า มีเครื่องจักรจำนวน 3 เครื่องที่สามารถนำมาใช้ควบคู่กับเครื่องมือวัดขึ้นใหม่ที่จะทำการออกแบบในขั้นตอนถัดไป เพื่อใช้ในการวัดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบล็อกเลนส์และกระบวนการตัดเลนส์ ประกอบด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 1. เครื่อง Focimeter (รูปที่ 4.4)



รูปที่ 4.4 เครื่อง Focimeter

เป็นเครื่องจักรที่มีฟังก์ชันในการวัดค่าความคลาดเคลื่อนของ Axis โดยพนักงานจะเป็นผู้นำเลนส์และ Pattern ที่มีรูปแบบเฉพาะ (รูปสี่เหลี่ยม) มาทำการวัด สำหรับค่าความละเอียดในการวัดมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 1 องศา ซึ่งมีความละเอียดค่อนข้างน้อย อาจส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากกระบวนการวัด จะเห็นได้ว่าเลนส์ที่นำมาทำการวัดเป็นเลนส์ที่ผ่านกระบวนการตัดเลนส์มาแล้ว ซึ่งต้องนำมาวางใน Pattern ก่อนทำการวัดทุกครั้ง แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กระบวนการวัด Axis ของเครื่อง Focimeter

แต่ในกรณีของเลนส์ที่ผ่านมาจากกระบวนการบล็อกเลนส์ รูปแบบของเลนส์จะมีลักษณะเป็นวงกลมทำให้กระบวนการวัดค่า Axis ค่อนข้างกระทำได้ยาก เนื่องจากไม่มีแนวระนาบเป็นแกนอ้างอิงในการวัด ส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดเลนส์

## 2. เครื่อง Trinocular (รูปที่ 4.6)



รูปที่ 4.6 เครื่อง Trinocular

เป็นเครื่องจักรที่มีฟังก์ชันในการวัดค่า Axis โดยพนักงานจะนำเลนส์ชนิด Progressive Lens มาวางบนที่วางเลนส์ ซึ่งปกติการทำงานของเครื่องมักจะใช้ jig ในการจับยึดเลนส์ด้านหน้า (convex) เพื่อที่จะสามารถวางเลนส์ได้แนบสนิทพอดี แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ขั้นตอนการวางเลนส์บนเครื่อง Trinocular

แต่เนื่องจากการวัดค่า Axis จะต้องมีการมองหาจุด Micro-circle บนด้านหน้า (convex) ทำให้เกิดปัญหาในกรณีดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 จุด Micro-circle บนเลนส์ชนิด Progressive lens

ดังนั้นจึงควรมีการออกแบบเครื่องมือ (Jig) ที่ช่วยในการจับยึดเลนส์ที่ผ่านกระบวนการบล็อกลেনส์และกระบวนการตัดเลนส์มาแล้ว ก่อนการวัดค่า Axis ทำให้เกิดความซับซ้อนในกระบวนการวัด สำหรับค่าความละเอียดในการวัดมีค่าสูงสุดอยู่ที่  $10^{-2}$  องศา ซึ่งมีความละเอียดค่อนข้างสูง รวมทั้งในกระบวนการวัดต้องใช้ความชำนาญในการเลื่อนแกนในแนวแกน x และ y นอกจากนี้ถ้าเป็นกรณีของเลนส์ที่ผ่านกระบวนการตัดเลนส์ รูปร่างของเลนส์ก็จะเปลี่ยนไป ทำให้ในการออกแบบ Jig เพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับรูปแบบของเลนส์ทั้งสองกรณีพร้อมกันค่อนข้างกระทำได้ยาก และถ้าหากแยกการออกแบบ Jig ออกเป็น 2 ชิ้น จะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มสูงขึ้นและใช้เวลาในการออกแบบค่อนข้างนาน

### 3. เครื่อง Smartscope (รูปที่ 4.9)



รูปที่ 4.9 เครื่อง Smartscope

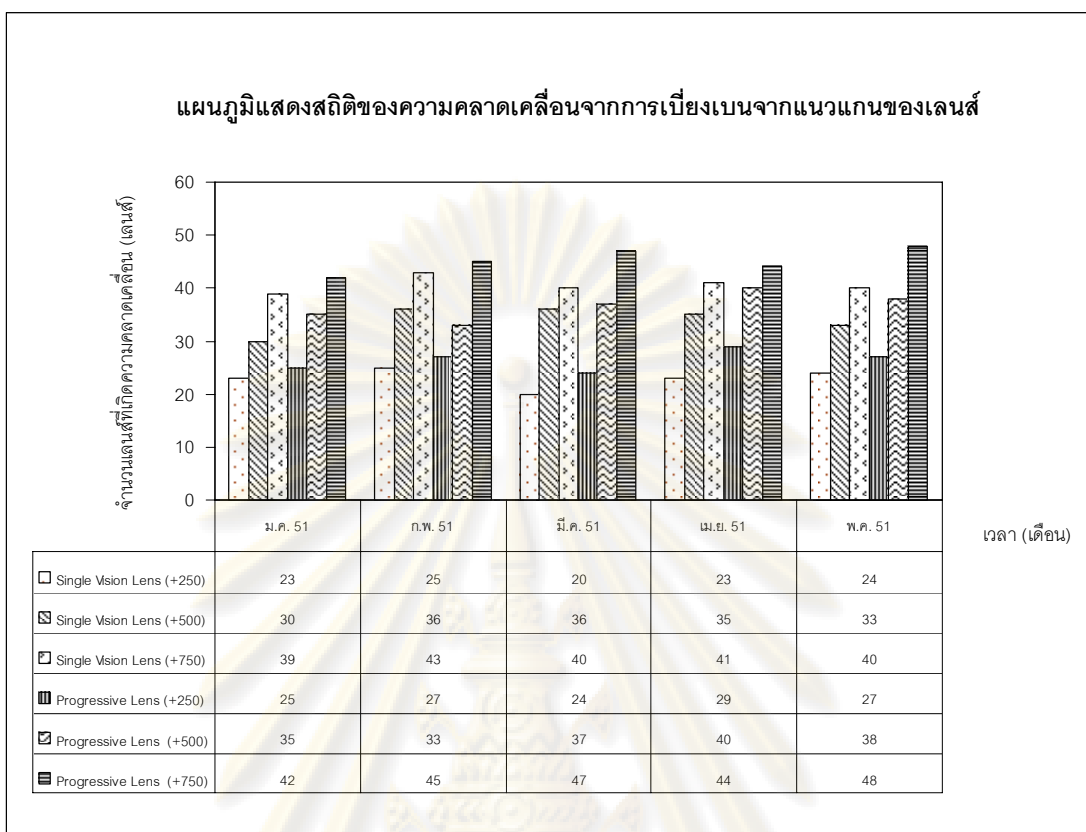
เป็นเครื่องจักรที่มีฟังก์ชันการใช้งานในการวัดค่า Axis ค่อนข้างหลากหลาย โดยพนักงานจะนำเลนส์ที่ผ่านกระบวนการบล็อกลেনส์มาวางบนที่วางของเครื่อง Smartscope ได้

โดยตรง ซึ่งจะมีแกนที่สามารถจับยึดเลนส์ให้อยู่กับที่ขณะทำการวัด หลังจากนั้นจะทำการอ่านค่าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์อัตโนมัติ แต่สำหรับกรณีของเลนส์ที่ผ่านกระบวนการตัดเลนส์ ไม่สามารถนำไปวางบนเครื่องได้โดยตรง เนื่องจากเครื่องนี้มีข้อจำกัดในการจับยึดรูปแบบของเลนส์เป็นแบบวงกลมเท่านั้น สำหรับค่าความละเอียดในการวัดของเครื่องมีค่าสูง ซึ่งมีความละเอียดสูงมากถึง  $10^{-4}$  องศา อีกทั้งกล้องที่ติดกับตัวเครื่องมีกำลังขยายสูงถึง 200 เท่า ส่งผลให้เกิดความสะดวกและง่ายในการมองหาจุด Micro-circle นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าไม่ต้องออกแบบอุปกรณ์ในกรณีของเลนส์ที่ผ่านมาจากกระบวนการบดลอกเลนส์ เป็นการลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการดำเนินการ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเลือกพิจารณาเครื่อง Smartscope เป็นเครื่องจักรที่ใช้ควบคู่กับเครื่องมือใหม่ (Jig) ที่จะทำการออกแบบ เนื่องจากเป็นเครื่องจักรที่มีความละเอียดในการวัดค่อนข้างสูง กล้องมีกำลังขยายในการค้นหาจุด Micro-circle ได้อย่างเด่นชัด นอกจากนี้ขั้นตอนในการหาค่าความคลาดเคลื่อนสามารถปฏิบัติได้ง่าย และแสดงผลข้อมูลได้ค่อนข้างแม่นยำ เพราะมีการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์อัตโนมัติ และประการสำคัญคือ ลดต้นทุนในการออกแบบเครื่องมือสำหรับการวัดค่าความคลาดเคลื่อนจากกระบวนการบดลอกเลนส์ เนื่องจากสามารถนำเลนส์มาวัดค่าความคลาดเคลื่อนได้โดยตรง มีเพียงการออกแบบเครื่องมือเฉพาะกระบวนการตัดเลนส์เท่านั้น เพราะหลังจากกระบวนการตัดเลนส์ รูปร่างของเลนส์มีลักษณะเปลี่ยนไป ซึ่งไม่สามารถจับยึดด้วย Pattern ของเครื่อง Smartscope ได้ เครื่องมือใหม่จึงเป็นตัวช่วยสำคัญในกระบวนการวัดค่าความคลาดเคลื่อนของเลนส์หลังจากกระบวนการตัดเลนส์

#### 4.2.3 การวิเคราะห์ชนิดของเลนส์

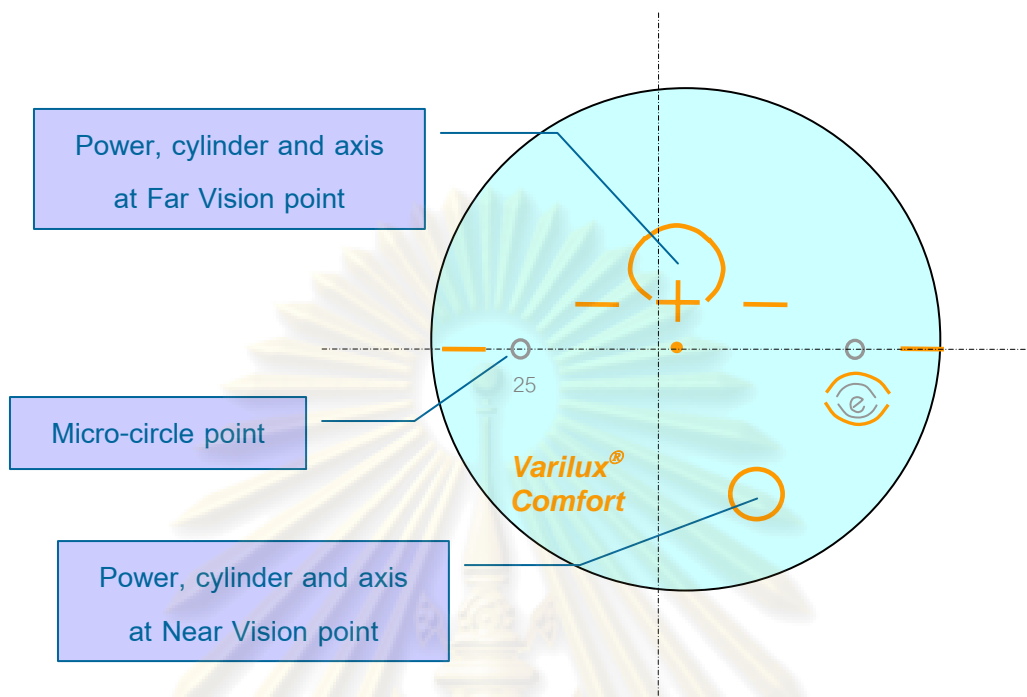
เนื่องจากความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นสามารถเกิดได้กับเลนส์ทุกชนิดที่ใช้ในกระบวนการตัดแต่งเลนส์ อันประกอบด้วย เลนส์ค่าสายตาเดี่ยว (Single Vision Lens) เลนส์ไร้รอยต่อ (Progressive Lens) และเลนส์ผู้สูงอายุ (Bifocal Lens) ซึ่งก่อนการออกแบบเครื่องมือเพื่อใช้ในการวัดค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวนี้ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาเลือกเลนส์ที่มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นในปริมาณสูงก่อน จากสถิติของความคลาดเคลื่อนจากแนวแกนของเลนส์ระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม 2551 แสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 สถิติของการเกิดความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์

จะเห็นได้ว่าเลนส์ไร้รอยต่อ (Progressive Lens) และค่าทางสายตา (Power) มาก (+750) จะเกิดความคลาดเคลื่อนมากที่สุด จึงเลือกชนิดของเลนส์ดังกล่าวเป็นตัวอย่างสุ่มในการทดลอง ซึ่งองค์ประกอบของเลนส์ไร้รอยต่อแสดงดังรูปที่ 4.11

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 องค์ประกอบของเลนส์ไร้รอยต่อ

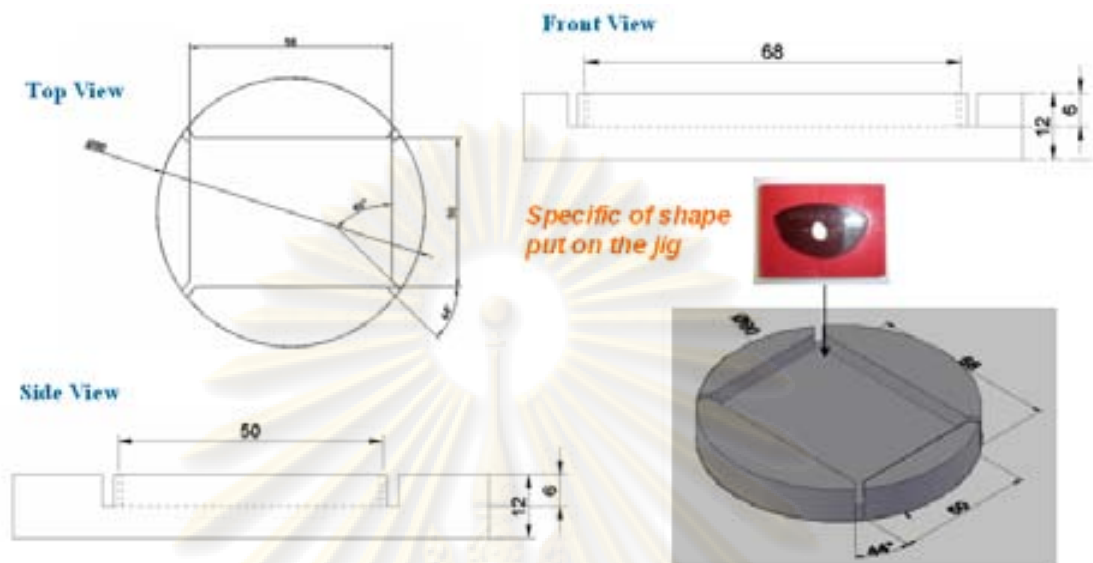
### 4.3 การออกแบบเครื่องมือวัด

แนวคิดการออกแบบเครื่องมือวัดมีดังนี้

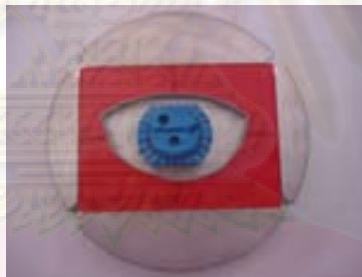
1. รูปร่างของเครื่องมือ (Jig) ระบุให้มีลักษณะเป็นวงกลม เพื่อที่จะสามารถจับยึดกับ Pattern ของเครื่อง Smartscope รวมทั้งมีพื้นที่บน Jig ที่สามารถวางชิ้นงานต้นแบบที่มีลักษณะเฉพาะได้พอดี
2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องมือ มีขนาดใหญ่เพียงพอกับการรองรับขนาดของเลนส์ที่ระบุไว้ แต่ไม่เกินหรือต่ำกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดของ Pattern ของเครื่อง Smartscope

หลังจากนั้นจะทำการออกแบบเครื่องมือดังกล่าวโดยใช้โปรแกรมการออกแบบ (Auto CAD) แสดงดังรูปที่ 4.12 และทำการผลิตเป็นชิ้นงานจริง แสดงดังรูปที่ 4.13 เพื่อนำมาใช้ในการวัดค่าความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ (Axis) ซึ่งก่อนการเก็บข้อมูลจากระบบการวัดนั้น จะต้องทำการออกแบบกระบวนการวัดและวิเคราะห์ความผันแปรของเครื่องมือวัดโดยอาศัยทฤษฎีการวิเคราะห์ระบบการวัด เพื่อจัดให้เป็นมาตรฐานตามที่บริษัทฯ กำหนดก่อน โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ระบบการวัด





รูปที่ 4.12 การออกแบบเครื่องมือวัดโดยโปรแกรมสำเร็จรูป



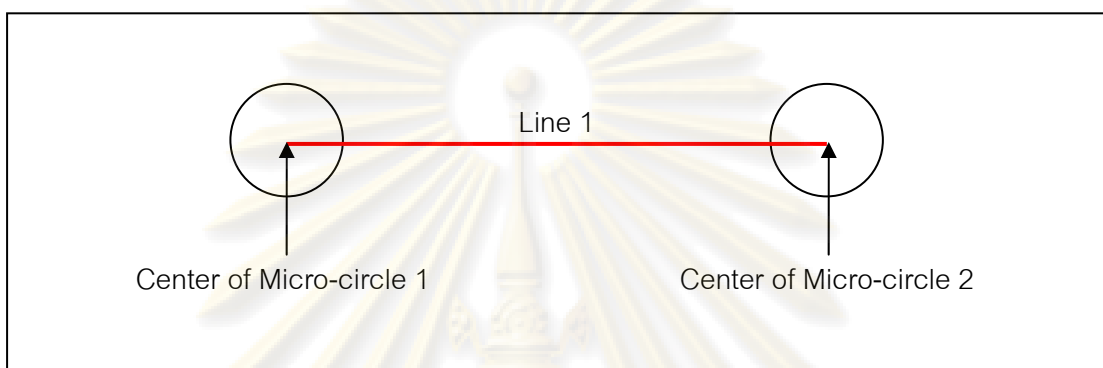
รูปที่ 4.13 ชิ้นงานจริงของเครื่องมือ (Jig)

#### 4.4 การออกแบบกระบวนการวัด

ขั้นตอนเดิมของการวัดค่าความคลาดเคลื่อนของเลนส์โดยเครื่อง Smartscope มีขั้นตอนดังนี้

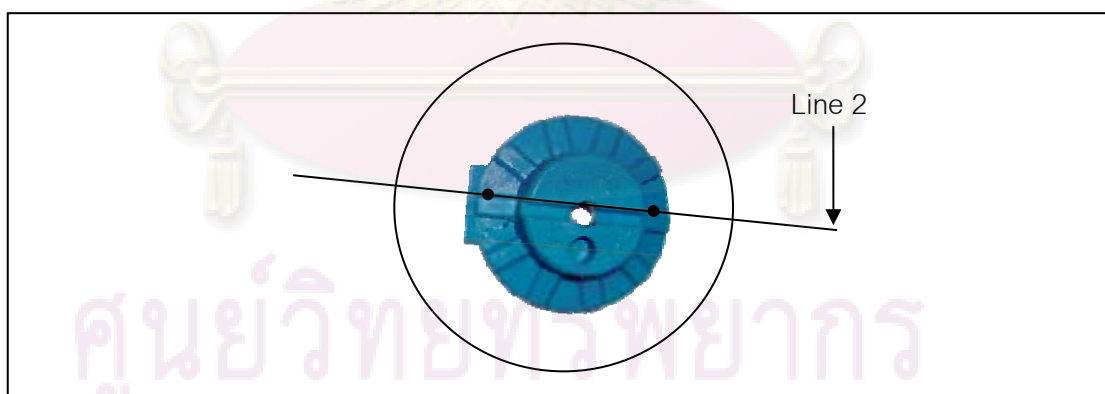
1. นำเลนส์ชนิด Progressive Lens มาทำการบล็อก (Blocking)
2. นำเลนส์ที่ผ่านกระบวนการบล็อกมาจับยึดกับ Pattern ของเครื่อง Smartscope
3. เปิดโปรแกรม Measuremind 3D Multisensor เพื่อใช้ในการวัดค่าความคลาดเคลื่อน

4. เลือกฟังก์ชันการทำงานเพื่อมองหาจุด Micro-circle
5. หลังจากนั้นมองหาจุด Micro-circle แต่ละจุด เพื่อใช้ในการลากเส้นระหว่างจุดกึ่งกลางของ Micro-circle แต่ละจุดในการกำหนดเส้นอ้างอิงของการวัดเส้นที่ 1 (Line 1) แสดงดังรูปที่ 4.14



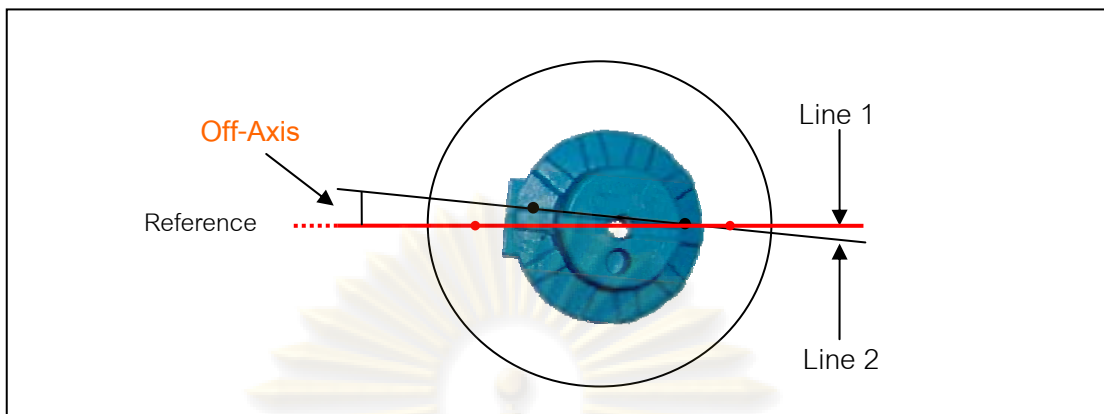
รูปที่ 4.14 การลากเส้นระหว่างจุดกึ่งกลางของวงกลม Micro-circle

6. กำหนดจุด 2 จุดบนเส้นของรอยบากของตัวจับยึด (Block) โดยเลือกจากด้านใดด้านหนึ่ง แล้วทำการลากเส้นที่ 2 ระหว่างจุด 2 จุดดังกล่าว (Line 2) แสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 การกำหนดจุดบนตัวจับยึดเพื่อลากเส้น

7. ใช้โปรแกรมในการหาค่ามุมความคลาดเคลื่อน แสดงดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 การคำนวณค่ามุมความคลาดเคลื่อน

หลังจากนั้นนำค่าที่ได้บันทึกผลในแบบฟอร์มของการบันทึกข้อมูล แสดงในภาคผนวก ง ตารางที่ ง-1 สำหรับกระบวนการวัดเลนส์หลังจากการตัดก็เช่นเดียวกัน ต่างกันตรงที่ต้องใช้วัสดุแบนราบ (กระดาษ) มาวางรองรับเลนส์ ก่อนวางที่ Pattern ของเครื่อง Smartscope

#### 4.5 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis)

การวิเคราะห์ระบบการวัด ประกอบด้วย

##### 1. การทบทวนความเป็นมาตรฐาน (Standardization) ของระบบการวัด

ในการดำเนินโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้มีการทบทวนระบบการวัดที่มีอยู่เดิม โดยมีขั้นตอนในการทบทวนระบบการวัดดังนี้

- 1.1 ทำการสุ่มพนักงานมาจำนวน 3 คน
- 1.2 ทำการสุ่มเลนส์ตัวอย่างที่ใช้วัดค่า Axis มาทำการศึกษา 30 เลนส์
- 1.3 กำหนดจำนวนวัดซ้ำ 3 ครั้งต่อเลนส์
- 1.4 วิธีการประเมินผล ใช้วิธีการวิเคราะห์ระบบการวัดโดยใช้วิธี ANOVA

ในการใช้ ANOVA สำหรับการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดนั้น จะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองแบบบล็อก (Randomized Block Design: RBD) โดยที่มีพนักงานวัดคือปัจจัยที่ทำการศึกษา และชิ้นงาน (เลนส์) คือบล็อก ซึ่งมีความจำเป็นต้องพยายามทำให้ความผันแปรภายในบล็อก (หรือ ชิ้นงาน) มีความใกล้เคียงกัน ในขณะที่ให้ความผันแปรระหว่างบล็อก (ชิ้นงาน) มีค่าสูงๆ ซึ่งการเก็บข้อมูลการวัดสำหรับกระบวนการบล็อกเลนส์และกระบวนการตัดเลนส์แสดงดังตารางที่ 4.4 และ 4.5

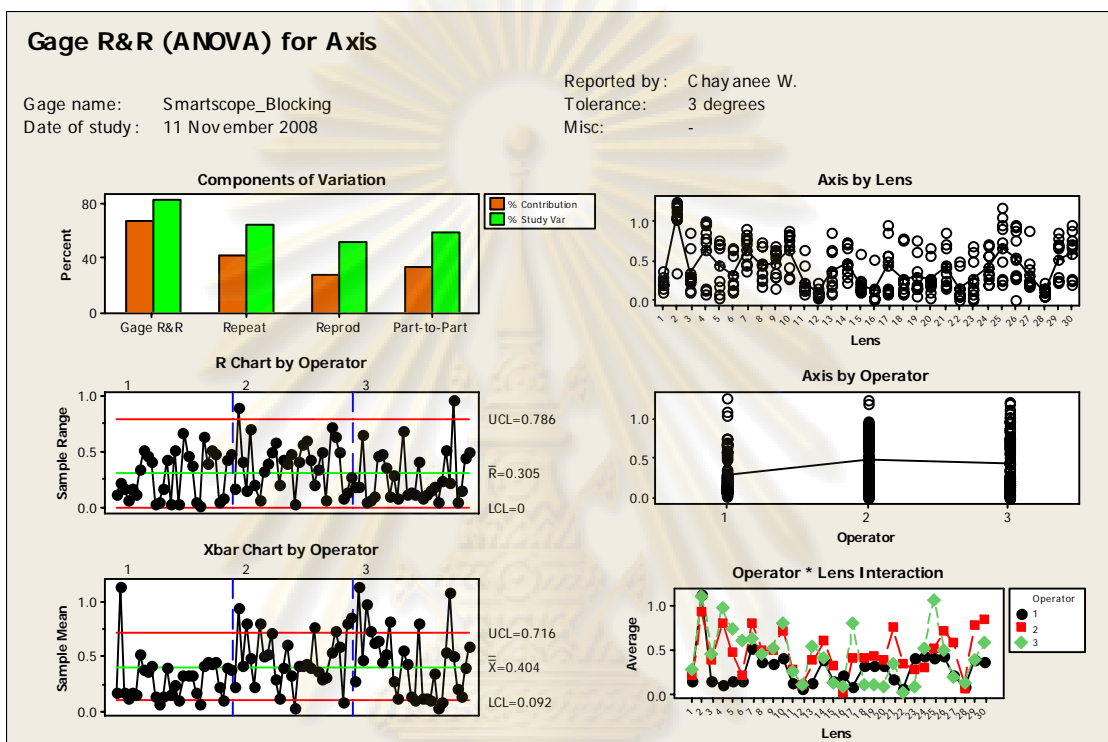
ตารางที่ 4.4 ผลการวัด Axis ของเลนส์หลังกระบวนการบล็อกเลนส์ในการวิเคราะห์ความแม่นยำก่อนการปรับปรุงระบบการวัด

Operator 1				
No.	Mea.1	Mea.2	Mea.3	Average
1	0.0930	0.2090	0.1980	0.1667
2	1.0990	1.2590	1.0420	1.1333
3	0.1140	0.2710	0.1110	0.1653
4	0.1280	0.1510	0.0880	0.1223
5	0.0820	0.1640	0.2460	0.1640
6	0.1320	0.1050	0.2200	0.1523
7	0.3760	0.4740	0.7150	0.5217
8	0.1780	0.6890	0.2450	0.3707
9	0.5910	0.3460	0.1410	0.3593
10	0.6830	0.3010	0.2770	0.4203
11	0.1270	0.1190	0.1490	0.1317
12	0.0640	0.0500	0.0970	0.0703
13	0.2400	0.1100	0.0750	0.1417
14	0.2320	0.2900	0.6610	0.3943
15	0.1390	0.1690	0.1380	0.1487
16	0.5240	0.1480	0.0210	0.2310
17	0.1190	0.0840	0.0990	0.1007
18	0.1020	0.7590	0.1020	0.3210
19	0.1600	0.1990	0.6100	0.3230
20	0.5580	0.1910	0.2180	0.3223
21	0.1990	0.1780	0.1570	0.1780
22	0.0720	0.0650	0.0800	0.0723
23	0.5020	0.0690	0.6920	0.4210
24	0.5780	0.1920	0.5770	0.4490
25	0.2690	0.7500	0.2500	0.4230
26	0.7590	0.2800	0.3000	0.4463
27	0.2140	0.2460	0.2020	0.2207
28	0.0570	0.1400	0.0900	0.0957
29	0.3060	0.2310	0.6570	0.3980
30	0.6770	0.2570	0.2100	0.3813

Operator 2				
No.	Mea.1	Mea.2	Mea.3	Average
1	0.3080	0.2110	0.1420	0.2203
2	1.2410	0.3590	1.1950	0.9317
3	0.6700	0.2610	0.2870	0.4060
4	0.7940	0.7350	0.8770	0.8020
5	0.0300	0.6804	0.7210	0.4771
6	0.1310	0.1970	0.3310	0.2197
7	0.7920	0.7790	0.8460	0.8057
8	0.4830	0.6830	0.3560	0.5073
9	0.6900	0.3100	0.5340	0.5113
10	0.4100	0.8490	0.8920	0.7170
11	0.6460	0.1470	0.0770	0.2900
12	0.2280	0.0980	0.0220	0.1160
13	0.2020	0.6290	0.3380	0.3897
14	0.7460	0.3650	0.7090	0.6067
15	0.2600	0.6000	0.1280	0.3293
16	0.0100	0.0310	0.0390	0.0267
17	0.1580	0.5000	0.5620	0.4067
18	0.7900	0.2330	0.2290	0.4173
19	0.7690	0.3650	0.1840	0.4393
20	0.2720	0.6610	0.2440	0.3923
21	0.6760	0.8680	0.7290	0.7577
22	0.1540	0.4390	0.4900	0.3610
23	0.6070	0.1200	0.1600	0.2957
24	0.3370	0.2670	0.3280	0.3107
25	0.1990	0.9110	0.4920	0.5340
26	0.9010	0.3180	0.9400	0.7197
27	0.8870	0.3990	0.4760	0.5873
28	0.1210	0.0500	0.0610	0.0773
29	0.7260	0.8590	0.7930	0.7927
30	0.9630	0.8960	0.6890	0.8493

Operator 3				
No.	Mea.1	Mea.2	Mea.3	Average
1	0.3740	0.1960	0.2570	0.2757
2	1.1270	1.2090	1.0280	1.1213
3	0.8620	0.2990	0.2130	0.4580
4	1.0080	0.9790	0.9570	0.9813
5	0.7700	0.7100	0.7210	0.7337
6	0.6390	0.6600	0.5590	0.6193
7	0.4410	0.9030	0.5730	0.6390
8	0.7410	0.2770	0.3420	0.4533
9	0.2900	0.6140	0.6480	0.5173
10	0.8280	0.7590	0.8490	0.8120
11	0.4550	0.1690	0.1770	0.2670
12	0.1600	0.0800	0.0910	0.1103
13	0.8570	0.6420	0.1720	0.5570
14	0.4370	0.4710	0.3620	0.4233
15	0.2150	0.0910	0.1180	0.1413
16	0.1380	0.1330	0.0330	0.1013
17	0.9670	0.5580	0.8690	0.7980
18	0.1510	0.1090	0.0780	0.1127
19	0.1480	0.0410	0.1530	0.1140
20	0.0930	0.1760	0.0350	0.1013
21	0.3400	0.4360	0.2580	0.3447
22	0.0100	0.0430	0.0500	0.0343
23	0.2330	0.0040	0.0200	0.0857
24	0.7080	0.6920	0.1960	0.5320
25	1.0580	1.1800	0.9700	1.0693
26	0.9740	0.0150	0.5110	0.5000
27	0.1970	0.1700	0.2220	0.1963
28	0.2130	0.1460	0.0600	0.1397
29	0.6810	0.2490	0.2510	0.3937
30	0.2780	0.7250	0.7600	0.5877

หลังจากนั้นจะนำค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองในแต่ละช่องไปกรอกลงในโปรแกรม Minitab โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) แสดงดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ผลการทบทวนความแม่นยำของระบบการวัด

หลังกระบวนการบล็อกเลนส์ก่อนการปรับปรุงโดยวิธี ANOVA

จากผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ในรูปที่ 4.17 สามารถตีความหมายได้ดังนี้

1. จากแผนภูมิควบคุม R Chart by Operator พบว่าพนักงานทั้ง 3 คนวัดค่า Axis ของเลนส์มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยพนักงานคนที่ 3 อาจจะทำให้ความผันแปรจากการวัดสูงกว่าพนักงานคนที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
2. จากแผนภูมิควบคุม X-bar Chart by Operator พบว่าความแปรปรวนจากระบบการวัดมีค่ามากเมื่อเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ เนื่องจากระบบการวัดยังไม่สามารถตรวจจับความแตกต่างของชิ้นงานได้อย่างดีพอ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดจะไม่มีคุณภาพอย่างเพียงพอในการประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการ

**Results for: Study Test 1 \_After Blocking\_Smartscope.MTW**  
**Gage R&R Study - ANOVA Method**

Gage R&R for Axis

Gage name: Smartscope\_Blocking  
 Date of study: 11 November 2008  
 Reported by: Chayanee W.  
 Tolerance: 3 degrees  
 Misc: -

**Two-Way ANOVA Table With Interaction**

Source	DF	SS	MS	F	P
Lens	29	11.5672	0.398869	4.14467	0.000
Operator	2	1.6672	0.833595	8.66194	0.001
Lens * Operator	58	5.5817	0.096236	2.34668	0.000
Repeatability	180	7.3817	0.041010		
Total	269	26.1978			

**Gage R&R**

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.067611	66.79
Repeatability	0.041010	40.51
Reproducibility	0.026602	26.28
Operator	0.008193	8.09
Operator*Lens	0.018409	18.18
Part-To-Part	0.033626	33.21
Total Variation	0.101237	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.260022	1.33911	81.72
Repeatability	0.202508	1.04292	63.65
Reproducibility	0.163101	0.83997	51.26
Operator	0.090514	0.46615	28.45
Operator*Lens	0.135680	0.69875	42.64
Part-To-Part	0.183373	0.94437	57.63
Total Variation	0.318178	1.63862	100.00

Number of Distinct Categories = 1

รูปที่ 4.18 ผลการทบทวนความแม่นยำของระบบการวัด

หลังกระบวนการบล็อกเลนส์ก่อนการปรับปรุงในส่วนของ Session โดยวิธี ANOVA

3. Number of Distinct Categories:  $ndc = 1$  แสดงว่าระบบการวัดที่ทำการศึกษาสามารถแยกข้อมูลที่วัดได้เพียง 1 ประเภทที่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าข้อมูลที่ได้ยังไม่สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการวัดได้

4. ความผันแปรจากสิ่งตัวอย่าง (Standard Deviation : SD) จะมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลทดลองทั้งหมด (Total Variation) เท่ากับ 0.318178 องศา เป็นความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากชิ้นงานทดสอบ (Part-To-Part) 0.183373 องศา และความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากระบบการวัด (Total Gage R&R) 0.260022 องศา

5. ความผันแปรที่ประมาณค่าได้ของระบบการวัด (Study Variation) จะมีความผันแปรของข้อมูลทั้งหมด (Total Variation) มีค่า 1.63862 องศา ซึ่งแบ่งออกเป็นความผันแปรจากระบวนการผลิต (Part-To-Part) 0.94437 องศา และความผันแปรจากระบบการวัด (Total Gage R&R) 1.33911 องศา

6. ประเมินผลระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (%Study Variation หรือ TV หรือ P/TV) พบว่า ถ้าความผันแปรของกระบวนการผลิตที่ประเมินได้จากค่าวัดทั้งหมด (Total Variation) มีค่าเท่ากับ 100 องศา จะเป็นความผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการผลิต (Part-To-Part) 57.63 องศา และความผันแปรจากระบบการวัด (Total Gage R&R) 81.72 องศา ซึ่งแบ่งออกเป็นความผันแปรจากสาเหตุด้าน Repeatability 63.65 องศา และความผันแปรด้าน Reproducibility 51.26 องศา

7. ค่า Variation Component (VarComp) หมายถึงองค์ประกอบของความแปรปรวนของการทดลองแบบตัวแบบสุ่ม จะพบว่าความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมด (Total Variation) มีค่า 0.101237 องศา จะมาจากความแปรปรวนจากกระบวนการผลิต (Part-To-Part) 0.033626 องศา และความแปรปรวนจากระบบการวัด (Total Gage R&R) 0.067611 องศา ซึ่งแบ่งออกเป็นความแปรปรวนจากสาเหตุด้าน Repeatability 0.041010 องศา และสาเหตุด้าน Reproducibility 0.026602 องศา

8. จากองค์ประกอบของความแปรปรวนตามข้อ 7 เมื่อทำการเทียบเป็นค่าร้อยละแล้วจะพบว่า ถ้าความแปรปรวนของข้อมูลทั้งหมด (Total Variation) คือ 100 องศา จะเป็นผลเนื่องจากความแปรปรวนของกระบวนการผลิต (Part-To-Part) 33.21 องศา และความแปรปรวนของระบบการวัด (Total Gage R&R) 66.79 องศา ซึ่งมาจากสาเหตุสาเหตุด้าน Repeatability 40.51 องศา และสาเหตุด้าน Reproducibility 26.28 องศา

เนื่องจาก Total Gage R&R มีค่าเท่ากับ 81.72% ซึ่งมากกว่า 10% จึงสรุปได้ว่าระบบการวัดยังไม่สามารถใช้วัดค่า Axis ของเลนส์จากกระบวนการบล็อกเลนส์ได้อย่างเหมาะสม

9. P-Value ของอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดกับชิ้นงานวัด (Interaction Effect) มีค่าเท่ากับ 0.000 น้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปว่าอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดกับชิ้นงานวัดมีนัยสำคัญ แสดงว่าเมื่อเปลี่ยนชิ้นงานให้พนักงานคนเดิมทำการวัดแล้วผลการวัดเปลี่ยนไป และเนื่องจากอิทธิพลร่วมมีนัยสำคัญแล้ว ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องตีความหมายจากอิทธิพลหลัก (Main Effect) ของพนักงานวัดหรือชิ้นงานอีก

ตารางที่ 4.5 ผลการวัด Axis ของเลนส์หลังกระบวนการตัดเลนส์ในกรณีวิเคราะห์ความแม่นยำก่อนการปรับปรุงระบบการวัด

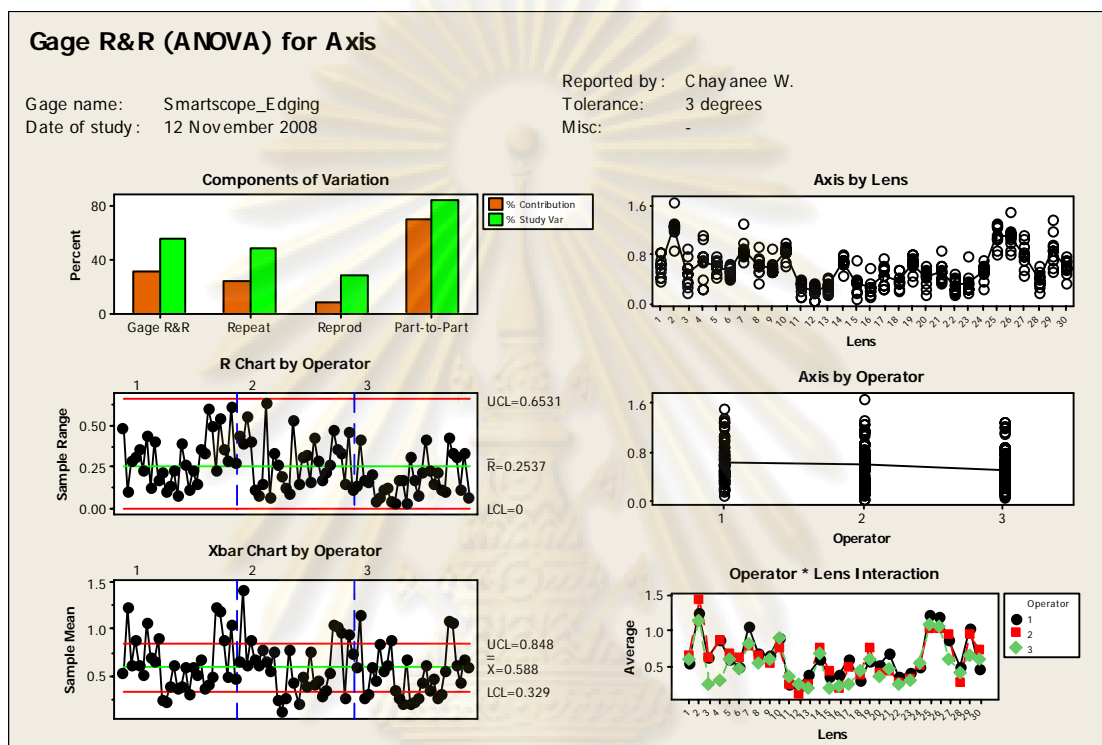
Operator 1				
No.	Mea.1	Mea.2	Mea.3	Average
1	0.8337	0.4232	0.3513	0.5361
2	1.2329	1.2954	1.1999	1.2427
3	0.7751	0.5762	0.4911	0.6141
4	0.7665	1.0738	0.7931	0.8778
5	0.6230	0.7785	0.4222	0.6079
6	0.6140	0.5148	0.3834	0.5041
7	1.3198	1.0154	0.8807	1.0720
8	0.7099	0.7363	0.6129	0.6864
9	0.5108	0.9082	0.5328	0.6506
10	1.0039	0.8289	0.8792	0.9040
11	0.2882	0.1033	0.3208	0.2374
12	0.2854	0.1828	0.1892	0.2191
13	0.2986	0.4324	0.3833	0.3714
14	0.7001	0.6567	0.4672	0.6080
15	0.3434	0.4101	0.3356	0.3630
16	0.5821	0.3424	0.1896	0.3714
17	0.5820	0.7320	0.4636	0.5925
18	0.3471	0.2384	0.3292	0.3049
19	0.6876	0.4547	0.6070	0.5831
20	0.4800	0.6038	0.4616	0.5151
21	0.8792	0.6154	0.5217	1.0054
22	0.4357	0.4951	0.1613	0.3640
23	0.7821	0.1855	0.2340	0.4005
24	0.7144	0.2216	0.5157	0.4839
25	1.3105	1.2906	1.0809	1.2273
26	1.0568	1.5328	0.9888	1.1928
27	0.8338	1.0695	0.7108	0.8714
28	0.6217	0.5105	0.3409	0.4910
29	1.3779	0.9797	0.7654	1.0410
30	0.3147	0.5935	0.5007	0.4696

