

การลดของเสียในกระบวนการผลิตเลนส์แว่นตาโดยใช้แนวคิด ซิกซ์ ซิกมา

นายภิธาน ทองศรีพงษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEFECTIVE REDUCTION IN EYE-GLASSES LENS MANUFACTURING PROCESS
WITH SIX SIGMA CONCEPT

Mr. Pithan Thongsriphong

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 2007

Copyright of Chulalongkorn University

501386

ภิธาน ทองศรีพงษ์ : การลดของเสียในกระบวนการผลิตเลนส์แว่นตาโดยใช้แนวคิด ชิกซ์ ซิกมา. (DEFECTIVE REDUCTION IN EYE-GLASSES LENS MANUFACTURING PROCESS WITH SIX SIGMA CONCEPT) อ.ที่ปรึกษา: ผศ.ดร.นภัสดวงศ์ โรจนโรวรรณ , 238 หน้า.

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอแนวทางการควบคุมคุณภาพโดยใช้แนวทางของ ชิกซ์ ซิกมา เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเลนส์แว่นตา โดยประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีการ ชิกซ์ ซิกมา ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเลนส์ทั้งหมด 5 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการนิยามปัญหา ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา ขั้นตอนการปรับปรุง และขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต

ในขั้นตอนแรกได้ศึกษาสภาพปัญหา กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการปรับปรุง โดยจะมุ่งเน้นไปที่ของเสียที่เกิดขึ้นเกิดมาจากข้อบกพร่องหลัก 2 เรื่อง คือ ปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US และปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT ในขั้นตอนการวัด ได้ทำการศึกษาความแม่นยำและความถูกต้องของระบบการวัด จากนั้นวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยการระดมสมองและใช้แผนภูมิแกงปลา จากนั้นจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุโดยประยุกต์ใช้ตารางความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผลและการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ เมื่อสามารถระบุถึงสาเหตุหลักของปัญหาได้แล้วขั้นตอนต่อไป คือ การทดสอบความมีนัยสำคัญของสาเหตุและปรับปรุงเพื่อลดของเสียจากกระบวนการผลิตโดยการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมเพื่อกำหนดค่าที่เหมาะสมของปัจจัยการผลิตที่มีนัยสำคัญ โดยการปรับปรุงปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US สามารถกำหนดระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า 2 ปัจจัย คือ ระดับอุณหภูมิของ NMP และระยะเวลาการล้างด้วย Raptex ได้เป็น 47.9 องศาเซลเซียส และ 16 นาที ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับการปรับปรุงปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT สามารถกำหนดระดับที่เหมาะสมของปัจจัยปัจจัยนำเข้า 2 ปัจจัย คือ Dew Point และระยะเวลาการล้างเลนส์ ได้เป็น 5.6 องศาเซลเซียส และ 167 วินาที ตามลำดับในขั้นตอนการควบคุมได้เก็บข้อมูลเพื่อการยืนยันผลการทดลอง และจัดทำมาตรการควบคุมและป้องกันปัญหา

จากการกำหนดระดับที่เหมาะสมและการควบคุมของปัจจัยนำเข้า พบว่า การปรับปรุงปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US สามารถที่จะลดสัดส่วนเลนส์เสียในกระบวนการขึ้นรูปเลนส์จาก 73,974 PPM เป็น 51,163 PPM ซึ่งลดลง 30.83 เปอร์เซ็นต์ โดยจะลดค่าใช้จ่ายที่เสียไปเมื่อเกิดเลนส์เสียลงได้ประมาณ 844,026 บาท ต่อปี หรือเมื่อเปรียบเทียบกับในระดับ σ สามารถปรับปรุงจากระดับ 2.95 เป็นที่ระดับ 3.13 และในการปรับปรุงปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT สามารถที่จะลดสัดส่วนเลนส์เสียในกระบวนการเคลือบเลนส์ลงจาก 40,627 PPM เป็น 22,655 PPM ซึ่งลดลง 44.23 เปอร์เซ็นต์ โดยจะลดค่าใช้จ่ายที่เสียไปเมื่อเกิดเลนส์เสียลงได้ประมาณ 904,434 บาท ต่อปีหรือเมื่อเปรียบเทียบกับในระดับ σ สามารถปรับปรุงจากระดับ 3.24 เป็นที่ระดับ 3.50