Operator 2				
No.	Mea.1	Mea.2	Mea.3	Average
1	0.8464	0.4141	0.7104	0.6570
2	1.2821	1.3380	1.6766	1.4322
3	0.9090	0.3566	0.5900	0.6185
4	1.1228	0.7722	0.7202	0.8717
5	0.7286	0.6745	0.6204	0.6745
6	0.6601	0.6125	0.5820	0.6182
7	0.8183	0.8407	0.6929	0.7840
8	0.6539	0.9533	0.3247	0.6440
9	0.5224	0.5228	0.5872	0.5441
10	0.6884	0.9477	0.6188	0.7516
11	0.3810	0.1154	0.2037	0.2334
12	0.0436	0.2357	0.0428	0.1074
13	0.3331	0.2100	0.2340	0.2590
14	0.7762	0.8190	0.7378	0.7777
15	0.1945	0.3611	0.7217	0.4258
16	0.2708	0.1886	0.1257	0.1950
17	0.5658	0.2985	0.6051	0.4898
18	0.5429	0.2171	0.3580	0.3727
19	0.8046	0.8191	0.6607	0.7615
20	0.5195	0.5615	0.1312	0.4041
21	0.3259	0.6102	0.3659	0.4340
22	0.3873	0.2156	0.2356	0.2795
23	0.4344	0.3341	0.2211	0.3299
24	0.6277	0.3598	0.6037	0.5304
25	1.0673	0.7980	1.2716	1.0456
26	0.8115	1.1664	1.1309	1.0363
27	0.7938	0.9407	1.1296	0.9547
28	0.2775	0.1790	0.3311	0.2625
29	0.7248	0.9240	1.1843	0.9444
30	0.6789	0.7937	0.7159	0.7295

Operator 3				
No.	Mea.1	Mea.2	Mea.3	Average
1	0.6466	0.5120	0.6372	0.5986
2	1.2489	0.8818	1.2982	1.1430
3	0.2541	0.1601	0.3310	0.2484
4	0.2496	0.4047	0.2465	0.3003
5	0.4936	0.6946	0.5950	0.5944
6	0.4768	0.4307	0.4451	0.4509
7	0.8472	0.8569	0.7870	0.8304
8	0.5159	0.5297	0.6302	0.5586
9	0.5365	0.6284	0.6639	0.6096
10	0.9026	0.8999	0.8592	0.8872
11	0.3564	0.3452	0.3239	0.3418
12	0.3299	0.1606	0.2564	0.2490
13	0.1665	0.1289	0.3027	0.1994
14	0.6839	0.6731	0.6587	0.6719
15	0.1633	0.0663	0.3708	0.2001
16	0.2678	0.1036	0.2605	0.2106
17	0.2488	0.2282	0.2994	0.2588
18	0.3299	0.5494	0.4162	0.4318
19	0.6104	0.3536	0.7245	0.5628
20	0.4633	0.3275	0.2406	0.3438
21	0.5414	0.4291	0.3956	0.4554
22	0.2415	0.1399	0.3616	0.2477
23	0.3521	0.2435	0.2693	0.2883
24	0.5445	0.4931	0.5919	0.5432
25	0.8682	1.2942	1.0992	1.0872
26	0.8698	1.1320	1.1992	1.0670
27	0.4719	0.5509	0.7820	0.6016
28	0.3452	0.4581	0.4383	0.4139
29	0.5344	0.5867	0.8722	0.6644
30	0.5592	0.5804	0.6205	0.5867



หลังจากนั้นจะนำค่าเฉลี่ยจากการทดลองในแต่ละช่องไปกรอกลงในโปรแกรม Minitab โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) แสดงดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ผลการทบทวนความแม่นยำของระบบการวัด  
หลังกระบวนการตัดเลนส์ก่อนการปรับปรุงโดยวิธี ANOVA

จากผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ในรูปที่ 4.19 สามารถตีความหมายได้ดังนี้

1. จากแผนภูมิควบคุม R Chart by Operator พบว่าพนักงานทั้ง 3 คนวัดค่า Axis ของเลนส์มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยพนักงานคนที่ 1 อาจจะทำให้ความผันแปรจากการวัดสูงกว่าพนักงานคนที่ 2 และ 3 ตามลำดับ
2. จากแผนภูมิควบคุม X-bar Chart by Operator พบว่าความแปรปรวนจากระบบการวัดมีค่ามากเมื่อเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ เนื่องจากระบบการวัดยังไม่สามารถตรวจจับความแตกต่างของชิ้นงานได้อย่างดีพอ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดจะไม่มีคุณภาพอย่างเพียงพอในการประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการ

**Results for: Study Test 1\_After Edging\_Smartscope.MTW**  
**Gage R&R Study - ANOVA Method**

Gage R&R for Axis

Gage name: Smartscope\_Edging  
 Date of study: 12 November 2008  
 Reported by: Chayanee W.  
 Tolerance: 3 degrees  
 Misc: -

**Two-Way ANOVA Table With Interaction**

Source	DF	SS	MS	F	P
Lens	29	19.5277	0.673368	17.7460	0.000
Operator	2	0.6102	0.305083	8.0402	0.001
Lens * Operator	58	2.2008	0.037945	1.5984	0.010
Repeatability	180	4.2730	0.023739		
Total	269	26.6116			

**Gage R&R**

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.031442	30.81
Repeatability	0.023739	23.26
Reproducibility	0.007704	7.55
Operator	0.002968	2.91
Operator*Lens	0.004735	4.64
Part-To-Part	0.070603	69.19
Total Variation	0.102045	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.177320	0.91320	55.51
Repeatability	0.154074	0.79348	48.23
Reproducibility	0.087770	0.45201	27.48
Operator	0.054481	0.28058	17.05
Operator*Lens	0.068814	0.35439	21.54
Part-To-Part	0.265711	1.36841	83.18
Total Variation	0.319445	1.64514	100.00

Number of Distinct Categories = 2

รูปที่ 4.20 ผลการทบทวนความแม่นยำของระบบการวัด

หลังกระบวนการตัดเลนส์ก่อนการปรับปรุงในส่วนของ Session โดยวิธี ANOVA

3. Number of Distinct Categories:  $ndc = 2$  แสดงว่าระบบการวัดที่ทำการศึกษาสามารถแยกข้อมูลที่วัดได้เพียง 2 ประเภทที่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าข้อมูลที่ได้ยังไม่สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการวัดได้

4. ความผันแปรจากสิ่งตัวอย่าง (Standard Deviation : SD) จะมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลทดลองทั้งหมด (Total Variation) เท่ากับ 0.319445 องศา เป็นความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากชิ้นงานทดสอบ (Part-To-Part) 0.265711 องศา และความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากระบบการวัด (Total Gage R&R) 0.177320 องศา

5. ความผันแปรที่ประมาณค่าได้ของระบบการวัด (Study Variation) จะมีความผันแปรของข้อมูลทั้งหมด (Total Variation) มีค่า 1.64514 องศา ซึ่งแบ่งออกเป็นความผันแปรจากระบบการผลิต (Part-To-Part) 1.36841 องศา และความผันแปรจากระบบการวัด (Total Gage R&R) 0.91320 องศา

6. ประเมินผลระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (%Study Variation หรือ TV หรือ P/TV) พบว่า ถ้าความผันแปรของกระบวนการผลิตที่ประเมินได้จากค่าวัดทั้งหมด (Total Variation) มีค่าเท่ากับ 100 องศา จะเป็นความผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการผลิต (Part-To-Part) 83.18 องศา และความผันแปรจากระบบการวัด (Total Gage R&R) 55.51 องศา ซึ่งแบ่งออกเป็นความผันแปรจากสาเหตุด้าน Repeatability 48.23 องศา และความผันแปรด้าน Reproducibility 27.48 องศา

7. ค่า Variation Component (VarComp) หมายถึงองค์ประกอบของความแปรปรวนของการทดลองแบบตัวแบบสุ่ม จะพบว่าความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมด (Total Variation) มีค่า 0.102045 องศา จะมาจากความแปรปรวนจากระบบการผลิต (Part-To-Part) 0.070603 องศา และความแปรปรวนจากระบบการวัด (Total Gage R&R) 0.031442 องศา ซึ่งแบ่งออกเป็นความแปรปรวนจากสาเหตุด้าน Repeatability 0.023739 องศา และสาเหตุด้าน Reproducibility 0.007704 องศา

8. จากองค์ประกอบของความแปรปรวนตามข้อ 7 เมื่อทำการเทียบเป็นค่าร้อยละแล้วจะพบว่า ถ้าความแปรปรวนของข้อมูลทั้งหมด (Total Variation) คือ 100 องศา จะเป็นผลเนื่องจากความแปรปรวนของกระบวนการผลิต (Part-To-Part) 69.19 องศา และความแปรปรวนของระบบการวัด (Total Gage R&R) 30.81 องศา ซึ่งมาจากสาเหตุสาเหตุด้าน Repeatability 23.26 องศา และสาเหตุด้าน Reproducibility 7.55 องศา

เนื่องจาก Total Gage R&R มีค่าเท่ากับ 55.51% ซึ่งมากกว่า 10% จึงสรุปได้ว่าระบบการวัดที่ทำการวัดนี้ ยังไม่สามารถใช้ในการวัดค่า Axis ของเลนส์จากกระบวนการตัดเลนส์ได้อย่างเหมาะสม

9. P-Value ของอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดกับชิ้นงานวัด (Interaction Effect) มีค่าเท่ากับ 0.010 น้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปว่าอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดกับชิ้นงานวัดมีนัยสำคัญ แสดงว่าเมื่อเปลี่ยนชิ้นงานให้พนักงานคนเดิมทำการวัดแล้วผลการวัดเปลี่ยนไป และเนื่องจากอิทธิพลร่วมมีนัยสำคัญแล้ว ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องตีความหมายจากอิทธิพลหลัก (Main Effect) ของพนักงานวัดหรือชิ้นงานอีก

### สำหรับขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม Minitab แสดงดังภาคผนวก จ

หลังจากการทดลองทั้งสองกระบวนการพบว่า ระบบการวัดยังไม่อยู่ในเสถียรภาพ จึงได้มีการวิเคราะห์ประเด็นปัญหาต่างๆ ประกอบด้วย การวิเคราะห์จากเครื่องมือวัด วิธีการวัด พนักงานวัด และสิ่งแวดล้อมในการวัด พบประเด็นต่างๆ ที่สำคัญในระบบการวัดหลายประการ และได้มีการกำหนดมาตรฐานใหม่ในบางประเด็น เพื่อลดโอกาสของการเกิดความคลาดเคลื่อนของค่าวัด และทำการแก้ไขเพื่อให้เกิดความเสถียรภาพก่อนนำเครื่องมือดังกล่าวไปเก็บข้อมูลจริง สำหรับข้อกำหนดมาตรฐานในการวัดมีดังนี้

1. เครื่องมือวัด: การใช้เครื่อง Smartscope และเครื่องมือวัด (Jig) ในกรณีที่ทำ การวัดหลังจากกระบวนการตัดเลนส์แทนวัสดุแบนราบ (กระดาษ)

2. วิธีการวัด: พบว่าพนักงานที่ทำหน้าที่วัดค่า Axis ทำการเลือกจุดบนวงกลม Micro-circle เพื่อลากเส้น (เส้นที่ 1) รวมทั้งการวัดจุดบนเส้นของรอยบากของตัวจับยึดเพื่อ ลากเส้น (เส้นที่ 2) มีความแตกต่างกัน อีกทั้งในการวัดค่าในแต่ละเลนส์มีขั้นตอนในการวัดไม่เรียง ตามลำดับก่อนหลังที่ตรงกัน ซึ่งทำให้ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนมาก ดังนั้นจึงได้กำหนดมาตรฐาน ในการวัดค่า Axis ได้ดังนี้

2.1 เปลี่ยนการเลือกจุดกึ่งกลางของวงกลม Micro-circle เพื่อลากเส้น (เส้น ที่ 1) เป็นการ Marking จุด dot pinning บนเลนส์เพื่อลากเส้นแทน

2.2 กำหนดจุดที่เหมาะสม ซึ่งอยู่ตรงกลางระหว่างรอยบากของตัวจับยึด ทั้ง สองด้านเพื่อลากเส้น (เส้นที่ 2) โดยใช้เครื่อง Micro-percussion กำหนดจุด Marking แทน

2.3 กำหนดลำดับการวัดจากด้านซ้ายไปด้านขวาเสมอ

3. พนักงานวัด: เนื่องจากเครื่อง Smartscope เป็นเครื่องจักรที่เลือกมาใช้ใน กระบวนการวัดค่าดังกล่าวเป็นครั้งแรกทำให้พนักงานที่ทำการวัดยังไม่มี ความชำนาญมากพอ ดังนั้นจึงได้จัดฝึกอบรมขั้นตอนและวิธีการวัดที่ถูกต้อง เพื่อให้มั่นใจได้ว่าพนักงานวัดสามารถวัด และอ่านค่าได้อย่างถูกต้อง

4. สิ่งแวดล้อมในการวัด: พบว่าระบบการวัดค่า Axis จะขึ้นอยู่กับสายตาในการ ตัดสินใจเลือกจุดของผู้ทำการวัดเลนส์ ระบุให้ทำการวัดเลนส์ในช่วงเวลาเช้า

2. การวิเคราะห์ความถูกต้อง (Accuracy) ของระบบการวัด

ในประเด็นของการใช้เครื่อง Smartscope ซึ่งได้ทำการสอบเทียบ (Calibration) ตามช่วงเวลาที่กำหนดอย่างสม่ำเสมอ และในระหว่างการดำเนินโครงการวิจัย เครื่องมือวัด

ดังกล่าวยังอยู่ในช่วงเวลาการรับรองผลความถูกต้อง ฉะนั้นจึงถือวาระบบการวัดดังกล่าวมีคุณสมบัติด้านความถูกต้องของเครื่องมือวัดครบทั้ง 3 ประการ ประกอบด้วย คุณสมบัติด้านไบอัส (Bias), ด้านเสถียรภาพ (Stability) และคุณสมบัติเชิงเส้นตรง (Linearity)

### 3. การวิเคราะห์ความแม่นยำ (Precision) ของระบบการวัด

ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่นยำ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) และความสามารถในการทำเหมือน (Reproducibility) ซึ่งการประเมินผลความแม่นยำดังกล่าวจะพิจารณาดัชนีที่เรียกว่า GR&R (Gage Repeatability and Reproducibility)

งานวิจัยนี้ จึงได้ทำการวางแผนการศึกษาความแม่นยำในแต่ละประเด็นดังนี้

1. เครื่องมือวัดที่ใช้: กำหนดให้มีการใช้เครื่อง Smartscope ที่ผ่านการสอบเทียบ และเครื่องมือ (Jig) ในกรณีที่ทำกรวัดหลังจากกระบวนการตัดเลนส์
2. จำนวนพนักงานวัดที่ใช้ : สุ่มพนักงานที่มีหน้าที่ในการวัดค่า Axis ที่ผ่านการฝึกอบรมในด้านการใช้เครื่องจักรและเครื่องมือวัดมาทำการศึกษา 3 คน จากทั้งสิ้น 5 คน
3. จำนวนเลนส์ตัวอย่างที่ใช้วัด: ทำการสุ่มเลนส์ที่ทำการผลิตที่มีค่า Axis แตกต่างกันในช่วงของความผันแปรของกระบวนการผลิตมาทำการศึกษาทั้งสิ้น 30 เลนส์
4. จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับเลนส์ตัวอย่างแต่ละเลนส์ กำหนดให้พนักงานวัดแต่ละคนมีการวัดซ้ำคนละ 3 ครั้งต่อเลนส์
5. การดำเนินการทดลอง: ดำเนินการทดลองตามหลักการสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) โดยการทดลองจะต้องอยู่ภายใต้สภาวะควบคุมเดียวกัน (หรือภายใน Block) โดยมีพนักงานวัดและเลนส์เป็นปัจจัยที่ทำการศึกษา ซึ่งลำดับในการทดลองเป็นไปอย่างสุ่ม และได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.6 และ 4.7
6. วิธีการประเมินผล: ใช้วิธีการวิเคราะห์ระบบการวัดโดยใช้วิธี ANOVA
7. วิธีการทดสอบ
  - เปิดเครื่องโดยใช้สวิตซ์ On/Off ที่เครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่อง Smartscope ตามลำดับ จากหน้าจอให้กด OK หรือ ENTER เพื่อเข้าสู่หน้าต่าง window
  - เปิดโปรแกรม MeasureMind 3D Multisensor หลังจากนั้นกดปุ่ม start/stop ที่ตัวเครื่อง และเลือก OK ที่หน้าจอตามลำดับ รอประมาณ 1-2 นาที
  - วางเลนส์ที่ Pattern ของตัวเครื่อง

- ใช้ Joy Stick ในการกำหนดทิศทางการเล่น holder เพื่อหาจุด Dot pining บนเลนส์

- เลือกฟังก์ชันเพื่อลากเส้นอ้างอิง (เส้นที่ 1) จากจุดกึ่งกลางของ Dot pining ด้านซ้ายไปยังจุดกึ่งกลางของ Dot pining ด้านขวา หลังจากเลือกแต่ละจุดแล้วให้กดปุ่ม ENTER ทุกครั้ง เมื่อเลือกครบทั้งสองจุดแล้ว (ทั้งด้านซ้ายและด้านขวา) จะต้องกดปุ่ม DONE เพื่อยืนยันเสมอ

- เปลี่ยนหน้าจอโปรแกรม เพื่อตรวจสอบผลของการลากเส้นอีก แล้วเปลี่ยนหน้าจอโปรแกรมกลับอีกครั้งเพื่อเข้าสู่หน้าจอเดิม

- เลือกฟังก์ชันเดิมอีกครั้ง เพื่อลากเส้นอ้างอิง (เส้นที่ 2) จากจุดกึ่งกลางของจุด Marking ระหว่างรอยบากของตัวจับยึดด้านซ้ายไปยังด้านขวา เมื่อเลือกครบทั้งสองจุดแล้ว (ทั้งด้านซ้ายและด้านขวา) จะต้องกดปุ่ม DONE เพื่อยืนยันเสมอ แล้วเปลี่ยนหน้าจอโปรแกรมเพื่อตรวจสอบผลอีกครั้ง

- เลือกฟังก์ชันเพื่อทำการวัดมุมระหว่างเส้นที่ 1 กับ 2 โดยทำการเลือกทีละเส้นเพื่อเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพู หลังจากนั้นโปรแกรมจะแสดงผลลัพธ์ของมุมที่มุมขวามือของโปรแกรม แล้วกดปุ่ม DONE เพื่อจบการทำงาน

- ถ้าต้องการดูรายละเอียดของการประมวลผลในแต่ละขั้นตอนของโปรแกรม ให้เลือก File/Print และถ้าต้องการบันทึกข้อมูลให้เลือกที่ To file แล้วกด OK ตามลำดับ

จากข้างต้นเป็นวิธีการทดสอบหลังจากกระบวนการบล็อกเลนส์แบบสรุปเท่านั้น สำหรับรายละเอียดขั้นตอนของการทดสอบทั้งหมด รวมถึงวิธีการทดสอบหลังจากกระบวนการตัดเลนส์อธิบายไว้ในภาคผนวก ค

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

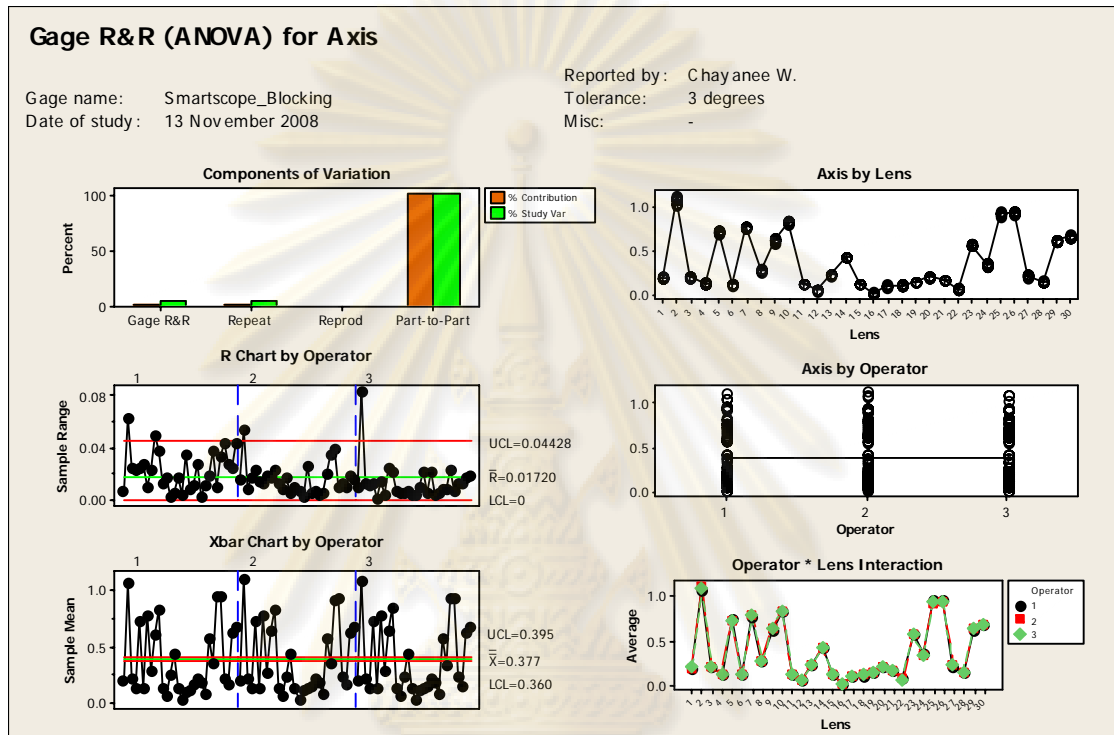
ตารางที่ 4.6 ผลการวัด Axis ของเลนส์หลังกระบวนการบล็อกเลนส์ในการวิเคราะห์ความแม่นยำหลังการปรับปรุงระบบการวัด

Operator 1				
No.	Mea.1	Mea.2	Mea.3	Average
1	0.1942	0.1901	0.1974	0.1939
2	1.0560	1.0050	1.0530	1.0380
3	0.2130	0.2120	0.2180	0.2143
4	0.1330	0.1390	0.1200	0.1307
5	0.7450	0.7380	0.7210	0.7347
6	0.1120	0.1050	0.1110	0.1093
7	0.7800	0.7721	0.7709	0.7743
8	0.2980	0.2850	0.2830	0.2887
9	0.5910	0.6083	0.5903	0.5965
10	0.8130	0.8244	0.8000	0.8125
11	0.1145	0.1190	0.1122	0.1152
12	0.0640	0.0600	0.0670	0.0637
13	0.2400	0.2380	0.2401	0.2394
14	0.4250	0.4291	0.4298	0.4280
15	0.1390	0.1321	0.1380	0.1364
16	0.0170	0.0191	0.0187	0.0183
17	0.0990	0.0840	0.0990	0.0940
18	0.1020	0.1053	0.1100	0.1058
19	0.1100	0.1567	0.1492	0.1386
20	0.2190	0.1910	0.2180	0.2093
21	0.1802	0.1780	0.1798	0.1793
22	0.0730	0.0687	0.0800	0.0739
23	0.5870	0.5690	0.5840	0.5800
24	0.3540	0.3390	0.3770	0.3567
25	0.9440	0.9542	0.9500	0.9494
26	0.9590	0.9630	0.9300	0.9507
27	0.2140	0.2460	0.2020	0.2207
28	0.1540	0.1600	0.1667	0.1602
29	0.6060	0.6110	0.6100	0.6090
30	0.6870	0.6980	0.7010	0.6953

Operator 2				
No.	Mea.1	Mea.2	Mea.3	Average
1	0.2082	0.2050	0.2020	0.2051
2	1.1400	1.1320	1.1470	1.1397
3	0.2043	0.2130	0.2190	0.2121
4	0.1455	0.1400	0.1489	0.1448
5	0.7201	0.7231	0.7210	0.7214
6	0.1310	0.1372	0.1278	0.1320
7	0.7920	0.7890	0.7852	0.7887
8	0.2611	0.2745	0.2700	0.2685
9	0.6500	0.6333	0.6445	0.6426
10	0.8255	0.8490	0.8267	0.8337
11	0.1367	0.1288	0.1235	0.1297
12	0.0543	0.0530	0.0587	0.0553
13	0.2202	0.2372	0.2300	0.2291
14	0.4300	0.4354	0.4301	0.4318
15	0.1260	0.1251	0.1280	0.1264
16	0.0233	0.0276	0.0303	0.0271
17	0.1090	0.1113	0.1098	0.1100
18	0.1279	0.1333	0.1258	0.1290
19	0.1552	0.1498	0.1511	0.1520
20	0.2067	0.2122	0.2040	0.2076
21	0.1777	0.1755	0.1800	0.1777
22	0.0756	0.0743	0.0698	0.0732
23	0.5667	0.5871	0.5690	0.5743
24	0.3370	0.3621	0.3280	0.3424
25	0.9000	0.9110	0.9390	0.9167
26	0.9444	0.9350	0.9400	0.9398
27	0.2376	0.2390	0.2265	0.2344
28	0.1551	0.1500	0.1598	0.1550
29	0.6370	0.6404	0.6423	0.6399
30	0.6630	0.6781	0.6734	0.6715

Operator 3				
No.	Mea.1	Mea.2	Mea.3	Average
1	0.2009	0.1977	0.2071	0.2019
2	1.0266	1.0130	1.0190	1.0195
3	0.2198	0.2008	0.2130	0.2112
4	0.1338	0.1298	0.1225	0.1287
5	0.7133	0.7100	0.7110	0.7114
6	0.1300	0.1298	0.1299	0.1299
7	0.7901	0.7834	0.7967	0.7901
8	0.2734	0.2770	0.2743	0.2749
9	0.6303	0.6240	0.6480	0.6341
10	0.8280	0.8409	0.8490	0.8393
11	0.1202	0.1236	0.1270	0.1236
12	0.0691	0.0657	0.0632	0.0660
13	0.2298	0.2331	0.2345	0.2325
14	0.4370	0.4299	0.4303	0.4324
15	0.1256	0.1299	0.1280	0.1278
16	0.0199	0.0233	0.0234	0.0222
17	0.1010	0.1105	0.1076	0.1064
18	0.1299	0.1090	0.1277	0.1222
19	0.1480	0.1499	0.1530	0.1503
20	0.2245	0.2131	0.2266	0.2214
21	0.1791	0.1812	0.1779	0.1794
22	0.0675	0.0723	0.0722	0.0707
23	0.5770	0.5683	0.5766	0.5740
24	0.3440	0.3355	0.3402	0.3399
25	0.9443	0.9220	0.9338	0.9334
26	0.9350	0.9400	0.9327	0.9359
27	0.2178	0.2308	0.2220	0.2235
28	0.1446	0.1460	0.1470	0.1459
29	0.6210	0.6278	0.6277	0.6255
30	0.6580	0.6570	0.6588	0.6579

หลังจากนั้นจะนำค่าเฉลี่ยจากการทดลองในแต่ละช่องไปกรอกลงในโปรแกรม Minitab โดยจะอาศัยหลักการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) แสดงดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ผลการทบทวนความแม่นยำของระบบการวัด  
หลังกระบวนการบล็อกเลนส์หลังการปรับปรุงโดยวิธี ANOVA

จากผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ในรูปที่ 4.21 สามารถตีความหมายได้ดังนี้

1. จากแผนภูมิควบคุม R Chart by Operator พบว่าพนักงานทั้ง 3 คนวัดค่า Axis ของเลนส์ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก แต่พนักงานคนที่ 1 อาจจะทำให้ความผันแปรจากการวัดสูงกว่าพนักงานคนที่ 2 และ 3 ตามลำดับ
2. จากแผนภูมิควบคุม X-bar Chart by Operator พบว่าความแปรปรวนจากระบบการวัดมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ เนื่องจากระบบการวัดสามารถตรวจจับความแตกต่างของชิ้นงานได้อย่างดีพอ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดมีคุณภาพอย่างเพียงพอในการประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการ



**Results for: Study Test 2\_After Blocking\_Smartscope.MTW**  
**Gage R&R Study - ANOVA Method**

Gage R&R for Axis

Gage name: Smartscope\_Blocking  
 Date of study: 13 November 2008  
 Reported by: Chayanee W.  
 Tolerance: 3 degrees  
 Misc: -

**Two-Way ANOVA Table With Interaction**

Source	DF	SS	MS	F	P
Lens	29	25.5151	0.879832	1251.28	0.000
Operator	2	0.0023	0.001175	1.67	0.197
Lens * Operator	58	0.0408	0.000703	9.53	0.000
Repeatability	180	0.0133	0.000074		
Total	269	25.5715			

**Gage R&R**

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0002888	0.29
Repeatability	0.0000738	0.08
Reproducibility	0.0002150	0.22
Operator	0.0000052	0.01
Operator*Lens	0.0002098	0.21
Part-To-Part	0.0976810	99.71
Total Variation	0.0979698	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.016994	0.08752	5.43
Repeatability	0.008589	0.04424	2.74
Reproducibility	0.014664	0.07552	4.68
Operator	0.002289	0.01179	0.73
Operator*Lens	0.014484	0.07459	4.63
Part-To-Part	0.312540	1.60958	99.85
Total Variation	0.313001	1.61196	100.00

Number of Distinct Categories = 25

รูปที่ 4.22 ผลการทบทวนความแม่นยำของระบบการวัด

หลังกระบวนการบล็อกเลนส์หลังการปรับปรุงในส่วนของ Session โดยวิธี ANOVA

3. Number of Distinct Categories:  $ndc = 25$  แสดงว่าระบบการวัดที่ทำการศึกษาสามารถแยกข้อมูลที่ได้ 25 ประเภทที่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการวัดได้

4. ความผันแปรจากสิ่งตัวอย่าง (Standard Deviation : SD) จะมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลทดลองทั้งหมด (Total Variation) เท่ากับ 0.313001 องศา เป็นความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากชิ้นงานทดสอบ (Part-To-Part) 0.312540 องศา และความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากระบบการวัด (Total Gage R&R) 0.016994 องศา

5. ความผันแปรที่ประมาณค่าได้ของระบบการวัด (Study Variation) จะมีความผันแปรของข้อมูลทั้งหมด (Total Variation) มีค่า 1.61196 องศา ซึ่งแบ่งออกเป็นความผันแปรจากระบบการผลิต (Part-To-Part) 1.60958 องศา และความผันแปรจากระบบการวัด (Total Gage R&R) 0.08752 องศา

6. ประเมินผลระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (%Study Variation หรือ TV หรือ P/TV) พบว่า ถ้าความผันแปรของกระบวนการผลิตที่ประเมินได้จากค่าวัดทั้งหมด (Total Variation) มีค่าเท่ากับ 100 องศา จะเป็นการผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการผลิต (Part-To-Part) 99.85 องศา และความผันแปรจากระบบการวัด (Total Gage R&R) 5.43 องศา ซึ่งแบ่งออกเป็นความผันแปรจากสาเหตุด้าน Repeatability 2.74 องศา และความผันแปรด้าน Reproducibility 4.68 องศา

7. ค่า Variation Component (VarComp) หมายถึงองค์ประกอบของความแปรปรวนของการทดลองแบบตัวแบบสุ่ม จะพบว่าความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมด (Total Variation) มีค่า 0.0979698 องศา จะมาจากความแปรปรวนจากกระบวนการผลิต (Part-To-Part) 0.0976810 องศา และความแปรปรวนจากระบบการวัด (Total Gage R&R) 0.0002888 องศา ซึ่งแบ่งออกเป็นความแปรปรวนจากสาเหตุด้าน Repeatability 0.0000738 องศา และสาเหตุด้าน Reproducibility 0.0002150 องศา

8. จากองค์ประกอบของความแปรปรวนตามข้อ 7 เมื่อทำการเทียบเป็นค่าร้อยละแล้วจะพบว่า ถ้าความแปรปรวนของข้อมูลทั้งหมด (Total Variation) คือ 100 องศา จะเป็นผลเนื่องจากความแปรปรวนของกระบวนการผลิต (Part-To-Part) 99.71 องศา และความแปรปรวนของระบบการวัด (Total Gage R&R) 0.29 องศา ซึ่งมาจากสาเหตุสาเหตุด้าน Repeatability 0.08 องศา และสาเหตุด้าน Reproducibility 0.22 องศา

เนื่องจาก Total Gage R&R มีค่าเท่ากับ 5.43% ซึ่งน้อยกว่า 10% จึงสรุปได้ว่าระบบการวัดที่ทำการวัดนี้ สามารถใช้ในการวัดค่า Axis ของเลนส์จากกระบวนการบล็อกเลนส์ได้อย่างเหมาะสม

9. P-Value ของอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดกับชิ้นงานวัด (Interaction Effect) มีค่าเท่ากับ 0.000 น้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปว่าอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดกับชิ้นงานวัดมีนัยสำคัญ แสดงว่าเมื่อเปลี่ยนชิ้นงานให้พนักงานคนเดิมทำการวัดแล้วผลการวัดเปลี่ยนไป และจะเห็นได้ว่าอิทธิพลหลัก (Main Effect) ของพนักงานวัดไม่มีผลต่อระบบการวัด แต่จะมีผลสำหรับอิทธิพลหลักของเลนส์เนื่องจากเลนส์แต่ละเลนส์มีค่า Axis ต่างกัน

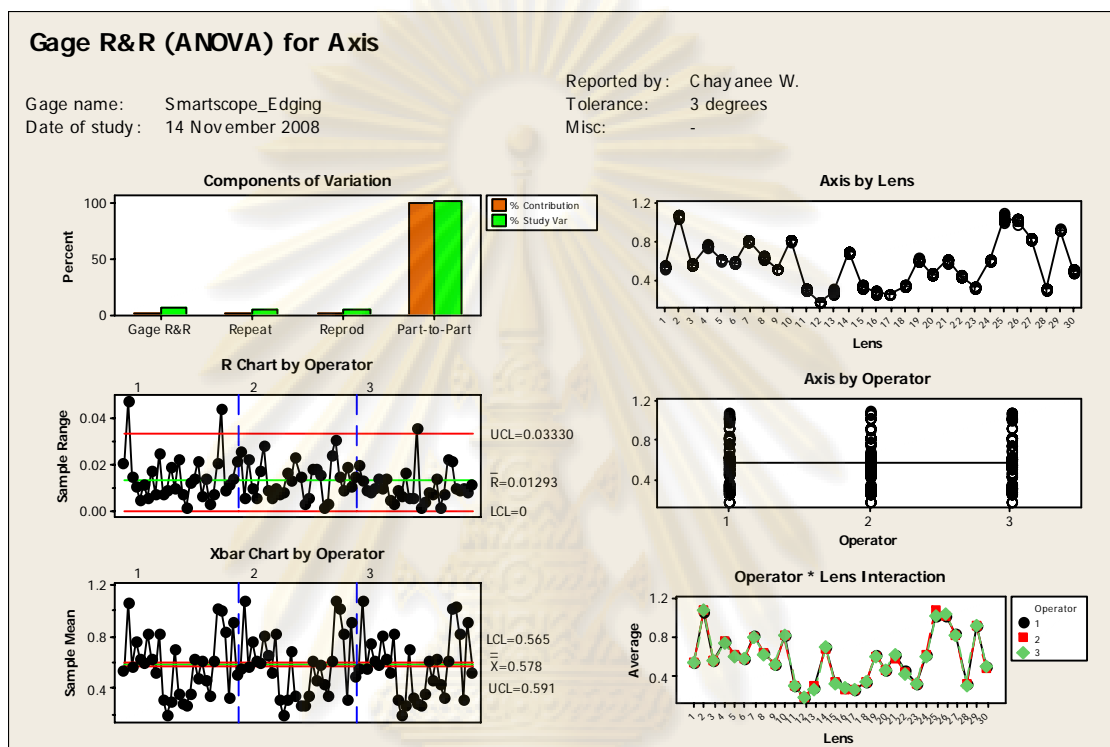
ตารางที่ 4.7 ผลการวัด Axis ของเลนส์หลังกระบวนการตัดเลนส์ในกรณีวิเคราะห์ความแม่นยำหลังการปรับปรุงระบบการวัด

Operator 1				
No.	Mea.1	Mea.2	Mea.3	Average
1	0.5437	0.5232	0.5413	0.5361
2	1.0329	1.0654	1.0799	1.0594
3	0.5751	0.5762	0.5611	0.5708
4	0.7665	0.7738	0.7631	0.7678
5	0.6230	0.6185	0.6222	0.6212
6	0.5940	0.5948	0.5834	0.5907
7	0.8198	0.8154	0.8207	0.8186
8	0.6399	0.6363	0.6229	0.6330
9	0.5108	0.5182	0.5128	0.5139
10	0.8039	0.8289	0.8192	0.8173
11	0.3082	0.3033	0.3108	0.3074
12	0.1754	0.1828	0.1842	0.1808
13	0.2986	0.3024	0.2833	0.2948
14	0.7001	0.7067	0.6972	0.7013
15	0.3434	0.3501	0.3656	0.3530
16	0.2821	0.2824	0.2896	0.2847
17	0.2620	0.2620	0.2636	0.2625
18	0.3471	0.3584	0.3592	0.3549
19	0.6276	0.6347	0.6207	0.6277
20	0.4600	0.4738	0.4816	0.4718
21	0.6192	0.6154	0.6217	0.6188
22	0.4557	0.4651	0.4513	0.4574
23	0.3321	0.3355	0.3340	0.3339
24	0.6144	0.6216	0.6157	0.6172
25	1.0105	1.0206	1.0309	1.0207
26	1.0168	1.0328	0.9888	1.0128
27	0.8338	0.8395	0.8308	0.8347
28	0.3217	0.3105	0.3209	0.3177
29	0.9179	0.9297	0.9154	0.9210
30	0.5147	0.4935	0.5007	0.5030

Operator 2				
No.	Mea.1	Mea.2	Mea.3	Average
1	0.5564	0.5441	0.5304	0.5436
2	1.0821	1.0780	1.0766	1.0789
3	0.5790	0.5566	0.5700	0.5685
4	0.7528	0.7622	0.7602	0.7584
5	0.6186	0.6145	0.6204	0.6178
6	0.6001	0.5825	0.5920	0.5915
7	0.8183	0.8207	0.7929	0.8106
8	0.6539	0.6533	0.6447	0.6506
9	0.5224	0.5228	0.5172	0.5208
10	0.8284	0.8277	0.8188	0.8250
11	0.3110	0.3054	0.3037	0.3067
12	0.1836	0.1757	0.1828	0.1807
13	0.3031	0.3100	0.2940	0.3024
14	0.6762	0.6890	0.6778	0.6810
15	0.3545	0.3411	0.3317	0.3424
16	0.2708	0.2686	0.2557	0.2650
17	0.2658	0.2685	0.2651	0.2665
18	0.3429	0.3371	0.3380	0.3393
19	0.6046	0.6191	0.6007	0.6081
20	0.4795	0.4615	0.4612	0.4674
21	0.5959	0.5802	0.5859	0.5873
22	0.4373	0.4356	0.4356	0.4362
23	0.3344	0.3341	0.3311	0.3332
24	0.6277	0.6198	0.6037	0.6171
25	1.0673	1.0980	1.0716	1.0790
26	1.0215	1.0164	1.0309	1.0229
27	0.8238	0.8307	0.8326	0.8290
28	0.3275	0.3090	0.3111	0.3159
29	0.9248	0.9240	0.9143	0.9210
30	0.4789	0.4937	0.4859	0.4862

Operator 3				
No.	Mea.1	Mea.2	Mea.3	Average
1	0.5566	0.5420	0.5372	0.5453
2	1.0689	1.0818	1.0782	1.0763
3	0.5541	0.5601	0.5510	0.5551
4	0.7496	0.7547	0.7465	0.7503
5	0.6136	0.6146	0.6050	0.6111
6	0.5768	0.5907	0.5851	0.5842
7	0.8072	0.8169	0.8070	0.8104
8	0.6159	0.6297	0.6302	0.6253
9	0.5241	0.5284	0.5239	0.5255
10	0.8226	0.8199	0.8192	0.8206
11	0.3064	0.3152	0.3139	0.3118
12	0.1799	0.1806	0.1864	0.1823
13	0.2665	0.2789	0.2627	0.2694
14	0.6939	0.6931	0.6987	0.6952
15	0.3233	0.3263	0.3208	0.3235
16	0.2578	0.2936	0.2905	0.2806
17	0.2688	0.2682	0.2694	0.2688
18	0.3499	0.3494	0.3462	0.3485
19	0.6115	0.6036	0.6045	0.6065
20	0.4633	0.4675	0.4606	0.4638
21	0.6214	0.6291	0.6156	0.6220
22	0.4315	0.4299	0.4316	0.4310
23	0.3221	0.3235	0.3293	0.3250
24	0.6145	0.6131	0.5919	0.6065
25	1.0082	1.0142	1.0292	1.0172
26	1.0298	1.0320	1.0392	1.0337
27	0.8219	0.8309	0.8220	0.8249
28	0.3152	0.3181	0.3083	0.3139
29	0.9244	0.9167	0.9222	0.9211
30	0.5092	0.5104	0.5205	0.5134

หลังจากนั้นจะนำค่าเฉลี่ยจากการทดลองในแต่ละช่องไปกรอกลงในโปรแกรม Minitab โดยจะอาศัยหลักการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) แสดงดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 ผลการทบทวนความแม่นยำของระบบการวัด  
หลังกระบวนการตัดเลนส์หลังการปรับปรุงโดยวิธี ANOVA

จากผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ในภาพที่ 4.23 สามารถตีความหมายได้ดังนี้

1. จากแผนภูมิควบคุม R Chart by Operator พบว่าพนักงานทั้ง 3 คนวัดค่า Axis ของเลนส์ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก แต่พนักงานคนที่ 1 อาจจะทำให้ความผันแปรจากการวัดสูงกว่าพนักงานคนที่ 2 และ 3 ตามลำดับ
2. จากแผนภูมิควบคุม X-bar Chart by Operator พบว่าความแปรปรวนจากระบบการวัดมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ เนื่องจากระบบการวัดสามารถตรวจจับความแตกต่างของชิ้นงานได้อย่างดีพอ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดมีคุณภาพอย่างไร้เพียงพอในการประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการ

**Results for: Study Test 2\_After Edging\_Smartscope.MTW**  
**Gage R&R Study - ANOVA Method**

Gage R&R for Axis

Gage name: Smartscope\_Edging  
 Date of study: 14 November 2008  
 Reported by: Chayanee W.  
 Tolerance: 3 degrees  
 Misc: -

**Two-Way ANOVA Table With Interaction**

Source	DF	SS	MS	F	P
Lens	29	16.0829	0.554582	1521.47	0.000
Operator	2	0.0010	0.000517	1.42	0.250
Lens * Operator	58	0.0211	0.000365	5.49	0.000
Repeatability	180	0.0120	0.000066		
Total	269	16.1170			

**Gage R&R**

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0001675	0.27
Repeatability	0.0000664	0.11
Reproducibility	0.0001010	0.16
Operator	0.0000017	0.00
Operator*Lens	0.0000994	0.16
Part-To-Part	0.0615797	99.73
Total Variation	0.0617472	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.012942	0.06665	5.21
Repeatability	0.008152	0.04198	3.28
Reproducibility	0.010052	0.05177	4.05
Operator	0.001301	0.00670	0.52
Operator*Lens	0.009968	0.05133	4.01
Part-To-Part	0.248153	1.27799	99.86
Total Variation	0.248490	1.27972	100.00

Number of Distinct Categories = 27

รูปที่ 4.24 ผลการทบทวนความแม่นยำของระบบการวัด

หลังกระบวนการตัดเลนส์หลังการปรับปรุงในส่วนของ Session โดยวิธี ANOVA

3. Number of Distinct Categories:  $ndc = 27$  แสดงว่าระบบการวัดที่ทำการศึกษาสามารถแยกข้อมูลที่วัดได้เพียง 27 ประเภทที่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าข้อมูลที่ได้สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการวัดได้

4. ความผันแปรจากสิ่งตัวอย่าง (Standard Deviation : SD) จะมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลทดลองทั้งหมด (Total Variation) เท่ากับ 0.248490 องศา เป็นความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากชิ้นงานทดสอบ (Part-To-Part) 0.248153 องศา และความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากระบบการวัด (Total Gage R&R) 0.012942 องศา

5. ความผันแปรที่ประมาณค่าได้ของระบบการวัด (Study Variation) จะมีความผันแปรของข้อมูลทั้งหมด (Total Variation) มีค่า 1.27972 องศา ซึ่งแบ่งออกเป็นความผันแปรจากระบบการผลิต (Part-To-Part) 1.27799 องศา และความผันแปรจากระบบการวัด (Total Gage R&R) 0.06665 องศา

6. ประเมินผลระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (%Study Variation หรือ TV หรือ P/TV) พบว่า ถ้าความผันแปรของกระบวนการผลิตที่ประเมินได้จากค่าวัดทั้งหมด (Total Variation) มีค่าเท่ากับ 100 องศา จะเป็นการผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการผลิต (Part-To-Part) 99.86 องศา และความผันแปรจากระบบการวัด (Total Gage R&R) 5.21 องศา ซึ่งแบ่งออกเป็นความผันแปรจากสาเหตุด้าน Repeatability 3.28 องศา และความผันแปรด้าน Reproducibility 4.05 องศา

7. ค่า Variation Component (VarComp) หมายถึงองค์ประกอบของความแปรปรวนของการทดลองแบบตัวแบบสุ่ม จะพบว่าความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมด (Total Variation) มีค่า 0.0617472 องศา จะมาจากความแปรปรวนจากกระบวนการผลิต (Part-To-Part) 0.0615797 องศา และความแปรปรวนจากระบบการวัด (Total Gage R&R) 0.0001675 องศา ซึ่งแบ่งออกเป็นความแปรปรวนจากสาเหตุด้าน Repeatability 0.0000664 องศา และสาเหตุด้าน Reproducibility 0.0001010 องศา

8. จากองค์ประกอบของความแปรปรวนตามข้อ 7 เมื่อทำการเทียบเป็นค่าร้อยละแล้วจะพบว่า ถ้าความแปรปรวนของข้อมูลทั้งหมด (Total Variation) คือ 100 องศา จะเป็นผลเนื่องจากความแปรปรวนของกระบวนการผลิต (Part-To-Part) 99.73 องศา และความแปรปรวนของระบบการวัด (Total Gage R&R) 0.27 องศา ซึ่งมาจากสาเหตุสาเหตุด้าน Repeatability 0.11 องศา และสาเหตุด้าน Reproducibility 0.16 องศา

เนื่องจาก Total Gage R&R มีค่าเท่ากับ 5.21% ซึ่งน้อยกว่า 10% จึงสรุปได้ว่าระบบการวัดที่ทำการวัดนี้ สามารถใช้ในการวัดค่า Axis ของเลนส์จากกระบวนการตัดเลนส์ได้อย่างเหมาะสม

9. P-Value ของอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดกับชิ้นงานวัด (Interaction Effect) มีค่าเท่ากับ 0.000 น้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปว่าอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดกับชิ้นงานวัดมีนัยสำคัญ แสดงว่าเมื่อเปลี่ยนชิ้นงานให้พนักงานคนเดิมทำการวัดแล้วผลการวัดเปลี่ยนไป และจะเห็นได้ว่าอิทธิพลหลัก (Main Effect) ของพนักงานวัดไม่มีผลต่อระบบการวัด แต่จะมีผลสำหรับอิทธิพลหลักของเลนส์เนื่องจากเลนส์แต่ละเลนส์มีค่า Axis ต่างกัน

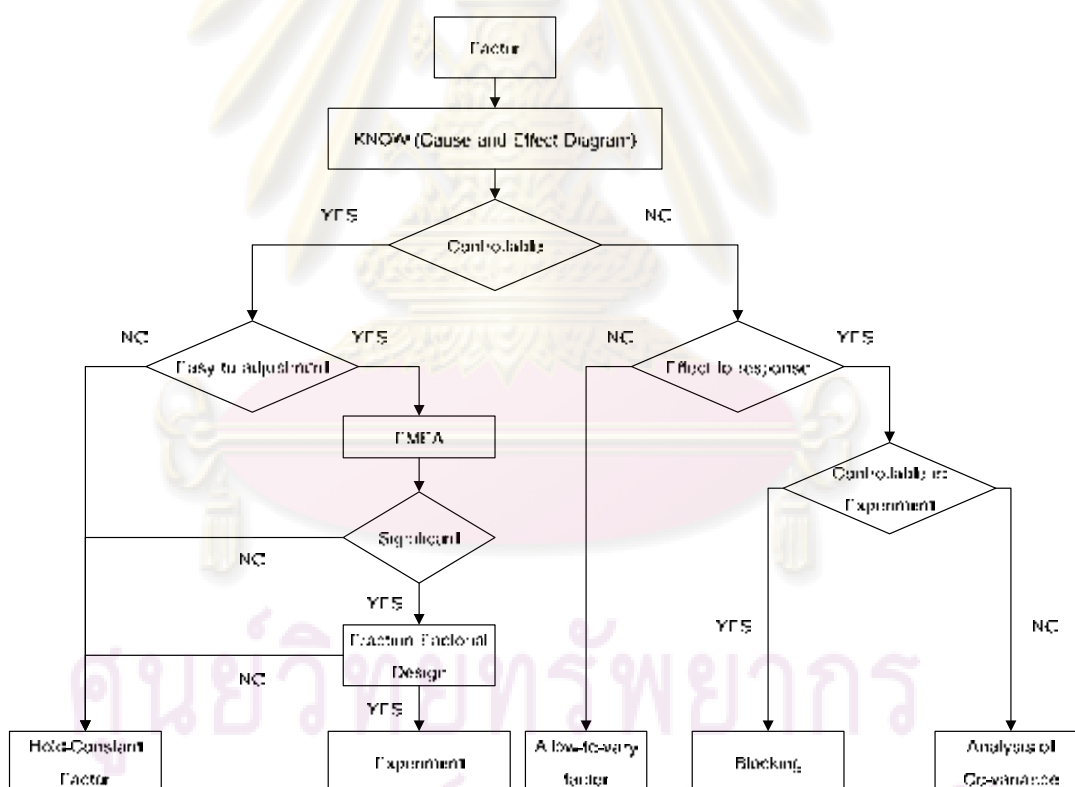
จากการวิเคราะห์ระบบการวัดสรุปได้ว่า ข้อมูลวัดดังกล่าวมีคุณสมบัติด้านคุณภาพที่ดี รวมทั้งระบบการวัดที่ทำการประเมินผลและวิเคราะห์ผลนี้ สามารถนำไปใช้ในการวัดค่า Axis ของเลนส์ทั้งกระบวนการบล็อกเลนส์และกระบวนการตัดเลนส์ได้อย่างเหมาะสม

#### 4.6 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

ขั้นตอนการออกแบบการทดลองพอจะสรุปได้ดังต่อไปนี้

##### 1. การเลือกปัจจัยเพื่อทำการทดลอง

หลังจากการนิยามปัญหาข้างต้นพบว่า มีปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนของ Axis 9 ปัจจัย หลังจากนั้นจะทำการพิจารณาปัจจัยดังกล่าวเพื่อนำไปสู่การเลือกปัจจัยเพื่อทำการทดลองมีขั้นตอนการพิจารณา แสดงดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 ขั้นตอนการพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อทำการทดลอง (Douglas C. Montgomery, 2001)

แนวทางการพิจารณาเลือกปัจจัยในแต่ละขั้นตอน มีดังนี้

1. Know How เป็นความรู้เฉพาะทางในงานที่จะทำการศึกษาที่ต้องอาศัยทั้งประสบการณ์และความรู้ทางด้านวิศวกรรมเข้ามาใช้ในการกรองปัจจัยเบื้องต้น ซึ่งอาจจะใช้เครื่อง 7 QC ผังก้างปลา เป็นต้น ซึ่งในการวิเคราะห์จะพบว่า มีทั้งปัจจัยที่ผู้วิเคราะห์รู้ถึงปัจจัยนั้นเป็นอย่างดีและปัจจัยที่ไม่ทราบเลย

2. Controllable เป็นขั้นตอนการตัดสินใจว่าปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ในกระบวนการผลิตปกติหรือไม่

3. Easy to Adjustment เป็นขั้นตอนในการตัดสินใจว่าปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยที่สามารถทำการควบคุมได้ในกระบวนการผลิตปกติ และสามารถทำการปรับเปลี่ยนค่าได้สะดวกและง่ายหรือไม่

- ถ้าใช่ ให้นำปัจจัยดังกล่าวไปทำการกรองปัจจัยโดยการวิเคราะห์หรือการตัดช่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA)

- ถ้าไม่ใช่ ให้ทำการกำหนดปัจจัยนั้นไว้เป็นค่าคงที่ใดๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตปกติ (Held-Constant Factor)

4. Significant หลังจากการกรองปัจจัยโดยการวิเคราะห์ FMEA แล้วพบว่าปัจจัยใดมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรผลตอบหรือไม่

- ถ้าใช่ ให้นำปัจจัยดังกล่าวไปทำการออกแบบการทดลอง Fraction Factorial design

- ถ้าไม่ใช่ ให้ทำการกำหนดปัจจัยนั้นไว้เป็นค่าคงที่ใดๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตปกติ (Held-Constant Factor)

5. Fraction Factorial design หลังจากทำการทดลอง Fraction Factorial design แล้วพบว่าปัจจัยใดมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรผลตอบหรือไม่

- ถ้าใช่ ให้นำปัจจัยดังกล่าวไปทำการออกแบบการทดลองในขั้นตอนการยืนยันผล

- ถ้าไม่ใช่ ให้ทำการกำหนดปัจจัยนั้นไว้เป็นค่าคงที่ใดๆ ที่ใช้ในการผลิตปกติ (Held-Constant Factor)

6. Effect to Response หลังจากทำการวิเคราะห์และตัดสินใจแล้วพบว่าปัจจัยดังกล่าวไม่สามารถควบคุมได้ในกระบวนการผลิตปกติให้นำมาวิเคราะห์ต่อว่าปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อตัวแปรตอบสนองของมากน้อยเพียงไร



- ถ้าใช่ ให้นำปัจจัยดังกล่าวมาวิเคราะห์ต่อว่าถ้าสามารถทำการควบคุมได้ในการทดลอง

- ถ้าไม่ใช่ ให้สามารถทำการละเว้นปัจจัยดังกล่าวไปได้ (Allow To Vary Factor) โดยถือว่าปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยรบกวนในระบบ (Noise)

7. Controllable in Experiment เป็นขั้นตอนในการวิเคราะห์ต่อว่าปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ในกระบวนการผลิตปกติและมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง มาวิเคราะห์ต่อว่าสามารถทำการควบคุมได้ในการทดลองหรือไม่

- ถ้าใช่ ให้ blocking แล้วนำปัจจัยดังกล่าวไปทำการออกแบบการทดลอง

- ถ้าไม่ใช่ ให้ดำเนินการแบบการวิเคราะห์ตัวแปรปรวนร่วม (Analysis of Covariance)

จากขั้นตอนดังรูปที่ 4.25 และการใช้เทคนิคการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ ผลการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ สามารถแบ่งกลุ่มปัจจัยที่จะทำการทดลองออกเป็น

1. ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ (Controllable Factors) โดยนำปัจจัยจากการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบจากตาราง FMEA ข้างต้น หากปัจจัยใดมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรผลตอบให้นำปัจจัยดังกล่าวไปทำการออกแบบการทดลอง ประกอบด้วย

- การป้อนความเร็วการตัด (Cutting Speed)
- ลักษณะการทำงานของเครื่องจักร (Auto/Manual)
- ชนิดของเครื่องจักร
- ขนาดของ Clamp

2. ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ในการทดลอง (Uncontrollable Factors) โดยทำการกำหนดปัจจัยนั้นไว้เป็นค่าคงที่ใดๆ ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย

- การจับยึดเลนส์
- ความพร้อมของเครื่องจักร
- การป้อนฟังก์ชัน Recut

3. ปัจจัยที่ต้องถูกควบคุมในการทดลอง (Blocking) อาจเนื่องมาจากมีข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยีและต้นทุน ประกอบด้วย

- ความคมของใบมีด
- การเรียกชิ้นงาน

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ต้องควบคุมในการทดลองเพิ่มเติม ได้แก่

- พนักงานที่เดินเครื่อง

## 2. การเลือกระดับของปัจจัยในการทดลองที่เหมาะสม

หลังจากพิจารณาปัจจัยที่สามารถควบคุมและสามารถกำหนดค่าของปัจจัยดังกล่าวได้ จะทำการกำหนดระดับของปัจจัย (Level of factor) เพื่อเกี่ยวโยงไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลอง ซึ่งการตั้งค่าระดับในการทดลองของปัจจัยจะต้องพึงระวังว่าจะต้องเลือกระดับความแตกต่างที่ไม่น้อยจนเกินไปหรือเลือกระดับที่แตกต่างกันมากจนเกินไป เนื่องจากการกำหนดค่าระดับของปัจจัยในการทดลองที่แคบเกินไปหรือกว้างเกินไปอาจจะส่งผลให้ไม่สามารถเห็นผลของการทดลองที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน สามารถสรุประดับของแต่ละปัจจัยแยกตามกระบวนการได้ดังนี้

ระดับของแต่ละปัจจัยของกระบวนการบลิ๊กลเลนส์คือ

1. ชนิดของเครื่องจักรประกอบด้วย 2 ระดับได้แก่ 3B และ V.Pro
2. ลักษณะการทำงานของเครื่องจักรประกอบด้วย 2 ระดับได้แก่ Manual

และ Automatic

จะเห็นได้ว่าระดับของปัจจัยสำหรับกระบวนการบลิ๊กลเลนส์เป็นข้อมูลเชิงคุณภาพและใน 2 ระดับที่กล่าวถึงข้างต้นนี้จะแทนด้วย ระดับสูง และระดับต่ำ เช่นเดียวกัน

ระดับของแต่ละปัจจัยของกระบวนการตัดเลนส์คือ

1. ชนิดของเครื่องจักรมี 4 ระดับได้แก่ ES-3, 7E, Triumph และ Compass
2. ขนาดของ Clamp มี 2 ระดับได้แก่ Small และ Large

ซึ่งระดับของปัจจัยได้มาจากประสบการณ์ขององค์กร (Wisdom of Organization) และในการดำเนินการทดลองต้องมีการควบคุมให้ค่าระดับของปัจจัยต่างๆ คงที่เสมอ เพราะหากมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นก็ย่อมจะส่งผลให้ข้อมูลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนสูงและนำไปสู่การวิเคราะห์ที่ผิดได้ จะเห็นได้ว่า งานวิจัยนี้ไม่ได้เลือกพิจารณาปัจจัยการป้อนความเร็วการตัด (Cutting Speed) เนื่องจากมีข้อจำกัดบางประการคือ มีเครื่องจักรบางเครื่องที่ไม่สามารถปรับค่าความเร็วในการตัดได้ ทำให้ยากต่อการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผล

### 3. การกำหนดตัวแปรตอบสนอง

ทำการกำหนดตัวแปรตอบสนอง (Choice of response variable) ในที่นี้คือ ค่า Axis วัดหน่วยเป็นองศา สำหรับกระบวนการตัดแต่งเลนส์ โดยเป็นค่ามาตรฐานของทางบริษัท และเป็นที่ยอมรับของลูกค้า (Market Specification) โดยมีข้อจำกัดอยู่ที่ 3 องศา ซึ่งก่อนเริ่มดำเนินการทดลองควรมีการวิเคราะห์ระบบการวัดค่าตัวแปรตอบสนองก่อนเสมอ เพื่อให้มั่นใจว่าระบบการวัดดังกล่าวสามารถใช้ในการทดลองได้

### 4. การเลือกรูปแบบของการทดลองที่เหมาะสม

เนื่องจากชนิดของรูปแบบการทดลองนั้นมีให้เลือกอย่างหลากหลาย ซึ่งหลักเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกรูปแบบการทดลองประกอบด้วย เวลาที่มีให้เพื่อการวิเคราะห์ ระดับความถูกต้องในการวิเคราะห์ และงบประมาณที่มีให้ในการออกแบบการทดลอง

สำหรับการเลือกการออกแบบการทดลอง (Choice of experiment design) ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล ในที่นี้จะนำปัจจัยที่เลือกพิจารณาข้างต้นไปทำการออกแบบการทดลองโดยแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ

4.1 กรณีกระบวนการบล็อกเลนส์ จะเลือกการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$  ( $2^k$  Fraction Factorial Design) เนื่องจากเป็นการทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยและเป็นการทดลองแบบเต็มรูปแบบ แต่กำหนดระดับของแต่ละปัจจัยอยู่ที่ปัจจัยละ 2 ระดับเท่านั้น จะเห็นได้ว่าการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$  สำหรับ 2 ปัจจัย และแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับนั้น ในการทดลอง 1 เพลทเคต จะต้องทำการทดลองทั้งหมด  $2^2$  เท่ากับ 4 การทดลอง

สมมติฐานสำหรับการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล  $2^k$  คือ

1. ปัจจัยทั้งหมดมีค่าตายตัว (Fixed Effect Model)
2. การออกแบบเป็นแบบเชิงสุ่มบริบูรณ์ (Completely Randomized)
3. สมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นปกติเป็นที่ยอมรับได้

4.2 กรณีกระบวนการตัดเลนส์ จะเลือกการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Fraction Factorial Design) เนื่องจากเป็นการทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในกระบวนการตัดเลนส์ ในกรณีนี้เป็นการทดลองเชิงแฟคทอเรียล สำหรับ 2 ปัจจัย โดยที่ปัจจัยชนิดของเครื่องจักรประกอบด้วย 4 ระดับ และปัจจัยขนาดของ Clamp ประกอบด้วย 2 ระดับ ดังนั้นในการทดลอง 1 เพลทเคต จะต้องทำการทดลองทั้งหมด  $2 \times 4$  เท่ากับ 8 การทดลอง

สมมติฐานสำหรับการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล คือ

1. ปัจจัยทั้งหมดมีค่าตายตัว (Fixed Effect Model)
2. การออกแบบเป็นแบบเชิงสุ่มบริบูรณ์ (Completely Randomized)
3. สมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นปกติเป็นที่ยอมรับได้

สำหรับขั้นตอนการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab แสดงใน

ภาคผนวก ข

## 5. การดำเนินการทดลองเพื่อเก็บข้อมูล

หลังจากเลือกรูปแบบการทดลองที่เหมาะสมแล้วจะทำการพิจารณาผลของการวัดค่า Axis แยกตามกระบวนการดังนี้

### 5.1 การใช้สัญลักษณ์แทนปัจจัย

#### 5.1.1 กรณีกระบวนการบล็อกเลนส์ กำหนดให้

ชนิดของเครื่องจักรเป็นปัจจัย A ประกอบด้วย 2 ระดับคือ 3B และ V.Pro และให้ลักษณะการทำงานของเครื่องจักรเป็นปัจจัย B ซึ่งมี 2 ระดับเช่นกันคือ Manual และ Automatic ตามลำดับ ทำการทดลองนี้ซ้ำ 3 ครั้งในแต่ละการทดลอง (3 เพลทเคต)

#### 5.1.2 กรณีกระบวนการตัดเลนส์ กำหนดให้

ชนิดของเครื่องจักรเป็นปัจจัย C ประกอบด้วย 4 ระดับคือ ES-3, 7E, Triumph และ Compass และให้ขนาดของ Clamp เป็นปัจจัย D ซึ่งมี 2 ระดับคือ Small และ Large ตามลำดับ ทำการทดลองนี้ซ้ำ 3 ครั้งในแต่ละการทดลอง (3 เพลทเคต)

### 5.2 การสุ่มลำดับการทดลอง

การสุ่มเป็นหลักการสำคัญในการใช้หลักการทางสถิติในการออกแบบการทดลอง โดยการสุ่มจะหมายถึง การจัดสรรหน่วยการทดลอง ลำดับการทดลองให้เป็นไปโดยสุ่ม ซึ่งทำให้ผลการทดลองตรงกับข้อกำหนดทางสถิติที่ว่า ค่าสังเกตจากการทดลองต้องมีความเป็นอิสระต่อกัน และการสุ่มยังสามารถที่จะเฉลี่ยความผันแปรภายนอกที่ไม่ได้เกิดขึ้นจากสาเหตุโดยธรรมชาติออกไปได้ ทำให้การวิเคราะห์ผลจากการทดลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

สำหรับการทดลองในครั้งนี้จะใช้โปรแกรม Minitab ในการสุ่มการทดลอง โดยลำดับของการทดลองได้จากการ RunOrder ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการคือ

### 5.2.1 กรณีกระบวนการบล็อกเลนส์

สุ่มลำดับการทดลองกรณีกระบวนการบล็อกเลนส์ แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การสุ่มลำดับการทดลองในกรณีของกระบวนการบล็อกเลนส์

	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B
1	11	1	1	1	V.Pro	Manual
2	3	2	1	1	3B	Automatic
3	9	3	1	1	3B	Manual
4	1	4	1	1	3B	Manual
5	6	5	1	1	V.Pro	Manual
6	7	6	1	1	V.Pro	Automatic
7	4	7	1	1	3B	Automatic
8	2	8	1	1	3B	Manual
9	8	9	1	1	V.Pro	Manual
10	5	10	1	1	V.Pro	Automatic
11	12	11	1	1	3B	Automatic
12	10	12	1	1	V.Pro	Automatic

จากตารางที่ 4.8 สามารถอธิบายการออกแบบนี้ได้ว่าจำนวนข้อมูลที่ได้จากการสังเกตทั้งหมด  $2^2 \times 3$  (ทำการวัดว่าเลนส์ละ 3 ครั้ง) เท่ากับ 12 ข้อมูล

### 5.2.2 กรณีกระบวนการตัดเลนส์

สุ่มลำดับการทดลองกรณีกระบวนการตัดเลนส์ แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การสุ่มลำดับการทดลองในกรณีของกระบวนการตัดเลนส์

	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	C	D
1	2	1	1	1	ES-3	Large
2	23	2	1	1	Compass	Small
3	16	3	1	1	Compass	Large
4	12	4	1	1	7E	Large
5	22	5	1	1	Triumph	Large
6	21	6	1	1	Triumph	Small
7	1	7	1	1	ES-3	Small
8	20	8	1	1	7E	Large
9	9	9	1	1	ES-3	Small
10	19	10	1	1	7E	Small
11	4	11	1	1	7E	Large
12	8	12	1	1	Compass	Large
13	5	13	1	1	Triumph	Small
14	17	14	1	1	ES-3	Small
15	6	15	1	1	Triumph	Large
16	18	16	1	1	ES-3	Large
17	10	17	1	1	ES-3	Large
18	7	18	1	1	Compass	Small
19	3	19	1	1	7E	Small
20	13	20	1	1	Triumph	Small
21	14	21	1	1	Triumph	Large
22	24	22	1	1	Compass	Large
23	11	23	1	1	7E	Small
24	15	24	1	1	Compass	Small

จากตารางที่ 4.9 สามารถอธิบายการออกแบบนี้ได้ว่าจำนวนข้อมูลที่ได้จากการสังเกตทั้งหมด  $4 \times 2 \times 3$  (ทำการวัดว่าเลนส์ละ 3 ครั้ง) เท่ากับ 24 ข้อมูล

### 5.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลอง

สำหรับการดำเนินการทดลองจะทำตามแผนการทดลองที่ออกแบบไว้แสดงดังตารางที่ 4.10 และ 4.11 ซึ่งจำเป็นต้องติดตามกระบวนการดำเนินการอย่างระมัดระวัง ถ้าหากมีสิ่งผิดพลาดเกิดขึ้นจะทำให้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ต่อได้

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลของการวัดค่า Axis หลังกระบวนการบล็อกเลนส์

	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	Axis
1	11	1	1	1	V.Pro	Manual	0.2408
2	3	2	1	1	3B	Automatic	0.3175
3	9	3	1	1	3B	Manual	0.3645
4	1	4	1	1	3B	Manual	0.3927
5	6	5	1	1	V.Pro	Manual	0.2256
6	7	6	1	1	V.Pro	Automatic	0.1029
7	4	7	1	1	3B	Automatic	0.3223
8	2	8	1	1	3B	Manual	0.3854
9	8	9	1	1	V.Pro	Manual	0.2511
10	5	10	1	1	V.Pro	Automatic	0.1378
11	12	11	1	1	3B	Automatic	0.3067
12	10	12	1	1	V.Pro	Automatic	0.2205

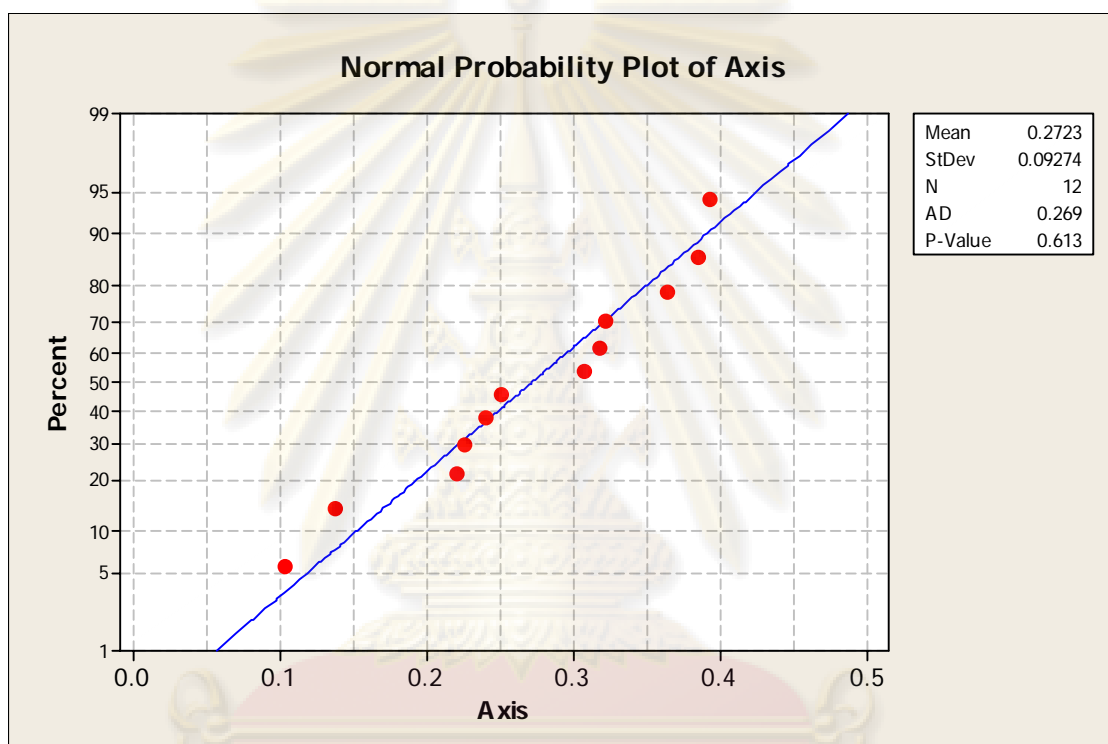
ตารางที่ 4.11 ข้อมูลของการวัดค่า Axis หลังกระบวนการตัดเลนส์

	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	C	D	Axis
1	2	1	1	1	ES-3	Large	0.7428
2	23	2	1	1	Compass	Small	1.0444
3	16	3	1	1	Compass	Large	1.0751
4	12	4	1	1	7E	Large	1.1071
5	22	5	1	1	Triumph	Large	1.3025
6	21	6	1	1	Triumph	Small	1.3531
7	1	7	1	1	ES-3	Small	0.9890
8	20	8	1	1	7E	Large	0.7150
9	9	9	1	1	ES-3	Small	0.7522
10	19	10	1	1	7E	Small	1.1546
11	4	11	1	1	7E	Large	1.1115
12	8	12	1	1	Compass	Large	1.1265
13	5	13	1	1	Triumph	Small	1.3070
14	17	14	1	1	ES-3	Small	0.8125
15	6	15	1	1	Triumph	Large	1.4301
16	18	16	1	1	ES-3	Large	0.7015
17	10	17	1	1	ES-3	Large	0.7822
18	7	18	1	1	Compass	Small	1.1577
19	3	19	1	1	7E	Small	1.1272
20	13	20	1	1	Triumph	Small	1.4406
21	14	21	1	1	Triumph	Large	1.5638
22	24	22	1	1	Compass	Large	1.0447
23	11	23	1	1	7E	Small	1.1075
24	15	24	1	1	Compass	Small	1.0397

## 6. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ แบ่งออกเป็น 2 กระบวนการคือ

### 6.1 กรณีกระบวนการบดล็อกเลนส์

เมื่อได้ค่า Axis ของเลนส์จากการทดลองครบถ้วนก็จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยจะนำข้อมูลดังกล่าวไปกรอกลงในโปรแกรม Minitab และอธิบายได้ด้วยกราฟ Normal Probability Plot แสดงดังรูปที่ 4.26

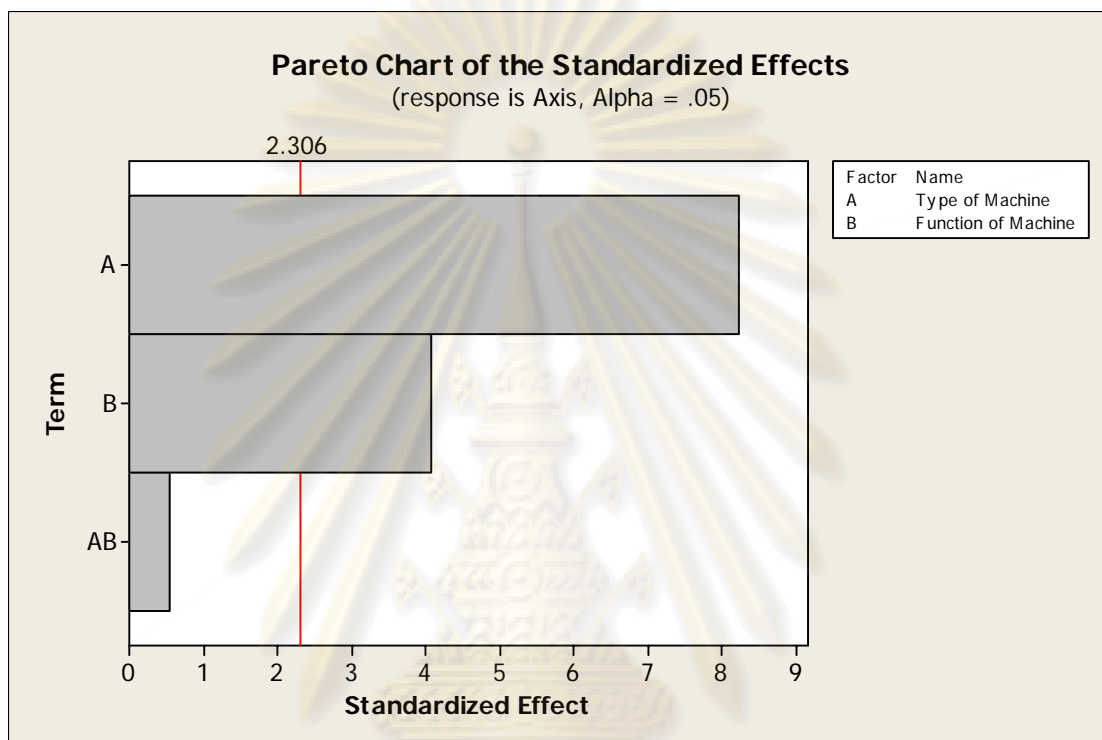


รูปที่ 4.26 Normal Probability Plot

แสดงการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลจากกระบวนการบดล็อกเลนส์

จากรูปที่ 4.26 ข้อมูลของค่า Axis ของเลนส์จากกระบวนการบดล็อกเลนส์มีการแจกแจงเป็นแบบปกติ โดยพิจารณาจากแนวโน้มของกราฟ Normal Probability Plot จะเห็นได้ว่าข้อมูลมีการเรียงตัวในลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง และค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.613 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่าจุดต่างๆ ที่แสดงถึงข้อมูลอยู่ห่างจากเส้นตรงที่แสดงความเป็นปกติน้อย ซึ่งไม่พบความผิดปกติของข้อมูลเกิดขึ้นในกระบวนการนี้

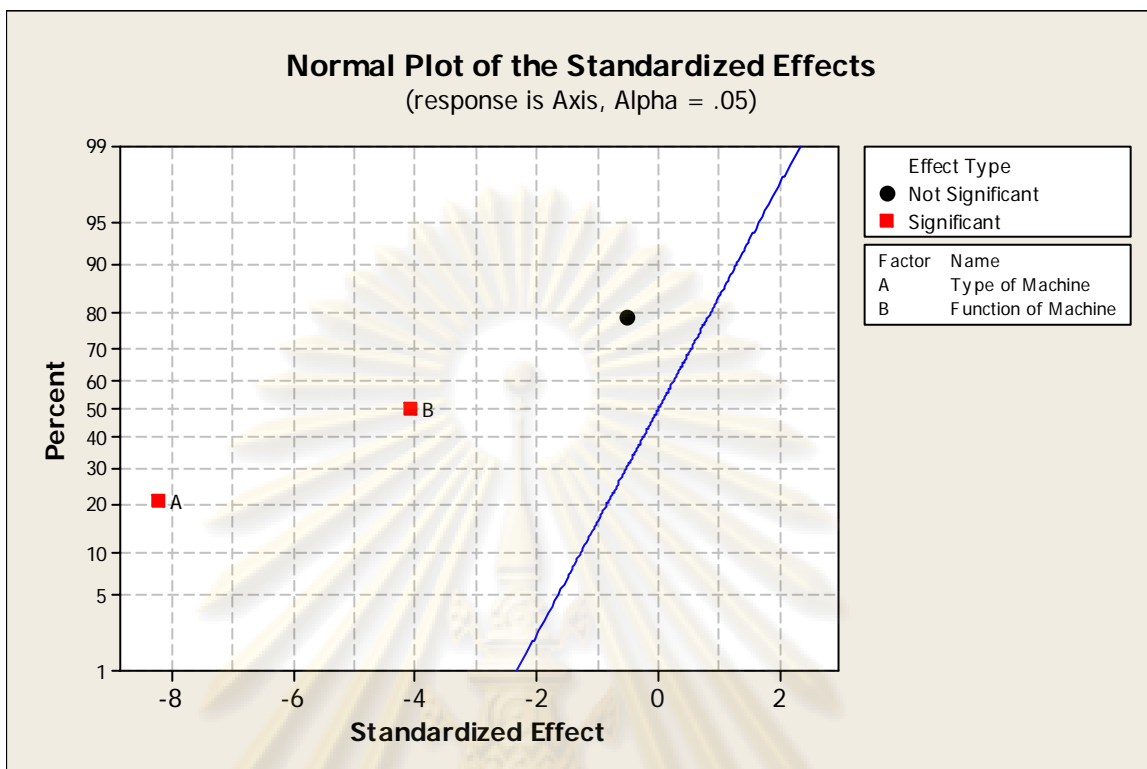
หลังจากวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ว่ามีการแจกแจงแบบปกติแล้ว จะทำการพล็อตกราฟพาเรโตดังรูปที่ 4.27 และกราฟมาตรฐาน Normal Probability Plot ดังรูปที่ 4.28 เพื่อแสดงให้เห็นว่าปัจจัยใดที่ส่งผลกระทบต่อค่า Axis ของเลนส์ที่เกิดจากกระบวนการบล็อกเลนส์



รูปที่ 4.27 พาเรโตแสดงผลของปัจจัยในการทดลองแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 4.28 Normal Probability Plot แสดงผลของปัจจัยการทดลองแปดทอเรียลแบบ  $2^k$

จากรูปที่ 4.27 และ 4.28 อธิบายได้ว่ามีปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า Axis ของเลนส์คือ ปัจจัย A (Type of Machine) และปัจจัย B (Function of Machine) สำหรับ อันตรกิริยาระหว่าง A และ B (Interaction Effect of Type of Machine\*Function of Machine) ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเกิด Axis ของเลนส์ จากนั้นทำการรวมเทอมที่ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า Axis ของเลนส์กับ Error เพื่อเพิ่มค่าองศาอิสระ (Degree of Freedom: DF) แล้ว จึงวิเคราะห์ผลอีกครั้งด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งผลการรันโปรแกรมจะแสดงในรูปแบบของตาราง ANOVA (Analysis of Variance) ดังตารางที่ 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$  ของกระบวนการบล็อกเลนส์

Analysis of Variance for Axis (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	0.0861245	0.0861245	0.0430622	42.11	0.000
2-Way Interactions	1	0.0003020	0.0003020	0.0003020	0.30	0.602
Residual Error	8	0.0081809	0.0081809	0.0010226		
Pure Error	8	0.0081809	0.0081809	0.0010226		
Total	11	0.0946074				

ตารางที่ 4.13 Effects และ Coefficients สำหรับค่า Axis ของเลนส์แบบ Coded Unit ของการทดลองแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$  ของกระบวนการบล็อกเลนส์

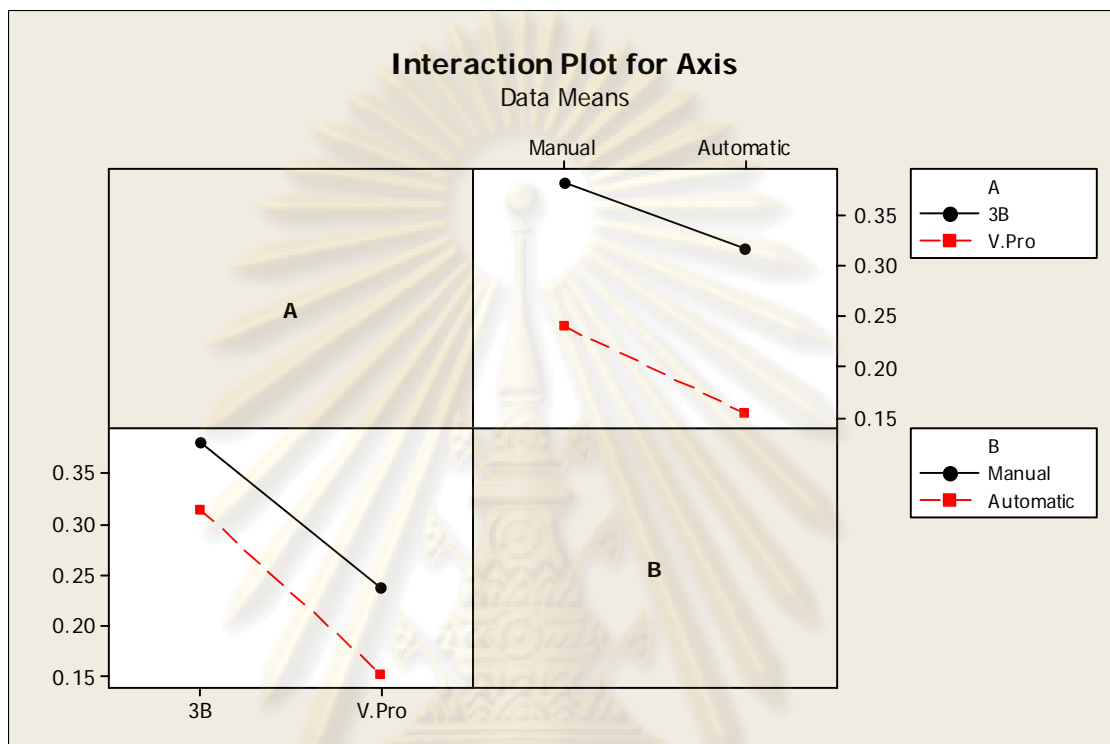
Factorial Fit: Axis versus Type of Machine, Function of Machine					
Estimated Effects and Coefficients for Axis (coded units)					
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.27232	0.009231	29.50	0.000
Type of Machine	-0.15173	-0.07587	0.009231	-8.22	0.000
Function of Machine	-0.07540	-0.03770	0.009231	-4.08	0.004
Type of Machine*Function of Machine	-0.01003	-0.00502	0.009231	-0.54	0.602