ภาควิชา.....วิศวกรรมอุตสาหกรรม
สาขาวิชา.....วิศวกรรมอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา.....2550

ลายมือชื่อนิติกร.....ภิธาน ทองศรีพงษ์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

4870688121: MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD: SIX SIGMA / EYE-GLASSES LENS / DEFECT PART PER MILLION /
 DEFINE PHASE / MEASUREMENT PHASE / ANALYSIS PHASE / IMPROVE PHASE /
 CONTROL PHASE


PITHAN THONGSRIPONG: DEFECTIVE REDUCTION IN EYE-GLASSES LENS
 MANUFACTURING PROCESS WITH SIX SIGMA CONCEPT. THESIS ADVISOR:
 ASST. PROF. NAPASSAVONG ROJANAROWAN, Ph.D., 238 pp.

This study suggests the way to reduce defects from eye-glasses lens manufacturing process by using Six Sigma approach. Five phases of Six Sigma: Define, Measure, Analyze, Improve, and Control, were employed to improve the lens manufacturing processes.

In the Define phase, problems, scope, and goals were identified. Two defect types were focused on, which are US and PIT. In the Measure phase, the measurement system evaluation and verification were performed. Then the key process input variables (KPIVs) were identified by brainstorming and organized by the Cause-and-Effect diagram. After that, KPIVs were prioritized by applying Cause & Effect matrix and Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). In the Analyze phase, KPIVs were statistically tested. Then, in the Improve phase, Design of Experiment (DOE) was applied to determine the optimum levels of KPIVs. Regarding US defect, the optimum KPIVs levels were set at 47.9 Celsius Degree for NMP Temperature and 167 minutes for Raptex Cleaning Time. Regarding PIT defect, the optimum KPIVs levels were set at 5.6 Celsius Degree for Dew Point and 167 seconds for Cleaning Time. In the Control phase, the new operating conditions were implemented to confirm the expected results and control plans were developed to monitor the processes.

Regarding the improvement of US defectives problem, defective proportion in casting process is reduced from 73,974 PPM to 51,163 PPM or 30.83 percent reduction, resulting in defective cost reduction of 844,026 baht per year. The sigma level is improved from 2.95 to 3.13. Regarding the improvement of PIT defectives problem, defective proportion in coating process is reduced from 40,627 PPM to 22,655 PPM or 44.23 percent reduction, resulting in defective cost reduction of 904,434 baht per year. The sigma level regarding the PIT defective proportion is improved from 3.24 to 3.50.

Department:..... INDUSTRIAL ENGINEERING

Student's signature:..... 

Field of study:..... INDUSTRIAL ENGINEERING

Advisor's signature:..... 

Academic year:..... 2007

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภัตสวงส์ โรจนโรวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งนอกจากให้คำแนะนำในการทำวิจัยแล้วยังคอยติดตามความคืบหน้าของงานวิจัยอย่างสม่ำเสมอ รวมถึงการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ที่ได้จากประธานกรรมการสอบ รองศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชูติมา รองศาสตราจารย์จรัสพัฒน์ เงามประเสริฐกุล และ อาจารย์อังศุมาลิน เสนจันทร์ฉิไชย ที่ได้ชี้แนะให้วิทยานิพนธ์มีความถูกต้องและชัดเจนยิ่งขึ้น ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูง ไว้ ณ. ที่นี้

ส่วนหนึ่งของความสำเร็จครั้งนี้ ได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลในโรงงานตัวอย่างที่สนับสนุนในด้านข้อมูล ความรู้เฉพาะด้าน และข้อแนะนำต่างๆ ตลอดจนความร่วมมือในการปฏิบัติการแก้ไข ผู้วิจัยขอขอบพระคุณไว้ ณ. ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และครอบครัว ที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนด้วยดีตลอดมา ผู้วิจัยหวังว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจเพื่อนำไปเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ข้อมูลของ โรงงานกรณีศึกษา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	9
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	9
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินการวิจัย.....	9
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	14
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	14
1.7 ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย.....	15
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับ ส่วนประกอบ โครงสร้าง และคุณสมบัติของแก้ว.....	16
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการเคลือบผิวเลนส์.....	17
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ ชิกซ์ ชิกลมา.....	23
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตเลนส์.....	55
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ ชิกซ์ ชิกลมา.....	60
บทที่ 3 การนิยามปัญหา.....	63
3.1 บทนำ.....	63
3.2 การกำหนดทีมงานดำเนินงาน.....	63
3.3 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	63
บทที่ 4 ระยะเวลาวัดและเก็บข้อมูล.....	74
4.1 บทนำ.....	74
4.2 การวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด.....	74
4.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Cause & Effect Diagram) ของปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่องUS.....	80

4.4 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ของปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US.....	85
4.5 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Cause & Effect Diagram) ของปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT.....	91
4.4 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ของปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT.....	97
บทที่ 5 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา.....	105
5.1 บทนำ.....	105
5.2 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US.....	105
5.3 สรุปผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US.....	134
5.4 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT.....	134
5.5 สรุปผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US.....	174
บทที่ 6 ระยะเวลาการปรับปรุง.....	175
6.1 การปรับปรุงปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US.....	175
6.2 การปรับปรุงปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT.....	185
6.3 การทดสอบยืนยันผลของการปรับปรุงปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US....	196
6.4 การทดสอบยืนยันผลของการปรับปรุงปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT...	199
บทที่ 7 การควบคุมกระบวนการผลิต.....	205
7.1 บทนำ.....	205
7.2 แผนการควบคุมปัจจัยนำเข้าสำหรับปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US.....	205
7.3 แผนการควบคุมตัวแปรตอบสนองสำหรับ ปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US.....	209
7.4 แผนการควบคุมปัจจัยนำเข้าสำหรับปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT.....	211
7.5 แผนการควบคุมตัวแปรตอบสนองสำหรับ ปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT.....	215
7.6 ความสูญเสียที่สามารถลดได้สำหรับปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US.....	217
7.7 ความสูญเสียที่สามารถลดได้สำหรับปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT.....	218
บทที่ 8 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	220
8.1 บทนำ.....	220
8.2 สรุปผลขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา.....	220
8.3 สรุปผลขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา.....	222
8.4 สรุปผลขั้นตอนการปรับปรุง.....	223

8.5 สรุปผลขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต.....	224
8.6 ข้อจำกัดในการทดลอง.....	225
8.7 ข้อเสนอแนะ.....	225
รายการอ้างอิง.....	227
ภาคผนวก.....	228
ภาคผนวก ก.....	229
ภาคผนวก ข.....	232
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	238

สารบัญตาราง

ตารางที่		
2.1	ตัวอย่างของส่วนประกอบและค่าการหักเหแสงของพลาสติกเมื่อมีการขึ้นรูปแล้ว.....	16
2.2	เกณฑ์การประเมินความรุนแรง (S) สำหรับ PFMEA.....	34
2.3	เกณฑ์การประเมินความถี่ในการเกิด (O) สำหรับ PFMEA.....	35
2.4	เกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (D) สำหรับ PFMEA.....	36
2.5	ชนิดของแผนภูมิควบคุม.....	53
2.6	แสดงรายการสูตรที่ต้องใช้ในการสร้างแผนภูมิควบคุมแต่ละชนิด.....	53
2.7	ความกว้างของช่วงความเชื่อมั่นสำหรับแต่ละค่าของการวัดรวม ที่แตกต่างกัน 4 ค่า (การวัดรวมเท่ากับ 80).....	61
2.9	ความกว้างของช่วงความเชื่อมั่นสำหรับแต่ละค่าของการวัดรวม และค่าการวัดรวมที่แตกต่างกัน.....	61
3.1	จำนวนการผลิต สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT ที่ถูกทำซ้ำ สัดส่วนเลนส์เสียที่ถูกทิ้ง และค่าใช้จ่ายที่เสียไปเมื่อเกิดเลนส์เสียขึ้น ของแต่ละผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2549 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550..	67
3.2	สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ของผลิตภัณฑ์ Kromos ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2549 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550.....	69
3.3	จำนวนการผลิต สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US และค่าใช้จ่ายที่เสียไป เมื่อเกิดเลนส์เสียขึ้นจากข้อบกพร่อง US ของแต่ละกระบวนการขึ้นรูปในช่วงเวลา ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2549 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550.....	70
3.4	แผนงานแสดงเอกสาร โครงการ.....	74
4.1	ผลของการตรวจวัด.....	76
4.2	ตารางความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและ ผลของปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US.....	82
4.3	ลำดับของปัจจัยนำเข้า 14 ปัจจัย ที่เลือกจากรูปที่ 4.2.....	84
4.4	ตารางการวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องของ ปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US.....	87
4.5	ลำดับของปัจจัยนำเข้า จากตารางที่ 4.3.....	89
4.6	ตารางความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผลของ ปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT.....	94