ซึ่งขั้นตอนการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองแสดงในภาคผนวก ข สำหรับการตีความหมายผลที่ได้จากการทดลองคือให้พิจารณาว่ามีค่า P-Value ค่าใดที่น้อยกว่า 0.05 (หมายถึงระดับนัยสำคัญของความถูกต้องในการทดสอบที่ 95% หรือหมายถึง การทดลองครั้งนี้ยอมรับความคลาดเคลื่อนได้ที่ 5%) แยกพิจารณาออกเป็น 2 กรณีคือ พิจารณาเฉพาะปัจจัยหลักอย่างเดียว (Main Effect) และพิจารณาผลของความสัมพันธ์ร่วม (Interaction Effect)

จากตารางที่ 4.12 และ 4.13 จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวเพื่อสรุปปัจจัยที่มีผลต่อค่า Axis ของเลนส์ ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะนำวิธีการทางสถิติมาใช้ เพื่อพิจารณาว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลองหรือไม่ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

1. พิจารณาค่า P-Value ของ 2-Way Interactions ในตารางที่ 4.13 พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.602 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าสถิติทดสอบ F มีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ หมายความว่าในการทดลองนี้มี 2-Way Interactions อย่างน้อย 1 ตัว ที่ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า Axis ของเลนส์ และเมื่อพิจารณาค่า P-Value ของ 2-Way Interactions ในตารางที่ 4.14 พบว่า Type of Machine\*Function of Machine มีค่า P-Value 0.602 ซึ่งสูงกว่า 0.05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า

อันตรกิริยาระหว่าง Type of Machine และ Function of Machine ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า Axis ของเลนส์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงดังรูปที่ 4.29



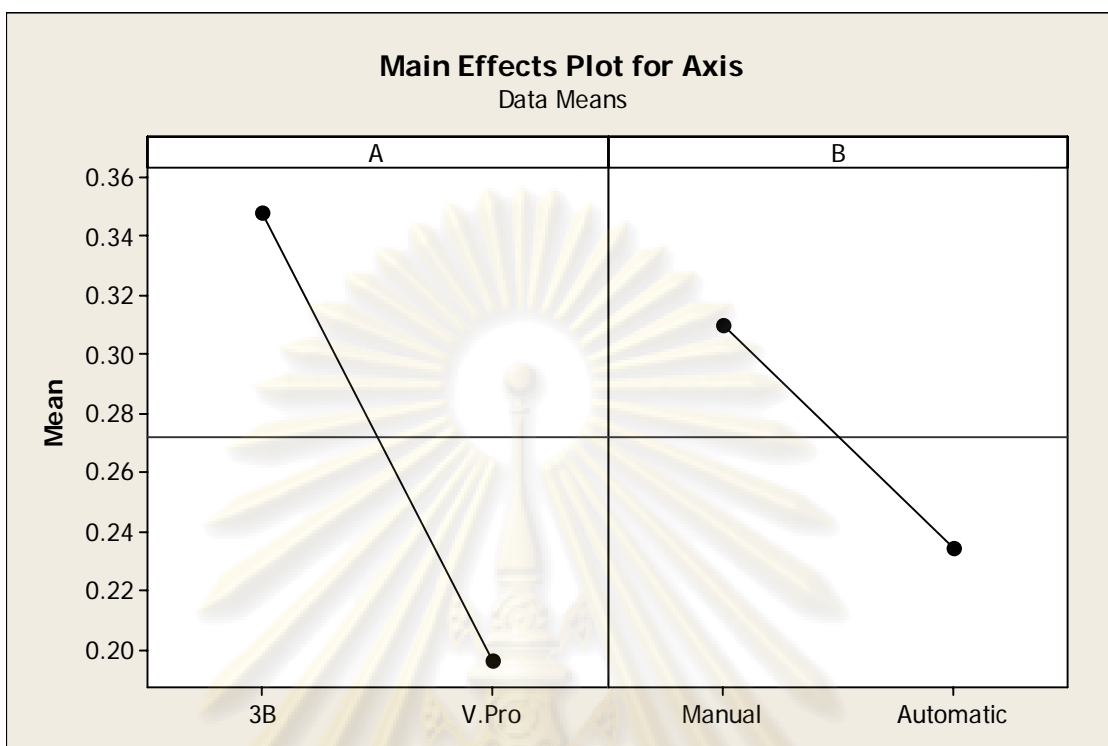
รูปที่ 4.29 Interaction Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อค่า Axis ของเลนส์ของกระบวนการผลิตเลนส์

2. พิจารณาค่า P-Value ของ Main Effects ในตารางที่ 4.12 พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าค่าสถิติทดสอบ F มีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ หมายความว่า ในการทดลองนี้มี Main Effects อย่างน้อย 1 ตัว ที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า Axis ของเลนส์ และเมื่อพิจารณาค่า P-Value ของ Main Effects ในตารางที่ 4.13 สรุปผล Main Effects ได้ดังนี้

พบว่า Main Effect ของ Type of Machine มีค่า P-Value 0.000 ต่ำกว่า 0.05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า Type of Machine มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า Axis ของเลนส์

พบว่า Main Effect ของ Function of Machine มีค่า P-Value 0.004 น้อยกว่า 0.05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า Function of Machine มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า Axis ของเลนส์

แสดงดังรูปที่ 4.30

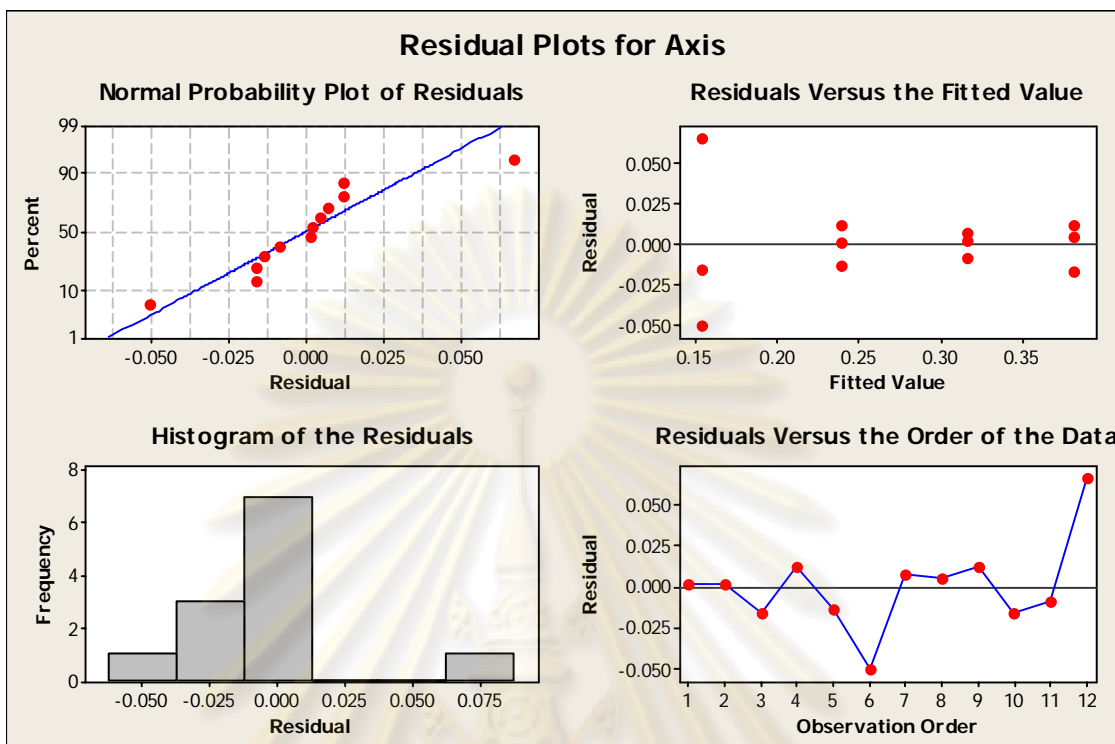


รูปที่ 4.30 Main Effects Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อค่า Axis ของเลนส์ของกระบวนการบดล็อกเลนส์

จากรูปที่ 4.30 จะเห็นได้ว่า การบดล็อกเลนส์ด้วยเครื่อง 3B มีผลต่อค่า Axis ของเลนส์มากกว่าเครื่อง V.Pro และการเลือกใช้ Function of Machine แบบ Manual จะมีผลต่อค่า Axis ของเลนส์มากกว่าแบบ Automatic

หลังจากนั้นจะเลือกใช้ความรู้ทางวิศวกรรมหรือความรู้เกี่ยวกับกระบวนการมาช่วยในการวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่มีเหตุผลและมีความน่าเชื่อถือ โดยทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking) โดยใช้หลักการของการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) แสดงดังรูปที่ 4.31

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงการวิเคราะห์หาค่าคงของผลการทดลองของกระบวนการบล็อกเลนส์

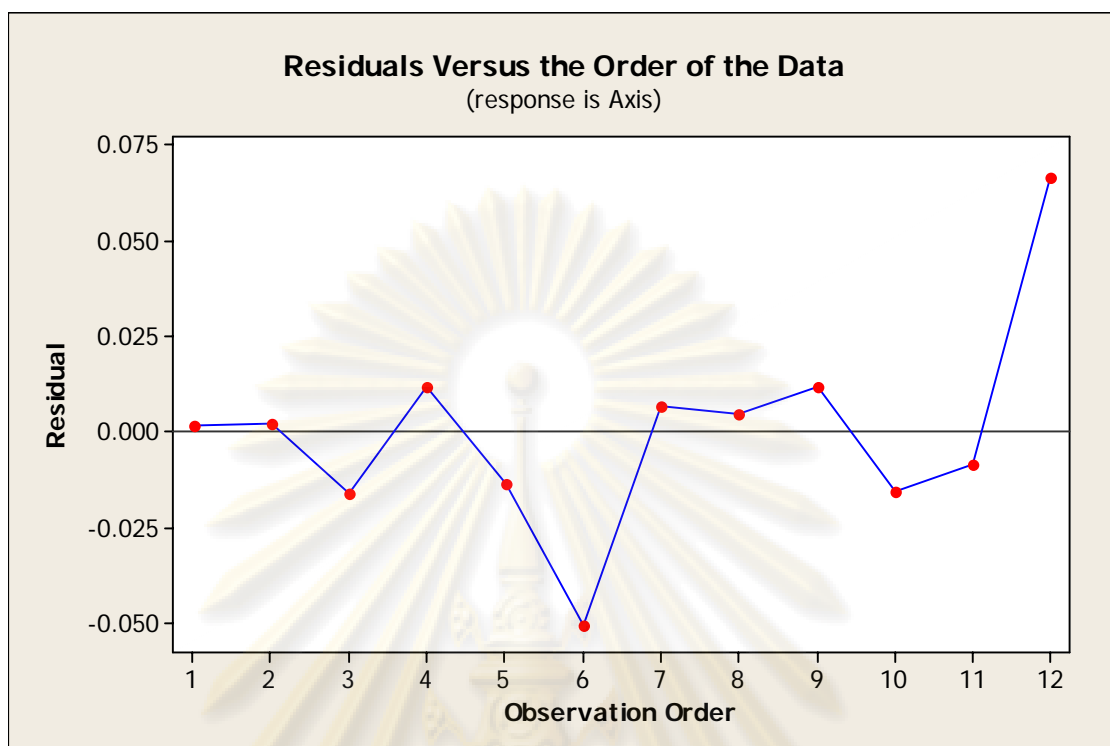
ซึ่งแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วนประกอบด้วย

1. ทดสอบความสุ่มของข้อมูล (Residuals Versus the Order of the Data) แสดงดังรูปที่ 4.32 มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

$H_0$ : ลำดับของข้อมูลอยู่ภายใต้ความสุ่ม

$H_1$ : ลำดับของข้อมูลไม่ได้อยู่ภายใต้ความสุ่ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงผลการทดสอบความสุ่ม

Residuals Versus the Order of the Data ของกระบวนการบล็อกเลนส์

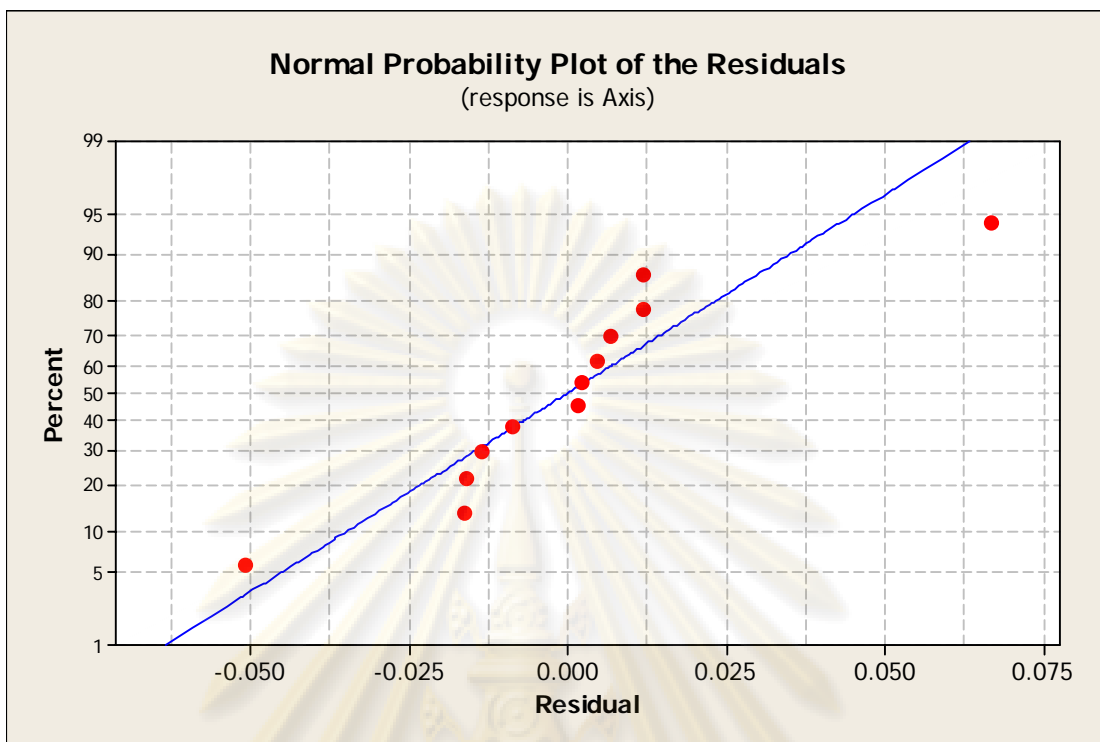
เมื่อพิจารณาจาก Residuals Versus the Order of the Data ในรูปที่ 4.33 พบว่าไม่มีความผิดปกติของข้อมูล ซึ่งแสดงว่าขาดคุณสมบัติของความสุ่ม เนื่องจากส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบ ดังนั้นจึงไม่มีเหตุผลมากพอที่ปฏิเสธ  $H_0$  (Fail to reject  $H_0$ ) สรุปได้ว่าลำดับของข้อมูลที่เกิดขึ้นมาจากการทดลองอยู่ภายใต้ความสุ่ม ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. ทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normal Probability Plot of the Residuals) แสดงดังรูปที่ 4.33 มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

$H_0$  : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

$H_1$  : ข้อมูลไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงผลการทดสอบความเป็นปกติ

Normal Probability Plot of the Residuals ของกระบวนการบล็อกเลนส์

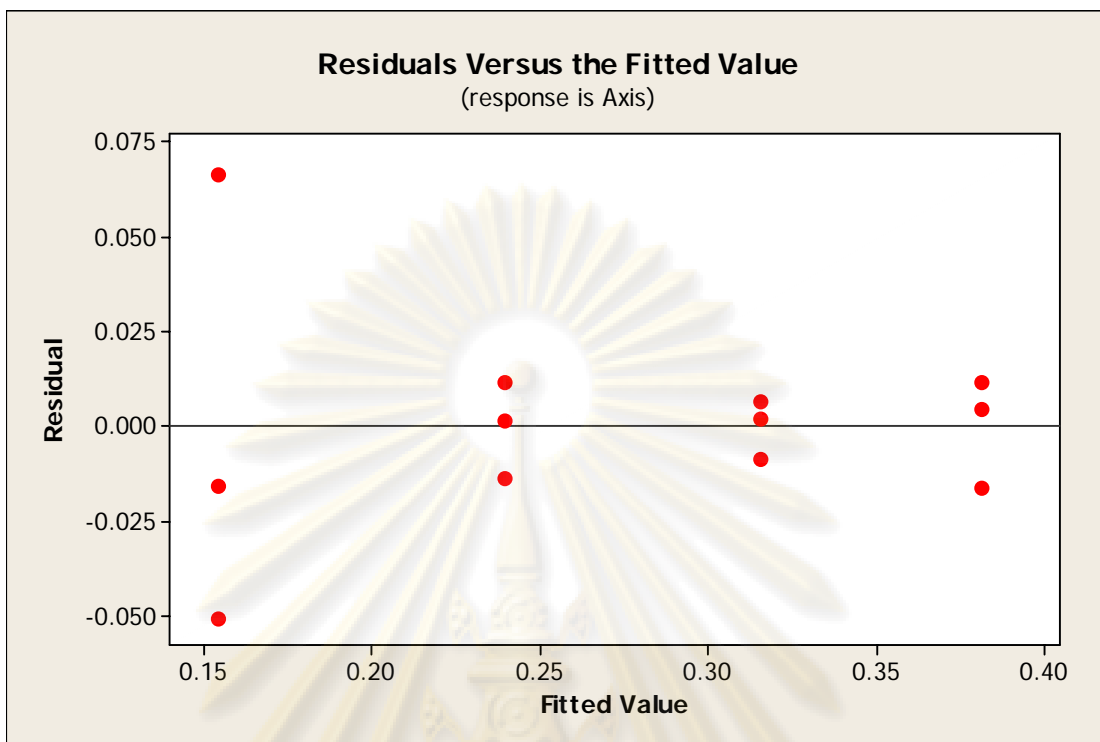
เมื่อพิจารณาจาก Normal Probability Plot of the Residuals ในรูปที่ 4.33 พบว่าข้อมูลมีการเรียงตัวในลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง จะเห็นได้ว่าไม่พบความผิดปกติของข้อมูล แสดงว่าขาดคุณสมบัติของความเป็นปกติ ดังนั้นจึงไม่มีเหตุผลมากพอที่ปฏิเสธ  $H_0$  (Fail to reject  $H_0$ ) สรุปได้ว่าข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3. ทดสอบความเสถียรภาพของความแปรปรวน (Residuals Versus the Fitted Values) แสดงดังรูปที่ 4.34 มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

$H_0$  : ความแปรปรวนของข้อมูลมีความเสถียร

$H_1$  : ความแปรปรวนของข้อมูลไม่มีความเสถียร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงผลการทดสอบความเสถียรภาพของความแปรปรวน  
Residuals Versus the Fitted Value ของกระบวนการบล็อกเลนส์

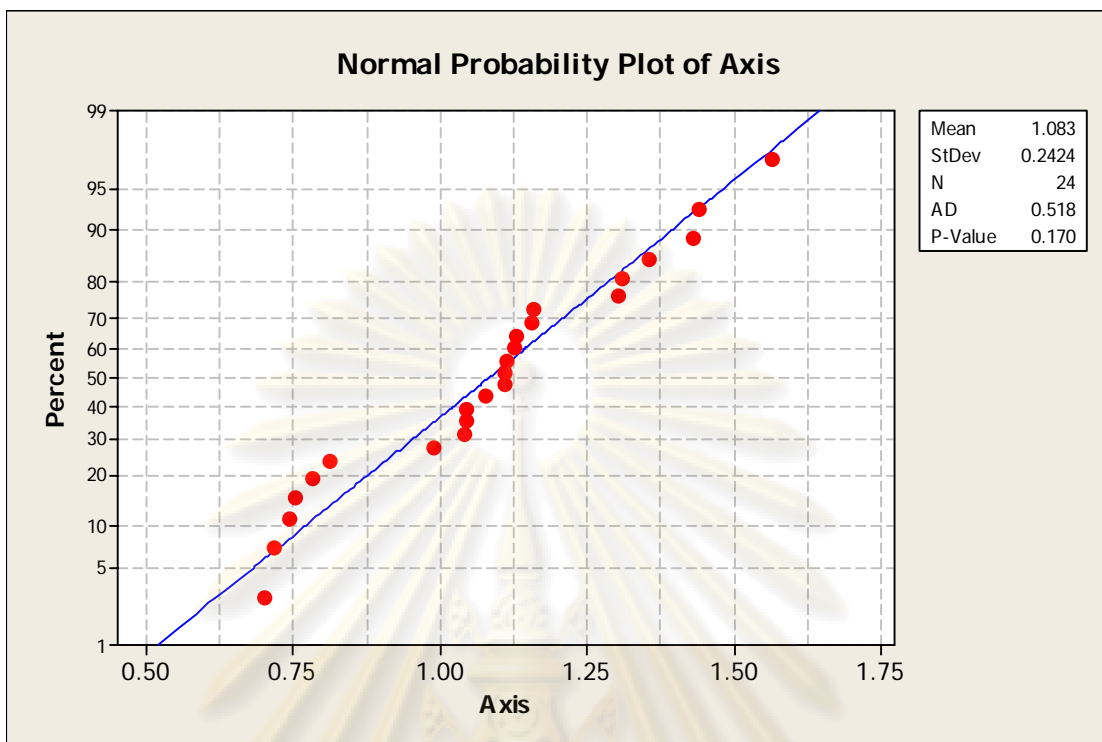
ความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรจะการกระจายตัวโดยที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน จากรูปที่ 4.34 ส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

จากการทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ของตัวแปรตอบสนอง (Axis) ที่นำมาทดลองนี้ พบว่าข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ ความสุ่ม การแจกแจงแบบปกติ และค่าความแปรปรวนมีเสถียรภาพ ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง  $NID(0, \sigma^2)$

## 6.2 กรณีกระบวนการตัดเลนส์

เมื่อได้ค่า Axis ของเลนส์จากการทดลองครบถ้วนก็จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลว่ามี การแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยจะนำข้อมูลดังกล่าวไปกรอกลงในโปรแกรม Minitab และอธิบายได้ด้วยกราฟ Normal Probability Plot เช่นเดียวกับกระบวนการตัดเลนส์ แสดงดังรูปที่ 4.35





รูปที่ 4.35 Normal Probability Plot  
 แสดงการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลจากกระบวนการตัดเลนส์

จากรูปที่ 4.35 ข้อมูลของค่า Axis ของเลนส์จากกระบวนการตัดเลนส์มีการแจกแจงเป็นแบบปกติ โดยพิจารณาจากแนวโน้มของกราฟ Normal Probability Plot จะเห็นได้ว่าข้อมูลมีการเรียงตัวในลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง และค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.170 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่าจุดต่างๆ ที่แสดงถึงข้อมูลอยู่ห่างจากเส้นตรงที่แสดงความเป็นปกติน้อย ซึ่งไม่พบความผิดปกติของข้อมูลเกิดขึ้นในกระบวนการนี้

หลังจากวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ว่ามีการแจกแจงแบบปกติแล้ว จะทำการวิเคราะห์ผลอีกครั้งด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งผลการรันโปรแกรมจะแสดงในรูปแบบของตาราง ANOVA (Analysis of Variance) ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเชิงแฟคทอเรียลของกระบวนการตัดเลนส์

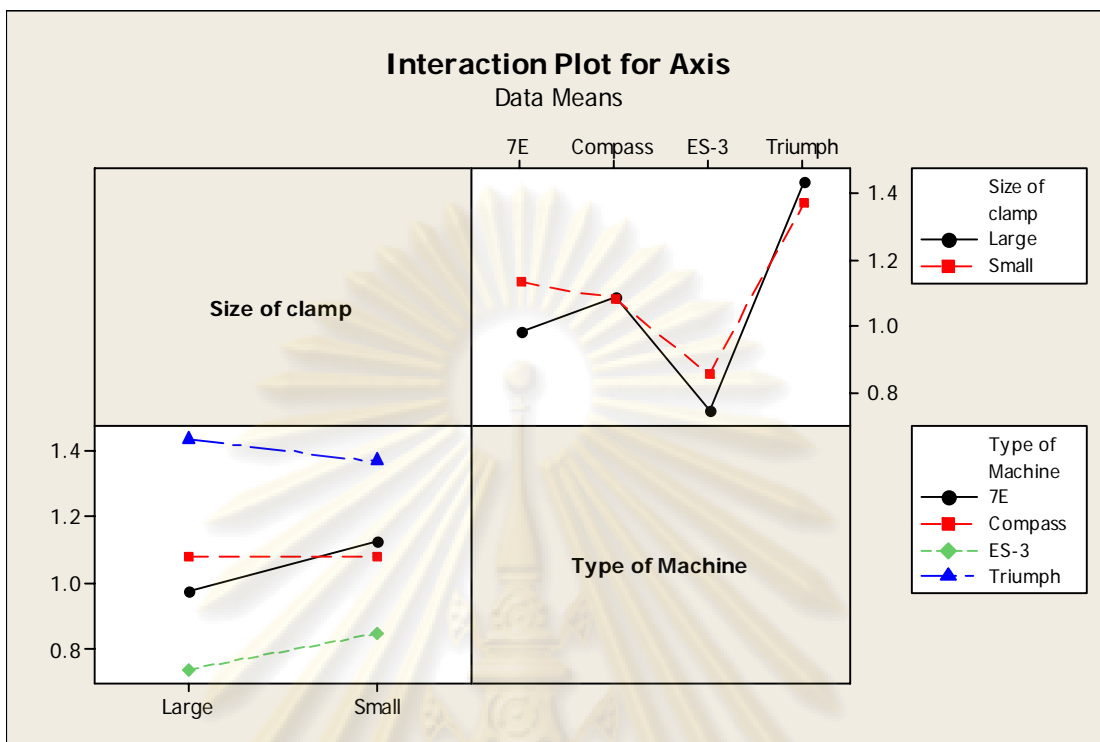
General Linear Model: Axis versus Type of Machine, Size of clamp						
Analysis of Variance for Axis, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Type of Machine	3	1.09803	1.09803	0.36601	30.18	0.000
Size of clamp	1	0.01415	0.01415	0.01415	1.17	0.296
Type of Machine*Size of clamp	3	0.04469	0.04469	0.01490	1.23	0.332
Error	16	0.19402	0.19402	0.01213		
Total	23	1.35089				
S = 0.110120    R-Sq = 85.64%    R-Sq(adj) = 79.35%						

สำหรับการตีความหมายผลที่ได้จากการทดลองคือให้พิจารณาว่ามีค่า P-Value ค่าใดที่น้อยกว่า 0.05 (หมายถึงระดับนัยสำคัญของความถูกต้องในการทดสอบที่ 95% หรือหมายถึง การทดลองครั้งนี้ยอมรับความคลาดเคลื่อนได้ที่ 5%) แยกพิจารณาออกเป็น 2 กรณีคือ พิจารณาเฉพาะปัจจัยหลักอย่างเดียว (Main Effect) และพิจารณาผลของความสัมพันธ์ร่วม (Interaction Effect)

จากตารางที่ 4.14 จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวเพื่อสรุปปัจจัยที่มีผลต่อค่า Axis ของเลนส์ ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะนำวิธีการทางสถิติมาใช้ เพื่อพิจารณาว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลองหรือไม่ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

1. พิจารณาค่า P-Value ของ Interaction ระหว่าง Type of Machine\*Size of clamp ในตารางที่ 4.15 พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.332 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าสถิติทดสอบ F มีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ หมายความว่า ในการทดลองนี้มี Interaction อย่างน้อย 1 ตัว ที่ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า Axis ของเลนส์ แสดงดังรูปที่ 4.36

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.36 Interaction Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อค่า Axis ของเลนส์ของกระบวนการตัดเลนส์

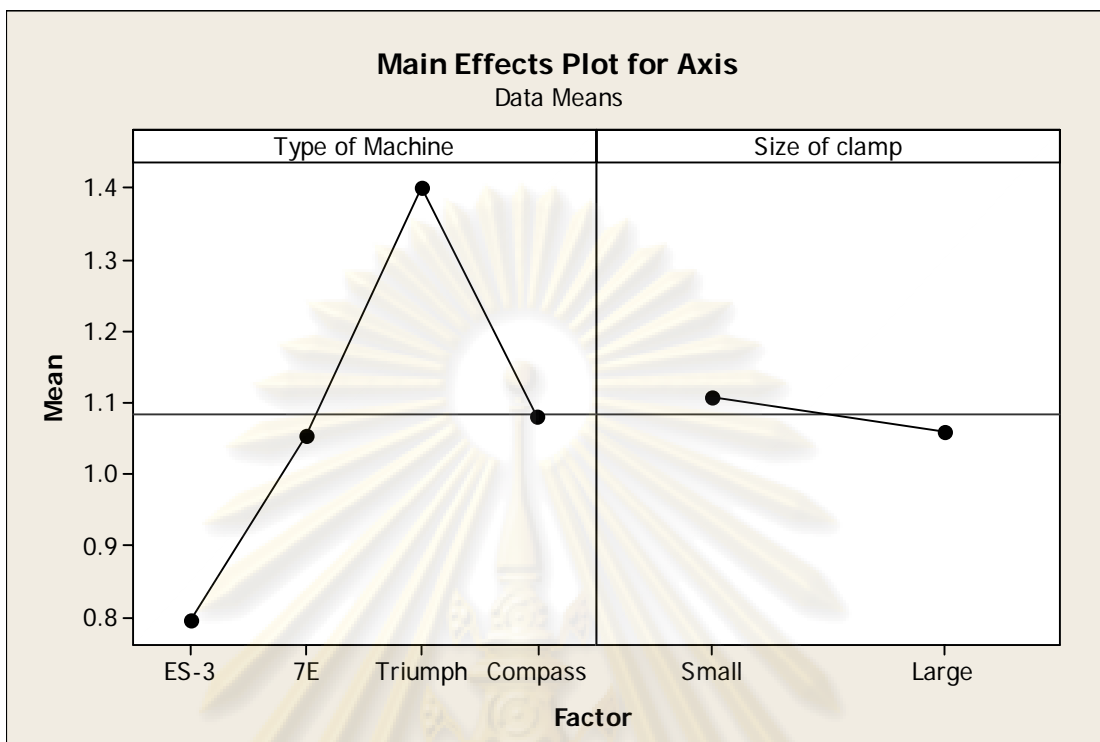
2. พิจารณาค่า P-Value ของ Main Effects ในตารางที่ 4.14 สรุปผล Main Effects ได้ดังนี้

พบว่า Main Effect ของ Type of Machine มีค่า P-Value 0.000 ต่ำกว่า 0.05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า Type of Machine มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า Axis

พบว่า Main Effect ของ Size of clamp มีค่า P-Value 0.296 มากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า Size of clamp ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า Axis ของเลนส์

แสดงดังรูปที่ 4.37

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

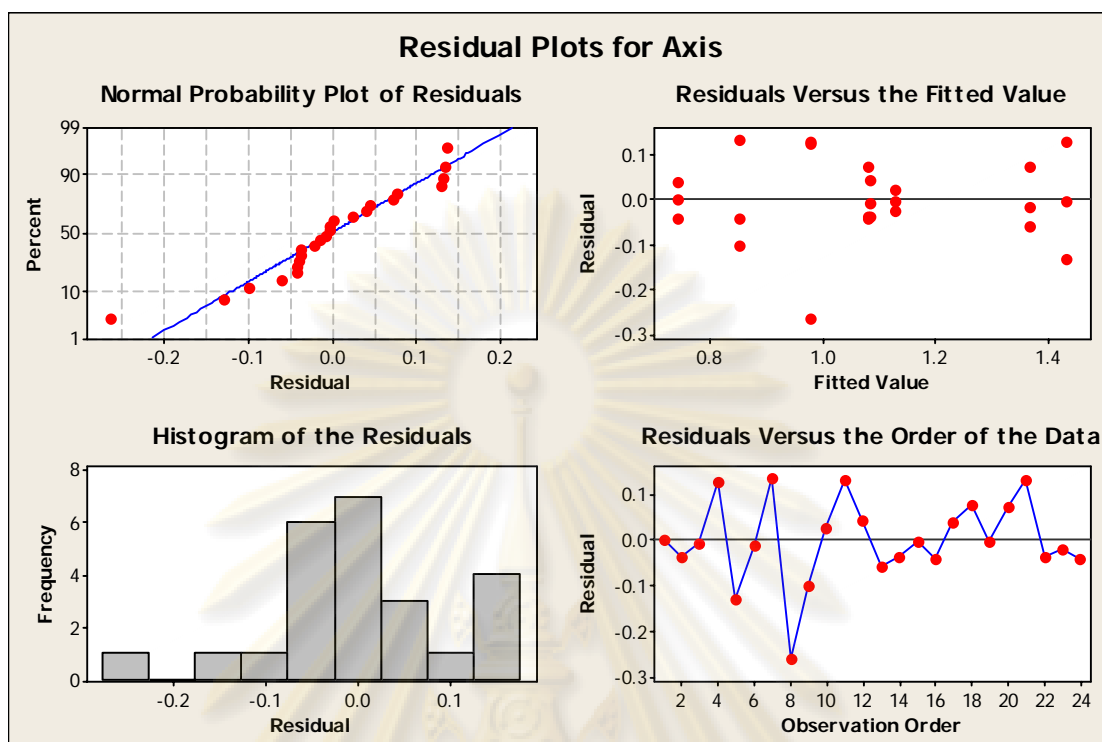


รูปที่ 4.37 Main Effects Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อค่า Axis ของเลนส์ของกระบวนการตัดเลนส์

จากรูปที่ 4.37 จะเห็นได้ว่า การตัดเลนส์ด้วยเครื่อง Triumph มีผลต่อค่า Axis ของเลนส์มากกว่าเครื่อง Compass, 7E และ ES-3 ตามลำดับ แต่การเลือกใช้ขนาด Clamp ไม่มีผลต่อการเกิดค่า Axis ของเลนส์

หลังจากนั้นจะเลือกใช้ความรู้ทางวิศวกรรมหรือความรู้เกี่ยวกับกระบวนการมาช่วยในการวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่มีเหตุผลและมีความน่าเชื่อถือ โดยทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking) โดยใช้หลักการของการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) แสดงดังรูปที่ 4.38

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.38 กราฟแสดงการวิเคราะห์หาค่าของผลการทดลองของกระบวนการตัดเลนส์

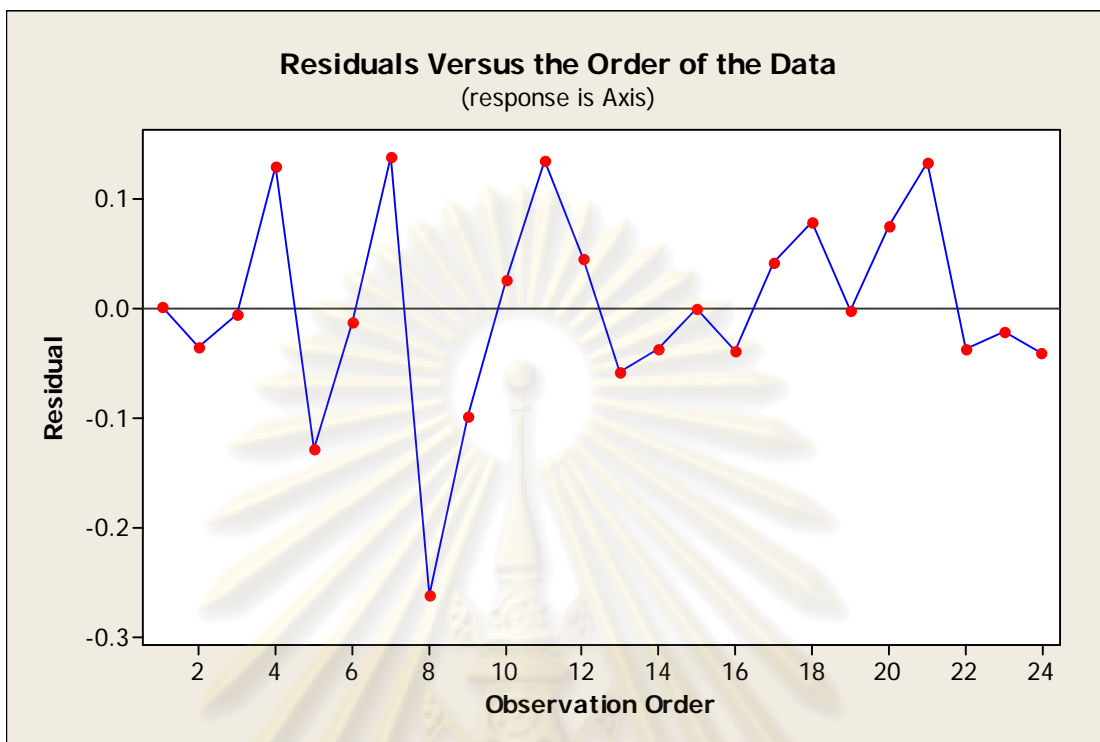
ซึ่งแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วนประกอบด้วย

1. ทดสอบความสุ่มของข้อมูล (Residuals Versus the Order of the Data) แสดงดังรูปที่ 4.39 มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

$H_0$ : ลำดับของข้อมูลอยู่ภายใต้ความสุ่ม

$H_1$ : ลำดับของข้อมูลไม่ได้อยู่ภายใต้ความสุ่ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.39 กราฟแสดงผลการทดสอบความสุ่ม

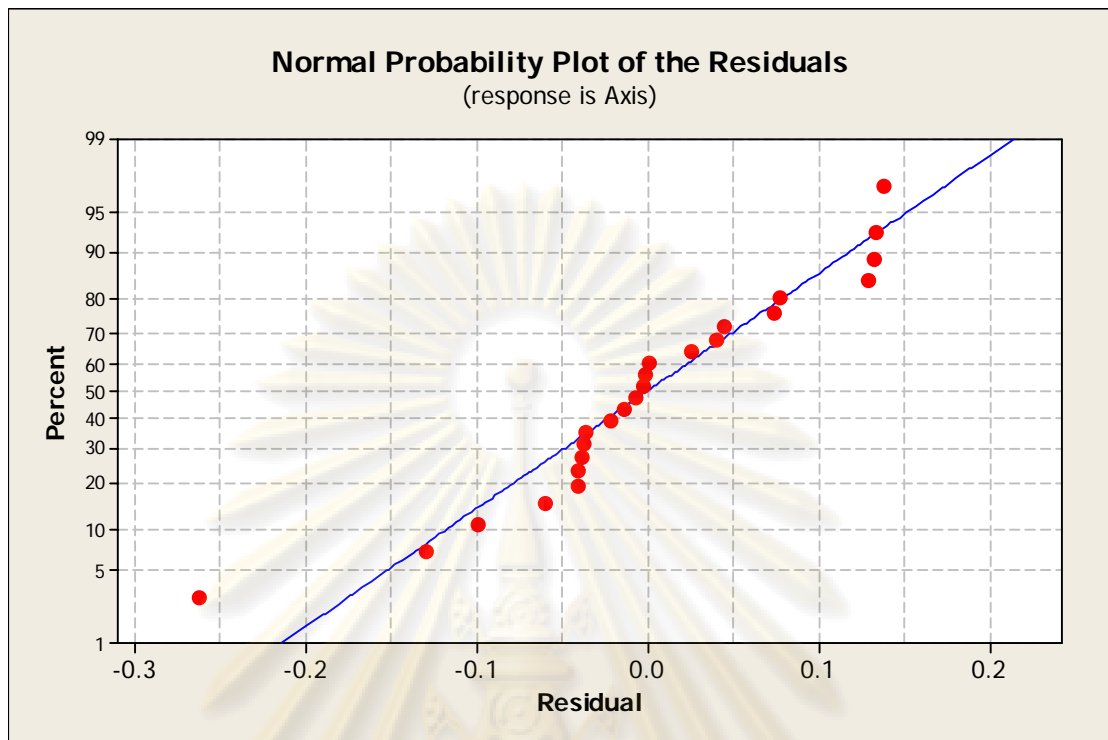
Residuals Versus the Order of the Data ของกระบวนการตัดเลนส์

เมื่อพิจารณาจาก Residuals Versus the Order of the Data ในรูปที่ 4.39 พบว่าไม่มีความผิดปกติของข้อมูล ซึ่งแสดงว่าขาดคุณสมบัติของความสุ่ม เนื่องจากส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบ ดังนั้นจึงไม่มีเหตุผลมากพอที่ปฏิเสธ  $H_0$  (Fail to reject  $H_0$ ) สรุปได้ว่าลำดับของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองอยู่ภายใต้ความสุ่ม ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. ทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normal Probability Plot of the Residuals) แสดงดังรูปที่ 4.40 มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

$H_0$  : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

$H_1$  : ข้อมูลไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 4.40 กราฟแสดงผลการทดสอบความเป็นปกติ