4.7	ลำดับของปัจจัยนำเข้า 28 ปัจจัย ที่เลือกจากรูปที่ 4.6.....	96
4.8	ตารางการวิเคราะห์ลักษณะของ ข้อบกพร่องของปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT.....	98
5.1	สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ของระดับความเข้มข้นของ NMP ที่ ระดับ 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์.....	108
5.2	ปัจจัยนำเข้าที่จะนำไปทำการทดลอง.....	114
5.3	ผลการทดลองของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3}	118
5.4	ผลการทดลองของการฉายการออกแบบการทดลองเศษส่วน เชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3} ไปสู่การออกแบบการทดลอง 2^2 ที่มี 4 เรพลีเคด.....	122
5.5	สมการการแปลงข้อมูล.....	127
5.6	ผลการทดลองเมื่อทำการแปลงข้อมูลด้วยสมการ $\arcsin \sqrt{\hat{p}}$ ของการออกแบบการทดลอง เศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3}	128
5.7	ผลการทดลองเมื่อทำการแปลงข้อมูลด้วยสมการ $\frac{\arcsin \sqrt{\frac{n\hat{p}}{n+1}} + \arcsin \sqrt{\frac{n\hat{p}+1}{n+1}}}{2}$ ของการ ออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3}	129
5.8	สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ของขนาดของเครื่องกรองสารในถัง Soft water ที่ขนาด 1 และ 1.2 ไมโครเมตร.....	138
5.9	สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ของขนาดของเครื่องกรองสารในถัง โซดาที่ขนาด 1 และ 1.2 ไมโครเมตร.....	141
5.10	สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ของขนาดของเครื่องกรองสารในถัง IPA ที่ขนาด 1 และ 1.2 ไมโครเมตร.....	144
5.11	สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ของขนาดของเครื่องกรองสารในถัง DI water ที่ขนาด 1 และ 1.2 ไมโครเมตร.....	147
5.12	สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ของขนาดของเครื่องกรองสารในถังน้ำยาเคลือบที่ขนาด 1 และ 1.2 ไมโครเมตร.....	150
5.13	ตารางสรุปการเลือกปัจจัยและผลกระทบจากปัจจัย.....	152
5.14	ปัจจัยนำเข้าที่จะนำไปทำการทดลอง.....	155
5.15	ผลการทดลองของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_V^{5-1}	159
5.16	ผลการทดลองของการฉายการออกแบบการทดลอง เศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_{IV}^{5-1} ไปสู่การออกแบบการทดลอง 2^2 ที่มี 4 เรพลีเคด... ..	163
5.17	ผลการทดลองเมื่อทำการแปลงข้อมูลด้วยสมการ $\arcsin \sqrt{\hat{p}}$ ของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_{IV}^{5-1}	168

5.18	ผลการทดลองเมื่อทำการแปลงข้อมูลด้วยสมการ $\frac{\arcsin \sqrt{\frac{np}{n+1}} + \arcsin \sqrt{\frac{np+1}{n+1}}}{2}$ ของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_{IV}^{5-1}	169
6.1	ผลการทดลองการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง ของการปรับปรุงปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US.....	177
6.2	ปัจจัยและการกำหนดระดับที่เหมาะสมของ การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่ม จุดศูนย์กลางของการปรับปรุงปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US.....	181
6.3	ผลการทดลองของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง ที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US	188
6.4	ปัจจัยและการกำหนดระดับที่เหมาะสมของการออกแบบการทดลอง แบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง ของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US	191
6.5	จำนวนการผลิต จำนวนเลนส์เสียและสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ของ กระบวนการขึ้นรูปเลนส์ CX แบบ DM ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2551.....	197
6.6	จำนวนการผลิต จำนวนเลนส์เสียและสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US และ PITของผลิตภัณฑ์ Kromos ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2551.....	199
7.1	ใบตรวจสอบสำหรับเครื่อง NMP Cleaning.....	205
7.2	ใบตรวจสอบสำหรับเครื่องเคลือบเลนส์.....	211
7.3	แสดงการวิเคราะห์ทางการเงินหลังจากดำเนินการทางคุณภาพ ซิกซ์ ซิกมา สำหรับปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US.....	214
7.4	σ -Level Long-Term, σ -Level Short-Term, Ppk และ Cpk ของกระบวนการขึ้นรูปเลนส์ Convex แบบ DM ก่อนและหลังการปรับปรุง.....	215
7.5	แสดงการวิเคราะห์ทางการเงินหลังจากดำเนินการทางคุณภาพ ซิกซ์ซิกมา สำหรับปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่องPIT.....	215
7.6	σ -Level Long-Term, σ -Level Short-Term, Ppk และ Cpk ของกระบวนการเคลือบเลนส์ ของผลิตภัณฑ์ Kromos ก่อนและหลังการปรับปรุง.....	216

สารบัญญภาพ

รูปที่		
1.1	แผนภาพกระบวนการผลิตเลนส์นูน.....	4
1.2	แผนภาพกระบวนการผลิตเลนส์เว้า.....	5
1.3	แผนภาพกระบวนการผลิตเลนส์แผนกเคลือบเลนส์.....	6
1.4	แผนภาพกระบวนการผลิตเลนส์แผนกตรวจสอบคุณภาพ.....	7
1.5	การแบ่งเขตของเลนส์.....	9
2.1	แผนภาพแสดงบริเวณการปฏิเสธและการยอมรับสมมติฐาน สำหรับการทดสอบสองหาง (A) การทดสอบหางเดียวชนิดน้อยกว่า (B) และการทดสอบหางเดียวชนิดมากกว่า (C).....	41
2.2	ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง α และ β	42
2.3	รูปแบบของกระบวนการหรือระบบ.....	44
2.4	การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลที่ไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย (A) และแสดงการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลที่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย (B).....	48
2.5	การออกแบบ CCD สำหรับ $k = 2$ และ $k = 3$	50
2.6	การออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคนสำหรับสามตัวแปร.....	51
2.7	การถูก wetting ของวัสดุที่จะนำมาเคลือบ โดยแรงดึงดูดที่เกิดจากการไหล ของของเหลว(Liquid flux).....	56
2.8	ภาพและภาพร่างของ Test Coupons.....	57
2.9	ระบบถังทำความสะอาด.....	57
2.10	ลักษณะการวาง coupons บนตะแกรง.....	57
2.11	Enclosed Vapour Degreasing.....	59
3.1	กราฟแสดงสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่องแต่ละชนิด ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2549 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550.....	64
3.2	กราฟพาริตอสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่องแต่ละชนิด ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2549 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550.....	65
3.3	กราฟแสดงสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT ที่ถูกทำซ้ำของแต่ละผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2549 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550.....	67
3.4	กราฟแสดงสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US แต่ละกระบวนการขึ้นรูปเลนส์ ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2549 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550.....	71

3.5	กราฟพาร โด แสดงสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US แต่ละกระบวนการ ขึ้นรูปตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2549 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550.....	72
4.1	ก้างปลาของปัจจัยที่เป็นไปได้ที่มีผลกระทบต่อเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US.....	81
4.2	แผนภูมิเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ จากการวิเคราะห์ด้วย ตารางที่ 4.2.....	83
4.3	แผนภูมิเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ จากการวิเคราะห์ด้วย ตารางที่ 4.4.....	89
4.4	แผนผังก้างปลาของปัจจัยที่เป็นไปได้ที่มีผลกระทบต่อ เลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT.....	92
4.5	แผนผังก้างปลาของปัจจัยที่เป็นไปได้ที่มีผลกระทบต่อเลนส์เสียที่เกิดจาก ข้อบกพร่อง US ในกระบวนการเคลือบเลนส์.....	93
4.6	แผนภูมิเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ จากการวิเคราะห์ด้วย ตารางที่ 4.5.....	95
4.7	แผนภูมิเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ จากการวิเคราะห์ด้วย ตารางที่ 4.7.....	103
5.1	กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยา ที่มีนัยสำคัญของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3}	119
5.2	แผนภูมิพาร โด แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยา ที่มีนัยสำคัญของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3}	119
5.3	ภาพผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนเสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3}	120
5.4	ภาพอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนเสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3}	120
5.5	กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง ของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3}	124
5.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล ของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3}	125
5.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกผิด ของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3}	126
5.8	กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ ของการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการ $\arcsin \sqrt{\hat{p}}$	130
5.9	แผนภูมิพาร โด แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ ของการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการ $\arcsin \sqrt{\hat{p}}$	130
5.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกผิด ของการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการ $\arcsin \sqrt{\hat{p}}$	131

5.11	กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ ของการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการของ Freeman and Turkey's (F&T) Modification.....	132
5.12	แผนภูมิพาเรโต แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ ของการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการของ Freeman and Turkey's (F&T) Modification.....	132
5.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต ของการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการของ Freeman and Turkey's (F&T) Modification.....	133
5.14	กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ ของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_v^{5-1}	160
5.15	แผนภูมิพาเรโต แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ ของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_v^{5-1}	160
5.16	ภาพผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนเสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_v^{5-1}	161
5.17	ภาพอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนเสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_v^{5-1}	161
5.18	กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง ของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_{IV}^{5-1}	165
5.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล ของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_{IV}^{5-1}	166
5.20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต ของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_{IV}^{5-1}	167
5.21	กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ ของการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการ $\arcsin \sqrt{\hat{p}}$	170
5.22	แผนภูมิพาเรโต แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ ของการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการ $\arcsin \sqrt{\hat{p}}$	170
5.23	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต ของการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการ $\arcsin \sqrt{\hat{p}}$	171
5.24	กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ ของการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการของ Freeman and Turkey's (F&T) Modification.....	172

5.25	แผนภูมิฟารेट แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ ของการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการของ Freeman and Turkey's (F&T) Modification.....	172
5.26	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกผิด ของการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการของ Freeman and Turkey's (F&T) Modification.....	173
6.1	การวิเคราะห์ห้ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า ของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่ม จุดศูนย์กลางของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US.....	180
6.2	กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้างของการออกแบบ การทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางของ สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US.....	182
6.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง และลำดับของข้อมูลของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง ที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US.....	183
6.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง และค่าที่ถูกผิดของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง ที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US.....	184
6.5	การวิเคราะห์ห้ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า ของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่ม จุดศูนย์กลางของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US.....	191
6.6	พื้นผิวผลตอบแบบสามมิติของการออกแบบ การทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่ม จุดศูนย์กลางของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US	191
6.7	กราฟเส้น โครงร่างของพื้นผิวผลตอบของการออกแบบ การทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางของ สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US	191
6.8	การวิเคราะห์ห้ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าของการออกแบบ การทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางสัดส่วนเลนส์เสีย ที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT.....	193

6.9	การวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าของการออกแบบ การทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางสัดส่วนเลนส์เสีย ที่เกิดจากข้อบกพร่อง US.....	193
6.10	กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้างของการออกแบบ การทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางของ สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US	194
6.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง และลำดับของข้อมูลของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง ที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US.....	195
6.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง และค่าที่ถูกผิดของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง ที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US	196
6.13	แผนภูมิสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ของเดือนมกราคม พ.ศ. 2551.....	198
6.14	แผนภูมิสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US และ PIT ของเดือนมกราคม พ.ศ. 2551.	200
7.1	OCAP สำหรับ ระดับอุณหภูมิของ NMP.....	203
7.2	OCAP สำหรับ ระยะเวลาการล้างด้วย Raptex.....	204
7.3	แผนภูมิสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง USของเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551.....	207
7.4	OCAP สำหรับ Dew Point.....	209
7.5	OCAP สำหรับระยะเวลาในการล้างเลนส์.....	210
7.6	แผนภูมิสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US และ PIT ของเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551.....	213