Normal Probability Plot of the Residuals ของกระบวนการตัดเลนส์

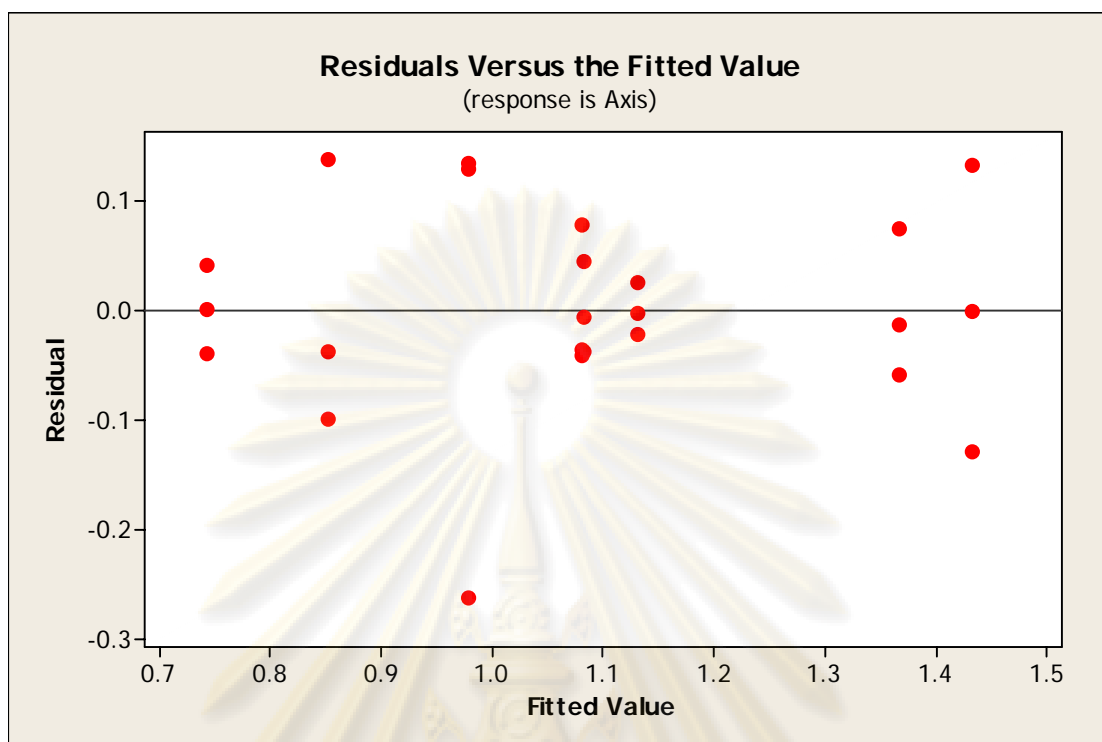
เมื่อพิจารณาจาก Normal Probability Plot of the Residuals ในรูปที่ 4.40 พบว่าข้อมูลมีการเรียงตัวในลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง จะเห็นได้ว่าไม่พบความผิดปกติของข้อมูล แสดงว่าขาดคุณสมบัติของความเป็นปกติ ดังนั้นจึงไม่มีเหตุผลมากพอที่ปฏิเสธ  $H_0$  (Fail to reject  $H_0$ ) สรุปได้ว่าข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3. ทดสอบความเสถียรภาพของความแปรปรวน (Residuals Versus the Fitted Values) แสดงดังรูปที่ 4.41 มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

$H_0$  : ความแปรปรวนของข้อมูลมีความเสถียร

$H_1$  : ความแปรปรวนของข้อมูลไม่มีความเสถียร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.41 กราฟแสดงผลการทดสอบความเสถียรภาพของความแปรปรวน  
Residuals Versus the Fitted Value ของกระบวนการตัดเลนส์

ความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรจะการกระจายตัวโดยที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน จากรูปที่ 4.41 ส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

จากการทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ของตัวแปรตอบสนอง (Axis) ที่นำมาทดลองนี้ พบว่าข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ ความสุ่ม การแจกแจงแบบปกติ และค่าความแปรปรวนมีเสถียรภาพ ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง  $NID(0, \sigma^2)$

จากขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติทั้งหมดและ Main Effects Plot สามารถสรุประดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยของกระบวนการบดล็อกเลนส์และกระบวนการตัดเลนส์เพื่อให้ได้ค่า Axis ของเลนส์น้อยที่สุดได้ดังตารางที่ 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ



ตารางที่ 4.15 สรุประดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยของกระบวนการบดล็อกเลนส์

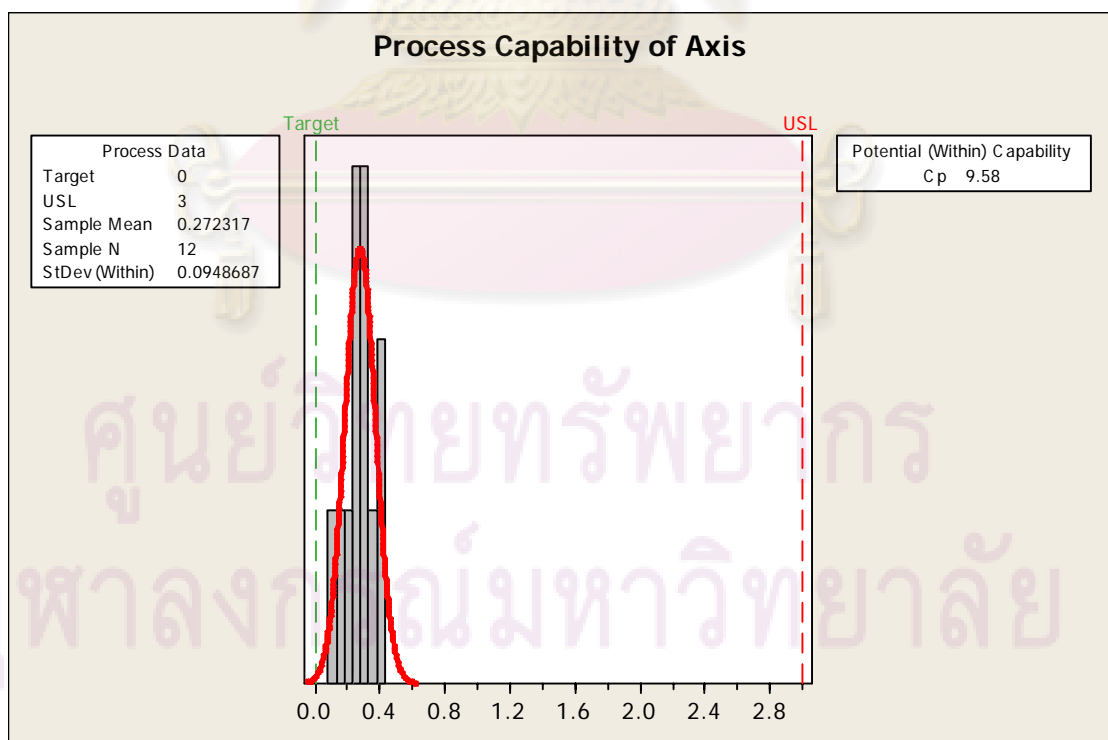
ปัจจัย	ระดับ	ค่าปรับตั้ง
Type of Machine	High (สูง)	V.Pro
Function of Machine	High (สูง)	Automatic

ตารางที่ 4.16 สรุประดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยของกระบวนการตัดเลนส์

ปัจจัย	ค่าปรับตั้ง
Type of Machine	ES-3
Size of clamp	Large

#### 6. การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง

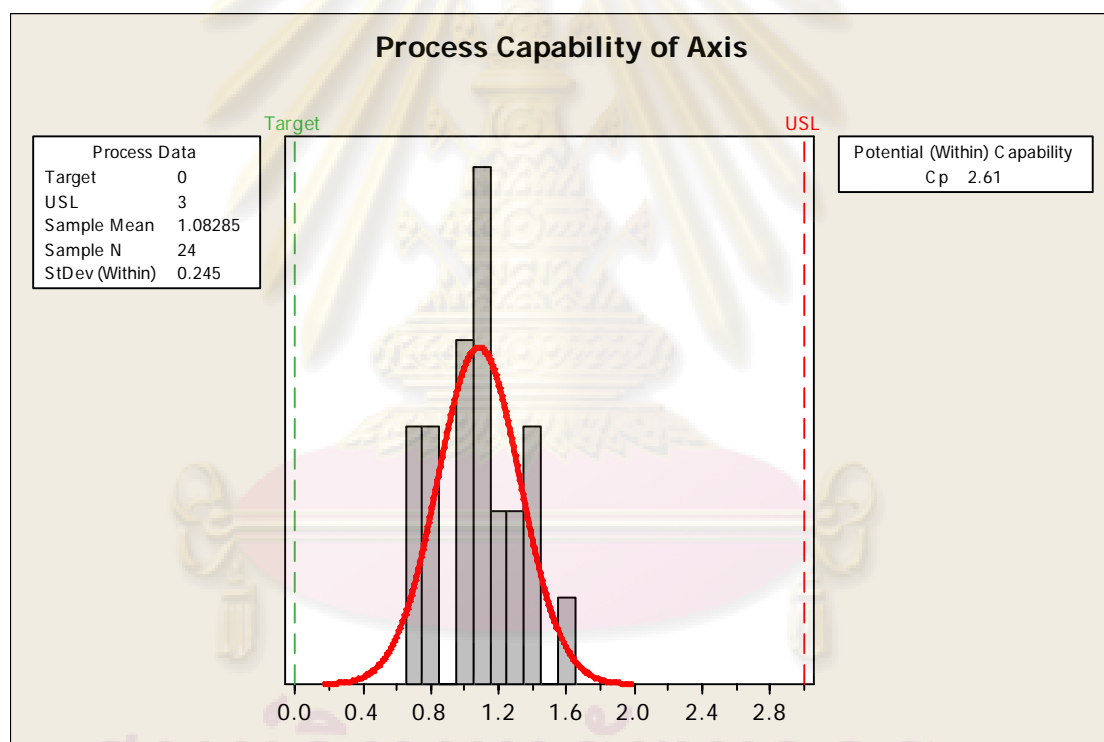
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกเครื่องบดล็อกเลนส์และเครื่องตัดเลนส์ตามแนวทางในตารางที่ 4.15 และ 4.16 เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองของกระบวนการบดล็อกเลนส์และกระบวนการตัดเลนส์ได้ผลดังรูปที่ 4.42 และ 4.43 ตามลำดับ



รูปที่ 4.42 การทดสอบเพื่อยืนยันความสามารถของกระบวนการบดล็อกเลนส์

จากรูปที่ 4.42 สามารถสรุปผลการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองของกระบวนการบล็อกเลนส์ได้ดังนี้

1. ค่า Axis เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้าคือ ไม่เกิน 3 องศา
2. ค่าเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์โดยเฉลี่ย (Mean) เท่ากับ 0.2723 องศา แสดงว่า กระบวนการมีค่าเฉลี่ยมีการเบี่ยงเบนไปจากค่าเป้าหมาย (Target) คือ 0 องศา
3. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation: Within) เท่ากับ 0.0949 องศา แสดงว่า กระบวนการมีความแปรปรวนเกิดขึ้น
4. ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Cp) เท่ากับ 9.58 จะเห็นได้ว่า ค่า Cp มีค่าสูงมาก อาจจะหมายความว่า ความสามารถของกระบวนการมีค่าสูงมาก



รูปที่ 4.43 การทดสอบเพื่อยืนยันความสามารถของกระบวนการตัดเลนส์

เนื่องจากงานวิจัยนี้พิจารณาเพียงด้านเดียวคือ ข้อกำหนดของลูกค้าไม่เกิน 3 องศา (Upper Specification) ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการจึงพิจารณาจากค่า Cp เป็นหลัก คือ สามารถวิเคราะห์ได้ว่าสมรรถนะในการทำงานของกระบวนการมีคุณภาพเป็นไปตามที่ลูกค้าต้องการ

จากรูปที่ 4.43 สามารถสรุปผลการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองได้ ดังนี้

1. ค่า Axis เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้ำคือ ไม่เกิน 3 องศา
2. ค่าเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์โดยเฉลี่ย (Mean) เท่ากับ 1.0829 องศา แสดงว่า กระบวนการมีค่าเฉลี่ยมีการเบี่ยงเบนไปจากค่าเป้าหมาย (Target) คือ 0 องศา
3. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation: Within) เท่ากับ 0.245 องศา แสดงว่า กระบวนการมีความแปรปรวนเกิดขึ้น
4. ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Cp) เท่ากับ 2.61 จะเห็นได้ว่า ค่า Cp มีค่าสูง อาจจะหมายความว่า ความสามารถของกระบวนการมีค่าสูง

#### 4.7 การปรับปรุงกระบวนการ (Improvement Process)

หลังจากการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองซึ่งสามารถสรุปปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการบล็อกเลนส์และกระบวนการตัดเลนส์ดังตารางที่ 4.15 และ 4.16 แต่เนื่องจากค่า Axis ที่เกิดขึ้นดังกล่าวนี้ แนวทางที่ดีที่สุดคือ ควรมีมาตรการในการลดค่า Axis ที่เกิดขึ้นให้เข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากที่สุดคือ 0 องศา ดังนั้นขั้นตอนต่อไปของการดำเนินงานวิจัยคือ การปรับปรุงกระบวนการในการลดความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ (Axis) จากกระบวนการบล็อกเลนส์และกระบวนการตัดเลนส์ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้ำ

ซึ่งแผนปรับปรุงกระบวนการในการลดความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กำหนดปัจจัยที่ต้องทำการควบคุมในการทดลอง

หลังจากวิเคราะห์ผลการทดลองทำให้ทราบว่า มีปัจจัยใดเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนของการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ (Axis) ซึ่งจะต้องนำปัจจัยดังกล่าวมาทำการทดลองอีกครั้งในกระบวนการตัดแต่งเลนส์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ

กรณีกระบวนการบล็อกเลนส์

เลือกใช้เครื่อง V.Pro และฟังก์ชันการทำงานแบบ Automatic ตามที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 4.16 สำหรับการทดลองในกระบวนการบล็อกเลนส์ มีปัจจัยที่จะต้องทำการควบคุมได้แก่

- เครื่อง V.Pro จะต้องผ่านการ Set up และการสอบเทียบแล้ว

- ชนิดของเลนส์ กำหนดเป็นเลนส์ไร้รอยต่อ (Progressive Lens) มีค่าทางสายตา (Power) เท่ากับ +750 เช่นเดียวกับการทดลองก่อนการปรับปรุงกระบวนการ จำนวนการทดลองมี 12 การทดลองเช่นเดียวกับก่อนการปรับปรุง

- มาตรฐานในการปฏิบัติงานของพนักงาน กำหนดให้พนักงานที่ทำการวัดเลนส์เป็นพนักงานกลุ่มเดิมที่มีประสบการณ์และผ่านการฝึกอบรมทางด้านการวัดค่า Axis ของเลนส์มาเป็นอย่างดี

#### กรณีกระบวนการตัดเลนส์

เลือกใช้เครื่อง ES-3 ตามที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 4.16 สำหรับทดลองในกระบวนการตัดเลนส์ ส่วนขนาดของ clamp จะเลือกขนาดใหญ่ (Large) มีปัจจัยที่จะต้องทำการควบคุม ได้แก่

- เครื่อง ES-3 จะต้องผ่านการ Set up และการสอบเทียบแล้ว
- ชนิดของเลนส์ กำหนดเป็นเลนส์ไร้รอยต่อ (Progressive Lens) มีค่าทางสายตา (Power) เท่ากับ +750 เช่นเดียวกับการทดลองก่อนการปรับปรุงกระบวนการ จำนวนการทดลองมี 24 การทดลองเช่นเดียวกับก่อนการปรับปรุง

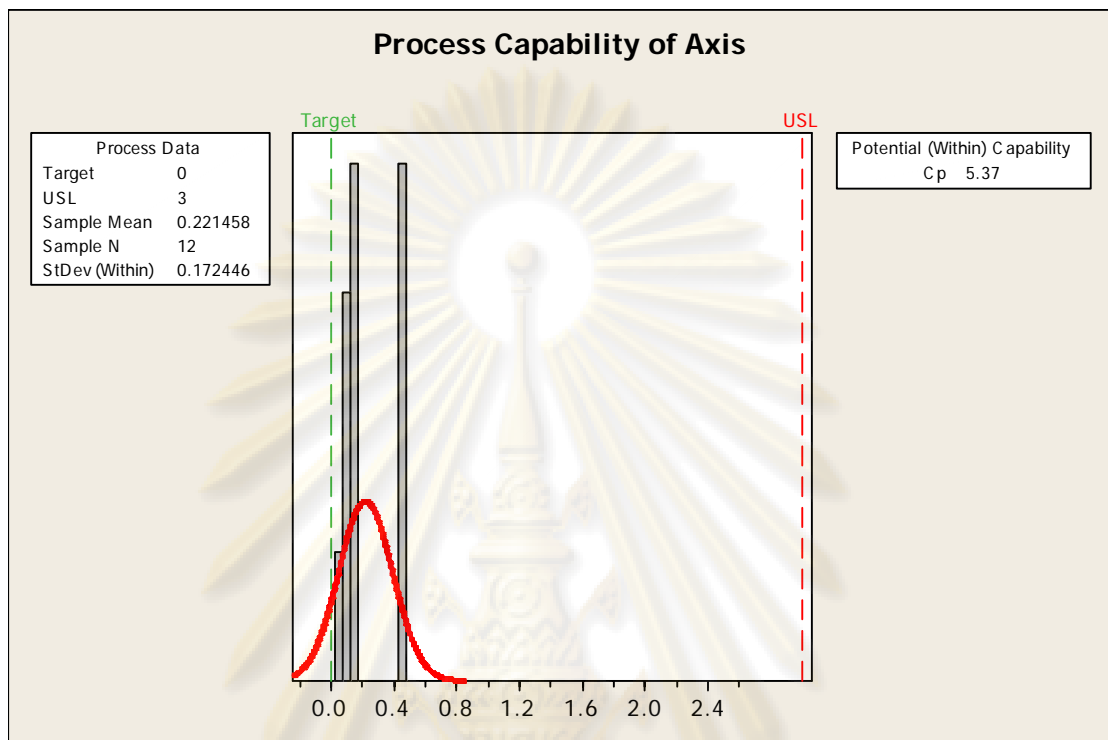
- มาตรฐานในการปฏิบัติงานของพนักงาน กำหนดให้พนักงานที่ทำการวัดเลนส์เป็นพนักงานกลุ่มเดิมที่มีประสบการณ์และผ่านการฝึกอบรมทางด้านการวัดค่า Axis ของเลนส์มาเป็นอย่างดี

#### 2. เลือกใช้หลักการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

เพื่อนำมาใช้ในการตรวจสอบความสามารถของกระบวนการและควบคุมปัจจัยให้อยู่ในสภาวะตามที่ต้องการ โดยพิจารณาจากค่าตัวแปรตอบสนองคือ ค่า Axis ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากการประเมินความสามารถของกระบวนการในขั้นตอนการยืนยันผลการทดลองในขั้นตอนที่ 7 ของการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบหลังจากการปรับปรุงกระบวนการ โดยแบ่งออกเป็น

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2.1 กรณีกระบวนการผลิตออกเลนส์



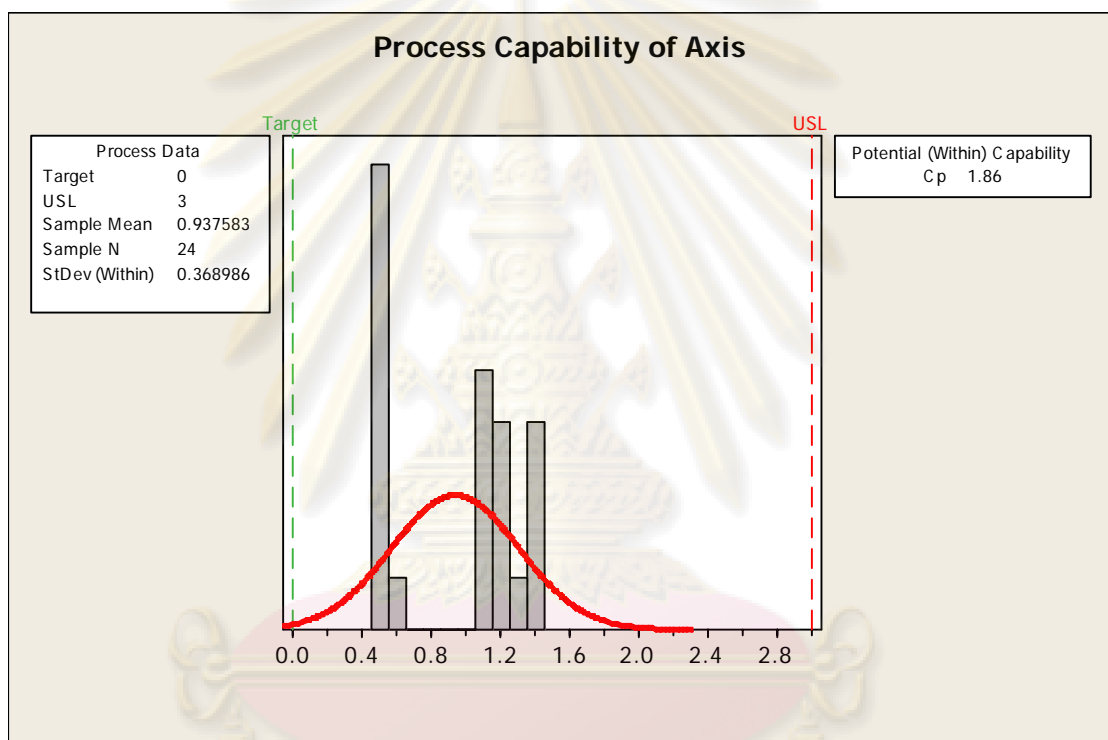
รูปที่ 4.44 การทดสอบเพื่อยืนยันความสามารถของกระบวนการผลิตออกเลนส์หลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 4.44 สามารถสรุปผลการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองของกระบวนการผลิตออกเลนส์ได้ดังนี้

1. ค่า Axis เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้าคือ ไม่เกิน 3 องศา
2. ค่าเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์โดยเฉลี่ย (Mean) เท่ากับ 0.2215 องศา จะเห็นได้ว่ามีค่าลดลงจากก่อนการปรับปรุง แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของค่า Axis ของเลนส์เข้าใกล้ค่าเป้าหมาย (Target) คือ 0 องศา มากขึ้น
3. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation: Within) เท่ากับ 0.1724 องศา จะเห็นได้ว่า กระบวนการมีความแปรปรวนเพิ่มขึ้นแต่ค่าดังกล่าวยังสามารถยอมรับได้ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นดังกล่าวเป็นผลมาจากค่าเฉลี่ยของค่า Axis ของเลนส์ลดลง และมีค่าขอบเขตของการยอมรับ (Market Specification) คงเดิมคือ 3 องศา ดังนั้นจึงต้องมีมาตรการในการควบคุมปัจจัยในการทดลองให้คงที่ เช่น การควบคุมพนักงานในการทดลอง การควบคุมเวลาที่ทำการทดลอง เป็นต้น เพื่อไม่ให้เกิดความแปรปรวนมากขึ้นอีก

4. ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Cp) เท่ากับ 5.37 องศา แต่ค่าดังกล่าวยังอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้คือ มากกว่า 1.33 จะเห็นได้ว่า ค่า Cp ยังมีค่าสูงหมายความว่า ความสามารถของกระบวนการยังมีค่าสูงเกินไป ดังนั้นควรมีมาตรการในการลดขอบเขตของการยอมรับ (Market Specification) คือ น้อยกว่า 3 องศา เพื่อส่งผลให้ค่าความแปรปรวน (Standard Deviation) ลดลง และเป็นผลดีทางการได้เปรียบทางการค้ากับคู่แข่ง

## 2.2 กรณีกระบวนการตัดเลนส์



รูปที่ 4.45 การทดสอบเพื่อยืนยันความสามารถของกระบวนการตัดเลนส์หลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 4.45 สามารถสรุปผลการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองได้ ดังนี้

1. ค่า Axis เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้าคือ ไม่เกิน 3 องศา
2. ค่าเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์โดยเฉลี่ย (Mean) เท่ากับ 0.9376 องศา จะเห็นได้ว่ามีค่าลดลงจากก่อนการปรับปรุง แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของค่า Axis ของเลนส์เข้าใกล้ค่าเป้าหมาย (Target) คือ 0 องศา มากขึ้น
3. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation: Within) เท่ากับ 0.3689 องศา จะเห็นได้ว่า กระบวนการมีความแปรปรวนเพิ่มขึ้นแต่ค่าดังกล่าวยัง

สามารถยอมรับได้ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นดังกล่าวเป็นผลมาจากค่าเฉลี่ยของค่า Axis ของเลนส์ ลดลง และมีค่าขอบเขตของการยอมรับ (Market Specification) คงเดิมคือ 3 องศา ดังนั้นจึงต้องมีมาตรการในการควบคุมปัจจัยในการทดลองให้คงที่ เช่น การควบคุมพนักงานในการทดลอง การควบคุมเวลาที่ทำการทดลอง เป็นต้น เพื่อไม่ให้เกิดความแปรปรวนมากขึ้นอีก

4. ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Cp) เท่ากับ 1.86 องศา จะเห็นได้ว่า ค่า Cp แสดงถึงความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการดี

จากรูปที่ 4.43, 4.44, 4.45 และ 4.46 สามารถเปรียบเทียบผลการทดสอบเพื่อ ยืนยันผลการทดลองระหว่างก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการได้ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบผลการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองก่อนและหลังปรับปรุง กระบวนการ

กระบวนการ	ค่าพิจารณา	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	เปอร์เซ็นต์
บล็อกเลนส์ (Blocking)	ค่าเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์โดยเฉลี่ย (Mean)	0.2723	0.2215	- 18.66%
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation: Within)	0.0949	0.1724	+ 81.66%
	ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Cp)	9.58	5.37	- 43.95%
ตัดเลนส์ (Edging)	ค่าเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์โดยเฉลี่ย (Mean)	1.0829	0.9376	- 13.42%
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation: Within)	0.2450	0.3689	+ 50.57%
	ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Cp)	2.61	1.86	- 28.74%

จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการปรับค่าของปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปัญหาการเกิดค่า Axis ของเลนส์ในกระบวนการบล็อกเลนส์ และกระบวนการตัดเลนส์ตามแนวทางในตารางที่ 4.16 และ 4.17 จะทำให้ค่าเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์โดยเฉลี่ย (Mean) ลดลง

หมายความว่า ค่าดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายของการวัดค่า Axis ของเลนส์ (Target) คือ 0 องศามากขึ้น

จากผลการทดลองหลังการปรับปรุงกระบวนการพบว่า สามารถลดค่าเบี่ยงเบน โดยเฉลี่ยของเลนส์ (Mean) ลงได้ แต่ส่งผลให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation: Within) สูงขึ้น รวมทั้งค่าความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Cp) มีค่าลดลงตามไปด้วย ซึ่งส่งผลต่อความแปรปรวนของกระบวนการ ซึ่งค่าดังกล่าวแสดงถึงมีขอบเขตของการยอมรับ (Upper Specification) ที่สูงเกินไป เนื่องจากความแม่นยำของกระบวนการยังอยู่ในระดับที่สูงมาก ดังนั้นจึงควรมีมาตรการในการควบคุมความแปรปรวนดังกล่าวให้คงที่ เช่น การควบคุมพนักงานในการทดลอง การควบคุมเวลาที่ทำการทดลอง เป็นต้น หรือลดขอบเขตของการยอมรับ (Market Specification) คือ น้อยกว่า 3 องศา เพื่อส่งผลให้ค่าความแปรปรวน (Standard Deviation) ลดลง และเป็นผลดีทางด้าน การได้เปรียบทางการค้ากับคู่แข่ง

ดังนั้นจึงสามารถอธิบายโดยสรุปได้ว่า การปรับปรุงกระบวนการโดยการทดสอบ เพื่อยืนยันผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงส่งผลให้กระบวนการสามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนของการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ (Axis) ได้จริง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 5

### สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลงานวิจัย

##### 5.1.1 สรุปผลการเลือกปัญหาและขั้นตอนโดยรวมของงานวิจัย

จากงานวิจัย ที่ได้เสนอแนะแนวทางในการประยุกต์ใช้ทฤษฎีทางด้านวิศวกรรม ในการแก้ไขปัญหาที่เกิดจากกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตา (Finishing) โดยเริ่มจากการเลือก ปัญหาซึ่งพิจารณาจากการปฏิเสธสินค้าจากลูกค้า (Customer Return) สูงสุดเป็นอันดับแรก นั้นคือ ปัญหาความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ (Axis) หลังจากนั้นทำ การระดมสมอง (Brainstorming) จากพนักงานและวิศวกรผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการเพื่อ นิยามปัญหาด้วยแผนภาพกิ่งไม้ (Tree Diagram) และกำหนดขอบเขตของปัญหาโดยอาศัย หลักการวิเคราะห์หาอาการขัดข้องและผลกระทบของปัญหาในกระบวนการผลิต (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) ซึ่งสรุปได้ว่ามีเพียง 2 กระบวนการย่อยเท่านั้นที่ส่งผลต่อความ คลาดเคลื่อนดังกล่าวคือ กระบวนการบล็อกเลนส์ (Blocking process) และกระบวนการตัดเลนส์ (Edging process) แล้วกำหนดสาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพก้างปลา (Cause and Effect Diagram) อีกครั้ง แล้วเริ่มแก้ไขปัญหาแต่ละสาเหตุตามหลักการ 5M (Man, Machine, Material, Method, Measurement) หลังจากนั้นทำการออกแบบกระบวนการวัดและเครื่องมือวัดที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการวัดค่า Axis และทำการวิเคราะห์ระบบการวัดดังกล่าว แล้วดำเนินขั้นตอนการ ออกแบบการทดลอง โดยเริ่มจากการเลือกปัจจัยหลัก กำหนดระดับของแต่ละปัจจัย และตัวแปร ตอบสนองนั้นคือ Axis เลือกรูปแบบของการทดลอง (สำหรับกระบวนการบล็อกเลนส์ใช้การ ทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$  และสำหรับกระบวนการตัดเลนส์ใช้การทดลองเชิงแฟคทอเรียล) แล้วทำการทดลองเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ และการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง สุดท้ายจะทำการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดความคลาดเคลื่อนของการเบี่ยงเบนจากแนวแกน ของเลนส์ (Axis) ที่เกิดขึ้น

##### 5.1.2 สรุปผลการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบของปัญหา (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA)

จากการจัดลำดับความสำคัญด้วยแผนภาพพาเรโต ในขั้นตอนการวิเคราะห์ อาการขัดข้องและผลกระทบพบว่า ปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่ออาการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของ

เลนส์ (Axis) ที่เกิดจากกระบวนการบล็อกเลนส์และกระบวนการตัดเลนส์มีทั้งหมด 9 ปัจจัย ซึ่งเกิดจาก 12 สาเหตุ ซึ่งได้แก่

1. การจับยึดเลนส์ เกิดจาก 2 สาเหตุคือ ไม่มีอุปกรณ์สำหรับจับยึดเลนส์ และการจับยึดเลนส์ไม่ningขณะทำการบล็อกเลนส์กับเครื่อง 3B
2. ขนาดของ Clamp เกิดจากสาเหตุคือ การเลือกขนาดของ Clamp ไม่เหมาะสมในกระบวนการตัดเลนส์
3. การป้อนความเร็วการตัด (Cutting Speed) เกิดจาก 2 สาเหตุคือ การป้อนความเร็วที่ไม่เหมาะสมและความล้ำสมัยของเทคโนโลยีของเครื่องจักร
4. การป้อนฟังก์ชัน Recut เกิดจาก 2 สาเหตุคือ ความไม่พร้อมของเครื่องจักร หรือเครื่องจักรมีการสอบเทียบ (Calibration) ไม่สม่ำเสมอ และความล้ำสมัยของเทคโนโลยีเครื่องจักร
5. ชนิดของเครื่องจักร เกิดจากสาเหตุคือ ความแตกต่างของเครื่องจักรและความทันสมัยของเทคโนโลยีของเครื่องจักรแตกต่างกัน
6. ลักษณะการทำงานของเครื่องจักร (Automatic/Manual) เกิดจากสาเหตุคือ ความทันสมัยของเทคโนโลยีของเครื่องจักรมีความแตกต่างกัน
7. ความคมของใบมีด เกิดจากสาเหตุคือ ใบมีดไม่คม ใช้งานเป็นเวลานาน ไม่มีการเปลี่ยนเมื่อครบกำหนดอายุการใช้งานของใบมีด
8. ความพร้อมของเครื่องจักร เกิดจากสาเหตุคือ ขาดการสอบเทียบหรือตั้งค่า (Calibration/Set up) ก่อนการใช้งาน
9. การเรียกชิ้นงาน เกิดจากสาเหตุคือ พนักงานทำการป้อนฟังก์ชันการทำงานผิดพลาด

5.1.3 สรุปสาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

งานวิจัยนี้ได้รวบรวมสาเหตุของปัญหาโดยการประชุมเพื่อระดมสมอง (Brainstorming) ระหว่างผู้วิจัย พนักงานและวิศวกรผู้ที่เกี่ยวข้องและมีประสบการณ์ในกระบวนการตัดแต่งเลนส์แว่นตาได้แก่ ผู้จัดการแผนกตัดแต่งเลนส์ วิศวกรแผนกตัดแต่งเลนส์ และพนักงานเดินเครื่องในแผนกตัดแต่งเลนส์ ซึ่งผู้วิจัยทำหน้าที่เป็นผู้ประสานงานและสรุปผล โดยได้จัดทำเป็นแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ประเภทการกำหนดรายการสาเหตุ (Cause Enumeration) ซึ่งสามารถแบ่งสาเหตุของปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อการเบี่ยงเบน

จากแนวแกนของเลนส์ออกเป็น 5 สาเหตุใหญ่คือ สาเหตุจากคน (Man) สาเหตุจากเครื่องจักร (Machine) สาเหตุจากวัตถุดิบ (Material) สาเหตุจากกระบวนการทำงาน (Method) และสาเหตุจากกระบวนการวัด (Measurement)

หลังจากนั้นทำการแก้ไขปัญหาแต่ละสาเหตุได้ดังนี้

### 1. สาเหตุจากคน (Man)

แนวคิดในการแก้ไขปัญหาคือ การจัดวางแผนการฝึกอบรมพนักงาน ทางด้านการปฏิบัติงานที่ถูกต้องและถูกต้อง รวมทั้งเตรียมความพร้อมทางด้านร่างกายและจิตใจของพนักงานให้พร้อมต่อการปฏิบัติงานอย่างต่อเนื่อง

### 2. สาเหตุจากเครื่องจักร (Machine)

แนวคิดในการแก้ไขปัญหาคือ การตรวจสอบความพร้อมของเครื่องจักร ก่อนการใช้งานทุกครั้ง รวมทั้งจัดทำตารางสำหรับการสอบเทียบและการตั้งค่า (Calibration/Set up) เครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ ตรวจสอบสภาพความพร้อมของหัว Chuck ที่ใช้ในการจับยึดเลนส์ ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน และเพิ่มรอบในการสอบเทียบ (Calibration) สำหรับเครื่องจักรแบบ ล้ำสมัยให้มากขึ้น เพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการ

### 3. สาเหตุจากวัตถุดิบ (Material) แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

วัตถุดิบทางตรง เนื่องจากวัตถุดิบทางตรง ส่วนใหญ่มักมาจากการกำหนดค่าจากใบรายการสินค้าของลูกค้า หรือจากฝ่ายประกันคุณภาพ (Quality Assurance) ซึ่งในส่วนงานนี้ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลดังกล่าวได้

วัตถุดิบทางอ้อม ได้แก่ สติกเกอร์ แนวคิดในการแก้ไขปัญหาคือ ไม่ควรใช้สติกเกอร์ซ้ำหลายครั้งเพราะจะทำให้ความเหนียวของกาวของสติกเกอร์ลดลง และใบมีดควรมีการตรวจสอบความคมของใบมีดก่อนการตัดเลนส์ทุกครั้ง รวมทั้งมีการเปลี่ยนใบมีดเมื่อครบอายุการใช้งานเสมอ

### 4. สาเหตุจากกระบวนการทำงาน (Method)

การตั้งค่าความเร็วในการตัดเลนส์ แนวคิดในการแก้ไขปัญหาคือ ทำการทดลองตั้งค่าความเร็วในการตัดเลนส์ในแต่ละเครื่องจักร รวมทั้งทำการทดลองการเปลี่ยนขนาดของ Clamp เพื่อให้เกิดความเหมาะสมและเกิดความคลาดเคลื่อนระหว่างการตัดเลนส์น้อยที่สุด โดยอาศัยหลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดใน

การตั้งค่าความเร็วในการตัดเลนส์ของแต่ละเครื่อง จึงมีการพิจารณาเพียงการทดลองการเปลี่ยนขนาดของ Clamp เท่านั้น

#### 5. สาเหตุจากกระบวนการวัด (Measurement)

แนวคิดในการแก้ปัญหาในส่วนนี้คือ การออกแบบกระบวนการวัดและเครื่องมือวัดที่เหมาะสม เพื่อนำมาใช้ในการวัดค่าความคลาดเคลื่อนจากการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์เพื่อบ่งชี้ที่มาของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น หลังจากการออกแบบและผลิตเครื่องมือแล้วจะต้องทำการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของเครื่องมือวัดโดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) อีกครั้งก่อนนำไปใช้ในการทดลองเก็บข้อมูลจริง

สำหรับแนวทางการแก้ไขปัญหามาเหตุจากคน เครื่องจักร และวัตถุดิบ ได้มีการจัดวางแผนระบบงานและดำเนินการแก้ไขเรียบร้อยแล้วและมีการปฏิบัติตามอย่างต่อเนื่อง แต่สำหรับสาเหตุจากกระบวนการทำงานและกระบวนการวัด ได้ดำเนินการแก้ไขโดยเริ่มจากการแก้ไขสาเหตุจากกระบวนการวัดก่อน เนื่องจากกระบวนการวัดของทางบริษัทฯ ในปัจจุบันยังไม่มีมีการจัดทำเป็นมาตรฐานการวัด หลังจากนั้นจึงจะดำเนินการแก้ไขสาเหตุจากกระบวนการทำงานในขั้นตอนถัดไป

#### 5.1.4 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA)

จากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดค่า Axis ของเลนส์หลังการปรับปรุง สามารถสรุปผลออกเป็น 2 กรณีคือ

##### 1. กรณีกระบวนการบล็อกเลนส์ พิจารณาจากเกณฑ์ดังนี้

Number of Distinct Categories:  $ndc = 25$  แสดงว่าระบบการวัดที่ทำการศึกษามีสามารถแยกข้อมูลที่วัดได้ 25 ประเภทที่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าข้อมูลที่วัดสามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการวัดได้

P-Value ของอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดกับเลนส์ (Interaction Effect) มีค่าเท่ากับ 0.000 น้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปว่าอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดกับเลนส์มีผลอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าเมื่อเปลี่ยนเลนส์ให้พนักงานคนเดิมทำการวัดแล้วผลจากการวัดเปลี่ยนไป เนื่องจากเลนส์แต่ละเลนส์มีค่า Axis แตกต่างกัน

ประเมินผลระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (%Study Variation หรือ TV หรือ P/TV) พบว่า ความผันแปรจากระบบการวัด (Total Gage R&R) เท่ากับ 5.43% เนื่องจาก Total Gage R&R มีค่าน้อยกว่า 10% จึงสรุปได้ว่าระบบการวัดที่ทำการวัดนี้ สามารถใช้ในการวัดค่า Axis ของเลนส์จากกระบวนการบล็อกเลนส์ได้อย่างเหมาะสม

## 2. กรณีกระบวนการตัดเลนส์ พิจารณาจากเกณฑ์ดังนี้

Number of Distinct Categories:  $ndc = 27$  แสดงว่าระบบการวัดที่ทำการศึกษามีความสามารถแยกข้อมูลที่วัดได้ 27 ประเภทที่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าข้อมูลที่ได้สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการวัดได้

P-Value ของอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดกับเลนส์ (Interaction Effect) มีค่าเท่ากับ 0.000 น้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปว่าอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดกับเลนส์มีผลอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าเมื่อเปลี่ยนชิ้นงานให้พนักงานคนเดิมทำการวัดแล้วผลจากการวัดเปลี่ยนไป เนื่องจากเลนส์แต่ละเลนส์มีค่า Axis แตกต่างกัน

ประเมินผลระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (%Study Variation หรือ TV หรือ P/TV) พบว่า ความผันแปรจากระบบการวัด (Total Gage R&R) เท่ากับ 5.21% เนื่องจาก Total Gage R&R มีค่าน้อยกว่า 10% จึงสรุปได้ว่าระบบการวัดที่ทำการวัดนี้ สามารถใช้ในการวัดค่า Axis ของเลนส์จากกระบวนการตัดเลนส์ได้อย่างเหมาะสม

จากการวิเคราะห์ระบบการวัดสรุปได้ว่า ข้อมูลวัดดังกล่าวมีคุณสมบัติคุณภาพที่ดี รวมทั้งระบบการวัดที่ทำการประเมินผลและวิเคราะห์ผลนี้ สามารถนำไปใช้ในการวัดค่า Axis ของเลนส์ทั้งกระบวนการบล็อกเลนส์และกระบวนการตัดเลนส์ได้อย่างเหมาะสม

### 5.1.5 สรุปผลการออกแบบการทดลองแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ

กรณีกระบวนการบล็อกเลนส์ (Blocking Process) ใช้การทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$  ( $2^k$  Fraction Factorial design)

จากขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติทั้งหมดสามารถสรุประดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยของกระบวนการบล็อกเลนส์เพื่อให้ได้ค่า Axis ของเลนส์น้อยที่สุดได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุประดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยของกระบวนการบล็อกเลนส์

ปัจจัย	ระดับ	ค่าปรับตั้ง
Type of Machine	High (สูง)	V.Pro
Function of Machine	High (สูง)	Automatic

หลังจากได้ปัจจัยและระดับที่เหมาะสมของกระบวนการบล็อกเลนส์ ผู้วิจัยร่วมกับคณะทำงานในการวัดค่า Axis ของเลนส์ ในการทดสอบเพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลอง สามารถสรุปผลการทดสอบของกระบวนการบล็อกเลนส์ได้ดังนี้

1. ค่า Axis เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้าคือ ไม่เกิน 3 องศา
2. ค่าเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยของค่า Axis ของเลนส์ (Mean) เท่ากับ 0.2723 องศา แสดงว่า กระบวนการมีค่าเฉลี่ยมีการเบี่ยงเบนไปจากค่าเป้าหมาย (Target) คือ 0 องศา
3. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation: Within) เท่ากับ 0.0949 องศา แสดงว่า กระบวนการมีความแปรปรวนเกิดขึ้น
4. ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Cp) เท่ากับ 9.58 จะเห็นได้ว่า ค่า Cp มีค่าสูงมาก อาจจะหมายความว่า ความสามารถของกระบวนการมีค่าสูงมาก

กรณีกระบวนการตัดเลนส์ (Edging Process) ใช้การทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Fraction Factorial design)

จากขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติทั้งหมดสามารถสรุประดับที่เหมาะสมของปัจจัยของกระบวนการบล็อกเลนส์เพื่อให้ได้ค่า Axis ของเลนส์น้อยที่สุดได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 สรุประดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยของกระบวนการตัดเลนส์

ปัจจัย	ค่าปรับตั้ง
Type of Machine	ES-3
Size of clamp	Large

หลังจากได้ปัจจัยและระดับที่เหมาะสมของกระบวนการตัดเลนส์ ผู้วิจัยร่วมกับคณะทำงานในการวัดค่า Axis ของเลนส์ ในการทดสอบเพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลอง สามารถสรุปผลการทดสอบของกระบวนการตัดเลนส์ได้ดังนี้

1. ค่า Axis เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้ำคือ ไม่เกิน 3 องศา
2. ค่าเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยของค่า Axis ของเลนส์ (Mean) เท่ากับ 1.0829 องศา แสดงว่า กระบวนการมีค่าเฉลี่ยมีการเบี่ยงเบนไปจากค่าเป้าหมาย (Target) คือ 0 องศา
3. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation: Within) เท่ากับ 0.245 องศา แสดงว่า กระบวนการมีความแปรปรวนเกิดขึ้น
4. ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Cp) เท่ากับ 2.61 จะเห็นได้ว่า ค่า Cp มีค่าสูง อาจจะหมายความว่า ความสามารถของกระบวนการมีค่าสูง

### 5.1.6 สรุปผลการปรับปรุงกระบวนการ (Improvement Process)

จากผลการทดสอบยืนยันผลการทดลองที่ผ่านมาพบว่า สามารถกำหนดค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสม หลังจากนั้นจะเลือกใช้หลักการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการเพื่อนำมาใช้ในการตรวจสอบความสามารถของกระบวนการและควบคุมปัจจัยให้อยู่ในสภาวะตามที่ต้องการ โดยพิจารณาจากค่าตัวแปรตอบสนองคือ ค่า Axis ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากการประเมินความสามารถของกระบวนการในขั้นตอนการยืนยันผลการทดลองก่อนการปรับปรุงกระบวนการมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบหลังจากการปรับปรุงกระบวนการ โดยแบ่งออกเป็น

#### กรณีกระบวนการบล็อกเลนส์

สามารถสรุปผลการทดสอบของกระบวนการบล็อกเลนส์ได้ดังนี้

1. ค่า Axis เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้ำคือ ไม่เกิน 3 องศา
2. ค่าเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยของค่า Axis ของเลนส์ (Mean) เท่ากับ 0.2215 องศา จะเห็นได้ว่ามีค่าลดลงจากก่อนการปรับปรุง แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของค่า Axis ของเลนส์เข้าใกล้ค่าเป้าหมาย (Target) คือ 0 องศา มากขึ้น
3. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation: Within) เท่ากับ 0.1724 องศา จะเห็นได้ว่า กระบวนการมีความแปรปรวนเพิ่มขึ้นแต่ค่าดังกล่าวยังสามารถยอมรับได้ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นดังกล่าวเป็นผลมาจากค่าเฉลี่ยของค่า Axis ของเลนส์ลดลง และมีค่าขอบเขตของการยอมรับ (Market Specification) คงเดิมคือ 3 องศา ดังนั้นจึงต้องมีมาตรการในการควบคุมปัจจัยในการทดลองให้คงที่ เช่น การควบคุมพนักงานในการทดลอง การควบคุมเวลาที่ทำกรทดลอง เป็นต้น เพื่อไม่ให้เกิดความแปรปรวนมากขึ้นอีก

4. ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Cp) เท่ากับ 5.37 องศา แต่ค่าดังกล่าวยังอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้คือ มากกว่า 1.33 จะเห็นได้ว่า ค่า Cp ยังมีค่าสูงหมายความว่า ความสามารถของกระบวนการยังมีค่าสูงเกินไป ควรมีมาตรการในการลดขอบเขตของการยอมรับ (Market Specification) คือ น้อยกว่า 3 องศา เพื่อส่งผลให้ค่าความแปรปรวน (Standard Deviation) ลดลง และเป็นผลดีทั้งด้านการได้เปรียบทางการค้ากับคู่แข่ง

#### กรณีกระบวนการตัดเลนส์

สามารถสรุปผลการทดสอบของกระบวนการตัดเลนส์ได้ดังนี้

1. ค่า Axis เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้าคือ ไม่เกิน 3 องศา
2. ค่าเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยของค่า Axis ของเลนส์ (Mean) เท่ากับ 0.9376 องศา จะเห็นได้ว่ามีค่าลดลงจากก่อนการปรับปรุง แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของค่า Axis ของเลนส์เข้าใกล้ค่าเป้าหมาย (Target) คือ 0 องศา มากขึ้น
3. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation: Within) เท่ากับ 0.3689 องศา จะเห็นได้ว่า กระบวนการมีความแปรปรวนเพิ่มขึ้นแต่ค่าดังกล่าวยังสามารถยอมรับได้ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นดังกล่าวเป็นผลมาจากค่าเฉลี่ยของค่า Axis ของเลนส์ลดลง และมีค่าขอบเขตของการยอมรับ (Market Specification) คงเดิมคือ 3 องศา ดังนั้นจึงต้องมีมาตรการในการควบคุมปัจจัยในการทดลองให้คงที่ เช่น การควบคุมพนักงานในการทดลอง การควบคุมเวลาที่ทำการทดลอง เป็นต้น เพื่อไม่ให้เกิดความแปรปรวนมากขึ้นอีก
4. ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Cp) เท่ากับ 1.86 องศา จะเห็นได้ว่า ค่า Cp แสดงถึงความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการดี

หลังจากนั้นจะทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองระหว่างก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการได้ดังตารางที่ 5.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

กระบวนการ	ค่าพิจารณา	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	เปอร์เซ็นต์
บล็อกเลนส์ (Blocking)	ค่าเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยของค่า Axis ของเลนส์ (Mean)	0.2723	0.2215	- 18.66%
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation: Within)	0.0949	0.1724	+ 81.66%
	ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Cp)	9.58	5.37	- 43.95%
ตัดเลนส์ (Edging)	ค่าเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยของค่า Axis ของเลนส์ (Mean)	1.0829	0.9376	- 13.42%
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation: Within)	0.2450	0.3689	+ 50.57%
	ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Cp)	2.61	1.86	- 28.74%

จากตารางที่ 5.3 สามารถอธิบายการเปรียบเทียบผลการทดลองได้ 2 กรณีดังนี้

กรณีกระบวนการบล็อกเลนส์ พบว่า

ค่าเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยของค่า Axis ของเลนส์ (Mean) ก่อนการปรับปรุงกระบวนการมีค่าเท่ากับ 0.2723 ผลหลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตสามารถลดค่าเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยของค่า Axis ของเลนส์เป็น 0.2215 คิดเป็นลดลง 18.66% ทำให้ค่าเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยของค่า Axis ของเลนส์เข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากขึ้น

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation: Within) มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.0949 เป็น 0.1724 คิดเป็นเพิ่มขึ้น 81.66% ส่งผลมาจากการลดลงของค่าเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยของค่า Axis ของเลนส์ ดังนั้นจึงต้องมีมาตรการการควบคุมความแปรปรวนที่เกิดขึ้น ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

ความสามารถของกระบวนการ (Cp) ก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 9.58 ผลหลังจากการปรับปรุงทำให้ความสามารถของกระบวนการผลิตลดลงเหลือ 5.37 คิดเป็นลดลง

43.95% แต่ค่า Cp ยังอยู่ในระดับสูง ดังนั้นจึงควรมีมาตรการในการลดขอบเขตของการยอมรับ (Market Specification) คือ น้อยกว่า 3 องศา เพื่อที่จะทำให้ค่า Cp เหมาะสมที่สุด

กรณีกระบวนการตัดเลนส์ พบว่า

ค่าเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยของค่า Axis ของเลนส์ (Mean) ก่อนการปรับปรุงกระบวนการมีค่าเท่ากับ 1.0829 ผลหลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตสามารถลดค่าเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยของค่า Axis ของเลนส์เป็น 0.9376 คิดเป็นลดลง 13.42% ทำให้ค่าเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยของค่า Axis ของเลนส์เข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากขึ้น

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation: Within) มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.2450 เป็น 0.3689 คิดเป็นเพิ่มขึ้น 50.57% ส่งผลมาจากการลดลงของค่าเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยของค่า Axis ของเลนส์ ดังนั้นจึงต้องมีมาตรการการควบคุมความแปรปรวนที่เกิดขึ้น ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

ความสามารถของกระบวนการ (Cp) ก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 2.61 ผลหลังจากการปรับปรุงทำให้ความสามารถของกระบวนการผลิตลดลงเหลือ 1.86 คิดเป็นลดลง 28.74% ซึ่งอยู่ในระดับที่ดี

จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการปรับค่าของปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปัญหาการเกิดค่า Axis ของเลนส์ในกระบวนการบล็อกเลนส์ และกระบวนการตัดเลนส์ตามแนวทางในตารางที่ 5.1 และ 5.2 จะทำให้ค่าเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยของค่า Axis ของเลนส์ (Mean) ลดลงหมายความว่า ค่าดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายของการวัดค่า Axis ของเลนส์ (Target) คือ 0 องศา สำหรับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation: Within) อธิบายได้ว่า มีความแปรปรวนเพิ่มขึ้นอาจส่งผลต่อความแปรปรวนของกระบวนการ จึงต้องมีมาตรการในการควบคุมปัจจัยในการทดลองให้คงที่ เช่น การควบคุมพนักงานในการทดลอง การควบคุมเวลาทำการทดลอง เป็นต้น สำหรับค่าความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Cp) มีค่าลดลงอาจส่งผลต่อความสามารถของกระบวนการ แต่ค่าดังกล่าวยังอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้คือมากกว่า 1.33 แต่ควรมีมาตรการในการลดขอบเขตของการยอมรับ (Market Specification) คือ น้อยกว่า 3 องศา เพื่อส่งผลให้ค่าความแปรปรวน (Standard Deviation) ลดลง และเป็นผลดีทางด้าน การได้เปรียบทางการค้ากับคู่แข่ง ดังนั้นจากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทั้ง 3 ค่าข้างต้นสามารถอธิบายโดยสรุปได้ว่า การปรับปรุงกระบวนการโดยการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงส่งผลให้กระบวนการสามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนของการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ (Axis) ได้จริง

## 5.2 ปัญหาและอุปสรรคในงานวิจัย

5.2.1 เนื่องจากในการวัดค่า Axis ของเลนส์เป็นกระบวนการวัดที่ทดสอบกับเครื่องจักรเครื่องใหม่ (Smartscope) ทำให้ค่า Axis ที่ได้จากการวัดในช่วงแรกมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง นอกจากนี้ในกระบวนการวัดมีขั้นตอนการวัดที่ค่อนข้างซับซ้อน เนื่องจากพนักงานต้องใช้ทักษะและประสบการณ์ในการวัด ทำให้สูญเสียเวลาในการวัดเลนส์นาน

5.2.2 ในกระบวนการตัดแต่งเลนส์และกระบวนการวัดเลนส์ต้องเสียเวลาในการรอเครื่องจักร เนื่องจากเครื่องจักรดังกล่าวมีการใช้งานในกระบวนการผลิตเป็นประจำทุกวัน ดังนั้นในการวัดเลนส์จึงมีความจำเป็นที่จะต้องกำหนดเวลาที่แน่นอน เพื่อที่จะสามารถวัดเลนส์ของแต่ละการทดลองเสร็จภายในเวลาเดียวกัน

5.2.3 เนื่องจากพนักงานที่ทำการวัดเลนส์มีงานที่ทำเป็นประจำ ดังนั้นในการสุ่มตัวอย่างพนักงานเพื่อทำการวัด ต้องเสียเวลาในการกำหนดตารางเวลาเพื่อให้สามารถทำการวัดเลนส์ในเวลาที่ต้องการ

5.2.4 ปัจจัยที่เลือกมาทำการทดลองไม่สามารถทำการทดลองครั้งละปัจจัย (One-Factor-at-a-time) เพื่อทดสอบเบื้องต้นว่าปัจจัยแต่ละตัวนั้นมีอิทธิพลต่อค่า Axis ได้ เพราะเป็นข้อจำกัดของทางโรงงานเนื่องจากเครื่องจักรไม่มีเวลาเพียงพอในการทดลองและไม่สามารถใช้จำนวนตัวอย่างของเลนส์ได้มาก เนื่องจากต้นทุนของเลนส์ค่อนข้างสูง

## 5.3 ข้อจำกัดของงานวิจัย

5.3.1 ผู้วิจัยคิดว่ายังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิด Axis ของเลนส์อีก แต่ไม่สามารถนำมาทำการทดลองได้ เช่น ชนิดของเลนส์ เนื่องจากเลนส์บางชนิดมีต้นทุนสูงมาก อีกทั้งต้องผ่านกระบวนการที่ซับซ้อน ใช้เวลาในการผลิตนาน และต้องได้รับการยินยอมจากหัวหน้างาน

5.3.2 งานวิจัยนี้ทำการออกแบบการทดลองที่กระบวนการตัดแต่งเลนส์ในส่วนของผลิตภัณฑ์ใหม่ (New Product) เท่านั้น

5.3.3 ตัวอย่างเลนส์ต้องมาจากกระบวนการผลิตเดียวกัน ณ เวลาเดียวกันเท่านั้น

5.3.4 จำนวนเลนส์ที่ใช้ในการทดลองจำกัด เนื่องจากต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเลนส์ค่อนข้างสูง

## 5.4 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานวิจัย ผู้วิจัยมีแนวคิดเพิ่มเติมที่เสนอแนะให้ทางโรงงานได้มีการดำเนินการเพิ่มเติมต่อไปในบางประเด็นดังนี้

5.4.1 การทดลองนี้มุ่งเน้นให้เลนส์สามารถเกิดค่า Axis ได้ไม่เกิน 3 องศา เพื่อให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจในตัวผลิตภัณฑ์ (เลนส์) ซึ่งจากการทดลองของงานวิจัยได้ทำการปรับปรุงกระบวนการโดยสามารถลดความคลาดเคลื่อนของการเบี่ยงเบนจากแนวแกนของเลนส์ (Axis) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดแต่งเลนส์ได้ แต่เนื่องจากเลนส์ที่มีคุณภาพสูงสุดควรที่จะมีค่า Axis น้อยที่สุดคือ เข้าใกล้ค่าเป้าหมาย (Target) มากที่สุด หรือมีค่าเป็น 0 องศา (ไม่เกิดค่า Axis ที่เลนส์) ดังนั้นจึงควรมีการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการดังกล่าวเพิ่มเติมต่อไป เพื่อให้กระบวนการมีประสิทธิภาพสูงสุด

5.4.2 จากผลการทดลองหลังการปรับปรุงกระบวนการพบว่า สามารถลดค่าเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยของเลนส์ (Mean) ลงได้ แต่ส่งผลให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation: Within) สูงขึ้น รวมทั้งค่าความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Cp) มีค่าลดลงตามไปด้วย ซึ่งส่งผลต่อความแปรปรวนของกระบวนการ ซึ่งค่าดังกล่าวแสดงถึงมีขอบเขตของการยอมรับ (Upper Specification) ที่สูงเกินไป เนื่องจากความแม่นยำของกระบวนการยังอยู่ในระดับที่สูงมาก ดังนั้นจึงควรมีมาตรการในการควบคุมความแปรปรวน หรือลดขอบเขตของการยอมรับ (Market Specification) คือ น้อยกว่า 3 องศา เพื่อส่งผลให้ค่าความแปรปรวน (Standard Deviation) ลดลง และเป็นผลดีทางด้านรายได้เปรียบทางการค้ากับคู่แข่ง

5.4.3 เนื่องจากการปรับปรุงกระบวนการส่งผลต่อค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงควรมีการคัดเลือกเลนส์ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันก่อนทำการทดลอง เพื่อช่วยลดค่าความแปรปรวนของ Axis ลงได้

5.4.4 เนื่องจากการทดลองมีข้อจำกัดด้านต้นทุนของเลนส์ ทำให้สามารถทราบได้เพียงว่าเลนส์ที่ทำการทดลอง (เลนส์ไร้รอยต่อมีค่าทางสายตา +750) มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้เพียงกรณีเดียวเท่านั้น แต่ถ้าหากต้องการทราบว่าเลนส์แต่ละชนิดมีความแตกต่างของการเกิดความคลาดเคลื่อนอย่างไร ก็สามารถใช้กระบวนการนี้ไปทำการทดลองเช่นเดียวกันได้

5.4.5 ถ้าหากพิจารณาที่กระบวนการบล็อกเลนส์จะเห็นได้ว่า กระบวนการบล็อกเลนส์ด้วยเครื่อง 3B ยังส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องมาจากขาดอุปกรณ์ที่ช่วยในการจับยึดเลนส์ระหว่างกระบวนการบล็อกเลนส์ ในการปรับปรุงข้อบกพร่องดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดที่เป็นมาตรฐาน (Standard Equipment) เพื่อช่วยลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นดังกล่าวได้

5.4.6 ผลของการปรับปรุงกระบวนการในงานวิจัยนี้ สามารถจะนำผลไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน แต่ควรจะมีการทดสอบเพื่อศึกษาผลกระทบต่อผลตอบแทนด้วยว่ามีผลกระทบหรือไม่ ก่อนนำไปใช้งานจริง

## รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กมลทิพย์ สัจจาอนันตกุล, สืบสกุล จินดาพล และอนุรักษ ปิติรักษสกุล. การออกแบบการทดลอง ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยน้ำมันข้าว. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 14 ฉบับที่ 4 ต.ค.-ธ.ค. 2547.

กฤษดา อัครรุ่งแสงกุล. การปรับปรุงคุณภาพของหัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์โดยประยุกต์ใช้ การออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม อุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) ประมวลผลด้วย MINITAB. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546.

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. ระบบการควบคุมคุณภาพที่หน้างาน คิวซีเซอร์เคิล (QC Circle). พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : เทคนิคอล แอปไพเรซ เคาน์เซลลิ่ง แอนด์ เทรนนิ่ง, 2543.

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สมาคม ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545.

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สมาคม ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545.

จรรยา มหิตธาพองกุล, ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย, และเสวี ฐนิพันธ์. เทคนิคการควบคุมคุณภาพ. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

ชนัดต์ ใจชนะบุรานนท์. การลดความสูญเสียในกระบวนการพิมพ์ออปเซต 4 สี. วิทยานิพนธ์ ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, 2546.

ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย. การควบคุมคุณภาพสำหรับนักบริหารและกรณีศึกษา. ภาควิชาวิศวกรรม อุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ : ส.เอเชียเพรส, 2540.

ธนัฐชา อุดรทักษ์. การศึกษาปัจจัยการควบคุมการอักรูปผงแทนทาลัมในอุตสาหกรรมการผลิตตัวเก็บประจุ. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

- ปารเมศ ชูติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- ปิยะ ศิริธรรมปิติ. การศึกษาพารามิเตอร์ของการกลิ้งเหล็กกล้าคาร์บอนบนเครื่องกลิ้งซีเอ็นซี โดยการประยุกต์ใช้วิธีปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- พิทักษ์ พนาวัน. การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อหาเปอร์เซ็นต์การที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแผ่นรองสินค้าที่อัดจากฟางข้าวและใยมะพร้าว. เอกสารตีพิมพ์การประชุมวิชาการ ข่าวงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ต.ค. 2550.
- มะลิ แซ่อึ้ง. การศึกษาระดับปัจจัยที่มีผลต่อความหนาของผิวเคลือบในกระบวนการเคลือบผิวไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- มัญญาภรณ์ ภูริปัญญาคุณ. การปรับปรุงกระบวนการชุบไฟฟ้าเครื่องประดับ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- วิชาญ วรรณภา. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเหล็กปลายสั้น สำหรับกระบวนการหล่อเหล็กแท่งแบบต่อเนื่องโดยวิธีการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- วิรุทธิ์ สิมเสมอ. การปรับปรุงกำลังการผลิตของเครื่องรีไฟล์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- วินิตา เพชรรุ่ง. การปรับปรุงระบบการวัดในสายการผลิตซีลของการผลิตวงจรรวม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- สุชาติ แซ่แต่้. การปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- สุรัชย์ จิรศักดิ์สิริกุล. การวิเคราะห์เหตุปัจจัยควบคุมการผลิตแผ่นเทอร์โมเซตติงลามิเนตที่มีผลกระทบต่อการผลิตภัณฑ์เสีย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

สุรพล สุบรรณเจิดพร. การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเชื่อมตีบูก-ตะกั่วบนแผ่นวงจรมพิมพ์ด้วยเครื่องเชื่อมอัตโนมัติโดยวิธีการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

สุวิมล จันทร์แก้ว. การลดของเสียในอุตสาหกรรมผลิตล้ออลูมิเนียมอัลลอยด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

ภาษาอังกฤษ

A.L.D. Skury, G.S. Bobrovnichii, S.N. Monteiro. Experimental design methodology applied to study a diamond purification process. 2004.

Chen Xiaobo, Xi Jun tong, Jiang Tao and Jin Ye. Research and development of an accurate 3D shape measurement system based on fringe projection: Model analysis and performance evaluation. 2007.

Douglas C. Montgomery. Design and Analysis of Experiments. 5th ed. John Wiley&Sons, 2001.

Mohammad A. Younes and M. Shahtout, M.N. Damir. A parameters design approach to improve product quality and equipment performance in hot rolling. 2005.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาคผนวก ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1 ระดับความรุนแรงของผลกระทบ (กรณีศึกษาบริษัท ABC ทดลองใช้ 01/05/2551)

ระดับคะแนน	คำอธิบาย
1	ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของเลนส์น้อยมาก ลูกค้าไม่ปฏิเสธสินค้า
2	ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของเลนส์น้อย ลูกค้าสังเกตเห็นความผิดปกติแต่ยอมรับสินค้าได้
3	ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของเลนส์ค่อนข้างเล็กน้อย ลูกค้าแจ้งความผิดปกติให้ผู้ผลิตรับทราบ
4	ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของเลนส์ปานกลาง ลูกค้าเสนอแนะให้มีการปรับปรุงสินค้า
5	ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของเลนส์ค่อนข้างสูง ลูกค้าส่งสินค้ากลับมาให้ทำการปรับปรุง/แก้ไขบางส่วน
6	ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของเลนส์สูง ลูกค้าส่งสินค้ากลับมาให้ทำการปรับปรุง/แก้ไขทั้งหมด
7	ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของเลนส์สูงมาก ลูกค้าต้องการเปลี่ยนสินค้าทั้งหมด
8	ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของเลนส์ค่อนข้างรุนแรง ลูกค้าปฏิเสธสินค้า
9	ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของเลนส์รุนแรง ลูกค้าลดการสั่งซื้อสินค้า
10	ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของเลนส์รุนแรงมาก ลูกค้าหยุดการสั่งซื้อสินค้า

ตารางที่ ก-2 เกณฑ์การให้คะแนนโอกาสที่เกิดขึ้น (กรณีศึกษาบริษัท ABC ทดลองใช้ 01/05/2551)

ระดับคะแนน	คำอธิบาย
1	โอกาสการเกิดความเสียหายมาก ประมาณ 5 เดือน เกิด 1 ครั้ง
2	โอกาสการเกิดความเสียหาย ประมาณ 3-4 เดือน เกิด 1 ครั้ง
3	โอกาสเกิดความเสียหายไม่ค่อยมี ประมาณ 1-2 เดือน เกิด 1 ครั้ง
4	โอกาสเกิดความเสียหายน้อย เกิดขึ้นทุกเดือน
5	โอกาสเกิดความเสียหายมีความเป็นไปได้ ประมาณ 2 สัปดาห์เว้น 2 สัปดาห์
6	โอกาสเกิดความเสียหายปานกลาง ประมาณ 1 สัปดาห์เว้น 1 สัปดาห์
7	โอกาสเกิดความเสียหายค่อนข้างแน่นอน ประมาณสัปดาห์ละ 1-5 ครั้ง
8	โอกาสเกิดความเสียหายค่อนข้างสูง เกิดขึ้นมากกว่า 5 ครั้งต่อสัปดาห์
9	โอกาสเกิดความเสียหายสูง เกิดขึ้นทุกวัน
10	โอกาสเกิดความเสียหายสูงมาก เกิดขึ้นทุกครั้งที่มีการปฏิบัติงาน

ตารางที่ ก-3 เกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการตรวจจับความคลาดเคลื่อนของสาเหตุ  
(กรณีศึกษาบริษัท ABC ทดลองใช้ 01/05/2551)

ระดับคะแนน	คำอธิบาย
1	สามารถตรวจจับได้ด้วยตาเปล่า
2	สามารถตรวจจับโดยอาศัยคู่มือการใช้งาน/ฐานข้อมูล
3	สามารถตรวจจับได้โดยอาศัยประสบการณ์ในการปฏิบัติงาน
4	สามารถตรวจจับได้โดยอาศัยผู้เชี่ยวชาญช่วยในการวิเคราะห์
5	สามารถตรวจจับได้ด้วยวิธีการทดลองปฏิบัติและเห็นผลชัดเจน
6	สามารถตรวจจับได้ด้วยวิธีการทดลองปฏิบัติ แต่เห็นผลไม่ชัดเจน
7	มีเครื่องมือในการตรวจจับและสามารถแสดงผลการตรวจจับได้ทันที
8	มีเครื่องมือในการตรวจจับ แต่ต้องอาศัยประสบการณ์ในการตรวจจับ
9	มีเครื่องมือในการตรวจจับ แต่การใช้งานยังไม่เหมาะสม
10	ยังไม่มีเครื่องมือในการตรวจจับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

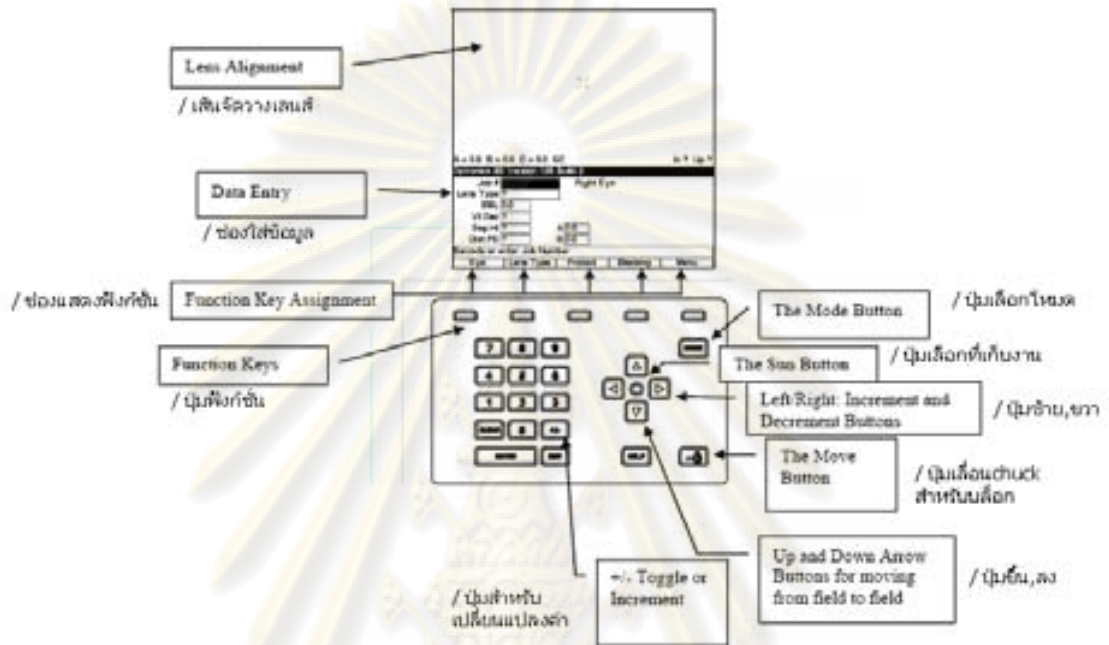


ภาคผนวก ข

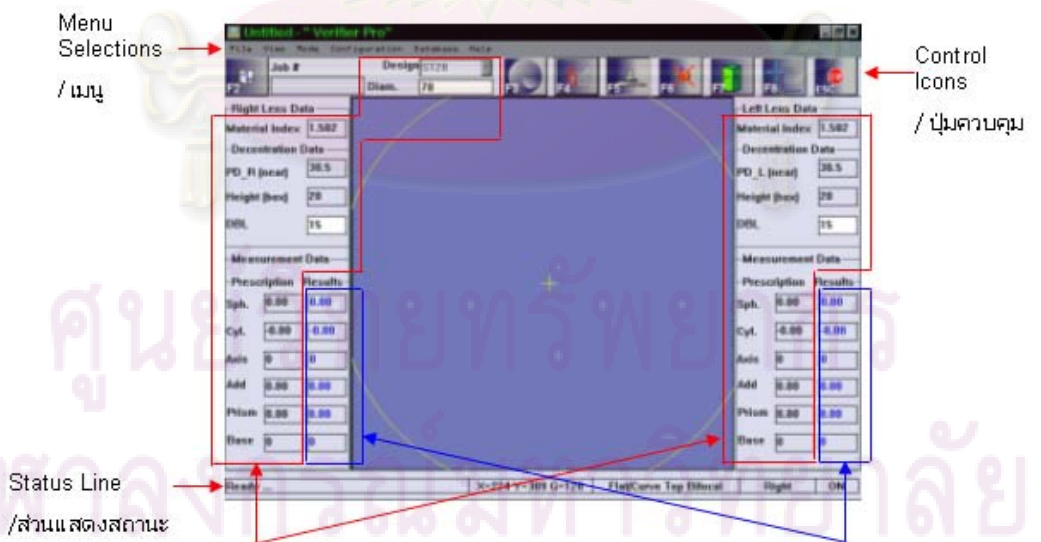
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

องค์ประกอบและหน้าจอแสดงผลของเครื่องจักร

1. เครื่อง Blocker (3B)



2. เครื่อง Blocker (Verifier Pro: V.Pro)



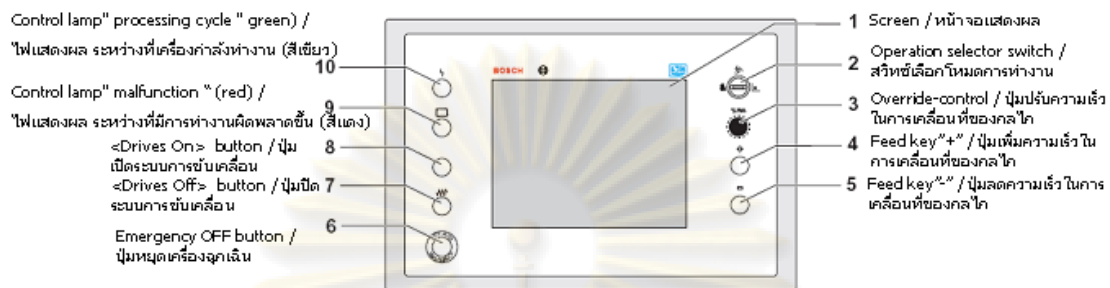
Data shown in RED border is sent from the Host to the Verifier.

/ ข้อมูลที่แสดงอยู่ในกรอบสีแดงนี้ ได้มาจก Host

Data shown in BLUE border is where results of Verifier analysis of lens will be displayed.

/ ข้อมูลที่แสดงอยู่ในกรอบสีน้ำเงินนี้ ได้มาจากการวิเคราะห์เลนส์โดยเครื่อง Verifier Pro

### 3. เครื่อง Edger (ES-3)

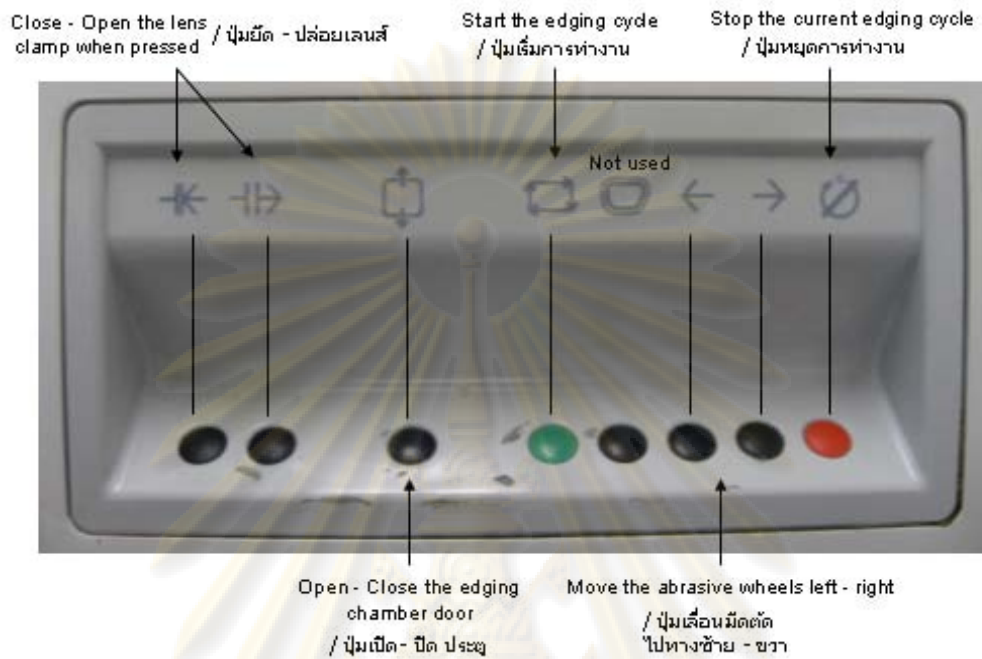


### 4. เครื่อง Edger (7E)

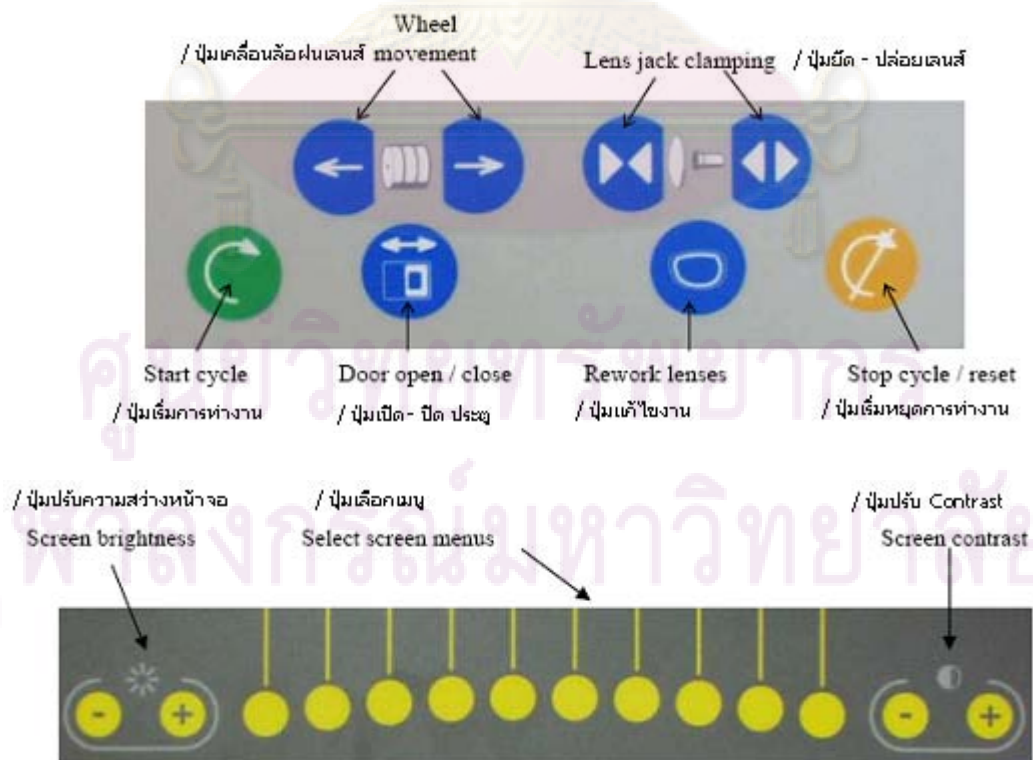


ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. เครื่อง Edger (Triumph)



6. เครื่อง Edger (Compass)





ภาคผนวก ค

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ขั้นตอนโดยละเอียดในการวัดค่า Axis ของเลนส์ด้วยโปรแกรม Measuremind 3D Multisensor ของเครื่อง Smartscope สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด

กรณีกระบวนการบดล็อกเลนส์

### 1. การเริ่มต้นใช้งาน

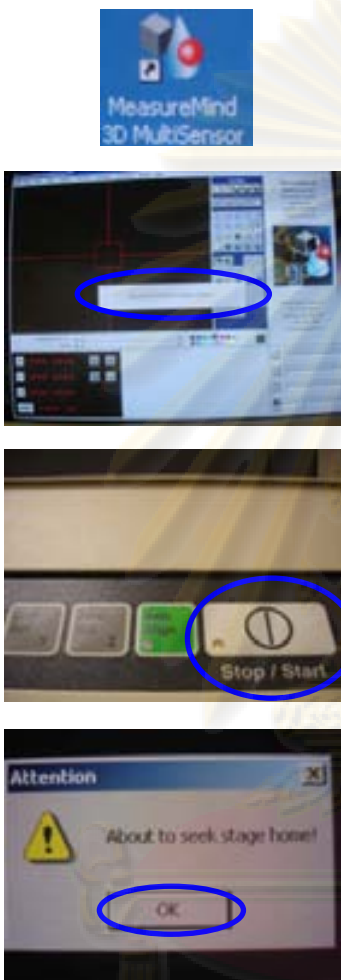
เปิดเครื่องโดยการใช้สวิทช์ On/Off ที่เครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่อง Smartscope ตามลำดับ



2. จากหน้าจอคอมพิวเตอร์ให้กด OK หรือ ENTER เพื่อเข้าสู่หน้าต่าง window (ไม่ต้องป้อน password)



3. เปิดโปรแกรม MeasureMind 3D Multisensor หลังจากนั้นกดปุ่ม start/stop ที่ตัวเครื่อง และคลิก OK ที่หน้าจอตามลำดับ



Double click โปรแกรม MeasureMind 3D MultiSensor

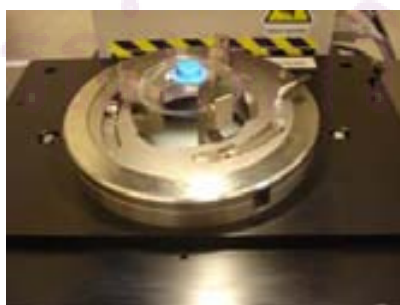
หน้าจอแสดง "Press the STOP/START button to continue..."

กดปุ่ม STOP/START

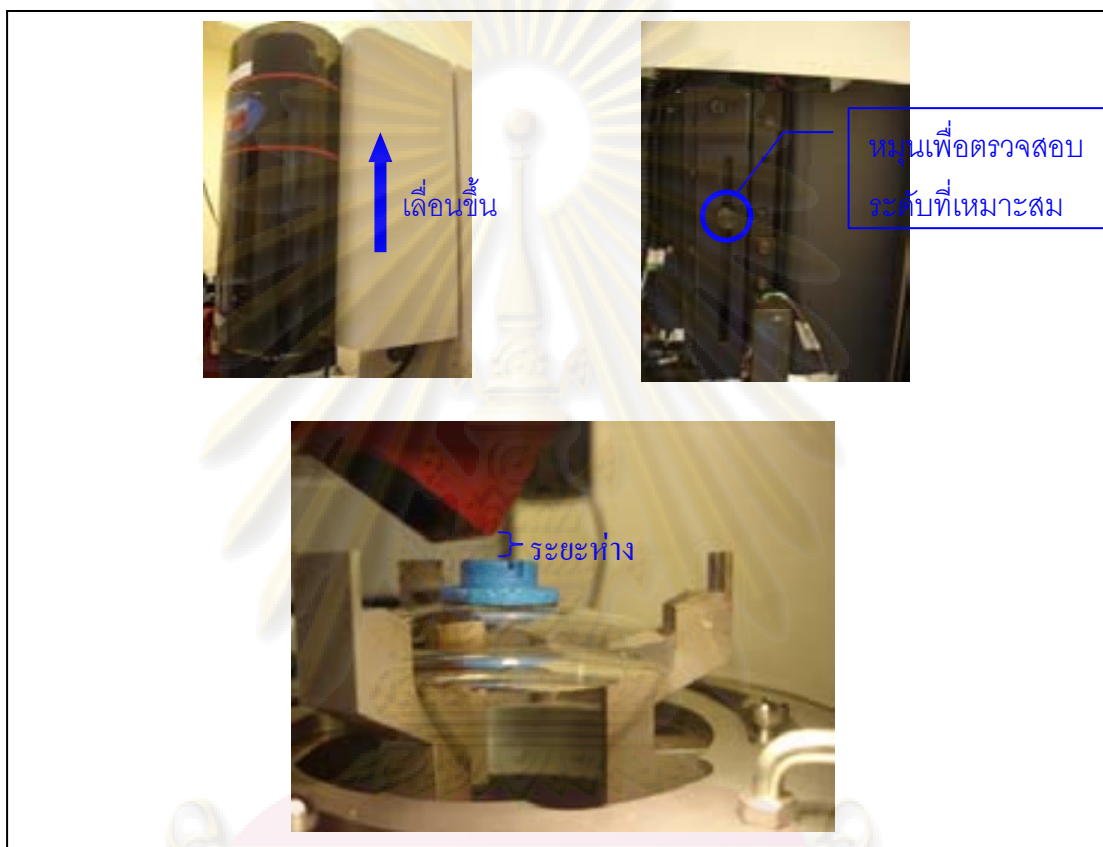
หน้าจอแสดง "About to seek state home!" แล้วกดปุ่ม OK

4. รอเครื่องสอบเทียบจนเสร็จประมาณ 1-2 นาที

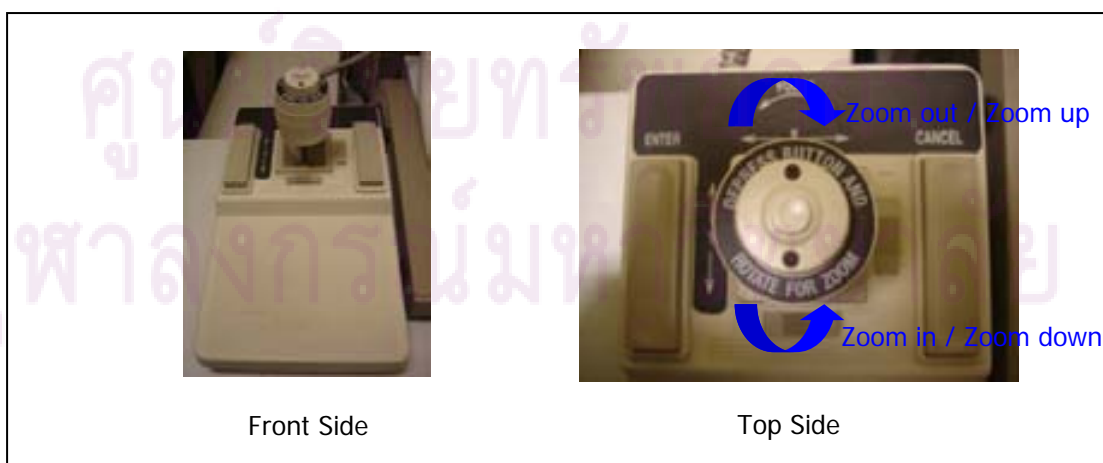
5. วางเลนส์ที่ฐานยึดของตัวเครื่อง




หมายเหตุ ก่อนการวัดชิ้นงานจริงต้องทำการตรวจสอบระดับความสูงที่เหมาะสมของกล้อง จะต้องไม่มีการชนหรือกระทบขณะที่มีการเลื่อนชิ้นงานในกระบวนการวัด เพราะจะส่งผลต่อการทำงานของเครื่องจักร



6. ใช้ joy stick ในการกำหนดทิศทาง การเลื่อน holder เพื่อหาจุด dot pining



7. เลือกฟังก์ชัน ,  และ  ตามลำดับ เพื่อลากเส้นอ้างอิง (เส้นที่

1) จากจุดกึ่งกลางของ dot pinning ด้านซ้ายไปยังด้านขวา หลังจากเลือกแต่ละจุดให้กดปุ่ม ENTER ทุกครั้ง



ปุ่ม Crosshair target

ปุ่ม Measure icons

ปุ่ม Line

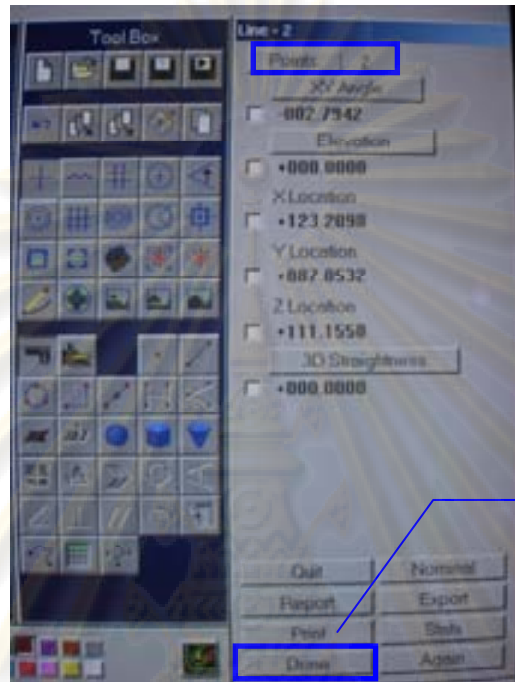
Zoom out / Zoom up

Zoom in / Zoom down


เลื่อนไปยังจุดกึ่งกลางของ dot pinning


กดปุ่ม ENTER หลังจากการเลือกจุดทุกครั้ง

8. หลังจากการเลือกครบทั้งสองจุดแล้ว (ทั้งด้านซ้ายและด้านขวา) จะต้องกดปุ่ม DONE เพื่อยืนยันเสมอ




กดปุ่ม DONE




9. เมื่อเลือกครบทั้งสองด้านของ dot pining ให้เปลี่ยนหน้าจอโปรแกรมโดยกดปุ่ม  เพื่อตรวจสอบการลากเส้นอีกครั้ง



Line 1

หมายเหตุ ถ้าหน้าจอไม่แสดงผลลัพท์, ให้กดปุ่ม  เพื่อขยาย

10. เปลี่ยนหน้าจอโปรแกรมโดยกดปุ่ม 

11. เลือกฟังก์ชัน ,  และ  อีกครั้ง ตามลำดับ เพื่อดึงเส้นอ้างอิง (เส้นที่ 2) จากจุดกึ่งกลางของจุด Marking ระหว่าง groove ของตัว block ด้านซ้ายไปยังด้านขวา



ปุ่ม Crosshair target

ปุ่ม Measure icons

ปุ่ม Line

Zoom out / Zoom up

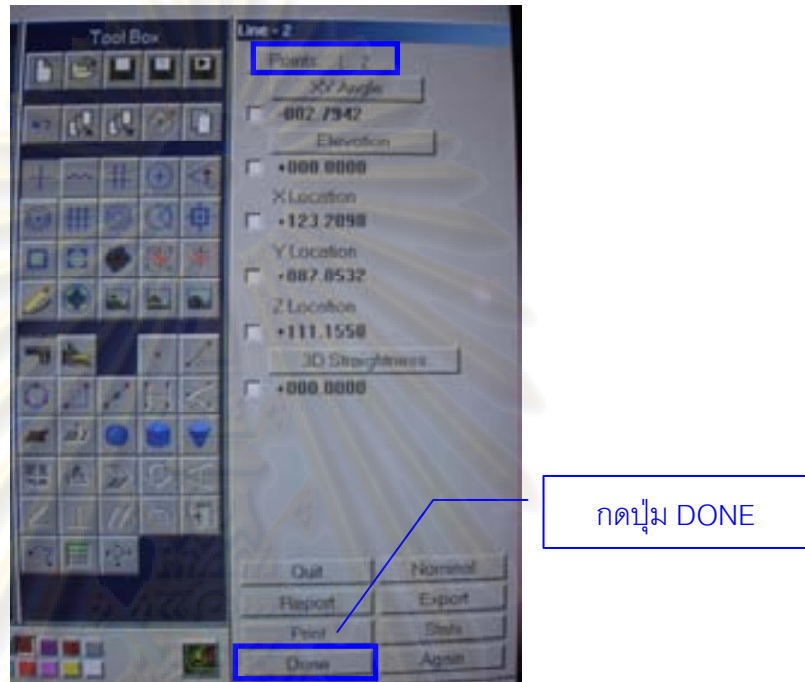
Zoom in / Zoom down


ถ้าต้องการเลื่อนไปในแนวนอนหรือแนวตั้ง (x,y), สามารถใช้ joy stick ในการกำหนดทิศทาง

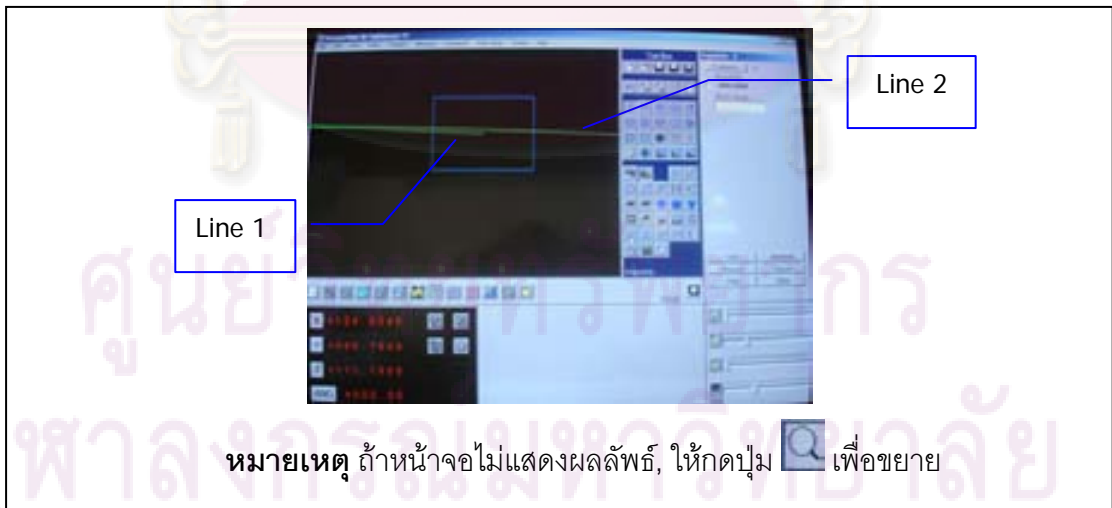
เลื่อนไปยังจุดกึ่งกลางของจุด Marking ระหว่างร่อง groove ของตัว Block



กดปุ่ม ENTER หลังจากการเลือกจุดทุกครั้ง

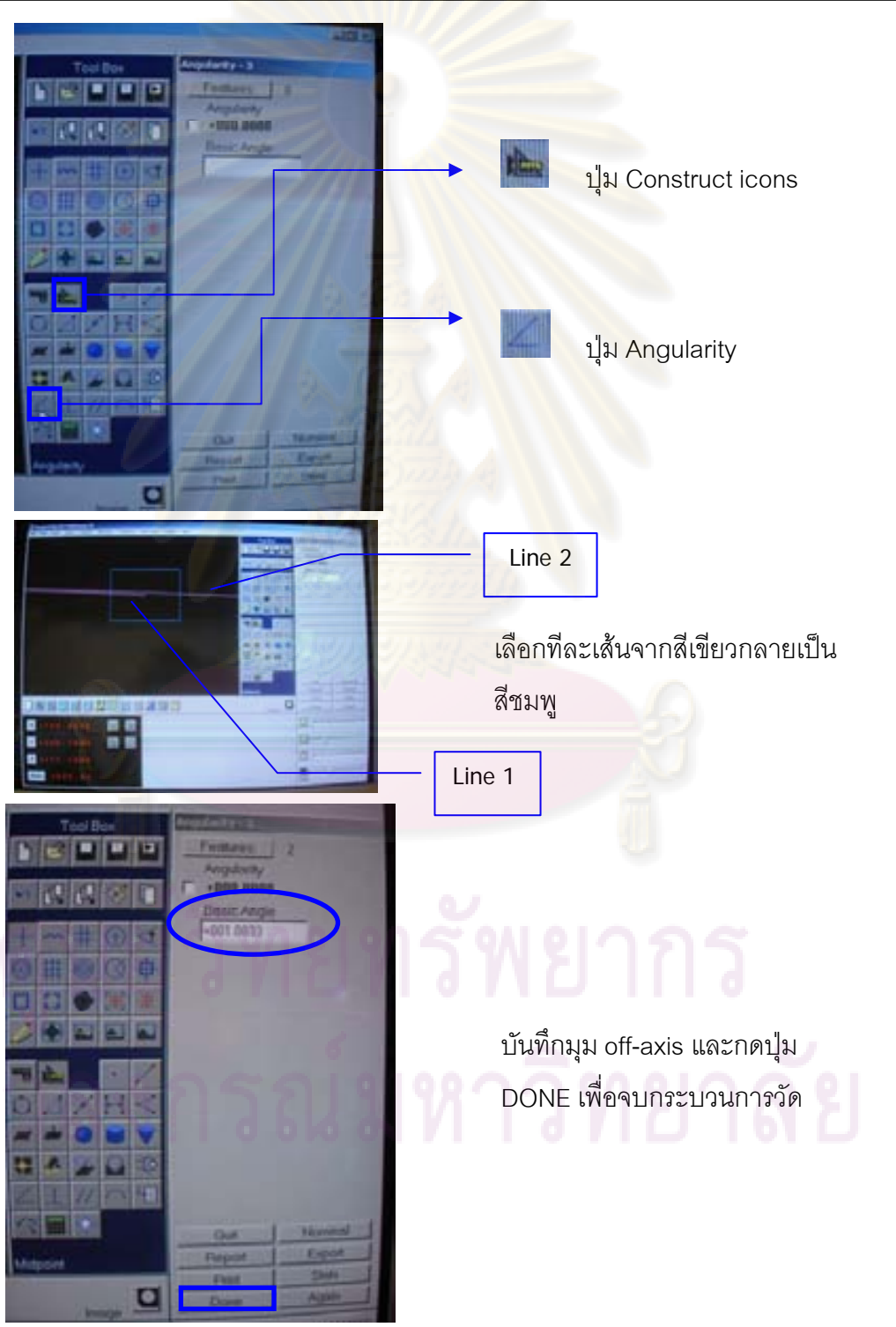
12. หลังจากการเลือกครบทั้งสองจุดแล้ว (ทั้งด้านซ้ายและด้านขวา) จะต้องกดปุ่ม DONE เพื่อยืนยันเสมอ



13. เปลี่ยนหน้าจอโปรแกรมโดยกดปุ่ม  อีกครั้ง



14. เลือกฟังก์ชัน  และ  เพื่อทำการวัดมุมระหว่างเส้นที่ 1 กับ 2 โดยทำการคลิกที่ละเส้นจากเส้นสีเขียวกลายเป็นสีชมพู หลังจากนั้นโปรแกรมจะแสดงผลลัพธ์ของมุมที่มุมขวาบนของโปรแกรม แล้วกดปุ่ม DONE เพื่อจบการทำงาน



ปุ่ม Construct icons

ปุ่ม Angularity

Line 2

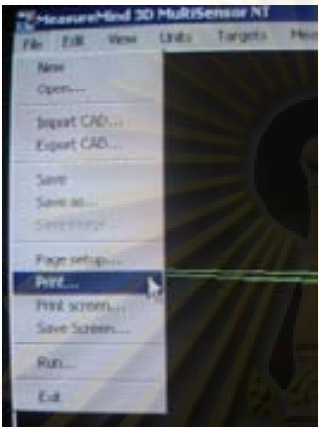
เลือกทีละเส้นจากสีเขียวกลายเป็นสีชมพู

Line 1


บันทึกมุม off-axis และกดปุ่ม DONE เพื่อจบกระบวนการวัด



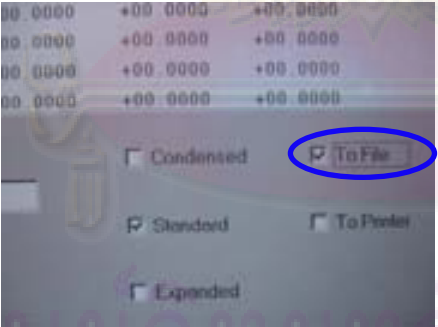
15. ถ้าต้องการดูรายละเอียดของการประมวลผลในแต่ละขั้นตอนของโปรแกรม ให้เลือก File/Print และถ้าต้องการบันทึกข้อมูลให้เลือกที่ To file แล้วกด OK ตามขั้นตอน



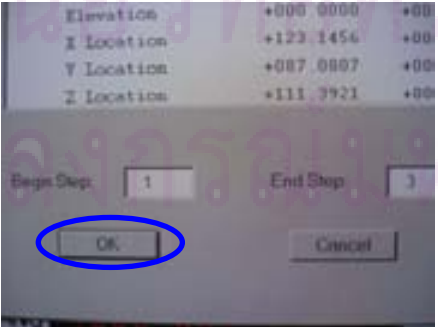
เลือก "File/Print..." to continue...



หน้าจอแสดงรายละเอียดของกระบวนการวัด



เลือก "To File" to continue...



เลือก "OK" เพื่อบันทึกข้อมูล

กรณีกระบวนการตัดเลนส์

1. การเริ่มต้นใช้งาน


เปิดเครื่องโดยการใช้สวิตช์ On/Off ที่เครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่อง Smartscope ตามลำดับ



2. จากหน้าจอคอมพิวเตอร์ให้กด OK หรือ ENTER เพื่อเข้าสู่หน้าต่าง window (ไม่ต้องป้อน password)



3. เปิดโปรแกรม MeasureMind 3D Multisensor หลังจากนั้นกดปุ่ม start/stop ที่ตัวเครื่อง และคลิก OK ที่หน้าจอตามลำดับ



Double click โปรแกรม MeasureMind 3D MultiSensor

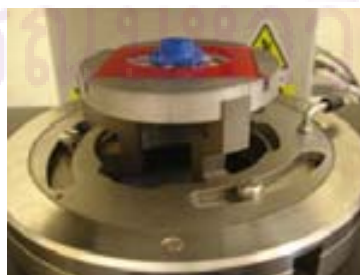
หน้าจอแสดง "Press the STOP/START button to continue..."

กดปุ่ม STOP/START

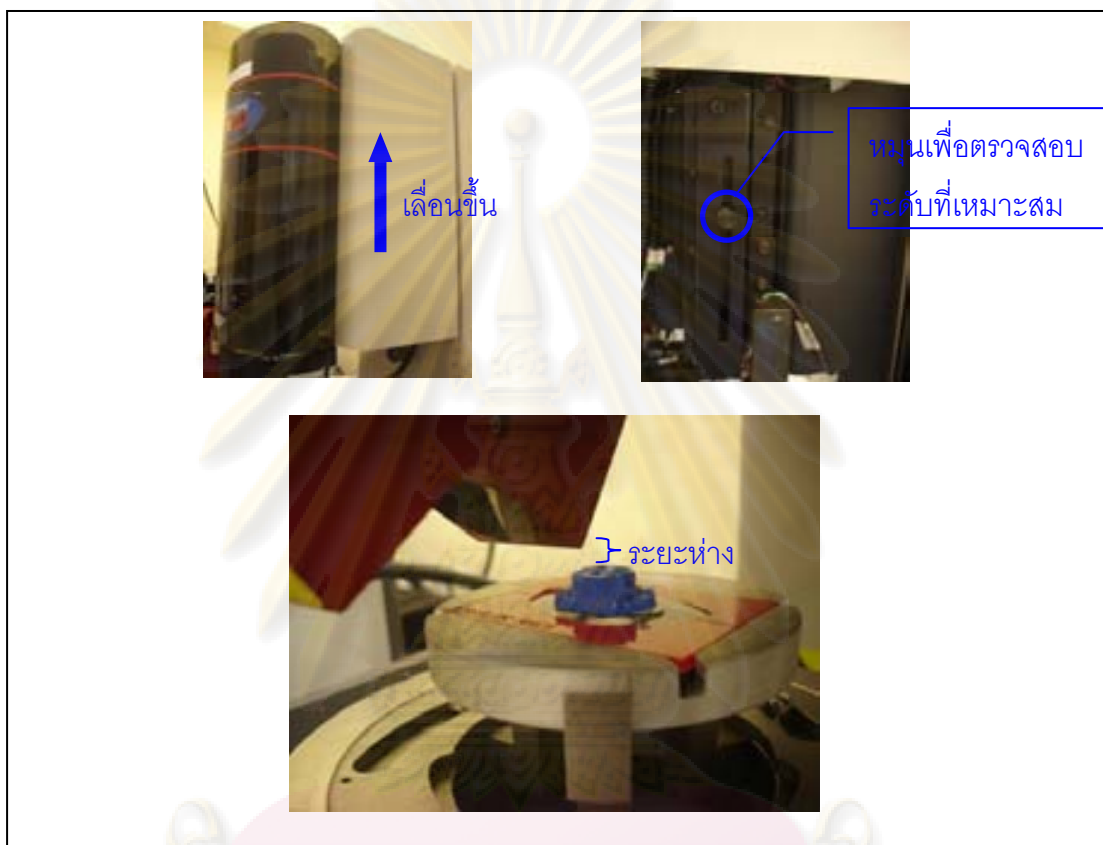
หน้าจอแสดง "About to seek state home!" แล้วกดปุ่ม OK

4. รอเครื่องสอบเทียบจนเสร็จประมาณ 1-2 นาที

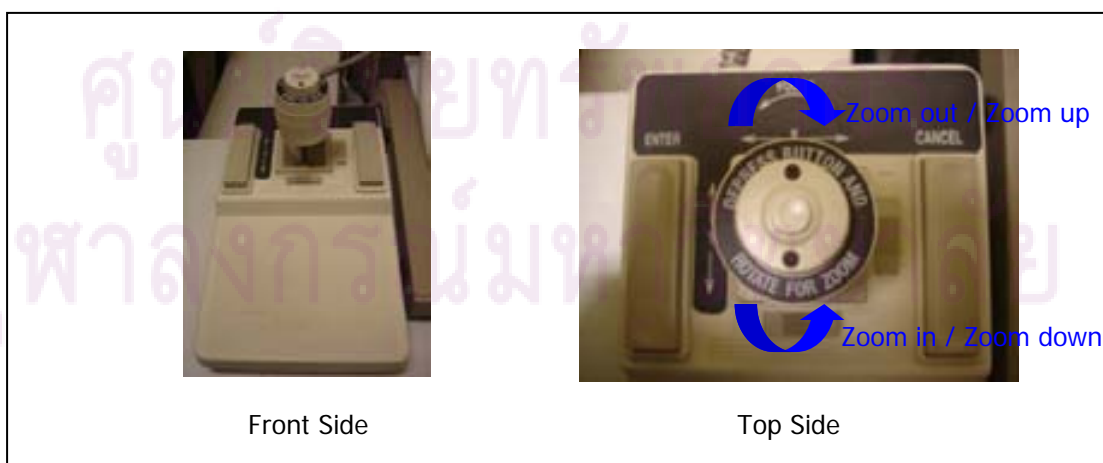
5. วางเลนส์ที่ฐานยึดของตัวเครื่อง



หมายเหตุ ก่อนการวัดชิ้นงานจริงต้องทำการตรวจสอบระดับความสูงที่เหมาะสมของกล้อง จะต้องไม่มีการชนหรือกระทบขณะที่มีการเลื่อนชิ้นงานในกระบวนการวัด เพราะจะส่งผลต่อการทำงานของเครื่องจักร



6. ใช้ joy stick ในการกำหนดทิศทางการเลื่อน holder เพื่อหาจุด dot pining



Front Side

Top Side

7. เลือกฟังก์ชัน ,  และ  ตามลำดับ เพื่อลากเส้นอ้างอิง (เส้นที่

1) จากจุดกึ่งกลางของ dot pinning ด้านซ้ายไปยังด้านขวา หลังจากเลือกแต่ละจุดให้กดปุ่ม ENTER ทุกครั้ง



ปุ่ม Crosshair target

ปุ่ม Measure icons

ปุ่ม Line

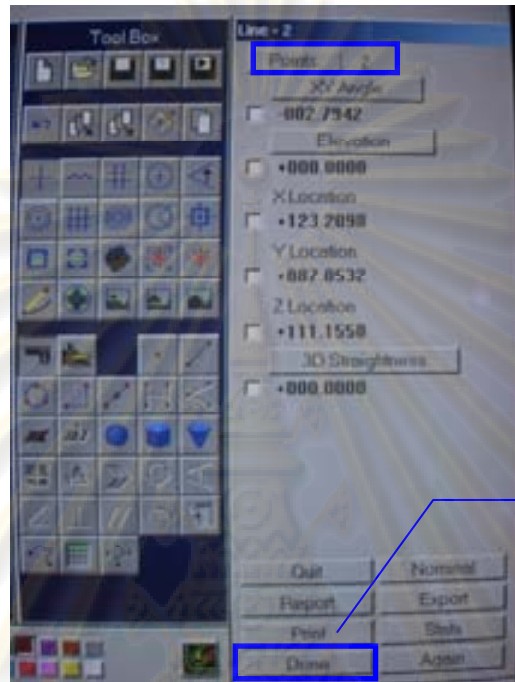
Zoom out / Zoom up

Zoom in / Zoom down


เลื่อนไปยังจุดกึ่งกลางของ dot pinning

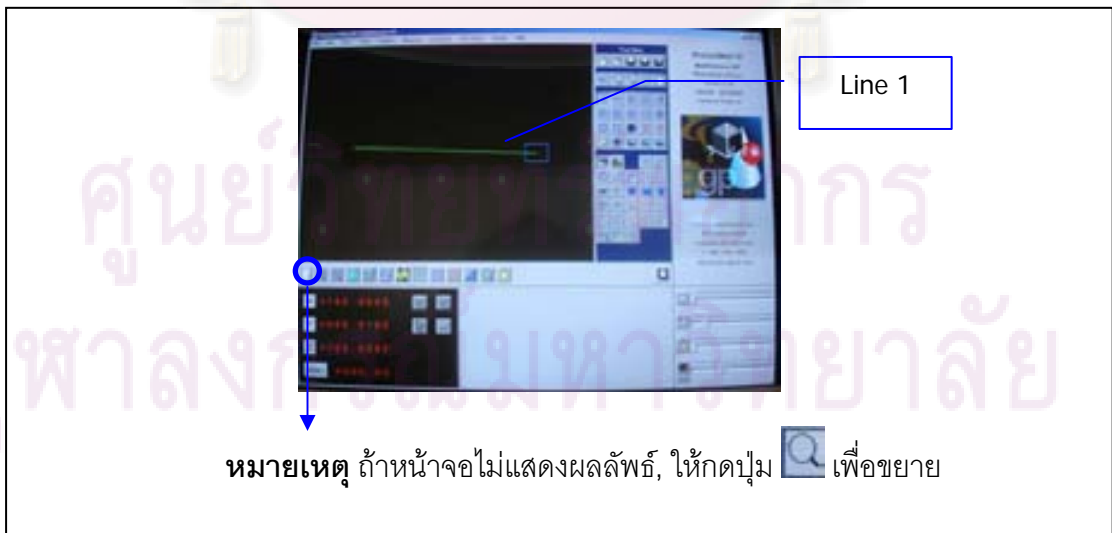
กดปุ่ม ENTER หลังจากการเลือกจุดทุกครั้ง

8. หลังจากการเลือกครบทั้งสองจุดแล้ว (ทั้งด้านซ้ายและด้านขวา) จะต้องกดปุ่ม DONE เพื่อยืนยันเสมอ




กดปุ่ม DONE




9. เมื่อเลือกครบทั้งสองด้านของ dot pining ให้เปลี่ยนหน้าจอโปรแกรมโดยกดปุ่ม  เพื่อตรวจสอบการลากเส้นอีกครั้ง



Line 1

หมายเหตุ ถ้าหน้าจอไม่แสดงผลลัพธ์, ให้กดปุ่ม  เพื่อขยาย

10. เปลี่ยนหน้าจอโปรแกรมโดยกดปุ่ม 

11. เลือกฟังก์ชัน  ,  และ  อีกครั้ง ตามลำดับ เพื่อดึงเส้นอ้างอิง (เส้นที่ 2) จากจุดกึ่งกลางของจุด Marking ระหว่าง groove ของตัว block ด้านซ้ายไปยังด้านขวา



ปุ่ม Crosshair target

ปุ่ม Measure icons

ปุ่ม Line

Zoom out / Zoom up

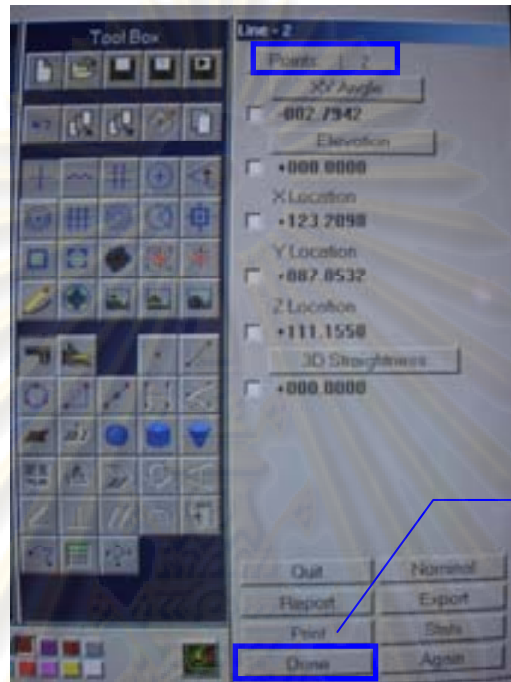
Zoom in / Zoom down

ถ้าต้องการเลื่อนไปในแนวนอนหรือแนวตั้ง (x,y), สามารถใช้ joy stick ในการกำหนดทิศทาง


เลื่อนไปยังจุดกึ่งกลางของจุด Marking ระหว่างร่อง groove ของตัว Block

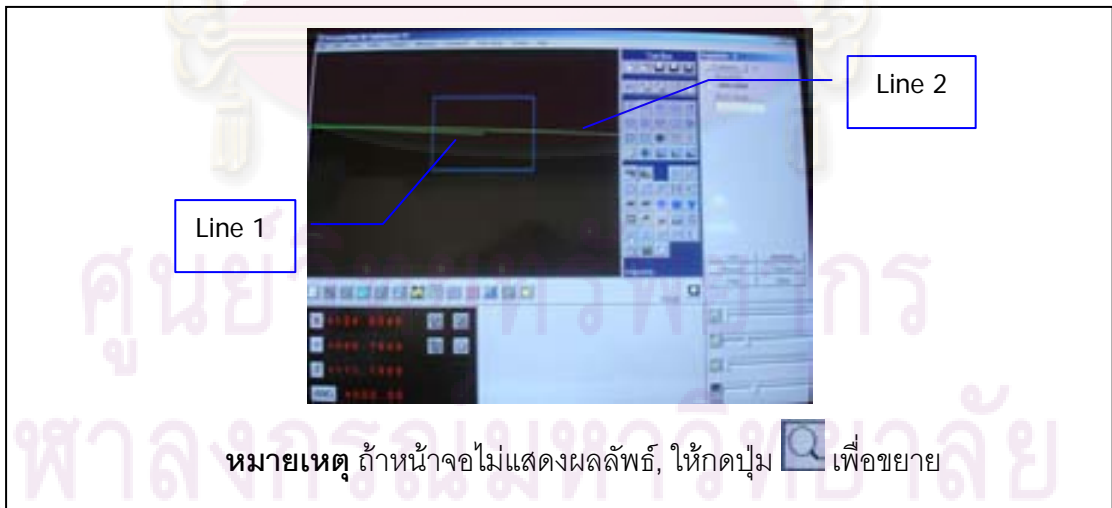
กดปุ่ม ENTER หลังจากการเลือกจุดทุกครั้ง

12. หลังจากการเลือกครบทั้งสองจุดแล้ว (ทั้งด้านซ้ายและด้านขวา) จะต้องกดปุ่ม DONE เพื่อยืนยันเสมอ





กดปุ่ม DONE

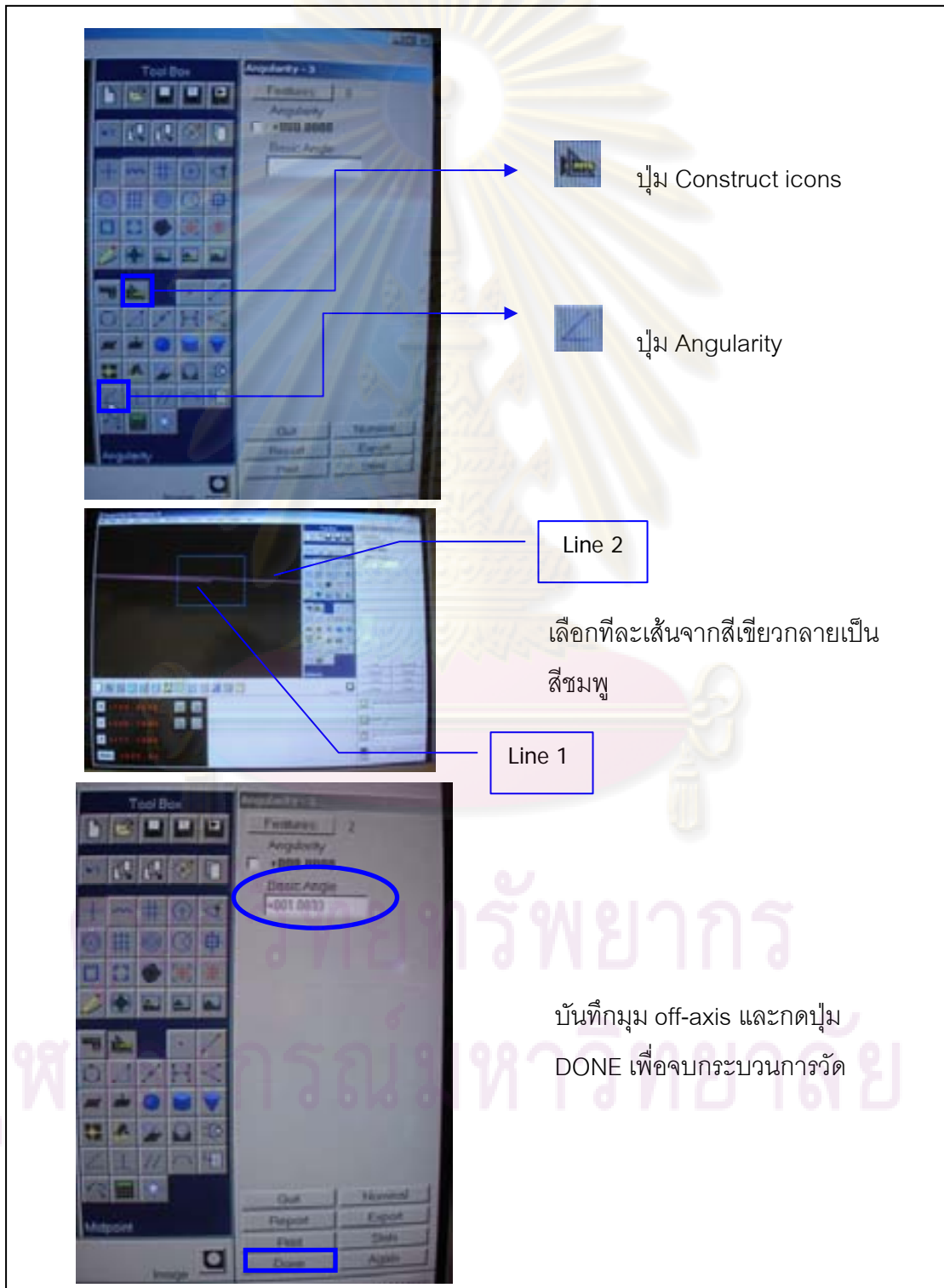
13. เปลี่ยนหน้าจอโปรแกรมโดยกดปุ่ม  อีกครั้ง



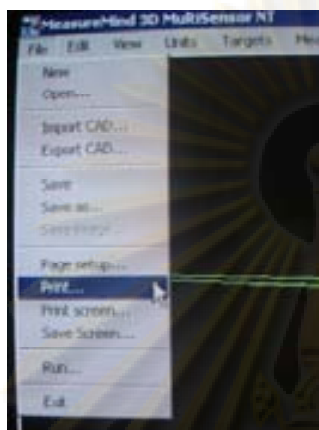
หมายเหตุ ถ้าหน้าจอไม่แสดงผลลัพธ์, ให้กดปุ่ม  เพื่อขยาย



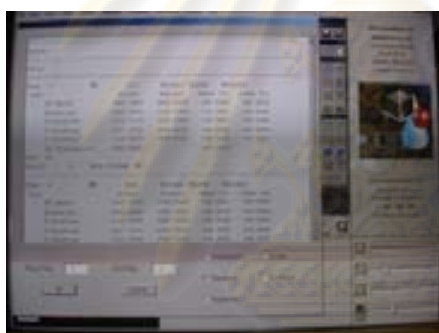
14. เลือกฟังก์ชัน  และ  เพื่อทำการวัดมุมระหว่างเส้นที่ 1 กับ 2 โดยทำการคลิกที่ละเส้นจากเส้นสีเขียวกลายเป็นสีชมพู หลังจากนั้นโปรแกรมจะแสดงผลลัพธ์ของมุมที่มุมขวาบนของโปรแกรม แล้วกดปุ่ม DONE เพื่อจบการทำงาน



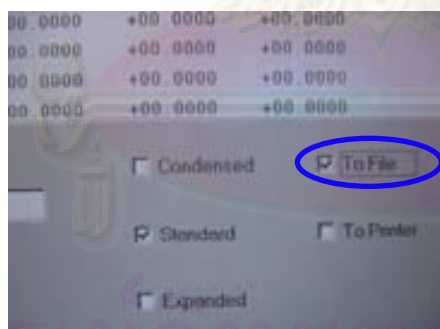
15. ถ้าต้องการดูรายละเอียดของการประมวลผลในแต่ละขั้นตอนของโปรแกรม ให้เลือก File/Print และถ้าต้องการบันทึกข้อมูลให้เลือกที่ To file แล้วกด OK ตามขั้นตอน



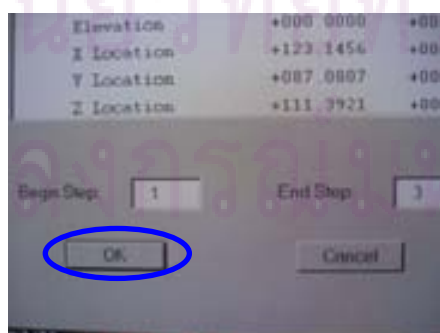
เลือก "File/Print..." to continue...



หน้าจอแสดงรายละเอียดของกระบวนการวัด



เลือก "To File" to continue...



เลือก "OK" เพื่อบันทึกข้อมูล



ภาคผนวก ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-1 แบบฟอร์มของการบันทึกข้อมูลในการวิเคราะห์ระบบการวัด

Operator 1,2,...,n				
No. Lens	Mea.1	Mea.2	Mea.3	Average
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				



ภาคผนวก จ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## 3. หน้าจอแสดงหน้าต่างการวิเคราะห์ Gage R&amp;R Study (Crossed)

The screenshot shows the Minitab interface with a worksheet containing data for a Gage R&R study. The columns are labeled C1 (Lens), C2 (Operator), and C3 (Axis). The data rows are numbered 1 through 18. A dialog box titled 'Gage R&R Study (Crossed)' is open, showing the following settings:

- Part numbers: Lens
- Operators: Operator
- Measurement data: Axis
- Method of Analysis: ANOVA (selected), Ibar and R

## 4. Double click แต่ละตัวแปร (parameter) ให้สัมพันธ์กับแต่ละช่อง

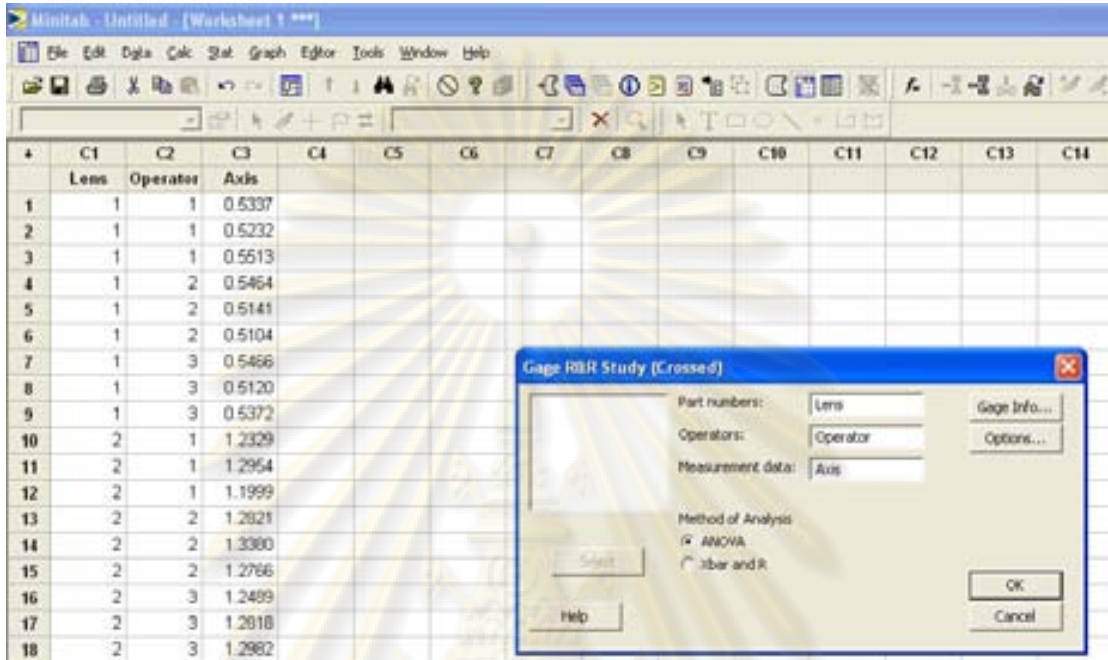
The screenshot shows the same Minitab interface as in the previous image. The dialog box 'Gage R&R Study (Crossed)' is still open, but the settings have been updated to reflect the double-click action:

- Part numbers: Lens
- Operators: Operator
- Measurement data: Axis
- Method of Analysis: ANOVA (selected), Ibar and R

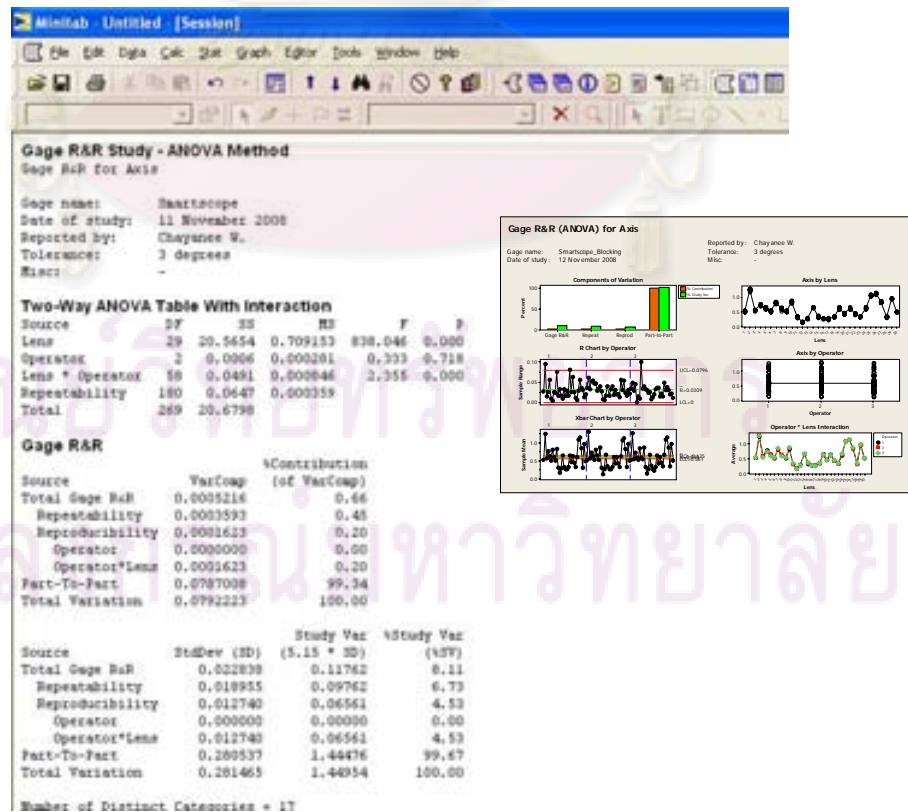




7. กดปุ่ม OK เพื่อวิเคราะห์ระบบการวัด



8. Session แสดงผลการวิเคราะห์ระบบการวัด





ภาคผนวก จ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนโดยละเอียดของการออกแบบการทดลอง

ขั้นตอนการออกแบบการทดลองแบบ  $2^k$  Fraction Factorial Design

หมายเหตุ สำหรับกรณีศึกษานี้ทำซ้ำ 3 ครั้ง (3 Replicated)

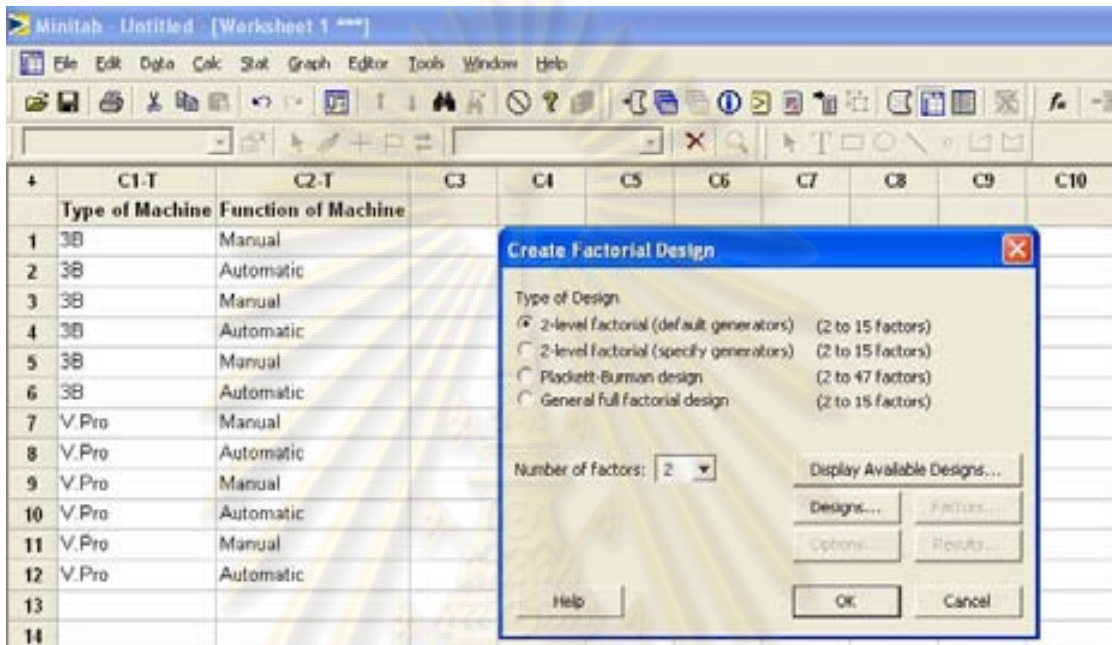
1. ป้อนค่าแต่ละปัจจัยและระดับของแต่ละปัจจัย รวมทั้งจำนวนการทดลองซ้ำ

	C1-T	C2-T	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	Type of Machine	Function of Machine							
1	3B	Manual							
2	3B	Automatic							
3	3B	Manual							
4	3B	Automatic							
5	3B	Manual							
6	3B	Automatic							
7	V.Pro	Manual							
8	V.Pro	Automatic							
9	V.Pro	Manual							
10	V.Pro	Automatic							
11	V.Pro	Manual							
12	V.Pro	Automatic							

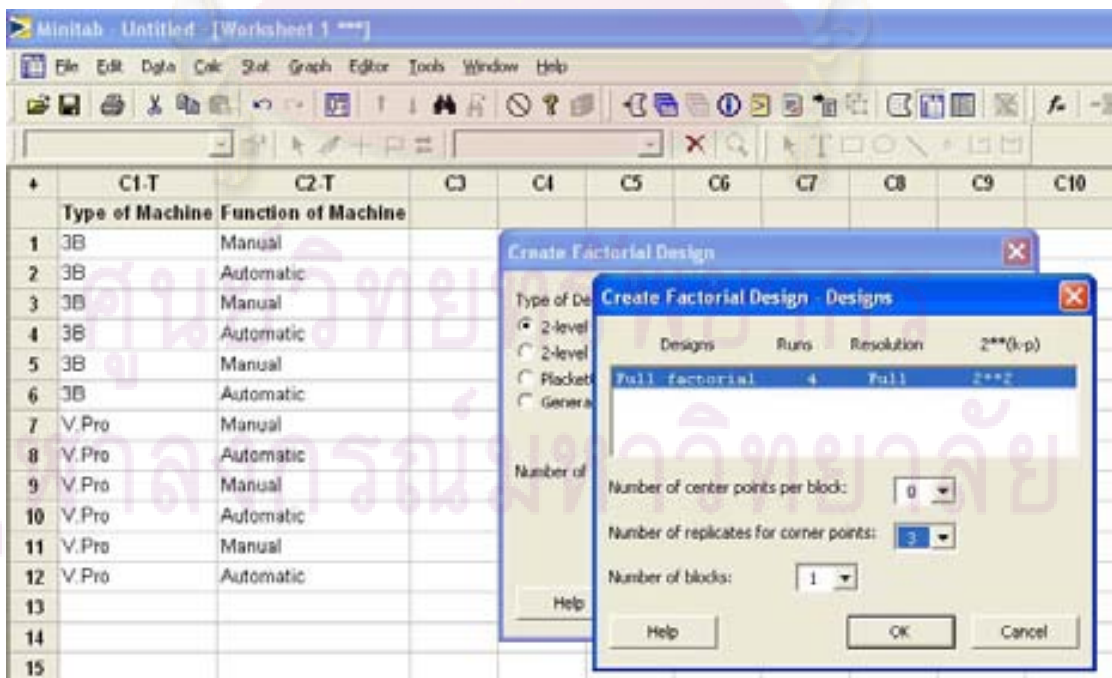
2. เลือกฟังก์ชันการออกแบบการทดลองแบบ Create Factorial Design...

	C1-T	C2-T	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	Type of Machine	Function of Machine							
1	3B	Manual							
2	3B	Automatic							
3	3B	Manual							
4	3B	Automatic							
5	3B	Manual							
6	3B	Automatic							
7	V.Pro	Manual							
8	V.Pro	Automatic							
9	V.Pro	Manual							
10	V.Pro	Automatic							
11	V.Pro	Manual							
12	V.Pro	Automatic							

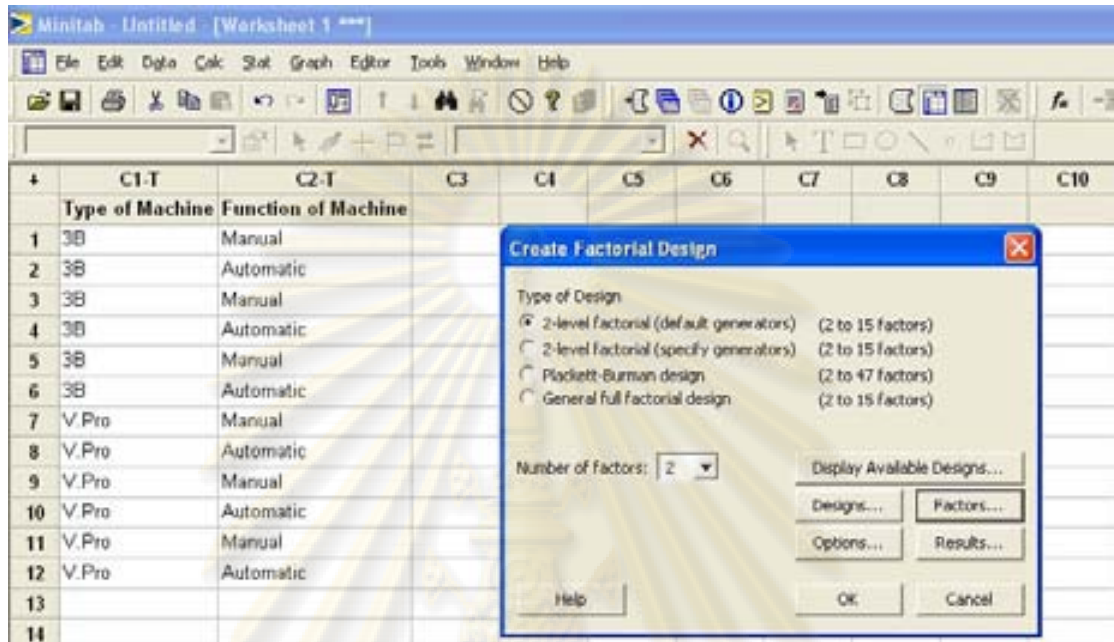
3. หน้าจอแสดงการออกแบบการทดลองแบบ  $2^k$  Fraction Factorial Design โดยเลือก  2-level factorial (default generators) แล้วกด OK



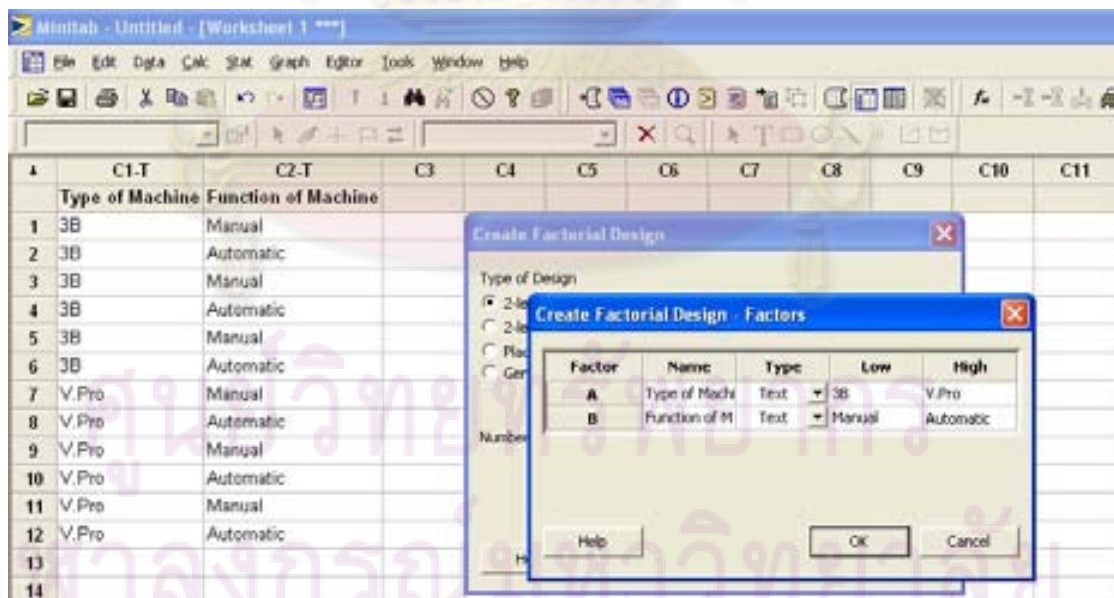
4. กดปุ่ม Designs... แสดงหน้าต่างการกำหนดจำนวนการวัดซ้ำ (Number of replicates for corner points) แล้วกด OK



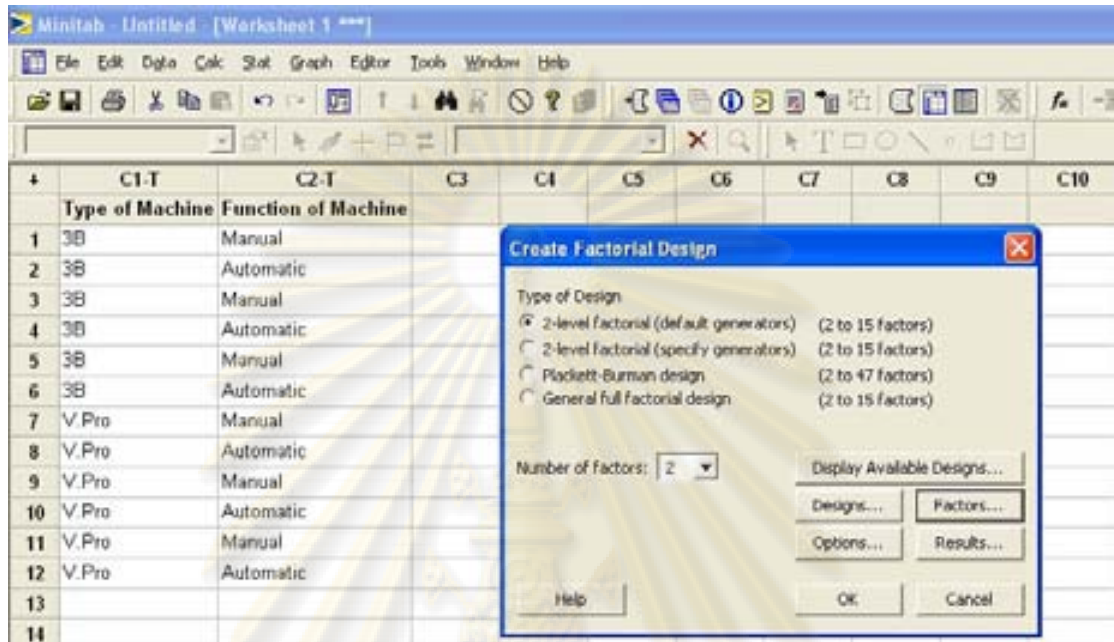
5. กดปุ่ม Factors... เพื่อกำหนดค่าปัจจัย แล้วกด OK



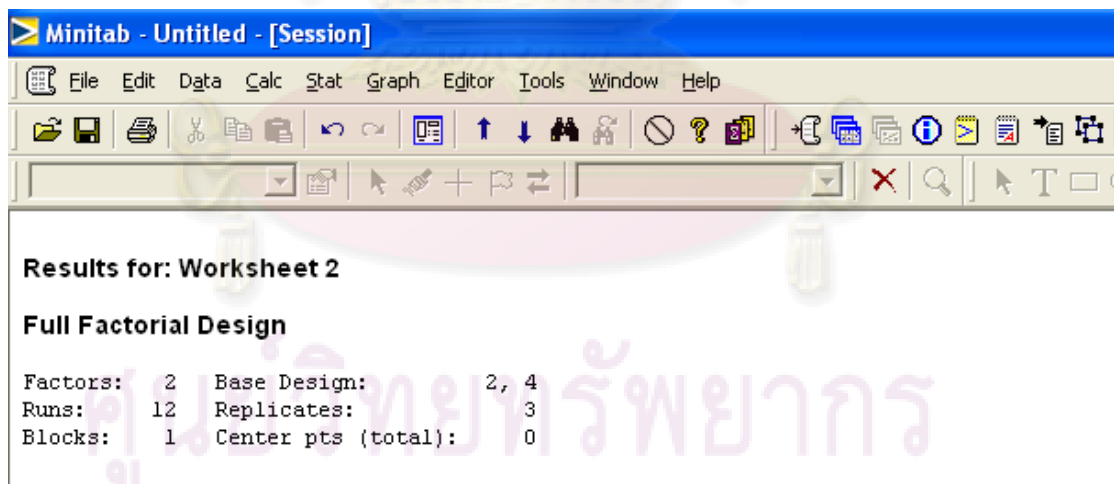
6. กำหนดปัจจัยและระดับของแต่ละปัจจัยแล้วกด OK



7. กดปุ่ม OK เพื่อออกแบบการทดลอง



8. Session แสดงผลการออกแบบการทดลอง



ขั้นตอนการออกแบบการทดลองแบบ Fraction Factorial Design มีขั้นตอนเช่นเดียวกับการออกแบบการทดลองแบบ  $2^k$  Fraction Factorial Design ต่างกันที่ขั้นตอนการเลือกรูปแบบการทดลอง



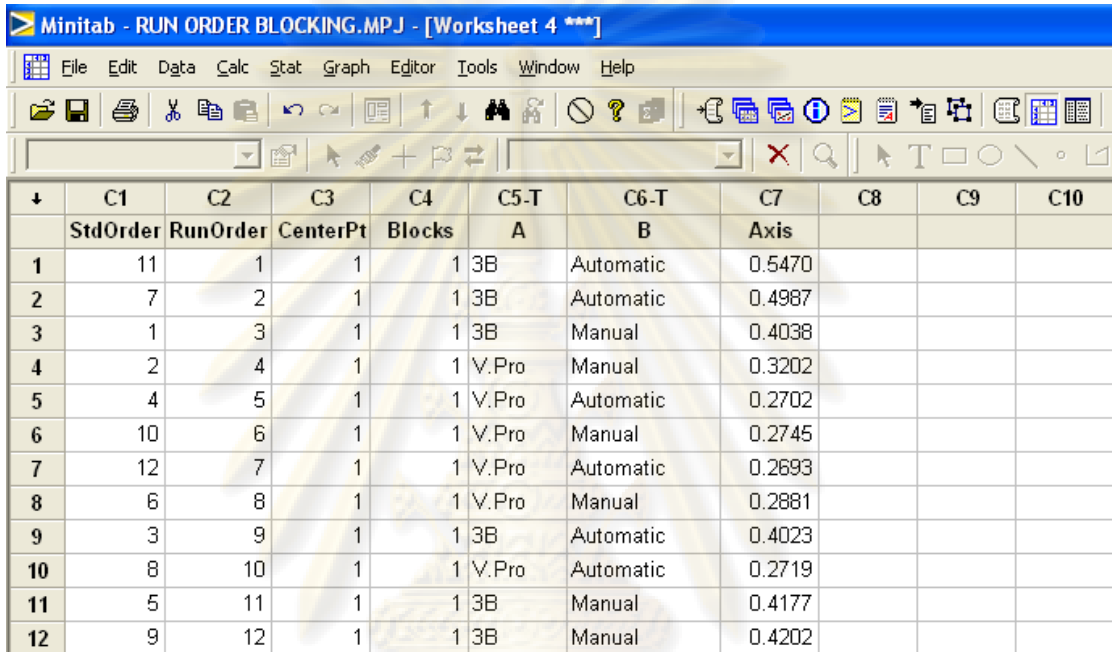
ภาคผนวก ช

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนโดยละเอียดของการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อวิเคราะห์ผลการ  
ออกแบบการทดลอง

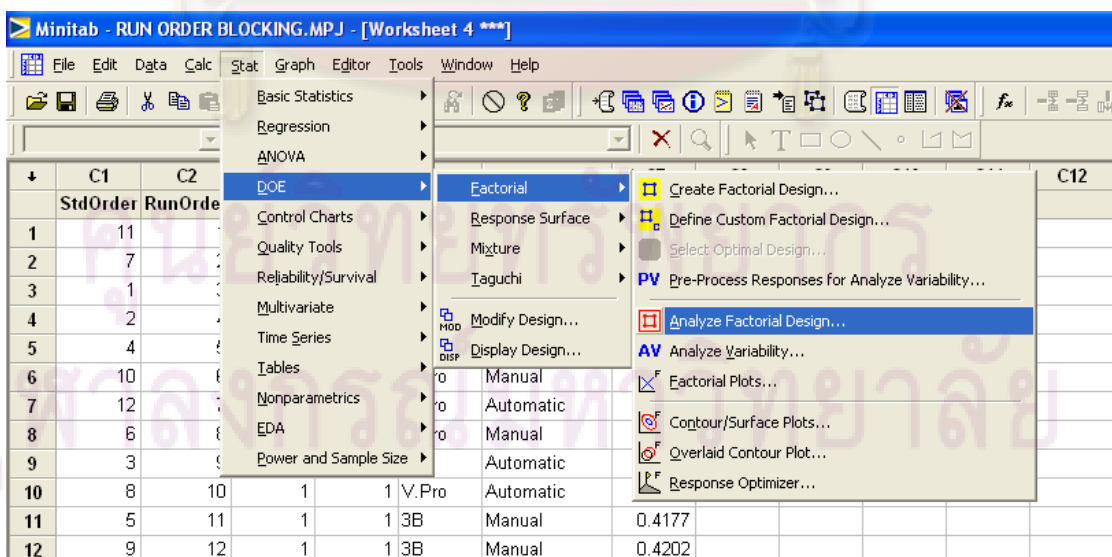
ขั้นตอนการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab แบบ  $2^k$  Fraction Factorial Design

1. หลังจากการออกแบบการทดลอง ให้ป้อนค่าตอบสนอง (Axis) ในช่องถัดไป



	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6-T	C7	C8	C9	C10
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	Axis			
1	11	1	1	1	3B	Automatic	0.5470			
2	7	2	1	1	3B	Automatic	0.4987			
3	1	3	1	1	3B	Manual	0.4038			
4	2	4	1	1	V.Pro	Manual	0.3202			
5	4	5	1	1	V.Pro	Automatic	0.2702			
6	10	6	1	1	V.Pro	Manual	0.2745			
7	12	7	1	1	V.Pro	Automatic	0.2693			
8	6	8	1	1	V.Pro	Manual	0.2881			
9	3	9	1	1	3B	Automatic	0.4023			
10	8	10	1	1	V.Pro	Automatic	0.2719			
11	5	11	1	1	3B	Manual	0.4177			
12	9	12	1	1	3B	Manual	0.4202			

2. เลือกฟังก์ชันการวิเคราะห์การทดลอง (Analyze Factorial Design...)

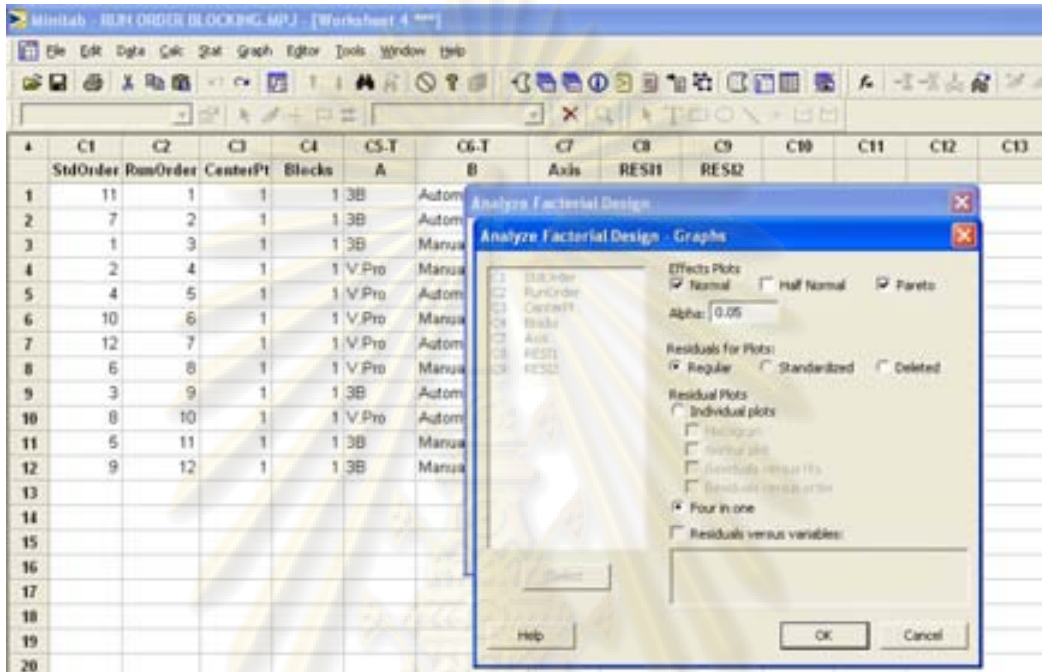


	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6-T	C7	C8	C9	C10	C12
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	Axis				
1	11	1	1	1	3B	Automatic	0.5470				
2	7	2	1	1	3B	Automatic	0.4987				
3	1	3	1	1	3B	Manual	0.4038				
4	2	4	1	1	V.Pro	Manual	0.3202				
5	4	5	1	1	V.Pro	Automatic	0.2702				
6	10	6	1	1	V.Pro	Manual	0.2745				
7	12	7	1	1	V.Pro	Automatic	0.2693				
8	6	8	1	1	V.Pro	Manual	0.2881				
9	3	9	1	1	3B	Automatic	0.4023				
10	8	10	1	1	V.Pro	Automatic	0.2719				
11	5	11	1	1	3B	Manual	0.4177				
12	9	12	1	1	3B	Manual	0.4202				





5. เลือกปุ่ม Graph... และกำหนดระดับความเชื่อมั่นของการทดลอง พร้อมทั้งเลือกชนิดของกราฟที่ต้องการแสดงผล แล้วกด OK



6. Session แสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง

Minitab - RUN ORDER BLOCKING.MPJ - [Session]

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help

Factorial Fit: Axis versus Type of Machine, Function

Estimated Effects and Coefficients for Axis (coded units)

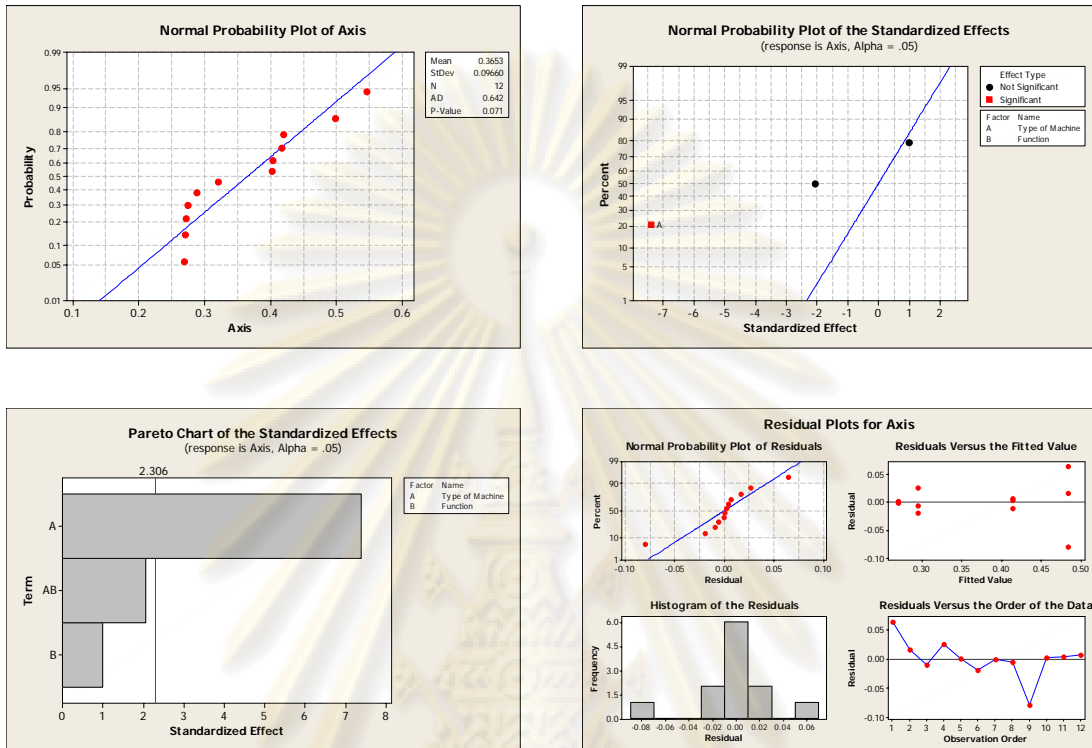
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.36533	0.01123	32.52	0.000
Type of Machine	-0.16592	-0.08296	0.01123	-7.38	0.000
Function	0.02248	0.01124	0.01123	1.00	0.346
Type of Machine*Function	-0.04628	-0.02314	0.01123	-2.06	0.073

S = 0.0389159 PRESS = 0.0272600  
R-Sq = 88.20% R-Sq(pred) = 73.44% R-Sq(adj) = 83.77%

Analysis of Variance for Axis (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	0.084102	0.0841015	0.042051	27.77	0.000
2-Way Interactions	1	0.006426	0.0064264	0.006426	4.24	0.073
Residual Error	8	0.012116	0.0121156	0.001514		
Pure Error	8	0.012116	0.0121156	0.001514		
Total	11	0.102644				

7. กราฟแสดงผลหลังจากการรันโปรแกรม



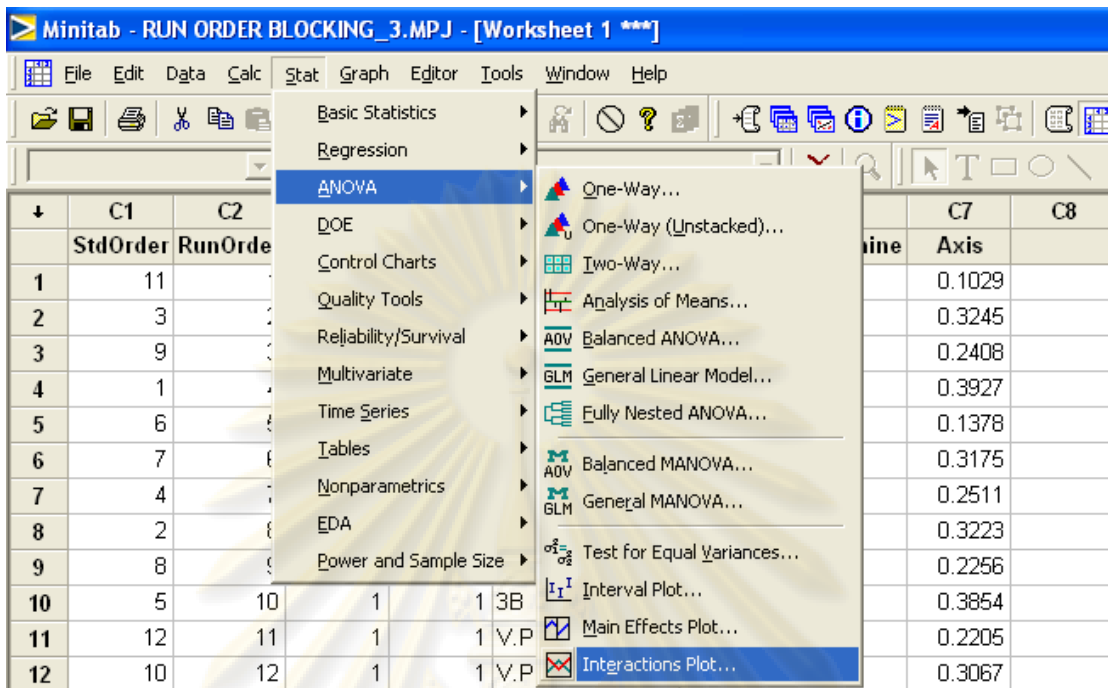
8. เลือกฟังก์ชันสำหรับการวิเคราะห์ Main Effect และ Interaction Effect

The screenshot shows the Minitab software interface with the ANOVA menu open. The menu options include:

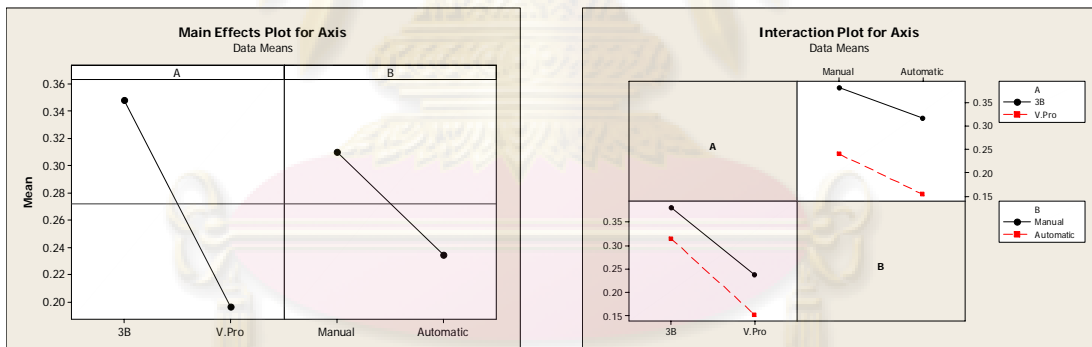
- Basic Statistics
- Regression
- ANOVA**
  - One-Way...
  - One-Way (Unstacked)...
  - Iwo-Way...
  - Analysis of Means...
  - Balanced ANOVA...
  - General Linear Model...
  - Eully Nested ANOVA...
- DOE
- Control Charts
- Quality Tools
- Reliability/Survival
- Multivariate
- Time Series
- Tables
- Nonparametrics
- EDA
- Power and Sample Size

The data table in the background is as follows:

line	C7	C8
1	0.1029	
2	0.3245	
3	0.2408	
4	0.3927	
5	0.1378	
6	0.3175	
7	0.2511	
8	0.3223	
9	0.2256	
10	0.3854	
11	0.2205	
12	0.3067	

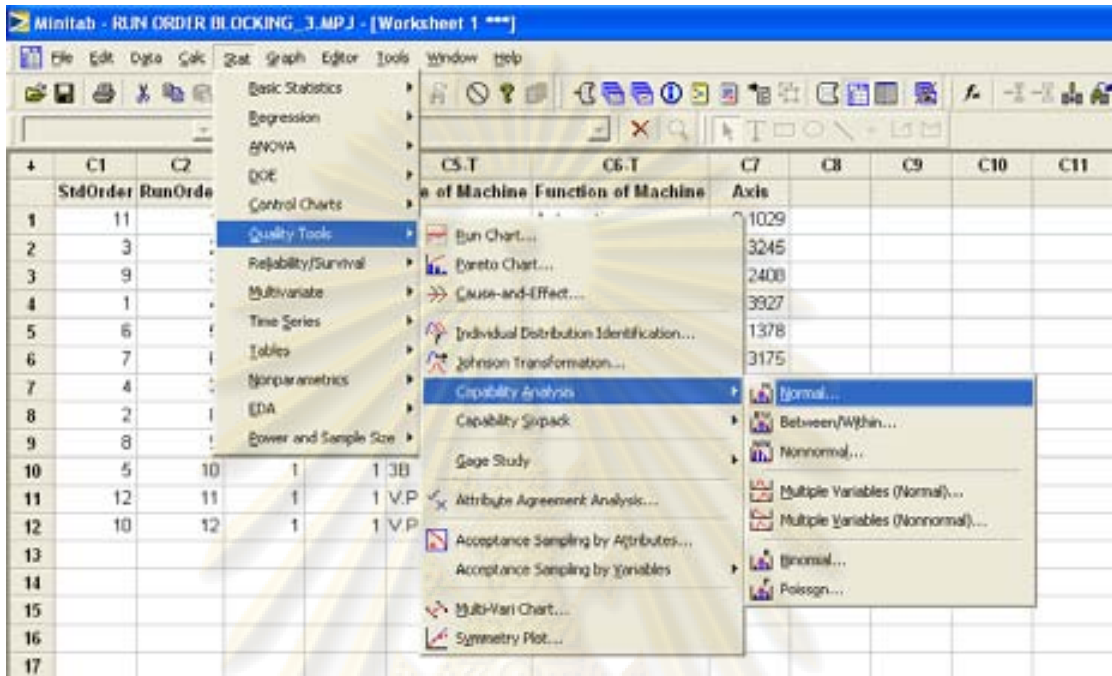


9. กราฟแสดงผลหลังจากการวิเคราะห์ Main Effect และ Interaction Effect



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

10. เลือกฟังก์ชันการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง (Capability Analysis)



11. หน้าจอแสดงการกำหนดค่า Specification ของการทดลอง แล้วกด OK ประกอบด้วย

Single column คือ ค่าตอบสนอง

Subgroup size คือ จำนวนการทดลอง

Lower spec / Upper spec คือ ขอบเขตการยอมรับค่าตอบสนอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Minitab - RUN ORDER BLOCKING\_3.MPJ - [Worksheet 1 \*\*\*]

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help

	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6-T	C7	C8	C9	C10	C11
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Type of Machine	Function of Machine	Axis				
1	11	1	1	1							
2	3	2	1	1							
3	9	3	1	1							
4	1	4	1	1							
5	6	5	1	1							
6	7	6	1	1							
7	4	7	1	1							
8	2	8	1	1							
9	8	9	1	1							
10	5	10	1	1							
11	12	11	1	1							
12	10	12	1	1							
13											
14											
15											
16											
17											
18											

Capability Analysis (Normal Distribution)

Data are arranged as

Single column: Axis

Subgroup size: 12  
(use a constant or an ID column)

Subgroups across rows of:

Lower spec:   Boundary

Upper spec: 3  Boundary

Historical mean:  (optional)

Historical standard deviation:  (optional)

Select Help OK Cancel

12. เลือกปุ่ม Option... เพื่อกำหนดค่าเป้าหมาย (Target) แล้วกดปุ่ม OK

Minitab - RUN ORDER BLOCKING\_3.MPJ - [Worksheet 1 \*\*\*]

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help

	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6-T	C7	C8	C9	C10	C11
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Type of Machine	Function of Machine	Axis				
1	11	1	1	1							
2	3	2	1	1							
3	9	3	1	1							
4	1	4	1	1							
5	6	5	1	1							
6	7	6	1	1							
7	4	7	1	1							
8	2	8	1	1							
9	8	9	1	1							
10	5	10	1	1							
11	12	11	1	1							
12	10	12	1	1							
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											

Capability Analysis (Normal Distribution) - Options

Target (adds Cpn to table): 0

Use tolerance of  $k \times \sigma$  for capability statistics  $k = 6$

Perform Analysis

Within subgroup analysis

Overall analysis

Display

Parts per million

Percents

Capability stats (Cp, Pp)

Benchmark Z's (sigma level)

Include confidence intervals

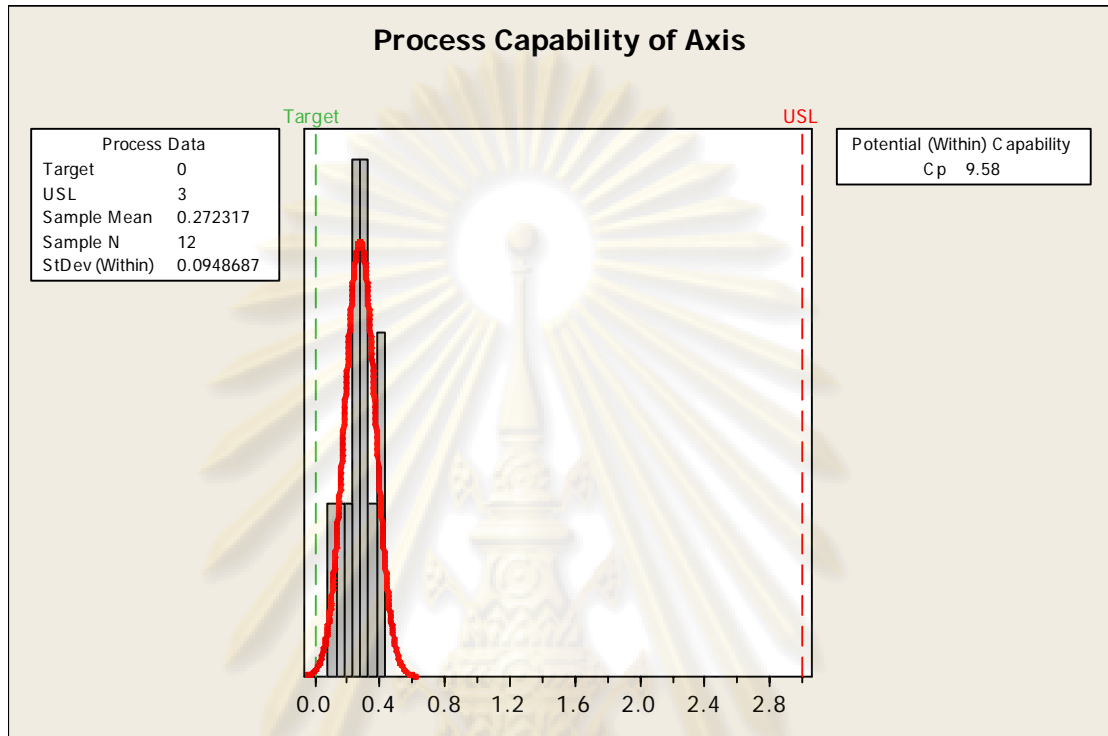
Confidence level: 95.0

Confidence interval: Two-sided

Title:

Help OK Cancel

13. กราฟแสดงผลหลังการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง



ขั้นตอนการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองแบบ Fraction Factorial Design มีขั้นตอนการคำนวณเช่นเดียวกับการคำนวณการทดลองแบบ  $2^k$  Fraction Factorial Design ต่างกันที่จำนวน Subgroup Size ของการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชญาณี หวังประดิษฐ์ เกิดวันที่ 10 สิงหาคม 2527 ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เมื่อปี พ.ศ. 2549 และได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทในสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาคต้นในปี พ.ศ. 2550



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย