

การศึกษาปัจจัยในกระบวนการการประกอบชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลฮาร์ดดิสก์
ที่มีผลกระทบต่อการใช้งานของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลโดยใช้การออกแบบการทดลอง



นายวัชรศักดิ์ ทวีสุข

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

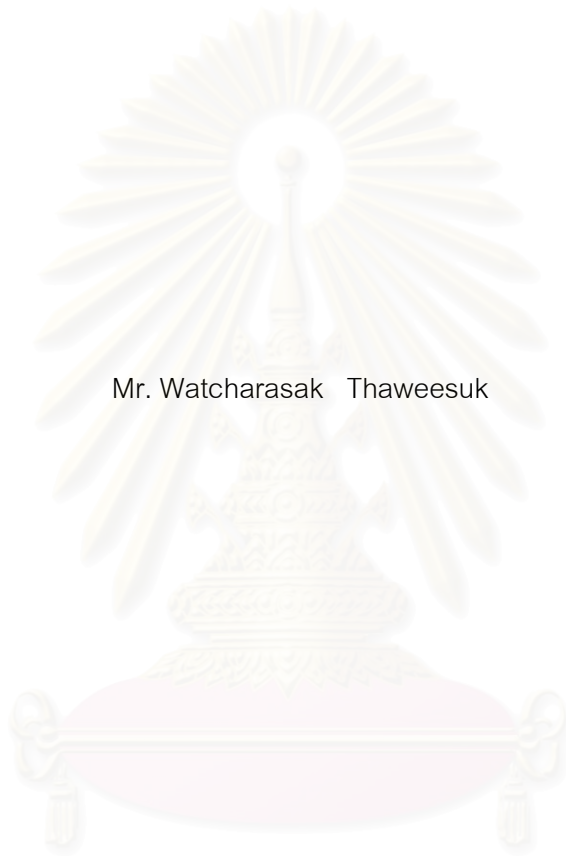
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-3841-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE STUDY OF FACTORS EFFECTING THE CROWN INDUCEMENT
OF WRITE/READ HEAD ASSEMBLY OF HARD DISK DRIVE
BY USING THE DESIGN OF EXPERIMENT

Mr. Watcharasak Thaweek



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-3841-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาปัจจัยในกระบวนการการประกอบชุดประกอบสำเร็จหัวเขียน อ่านข้อมูลฮาร์ดดิสก์ที่มีผลกระทบต่อการทำงานของตัวหัวเขียนอ่าน ข้อมูลโดยใช้การออกแบบการทดลอง
โดย	นายวัชรศักดิ์ ทวีสุข
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบ
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.นภัตสวงศ์ โอสถศิลป์)

วัชรศักดิ์ ทวีสุข : การศึกษาปัจจัยในกระบวนการการประกอบชุดประกอบสำเร็จหัวเขียน
อ่านข้อมูลฮาร์ดดิสก์ ที่มีผลกระทบต่อการทำงานของหัวเขียนอ่านข้อมูล โดยใช้การ
ออกแบบการทดลอง. (THE STUDY OF FACTORS EFFECTING THE CROWN
INDUCEMENT OF WRITE/READ HEAD ASSEMBLY OF HARD DISK DRIVE BY
USING THE DESIGN OF EXPERIMENT) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. ปารเมศ ชูติมา, 115
หน้า. ISBN 974-17-3841-2.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาถึงปัจจัยในกระบวนการผลิตชุดประกอบสำเร็จหัว
เขียนอ่านข้อมูลที่มีผลกระทบต่อค่าการโก่งตัวของหัวเขียนอ่านข้อมูล รวมทั้งพิจารณาหาระดับ
ปัจจัยที่เหมาะสมที่เป็นไปได้จริงในทางปฏิบัติ เพื่อการลดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการ
เปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัว ให้อยู่ในระดับ 0.033 ส่วนในล้านส่วนของหนึ่งนิ้ว งานวิจัยเริ่มต้นจาก
การอาศัยความรู้และความชำนาญของผู้เชี่ยวชาญ และเอกสารต่างๆที่เกี่ยวข้อง เพื่อทำการระบุถึง
ปัจจัยทั้งหมดที่น่าจะมีผลกระทบต่อค่าการโก่งตัวโดยใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล ทำให้สามารถ
เลือกปัจจัยที่มีศักยภาพจำนวน 6 ปัจจัย คือตำแหน่งของกาวโครงสร้าง ตำแหน่งของกาวตัวนำ
ไฟฟ้า ขนาดของกาวโครงสร้าง ขนาดของกาวตัวนำไฟฟ้า ระยะห่างจากปลายท่อनाแสง UV ถึงตัว
งาน และ ระยะเวลาในการให้แสง UV เนื่องด้วยข้อจำกัดในเรื่องค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการ
ดำเนินการทดลอง แผนการทดลองแบบแฟกชันนอลแบบครึ่งหนึ่งของวิธีแฟกทอเรียล โดยที่ทุก
ปัจจัยมีระดับปัจจัย 2 ระดับ จึงถูกเลือกเพื่อใช้ในการดำเนินการทดลอง ผลลัพธ์ที่ได้จากการ
ทดลองถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่ามีปัจจัยหลักจำนวน 4 ตัว ที่
ส่งผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญต่อค่าการโก่งตัว

จากการพิจารณาระดับปัจจัยที่เหมาะสม พบว่าตำแหน่งของกาวโครงสร้างควรจะอยู่ที่
ระยะห่างเท่ากับ 32 mil ในแนวแกน X และตำแหน่งของกาวตัวนำไฟฟ้าควรจะอยู่ที่ระยะ 36 mil
จากรูอ้างอิง ในแนวแกน Y ส่วนปัจจัยอื่นให้ใช้ค่าที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และผลจากการทดลองเพื่อ
การยืนยันผล ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0481 ส่วนในล้านส่วนของหนึ่งนิ้ว และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
เท่ากับ 0.0309 ส่วนในล้านส่วนของหนึ่งนิ้ว และสามารถสรุปได้ว่าสามารถลดค่าเบี่ยงเบน
มาตรฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวลงมาอยู่ที่ระดับ 0.033 ส่วนในล้านส่วนของหนึ่ง
นิ้ว ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ภาควิชา..... วิศวกรรมอุตสาหการ.....ลายมือชื่อนิติ.....
สาขาวิชา..... วิศวกรรมอุตสาหการ.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2546.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4471443521 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD: CROWN INDUCEMENT OF WRITE/READ HEAD / FRACTIONAL FACTORIAL DESIGN / UNREPLICATED FACTORIAL DESIGN / 2 LEVELS FACTORIAL DESIGN / TEST OF HYPOTHESIS ON VARIANCE

WATCHARASAK THAWEESUK : THE STUDY OF FACTORS EFFECTING THE CROWN INDUCEMENT OF WRITE/READ HEAD ASSEMBLY OF HARD DISK DRIVE BY USING THE DESIGN OF EXPERIMENT. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. DR. PARAMES CHUTIMA, 115 pp. ISBN 974-17-3841-2.

The objectives of this thesis are to study the factors in the write/read head assembly process effecting the Crown inducement of the write/read head and to propose the more optimum process conditions in order to reduce the standard deviation of the Crown inducement to be at 0.033 micro-inch. The research begins with the development of cause and effect diagram to identify all possible factors effecting the Crown inducement. From the diagram, the 6 potential factors were selected including locations of structural adhesive, location of conductive adhesive, size of structural adhesive, size of conductive adhesive, distance between UV light guide and write/read head, and UV exposure time. Due to the limitations of raw material and time availability, the 2-Levels One-Half Fractional of 2^k Factorial design is selected for this experiment. The result shows that the 4 factors among 6 of them are significantly effecting the Crown inducement.

The proposed process conditions are; the structural adhesive locations should be 32 mil. apart in x-direction, the conductive adhesive location should be at 36 mil. from the reference hole in y-direction and the others should be set at the current setup. From the result of the confirmation experiment gives the average and standard deviation of the Crown inducement at 0.0481 and 0.0309 micro-inch respectively and reveals that the proposed process conditions can significantly reduce the standard deviation of the Crown inducement to be at 0.033 micro-inch.

Department.....Industrial Engineering..... Student's signature.....
Field of study.....Industrial Engineering..... Advisor's signature.....
Academic year.....2003..... Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ โดยได้รับความอนุเคราะห์จาก รองศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ท่านได้สละเวลาอันมีค่า ในการให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง และให้คำแนะนำต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี ทั้งใน ระหว่างในการดำเนินการวิจัย และในช่วงการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และผู้วิจัยขอกราบ ขอบพระคุณ ประธานและกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ คำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เภาประเสริฐวงศ์ และ อาจารย์ ดร. นภัสดวงศ์ โอสถศิลป์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการให้คำแนะนำต่างๆ ตลอดจนการ ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณวรรณทนา ลีลาภรณ์ ผู้จัดการอาวุโส ของส่วนวิศวกรรม กระบวนการของโรงงานตัวอย่าง และเป็นผู้บังคับบัญชาของผู้วิจัย ที่ได้ให้การสนับสนุนผู้วิจัยใน การทำการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ทุกท่าน ที่ช่วย ให้การอบรมสั่งสอนและให้การศึกษาแก่ผู้วิจัยตลอดมา นอกจากนี้ขอขอบคุณ พนักงานในส่วน ต่างๆ ของโรงงานตัวอย่างที่ได้ให้ความร่วมมือในการดำเนินการวิจัยตลอดมา และขอขอบคุณ เพื่อนนิสิต เพื่อนร่วมงาน และท่านที่มีได้กล่าวไว้ในที่นี้ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจ แก่ผู้วิจัยเสมอมา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจ ที่ จะนำแนวทางในการดำเนินการวิจัยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ไปประยุกต์ใช้ในการทำการศึกษา และ ปรับปรุงกระบวนการผลิตต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 กระบวนการประกอบชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล.....	6
1.3 ปัจจัยที่ถูกพิจารณาในเบื้องต้นว่าอาจมีผลกระทบต่อค่าการ โกงตัวของตัวหัวเขียนอ่าน ข้อมูล.....	9
1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	11
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	11
1.6 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินการ.....	11
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	12
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
2.1 บทนำ.....	13
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง.....	13
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเกิดแรงภายในชิ้นวัสดุ.....	25
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
2.5 สรุป.....	31
บทที่ 3 ปัจจัยในกระบวนการผลิตที่มีผลกระทบต่อค่าการ โกงตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล.....	32
3.1 บทนำ.....	32
3.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลจากวิธีการทำงาน.....	33
3.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลจากวัสดุ.....	37
3.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลจากเครื่องจักร.....	43
3.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลจากคน.....	47

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.6	47
3.7	48
3.8	51
3.9	55
3.10	56
3.11	57
3.12	60
บทที่ 4	62
4.1	62
4.2	62
4.3	63
4.4	69
4.5	70
4.6	71
4.7	71
4.8	73
4.9	76
บทที่ 5	78
5.1	78
5.2	78
5.3	79
5.4	80
5.5	80
5.6	82
5.7	82

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
บทที่ 6 การคำนวณและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	84
6.1 บทนำ.....	84
6.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	84
6.3 สรุป.....	101
บทที่ 7 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	102
7.1 สรุปผลงานวิจัย.....	102
7.2 ข้อจำกัดในงานวิจัย.....	103
7.3 ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็น.....	103
รายการอ้างอิง	105
ภาคผนวก	106
ภาคผนวก ก เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการประกอบ.....	107
ภาคผนวก ข ตาราง Percentage Points of the χ^2 Distribution.....	113
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	115

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าการ โกงตัว (Crown) กับค่าความสูงของการบิน (FH).....	3
1.2 ระดับของค่าวัดที่สำคัญสำหรับกลุ่มของผลิตภัณฑ์ในแต่ละระดับประสิทธิภาพ.....	4
2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย 2 ปัจจัย (ANOVA TABLE).....	21
3.1 สรุปปัจจัยต่างๆที่ถูกเลือกเพื่อใช้ในการออกแบบการทดลอง.....	37
3.2 สรุปปัจจัยต่างๆที่ไม่ถูกเลือกเพื่อใช้ในการออกแบบการทดลอง.....	58
4.1 ระดับปัจจัยของปัจจัยที่ต้องการทำการทดลอง.....	69
4.2 สรุปแผนการออกแบบการทดลอง.....	73
4.3 เมตริกการออกแบบการทดลองพร้อมการสุ่มลำดับการทำการทดลอง.....	76
6.1 แสดงผลการทดลองของทั้งหมด 32 ชุดการทดลอง.....	85
6.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง D_Cn_Av.....	91
6.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง DCn_InS2.....	91
6.4 การวิเคราะห์สมการถดถอยของตัวแปรตอบสนอง D_Cn_Av.....	98
6.5 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการทดลองเพื่อการยืนยันผล.....	100

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์และค่าความสูงของการบิน.....	2
1.2 ค่าการ โกงตัวที่เป็นศูนย์ (รูปซ้าย) และเป็นบวก (รูปขวา).....	4
1.3 กราฟการกระจายของค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการ โกงตัวของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง.....	6
1.4 Suspension Assembly จำนวน 10 ตัวถูกวางอยู่บน Pallet.....	7
1.5 Suspension Assembly ก่อนและหลังการหยอดกาวทั้ง 2 ชนิด.....	7
1.6 Slider ถูกประกอบเข้ากับ Suspension Assembly.....	8
1.7 Head Gimbal Assembly (HGA) หลังทำการเชื่อมต่อวงจรด้วยลูกบอลทอง.....	8
2.1 ตัวแบบที่ใช้แทนกระบวนการหรือระบบโดยทั่วไป.....	14
2.2 แสดงการเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วม.....	16
2.3 การเกิดขึ้นของค่าความเค้นและค่าความเครียดบนชิ้นวัสดุ.....	26
2.4 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นและค่าความเครียด.....	26
2.5 การเกิดแรงภายในชิ้นวัสดุเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ.....	27
3.1 แผนภาพเหตุและผลซึ่งจะพิจารณาจากปัจจัยหลักตามหลัก 4M.....	33
3.2 แผนภาพแสดงเหตุและผลสาเหตุการเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าการ โกงตัวจากปัจจัยด้านวิธีการ (Method).....	34
3.3 แผนภาพแสดงเหตุและผลสาเหตุการเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าการ โกงตัวจากปัจจัยด้านวัสดุ (Material).....	39
3.4 แผนภาพแสดงเหตุและผลสาเหตุการเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าการ โกงตัวจากปัจจัยด้าน เครื่องจักร (Machine) และคน (Man)	45
4.1 แสดงระดับปัจจัยของตำแหน่งกาวโครงสร้าง.....	64
4.2 แสดงระดับปัจจัยของตำแหน่งกาวตัวนำไฟฟ้า.....	65
4.3 แสดงระดับปัจจัยของขนาดกาวโครงสร้าง.....	66
4.4 แสดงระดับปัจจัยของขนาดกาวตัวนำไฟฟ้า.....	67
4.5 แสดงระดับปัจจัยของค่าระยะห่างจากปลายท่อนำแสง UV ถึงตัวงานประกอบ.....	68
4.6 เครื่อง WYKO HD3300 ใช้สำหรับการวัดค่าการ โกงตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล.....	70
6.1 Normal Probability Plot ของ Effects ซึ่งส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง D_Cn_Av... 88	88
6.2 Pareto Chart ของ Effects ซึ่งส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง D_Cn_Av.....	88

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
6.3 Normal Probability Plot ของ Effects ซึ่งส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง DCn_In(S ²).89	89
6.4 Pareto Chart ของ Effects ซึ่งส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง DCn_In(S ²).....	89
6.5 Normal Probability Plot ของ Residuals สำหรับ D_Cn_Av.....	92
6.6 Normal Probability Plot ของ Residuals สำหรับ DCn_InS2.....	93
6.7 ค่าเรสซิดิวลของ D_Cn_Av เทียบกับลำดับที่ของการทำการทดลอง.....	93
6.8 ค่าเรสซิดิวลของ DCn_InS2 เทียบกับลำดับที่ของการทำการทดลอง.....	94
6.9 ค่าเรสซิดิวลของ D_Cn_Av เทียบกับค่าคาดหวัง.....	95
6.10 ค่าเรสซิดิวลของ DCn_InS2 เทียบกับค่าคาดหวัง.....	95
6.11 กราฟระหว่างอิทธิพลจากปัจจัยหลักกับค่าของตัวแปรตอบสนอง D_Cn_Av.....	96
6.12 กราฟระหว่างอิทธิพลจากปัจจัยร่วมที่ประกอบด้วยปัจจัยหลัก 2 ตัวกับค่า D_Cn_Av.....	96
6.13 กราฟระหว่างอิทธิพลปัจจัยหลักกับค่าของตัวแปรตอบสนอง DCn_InS2.....	97
6.14 ผลลัพธ์ที่ได้จากส่วนโปรแกรมย่อย Response Optimizer ของโปรแกรม Minitab.....	99
6.15 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองเพื่อการยืนยันผล.....	101

บทที่ 1

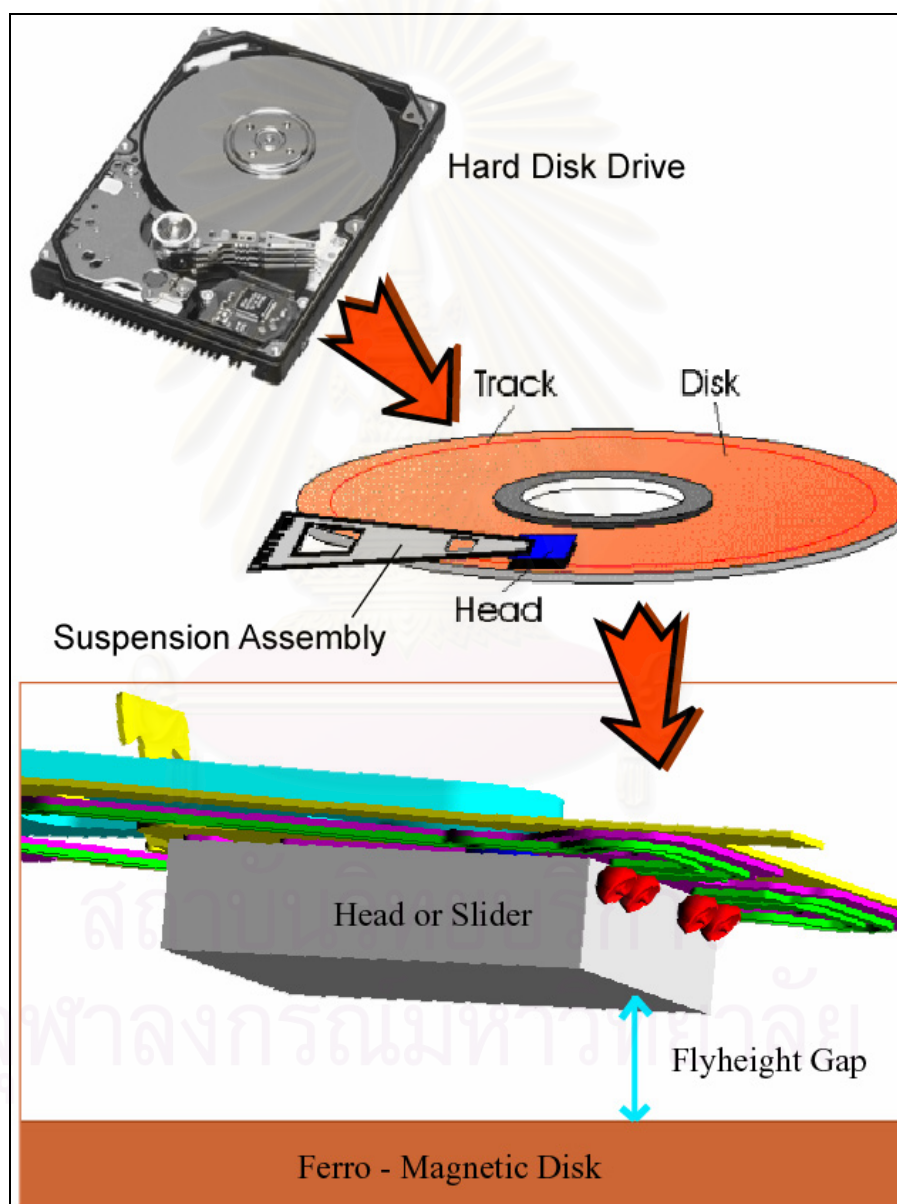
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์ในงานด้านต่างๆอย่างกว้างขวาง หรืออาจจะกล่าวได้ว่าในทุกสาขาอาชีพก็ว่าได้ จากความต้องการการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์อย่างแพร่หลายดังกล่าวนี้ ได้มีส่วนในการผลักดันให้มีการแข่งขันกันอย่างรุนแรงในการที่จะพัฒนาความสามารถต่างๆของเครื่องคอมพิวเตอร์ให้สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะรวมไปถึงในการพัฒนาความเร็วในการประมวลผลของหน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit, CPU) ความเร็วและความละเอียดในการแสดงผลบนหน้าจอแสดงผล (Monitor) ความเร็วและความละเอียดในการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ (Printer) ความเร็วในการเขียนอ่านข้อมูลและความจุของหน่วยความจำแบบสุ่ม (Random Access Memory, RAM) และความเร็วในการเขียนอ่านข้อมูลและความจุของส่วนการเก็บข้อมูลถาวรฮาร์ดดิสก์ (Hard Disk Drive) และในปัจจุบัน ความจุและความเร็วในการเขียนอ่านข้อมูลของฮาร์ดดิสก์จะมีความสำคัญสูงขึ้นเป็นอย่างมาก เนื่องจากในปัจจุบัน โปรแกรมประยุกต์เพื่อการใช้งานในด้านต่างๆมักจะมีความต้องการพื้นที่ว่างบนฮาร์ดดิสก์ค่อนข้างมาก เพื่อการเก็บตัวโปรแกรมเอง การเก็บข้อมูลสนับสนุนการทำงานต่างๆของโปรแกรม และการเก็บข้อมูลเพื่อการใช้งานโปรแกรมนั้นๆ และเพื่อเหตุผลในการจัดการการใช้งานหน่วยความจำแบบสุ่มให้ได้ประโยชน์สูงสุด เนื่องจากราคาที่สูงและมีการทำงานโดยตรงกับหน่วยประมวลผลกลาง จึงมีการจำกัดพื้นที่บางส่วนบนฮาร์ดดิสก์เพื่อใช้ในการถ่ายโอนข้อมูลที่มีระดับความสำคัญในระดับที่ต่ำในการประมวลผลของหน่วยประมวลผลกลางในขณะนั้น ไปเก็บไว้ในพื้นที่ของฮาร์ดดิสก์ในส่วนนี้ ทำให้หน่วยความจำแบบสุ่มมีที่ว่างมากพอสำหรับการเก็บข้อมูลที่มีระดับความสำคัญที่สูงในการประมวลผลในขณะนั้น

จากการพัฒนาปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ คุณภาพ และความน่าเชื่อถือ ของตัวเก็บข้อมูลถาวรฮาร์ดดิสก์ให้ดีขึ้น ทำให้ค่าวัดทางกายภาพตัวหนึ่งมีความสำคัญมากขึ้นด้วย ซึ่งก็คือค่าการโก่งตัวตามแนวยาว (ค่า Crown) ของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล (Write/Read Head หรือ Slider) ของชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล (Write/Read Head Assembly หรือ Head Gimbal

Assembly, HGA) ซึ่งตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลนี้เป็นชิ้นส่วนพื้นฐานของตัวฮาร์ดดิสก์ ซึ่งมีขนาดแค่เพียง $0.0394 \times 0.0492 \times 0.0118$ นิ้ว ($1.0 \times 1.25 \times 0.3$ มิลลิเมตร) ทำหน้าที่ในการสร้างสนามแม่เหล็กเพื่อใช้แทนข้อมูลในการบันทึกลงบนแผ่นจานเคลือบสารแม่เหล็ก (Ferro - Magnetic Disk) และทำหน้าที่ในการอ่านข้อมูลที่เป็นสนามแม่เหล็กที่ถูกบันทึกไว้บนแผ่นจานเคลือบสารแม่เหล็กเพื่อใช้ในการประมวลผลต่อไปด้วย และค่าการโก่งตัวตามแนวยาวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลนี้เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลโดยตรงต่อค่าความสูงของการบิน (Fly Height Gap) หรือ



รูปที่ 1.1 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์และค่าความสูงของการบิน

คือระยะห่างระหว่างตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลกับพื้นผิวของแผ่นจานเคลือบสารแม่เหล็ก ซึ่งใช้เป็นสื่อในการเก็บบันทึกข้อมูลในตัวฮาร์ดดิสก์ (พิจารณาลักษณะของค่าความสูงของการบิน ได้จากในรูป

ที่ 1.1) เมื่อค่าความสูงของการบินของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลเปลี่ยนไป จะทำให้ประสิทธิภาพในการเขียนอ่านข้อมูลบนแผ่นงานเคลือบสารแม่เหล็กดังกล่าวถูกกระทบได้ กล่าวคือ เมื่อพิจารณาในแง่ของความเข้มของสนามแม่เหล็ก หากค่าความสูงของการบินสูงขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากค่าความโก่งตัวตามแนวยาวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลมีค่าเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพในการเขียนอ่านข้อมูลด้อยลง ในทางตรงกันข้าม หากค่าความสูงของการบินต่ำลง ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากค่าความโก่งตัวตามแนวยาวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลมีค่าลดต่ำลง จะทำให้ประสิทธิภาพในการเขียนอ่านข้อมูลดีขึ้น แต่จะเพิ่มความเสี่ยงต่อการที่ตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลจะถูกขูดขีดจากพื้นผิวของแผ่นงานเคลือบสารแม่เหล็ก ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลจนถึงขั้นทำให้ตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลนั้นๆเสียหายได้ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความน่าเชื่อถือของตัวผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักตัวหนึ่งที่จะส่งผลโดยตรงต่อการระงับการสั่งซื้อตัวผลิตภัณฑ์จากลูกค้าได้

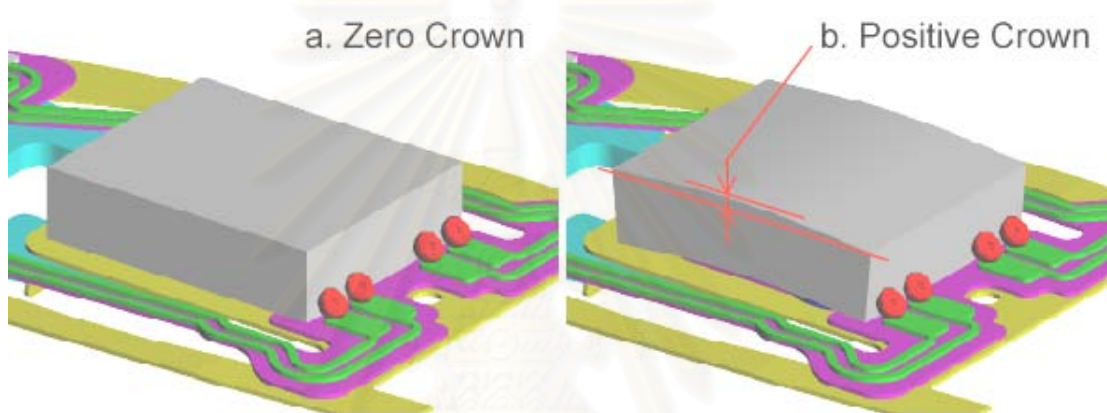
ตารางที่ 1.1 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าการโก่งตัว (Crown) กับค่าความสูงของการบิน (FH)

Sensitivities (FH: μ inch)

Variable	FHZ1	FHZ2	FHZ3	FHZ4
Slider Length (/mil)	0.027	0.027	0.032	0.035
Slider Width (/mil)	-0.0016	0.0007	0.0016	0.0003
Slider Parting-Cut Shift(/mil)	-0.003	0.001	0.003	0.001
Relief-Cut Width (/mil)	0.0015	0.0010	0.0004	0.0096
Relief-Cut Shift(/mil)	0.000	0.000	0.000	0.000
Crown(/uin)	0.1590	0.1740	0.2070	0.2330
Camber (/uin)	-0.1380	-0.1380	-0.1425	-0.1860
Twist (/uin)	-0.0387	-0.0316	0.0003	0.0549
X misalignment (/uin)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Y misalignment (/uin)	-0.0001	-0.0002	-0.0002	-0.0002
ABS Shrinkage (/uin)	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009
Wall angle(/deg.)	-0.0009	-0.0011	-0.0008	-0.0008
Shallow Step (/uin)	0.0190	0.0527	0.1140	0.1200
Deep Cavity (/uin)	-0.0010	-0.0036	-0.0111	-0.0165
Alumina Recession(/u")	0.1500	0.2000	0.2000	0.2000
Gram Load (/gm)	-0.1360	-0.1430	-0.1585	-0.1680
X Load Position (/mil)	-0.0031	0.0014	0.0032	0.0005
Y Load Position (/mil)	0.0227	0.0203	0.0180	0.0194
Pitch Static Attitude (/deg)	-0.0335	-0.0323	-0.0264	-0.0285
Roll Static Attitude (/deg)	-0.0029	0.0004	0.0050	-0.0006
Pitch Stiffness(/in-gm/deg)	0.0000	0.0000	-10.4167	-10.4167
Roll Stiffness(/in-gm/deg)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงของการบิน ซึ่งมีผลกระทบมาจากค่าการโก่งตัวตามแนวยาวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลของตัวผลิตภัณฑ์ที่ถูกเลือกเพื่อทำการศึกษา ดังในตารางที่ 1.1 ซึ่งได้มาจากตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Finite Element Analysis) โดยที่ตัวแบบจำลอง

นี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยเฉพาะสำหรับการวิเคราะห์เรื่องความสูงของการบิน และตารางที่ 1.1 นี้ได้ถูกจัดทำขึ้นโดยส่วนวิจัยและพัฒนาของบริษัทแม่ของโรงงานตัวอย่าง พบว่าค่าความสูงของการบินจะเพิ่มขึ้นประมาณ 0.2 ส่วนในล้านส่วนของหนึ่งนิ้ว ($0.2 \mu - inch$) เมื่อค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลเพิ่มขึ้น 1 ส่วนในล้านส่วนของหนึ่งนิ้ว ($1.0 \mu - inch$) และความสัมพัทธ์นี้ก็จะแสดงผลในทางกลับกันเมื่อค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลมีค่าลดลง และความสัมพัทธ์ระหว่างค่าความสูงของการบินซึ่งมีผลกระทบมาจากค่าการโก่งตัวตามความยาวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลนี้ถูกพิจารณาให้มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น สำหรับลักษณะของการโก่งตัวที่เป็นบวกเปรียบเทียบกับการโก่งตัวที่เป็นบวกสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 ค่าการโก่งตัวที่เป็นศูนย์ (รูปซ้าย) และเป็นบวก (รูปขวา)

ตารางที่ 1.2 ระดับของค่าวัดที่สำคัญสำหรับกลุ่มของผลิตภัณฑ์ในแต่ละระดับประสิทธิภาพ

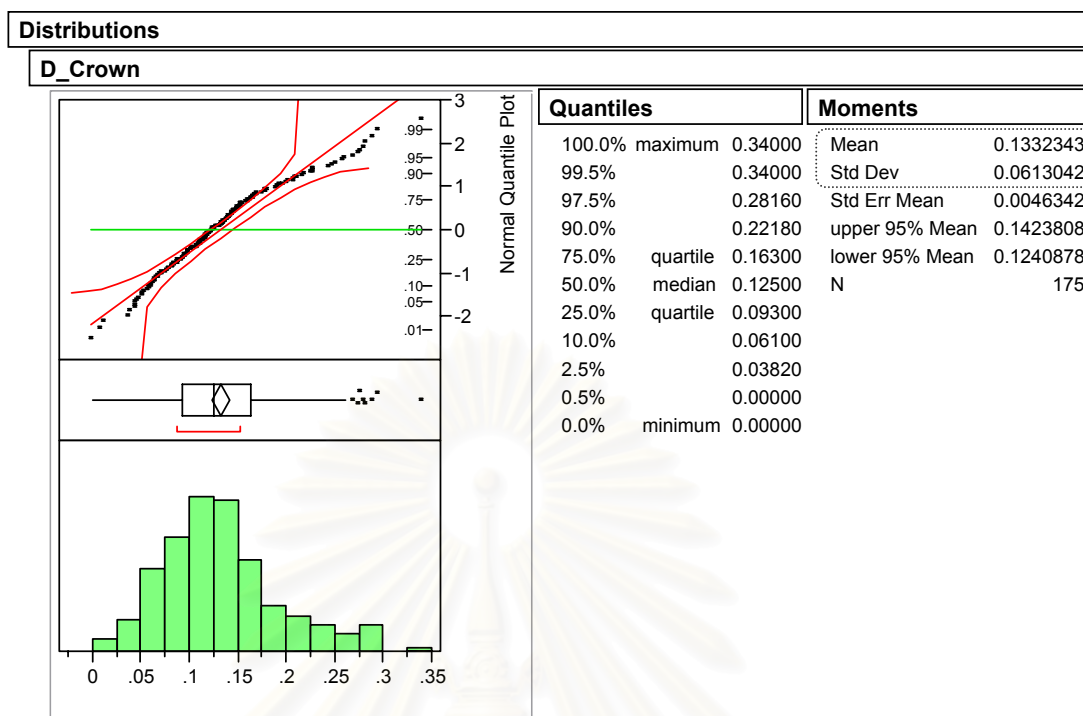
Areal Density	Gbits/in ²	15	22	30	45	60	80	100
Capacity	GB/3.5"	20	30	41	61	81	108	135
Fly Height Target	$\mu - inch$	0.64	0.50	0.45	0.40	0.30	0.25	0.20
Fly Height Sigma	$\mu - inch$	0.051	0.040	0.036	0.032	0.024	0.020	0.016
Slider Crown Sigma	$\mu - inch$	0.09	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
HGA Crown Sigma	$\mu - inch$	0.10	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Induced Crown Sigma	$\mu - inch$	0.044	0.036	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033

หมายเหตุ: เป็นค่าอ้างอิงภายในโรงงานตัวอย่าง เพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการ

ดังนั้นเพื่อเป็นการปรับปรุงความน่าเชื่อถือของตัวผลิตภัณฑ์ชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล ค่าการโก่งตัวตามแนวยาวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลดังกล่าวนี้ ควรจะต้องมีค่าที่เสถียร กล่าวคือมีความผันแปรต่ำเมื่อพิจารณาระหว่างชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลแต่ละตัว และ

หากสามารถทำให้ค่าการโก่งตัวนี้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ระดับใกล้เคียงศูนย์ได้ จะทำให้การพัฒนาออกแบบตัวผลิตภัณฑ์รุ่นใหม่ที่มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นต่อไปจะทำได้ง่ายขึ้น

จากตารางแนวโน้มทางความสามารถของกระบวนการที่ต้องการ เพื่อรองรับกับตัวผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังในตารางที่ 1.2 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าวัดที่สำคัญส่วนหนึ่งที่ต้องการสำหรับตัวผลิตภัณฑ์ชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล สำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละกลุ่มระดับประสิทธิภาพ (ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลที่กำลังทำตลาดอยู่ จะอยู่ในกลุ่มความจุ 40 ถึง 80 กิกะไบต์ต่อแผ่นจานเคลือบสารแม่เหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 นิ้ว หนึ่งแผ่น) เมื่อเปรียบเทียบกับความสามารถของกระบวนการในปัจจุบัน (ข้อมูลของผลิตภัณฑ์ที่ถูกเลือกมาเพื่อทำการศึกษา ซึ่งมีชื่อรหัสว่า FN) ดังในรูปที่ 1.3 ซึ่งเป็นกราฟการกระจายของข้อมูลค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล ซึ่งได้ทำการเก็บรวบรวมไว้ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2545 พบว่าความสามารถของกระบวนการในปัจจุบัน ยังไม่สามารถที่จะให้ผลของค่าการโก่งตัวตามแนวยาวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลได้ตามที่มีการตั้งเป้าหมายไว้ ซึ่งก็คือต้องการให้ค่าความผันแปรของการเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวตามแนวยาวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล ซึ่งเกิดขึ้นจากกระบวนการการประกอบชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล ให้มีค่าน้อยที่สุด หรืออย่างน้อยต้องไม่เกินที่มีการกำหนดไว้ในแนวโน้มความต้องการของตัวผลิตภัณฑ์ ซึ่งตัวผลิตภัณฑ์ที่ถูกเลือกเพื่อทำการศึกษานั้นอยู่ในระดับความจุ 40 กิกะไบต์ แต่ต้องการใช้เป็นตัวอย่างเพื่อทำการศึกษาเพื่อการนำไปใช้สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในระดับ 80 กิกะไบต์ ดังนั้นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวตามแนวยาวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลนี้ควรอยู่ในระดับ $0.033 \mu - inch$ หรือต่ำกว่า และค่าเฉลี่ยควรจะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ในขณะที่ในปัจจุบันค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ระดับ $0.06 \mu - inch$ และค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $0.13 \mu - inch$ เมื่อพิจารณาจากความสามารถของเครื่องมือวัดพบว่าค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวเครื่องมือวัดอยู่ที่ระดับ $0.003 \mu - inch$ เท่านั้น จึงถูกพิจารณาว่าระบบการวัดมีความสามารถพอ ดังนั้นเพื่อเป็นการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการเพื่อให้ได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวตามแนวยาวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล ตามที่ระบุไว้แล้ว การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE) จึงถูกนำมาใช้เพื่อเป็นเครื่องมือในการศึกษาว่าปัจจัยใดบ้างในกระบวนการผลิต ที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวตามความยาวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล รวมถึงการกำหนดระดับของปัจจัยต่างๆ เหล่านั้นในระดับที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวตามความยาวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล อยู่ในระดับที่พึงประสงค์ต่อไป



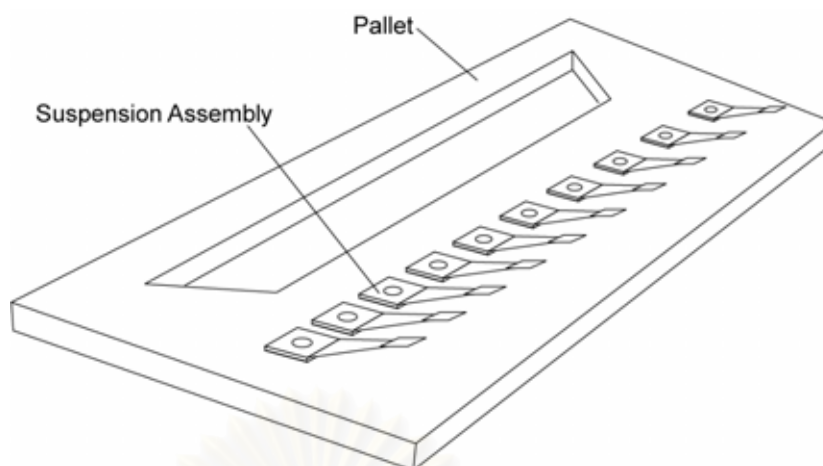
รูปที่ 1.3 กราฟการกระจายของค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

1.2 กระบวนการประกอบชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล

สำหรับกระบวนการประกอบชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลนั้น ในปัจจุบันได้ใช้กระบวนการการประกอบแบบกึ่งอัตโนมัติทั้งกระบวนการ ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆดังนี้

กระบวนการที่ 1

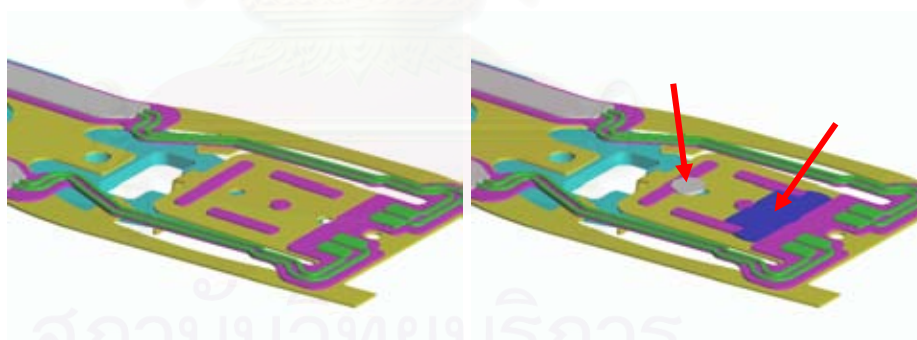
เป็นการถ่ายโอนวัตถุดิบทางตรงชนิดที่ 1 ซึ่งเรียกว่าแกนยึดตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล หรือ Suspension Assembly เข้าสู่ตัวรองรับแกนยึดตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล (Pallet) ซึ่งตัวรองรับดังกล่าวสามารถบรรจุแกนยึดตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลได้ 10 ตัว (รูปที่ 1.4)



รูปที่ 1.4 Suspension Assembly จำนวน 10 ตัวถูกวางอยู่บน Pallet

กระบวนการที่ 2

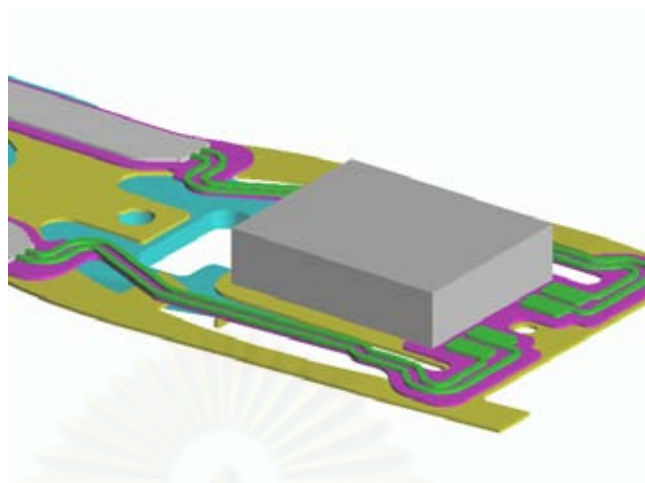
ทำการหยอดกาวสองชนิดตามรูปแบบที่ได้ออกแบบไว้ ทั้งตำแหน่งและขนาด บนตัวแขนยึดตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลในบริเวณที่จะใช้ในการยึดกับตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล กาวสองชนิดนี้ประกอบด้วย กาวโครงสร้างซึ่งเป็นตัวสร้างความแข็งแรงของการจับยึด และ กาวตัวนำไฟฟ้าซึ่งมีส่วนผสมของตัวนำไฟฟ้า เพื่อการถ่ายเทประจุที่อาจจะเกิดการสะสมบนตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลผ่านลำตัวของแขนยึดและลงสู่สายดินต่อไป (รูปที่ 1.5)



รูปที่ 1.5 Suspension Assembly ก่อนและหลังการหยอดกาวทั้ง 2 ชนิด

กระบวนการที่ 3

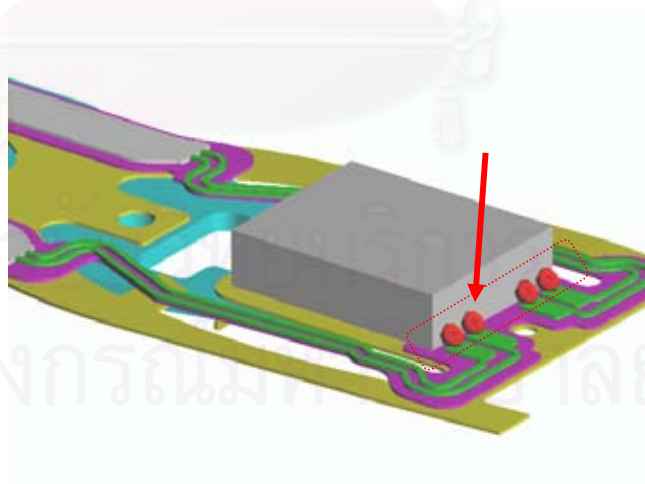
นำวัตถุคิบบางตรงชนิดที่ 2 ซึ่งก็คือตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล (Slider) มาประกอบเข้ากับตัวแขนยึด (Suspension Assembly) ตรงบริเวณที่ได้ทำการหยอดกาวไว้แล้ว พร้อมทั้งทำการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet, UV) สู่ตัวงานที่กำลังประกอบ ตามระยะเวลาที่ปรับตั้งไว้ เพื่อให้กาวโครงสร้างแข็งตัวในระดับหนึ่งและสามารถยึดตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลไว้ได้ และสามารถส่งเข้าสู่กระบวนการประกอบถัดไปได้ (รูปที่ 1.6)



รูปที่ 1.6 Slider ถูกประกอบเข้ากับ Suspension Assembly

กระบวนการที่ 4

นำตัวงานจากกระบวนการที่ 3 มาเชื่อมต่อวงจรของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลเข้ากับวงจรของตัวแขนยึดอย่างถูกต้องและแข็งแรง โดยการใช้ลูกบอลทอง (Gold Ball Bonding) เป็นตัวเชื่อมวงจรที่จุดต่างๆ และใช้การสั่นด้วยความถี่สูงย่านอัลตราโซนิก (Ultrasonic) ในการสร้างการเชื่อมต่อ (รูปที่ 1.7)



รูปที่ 1.7 Head Gimbal Assembly (HGA) หลังทำการเชื่อมต่อวงจรด้วยลูกบอลทอง

กระบวนการที่ 5

นำตัวงานจากกระบวนการที่ 4 เข้าสู่ตู้อบกาว ซึ่งจะใช้รังสีความร้อน (Infrared ray, IR) เพื่อให้กาวทั้งสองชนิดแข็งตัวและแห้งเต็มที่ โดยการให้ความร้อนแก่ตัวงานประกอบนี้ จะต้องมีการปรับตั้งให้ได้ค่าอุณหภูมิและระยะเวลาตามที่กำหนดไว้

หลังจากที่ตัวงานประกอบผ่านกระบวนการที่ 5 แล้ว ก็จะถือว่าเป็นการเสร็จสิ้นขั้นตอนการประกอบ สำหรับในขั้นตอนต่อไป ชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลก็จะเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบต่างๆ ทั้งการตรวจโดยพนักงานตรวจสอบผ่านกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายต่างๆ การตรวจสอบค่าวัดทางกล และการตรวจสอบค่าวัดทางด้านไฟฟ้าและแม่เหล็ก พร้อมทั้งการทำความสะอาด รวมถึงการประกันคุณภาพโดยส่วนของแผนกประกันคุณภาพ และเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการทั้งหมดแล้ว ชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลก็พร้อมที่จะทำการบรรจุหีบห่อเพื่อการเก็บเข้าคลังสินค้าสำเร็จรูปเพื่อการส่งมอบให้กับลูกค้าต่อไป

การทดสอบค่าการโค้งตัวตามแนวยาวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลนี้ ต้องใช้เวลาในการตรวจสอบที่นาน เนื่องจากข้อจำกัดในแง่ของจำนวนเครื่องที่ใช้ในการตรวจสอบและที่ตั้งของตัวเครื่องมือวัดนี้อยู่ในส่วนการผลิตส่วนอื่น และตัวงานที่ถูกตรวจสอบแล้วจะไม่สามารถนำมาใช้งานได้อีก รวมถึงค่าวัดนี้เป็นเพียงค่าวัดเพื่อการควบคุมภายในของบริษัทเอง ไม่มีการกำหนดไว้ในข้อกำหนดผลิตภัณฑ์ของลูกค้า ดังนั้นการสุ่มตรวจสอบค่าวัดดังกล่าวนี้จึงกระทำการสุ่มงานจากแต่ละสายการผลิตเป็นจำนวน 5 ตัวต่อวัน ซึ่งเป็นจำนวนที่ได้รับการยอมรับจากส่วนที่เกี่ยวข้องต่างๆ เป็นการภายในของโรงงานตัวอย่าง เช่น ส่วนผลิตที่เป็นผู้ดูแลเครื่องมือวัดค่าการโค้งตัว และส่วนของวิศวกรควบคุมคุณภาพ เป็นต้น และตัวงานที่ถูกสุ่มเป็นตัวอย่างเพื่อทำการตรวจสอบจะเป็นตัวงานเสียจากการตรวจสอบค่าวัดทางไฟฟ้าและแม่เหล็กเท่านั้น เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการที่จะต้องนำตัวงานที่เป็นงานดีมาทำการตรวจสอบซึ่งมีราคาที่สูงมาก

1.3 ปัจจัยที่ถูกพิจารณาในเบื้องต้นว่าอาจมีผลกระทบต่อค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล

1. ความผันแปรของคุณสมบัติทางกล ในแง่ของความแข็งแรงและการเปลี่ยนแปลงเมื่อกระทบกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของทั้ง ส่วนที่ใช้ในการยึดตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลของตัวแกนยึด ตัวเขียนอ่านข้อมูล กาวทั้งสองชนิดที่ใช้ในการยึดตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลเข้ากับตัวแกนยึด และตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลเอง

2. รูปแบบของการหยอดกาวทั้งสองชนิด ในแง่ของตำแหน่งและขนาด บนตัวแขนยึดตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลในบริเวณที่จะใช้ในการยึดกับตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล
3. การปรับตั้งเครื่องมือจับยึด เพื่อการทำการต่อเชื่อมสายวงจรด้วยลูกบอลทอง โดยเฉพาะค่าแรงกดบีบตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล
4. การปรับตั้งค่าต่างๆ ของเครื่องซึ่งใช้ในการทำการเชื่อมลูกบอลทองซึ่งประกอบด้วย แรงกดที่ใช้ในการต่อเชื่อม และกำลังของการสั่นด้วยความถี่สูงในการต่อเชื่อม (Ultrasonic power)
5. อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบกาวทั้งสองชนิดภายในตู้อบกาว
6. ลำดับขั้นตอนของกระบวนการต่างๆในปัจจุบัน

ตัวอย่างของปัจจัยที่อาจจะถูกเลือกเพื่อทำการศึกษา เช่น

1. รูปแบบของการหยอดกาวทั้ง 2 ชนิด ซึ่งอาจมีระดับของปัจจัยเป็น รูปแบบที่ถูกใช้ใน ปัจจุบัน และรูปแบบที่ถูกนำเสนอขึ้นมาใหม่ในแง่ของตำแหน่งของหยอดกาวซึ่งพิจารณาจากความต้านทานการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลที่ น่าจะสูงขึ้น
2. ขนาดของหยอดกาวทั้งสองชนิด ซึ่งอาจมีระดับของปัจจัยเป็น ปริมาณที่ใช้อยู่ใน ปัจจุบัน และปริมาณที่มากขึ้นเป็นสองเท่าเพื่อดูผลกระทบจากการที่ปริมาณของ กาวเปลี่ยนไป
3. อุณหภูมิที่ใช้ในการอบกาว ซึ่งอาจมีระดับของปัจจัยเป็น อุณหภูมิที่ใช้ในปัจจุบัน และอุณหภูมิที่ต่ำกว่าในปัจจุบัน เนื่องจากพิจารณาแล้วว่าการอบงานที่อุณหภูมิต่ำลงจะทำให้เกิดการขยายตัวของส่วนประกอบต่างๆที่น้อยลง ซึ่งน่าจะทำให้การโค้งตัวมีค่าน้อยลง (ส่วนของเวลาในการอบจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เลือกใช้)
4. ขนาดของแรงบีบกด ซึ่งใช้ในการยึดตัวงานไว้ในระหว่างการทำการเชื่อมต่อวงจรของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลเข้ากับวงจรของตัวแขนยึดโดยการใส่ลูกบอลทอง (ตั้งในขั้นตอนของกระบวนการที่ 4) ซึ่งอาจมีระดับของปัจจัยเป็น ค่าที่ใช้ในปัจจุบัน และค่าที่สูงกว่าในปัจจุบัน เพื่อดูผลกระทบจากการที่ค่าของแรงบีบกดเปลี่ยนแปลงไป

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทำการศึกษาว่าปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการประกอบชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลโดบบ้างที่ส่งผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญ ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวตามแนวยาวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล โดยใช้การออกแบบการทดลอง
2. พิจารณาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญ เพื่อให้ได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวตามแนวยาวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลอยู่ที่ระดับไม่เกิน 0.033 ส่วนในล้านส่วนของหนึ่งนิ้ว (0.033 $\mu - inch$)

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1. ด้วยข้อจำกัดในด้านวัตถุดิบทางตรง จะทำการศึกษานบนผลิตภัณฑ์เพียงรุ่นเดียวเท่านั้น ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เพิ่งถูกเลิกการผลิต จึงทำให้มีปริมาณวัตถุดิบคงคลังที่สามารถนำมาทำการศึกษาได้ ซึ่งมีชื่อรหัสผลิตภัณฑ์ว่า FN
2. ในการวิจัยจะมีการใช้ตัววัตถุดิบทางตรง และวัตถุดิบทางอ้อมเพียงประเภทเดียวเท่านั้น ซึ่งก็คือวัตถุดิบซึ่งใช้กับผลิตภัณฑ์ FN เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงชนิดของวัตถุดิบทางตรงหรือทางอ้อมใดๆ ต้องได้รับการอนุมัติจากลูกค้าอย่างเป็นทางการก่อนเสมอ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้เวลายาวนานมาก

1.6 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินการ

1. สืบรวจงานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2. รวบรวมข้อมูลของค่าวัดการโก่งตัวตามแนวยาวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล
3. ศึกษากระบวนการผลิตต่างๆ เพื่อการบ่งชี้ถึงปัจจัยต่างๆ ที่อาจจะส่งผลต่อค่าการโก่งตัวตามแนวยาวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล
4. คัดเลือกปัจจัยเฉพาะที่มีศักยภาพ หรือมีแนวโน้มว่าจะส่งผลกระทบต่อค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล เพื่อทำการศึกษา โดยการนำเอาวิธีการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้

5. ออกแบบการทดลอง ทำการทดลอง ทำซ้ำ ปรับเปลี่ยนการทดลองใดๆที่จำเป็น เมื่อมีความเข้าใจมากขึ้นในผลกระทบของปัจจัยต่างๆที่มีต่อการโค้งตัว หลังจากที่มีการทำการทดลองใดๆไปแล้ว
6. จากการทดลองเมื่อได้ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อค่าการ โค้งตัวของตัวหัวเขียน อ่านข้อมูลแล้ว ทำการเลือกระดับของปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อทำการทดลองเพื่อ ยืนยันผล
7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ทำให้มีความเข้าใจมากขึ้นใน หลักการ ปัญหา ข้อควรระวัง และการแก้ปัญหา ต่างๆ ที่สัมพันธ์กับการออกแบบการทดลอง ซึ่งจะได้จากประสบการณ์จริงในการ ปฏิบัติงานในการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม
2. ทำให้มีความเข้าใจถึงปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการผลิตว่าปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญ ต่อค่าการ โค้งตัวตามแนวความยาวของตัวหัวเขียนอ่าน ข้อมูล เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการเพื่อการประกอบตัวผลิตภัณฑ์ ใหม่ให้มีคุณภาพที่สูงขึ้นต่อไป
3. อาจนำผลลัพธ์ที่ได้จากการทำการศึกษาบนผลิตภัณฑ์ FN ไปทดสอบยืนยันผลเพื่อ การประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ CS ต่อไปได้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ FN และ CS นี้เป็น ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในตระกูลเดียวกัน กล่าวคือเป็นผลิตภัณฑ์ของลูกค้ำรายเดียวกัน และมีการใช้วัสดุดิบต่างๆชนิดเดียวกัน และผลิตภัณฑ์ CS นี้กำลังอยู่ระหว่างการ ดำเนินการเพื่อการทดสอบโดยลูกค้ำ เพื่อการอนุมัติให้ทำการผลิตในลักษณะ ปริมาณมาก ซึ่งความแตกต่างมีอยู่เพียงอย่างเดียวคือ ผิวหน้าที่แตกต่างกันของตัว หัวเขียนอ่านข้อมูล (ผิวหน้านี้ จะมีความแตกต่างกันในแง่ของรูปร่างและความลึก ของการกัดเซาะผิวหน้าเพื่อการสร้างความสูงของการบินที่แตกต่างกัน ซึ่ง กระบวนการกัดเซาะผิวหน้านี้ จะอยู่ในกระบวนการของการผลิตตัวหัวเขียนอ่าน ข้อมูล)

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

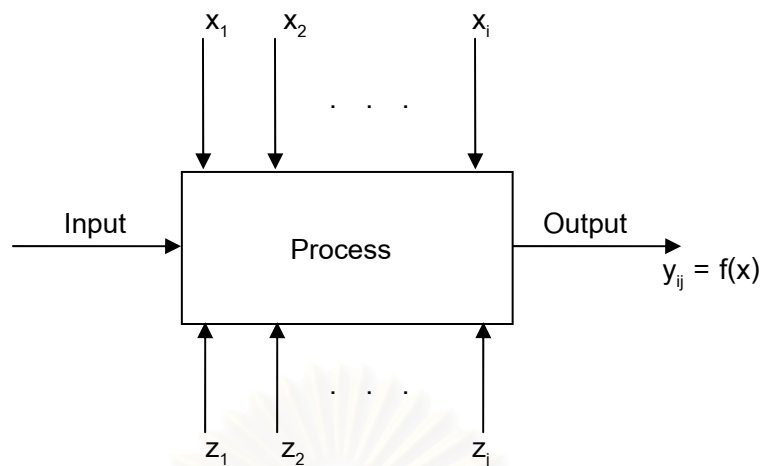
2.1 บทนำ

ในการดำเนินการวิจัยในเรื่องใดๆ สิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญมากคือ การศึกษาถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหลักการและวิธีการที่จะสามารถนำมาใช้ในการทำการวิจัยได้ ดังนั้นในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ การออกแบบการทดลอง การเกิดขึ้นของการโค้งตัว ความสามารถในการต้านทานการโค้งตัว รวมถึงงานวิจัยและเอกสารต่างๆที่เกี่ยวข้องกับ การออกแบบการทดลอง กระบวนการประกอบชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล และการเกิดการโค้งตัว

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง

2.2.1 กลยุทธ์ของการทดลอง [1]

การทดลองต่างๆ (Experiment) โดยทั่วไปแล้วมีเป้าหมายเพื่อการค้นหาความรู้บางอย่างที่เกี่ยวข้องกับระบบหรือกระบวนการที่สนใจ การทดลองอาจจะหมายถึงการทดสอบ (Test) หรือชุดของการทดสอบ (Series of Tests) ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรขาเข้า (Input Variables) อย่างตั้งใจเพื่อมุ่งหวังที่จะสังเกตความเปลี่ยนแปลงใดๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนอง (Output Response) ของระบบหรือกระบวนการที่กำลังถูกศึกษา สำหรับในงานด้านวิศวกรรม การทดลองมีบทบาทสำคัญต่อ การออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ การพัฒนากรรมวิธีการผลิต และการปรับปรุงกระบวนการผลิต ในหลายกรณีอาจมีการตั้งเป้าหมายเพื่อ การพัฒนาระบบซึ่งมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงที่สูง (Robust Process) กล่าวคือระบบซึ่งแหล่งของความผันแปรต่างๆ ภายนอกกระบวนการจะมีผลกระทบต่อระบบในระดับที่ต่ำ และตัวแบบเพื่อใช้แทนระบบโดยทั่วไป อาจจะเป็นดังในรูปที่ 2.1 ดังนี้



โดยที่ y คือ ตัวแปรตามหรือผลิตภัณฑ์

z, x คือ ตัวแปรอิสระหรือปัจจัย

โดยที่ x คือปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ ในขณะที่ z คือปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้

และ $y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$

ซึ่ง μ คือ ค่าเฉลี่ย

τ_i คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อน

รูปที่ 2.1 ตัวแบบที่ใช้แทนกระบวนการหรือระบบโดยทั่วไป

ปัจจัย (Factor) ของระบบหรือกระบวนการอาจจะแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ (Controllable Factors) เป็นปัจจัยที่สามารถกำหนดปรับเปลี่ยนได้ในกระบวนการ ซึ่งทำให้ผู้ทำการทดลองสามารถทำการศึกษา ผลกระทบที่อาจจะมีต่อตัวแปรตอบสนองได้อย่างสะดวก
2. ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable factors) เป็นปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดปรับเปลี่ยนได้ในกระบวนการ (ถึงแม้ว่าในแง่ของการทำการทดลองจะสามารถปรับเปลี่ยนได้ก็ตาม) อาจจะเป็นเนื่องมาจากเทคโนโลยีที่ไม่ทันสมัยพอ หรือ ต้นทุนในการปรับเปลี่ยนสูงมาก หรือ มีความรู้ไม่เพียงพอ เป็นต้น ซึ่งอาจจะเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างมากต่อตัวแปรตอบสนองก็ได้

เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ของการทดลองอาจจะเป็นดังนี้

1. หาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง y มากที่สุด
2. หาระดับของค่า x ที่มีอิทธิพลต่างๆ ซึ่งทำให้ได้ค่า y ใกล้เคียงกับที่คาดหมายไว้
3. หาระดับของค่า x ที่มีอิทธิพลต่างๆ ซึ่งทำให้ได้ค่า y ที่มีความผันแปรน้อย
4. หาระดับของค่า x ที่มีอิทธิพลต่างๆ ซึ่งผลกระทบจากตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมมีผลต่อค่า y น้อยที่สุด

กลยุทธ์ส่วนหนึ่งที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

2.2.1.1 การคาดคะเนที่ดีที่สุด (Best – Guess Approach)

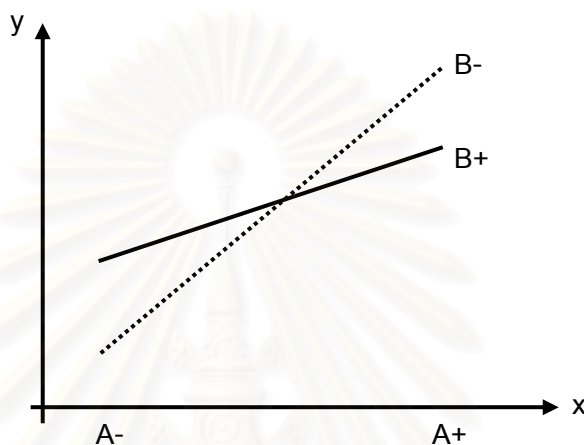
เป็นการทดลองที่ทำการลองปรับค่าของตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ ตามความเชื่อหรือประสบการณ์ของผู้ทำการทดลอง และพิจารณาผลตอบสนองว่าเป็นไปในทิศทางใด และการปรับเปลี่ยนค่าครั้งต่อไปจะขึ้นกับผลลัพธ์จากการทดลองครั้งที่ผ่านมา อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อเสียอยู่ 2 ประการคือ

1. หากผลของการทดลองครั้งแรกไม่เป็นไปตามที่คาดหมายไว้ อาจจะต้องมีการทำการทดลองต่อๆ มาอีก ซึ่งจะมีการทำซ้ำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ โดยที่ไม่สามารถรับประกันได้เลยว่าจะพบค่าของผลตอบสนองตามที่ต้องการหรือไม่ และเมื่อไร ซึ่งอาจจะทำให้มีการใช้ทรัพยากรไปอย่างสิ้นเปลืองได้
2. หากผลของการทดลองครั้งแรกเป็นไปตามต้องการ ผู้ทำการทดลองอาจจะหยุดการทำการทดลองต่อ ซึ่งค่าที่ได้อาจจะไม่ใช่ค่าที่ดีที่สุดก็ได้

2.2.1.2 การพิจารณาครั้งละปัจจัย (One – Factor – at – a – Time)

จะเริ่มด้วยการกำหนดปัจจัยที่จะพิจารณาก่อน และกำหนดระดับพื้นฐาน (Baseline) ของแต่ละปัจจัย การทดลองจะทำการพิจารณาครั้งละปัจจัยโดยปัจจัยที่ถูกเลือกเพื่อทำการศึกษานั้นจะถูกปรับค่าไปที่ระดับต่างๆที่ต้องการศึกษาจนครบ ในขณะที่ปัจจัย

อื่นถูกกำหนดให้คงที่ ณ ระดับพื้นฐานทั้งหมด เมื่อทำการทดลองบนปัจจัยแรกเสร็จก็จะเปลี่ยนไปทำการทดลองบนปัจจัยอื่นๆต่อไปจนครบทุกปัจจัย การทดลองแบบนี้มีข้อเสียคือ อิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction) จะไม่ถูกนำมาพิจารณาด้วย ซึ่งอิทธิพลของปัจจัยร่วมนี้คือ การที่อิทธิพลของปัจจัยใดๆ ส่งผลกระทบต่อค่าของตัวแปรตอบสนองในขนาดที่ต่างกันเมื่อระดับของปัจจัยอีกปัจจัยหนึ่งอยู่ที่ระดับต่างกัน ดังในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงการเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction)

2.2.1.3 การทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design)

การทดลองแบบแฟคทอเรียล เป็นการทดลองซึ่งจะมีการปรับเปลี่ยนระดับของปัจจัยต่างๆไปพร้อมกันทุกปัจจัย การทดลองแบบนี้จะมีการพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยร่วมด้วย และการทดลองแบบแฟคทอเรียลนี้ยังมีรูปแบบให้เลือกใช้อย่างมากมายตามความเหมาะสมของเงื่อนไขและเป้าหมายต่างๆของแต่ละการทดลอง

2.2.2 การประยุกต์เพื่อการนำการออกแบบการทดลองมาใช้งาน [1]

การออกแบบการทดลอง เป็นเครื่องมือที่สำคัญอย่างมากในระบบงานด้านวิศวกรรม สำหรับการเพิ่มความสามารถของกระบวนการการผลิต และยังมีนำไปประยุกต์เพื่อการใช้งานสำหรับการพัฒนากระบวนการใหม่ๆ การประยุกต์ใช้งานเทคนิคการออกแบบการทดลองต่างๆในส่วนของพัฒนากระบวนการยังให้ได้ผลลัพธ์ดังนี้

1. การลดของเสียในกระบวนการผลิต

2. ลดความผันแปร และทำให้ผลลัพธ์ของกระบวนการหรือตัวผลิตภัณฑ์เข้าใกล้ค่าเป้าหมายตามข้อกำหนดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ
3. ลดเวลาที่ต้องใช้เพื่อการพัฒนา
4. ลดต้นทุนโดยรวม

วิธีการการออกแบบการทดลองได้เข้ามามีบทบาทอย่างมาก ในกิจกรรมต่างๆของการออกแบบทางวิศวกรรม ซึ่งเป็นผลดีต่อตัวผลิตภัณฑ์ใหม่ได้ถูกพัฒนาขึ้น ส่วนตัวผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันก็จะได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้น ส่วนหนึ่งของการประยุกต์ใช้งานการออกแบบการทดลองในงานการออกแบบทางวิศวกรรมประกอบไปด้วย

1. การประเมินและเปรียบเทียบตัวเลือกของการออกแบบเบื้องต้นต่างๆ
2. การประเมินวัสดุทางเลือกต่างๆ
3. การเลือกพารามิเตอร์ของการออกแบบ ซึ่งทำให้ตัวผลิตภัณฑ์สามารถยังคงใช้งานได้เป็นอย่างดี ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันอย่างมากระหว่าง (Robust design)
4. ระบุพารามิเตอร์หลักของการออกแบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของตัวผลิตภัณฑ์

สำหรับการประยุกต์ใช้งานการออกแบบการทดลอง ในลักษณะดังที่กล่าวมาแล้วนั้น จะยังผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความง่ายในการผลิตมากขึ้น ผลิตภัณฑ์ซึ่งมีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือมากขึ้นแม้การใช้งานภาคสนาม ต้นทุนการผลิตที่ต่ำลง และลดเวลาที่ใช้ในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้สั้นลง

2.2.3 ทฤษฎีพื้นฐานในการออกแบบการทดลอง [1]

การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment) จะหมายถึง กระบวนการวางแผนการทดลอง ซึ่งทำให้ข้อมูลที่เหมาะสม สามารถที่จะถูกวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ จะถูกทำการเก็บบันทึกไว้ เป็นผลให้เกิดการสรุปผลที่ถูกต้องและไม่ลำเอียง ดังนั้นสำหรับปัญหาของการทดลองใดๆจะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนด้วยกัน กล่าวคือ การออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ซึ่งทั้ง 2 ส่วนนี้จะมีความสัมพันธ์กันอย่างมาก เพราะว่าวิธีการการวิเคราะห์ข้อมูลจะขึ้นโดยตรงกับแบบของการทดลองที่เลือกใช้เพื่อการทำการทดลอง และแบบของการทดลองมีให้เลือกใช้อย่างมากมาย ซึ่งขึ้นอยู่กับแต่ละสถานการณ์ว่าการทดลองแบบใดจึงจะเหมาะสม

หลักการเบื้องต้นของการออกแบบการทดลอง 3 ข้อคือ

1. การทำซ้ำ (Replication) คือการทำการทดลองซ้ำในแต่ละชุดการทดลอง และคุณสมบัติที่สำคัญของการทำซ้ำ 2 ข้อ คือ เพื่อเป็นการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (Experimental Error) และในกรณีที่มีการใช้ค่าเฉลี่ยของชุดตัวอย่างเพื่อการประมาณค่าผลกระทบของปัจจัย จะทำให้การประมาณค่าดังกล่าวมีความถูกต้องมากขึ้น
2. การทำการทดลองแบบสุ่ม (Randomization) คือการทดลองซึ่งมีการจัดสรรวัสดุเพื่อใช้ในการทดลองเป็นไปในแบบสุ่ม และลำดับของการทำการทดลองก็เป็นแบบสุ่มด้วย การทดลองแบบสุ่มนี้จะช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติมีความถูกต้องมากขึ้น ซึ่งเป็นการกระจายผลของปัจจัยรบกวน (Noise) ให้กับทุกหน่วยของการทดลองให้เท่าๆกัน โดยการทำการทดลองแบบสุ่มสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี ดังนี้
 - 1.1 การทำการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomization)
 - 2.2 การทำการทดลองแบบสุ่มอย่างง่าย (Simple Randomization)
 - 3.3 การทำการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete Randomization Within Blocks)
3. การบล็อก (Blocking) คือการดำเนินการจัดทำทดลองเป็นช่วงเพื่อลดผลจากปัจจัยรบกวน (Nuisance Factors) ซึ่งเป็นปัจจัยซึ่งอาจจะมีอิทธิพลต่อผลตอบสนองแต่ผู้ทำการทดลองยังมิได้ให้ความสำคัญ และจากปัจจัยซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ การบล็อกจะช่วยให้การเปรียบเทียบผลของปัจจัยต่างๆมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

คำจำกัดความที่สำคัญ (Definition)

ปัจจัย (Factor) หมายถึง สิ่ง que คิดว่ามีผลต่อตัวแปรตอบสนอง และนำมาพิจารณาในการทดลอง ปัจจัยอาจมีลักษณะเป็นเชิงคุณภาพ เช่น ชนิดของวัสดุ หรือเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิในการอบกาว ก็ได้

อิทธิพลหรือผลกระทบ (Effect) หมายถึง ผลของตัวแปรขาเข้าที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง ในการทดลองอาจพิจารณาอิทธิพลที่เกิดขึ้นได้หลายตัว

ระดับปัจจัย (Level) ของปัจจัยใดๆ จะหมายถึง สภาวะ หรือ ค่าปรับตั้ง ต่างๆ ของปัจจัยนั้นๆ ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งในทุกปัจจัยที่ถูกนำมาเพื่อทำการทดลองจำเป็นต้องมีระดับปัจจัยอย่างน้อย 2 ค่า

ปัจจัยรบกวน (Noise Factor) หมายถึง ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองน้อย และเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้

2.2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) [2]

การวิเคราะห์ความแปรปรวน จะทำให้สามารถทราบว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง หลักเกณฑ์สำคัญที่ใช้ในการทดสอบ คือ การแยกความแปรปรวนทั้งหมดของข้อมูลออกตามสาเหตุที่ทำให้ข้อมูลแตกต่างกันนั้นคือ แยกความแปรปรวนหรือความผันแปรทั้งหมดของข้อมูลออกเป็น

1. ความผันแปรหรือความแตกต่าง ระหว่างทริทเมนต์
2. ความผันแปรหรือความแตกต่างภายในทริทเมนต์เดียวกัน

$$\text{ความผันแปรทั้งหมด} = \text{ความผันแปรระหว่างทริทเมนต์} + \text{ความแปรภายในทริทเมนต์เดียวกัน}$$

ถ้าความผันแปรระหว่างทริทเมนต์ มีค่ามากเมื่อเทียบกับความผันแปรภายในทริทเมนต์เดียวกัน แสดงว่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์ มากกว่าความแตกต่างภายใน ทริทเมนต์เดียวกัน ในกรณีเช่นนี้จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ที่กำหนดว่าค่าเฉลี่ยของ ทริทเมนต์เท่ากัน หรือสรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์อย่างน้อย 1 ทริทเมนต์ ที่แตกต่างจากทริทเมนต์อื่น สามารถตีความหมายได้ว่าปัจจัยดังกล่าวนี้มีอิทธิพล (Effect) ต่อกระบวนการหรือมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองที่สนใจนั่นเอง

แต่ถ้าความผันแปรภายในทริทเมนต์เดียวกัน มีค่ามากกว่าความผันแปรระหว่าง ทริทเมนต์ หรือมีค่ามากเมื่อเทียบกับความผันแปรระหว่างทริทเมนต์ จะทำให้สรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์ที่ต้องการทดสอบไม่แตกต่างกันคือปฏิเสธ H_1 หรือยอมรับ H_0 นั่นเอง ซึ่งหมายถึงปัจจัยดังกล่าวไม่มีอิทธิพล (Effect) ต่อกระบวนการ

การวัดความผันแปรหรือความแปรปรวนจากข้อมูลในการทดลองนั้น จะใช้ตัวประมาณค่าของความแปรปรวน (Variance) ที่ดีที่สุดคือค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square: MS) โดยที่ ค่า MS สามารถคำนวณจาก

$$MS = \frac{SS}{df}$$

เมื่อ SS คือผลรวมกำลังสอง (Sum of Square)

และ df คือันของความอิสระ (Degree of Freedom)

ความผันแปรทั้งหมด = ความผันแปรระหว่างทรีทเมนต์ + ความผันแปรภายในทรีทเมนต์เดียวกัน

หรือ

$$SS_T = SS_{Tr} + SS_E$$

โดยที่

$$SS_T = \text{ความผันแปรทั้งหมด}$$

$$SS_{Tr} = \text{ความผันแปรระหว่างทรีทเมนต์}$$

$$SS_E = \text{ความผันแปรภายในทรีทเมนต์เดียวกันหรือเรียกว่า}$$

ผลบวกของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง

$$= SS_T - SS_{Tr}$$

สำหรับันของความอิสระ (Degree of Freedom) จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนเช่นเดียวกัน

ดังนี้

$$\text{ันของความอิสระทั้งหมด = ันของความอิสระ (ระหว่างทรีทเมนต์) + ันของความอิสระ (ภายในทรีทเมนต์)$$

ตัวสถิติทดสอบ (Test Statistic) ที่นำมาเปรียบเทียบค่าความแปรปรวนคือ

$$F = \frac{MS_{Tr}}{MS_E}$$

เมื่อ MS_{Tr} (Mean Square for Treatment) คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองระหว่างทรีทเมนต์

MS_E (Mean Square for Error) คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองภายในทรีทเมนต์เดียวกัน

เราจะปฏิเสธ H_0 ก็ต่อเมื่อ $F > F_{\alpha, v_1, v_2}$

เมื่อ α คือ ระดับนัยสำคัญ (Significance Level)

- v_1 คือ \bar{y} ของความอิสระระหว่างทรีทเมนต์ของปัจจัยนั้น
- v_2 คือ \bar{y} ของความอิสระภายในทรีทเมนต์เดียวกัน

2.2.4.1 โมเดลเชิงเส้นทางสถิติ (Linear Statistical Model) [1]

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนนั้นจำเป็นต้องมีการสร้างโมเดลเชิงเส้นขึ้นด้วย ซึ่งลักษณะโมเดลเชิงเส้นจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของแผนการทดลองดังจะแสดงตัวอย่างต่อไปนี้

การวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีที่มีปัจจัย 2 ปัจจัย

$$\text{โมเดลเชิงเส้น : } y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

โดยที่ $i = 1, 2, \dots, a$ (ระดับของปัจจัย A)

$j = 1, 2, \dots, b$ (ระดับของปัจจัย B)

$k = 1, 2, \dots, n$ (จำนวนซ้ำ)

และ y_{ijk} คือ ค่าของตัวแปรตอบสนอง

τ_i คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัยที่ 1

β_j คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัยที่ 2

$(\tau\beta)_{ij}$ คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction)

ของ τ กับ β

ε_{ijk} คือ ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random Error)

ข้อมูลจะถูกนำมาคำนวณและใส่ในตารางที่ 2.1 ซึ่งเป็นตารางของ การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย

ตารางที่ 2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย 2 ปัจจัย (ANOVA TABLE)

แหล่งความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง (SS)	ขั้นของความอิสระ (df.)	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (MS)	ค่าสถิติทดสอบ (F_0)
A	$\frac{\sum_{i=1}^a y_i^2}{bn} - \frac{y^2}{abn}$	$a-1$	MS_A	$\frac{MS_A}{MS_E}$

แหล่ง ความผัน แปร	ผลรวมกำลังสอง (SS)	ขั้นของความ อิสระ (df.)	ค่าเฉลี่ยกำลัง สอง (MS)	ค่าสถิติ ทดสอบ (F_0)
B	$\frac{\sum_{j=1}^b y_{.j}}{an} - \frac{y_{..}^2}{abn}$	$b-1$	MS_B	$\frac{MS_B}{MS_E}$
AxB	$\frac{\sum_{i=1}^b \sum_{j=1}^a y_{ij}}{n} - \frac{y_{..}^2}{abn} - SS_A - SS_B$	$(a-1)(b-1)$	MS_{AB}	$\frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Error	$S_T - S_A - S_B - S_{AB}$	$ab(n-1)$	MS_E	
Total	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^a y_{ijk}^2 - \frac{y_{..}^2}{abn}$	$abn-1$		

โดยที่ A คือ ปัจจัยที่ 1

B คือ ปัจจัยที่ 2

AB คือ ปัจจัยร่วมของปัจจัย A กับ B

SS_A, SS_B, SS_{AB} คือ ผลรวมกำลังสองของ A, B และ AB ตามลำดับ

SS_E คือ ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน

MS_A, MS_B, MS_{AB} คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของปัจจัย A, B และ AB ตามลำดับ

MS_E คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน

การทดสอบสมมติฐานของการทดลอง จะใช้ค่าสถิติทดสอบที่มีการแจกแจงแบบ
เอฟ (F-Distribution) โดยกำหนดค่า α ก่อน หากค่า $F_0 \leq F_{\alpha, v_1, v_2}$ จะยอมรับ H_0 นั่นคือ
ปัจจัยนั้นไม่มีผลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้าค่าของ $F_0 > F_{\alpha, v_1, v_2}$ จะปฏิเสธ
 H_0 นั่นคือ ปัจจัยนั้นมีผลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

2.2.4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ (Model Adequacy Checking)

[1]

เงื่อนไขของการวิเคราะห์ความแปรปรวน

1. ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)
2. ค่าความแปรปรวนของแต่ละทริทเมนต์ต้องเท่ากัน คือ
3. การสุ่มตัวอย่างแต่ละชุดจากแต่ละทริทเมนต์จะเป็นอิสระต่อกัน

สมการเชิงเส้นตรง : $y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$

โดยที่ μ คือ ค่าเฉลี่ย

τ_i คือ ผลกระทบที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัย

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) นั้น ข้อสมมติฐานที่สำคัญข้อหนึ่งคือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม (Random Error) หรือ ε_{ij} ต้องมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) และต้องมีการแจกแจงที่เป็นอิสระต่อกัน โดยเขียนสัญลักษณ์ได้เป็น $\varepsilon_{ij} \sim NID(0, \sigma^2)$ ซึ่งในการออกแบบการทดลองนั้นจำเป็นต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบด้วย เพื่อความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน

การตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบมีอยู่ 3 ขั้นตอน คือ

1. การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) หรือไม่ โดยนำค่าเรสซิดวล (Residuals) ไปตรวจสอบ ค่าเรสซิดวลสามารถหาได้จาก

$$e_{ij} = y_{ij} - \hat{y}_{ij}$$

โดยที่ e_{ij} คือ ค่าเรสซิดวล (Residuals) หรือ ผลต่างระหว่างค่าตัวแปรตอบสนองกับค่าคาดหมายของตัวแปรตอบสนอง

y_{ij} คือ ค่าตัวแปรตอบสนอง

\hat{y}_{ij} คือ ตัวประมาณค่าคาดหมายของตัวแปรตอบสนอง y_{ij}

$$\begin{aligned} y_{ij} &= \hat{\mu} + \hat{\tau}_i \\ &= \bar{y}_{..} + (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..}) \\ &= \bar{y}_{i.} \end{aligned}$$

โดยที่ $\bar{y}_{i.}$ คือค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์นั้น

เมื่อกำหนดค่า e_{ij} ได้แล้วจะนำไปทดสอบการแจกแจงแบบปกติโดยใช้วิธีการต่างๆดังนี้

- การทดสอบแบบไคร้สแควร์ (- Goodness of Fit Test)
- การทดสอบแบบโคลโมโกรอฟ - สเมอร์โนฟ (Kolmogorov - Smirnov Test)
- การทดสอบโดยใช้ Normal Probability Plot ซึ่งจะพิจารณาการเรียงตัวเป็นเส้นตรงของค่าเรสซิดิวลที่นำมาพล็อต

2. การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent)

ขั้นตอนนี้จะใช้การแผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) ระหว่างค่า e_{ij} กับลำดับที่ทำการศึกษา แล้วดูลักษณะของข้อมูลว่ามีการกระจายเป็นอิสระหรือมีลักษณะเป็นรูปแบบใดๆ หรือไม่

3. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability)

วิธีการตรวจสอบจะใช้แผนภูมิการกระจายซึ่งเป็นแผนภูมิจากค่า (Residual) กับทริทเมนต์แต่ละทริทเมนต์ โดยรูปร่างที่ออกมาจะต้องมีลักษณะเป็นทรงกระบอก จึงจะถือว่าความแปรปรวนมีความเสถียร แต่ถ้ารูปของแผนภูมิมียุ่ลักษณะการเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นลำดับ (Megaphone) แสดงว่าข้อมูลนั้นไม่มีความเสถียรของความแปรปรวน

2.2.5 การทดสอบสัมประสิทธิ์เพื่อการตัดสินใจ (R-Square) [1]

เป็นสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ว่า แผนการทดลองที่ใช้มีความผันแปรส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากปัจจัยที่กำหนดหรือเกิดจากธรรมชาติของกระบวนการ

$$R^2 = \frac{SS_{Model}}{SS_{Total}}$$

โดยที่ R^2 คือ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square)

SS_{Model} คือ ผลรวมกำลังสองของตัวแบบ (Model)

SS_{Total} คือ ผลรวมกำลังสองของทั้งหมด

ถ้าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 มีค่าสูง แสดงว่าความผันแปรส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นมาจากปัจจัยที่กำหนด แต่ถ้าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 มีค่าต่ำ แสดงว่าความผันแปรเกิดขึ้นจากธรรมชาติของกระบวนการแสดงว่าแผนการทดลองที่ใช้ไม่เหมาะสม และต้องกลับไปพิจารณาถึงปัจจัยที่ใช้ในการทดลองว่ามีอิทธิพลจริงหรือไม่ ตลอดจนตรวจสอบการเก็บรวบรวมข้อมูลว่ามีข้อผิดพลาดหรือไม่ อย่างไรก็ตามจากสมการการคำนวณค่า R^2 จะสังเกตได้ว่า หากมีการพิจารณาพจน์เข้าสู่ตัวแบบมากขึ้น ค่า R^2 ก็จะสูงขึ้นเสมอ ไม่ว่าพจน์ที่เพิ่มเข้ามาในตัวแบบนั้นจะมีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองหรือไม่ก็ตาม ดังนั้นจึงมีการใช้ R^2 -Adjusted ซึ่งจะเป็ค่า R^2 ซึ่งจะไม่ใช่ขึ้นอยู่กับจำนวนพจน์ที่ถูกกำหนดเข้าสู่ตัวแบบ โดยที่ค่า R^2 -Adjusted จะมีค่าต่ำลงหากพจน์ที่ถูกนำเข้าสู่ตัวแบบไม่มีผลต่อค่าของตัวแปรตอบสนอง ซึ่งจะไม่เหมือนกับกรณีของ R^2

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเกิดแรงภายในชิ้นวัสดุ [3]

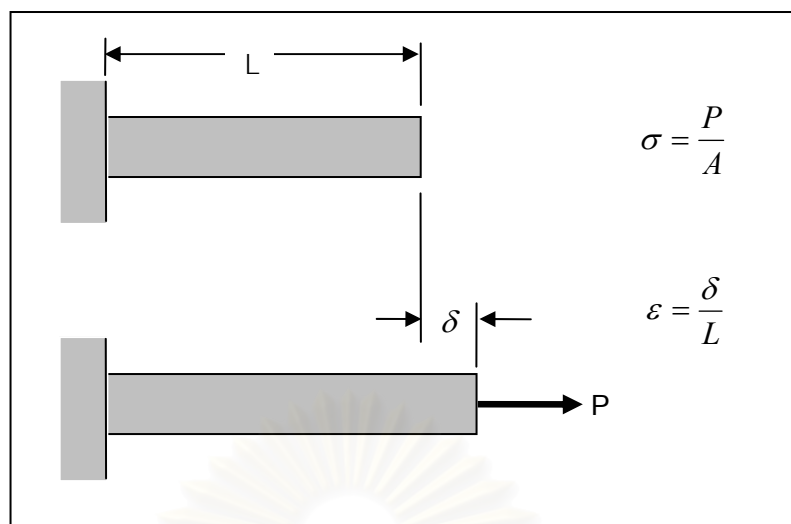
2.3.1 กฎของฮุก (Hooke's Law) และค่าคงที่ความยืดหยุ่น (Modulus of Elastic)

ค่าความเค้น (Stress, σ) และค่าความเครียด (Strain, ε) ของชิ้นวัสดุซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด A และมีความยาว L ได้รับความดึง P ในทิศทางตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัด A ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความยาวเพิ่มขึ้น δ ซึ่งจะสามารถคำนวณค่า σ และ ε ได้ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.3

จากการคำนวณค่าของ σ และ ε ที่เกิดขึ้น เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของแรง P อย่างต่อเนื่อง เมื่อนำมาพล็อตแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างค่า σ และ ε หรือ Stress – Strain Diagram จะได้เป็นดังรูปที่ 2.4 ซึ่ง Stress – Strain Diagram จะมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ

นักคณิตศาสตร์ชาวอังกฤษชื่อ โรเบิร์ต ฮุก (Robert Hooke) ได้ให้ความสัมพันธ์ของ ค่า σ และ ε ในช่วงที่เป็นเส้นตรง ซึ่งเป็นช่วงที่วัสดุมีความยืดหยุ่น (Elastic) กล่าวคือ หากแรง P ที่กระทำกับชิ้นวัสดุดังกล่าวถูกปลดออก ชิ้นวัสดุก็จะคืนตัว กลับสู่สภาวะก่อนที่จะมีแรง P มากระทำเป็นดังนี้

$$\sigma = E\varepsilon \quad (\text{Hooke's Law})$$



รูปที่ 2.3 การเกิดขึ้นของค่าความเค้นและค่าความเครียดบนชิ้นวัสดุ

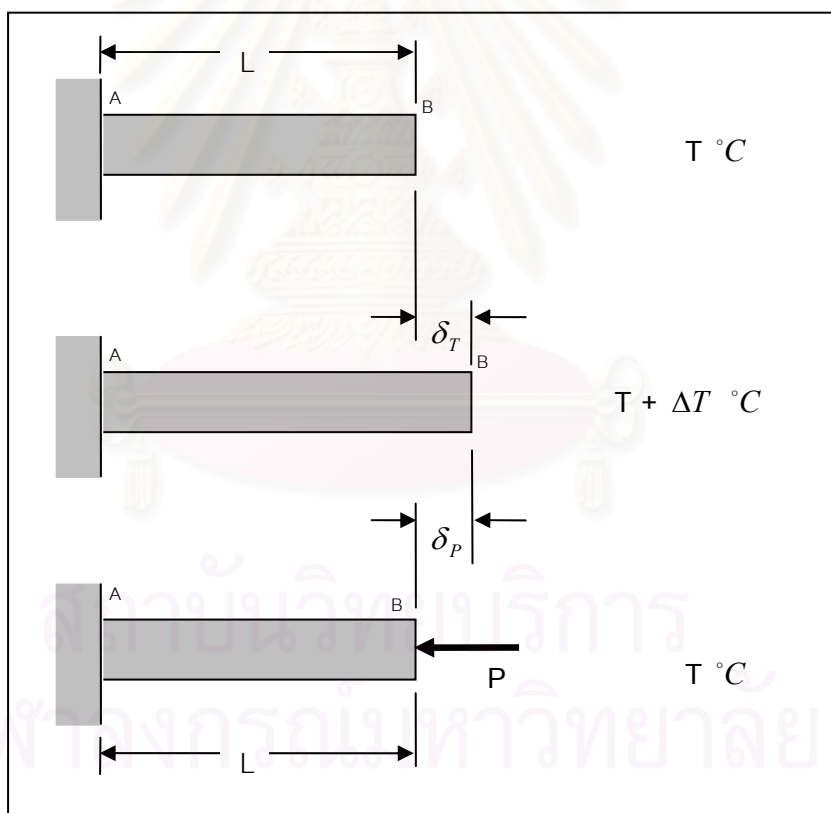


รูปที่ 2.4 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นและค่าความเครียด

ซึ่งจะเห็นว่าความสัมพันธ์ของค่า σ และ ϵ จะขึ้นอยู่กับค่าคงที่ E ซึ่งถูกเรียกว่า ค่าคงที่ของความยืดหยุ่น หรือค่าคงที่ของยัง หรือ Young's Modulus ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความแข็งแกร่ง (Stiffness) หรือความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนรูป (Deformation Resistance) ของวัสดุ ยิ่งค่า E ยิ่งมีค่ามาก วัสดุนั้นจะยิ่งมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนรูปที่สูง อย่างไรก็ตาม ความต้านทานการเปลี่ยนรูปดังกล่าว ยังขึ้นอยู่กับมิติรูปร่างของชิ้นวัสดุนั้นๆ ด้วย กล่าวคือ หากวัสดุชนิดเดียวกัน ค่า E จะมีค่าเท่ากัน แต่หากชิ้นวัสดุที่เป็นวัสดุชนิดเดียวกันไม่จำเป็นที่จะต้องมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่เท่ากัน เช่นหากมีชิ้นวัสดุ 3 ชิ้น ซึ่งเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน แต่มีความหนาและความกว้างที่ต่างกัน ชิ้นวัสดุที่มีความหนามากกว่า และชิ้นวัสดุที่มีความกว้างมากกว่า จะมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่สูงกว่า เป็นต้น

2.3.2 การเกิดขึ้นของแรงภายในวัสดุเนื่องจากความร้อนและค่า CTE

วัสดุแต่ละชนิดมีความแตกต่างของคุณสมบัติต่าง ๆ กัน ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อกระทบกับความร้อน หรือ Coefficient of Thermal Expansion (CTE) หรือ α ซึ่งมีหน่วยเป็น ppm/ $^{\circ}\text{C}$ (ppm คือหนึ่งในล้านส่วน) ก็เป็นอีกคุณสมบัติหนึ่งของวัสดุซึ่งจะมีค่าที่แตกต่างกันระหว่างวัสดุแต่ละชนิด ซึ่งค่า CTE นี้จะเป็นตัวที่บอกถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือการขยายตัวจะมีมากเพียงไร เมื่อวัสดุกระทบกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ซึ่งการขยายตัวนี้จะเกิดทุกในทุกทิศทางของชิ้นวัสดุ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ หากชิ้นวัสดุชิ้นหนึ่งที่มีค่า CTE เท่ากับ α และมีความยาวเท่ากับ L เมื่ออยู่ในอุณหภูมิห้อง จะมีค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงสูงขึ้นเท่ากับ α ส่วนในล้านส่วนของขนาดความยาว L เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเท่ากับ 1 องศาเซลเซียส ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นในทุกทิศทาง



รูปที่ 2.5 การเกิดแรงภายในชิ้นวัสดุเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

จากรูปที่ 2.5 วัสดุชิ้นหนึ่งซึ่งถูกยึดปลายด้าน A ไว้ มีความยาว L ที่อุณหภูมิห้อง จะมีความยาวที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ $\delta_T = \alpha(\Delta T)L$ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของชิ้นงานสูงขึ้นเท่ากับ $\Delta T\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความยาวดังกล่าวสามารถเปรียบได้กับการที่จะต้องใช้แรงเท่ากับ P ดัง

ชิ้นวัสดุออกไปเพื่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของความยาวเท่ากับ δ_T ดังนั้นเมื่อมีการปรับอุณหภูมิของชิ้นงานลงมาอยู่ที่อุณหภูมิห้อง ชิ้นงานดังกล่าวก็就会有การหดตัวลงไปอยู่ที่ความยาว L ซึ่งเป็นความยาวปกติ ณ อุณหภูมิห้อง ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นการปลดแรงขนาดเท่ากับ P ดังกล่าวออกจากตัวชิ้นงาน ดังนั้นในขณะที่ชิ้นงานมีการขยายตัวออกไปเนื่องจากผลของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ หากมีการยึดปลายด้าน B ไว้ในขณะที่ชิ้นงานมีความยาวเท่ากับ $L + \delta_T$ ก็จะมีแรงเท่ากับ $P = -AE\alpha(\Delta T)$ กระทำกับปลายทั้งสองข้างในขณะที่ทำการปรับอุณหภูมิของชิ้นงานลงมาจาก $T + \Delta T$ °C มาอยู่ระดับอุณหภูมิห้องนั่นเอง

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Derek Wyatt [4]

เป็นการแนะนำถึงกรรมวิธีที่เหมาะสม ในการทำการอบกาวชนิดที่สามารถทำการอบกาวให้แห้งโดยการใช้แสงอัลตราไวโอเลต (UV) ได้ ซึ่งมีรายละเอียดพอสังเขปดังนี้

1. ต้องมีการเลือกใช้ช่วงของความยาวคลื่นของแสงอย่างถูกต้อง สัมพันธ์กับชนิดของ กาวที่เลือกใช้ จึงจะทำให้เกิดกระบวนการโพลีเมอร์ไรเซชันได้
2. ต้องมีความเข้มของแสงที่เพียงพอ กล่าวคือต้องมีความหนาแน่นของโฟตอนต่อหน่วยพื้นที่ที่เพียงพอ และระยะเวลาที่เหมาะสม เพื่อการทำให้กาวแห้งอย่างสมบูรณ์ได้
3. ไม่แนะนำให้ใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียวเพื่อการอบกาวให้แห้ง เนื่องจากจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการอบกาวที่นานมาก ซึ่งมีสาเหตุมาจากออกซิเจนในบรรยากาศเป็นตัวยับยั้งกระบวนการโพลีเมอร์ไรเซชัน จึงมีความต้องการพลังงานความร้อนที่มาก เพื่อการขจัดออกซิเจนดังกล่าวออกไปก่อน จึงจะสามารถทำการอบกาวให้แห้งได้
4. แนะนำให้ใช้การอบกาวให้แห้งเบื้องต้นโดยการใช้แสง UV เพื่อการทำให้กาวที่บริเวณผิวซึ่งโดนแสงแข็งตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเป็นเสมือนเกราะกันออกซิเจนจากบรรยากาศได้ หลังจากนั้นจึงให้ความร้อนในระดับที่เหมาะสม และในระยะเวลาที่เหมาะสมเพื่อการอบกาวในบริเวณที่แสงไม่สามารถเข้าถึงได้ให้แห้งอย่างสมบูรณ์ต่อไป

เมื่อพิจารณากระบวนการในปัจจุบันของโรงงานตัวอย่าง พบว่ากระบวนการในปัจจุบันมีการปฏิบัติตามข้อแนะนำต่างๆทั้งสี่ข้อดังกล่าวอย่างเคร่งครัดอยู่แล้ว จึงไม่มีความจำเป็นต้องทำการปรับเปลี่ยนใดๆ

Emerson & Cumming Company [5]

เป็นการแนะนำจากบริษัทผู้ผลิตกาวย กล่าวถึงกรรมวิธีที่เหมาะสมในการทำการอบกาวซึ่งทำการยึดวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวเมื่อกระทบกับความร้อน (Coefficient of Thermal Expansion, CTE) ที่แตกต่างกัน

เนื่องจากการที่จะเลือกเฉพาะวัสดุซึ่งมีค่า CTE ซึ่งสอดคล้องหรือใกล้เคียงกันเท่านั้นเพื่อมาทำการยึดติดกันเป็นไปได้ยากมากในทางปฏิบัติ ดังนั้นจึงได้มีการนำเสนอกรรมวิธีที่เหมาะสมที่น่าจะช่วยบรรเทาความเค้น (Stress) ที่จะเกิดขึ้นจากการยึดติดชิ้นงานซึ่งเป็นวัสดุต่างชนิดซึ่งมีค่า CTE ที่ไม่สอดคล้องกันด้วยกาวและอบกาวให้แห้งโดยใช้ความร้อน ดังนี้

1. เงื่อนไขต่างๆในการอบกาว การอบกาวที่อุณหภูมิสูงและการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในการอบกาวแบบเฉียบพลัน จะเป็นตัวสร้างความเค้นที่สูงที่สุด ดังนั้นจึงมีข้อแนะนำดังนี้
 - 1.1 การอบกาวที่อุณหภูมิต่ำซึ่งต้องใช้เวลาในการอบกาวที่นานกว่า จะส่งผลให้มีการเกิด Stress ที่น้อยที่สุด
 - 1.2 การอบกาวแบบเป็นขั้นๆของอุณหภูมิจากน้อยไปหามาก จะเหมาะสำหรับชิ้นงานซึ่งจะต้องนำไปใช้งานซึ่งต้องการความทนทานต่ออุณหภูมิที่สูงและสารเคมี
 - 1.3 หากชิ้นงานถูกนำไปใช้ที่อุณหภูมิสูง อุณหภูมิสุดท้ายของการอบกาวควรจะต้องสูงกว่าอุณหภูมิใช้งาน
2. ความแข็งแรงของตัวกาว หากเลือกใช้กาวซึ่งมีความยืดหยุ่น จะสามารถรองรับการขยายตัวที่แตกต่างกันของชิ้นงานที่นำมาประกอบกันได้ หรือในทางกลับกัน หากชิ้นงานประกอบนั้นๆต้องการความแข็งแรงของการยึดติดที่สูง และชิ้นงานที่ทำการยึดติดมีความแข็งแรงเพียงพอต่อการต้านทานการขยายตัวที่แตกต่างกันได้ ก็จะสามารถเลือกใช้กาวที่มีความแข็งแรงสูงๆได้
3. ปริมาณของกาว ปริมาณกาวที่มากขึ้นจะช่วยลดค่า CTE ของกาวได้ ซึ่งจะสามารถลด Stress ของชิ้นงานประกอบได้

เมื่อพิจารณากระบวนการในปัจจุบันของโรงงานตัวอย่าง พบว่ากระบวนการในปัจจุบันเป็นการจับยึดส่วนประกอบต่างๆซึ่งเป็นวัสดุต่างชนิดกันและมีค่า CTE ที่ต่างกันมาก ดังนั้นข้อแนะนำต่างๆเหล่านี้ควรที่จะต้องถูกพิจารณาอย่างรอบคอบ เพื่อการนำไปศึกษาเพื่อการประยุกต์ใช้ในกระบวนการต่อไป เช่น ในข้อที่ 1.1 และข้อที่ 3

Stress ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต จะส่งผลโดยตรงต่อค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล ดังนั้นหากสามารถลด Stress ลงได้ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลก็ควรจะมีค่าความแปรปรวนที่ลดลงด้วย อย่างไรก็ตามการปรับเปลี่ยนใดๆในกระบวนการควรจะต้องมีการศึกษาอย่างรอบคอบก่อนเสมอว่าจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาอื่นขึ้นมาแทนที่ปัญหาที่ได้แก้ไขลงไป

กฤษฎา อัครรุ่งแสงกุล [6]

เป็นการประยุกต์ใช้แผนการทดลอง แบบแฟรคชันนอลแฟคตอเรียลแบบครึ่งหนึ่ง บนปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดรอยบิ่นและรอยร้าว ในกระบวนการตัดชิ้นตอนสุดท้ายของการตัดหัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ และหาเงื่อนไขหรือวิธีการปรับปรุงที่เหมาะสม ปัจจัยที่ถูกเลือกขึ้นมาเพื่อทำการศึกษามาจากทำแผนภูมิเหตุและผล ซึ่งมีจำนวนปัจจัยทั้งหมด 5 ปัจจัย โดยที่ระดับของปัจจัยที่ทำการศึกษากับสองระดับสำหรับทุกปัจจัย และจากการวิเคราะห์ตามวิธีการทางสถิติ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการตัด คือ ความเร็วรอบในการตัด 8,500 รอบต่อนาที และทิศทางการตัดจากด้านโพลคู่ด้านเทเปอร์ จากการทดลองเพื่อยืนยันผลพบว่า รอยบิ่นและรอยร้าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่สัดส่วนของเสียที่ลดลงไม่ได้ตามต้องการ จึงได้เลือกปัจจัยความถี่ในการลับมีดระหว่างการใช้งาน ซึ่งกำหนดให้มีระดับของปัจจัย 3 ระดับ และใช้หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยเดียว พบว่า ปัจจัยนี้มีนัยสำคัญทางสถิติและสามารถวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมในการตัดคือ ใช้ความถี่ในการลับมีดทุกๆ การตัด 1 ครั้ง จะทำให้จำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวต่ำสุด และจากการทดลองเปรียบเทียบสภาวะที่เหมาะสมกับสภาวะที่ใช้ในปัจจุบัน ผลจากการทดลองพบว่า จำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวในสภาวะการตัดที่ได้จากการออกแบบการทดลอง ทำให้จำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

งานวิจัยชิ้นนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการทำการศึกษาค้นคว้าได้ โดยเริ่มจากการทำแผนภูมิเหตุและผล โดยจะต้องเป็นการร่วมมือกันทำจากพนักงานในส่วนต่างที่จำเป็นต้องเกี่ยวข้องอย่างครบถ้วน จากนั้นจึงทำการเลือกปัจจัยเพื่อทำการศึกษา และเพื่อเป็นการประหยัดทรัพยากร การใช้แผนการทดลองแบบแฟรคชันนอลแฟคตอเรียลแบบครึ่งหนึ่ง จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมเพราะสามารถลดจำนวนการทดลองลงไปได้ถึงครึ่งหนึ่งของแผนการทดลองแบบฟูลแฟคตอเรียล พร้อมทั้งมีการทำการทดลองเพื่อยืนยันผลที่ได้จากการทดลองเพื่อการสรุปผลต่อไป

ทรงพล พิเศษฐวัฒนา [7]

ทำการศึกษาดังปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแรงดึงระหว่าง Slider และ Flexure ของหัวอ่านเขียนข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ และเสนอเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มคุณภาพของ แรงดึงของหัวอ่านเขียนข้อมูลดังกล่าวภายใต้เงื่อนไขที่เป็นไปได้จริง งานวิจัยนี้เริ่มต้นจากการอาศัยความรู้และความ

ชำนาญของผู้เชี่ยวชาญ และจากเอกสารจำนวนมากที่เกี่ยวข้องเพื่อระบุถึงปัจจัยทั้งหมด ที่มีผลต่อแรงดึงของหัวอ่านเขียนข้อมูลโดยใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) จากการวิเคราะห์แผนภูมิดังกล่าวทำให้ทราบว่าปัจจัย 4 ชนิดที่น่าจะมีผลอย่างมากต่อแรงดึงระหว่าง Slider และ Flexure ของหัวอ่านเขียนข้อมูล และปัจจัยดังกล่าวนี้เป็นปัจจัยที่สามารถเปลี่ยนแปลง และควบคุมได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายในการผลิตเพิ่มขึ้น อย่างมากมายแต่ประการใด จากผลการทดลองแบบแฟกทอเรียลพบว่าปัจจัยเพียง 3 ชนิดเท่านั้นที่มีผลต่อแรงดึง กล่าวคือ อัตราส่วนผสมของสารยึดเหนี่ยว อุณหภูมิในการอบ และเวลาในการอบ การทดลองแบบแฟกทอเรียลได้ถูกนำมาใช้อีกครั้งหนึ่ง โดยที่มีจำนวนของการทำซ้ำ (Replication) ของแต่ละปัจจัยเพิ่มขึ้น เพื่อหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมที่จะทำให้ได้ค่าแรงดึงสูงสุด โดยไม่ขัดกับเงื่อนไขทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับหัวอ่านเขียน ผลการทดลองแสดงว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้หัวอ่านเขียนมีค่าแรงดึงสูงสุดคือ อัตราส่วนผสม 4:1 อุณหภูมิในการอบ 300 องศาฟาเรนไฮด์ และเวลาที่ใช้ในการอบ 16 นาที และเมื่อนำค่าแรงดึงที่ได้ไปเปรียบเทียบ ในเชิงสถิติกับค่าแรงดึงของหัวอ่านเขียนในปัจจุบันพบว่าค่าแรงดึงเฉลี่ยที่สภาวะใหม่นี้มีค่าสูงกว่าค่าแรงดึงที่เป็นอยู่ ในสภาวะปัจจุบันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

งานวิจัยชิ้นนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการทำการศึกษาค้นคว้าได้ กล่าวคือเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลจากผู้ที่มีความรู้และความเชี่ยวชาญ และเอกสารอ้างอิงต่างๆเกี่ยวกับสิ่งที่กำลังทำการศึกษานั้นทำการสร้างแผนภูมิเหตุและผลขึ้นมาเพื่อทำการเลือกปัจจัยเพื่อทำการศึกษา และจากผลของการศึกษาจะมีการทำการทำการทดลองเพื่อการยืนยันผล พร้อมกันนั้นต้องพิจารณาด้วยว่าในการที่จะนำผลจากการศึกษา ไปประยุกต์ใช้งานจริงนั้นจะต้องมั่นใจว่าจะไม่ส่งผลเสียอื่นต่อตัวผลิตภัณฑ์ด้วย

2.5 สรุป

จากทฤษฎีการออกแบบการทดลอง การเกิดขึ้นของแรงภายในชิ้นวัสดุที่เกิดขึ้นเมื่อชิ้นวัสดุมีการกระทบกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และจากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทั้งการออกแบบการทดลองและการเกิดขึ้นของการ โกงตัว จะได้ใช้เป็นแนวทาง และหลักการอ้างอิง เพื่อการศึกษาปัจจัยต่างๆในการกระบวนการผลิต รวมถึงการออกแบบการทดลอง การวิเคราะห์ผลการทดลอง และการสรุปเพื่อการเลือกระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อไป

บทที่ 3

ปัจจัยในกระบวนการผลิตที่มีผลกระทบต่อการทำงานของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล

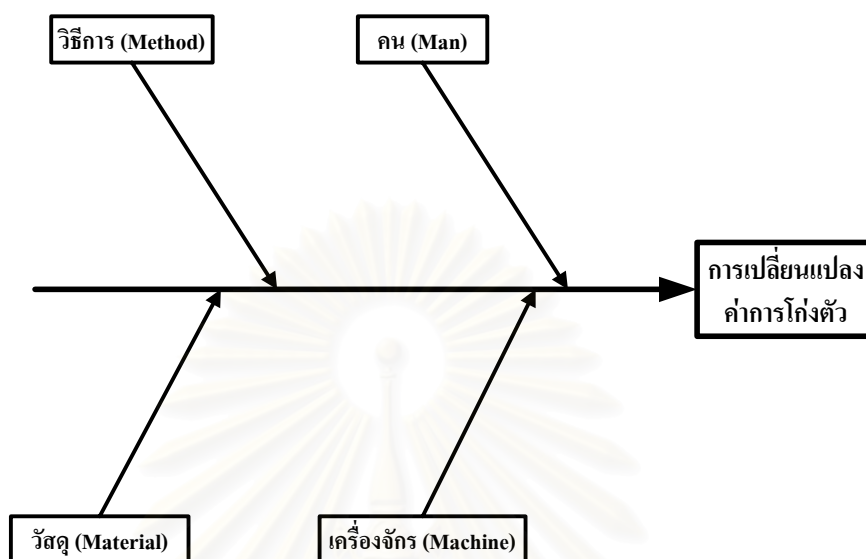
3.1 บทนำ

กระบวนการประกอบชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลฮาร์ดดิสก์นั้น ประกอบด้วยกระบวนการย่อยหลายกระบวนการ ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 1 อย่างไรก็ตาม จากประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญในโรงงานตัวอย่าง รวมถึงประสบการณ์ของผู้วิจัยเอง ซึ่งมีตำแหน่งเป็นวิศวกรกระบวนการ พบว่ากระบวนการย่อยที่น่าจะส่งผลกระทบต่อค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล มี 4 กระบวนการ กล่าวคือ

1. กระบวนการหยอดกาวโครงสร้างและกาวตัวนำไฟฟ้าบนตัวแกนจับยึด
2. กระบวนการประกอบตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลเข้ากับตัวแกนจับยึด และการอบกาวโครงสร้างด้วยแสงเหนือม่วง หรืออัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet, UV)
3. กระบวนการต่อเชื่อมลายวงจร ของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลและตัวแกนจับยึดเข้าด้วยกันโดยใช้ลูกบอลทอง และการสั่นด้วยความถี่สูงย่านอัลตราโซนิก (Ultrasonic, US)
4. กระบวนการอบตัวชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล เพื่อให้กาวโครงสร้างและกาวตัวนำไฟฟ้าแข็งตัวอย่างสมบูรณ์ โดยใช้รังสีความร้อน หรือรังสีอินฟราเรด (Infrared Ray, IR)

ดังนั้นในบทนี้จะศึกษาลงไปรายละเอียดของปัจจัยต่างๆ ใน 4 กระบวนการย่อยเหล่านี้ เพื่อเลือกปัจจัยที่มีศักยภาพ ในการส่งผลกระทบต่อค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านเขียนข้อมูล และ กำหนดปัจจัยที่จะทำการศึกษาด้วยการออกแบบการทดลองต่อไป โดยวิธีการในการศึกษานั้น จะเป็นการระดมความคิดของพนักงานที่มีความชำนาญในด้านต่างๆของโรงงานตัวอย่าง ซึ่งประกอบด้วย วิศวกรกระบวนการ(ผู้วิจัย) วิศวกรเคมี วิศวกรเครื่องกล และวิศวกรส่วนบำรุงรักษาเครื่องจักร จากนั้นจะทำการจัดทำแผนภาพเหตุและผลขึ้นมา โดยจะใช้หลักการ 4M (ดูรูปที่ 3.1)

เพื่อใช้ช่วยในการพิจารณาในรายละเอียดของแต่ละปัจจัยต่อไป จนสามารถระบุปัจจัยที่จะนำไปทำการทดลองต่อไปได้



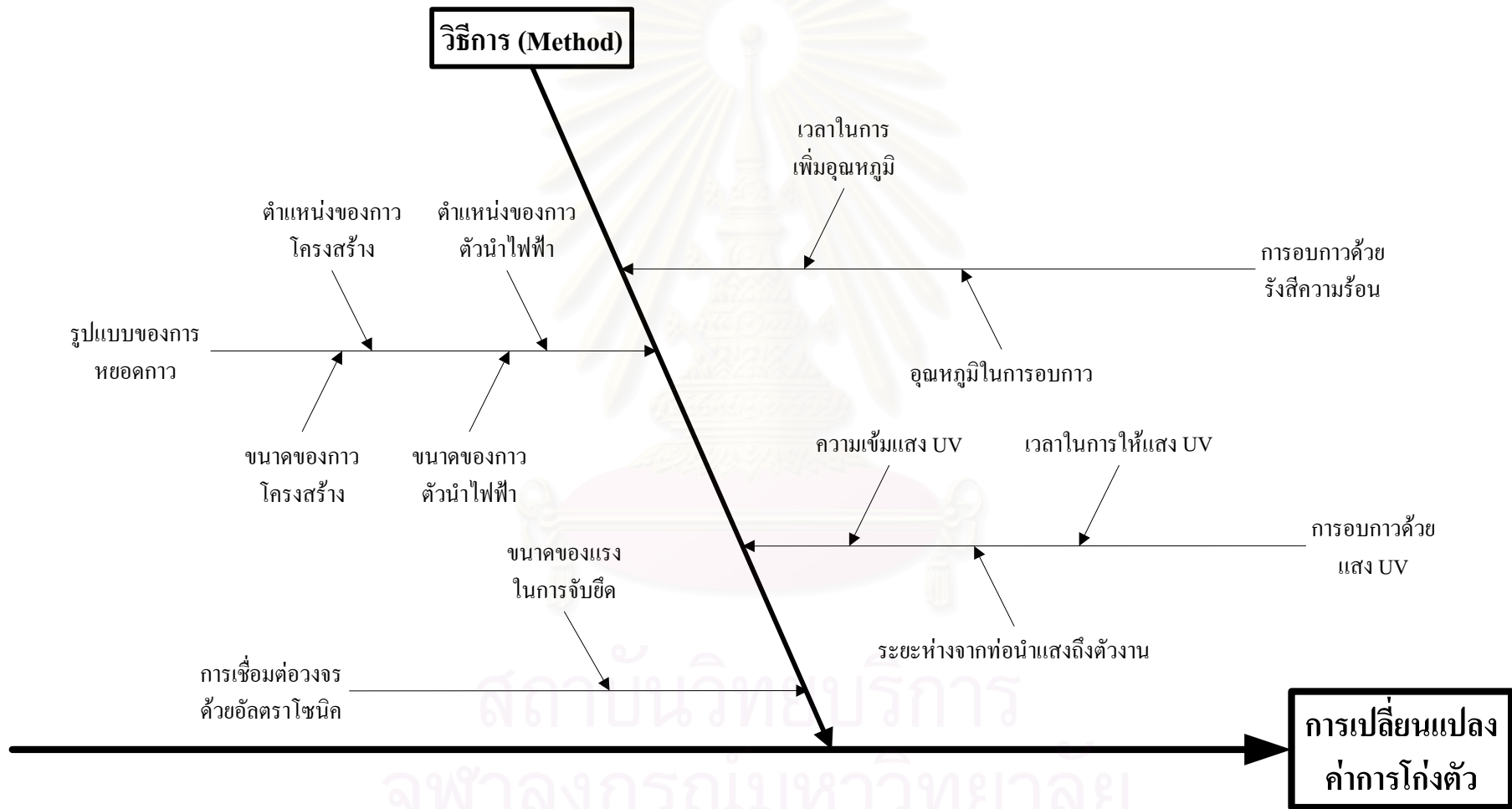
รูปที่ 3.1 แผนภาพเหตุและผลซึ่งจะพิจารณาจากปัจจัยหลักตามหลัก 4M

3.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลจากวิธีการทำงาน (Method)

ปัจจัยจากวิธีการทำงานในกระบวนการย่อยต่างๆ ของกระบวนการประกอบชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล ที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการโคงตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลนั้น จะมีรายละเอียดต่างๆดังที่ได้แสดงไว้ในแผนภาพเหตุและผล รูปที่ 3.2 ซึ่งวิธีการทำงานนั้นจะรวมถึงตัวแปรหรือค่าที่ต้องทำการปรับตั้งต่างๆในแต่ละกระบวนการย่อย และลำดับขั้นตอนก่อนหลังของกระบวนการด้วย สำหรับรายละเอียดของแต่ละปัจจัยหรือสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงค่าการโคงตัวนั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

3.2.1 ตำแหน่งของกาวโครงสร้าง

ตำแหน่งของกาวโครงสร้างถูกพิจารณาว่ามีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการโคงตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล กล่าวคือจาก [5] ได้อธิบายไว้ว่าหากทำการยึดติดชิ้นส่วน 2 ชิ้นที่มีค่า



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงเหตุและผลสาเหตุการเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวจากปัจจัยด้านวิธีการ (Method)

สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อกระทบกับความร้อนที่แตกต่างกัน (ในที่นี้คือ ตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล และตัวแขนจับยึด) จะทำให้เกิดการโก่งตัวขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการที่ ชั้นส่วน 2 ชั้นมีการขยายตัวออกไปไม่เท่ากันเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ และเมื่ออุณหภูมิลบสู่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ชั้นส่วนที่มีการขยายตัวออกไปมากกว่ามีการหดตัวที่มากกว่า จึงเกิดแรงต้านกันขึ้นที่จุดยึดต่างๆ ดังนั้นหากตำแหน่งของการหยอดกาวมิได้ถูกกำหนดไว้อย่างเหมาะสม กล่าวคือมีการกระจายของแรงที่เกิดขึ้นที่ติแล้ว จะทำให้เกิดการโก่งตัวที่สูงได้

3.2.2 ขนาดของกาวโครงสร้าง

จาก 3.2.1 ได้กล่าวถึงการกระจายของแรงในการจับยึดที่ดีจะช่วยส่งผลให้มีการโก่งตัวที่น้อยกว่า ดังนั้นขนาดของกาวโครงสร้างจึงควรถูกพิจารณาด้วย เนื่องจากหากพื้นที่ในการยึดจับมากกว่าควรจะมีการกระจายของแรงในการจับยึดที่มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีในพื้นที่ในการจับยึดเล็กกว่า เนื่องจากมีการรวมจุดของแรงที่กระทำทั้งหมดไว้ในพื้นที่หนึ่งๆมากกว่า ทำให้ตัวชั้นส่วนมีการแรงกระทำที่มีความหนาแน่นสูงกว่าในระหว่างจุดจับยึดใดๆ

3.2.3 ตำแหน่งของกาวตัวนำไฟฟ้า

ตำแหน่งของกาวตัวนำไฟฟ้า จะสามารถอธิบายได้ในลักษณะเดียวกับตำแหน่งของกาวโครงสร้างในหัวข้อที่ 3.2.1 ได้เช่นกัน

3.2.4 ขนาดของกาวตัวนำไฟฟ้า

ขนาดของกาวตัวนำไฟฟ้า จะสามารถอธิบายได้ในลักษณะเดียวกับขนาดของกาวโครงสร้างในหัวข้อที่ 3.2.2 ได้เช่นกัน

3.2.5 ความเข้มของแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV)

การอบกาวโครงสร้างด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต เป็นเทคโนโลยีในการอบกาวให้แข็งตัวที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าการอบกาวโดยการใช้ความร้อนโดยตรง ทำให้ลดการโก่งตัวลงไปได้ [4] อย่างไรก็ตามการที่จะทำการอบกาวโดยการใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตเพียงอย่างเดียวจะใช้เวลาานานมาก ดังนั้นทางบริษัทผู้ผลิตกาวจึงมีการพัฒนาตัวกาวที่สามารถทำการอบได้ด้วยทั้ง 2 วิธี ซึ่งจะใช้การอบกาว

ด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตเพื่อให้กาวส่วนที่แสงสามารถส่องถึงแข็งตัวก่อน จากนั้นจึงทำการอบ เพื่อให้ตัวเนื้อกาวที่เหลือแข็งตัวอย่างสมบูรณ์โดยการใช้ความร้อนอีกครั้ง จาก [4] ได้อธิบายไว้ว่า ด้วยความเข้มของแสงอัลตราไวโอเล็ตที่สูงกว่า จะทำให้มีพลังงานที่จะไปทำให้ตัวเนื้อกาวแข็งตัว ได้มากกว่า ดังนั้นเมื่อทำการอบกาวด้วยความร้อนในกระบวนถัดไป กาวในส่วนที่แข็งตัวแล้วที่ มากกว่าจะมีความเป็นไปได้ที่จะต้านทานการขยายตัวของชิ้นส่วนที่นำมาประกอบกันได้ดีกว่า

3.2.6 ระยะเวลาในการให้แสงอัลตราไวโอเล็ต (UV)

ในการทำงานเกี่ยวกับความเข้มของแสงอัลตราไวโอเล็ตในหัวข้อที่ 3.2.5 ที่มุ่งเน้นที่จะทำ ให้มีกาวในส่วนที่แข็งตัวจากการอบกาวด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตที่มากกว่า ระยะเวลาในการให้ แสงอัลตราไวโอเล็ตที่นานกว่าก็จะให้ส่วนของกาวที่แข็งตัวที่มากกว่าเช่นกัน

3.2.7 ระยะห่างจากปลายท่อ นำแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) ถึงตัวงาน

ปัจจัยนี้เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความเข้มของแสงอัลตราไวโอเล็ต เนื่องจากระยะห่างที่ น้อยกว่าจะทำให้มีการกระจายของแสงออกไปรอบๆปลายท่อ นำแสงที่น้อยกว่า ทำให้มีความเข้ม ของแสงอัลตราไวโอเล็ตที่กระทบตัวงานที่มากกว่า (พิจารณาผลกระทบของความเข้มของแสง อัลตราไวโอเล็ตจากหัวข้อ 3.2.5) รวมถึงความร้อนที่เกิดขึ้นที่ปลายท่อ นำแสงจะส่งผลกระทบต่อ ตัวชิ้นงานประกอบได้มากกว่าด้วย ซึ่งอาจจะทำให้คุณสมบัติทางเคมีของตัวกาวเปลี่ยนแปลงได้

3.2.8 ขนาดของแรงจับยึดในระหว่างการทำการเชื่อมต่อวงจรด้วยอัลตราโซนิก

ปัจจัยนี้ถูกนำมาพิจารณาด้วยเนื่องจากว่ามีความเป็นไปได้ว่า ในขณะที่กาวยังไม่แข็งตัว เต็มที่ทั้งหมด เมื่อมีการบีบกดที่ตัวงานเกิดขึ้น อาจเกิดการยุบตัวของตัวกาวและชิ้นส่วนตัวแขนยึด ตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลได้ หลังจากทำการเชื่อมต่อวงจรโดยใช้การสันลูกบอลทองด้วยความถี่สูงใน ระดับอัลตราโซนิกแล้ว แรงจับยึดดังกล่าวจะถูกปลดออก ทำให้ชิ้นส่วนที่ยุบตัวไปคลายตัวกลับมา อยู่ในสภาวะปกติ แต่เนื่องจากมีจุดจับยึดตัวงานเกิดขึ้นในขณะที่ยุบตัว จึงทำให้เกิดการต้านการคืน ตัวดังกล่าวได้ และเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการ โกงตัวขึ้นได้

3.2.9 อุณหภูมิในการอบกาวด้วยรังสีความร้อนหรือรังสีอินฟราเรด (Infrared Ray)

จากหัวข้อที่ 3.2.1 ซึ่งกล่าวถึงการ โกงตัวที่เกิดจากการยึดติดชิ้นส่วนสองชิ้นซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวกระทบกับความร้อนที่แตกต่างกัน ดังนั้นหากสามารถอบกาวให้แข็งตัวอย่างสมบูรณ์ได้ที่ระดับของอุณหภูมิที่ต่ำลง การขยายตัวของชิ้นส่วนทั้งสองชิ้นก็จะน้อยลง เป็นผลให้ความแตกต่างของชิ้นส่วนทั้งสอง ขณะขยายตัวเต็มที่ภายใต้อุณหภูมิการอบกาวที่ต่ำลงมีค่าน้อยลงไปด้วย ซึ่งทำให้สามารถลดแรงดันขณะที่ชิ้นส่วนประกอบเย็นตัวลงสู่อุณหภูมิห้องได้ และเกิดการเปลี่ยนแปลงการ โกงตัวที่น้อยกว่า อย่างไรก็ตาม จาก [5] การลดอุณหภูมิที่ใช้ในการอบกาวที่ต่ำลงจำเป็นที่จะต้องใช้เวลาในการอบกาวที่นานขึ้นอย่างเห็นได้ชัดด้วย

3.2.10 ความเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิภายในตู้อบกาว

มีการให้ความเห็นว่าหากมีการเพิ่มอุณหภูมิที่เร็วเกินไป น่าจะเกิดความแตกต่างของการขยายตัวของชิ้นส่วนประกอบทั้งหมดค่อนข้างมาก กล่าวคือ เนื่องจากตัวชิ้นส่วนหลักซึ่งก็คือตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล (Slider) ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายแก้ว มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อกระทบกับความร้อนที่น้อยกว่า และมีความหนาที่มากกว่า เมื่อเทียบกับตัวชิ้นส่วนตัวแขนจับยึด (Suspension) ซึ่งเป็นโลหะเหล็กกล้าไร้สนิม ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อกระทบกับความร้อนที่มากกว่า และมีความหนาที่น้อยกว่า ดังนั้นตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลจำเป็นต้องใช้เวลานานกว่าเพื่อรักษาอัตราการขยายตัวให้ใกล้เคียงกับตัวแขนจับยึดให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งหมายถึงอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ช้ากว่าน่าจะส่งผลให้เกิดความแตกต่างของการขยายตัวของชิ้นส่วนประกอบทั้งหมดที่น้อยกว่าและเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าการ โกงตัวที่น้อยกว่านั่นเอง

3.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลจากวัสดุ (Material)

วัสดุต่างๆที่ถูกใช้ในกระบวนการประกอบชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลนั้น มีทั้งวัสดุเชิงทางตรง กล่าวคือ ตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลและตัวแขนจับยึด และวัสดุเชิงทางอ้อม ซึ่งประกอบไปด้วย กาวโครงสร้างที่ใช้ในการยึดติดชิ้นส่วนประกอบซึ่งเป็นวัสดุเชิงทางตรงทั้งสองชิ้น กาวที่มีส่วนผสมของตัวนำไฟฟ้า ที่ใช้ในการทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวกลางเพื่อการถ่ายเทประจุไฟฟ้าที่อาจจะเกิดการสะสมบนตัวงานลงสู่สายดินได้ และทองที่ใช้เพื่อการเชื่อมต่อวงจรของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลเข้ากับลายวงจรบนตัวแขนจับยึด โดยที่คุณสมบัติของวัสดุต่างๆเหล่านี้ได้ถูกนำมาพิจารณาผลกระทบ ที่อาจจะมีต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการ โกงตัวของตัวชุดประกอบสำเร็จหัวเขียน

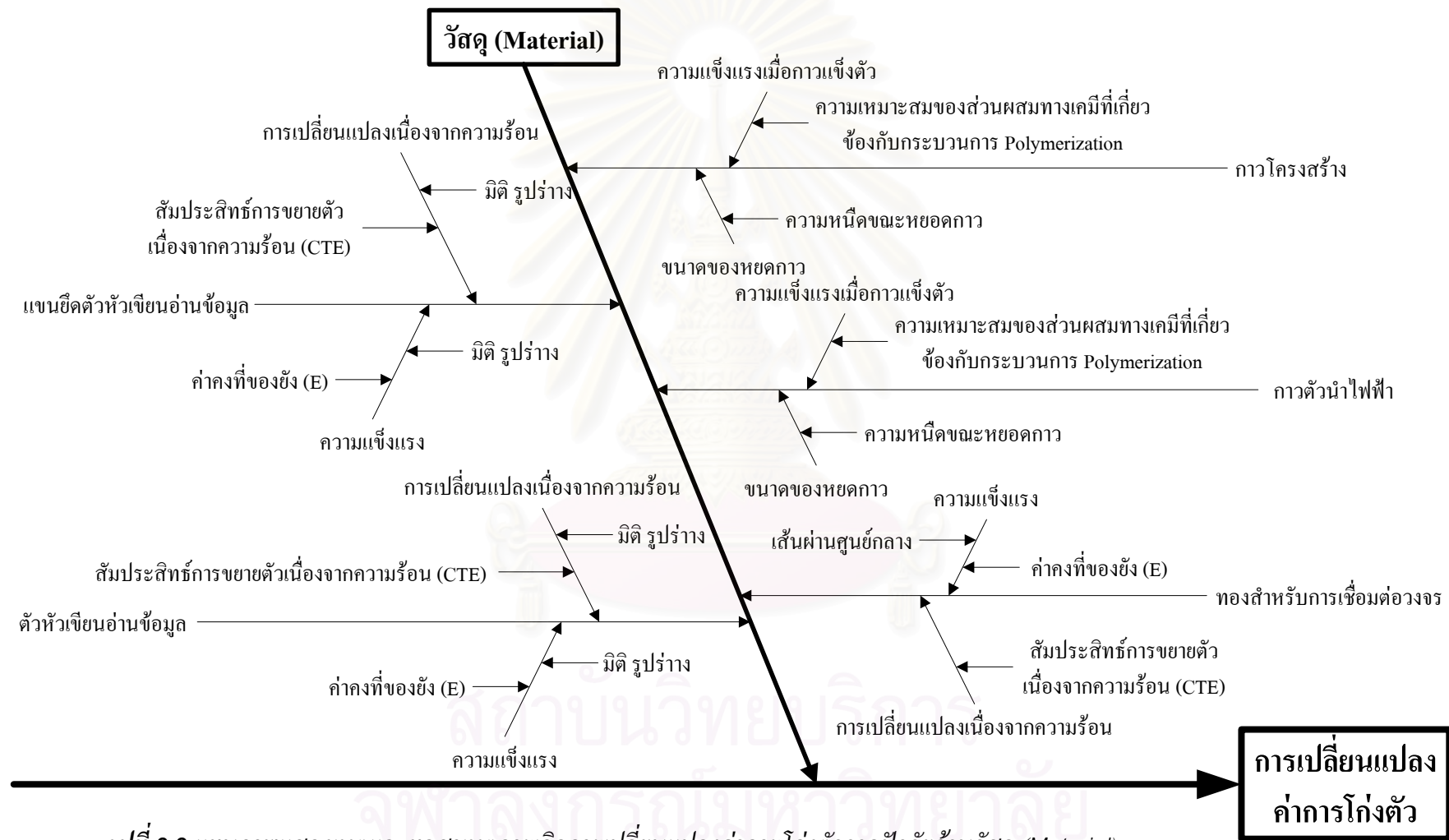
อ่านข้อมูล ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆดังที่ได้แสดงไว้ในแผนภาพเหตุและผล รูปที่ 3.3 และสามารถอธิบายลงไปรายละเอียดได้ดังนี้

3.3.1 ค่า CTE ของตัวแกนจับยึดตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล

จากข้อมูลคุณสมบัติวัสดุของตัวแกนจับยึด (เหล็กกล้าไร้สนิม) จากบริษัทผู้ผลิต ค่า CTE (Coefficient of Thermal Expansion, α) หรือค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อกระทบกับความร้อนของตัวแกนจับยึดตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล มีค่าประมาณ 17.2 ppm/ $^{\circ}$ C กล่าวคือ จาก [3] และในหัวข้อที่ 2.3.2 สามารถกล่าวได้ว่า จะมีการขยายตัวเกิดขึ้นในทุกทิศทางของตัวแกนจับยึด 17.2 ส่วนในล้านส่วนของขนาดของตัวงาน ณ อุณหภูมิห้อง เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของตัวชิ้นงานทุกๆ 1 องศาเซลเซียส หรือสามารถคำนวณขนาดของการขยายตัวได้จาก $\delta_T = \alpha(\Delta T)L$ และเนื่องจากค่า CTE นี้เป็นค่าที่เกิดจากตัววัสดุที่ใช้ในการทำตัวแกนจับยึด ดังนั้นความผันแปรของตัววัสดุที่ใช้ในการผลิตตัวแกนจับยึดจึงส่งผลโดยตรงต่อความผันแปรของค่า CTE ของตัวแกนจับยึด และเป็นผลให้เกิดความผันแปรของการขยายตัวของตัวแกนจับยึด ณ อุณหภูมิในการอบกาวหนึ่งๆได้ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของหัวเขียนอ่านข้อมูลในตัวงานแต่ละตัว

3.3.2 ค่าคงที่ของยัง (Young's Modulus, E) ของตัวแกนจับยึดตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล

เนื่องจากตัวแกนจับยึดตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลมีค่า CTE หรือ α ที่มากกว่าตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล รวมทั้งมีความหนาที่น้อยกว่าตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล ทำให้เกิดการขยายตัวตามแนวความยาวที่มากกว่า ณ อุณหภูมิในการอบกาวหนึ่งๆ และจาก [3] และในหัวข้อที่ 2.3.2 ได้อธิบายปรากฏการณ์การเกิดแรงภายในตัววัสดุ ที่เป็นผลมาจากการที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของตัวชิ้นงานเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวงาน ซึ่งแรงที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ $P = -AE\alpha(\Delta T)$ ทำให้สามารถตีความหมายได้ว่า ยิ่งค่า E มาก แรงดังกล่าวที่เกิดขึ้นก็จะมากขึ้นด้วย (จากข้อมูลคุณสมบัติวัสดุของตัวแกนจับยึด มีค่า E อยู่ที่ประมาณ 161 GPa) ดังนั้นความแปรปรวนของค่า E ของตัวแกนจับยึดซึ่งเป็นผลมาจากความแปรปรวนของค่า E ของวัสดุที่ใช้ในการผลิตตัวแกนจับยึดตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล จะทำให้เกิดความแปรปรวนในแรงดังกล่าวได้ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของหัวเขียนอ่านข้อมูลของชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล



รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงเหตุและผลสาเหตุการเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวจากปัจจัยด้านวัสดุ (Material)

3.3.3 มิติรูปร่างของตัวแขนจับยึดตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล

จากหัวข้อที่ 3.3.1 และ 3.3.2 พบว่า ค่า CTE ส่งผลโดยตรงต่อการขยายตัวของตัวชิ้นงาน เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ และการขยายตัวนั้นก็จะส่งผลโดยตรงต่อแรงที่จะเกิดขึ้นในตัวงานเมื่ออุณหภูมิของตัวงานกลับเข้าสู่อุณหภูมิห้อง โดยที่การขยายตัวใดๆนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นงาน อุณหภูมิห้องด้วย ดังนั้นความผันแปรใดๆของขนาดและรูปร่างของตัวแขนจับยึดตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลย่อมส่งผลต่อการขยายตัวเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิด้วย และส่งผลต่อความผันแปรของการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวด้วยเช่นกัน

3.3.4 ค่า CTE ของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล

จากข้อมูลคุณสมบัติวัสดุของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล (วัสดุประกอบไคตาเนียมคาร์ไบด์) ตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล มีค่า CTE ที่ประมาณ $7.6 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าตัวแขนจับยึดมาก (พิจารณา ค่า CTE ของตัวแขนจับยึดในหัวข้อที่ 3.3.1) รวมทั้งมีความหนาที่มากกว่าตัวแขนจับยึดอย่างมาก ด้วย (11.8 mil เทียบกับ 0.8 mil) ทำให้เกิดการขยายตัวตามแนวความยาวที่น้อยกว่ามาก ณ อุณหภูมิในการอบกาวหนึ่งๆ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลในชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล และเนื่องจากปัญหาดังกล่าวนี้ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ การเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าการโก่งตัวต้องเกิดขึ้นอย่างแน่นอน และความผันแปรของค่า CTE ของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลจะส่งผลโดยตรงต่อค่าความผันแปรของการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล เนื่องจากเกิดความผันแปรของการขยายตัว ณ อุณหภูมิในการอบกาวที่ระดับหนึ่งๆ

3.3.5 ค่าคงที่ของยัง (Young's Modulus, E) ของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล

จากข้อมูลคุณสมบัติวัสดุของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล ตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายแก้ว และมีค่า E ที่สูงมาก (350 GPa) แต่เนื่องจากมีค่า CTE ที่ต่ำมาก และมีความหนาที่สูงมาก การขยายตัวตามแนวยาวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลจึงมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับตัวแขนจับยึด การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในช่วงที่เท่ากัน กล่าวคือจากอุณหภูมิห้องถึงระดับอุณหภูมิในการอบกาว ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่แรงภายในที่เกิดขึ้นจากการคืนตัวเมื่ออุณหภูมิลบเข้าสู่อุณหภูมิห้อง จึงมีค่าไม่สูงนัก และเนื่องจากการที่มีการขยายตัวในแนวยาวที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับตัวแขนจับยึด

ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจึงเปรียบเสมือนตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล ถูกแรงที่เกิดจากแรงภายในของตัว แขนจับยึดขณะคืนตัว ดึงเข้าหากัน ณ ตำแหน่งการหยุดกวาดต่าง ๆ นั้นเอง อย่างไรก็ตาม จาก [3] ได้ อธิบายไว้ด้วยว่าค่า E จะเป็นตัวกำหนดค่าความแข็งแรงในการต้านทานการรับภาระของแรงใน ลักษณะต่างๆด้วย ดังนั้นหากค่า E ของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลมีค่าที่มากพอ ก็จะสามารถต้านทาน การเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวได้ และเนื่องจากค่า E เป็นค่าที่เกิดจากตัววัสดุที่ใช้ในการผลิตตัวหัว เขียนอ่านข้อมูล ความผันแปรของค่า E ของตัววัสดุที่ใช้ในการผลิตตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล จึงส่งผล ถึงความผันแปรในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวดังกล่าวด้วย

3.3.6 มิติรูปร่างของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล

มิติรูปร่างของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล สามารถอธิบายในรายละเอียดได้ในลักษณะเดียวกับ ในหัวข้อที่ 3.3.3 แต่มีส่วนที่เพิ่มเติมคือ เนื่องจากในหัวข้อที่ 3.3.5 ได้อธิบายไว้ถึงปรากฏการณ์ที่ เกิดขึ้น ซึ่งอยู่ในลักษณะที่ตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลต้องต้านทานกับแรงดึงเข้าหากันที่เกิดจากแรง ภายในตัวแขนจับยึดเมื่อเกิดการคืนตัว โดยแรงดังกล่าวจะกระทำ ณ จุดที่ทำการจับยึดไว้ด้วยกาว จาก [3] ได้อธิบายถึงผลกระทบจากรูปร่างของชิ้นงานที่แตกต่างกันจะสามารถรับภาระของแรงที่ กระทำในลักษณะต่างๆได้แตกต่างกันด้วย ความผันแปรของขนาดรูปร่างของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล จึงส่งผลโดยตรงต่อความผันแปรในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวด้วย

3.3.7 ความแข็งแรงของกาวโครงสร้างและกาวตัวนำไฟฟ้าเมื่อแข็งตัว

จากหัวข้อที่ 3.3.5 ได้กล่าวถึงการที่ตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลจะต้องรับภาระแรงดึงที่เกิดจาก แรงภายในของตัวแขนจับยึดที่เกิดจากการคืนตัวจากสถานะที่ขยายตัวที่อุณหภูมิสูงสู่สถานะที่ อุณหภูมิลดลง โดยแรงดังกล่าวจะกระทำต่อตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล ณ จุดยึดต่างๆที่ทำการหยุดกวาด ไว้ จาก [5] หากตัวเนื้อกาวเมื่อแข็งตัวเต็มที่แล้วมีความยืดหยุ่นมากพอ จะสามารถซึมซับแรงดึง ดังกล่าวได้ ซึ่งจะช่วยให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวที่น้อยลงได้ หากแต่ว่าการที่จะทำให้กาวมี ความยืดหยุ่นดังกล่าวนี้ สิ่งที่จะต้องเสียไปก็คือความแข็งแรงในการยึดจับชิ้นส่วนประกอบ ทั้ง สองชิ้นนั่นเอง ซึ่งเป็นสิ่งที่สร้างความเสี่ยงที่สูงมากต่อความน่าเชื่อถือในตัวผลิตภัณฑ์ชุดประกอบ ลำโพงหัวเขียนอ่านข้อมูล ความแข็งแรงของการจับยึดที่เกิดจากกาวเมื่อมีการแข็งตัวเต็มที่นั้นเกิด จากความสมบูรณ์ของผลึกที่เกิดจากกระบวนการโพลีเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ของตัวเนื้อ กาวเมื่อกาวโครงสร้างกระทบกับแสงอัลตราไวโอเล็ตและความร้อน และเมื่อกาวที่มีส่วนผสมของ ตัวนำไฟฟ้ากระทบกับความร้อน หากกาวโครงสร้างได้รับพลังงานทั้งจากแสงอัลตราไวโอเล็ตและ

ความร้อนที่มากพอ และกาวที่มีส่วนผสมของตัวนำไฟฟ้าได้รับพลังงานจากความร้อนที่มากพอ ความสมบูรณ์ของผลึกของกาวก็จะมีมากซึ่งส่งผลให้เกิดความแข็งแรงที่สูงด้วย ทั้งนี้ก็ต้องอยู่ที่ส่วนผสมทางเคมีของกาวเองด้วยว่า จะสามารถเกิดกระบวนการโพลีเมอร์ไรเซชันได้สมบูรณ์เพียงใด ภายใต้การให้พลังงานจากแสงอัลตราไวโอเลตและพลังงานจากความร้อนที่ถูกต้องแล้ว อีกทั้งจากประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญภายในโรงงานตัวอย่างพบว่าหากปริมาณของตัวกาวมีมาก ความแข็งแรงก็จะมากขึ้นด้วยเช่นกัน

3.3.8 ความหนืดของกาวโครงสร้างและกาวที่มีส่วนผสมของตัวนำไฟฟ้า

ความหนืดของกาวทั้งสองชนิดนี้ จะส่งผลโดยตรงต่อความผิดพลาดของค่าเป้าหมายของปริมาณของการหยอดกาวที่มีการปรับตั้งไว้ที่เครื่องหยอดกาวอัตโนมัติ เนื่องจากเครื่องหยอดกาวดังกล่าวใช้การปรับตั้งตัวตั้งเวลาและความดันเป็นตัวแปรขาเข้าเพื่อการควบคุมขนาดของหยดกาวที่จะทำการหยอด ภายใต้ค่าของเวลาและความดันหนึ่งๆที่ทำการปรับตั้งไว้ จะให้ขนาดของหยดกาวที่แตกต่างกันหากค่าความหนืดของกาวแตกต่างกัน กล่าวคือหากความหนืดของกาวมากกว่าปกติ ขนาดของหยดกาวก็จะเล็กลง ในทางตรงกันข้าม หากความหนืดของกาวน้อยกว่าปกติ ขนาดของหยดกาวก็จะใหญ่ขึ้น อย่างไรก็ตามตัวเครื่องหยอดกาวอัตโนมัติดังกล่าวจะหยุดทำงาน หากระบบการวัดขนาดของหยดกาวโดยการใช้กล้องจับภาพหยดกาวที่ทำการหยอดไปแล้ว ตรวจพบว่า มีความผิดพลาดของการหยอดกาวเกิดขึ้นกับตัวงานครบ 3 ตัว จากการหยอดกาวสำหรับงาน 1 ชุด หรือ 10 ตัว โดยช่างเทคนิคจะต้องมาทำการปรับตั้งค่าของเวลาและความดันให้เหมาะสมก่อนจึงจะสามารถเปิดให้เครื่องทำงานต่อไปได้

3.3.9 ค่า CTE ของทองสำหรับการเชื่อมต่อวงจร

เมื่อทำการอบตัวชุดประกอบสำเร็จตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลในตู้อบกาว ชิ้นส่วนประกอบทั้งหมดจะขยายตัว รวมถึงลูกบอลทองที่ใช้ในการเชื่อมต่อสายวงจรด้วย ค่า CTE ของตัวทองที่ใช้ในการทำการเชื่อมต่อสายวงจรอยู่ที่ประมาณ $14.4 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ ซึ่งจะน้อยกว่าค่า CTE ของตัวแกนจับยึดเล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาถึงขนาดความหนาของลูกบอลทองเทียบกับความหนาของตัวแกนจับยึดพบว่าความหนาของลูกบอลทองมีความหนาที่มากกว่ามาก (5 mil และ 0.8 mil ตามลำดับ) ดังนั้นการขยายตัวของตัวลูกบอลทองก็จะน้อยกว่าการขยายตัวของตัวแกนจับยึดด้วย และเมื่ออุณหภูมิกลับสู่อุณหภูมิห้อง ชิ้นส่วนทั้งหมดก็จะคืนตัว โดยที่ตัวแกนจับยึดจะมีการคืนตัวที่มากที่สุด และจากการที่ลูกบอลทองได้ทำการเชื่อมต่อไว้กับทั้งตัวแกนจับยึดและตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล การคืนตัวของตัว

แขนจับยึดจึงพาลูกบอลที่ทำการเชื่อมต่อลายวงจรไปด้วย ทำให้เกิดแรงกดอัดบริเวณปลายด้านหนึ่งของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล ซึ่งจะส่งผลให้มีแรงภายนอกอีกหนึ่งแรงมากระทำเพิ่มเติมที่ตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล เป็นผลให้เกิดการโก่งตัวที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นหากค่า CTE ของทองที่ใช้ในการทำการเชื่อมต่อลายวงจรมีความผันแปร ก็จะทำให้แรงกดที่ตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลมีความผันแปรด้วยเช่นกัน ส่งผลต่อความผันแปรของการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลได้

3.3.10 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทองที่ใช้ในการสร้างการเชื่อมต่อวงจร

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทองที่ใช้ในการเชื่อมต่อลายวงจรส่งผลโดยตรงต่อขนาดของลูกบอลทองที่จะถูกสร้างขึ้น โดยเครื่องเชื่อมต่อลูกบอลทองอัตโนมัติ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่กว่าจะส่งผลให้ได้ลูกบอลทองที่ใหญ่กว่า และเมื่อได้ขนาดของลูกบอลทองที่ใหญ่กว่าก็จะทำให้พื้นที่ที่แรงกดอัดที่จะกระทำกับตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลมีมากขึ้น จึงทำให้ตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลรับแรงกดอัดที่มากกว่า ซึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัว ดังนั้นความผันแปรของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทองที่ใช้ในการเชื่อมต่อลายวงจร จึงส่งผลต่อความผันแปรของการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลด้วย

3.3.11 ค่าคงที่ของยัง (Young's Modulus, E) ของทองที่ใช้ในการเชื่อมต่อวงจร

ในหัวข้อที่ 3.3.10 ที่ได้กล่าวถึงการเกิดแรงกดอัดของลูกบอลทองที่มีต่อตัวเขียนอ่านข้อมูล อย่างไรก็ตามแรงกดอัดดังกล่าวอาจจะมีค่าที่ลดลงได้หากค่า E ของลูกบอลทองบนชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลนั้นมีค่าที่น้อยลง (ค่า E ของทองที่ใช้ในการเชื่อมต่อวงจรมีค่าอยู่ที่ประมาณ 74.4 GPa) ดังนั้นความผันแปรของค่า E ของทองที่ใช้ในการเชื่อมต่อลายวงจรจึงส่งผลต่อความผันแปรของการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลด้วย

3.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลจากเครื่องจักร (Machine)

เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิตชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลนั้น จะต้องถูกนำมาพิจารณาถึงผลกระทบที่อาจจะมีต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลด้วย เนื่องจากกระบวนการในการผลิตชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลนั้นใช้เครื่องจักรอัตโนมัติในการผลิต ความผิดพลาดต่างๆที่เกิดขึ้นจากเครื่องจักร โดยทั่วไปจะส่งผลให้วิธีการทำงานที่ถูกกำหนดไว้เกิดความผิดพลาด และอาจจะส่งผลกระทบต่อโก่งตัวของตัวหัวเขียน

อ่านข้อมูลได้ ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆดังที่ได้แสดงไว้ในแผนภาพเหตุและผล รูปที่ 3.4 และสามารถอธิบายลงไปรายละเอียดได้ดังนี้

3.4.1 เครื่องหยุดคาว

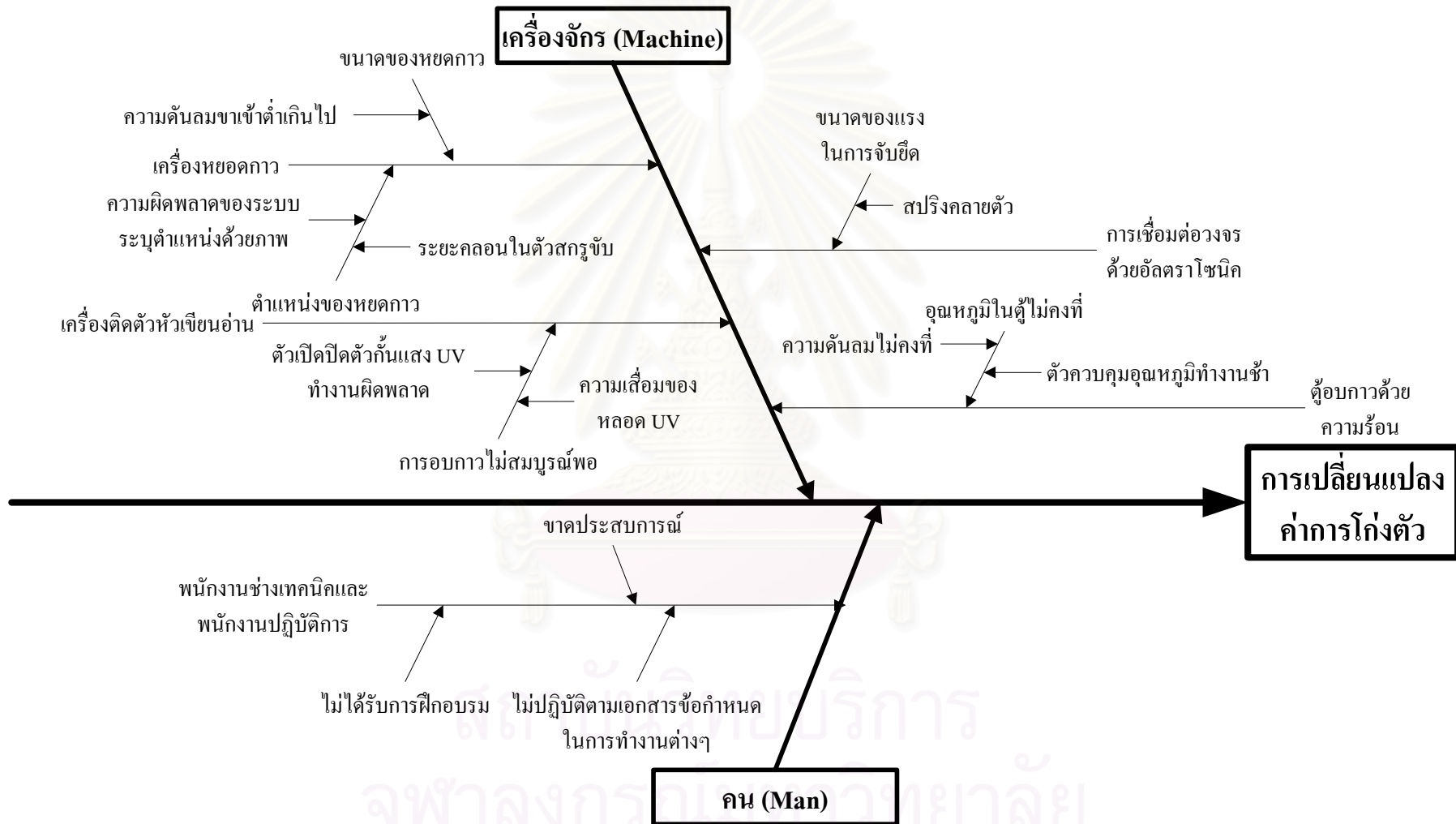
เครื่องหยุดคาวที่ใช้ในกระบวนการผลิตชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลในโรงงานตัวอย่าง จะทำการหยุดคาวทั้ง 2 ชนิด (คาวโครงสร้างและคาวที่มีส่วนผสมของตัวนำไฟฟ้า) ตามรูปแบบที่ได้มีการออกแบบไว้ โดยใช้ระบบควบคุมที่ทำงานประสานกับกล่องที่ติดตั้งไว้ที่ตัวเครื่อง เพื่อทำการจับภาพและกำหนดตำแหน่งที่จะทำการหยุดคาว สำหรับปริมาณในการหยุดคาวในแต่ละตำแหน่งจะถูกปรับตั้งด้วยความดันลมและระยะเวลาในการหยุดคาว

ดังนั้นความผิดพลาดของเครื่องหยุดคาวนี้ จะส่งผลต่อความผิดพลาดในแง่ของ ตำแหน่งและขนาดของหยุดคาว ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจาก ความผิดพลาดของระบบการระบุตำแหน่งด้วยภาพ ระยะคลอนภายในตัวสกรูจับ และความดันลมเข้าเครื่องที่ต่ำเกินไป เป็นต้น ซึ่งความผิดพลาดดังที่กล่าวมานั้น จะส่งผลต่อความผันแปรของการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล

3.4.2 เครื่องประกอบตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล (Slider) เข้ากับตัวแขนจับยึด (Suspension)

เครื่องที่ใช้ในการประกอบตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล เข้ากับตัวแขนจับยึดที่ทำการหยุดคาวตามรูปแบบที่ได้ออกแบบไว้แล้ว เป็นเครื่องอัตโนมัติเช่นกัน และมีระบบกำหนดตำแหน่งด้วยภาพ เพื่อการวางตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลลงบนตัวแขนจับยึดได้อย่างถูกต้องแม่นยำ พร้อมกันนั้นจะทำการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet, UV) เป็นระยะเวลาตามที่ได้ปรับตั้งไว้ เพื่อให้กาวโครงสร้างในส่วนที่แสงสามารถส่องเข้าถึงได้แข็งตัวก่อน เพื่อเกิดการจับยึดตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลเข้ากับตัวแขนจับยึดที่แข็งแรงพอที่จะส่งเข้าสู่กระบวนการถัดไปได้

ความผิดพลาดของเครื่องประกอบตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล ที่น่าจะส่งผลกระทบต่อการทำงานเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลนั้น จะมีเพียงส่วนที่ทำการฉายแสง UV เพื่อการทำให้กาวในส่วนที่แสงสามารถเข้าถึงได้แข็งตัว ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจาก ตัวเปิดปิดตัวกั้นแสง UV ทำงานผิดพลาด และการเสื่อมสภาพของหลอด UV ซึ่งเป็นเหตุให้กาวโครงสร้างมีส่วนที่แข็งตัวเนื่องจากการรับแสง UV ที่น้อยกว่าปกติ



รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงเหตุและผลสาเหตุการเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวจากปัจจัยด้านเครื่องจักร (Machine) และคน (Man)

3.4.3 เครื่องเชื่อมต่อวงจรโดยใช้ลูกบอลทองและการสั่นด้วยความถี่สูง (Ultrasonic)

เครื่องเชื่อมต่อวงจรของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลเข้ากับลายวงจรของตัวแขนจับยึดนี้ จะทำการสร้างลูกบอลทองขึ้นจากสายไฟที่ทำจากทอง โดยการสปาร์คด้วยไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์สูง จากนั้นลูกบอลทองดังกล่าวจะถูกยึดด้วยความถี่ในย่าน อัลตราโซนิก เข้ากับผิวของขั้วต่อวงจรของทั้งที่อยู่บนตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลและที่อยู่บนแขนจับยึดเพื่อสร้างการเชื่อมต่อวงจรขึ้น โดยจะทำการเชื่อมวงจรทั้งหมดจำนวน 4 ลูก สำหรับชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล 1 ตัว และเนื่องจากตัวชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลยังไม่ได้อบกาวให้แข็งตัวอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นในระหว่างที่ทำการเชื่อมต่อวงจรจะมีอุปกรณ์ช่วยในการจับยึด เพื่อช่วยให้ตัวงานประกอบที่ยังไม่สมบูรณ์ สามารถทนต่อการกระแทกจากเครื่องนี้ได้

ความผิดพลาดของเครื่องเชื่อมต่อวงจร ที่น่าจะส่งผลกระทบต่อค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลนั้น จะมีเพียงส่วนของความผิดพลาดของชุดอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดตัวงานประกอบเท่านั้น ในแง่ของความผิดพลาดของค่าแรงกดของสปริงที่ถูกติดตั้งในอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดตัวงานประกอบ

3.4.4 ตู้อบกาวด้วยรังสีความร้อน (Infrared Ray Oven)

ตู้อบกาวนี้เป็นระบบสายพานลำเลียง ทำการอบกาวโครงสร้างและกาวที่มีส่วนผสมของตัวนำไฟฟ้าให้แข็งตัวอย่างสมบูรณ์ โดยจะมีการปรับตั้งให้ได้ อุณหภูมิเพื่อการอบกาว เวลาที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิ และเวลาที่จะต้องอยู่ที่ระดับอุณหภูมิเพื่อการอบกาว

ความผิดพลาดของตู้อบกาว ที่น่าจะส่งผลกระทบต่อค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลนั้น จะมีอยู่เพียงเรื่องเดียวคือ การที่อุณหภูมิภายในตู้อบกาวไม่คงที่ ทำให้ตัวงานประกอบได้รับความร้อนในระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน และส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจาก ความไม่สม่ำเสมอของความดันลมขาเข้า และการที่ตัวควบคุมอุณหภูมิทำงานเข้าไป

3.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลจากคน (Man)

ในกระบวนการประกอบชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล ซึ่งกระบวนการเป็นแบบ กึ่งอัตโนมัติ กล่าวคือ มีเครื่องจักรที่ทำงานโดยอัตโนมัติ และมีพนักงานปฏิบัติการที่จะต้องคอยนำ วัตถุดิบหรือชิ้นงานที่อยู่ในระหว่างการประกอบใส่เข้าไปในเครื่อง และควบคุมเครื่องตามวิธีการ มาตรฐานที่ได้รับการฝึกอบรมมา สำหรับเครื่องจักรต่างๆจำเป็นต้องได้รับการบำรุงรักษาโดย พนักงานช่างเทคนิค ทั้งการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและการบำรุงรักษาเมื่อเครื่องจักรเกิดปัญหาขึ้น และการปรับตั้งอย่างถูกต้องตามข้อกำหนดความต้องการของแต่ละผลิตภัณฑ์

ดังนั้นความผิดพลาดใดๆที่จะเกิดจากคน ซึ่งหมายรวมถึงทั้งพนักงานปฏิบัติการและ พนักงานช่างเทคนิค จะมีสาเหตุหลักๆ กล่าวคือ การไม่ได้รับการฝึกอบรมถึงวิธีการทำงานที่ถูกต้อง การขาดประสบการณ์ในการทำงาน และการไม่ปฏิบัติตามเอกสารข้อกำหนดในการทำงานต่างๆที่ ได้รับการฝึกอบรมมา ความผิดพลาดต่างๆเหล่านี้ อาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวของ หัวหัวเขียนอ่านข้อมูลได้ ดังรายละเอียดในแผนภาพเหตุและผลในรูปที่ 3.4

3.6 เกณฑ์ในการเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทำการศึกษาดูด้วยการออกแบบการทดลอง

เมื่อพิจารณาปัจจัยต่างๆในกระบวนการผลิต ที่ถูกพิจารณาว่าน่าจะมีผลกระทบกับการ เปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวของหัวหัวเขียนอ่านข้อมูล (หัวข้อที่ 3.2, 3.3, 3.4 และ 3.5) นั้น พบว่ามี จำนวนปัจจัยที่สนใจที่มากเกินไป กล่าวคือมีจำนวนทั้งสิ้น 26 ปัจจัย ดังนั้นเพื่อให้การดำเนินการ ทดลองตามแผนการออกแบบการทดลองเป็นไปได้ ปัจจัยที่จะถูกเลือกออกมาเพื่อการดำเนิน การศึกษาต่อไปโดยใช้การออกแบบการทดลอง จะมีจำนวนเพียง 4 ถึง 6 ปัจจัย เพื่อให้เป็นไปตาม [1] และ [8] ซึ่งแนะนำให้ใช้กฎ 25% ซึ่งหมายถึงการเริ่มการทดลองในครั้งแรกควรจะใช้ทรัพยากร ที่มีอยู่ในปริมาณที่ไม่เกิน 25% ของทรัพยากรที่มีอยู่ทั้งหมด เพื่อให้มีทรัพยากรเหลือพอสำหรับ การทำการทดลองในลำดับถัดไป ในกรณีที่การทดลองเริ่มต้นเกิดความผิดพลาด หรือหาก จำเป็นต้องทำการทดลองเพิ่มเติม และสำหรับการทดลองเพื่อการยืนยันผลด้วย ส่วนเกณฑ์ในการ เลือกปัจจัยเพื่อทำศึกษานั้นจะใช้หลักการตาม [6] ซึ่งจะพยายามเลือกปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่า ตอบสนองอย่างมาก โดยอาจใช้ข้อมูลการทดลองที่ได้ทำไปแล้วในอดีต หรือความรู้ทางวิศวกรรม เข้าช่วยในการเลือกเพื่อให้ได้ปัจจัยที่เหมาะสม

โดยมีเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกปัจจัย ดังนี้

1. ปัจจัยที่จะถูกเลือกนั้นต้องสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้
2. ปัจจัยที่ถูกเลือกนั้น จะต้องไม่มีผลกระทบต่อรอบเวลาในการผลิต (Cycle Time) มากนัก
3. ปัจจัยที่อยู่นอกเหนือความรับผิดชอบของหน่วยงานจะไม่นำมาพิจารณา
4. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคนจะเลือกใช้พนักงานที่มีความชำนาญ ทำงานได้ถูกต้อง เพื่อลดข้อผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น และจะกำหนดเป็นปัจจัยควบคุม
5. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักร และเป็นลักษณะที่เกี่ยวข้องกับความสามารถของเครื่องจักร จะไม่นำมาพิจารณา เพราะไม่ต้องการวัดความสามารถของเครื่องจักรหรือเครื่องมืออื่น และจะกำหนดปัจจัยนั้นให้เป็นปัจจัยควบคุม
6. เนื่องจากเป็นลักษณะงานที่มีเทคโนโลยีในระดับสูง วัสดุที่ใช้ในกระบวนการจะเป็นวัสดุเฉพาะที่มีคุณสมบัติตรงตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์และของกระบวนการเท่านั้น
7. ปัจจัยที่จะเลือกนั้นจะพิจารณาโดยใช้ความรู้ในเชิงวิศวกรรมประกอบด้วย
8. ปัจจัยที่เลือกควรจะให้ผลในการลดการเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวของตัวหัวอ่าน ข้อมูลได้อย่างเป็นรูปธรรม

จากนั้นจะทำการเลือกปัจจัยต่างๆที่ได้ถูกพิจารณาไว้ในหัวข้อที่ 3.2, 3.3, 3.4 และ 3.5 แล้วตามหลัก 4M ซึ่งเหตุผลในการเลือกหรือไม่เลือกปัจจัยนั้น จะมีรายละเอียดดังในหัวข้อถัดไป

3.7 การพิจารณาเลือกปัจจัยที่มีอิทธิพลจากวิธีการทำงาน (Method)

การพิจารณาเลือกปัจจัยต่างๆที่มาจากวิธีการทำงาน ว่าควรที่จะถูกเลือกเป็นปัจจัยเพื่อใช้ในการทำการศึกษาดูการออกแบบการทดลองหรือไม่นั้น สามารถอธิบายถึงเหตุผลต่างๆได้ดังนี้

3.7.1 ตำแหน่งของกาวโครงสร้าง

จากที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 3.2.1 ว่าตำแหน่งของกาวโครงสร้างถูกพิจารณาว่ามีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล ซึ่งเป็นผลมาจากการกระจายของแรงภายในที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของชิ้นงานประกอบที่มีค่า CTE ที่แตกต่างกัน

และเป็นปัจจัยซึ่งตรงกับเกณฑ์ในการเลือกปัจจัยทุกข้อ ปัจจัยนี้จึงถูกพิจารณาให้เป็นปัจจัยที่จะถูกนำไปศึกษาต่อ โดยการใช้การออกแบบการทดลอง

3.7.2 ขนาดของกาวโครงสร้าง

เช่นเดียวกับในหัวข้อที่ 3.7.1 ขนาดของกาวโครงสร้างก็ถูกพิจารณาให้เป็นปัจจัยที่จะถูกทำการศึกษาต่อโดยการใช้การออกแบบการทดลอง กล่าวคือขนาดของกาวโครงสร้างจะส่งผลต่อความสามารถในการกระจายของแรงที่ภายในที่เกิดขึ้นเช่นกัน และตรงกับเกณฑ์ในการเลือกทุกข้อ

3.7.3 ตำแหน่งของกาวตัวนำไฟฟ้า

ตำแหน่งของกาวตัวนำไฟฟ้า ก็ถูกพิจารณาให้เป็นปัจจัยที่จะทำการศึกษาต่อด้วยการออกแบบการทดลองเช่นกัน ซึ่งสามารถอธิบายเหตุผลได้ในลักษณะเดียวกับกรณีของตำแหน่งของกาวโครงสร้างในหัวข้อที่ 3.7.1

3.7.4 ขนาดของกาวตัวนำไฟฟ้า

ขนาดของกาวตัวนำไฟฟ้า ก็ถูกพิจารณาให้เป็นปัจจัยที่จะทำการศึกษาต่อด้วยการออกแบบการทดลองเช่นกัน ซึ่งสามารถอธิบายเหตุผลได้ในลักษณะเดียวกับกรณีของขนาดของกาวโครงสร้างในหัวข้อที่ 3.7.2

3.7.5 ความเข้มของแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV)

ปัจจัยนี้จะถูกตัดออก เนื่องจากค่าความเข้มของแสงอัลตราไวโอเล็ต จะขึ้นกับอายุการใช้งานของหลอดแสงอัลตราไวโอเล็ตนั้นๆ กล่าวคือความเข้มของแสงจะลดลงเมื่อผ่านชั่วโมงในการใช้งานที่มากขึ้น อย่างไรก็ตามจากข้อกำหนดการใช้ความเข้มแสงที่ถูกต้องจากบริษัทผู้ผลิตกาวโครงสร้างได้ระบุว่าความเข้มแสงที่เหมาะสมควรจะไม่ต่ำกว่า 50 mW/cm^2 ในขณะที่โรงงานตัวอย่างควบคุมค่าความเข้มแสงไว้ที่ไม่ต่ำกว่า 500 mW/cm^2 ซึ่งถือว่าเหมาะสมกับการใช้งานอยู่แล้ว รวมทั้งภายในโรงงานตัวอย่างได้เคยทำการศึกษาถึงผลกระทบของความเข้มแสงที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลแล้ว ซึ่งพบว่าไม่มีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามปัจจัยนี้จะถูกกำหนดให้เป็นปัจจัยควบคุม โดยการใช้หลอดแสงอัลตราไวโอเล็ตเพียงหลอดเดียว

ตลอดการทดลอง และจะเก็บหลอดแสงดังกล่าวไว้เมื่อทำการทดลองเสร็จ เพื่อเตรียมไว้สำหรับการทดลองที่อาจจะมีขึ้นถัดไป

3.7.6 ระยะเวลาในการให้แสงอัลตราไวโอเล็ต (UV)

จากหัวข้อที่ 3.2.6 ระยะเวลาในการให้แสงอัลตราไวโอเล็ตที่นานกว่าก็จะให้ส่วนของกาวที่แข็งตัวที่มากกว่า ซึ่งเชื่อว่าจะช่วยให้สามารถต้านทานการขยายตัวของตัวชิ้นงานภายในคู่อบกาวด้วยความร้อนได้ดีกว่า ซึ่งเป็นผลให้ลดการเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวได้ แต่การเพิ่มเวลาในการให้แสงอัลตราไวโอเล็ตนั้นจะไม่เหมาะสมในแง่ของการทำให้ Cycle Time ยาวนานขึ้น ซึ่งเป็นผลให้เกิดความไม่สมดุลย์ของสายการผลิตได้ แต่เนื่องจากทางกลุ่มที่ระดมความคิดมีความเห็นตรงกันว่า ปัจจัยนี้ควรจะถูกศึกษาด้วย เพราะหากว่าปัจจัยนี้ส่งผลกระทบต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ การปรับเปลี่ยนเพื่อแก้ปัญหาค่าความไม่สมดุลย์ของสายการผลิตจะถูกดำเนินการต่อไป ดังนั้นปัจจัยนี้จึงถูกเลือกเพื่อเป็นปัจจัยที่จะทำการศึกษาต่อไป

3.7.7 ระยะห่างจากปลายท่อนำแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) ถึงตัวงาน

ปัจจัยนี้ได้ถูกพิจารณาเลือกเพื่อทำการศึกษาต่อไป เนื่องจากระยะห่างที่น้อยกว่ากว่า จะทำให้มีปริมาณการสูญเสียของแสงอัลตราไวโอเล็ตที่น้อยกว่า และความร้อนที่เกิดขึ้นที่ปลายท่อนำแสงก็จะสูญเสียได้น้อยกว่าด้วย ส่งผลกระทบต่อตัวชิ้นงานประกอบได้มากกว่า รวมทั้งปัจจัยนี้เป็นปัจจัยที่ง่ายต่อการปรับเปลี่ยนด้วย

3.7.8 ขนาดของแรงจับยึดในระหว่างการทำกรเชื่อมต่อวงจรด้วยอัลตราโซนิก

ปัจจัยนี้ได้ถูกตัดออกไป เนื่องจากว่าได้มีการทดลองในอดีตแบบปัจจัยเดียวเพื่อศึกษาถึงผลกระทบจากความแตกต่างของแรงจับยึด ที่อาจจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล พบว่าไม่มีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามปัจจัยนี้ได้ถูกกำหนดให้เป็นปัจจัยควบคุม โดยตลอดการทำกรทดลองค่าดังกล่าวจะถูกปรับตั้งไว้ที่ 500 ± 10 gf. ซึ่งเป็นค่าที่ถูกใช้อยู่ในปัจจุบัน

3.7.9 อุณหภูมิในการอบกาวด้วยรังสีความร้อนหรือรังสีอินฟราเรด (Infrared Ray)

จากที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3.2.9 ว่าหากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบกาวมีค่าที่ต่ำลง ซึ่งถูกพิจารณาว่าน่าจะส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลลดลงได้ แต่เวลาที่จะต้องใช้ในการอบกาวเพื่อให้กาวแข็งตัวอย่างสมบูรณ์จะยาวนานขึ้นอย่างมาก ซึ่งจากข้อกำหนดของบริษัทผู้ผลิตกาวโครงสร้างได้ระบุไว้ว่า อุณหภูมิในการอบกาวอยู่ที่ 125°C จะใช้เวลาในการอบกาวประมาณ 10 นาที หากอุณหภูมิในการอบกาวอยู่ที่ 80°C จะใช้เวลาในการอบกาวประมาณ 3 ชั่วโมง ซึ่งจะส่งผลถึงความสมดุลของสายการผลิตอย่างมาก ดังนั้นปัจจัยนี้จึงถูกตัดออกไปอย่างไรก็ตามปัจจัยนี้ถูกกำหนดให้เป็นปัจจัยควบคุม กล่าวคือจะใช้ค่าอุณหภูมิที่ $130 \pm 5^{\circ}\text{C}$ และระยะเวลาในการอบกาวเท่ากับ 13 ± 2 นาที ตลอดการทดลอง

3.7.10 ความเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิภายในตู้อบกาว

ปัจจัยนี้ได้ถูกตัดออกเนื่องจากได้เคยมีการศึกษามาแล้วในอดีต ว่าการปรับเปลี่ยนใดๆของความเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิภายในตู้อบกาว จากระดับของอุณหภูมิห้องขึ้นไปจนถึงอุณหภูมิในการอบกาว จะไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล และในปัจจุบันก็ไม่มีการควบคุมค่าดังกล่าว รวมทั้งการปรับเปลี่ยนดังกล่าวยังส่งผลต่อ Cycle Time ของการอบกาวด้วย ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเกิดความไม่สมดุลของสายการผลิตขึ้น

3.8 การพิจารณาเลือกปัจจัยที่มีอิทธิพลจากวัสดุ (Material)

การพิจารณาเลือกปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลจากวัสดุ ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติต่างๆของวัสดุต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิต ว่าควรที่จะถูกเลือกเป็นปัจจัยเพื่อใช้ในการทำการศึกษาดูการออกแบบการทดลองหรือไม่ นั้น สามารถอธิบายถึงเหตุผลต่างๆได้ดังนี้

3.8.1 ค่า CTE ของตัวแกนจับยึดตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล

ปัจจัยนี้ได้ถูกตัดออก เนื่องจากค่า CTE ของตัวแกนจับยึดเป็นค่าที่ไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้โดยง่าย เนื่องจากตัวแกนจับยึดเป็นส่วนที่ทางโรงงานตัวอย่างทำการสั่งซื้อมาจากผู้ผลิตภายนอก 2 บริษัท การปรับเปลี่ยนดังกล่าวมีความยุ่งยากซับซ้อนเป็นอย่างมาก จำเป็นต้องพิจารณา

ถึงเงื่อนไขข้อกำหนดต่างๆ ของข้อจำกัดความต้องการของชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลอย่างละเอียด รวมทั้งมีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก การปรับเปลี่ยนนี้อยู่นอกเหนือความรับผิดชอบของหน่วยงานที่รับผิดชอบการทำกรศึกษา นี้ และการปรับเปลี่ยนนี้จะต้องได้รับความเห็นชอบจากลูกค้าก่อนเสมอ อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการลดความผันแปรของค่า CTE ของตัวแกนจับยึด การทดลองทั้งหมดจะใช้ตัวแกนจับยึดเพียงล็อตเดียว ที่ผลิตมาจากหน่วยผลิตเดียวของผู้ผลิตเพียงรายเดียวที่ผลิตตัวแกนจับยึดให้โรงงานตัวอย่าง

3.8.2 ค่าคงที่ของยัง (Young's modulus, E) ของตัวแกนจับยึดตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล

ปัจจัยนี้ได้ถูกตัดออกเช่นกัน เนื่องจากค่า E ของตัวแกนจับยึดเป็นค่าที่ไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้โดยง่าย และมีเหตุผลเช่นเดียวกับกรณีของ ค่า CTE ดังในหัวข้อที่ 3.8.1 อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการลดความผันแปรของค่า E ของตัวแกนจับยึด การทดลองทั้งหมดจะใช้ตัวแกนจับยึดเพียงล็อตเดียว ที่ผลิตมาจากหน่วยผลิตเดียวของผู้ผลิตเพียงรายเดียวที่ผลิตตัวแกนจับยึดให้โรงงานตัวอย่าง

3.8.3 มิติรูปร่างของตัวแกนจับยึดตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล

ปัจจัยนี้ได้ถูกตัดออกเช่นกัน เนื่องจากมิติรูปร่างของตัวแกนจับยึดถูกกำหนดโดยลูกค้าร่วมกับผู้ผลิตตัวแกนจับยึด และตัวแกนจับยึดที่ทางโรงงานตัวอย่างใช้อยู่ นี้ ก็จะเป็นแบบเดียวกับที่ทางบริษัทคู่แข่งของโรงงานตัวอย่างใช้อยู่ด้วยเช่นกัน ดังนั้นการปรับเปลี่ยนจึงมีความยุ่งยากซับซ้อนมาก และมีเหตุผลเช่นเดียวกับกรณีของ ค่า CTE ของตัวแกนจับยึด ดังในหัวข้อที่ 3.8.1 อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการลดความผันแปรของมิติรูปร่างของตัวแกนจับยึด การทดลองทั้งหมดจะใช้ตัวแกนจับยึดเพียงล็อตเดียว ที่ผลิตมาจากหน่วยผลิตเดียวของผู้ผลิตเพียงรายเดียวที่ผลิตตัวแกนจับยึดให้โรงงานตัวอย่าง

3.8.4 ค่า CTE ของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล

ปัจจัยนี้ได้ถูกพิจารณาตัดออกไป เนื่องจาก ถึงแม้ว่าตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลจะถูกผลิตขึ้นจากโรงงานผลิตของทางโรงงานตัวอย่างเองก็ตาม แต่โรงงานผลิตดังกล่าวขึ้นตรงต่อบริษัทแม่ของโรงงานตัวอย่างที่ประเทศสหรัฐอเมริกา และการเปลี่ยนแปลงในส่วนนี้จะอยู่ในส่วนที่นอกเหนือความรับผิดชอบของโรงงานตัวอย่างในประเทศไทย รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้มีความ

ยุ่งยากซับซ้อนเป็นอย่างมาก จำเป็นต้องพิจารณาถึงเงื่อนไขข้อกำหนดต่างๆของข้อจำกัดความต้องการของชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลอย่างละเอียด รวมทั้งมีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก อีกทั้งการเปลี่ยนจะสามารถกระทำได้ดีก็ต่อเมื่อได้รับความเห็นชอบจากบริษัทลูกค้าของบริษัทแล้วเท่านั้น อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการลดความผันแปรของค่า CTE ของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล การทดลองทั้งหมดจะใช้ตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลเพียงล็อตเดียว ที่ผลิตมาจากหน่วยผลิตเดียว ภายในช่วงเวลาที่สำคัญๆเท่านั้น

3.8.5 ค่าคงที่ของยัง (Young's Modulus, E) ของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล

ปัจจัยนี้ได้ถูกพิจารณาตัดออกเช่นกัน โดยมีเหตุผลเช่นเดียวกับกรณีของค่า CTE ของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล ในแง่ของความซับซ้อนยุ่งยากในการปรับเปลี่ยน แต่เพื่อเป็นการลดความผันแปรของค่า E ของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล การทดลองทั้งหมดจะใช้ตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลเพียงล็อตเดียว ที่ผลิตมาจากหน่วยผลิตเดียว ภายในช่วงเวลาที่สำคัญๆเท่านั้น

3.8.6 มิติรูปร่างของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล

ปัจจัยนี้ได้ถูกตัดออกเช่นกัน เนื่องจากมิติรูปร่างของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลเป็นมาตรฐานที่บริษัทที่ผลิตชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลทุกบริษัททั่วโลก ใช้เป็นการอ้างอิงในการพัฒนาตัวผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการปรับเปลี่ยนดังกล่าวจึงมีความยุ่งยากซับซ้อนเป็นอย่างมาก แต่เพื่อเป็นการลดความผันแปรของมิติรูปร่างของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล การทดลองทั้งหมดจะใช้ตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลเพียงล็อตเดียว ที่ผลิตมาจากหน่วยผลิตเดียว ภายในช่วงเวลาที่สำคัญๆเท่านั้น

3.8.7 ความแข็งแรงของกาวโครงสร้างและกาวตัวนำไฟฟ้าเมื่อแข็งตัว

ปัจจัยนี้ได้ถูกตัดออก ด้วยเหตุผลในด้านความยุ่งยากในการปรับเปลี่ยน และการที่การปรับเปลี่ยนนี้อยู่นอกเหนือความรับผิดชอบของโรงงานตัวอย่างที่จะกระทำการใดๆได้ เนื่องจากความแข็งแรงของกาวโครงสร้างและกาวตัวนำไฟฟ้าเมื่อแข็งตัวนั้น จะขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของกระบวนการโพลีเมอร์ไรเซชัน อันเป็นผลมาจากส่วนผสมทางเคมีที่เหมาะสม ซึ่งเป็นความลับทางเทคโนโลยีของบริษัทผู้ผลิตกาวที่โรงงานตัวอย่างได้ทำการจัดซื้อกาวทั้งสองชนิดมา อีกทั้งกาวทั้งสองชนิดนี้ต้องทำการประเมินผลคุณภาพ ตามข้อกำหนดผลิตภัณฑ์ของชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล ทั้งในด้าน เชิงกล คุณสมบัติทางเคมี ความสะอาด และความปลอดภัยต่างๆก่อน และทาง

บริษัทลูกค้าซึ่งสั่งซื้อชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลจากโรงงานตัวอย่าง จะต้องอนุมัติก่อนด้วย จึงจะนำมาใช้งานได้ ซึ่งกาวทั้ง 2 ชนิดนี้ได้ผ่านการทดสอบคุณสมบัติด้านต่างๆดังกล่าว และทางบริษัทลูกค้าของโรงงานตัวอย่าง ได้อนุมัติให้สามารถใช้ในการผลิตชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลเพื่อส่งให้กับบริษัทลูกค้าได้ แต่เพื่อเป็นการลดความผันแปรของคุณสมบัติดังกล่าวของกาวทั้ง 2 ชนิด การทดลองทั้งหมดจะใช้กาวเพียงล็อตเดียว ที่ผลิตมาจากหน่วยผลิตเดียวจากโรงงานผู้ผลิตกาวทั้ง 2 ชนิดเท่านั้น

3.8.8 ความหนืดของกาวโครงสร้างและกาวที่มีส่วนผสมของตัวนำไฟฟ้า

ปัจจัยนี้ได้ถูกตัดออกเช่นกัน ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับกรณีของความแข็งแรงของกาวเมื่อแข็งตัวเต็มที่ ดังในหัวข้อที่ 3.8.7 ในแง่ของความยุ่งยากและการอยู่นอกเหนือความรับผิดชอบของโรงงานตัวอย่าง แต่เพื่อเป็นการลดความผันแปรของคุณสมบัติดังกล่าวของกาวทั้ง 2 ชนิด การทดลองทั้งหมดจะใช้กาวเพียงล็อตเดียว ที่ผลิตมาจากหน่วยผลิตเดียวจากโรงงานผู้ผลิตกาวทั้ง 2 ชนิดเท่านั้น

3.8.9 ค่า CTE ของทองสำหรับการเชื่อมต่อวงจร

ปัจจัยนี้ได้ถูกตัดออกเช่นกัน เนื่องจากทองที่ใช้ในการเชื่อมต่อวงจรที่โรงงานตัวอย่างใช้อยู่ นั้น เป็นทองชนิดที่ทางโรงงานผู้ผลิตเครื่องทำการเชื่อมต่อวงจรแนะนำมา และทางโรงงานตัวอย่างได้ทำการศึกษาถึงความเหมาะสมในการใช้งานแล้ว และหากจะทำการเปลี่ยนแปลงค่า CTE ของทองที่ใช้ในการทำการเชื่อมต่อวงจรนั้น จำเป็นที่จะต้องหาทองรุ่นอื่น หรือทองที่ผลิตจากบริษัทอื่นแทน ซึ่งการกระทำดังกล่าว จำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาถึงความเหมาะสมในการใช้งานใหม่ ซึ่งรวมถึง ในแง่ของความแข็งแรงของการเชื่อมต่อ และการเข้ากันได้กับเครื่องเชื่อมต่อวงจรที่โรงงานตัวอย่างใช้อยู่ในปัจจุบัน ในแง่ของการปรับตั้งค่าตัวแปรเพื่อใช้ในการสร้างการเชื่อมต่อที่เหมาะสมต่อไป แต่เพื่อเป็นการลดความผันแปรของคุณสมบัติดังกล่าวของทองสำหรับการเชื่อมต่อวงจร การทดลองทั้งหมดจะใช้ทองเพียงม้วนเดียว ที่ผลิตมาจากโรงงานผู้ผลิตทองชนิดนี้เท่านั้น

3.8.10 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทองที่ใช้ในการสร้างการเชื่อมต่อวงจร

ปัจจัยนี้ได้ถูกพิจารณาตัดออกเช่นกัน ด้วยเหตุผลในแง่ของความยุ่งยากในการปรับเปลี่ยน เพราะหากทำการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง อาจส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของจุดเชื่อมต่อ

ในกรณีที่ทำให้การลดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ใช้ หรืออาจส่งผลต่อปริมาณของจุดเชื่อมต่อที่ไม่ได้คุณภาพอันเนื่องมาจากการลัดวงจรของจุดเชื่อมต่อ 2 จุดใดๆในกรณีที่ทำให้การเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ใช้ อย่างไรก็ตามการทดลองทั้งหมดจะใช้ทองเพียงม้วนเดียว ที่ผลิตมาจากโรงงานผู้ผลิตทองชนิดนี้เท่านั้น

3.8.11 ค่าคงที่ของยัง (Young's Modulus, E) ของท่อที่ใช้ในการเชื่อมต่อวงจร

ปัจจัยนี้ถูกตัดออกเช่นกัน ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 3.8.9 ในแง่ของความยุ่งยากในการปรับเปลี่ยน และในแง่ของความแข็งแรงของจุดเชื่อมต่อด้วย กล่าวคือหากค่า E ของท่อที่ใช้ในการเชื่อมต่อวงจรมีค่าน้อยลง อาจจะทำให้จุดเชื่อมต่อวงจรมีความแข็งแรงลดลงได้ อย่างไรก็ตามการทดลองทั้งหมดจะใช้ทองเพียงม้วนเดียว ที่ผลิตมาจากโรงงานผู้ผลิตทองชนิดนี้เท่านั้น

3.9 การพิจารณาเลือกปัจจัยที่มีอิทธิพลจากเครื่องจักร (Machine)

การพิจารณาเลือกปัจจัยต่างๆซึ่งมีอิทธิพลมาจากความผิดพลาดต่างๆของเครื่องจักรต่างๆที่ถูกใช้ในกระบวนการผลิตที่จะนำมาเป็นปัจจัยเพื่อการดำเนินการทดลองต่อหรือไม่นั้น สามารถอธิบายถึงเหตุผลต่างๆได้ดังนี้

3.9.1 เครื่องหยอดกาว

ความผิดพลาดต่างๆที่เกิดจากเครื่องหยอดกาวนั้น จะไม่ถูกนำมาเป็นปัจจัยเพื่อทำการทดลอง เนื่องจากการสิ่งที่ต้องการศึกษาไม่ใช่ความสามารถของเครื่องจักร อีกทั้งการทดลองทั้งหมดจะใช้เครื่องหยอดกาวเพียงเครื่องเดียว โดยจะเลือกเครื่องที่ได้รับการตรวจสอบแล้วว่าอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการใช้งานปกติในสายการผลิต

3.9.2 เครื่องประกอบตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล (Slider) เข้ากับตัวแขนจับยึด (Suspension)

ความผิดพลาดต่างๆของเครื่องประกอบตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลเข้ากับตัวแขนจับยึด ก็จะไม่นำมาพิจารณาเช่นกัน เพราะเราไม่มีจุดมุ่งหมายที่จะทำการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถของเครื่องจักร ความผิดพลาดในเครื่องจักรดังกล่าวที่น่าจะส่งผลกระทบต่อค่าการโก่งตัวของตัวหัวอ่านข้อมูล ดังที่กล่าวมาแล้ว น่าจะมีสาเหตุมาจากเพียงกลไกที่ใช้ในการเปิดปิดตัวกัน

แสงอัลตราไวโอเล็ต และการเสื่อมสภาพของหลอดแสงอัลตราไวโอเล็ต ดังนั้นตลอดการทดลองจะใช้เครื่องจักรดังกล่าวเพียงเครื่องเดียว โดยเครื่องดังกล่าวจะได้รับการตรวจสอบก่อนว่าเหมาะสมกับการใช้งานในสายการผลิตตามปกติได้ รวมทั้งตลอดการทดลอง ผู้ทดลองจะคอยตรวจสอบด้วยสายตาตลอดว่ากลไกดังกล่าวยังคงทำงานปกติตลอดการทดลอง รวมทั้งที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 3.7.5 ว่าหลอดแสงอัลตราไวโอเล็ตจะถูกนำมาใช้เพียงหลอดเดียวตลอดการทดลอง

3.9.3 เครื่องเชื่อมต่อวงจรโดยใช้ลูกบอลทองและการสั่นด้วยความถี่สูง (Ultrasonic)

ปัจจัยนี้จะถือเป็นปัจจัยควบคุม กล่าวอุปกรณ์จับยึดตัวชิ้นงานประกอบชุดประกอบสำเร็จ หัวเขียนอ่านข้อมูลนั้น จะใช้เพียงตัวเดียวตลอดการทดลอง และถูกปรับตั้งไว้อย่างถูกต้อง รวมถึงค่าแรงกดของสปริงที่ใช้ในการบีบกดตัวชิ้นงานจะถูกปรับไว้ที่ 500 ± 10 gf. ซึ่งเป็นค่าเป้าหมายตามปกติของอุปกรณ์ดังกล่าวที่ถูกใช้อยู่ในสายการผลิต

3.9.4 ตู้อบกาวด้วยรังสีความร้อน (Infrared Ray Oven)

ปัจจัยนี้จะถูกพิจารณาตัดออกไป แต่จะใช้ตู้อบกาวเพียงตู้เดียวตลอดการทดลองทั้งหมด และตลอดการทดลองจะมีการกำหนดให้มีพนักงานหนึ่งคนที่คอยตรวจสอบที่อุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันลมที่ติดตั้งไว้ที่ตู้อบกาว เพื่อดูแรงดันลมขาเข้าตู้อบกาวตลอดเวลาว่าค่าแรงดันลมดังกล่าวคงที่ตลอดการทดลอง

3.10 การพิจารณาเลือกปัจจัยที่มีอิทธิพลจากคน (Man)

ปัจจัยนี้จะถูกพิจารณาเป็นปัจจัยควบคุม โดยการที่จะใช้พนักงาน ทั้งพนักงานปฏิบัติการและพนักงานช่างเทคนิค เฉพาะที่ได้รับการฝึกอบรมอย่างถูกต้อง มีประสบการณ์ในการทำงานที่มากพอ และมีความรับผิดชอบที่จะปฏิบัติงานอย่างถูกต้อง เท่านั้น รวมถึงพนักงานที่ปฏิบัติงานทั้งหมดทุกหน้าที่จะเป็นพนักงานชุดเดิมทั้งหมดตลอดการทดลองทั้งหมด

3.11 ผลของการพิจารณาเลือกปัจจัยต่างๆ

จากการพิจารณาเลือกปัจจัยต่างๆ ดังในหัวข้อที่ 3.7 ถึง หัวข้อที่ 3.10 โดยการใช้เกณฑ์ในการพิจารณาเลือกปัจจัยต่างๆดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 3.6 สามารถที่จะสรุปเหตุผลของการเลือกปัจจัยที่จะนำไปใช้ศึกษาต่อไปโดยการใช้ออกแบบการทดลองได้ ดังตารางที่ 3.1 ส่วนเหตุผลของการไม่เลือกปัจจัยใดๆไว้เพื่อทำการศึกษาต่อไปนั้น สามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 3.2 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 สรุปปัจจัยต่างๆที่ถูกเลือกเพื่อใช้ในการออกแบบการทดลอง

ปัจจัย	เหตุผลที่ปัจจัยถูกเลือก
1. ตำแหน่งของกาวโครงสร้าง	ตำแหน่งของกาวยิ่งใกล้และอยู่ใกล้แกนกลางของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลจะยิ่งทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลที่น้อยกว่า ปรับเปลี่ยนได้ง่าย และไม่กระทบกับ Cycle Time
2. ขนาดของกาวโครงสร้าง	ขนาดของกาวที่ใหญ่ขึ้นจะสามารถกระจายแรงภายในได้ดีกว่าทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลที่น้อยกว่า ปรับเปลี่ยนได้ง่าย และไม่กระทบกับ Cycle Time
3. ตำแหน่งของกาวตัวนำไฟฟ้า	เหตุผลเช่นเดียวกับกรณีของ ตำแหน่งของกาวโครงสร้าง
4. ขนาดของกาวตัวนำไฟฟ้า	เหตุผลเช่นเดียวกับกรณีของ ขนาดของกาวโครงสร้าง
5. ระยะเวลาในการให้แสงอัลตราไวโอเลต (UV)	แม้กระทบกับ Cycle Time แต่เวลาที่นานขึ้นจะส่งผลให้มีส่วนที่แข็งตัวมากขึ้นช่วยให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลที่น้อยกว่า และสามารถทำการปรับเปลี่ยนได้โดยง่าย
6. ระยะห่างจากปลายท่อนำแสงอัลตราไวโอเลต (UV) ถึงตัวงาน	ระยะห่างที่น้อยกว่าจะทำให้มีการสูญเสียของแสงอัลตราไวโอเลตและความร้อนที่เกิดขึ้นที่ปลายท่อที่น้อยกว่าเป็นผลให้มีส่วนที่แข็งตัวมากขึ้นช่วยให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลที่น้อยกว่า ปรับเปลี่ยนได้ง่าย และไม่กระทบกับ Cycle Time

ตารางที่ 3.2 สรุปปัจจัยต่างๆที่ไม่ถูกเลือกเพื่อใช้ในการออกแบบการทดลอง

ปัจจัย	เหตุผลที่ไม่เลือกปัจจัย	วิธีการควบคุมเบื้องต้น
1. ปัจจัยที่มีอิทธิพลจากวิธีการทำงาน (Method)		
1.1 ความเข้มของแสงอัลตราไวโอเลต (UV)	ความเข้มแสงที่ใช้ในปัจจุบันมากกว่าค่าแนะนำจากบริษัทผู้ผลิตมาก และทางโรงงานตัวอย่างได้เคยทำการทดลองแล้ว ซึ่งไม่มีผลกระทบ	ใช้หลอดแสงอัลตราไวโอเลตเพียงหลอดเดียวตลอดการทดลองทั้งหมด
1.2 ขนาดของแรงจับยึดในระหว่างการทำการเชื่อมต่อวงจรด้วยอัลตราโซนิก	เคยมีการทดลองในอดีตว่าไม่ส่งผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญ	ใช้ค่าของแรงจับยึดที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และใช้ตัวอุปกรณ์ในการจับยึดดังกล่าวเพียงตัวเดียว
1.3 อุณหภูมิในการอบกาวด้วยรังสีความร้อนหรือรังสีอินฟราเรด (Infrared Ray)	หากทำการปรับเปลี่ยนค่าอุณหภูมิจะทำให้ต้องใช้เวลาที่ยาวนานขึ้นเป็นอย่างมาก กระทบกับ Cycle Time	ใช้ค่าของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และใช้ตู้อบกาวเพียงตู้เดียวตลอดการทดลอง
1.4 ความเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิภายในตู้อบกาว	การทดลองในอดีตให้ผลว่าไม่มีผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญ และกระทบกับ Cycle Time ด้วย	ไม่มีการควบคุม
2. ปัจจัยที่มีอิทธิพลจากวัสดุ (Material)		
2.1 ค่า CTE และค่า E ของตัวแกนจับยึดตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล	มีความยุ่งยากในการปรับเปลี่ย นมาก และอยู่นอกเหนือความรับผิดชอบของโรงงานตัวอย่าง	ใช้ตัวแกนจับยึดเพียงล็อตเดียว ซึ่งผลิตจากหน่วยผลิตเดียวของบริษัทผู้ผลิตเพียงรายเดียว
2.2 มิติรูปร่างของตัวแกนจับยึดตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล	เป็นค่าที่ถูกกำหนดร่วมกันระหว่างผู้ผลิตตัวแกนจับยึด และบริษัทลูกค้าซึ่งสั่งซื้อชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลจากทางโรงงานตัวอย่าง มีความยุ่งยากในการปรับเปลี่ยนมาก	เหมือนข้อ 2.1

ปัจจัย	เหตุผลที่ไม่เลือกปัจจัย	วิธีการควบคุมเบื้องต้น
2.3 ค่า CTE และค่า E ของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล	มีความยุ่งยากในการปรับเปลี่ยนมาก และอยู่นอกเหนือความรับผิดชอบของหน่วยงานที่ทำการศึกษา	ใช้ตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลเพียงลีดเดียว
2.4 มิติรูปร่างของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล	เป็นค่ามาตรฐานที่โรงงานผู้ผลิตชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลใช้กันทั่วโลก ยกต่อการปรับเปลี่ยนมาก	เหมือนข้อ 2.3
2.5 ความแข็งแรงของกาวโครงสร้างและกาวตัวนำไฟฟ้าเมื่อแข็งตัว	ขึ้นอยู่กับส่วนผสมทางเคมีที่เกิดจากกระบวนการของบริษัทผู้ผลิตกาว อยู่นอกเหนือความรับผิดชอบของโรงงานตัวอย่าง และมีความยุ่งยากในการเปลี่ยนแปลงสูงมาก	ใช้กาวทั้ง 2 ชนิดเพียงลีดเดียว
2.6 ความหนืดของกาวโครงสร้างและกาวตัวนำไฟฟ้า	เหมือนข้อ 2.5	เหมือนข้อ 2.5
2.7 ค่า CTE และค่า E ของทองสำหรับทำการเชื่อมต่อวงจร	ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของทองที่สั่งซื้อมาจากบริษัทภายนอก อยู่นอกเหนือความรับผิดชอบของโรงงานตัวอย่าง และมีความยุ่งยากในการปรับเปลี่ยนมาก	ใช้ทองเพียงม้วนเดียว
2.8 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทองที่ใช้ในการสร้างการเชื่อมต่อวงจร	กระทบต่อคุณภาพของจุดเชื่อมต่อ	ใช้ค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน
3. ปัจจัยที่มีอิทธิพลจากเครื่องจักร (Machine)		
3.1 เครื่องหยอดกาว	ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นปัจจัยในการทดลอง	ใช้เครื่องหยอดกาวเพียงเครื่องเดียว ซึ่งได้รับการตรวจสอบว่าอยู่ในสภาพพร้อมสำหรับการใช้งาน

ปัจจัย	เหตุผลที่ไม่เลือกปัจจัย	วิธีการควบคุมเบื้องต้น
3.2 เครื่องประกอบตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล (Slider) เข้ากับตัวแขนจับยึด (Suspension)	ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นปัจจัยในการทดลอง	ใช้เพียงเครื่องเดียว ซึ่งใช้หลอดแสง UV เพียงหลอดเดียว และมีการตรวจสอบการกลไกเปิดปิดตัวกันแสง UV ตลอดการทดลอง
3.3 เครื่องเชื่อมต่อวงจรโดยใช้ลูกบอลทองและการสั่นด้วยความถี่สูง (Ultrasonic)	ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นปัจจัยในการทดลอง	ใช้เพียงเครื่องเดียว และใช้อุปกรณ์เพื่อการจับยึดเพียงตัวเดียว ซึ่งได้รับการปรับตั้งค่าแรงกดของสปริงตามค่าที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน
3.4 ตู้อบกาวด้วยรังสีความร้อน (Infrared Ray Oven)	ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นปัจจัยในการทดลอง	ใช้ตู้อบกาวเพียงตัวเดียว และมีการกำหนดให้มีพนักงานคอยตรวจสอบค่าแรงดันของลมขาเข้าตลอดการทดลอง
4. ปัจจัยที่มีอิทธิพลจากคน (Man)		
4.1 พนักงานปฏิบัติการและพนักงานช่างเทคนิคที่เกี่ยวข้องทั้งหมด	ความผิดพลาดต่างๆของคนสามารถที่จะทำการป้องกันและปรับปรุงได้ และไม่เหมาะที่จะนำมาเป็นปัจจัยเพื่อการทดลอง	ใช้พนักงานที่ได้รับการฝึกอบรมอย่างถูกต้อง มีประสบการณ์สูง มีความรับผิดชอบ และใช้พนักงานชุดเดิมรับผิดชอบตำแหน่งเดิมตลอดการทดลอง

3.12 สรุป

หลังจากที่ทางคณะทำงานได้พยายามระดมความคิด เพื่อให้ได้รายการของปัจจัยที่น่าจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลของชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล โดยการใช้แผนภูมิเหตุและผลเป็นเครื่องมือช่วยให้การระดมความคิดดังกล่าวคล่องตัวขึ้น จากนั้นก็ทำการพิจารณาลงในรายละเอียดเพื่อทำการคัดเลือกปัจจัยที่ศึกษา เพื่อจะนำไปใช้เป็นปัจจัยเพื่อการออกแบบการทดลองต่อไป และผลลัพธ์ที่ได้ก็คือ ปัจจัยที่ถูกพิจารณาเลือกออกมาจำนวน 6 ปัจจัย กล่าวคือ ตำแหน่งของการหยอดกาวโครงสร้าง ขนาดของกาว

โครงสร้างที่หยอด ตำแหน่งของการหยอดการตัวนำไฟฟ้า ขนาดของกาวตัวนำไฟฟ้าที่หยอด
ระยะเวลาในการให้แสง UV และระยะห่างจากปลายท่อ นำแสง UV ถึงตัวงานประกอบ ซึ่งในบท
ต่อไป จะใช้ปัจจัยที่ถูกพิจารณาเลือกเหล่านี้มาใช้ในการออกแบบการทดลอง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ขั้นตอนของการออกแบบการทดลอง

4.1 บทนำ

จากบทที่ 3 ซึ่งได้ทำการศึกษาลึกลงไปในรายละเอียดของปัจจัยต่างๆที่มีแนวโน้มว่าจะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล และได้ทำการสรุปเพื่อการเลือกปัจจัยที่มีศักยภาพและเหมาะสมกับการทดลองต่อไปนั้น ซึ่งได้ปัจจัยที่จะนำมาใช้ในการทดลองทั้งหมด 6 ปัจจัย คือ ตำแหน่งของกาวโครงสร้าง ตำแหน่งของกาวตัวนำไฟฟ้า ขนาดของกาวโครงสร้าง ขนาดของกาวตัวนำไฟฟ้า ระยะห่างจากปลายท่อนำแสง UV ถึงตัวงาน และระยะเวลาในการให้แสง UV ซึ่งในขั้นตอนต่อไปที่จะกล่าวถึงในบทนี้ คือ นำปัจจัยที่เลือกเหล่านี้มาทำการออกแบบการทดลอง เพื่อพิสูจน์สมมติฐานที่ตั้งไว้ว่าปัจจัยทั้ง 6 ตัวนี้มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล จากนั้น เมื่อทำการทดลองแล้วจะนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์โดยใช้หลักการทางสถิติ ซึ่งจะช่วยให้ทราบว่าปัจจัยใดบ้างที่ทำการทดลองไป มีผลกระทบต่อค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นหนึ่งๆ หรือที่ระดับนัยสำคัญที่ต้องการ เพื่อทำการตีความหมายข้อมูลดังกล่าวออกในลักษณะที่จะเป็นประโยชน์ต่อกระบวนการผลิตต่อไป

จาก [1] ได้กล่าวถึงขั้นตอนต่างๆในการทำการทดลอง ซึ่งทางผู้วิจัยจะใช้เพื่อการอ้างอิงในการปฏิบัติตามเพื่อให้การออกแบบการทดลองและการทำการทดลองสัมฤทธิ์ผล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.2 ทำความเข้าใจถึงสถานะของปัญหา

การเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวตามแนวความยาวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล ที่เกิดจากกระบวนการผลิตชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล ส่งผลกระทบต่อค่าความสูงการบินของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลเหนือแผ่นจากเคลือบสารแม่เหล็กซึ่งใช้ในการบันทึกข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ ซึ่ง

หากสามารถทำการควบคุมการเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวดังกล่าวได้ ก็จะมีส่วนในการควบคุมค่าความสูงของการบินดังกล่าวได้ด้วย ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการเขียนอ่านข้อมูลบนแผ่นงานบันทึกข้อมูลที่ตีขึ้น โดยที่ทางโรงงานตัวอย่างได้ตั้งค่าเป้าหมายของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวดังกล่าวว่าจะต้องมีค่าไม่เกิน $0.033 \mu - inch$

4.3 รายละเอียดของปัจจัยที่จะทำการศึกษา

จากการวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการผลิตชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลในบทที่ 3 ซึ่งได้ทำการใช้เกณฑ์ต่างๆเพื่อทำการเลือกปัจจัยที่มีแนวโน้มว่าจะส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล และได้ทำการสรุปเหตุผลในการเลือกปัจจัย เพื่อทำการทดลองไว้ รวมทั้งได้ทำการระบุถึงปัจจัยควบคุมต่างๆด้วย ซึ่งปัจจัยที่ได้ถูกพิจารณาเลือก เพื่อทำการทดลอง ในเบื้องต้นประกอบไปด้วย

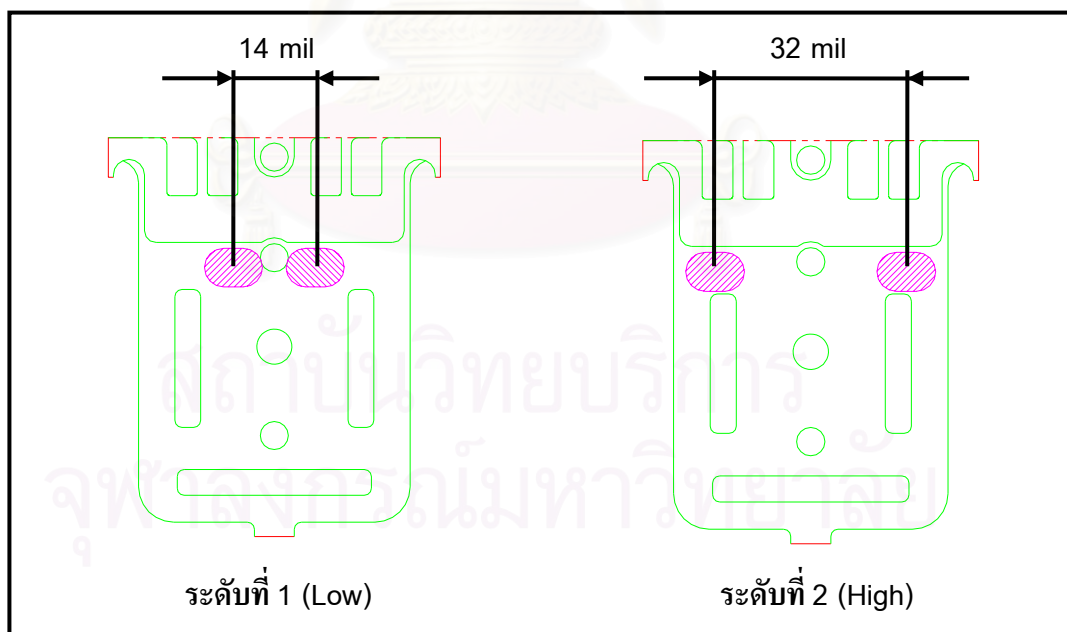
1. ตำแหน่งของกาวโครงสร้าง
2. ตำแหน่งของกาวตัวนำไฟฟ้า
3. ขนาดของกาวโครงสร้าง
4. ขนาดของกาวตัวนำไฟฟ้า
5. ระยะห่างจากปลายท่อนำแสง UV ถึงตัวงาน
6. ระยะเวลาในการให้แสง UV

สำหรับระดับปัจจัย (Levels) ของปัจจัยต่างๆถูกกำหนดให้เป็นแบบตายตัว (Fixed Levels) เนื่องจากปัจจัยที่ถูกเลือกเพื่อทำการทดลองทั้ง 6 ปัจจัยนี้ เป็นปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าได้แน่นอน และเนื่องจากชิ้นส่วนประกอบต่างๆที่จะใช้ทำการทดลองมีราคาที่สูง และทางโรงงานตัวอย่างอยู่ในช่วงที่กำลังทำการลดค่าใช้จ่ายด้วย ทำให้เกิดข้อจำกัดในแง่ของปริมาณวัตถุดิบที่สามารถทำการทดลองได้ (ซึ่งต้องใช้วัตถุดิบซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์รุ่นที่ทำการศึกษาจากผลิตภัณฑ์ในกลุ่มเดียวกันที่ได้เลิกทำการผลิตแล้วเท่านั้น และมีจำนวนจำกัด) อีกทั้งข้อจำกัดในแง่ของการที่จะต้องใส่สายการผลิตซึ่งทำการผลิตตามปกติ ทำให้ไม่สามารถใช้ระยะเวลาในการทำการทดลองที่นานเกินไปนักได้ รวมทั้งปัจจัยบางตัวไม่สามารถที่จะกำหนดให้มากกว่า 2 ระดับได้ เช่น ตำแหน่งและขนาดของกาวทั้ง 2 ชนิด เป็นต้น ดังนั้นระดับปัจจัยของปัจจัยที่จะทำการทดลองจึงกำหนดให้ใช้เพียง 2 ระดับ สำหรับทุกปัจจัยที่ทำการศึกษา และจากความรู้

และประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตชุดประกอบหัวเขียนอ่านข้อมูล ขณะทำงานจึงสามารถระบุถึงช่วง (Range) ที่เหมาะสม สำหรับแต่ละปัจจัยได้ดังนี้

4.3.1 ตำแหน่งของกาวโครงสร้าง

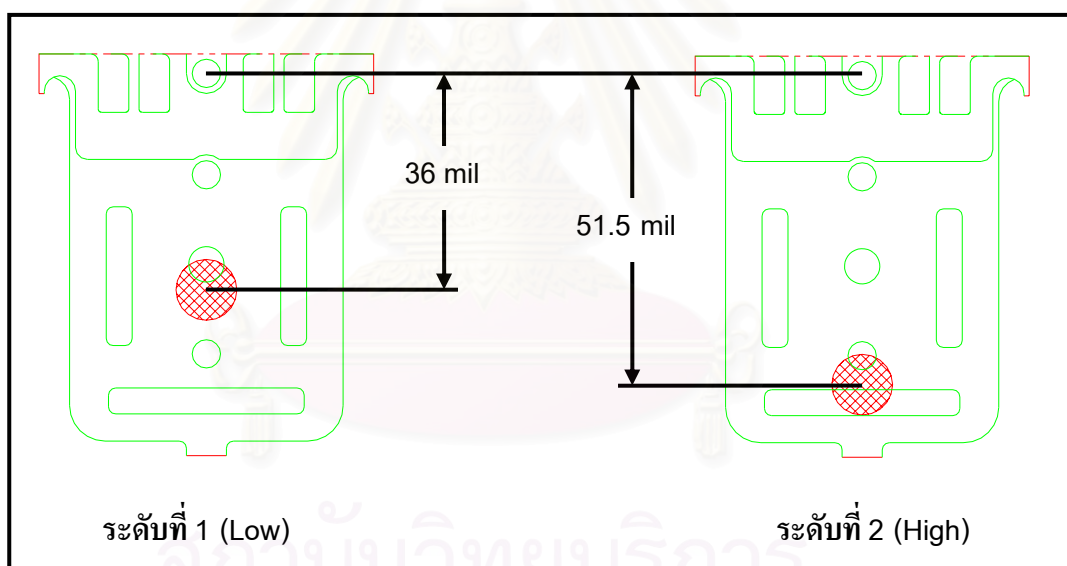
ระดับปัจจัยสำหรับตำแหน่งของกาวโครงสร้างนั้น คือระยะห่างที่แตกต่างกันในแนวแกน X ของหยดกาวโครงสร้างที่ทำการหยอดทั้ง 2 จุด ซึ่งค่าที่ใช้ในปัจจุบันคือ 14 mil (1 mil เท่ากับ 1/1,000 นิ้ว) สำหรับระดับปัจจัยของตำแหน่งกาวโครงสร้างที่จะนำมาทำการทดลองนั้นจะเป็นดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.1 (รูปซ้าย) สำหรับระดับที่ 1 และเป็นค่าที่ถูกใช้งานอยู่ในกระบวนการผลิตปัจจุบัน และ รูปที่ 4.1 (รูปขวา) สำหรับระดับที่ 2 ซึ่งเป็นค่าที่ทางคณะทำงานต้องการทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ใช้ในปัจจุบัน มีระยะห่างเท่ากับ 32 mil ซึ่งเป็นระยะที่ไกลที่สุดที่สามารถจะเป็นไปได้ เพื่อให้ผลของการเปลี่ยนแปลงระดับปัจจัยของปัจจัยนี้ส่งผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองมากที่สุด โดยที่เนื้อกาวทั้งหมดจะยังคงอยู่ภายในเส้นรอบรูปของตัวแกนจับยึด ไม่มีส่วนใดๆของเนื้อกาวล้นออกไปนอกเส้นรอบรูปของตัวแกนจับยึด และจากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ชัดว่าไม่มีระยะมากพอให้ทำการกำหนดให้ปัจจัยมีระดับปัจจัยมากกว่า 2 ระดับ ดังนี้



รูปที่ 4.1 แสดงระดับปัจจัยของตำแหน่งกาวโครงสร้าง

4.3.2 ตำแหน่งของกาวตัวนำไฟฟ้า

ระดับปัจจัยสำหรับตำแหน่งของกาวตัวนำไฟฟ้านั้น เนื่องจากข้อจำกัดในแง่ของความสามารถในการนำไฟฟ้า ทำให้ตำแหน่งของกาวตัวนำไฟฟ้าไม่สามารถมีให้เลือกได้มากนัก และจากการที่มีวิศวกรในโรงงานตัวอย่าง ได้เคยทำการศึกษาถึงผลกระทบของตำแหน่งของกาวตัวนำไฟฟ้าที่มีต่อค่าการนำไฟฟ้า พบว่าตำแหน่งที่เหมาะสมในการหยอดกาวตัวนำไฟฟ้ามีอยู่เพียง 2 ตำแหน่งเท่านั้น (หากกาวตัวนำไฟฟ้าถูกหยอดไว้ที่ตำแหน่งอื่น นอกเหนือจาก 2 ตำแหน่งนี้ จะทำให้เกิดค่าการนำไฟฟ้าที่ไม่สามารถยอมรับได้ กล่าวคือมีค่าความต้านทานที่สูงกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ในข้อกำหนดผลิตภัณฑ์) และได้ถูกพิจารณาให้เป็นระดับปัจจัยที่ต้องการศึกษาทั้ง 2 ระดับ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่แตกต่างกันในแนวแกน Y ของกาวที่หยอด โดยเทียบกับรูอ้างอิง ดังในรูปที่ 4.2 (รูปซ้าย) สำหรับระดับที่ 1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 36 mil และในรูปที่ 4.2 (รูปขวา) สำหรับระดับที่ 2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 51.5 mil และเป็นตำแหน่งที่ถูกใช้งานอยู่ในกระบวนการผลิตในปัจจุบันด้วย

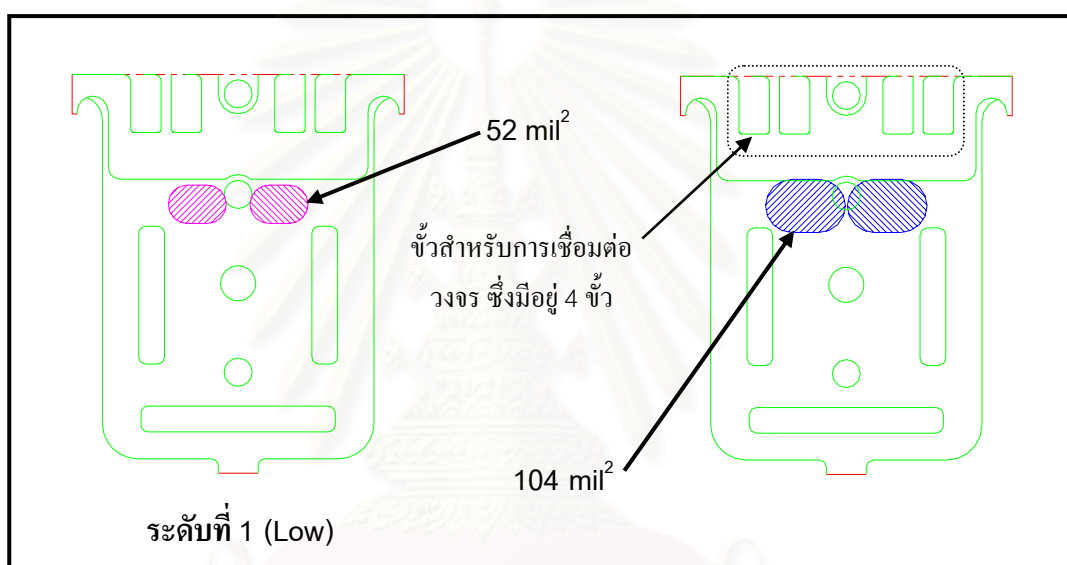


รูปที่ 4.2 แสดงระดับปัจจัยของตำแหน่งกาวตัวนำไฟฟ้า

4.3.3 ขนาดของกาวโครงสร้าง

ขนาดของกาวโครงสร้างนั้นจะถูกควบคุมโดย ค่าเวลาที่ใช้ในการหยอดกาวโครงสร้าง ภายใต้ระยะเวลาการหยอดและความดันหนึ่งๆ ทั้งนี้ สำหรับทุกระดับปัจจัยของปัจจัยนี้ ได้ทำการปรับค่าความดันไว้ที่ 4 บาร์ และระยะทางในการหยอดกาวเท่ากับ 3 mil โดยให้ควบคุมขนาดของหยอดกาวด้วยค่าของเวลา โดยให้เวลาเท่ากับ 1.5 วินาที และ 2 วินาที สำหรับระดับปัจจัยที่ 1 และ 2

ตามลำดับ ซึ่งระดับปัจจัยที่ 1 ต้องการให้หยดกาวมีขนาดเป็นวงรีและมีพื้นที่เท่ากับ 52 mil² ซึ่งเป็นค่าที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และระดับปัจจัยที่ 2 ต้องการให้หยดกาวมีขนาดเป็นวงรีและมีพื้นที่เท่ากับ 104 mil² ซึ่งเป็นขนาดของหยดกาวที่ใหญ่ที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาตัวงานเสีย เช่น มีกาวล้นขึ้นไปจนถึงขั้วที่ใช้ในการเชื่อมต่อวงจร หรือเนื้อกาวมากเกินไปจนทำให้ตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลไม่สามารถถูกประกอบเข้ากับตัวแขนจับยึดได้อย่างเหมาะสม เป็นต้น สำหรับเหตุผลที่ไม่พิจารณาเลือกระดับปัจจัยนี้ให้มีขนาดของหยดกาวที่เล็กกว่า 52 mil² เนื่องจาก การลดปริมาณกาวจะทำให้ความแข็งแรงของการยึดตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลต่ำลงได้ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความน่าเชื่อถือของตัวผลิตภัณฑ์ และระดับปัจจัยของขนาดกาวโครงสร้าง จะเป็นดังในรูปที่ 4.3

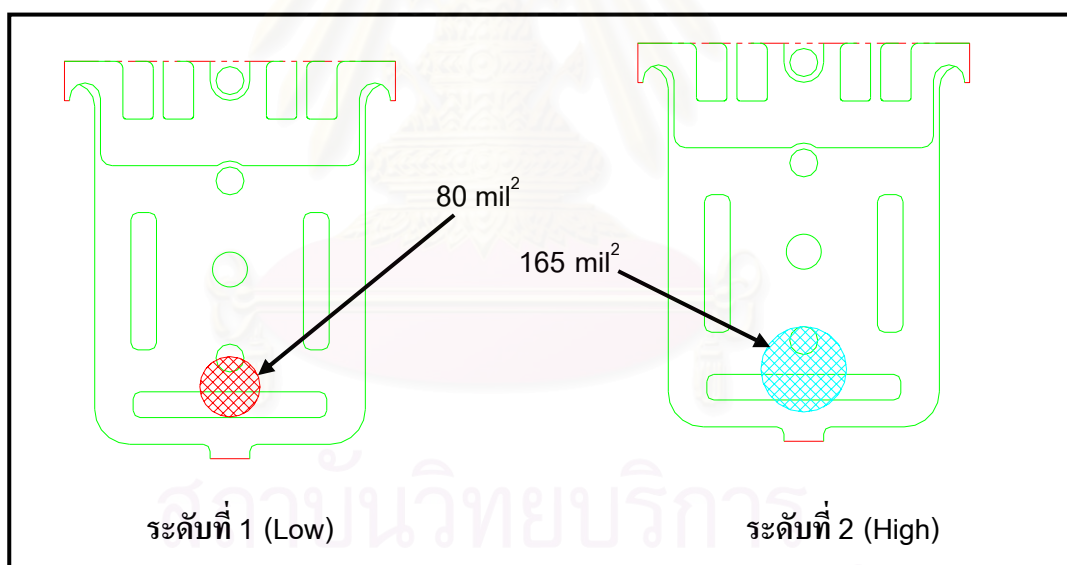


รูปที่ 4.3 แสดงระดับปัจจัยของขนาดกาวโครงสร้าง

4.3.4 ขนาดของกาวตัวนำไฟฟ้า

ขนาดของกาวตัวนำไฟฟ้านั้น เนื่องจากการหยอดแบบจุด ทำให้ไม่มีระยะทางในการเคลื่อนที่ของเข็มหยอดกาว ทำให้ขนาดของกาวตัวนำไฟฟ้าถูกควบคุมโดยค่าเวลาที่ใช้ในการหยอดกาวตัวนำไฟฟ้าภายใต้ความดันหนึ่งๆ และสำหรับกรณีของกาวตัวนำไฟฟ้านี้ สำหรับระดับที่ 1 จะทำการปรับค่าความดันไว้ที่ 2 บาร์ และระยะเวลาเท่ากับ 1.8 วินาที เพื่อให้ได้ขนาดของหยดกาวมีพื้นที่เท่ากับ 80 mil² ซึ่งเป็นค่าใช้งานในปัจจุบัน ส่วนของระดับปัจจัยที่ 2 จะทำการปรับค่าความดันไว้ที่ 3.5 บาร์ และระยะเวลาเท่ากับ 2.2 วินาที เพื่อให้ได้ขนาดของหยดกาวมีพื้นที่เท่ากับ 165 mil² ซึ่งเป็นขนาดของหยดกาวตัวนำไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุดที่สามารถเป็นไปได้ โดยที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับตัวงาน เช่น เนื้อกาวมาก

เกินไปจนทำให้ตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลไม่สามารถถูกประกอบเข้ากับตัวแกนจับยึดได้อย่าง
 แนบสนิท มีเนื้อกาวบางส่วนล้นออกไปนอกเส้นรอบรูปของตัวแกนจับยึด และจากผลการ
 ทดลองในอดีตของวิศวกรในโรงงานตัวอย่าง พบว่าหากเกิดการผสมกันของกาวตัวนำ
 ไฟฟ้าและกาวโครงสร้างขึ้น จะทำให้ความสามารถในการนำไฟฟ้าของกาวตัวนำไฟฟ้า
 เสียหายได้ ซึ่งด้วยขนาดพื้นที่ของหยดกาวเท่ากับ 165 mil^2 ทางคณะทำงานได้ทำการลอง
 หยอดกาวในเบื้องต้นแล้ว ในสถานะที่น่าจะก่อให้เกิดปัญหาดังกล่าวมากที่สุด ซึ่งก็คือ
 สถานะที่ขนาดของกาวโครงสร้างใหญ่ที่สุด ตำแหน่งของกาวโครงสร้างอยู่ที่ระดับที่ 1
 และตำแหน่งของกาวตัวนำไฟฟ้าอยู่ที่ระดับที่ 1 พบว่าไม่เกิดปัญหาการผสมกันของกาวทั้ง
 สอง เป็นต้น สำหรับเหตุผลที่ไม่พิจารณาเลือกระดับปัจจัยนี้ให้มีขนาดของหยดกาวที่เล็ก
 กว่า 80 mil^2 เนื่องจาก การลดปริมาณกาวจะทำให้ความแข็งแรงของการยึดตัวหัวเขียนอ่าน
 ข้อมูลและความสามารถในการนำไฟฟ้าที่ต่ำลงได้ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความน่าเชื่อถือของ
 ตัวผลิตภัณฑ์ สำหรับระดับปัจจัยของขนาดกาวตัวนำไฟฟ้า สามารถพิจารณาได้จากรูปที่
 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงระดับปัจจัยของขนาดกาวตัวนำไฟฟ้า

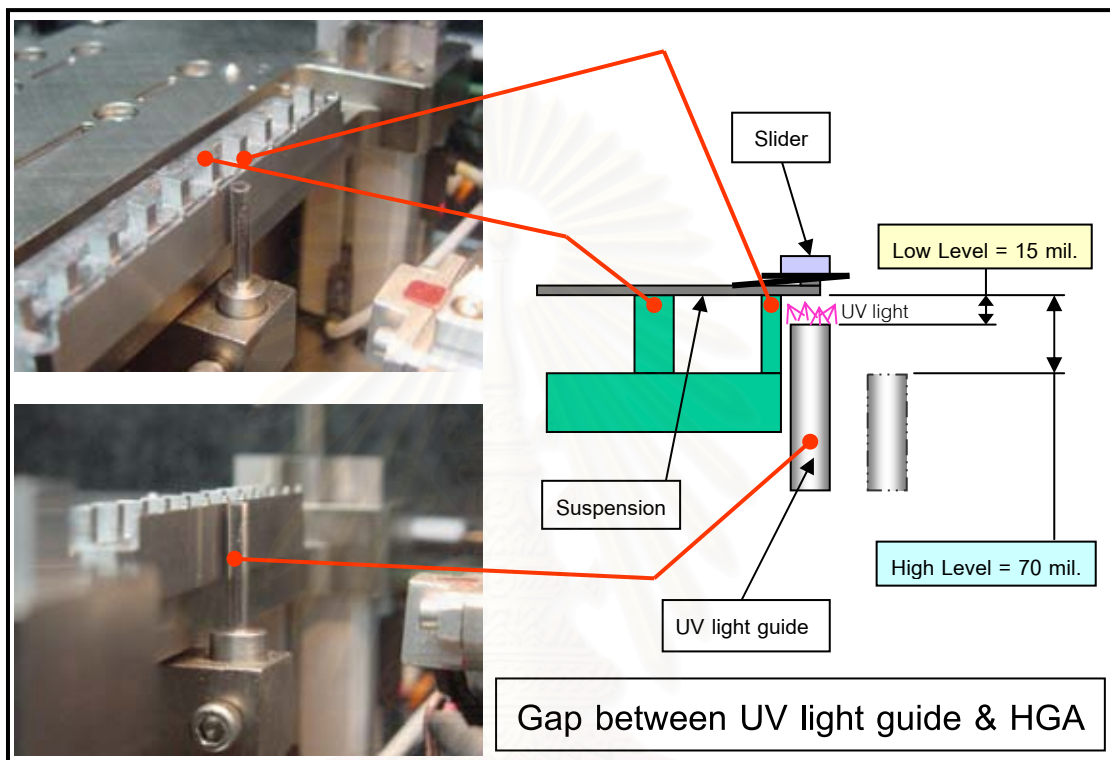
4.3.5 ระยะห่างจากปลายท่อนำแสง UV ถึงตัวงาน

ระยะห่างจากปลายท่อนำแสงอัลตราไวโอเลตถึงตัวงานประกอบนั้น ปัจจุบันได้ทำการปรับ
 ตั้งไว้ที่ค่าเท่ากับ 70 mil (ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นค่าที่ทางบริษัทผู้ผลิตเครื่องที่ใช้ในการประกอบตัวหัว
 เขียนอ่านข้อมูลเข้ากับตัวแกนจับยึดได้แนะนำให้ใช้ และยังไม่เคยทำการปรับเปลี่ยนใดๆ) และ
 เพื่อให้ผลกระทบเกิดขึ้นมากที่สุด จึงจะลองทำการศึกษาที่ระยะที่ใกล้ตัวชิ้นงานประกอบที่สุดเท่าที่

จะเป็นไปได้ด้วย กล่าวคือระดับปัจจัยสำหรับค่าระยะห่างจากปลายท่อนำแสง UV ถึงตัวงาน จึงเป็นดังนี้ (รูปที่ 4.5 แสดงรายละเอียดของระดับปัจจัยนี้)

ระดับที่ 1 (Low) ระยะห่างจากปลายท่อนำแสง UV ถึงตัวงานเท่ากับ 15 mil

ระดับที่ 2 (High) ระยะห่างจากปลายท่อนำแสง UV ถึงตัวงานเท่ากับ 70 mil



รูปที่ 4.5 แสดงระดับปัจจัยของค่าระยะห่างจากปลายท่อนำแสง UV ถึงตัวงานประกอบ

4.3.6 ระยะเวลาในการให้แสงอัลตราไวโอเล็ต (UV)

ค่าของระยะเวลาในการให้แสง UV ในปัจจุบันนั้นอยู่ที่ 0.8 ถึง 1.2 วินาที และเพื่อไม่ให้เกิดการปรับเปลี่ยนที่อาจจะมีขึ้นในอนาคตส่งผลกระทบต่อ Cycle Time มากนัก แต่ความแตกต่างของระดับปัจจัยต้องมากพอที่จะให้เห็นผลกระทบอย่างชัดเจน ดังนั้นระดับปัจจัยของค่าระยะเวลาในการให้แสง UV ที่จะทำการทดลอง จึงถูกกำหนดให้เป็นดังนี้

ระดับที่ 1 (Low) ระยะเวลาในการให้แสง UV เท่ากับ 1 วินาที

ระดับที่ 2 (High) ระยะเวลาในการให้แสง UV เท่ากับ 5 วินาที

จากรายละเอียดเกี่ยวกับระดับปัจจัยของปัจจัยที่จะทำการทดลองทั้ง 6 ปัจจัย ในหัวข้อที่ 4.3.1 ถึง 4.3.6 ได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.1 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ระดับปัจจัยของปัจจัยที่ต้องการทำการทดลอง

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับปัจจัย	
		- (ต่ำ)	+ (สูง)
1. ตำแหน่งของกาวโครงสร้าง (mil)	A	14	32
2. ตำแหน่งของกาวตัวนำไฟฟ้า (mil)	B	36	51.5
3. ขนาดของกาวโครงสร้าง (mil ²)	C	52	104
4. ขนาดของกาวตัวนำไฟฟ้า (mil ²)	D	80	165
5. ระยะห่างจากท่อนำแสง UV ถึงตัวงานประกอบ (mil)	E	15	70
6. ระยะเวลาในการให้แสง UV (วินาที)	F	1	5

4.4 รายละเอียดของตัวแปรตอบสนอง (Response Variables)

ในหัวข้อที่ 4.2 ซึ่งได้ดำเนินการทำความเข้าใจถึงสถานะของปัญหาและวัตถุประสงค์ของการทดลองไว้แล้วนั้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป้าหมายของการทำการทดลองคือ เพื่อทำการลดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวตามแนวยาวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลในชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล ที่เกิดจากกระบวนการประกอบชุดประกอบสำเร็จ ให้มีค่าอยู่ที่ประมาณ $0.033 \mu - inch$ ดังนั้นตัวแปรตอบสนองสำหรับการทดลองนี้จึงเป็น ความแตกต่างของค่าวัดค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลในขณะที่เป็นตัวงานประกอบสำเร็จแล้ว เปรียบเทียบกับค่าวัดค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล ในขณะที่ยังเป็นตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลก่อนการประกอบ เนื่องจากเครื่องมือวัดมีความสามารถมากพอ (ดังที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ 1) ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นต้องทำการทำซ้ำการวัด ค่าวัดดังกล่าวจะใช้เครื่อง WYKO HD3300 ของบริษัท Veeco (รูปที่ 4.6) ซึ่งใช้เทคนิคในการแทรกสอดของแสงซึ่งเป็นเทคโนโลยีระดับสูงในการวัดคุณลักษณะของพื้นผิวขนาดเล็ก จากนั้นค่าความแตกต่างของค่าวัดดังกล่าวจะนำมาทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เกิดจากแต่ละชุดการทดลอง เพื่อใช้เป็นผลตอบสนองของการทดลอง โดยที่ค่าเฉลี่ยจะใช้เพื่อใช้สำหรับการสร้างตัวแบบสำหรับผลกระทบที่มีต่อตำแหน่ง (Location Effect) ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละชุดการทดลอง (จาก [1] และ [9] ได้กล่าวถึงการนำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาใช้เป็นตัวแปรตอบสนอง ว่าควรจะต้องทำการแปลง หรือ Transform ข้อมูลก่อน) ก็จะถูกเข้าฟังก์ชัน $-\ln(S^2)$ แล้วจึงนำมาเป็นตัวแปรตอบสนองเพื่อใช้สำหรับการสร้างตัว

แบบสำหรับผลกระทบที่มีต่อการกระจายของข้อมูล (Dispersion Effect) และนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิคทางสถิติต่อไป



รูปที่ 4.6 เครื่อง WYKO HD3300 ใช้สำหรับการวัดค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล

4.5 การเลือกแบบการทดลอง

จากหัวข้อที่ 4.3 ได้ทำการสรุปปัจจัยต่างๆที่จะทำการทดลองไว้ในตารางที่ 4.1 ซึ่งมีการระบุตัวปัจจัยที่จะทำการทดลองไว้ทั้งหมด 6 ปัจจัย โดยที่แต่ละปัจจัยจะมีระดับปัจจัยเท่ากับ 2 ระดับ และจาก [1] ซึ่งได้กล่าวถึงหลักการ Sparsity of Effects Principle ไว้ว่าระบบที่ทำการศึกษ ส่วนใหญ่มักได้รับผลกระทบจาก บางส่วนของปัจจัยหลัก (Main Effects) และบางส่วนของปัจจัยร่วมดึกิริต่ำ (Low - Order Interactions) โดยที่ส่วนใหญ่ของปัจจัยร่วมดึกิริสูง (High - Order Interactions) นั้นมักที่จะสามารถตัดทิ้งได้ ดังนั้น เพื่อความเหมาะสมทั้งในแง่การใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดและรวมถึงเวลาที่จะต้องใช้ในการทำการทดลองด้วย แผนการทดลองที่จะใช้ในการทดลองที่เหมาะสมนี้ คือ แผนการทดลอง แฟรคชันนอลแบบครึ่งหนึ่งของ 2^6 แฟกทอเรียล (One - half fractional of the 2^6 Design) ซึ่งมีเมสโซลูชัน VI หรือสามารถเรียกว่า 2_{VI}^{6-1} ก็ได้ กล่าวคือจะ

เป็นแผนการทดลองที่สามารถวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยหลัก และปัจจัยร่วมที่มี 2 ตัวแปร ได้ทุกตัวโดยตรง เนื่องจากปัจจัยหลัก และปัจจัยร่วมที่มี 2 ตัวแปรจะมีการคอนฟาวด์ (Confound) กับปัจจัยร่วมที่มี 5 ตัวแปร และปัจจัยร่วมที่มี 4 ตัวแปร ตามลำดับ แต่จะไม่มีคอนฟาวด์ซ้ำ (Replication) ด้วยเหตุผลในแง่ของทรัพยากรและเวลาที่มีจำกัด ดังที่กล่าวมาแล้ว ทำให้ไม่สามารถคำนวณพจน์ของ “Pure Error” ได้ จึงทำให้การวิเคราะห์ผลจะต้องใช้วิธีพิเศษ กล่าวคือ ภายใต้หลักการ Sparsity of Effects Principle จะเป็นการนำผลตอบสนองของปัจจัยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวอย่างมีนัยสำคัญมาใช้ในการประมาณค่าของ “Pure Error” และจะทำการทดลองแบบสุ่ม ทั้งสำหรับลำดับการทดลองและการใช้วัตถุดิบเพื่อการทดลอง โดยจะใช้การสุ่มแบบสมบูรณ์ (Complete Randomization) เพื่อให้ผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ กระจายเข้าสู่ตัวงานที่ทำการทดลองต่าง ๆ อย่างเท่าเทียมกัน เพื่อช่วยให้ผลจากการทดลองที่ได้มีความถูกต้องมากขึ้น

4.6 การดำเนินการทดลอง

การดำเนินการทดลองนั้น ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 4.5 จะทำการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ทั้งวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง ลำดับก่อนหลังการทดลองของแต่ละชุดการทดลอง รวมถึงลำดับก่อนหลังของการทำการวัดค่าการโก่งตัวด้วย เพื่อป้องกันความไม่สม่ำเสมอของเครื่องจักร วัตถุดิบ ผู้ทำการทดลอง และเครื่องมือวัด และก่อนทำการทดลอง จะมีการซักซ้อมทำความเข้าใจกับพนักงานทุกคนที่มีส่วนเกี่ยวข้องอย่างละเอียด เพื่อให้แผนการทดลองที่วางไว้จะได้รับการปฏิบัติตามอย่างถูกต้อง พร้อมกันนั้นในระหว่างทำการทดลอง ทางผู้วิจัยได้กำหนดให้มีวิศวกรที่มีหน้าที่รับผิดชอบในแต่ละเครื่องจักร ต้องมาควบคุมการปรับเปลี่ยนค่าต่างๆ ที่ได้วางไว้ในแผนการทดลองและสังเกตการณ์เพื่อหาจุดที่อาจจะเกิดความไม่ปกติขึ้นอย่างใกล้ชิด รวมทั้งผู้วิจัยจะเป็นผู้ที่ทำการสังเกตการณ์ภาพรวมของการทำการทดลองในระหว่างทำการทดลองอย่างใกล้ชิด เพื่อรับประกันไม่ให้เกิดความผิดพลาดขึ้นกับแผนการทดลองที่วางไว้ด้วย

4.7 การวิเคราะห์ผลจากการทดลอง

สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้น จะใช้หลักการทางสถิติในการทำการวิเคราะห์ เพื่อให้ผลของการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือ โดยวิธีการหลักที่จะใช้ในการวิเคราะห์ผลคือ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)

สำหรับสมการตัวแบบผลกระทบ (Effects model) ที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นตัวแบบซึ่งอธิบายค่าของผลตอบสนองแต่ละค่าด้วยผลกระทบ (Effects) ของปัจจัยต่างๆซึ่งทำให้ผลตอบสนองเบี่ยงเบนออกจากค่ากลาง (μ) ซึ่งมีรูปแบบของสมการดังนี้

$$y_{ijklmn} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + \omega_l + \theta_m + \lambda_n + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\tau\omega)_{il} + (\tau\theta)_{im} + (\tau\lambda)_{in} \\ + (\beta\gamma)_{jk} + (\beta\omega)_{jl} + (\beta\theta)_{jm} + (\beta\lambda)_{jn} + (\gamma\omega)_{kl} + (\gamma\theta)_{km} + (\gamma\lambda)_{kn} + (\omega\theta)_{lm} + (\omega\lambda)_{ln} \\ + (\theta\lambda)_{mn} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + (\tau\beta\omega)_{ijl} + (\tau\beta\theta)_{ijm} + (\tau\beta\lambda)_{ijn} + (\tau\gamma\omega)_{ikl} + (\tau\gamma\theta)_{ikm} + (\tau\gamma\lambda)_{ikn} \\ + (\tau\omega\theta)_{ilm} + (\tau\omega\lambda)_{iln} + (\tau\theta\lambda)_{imn} + \varepsilon_{ijklmn}$$

เมื่อ $i = 1, 2; j = 1, 2; k = 1, 2; l = 1, 2; m = 1, 2; n = 1, 2$

สมมติฐานของการทดลองจะแบ่งเป็น 3 กลุ่มคือ

1. สมมติฐานของปัจจัยเดียว มี 6 สมมติฐาน เช่น

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = 0$$

$$H_1 : \text{มีอย่างน้อยหนึ่งค่าของ } \tau_i \neq 0$$

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$$

$$H_1 : \text{มีอย่างน้อยหนึ่งค่าของ } \beta_i \neq 0$$

2. สมมติฐานของปัจจัยร่วมชนิด 2 ปัจจัย มี 15 สมมติฐาน เช่น

$$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0 \quad \text{สำหรับทุกค่า } i, j$$

$$H_1 : \text{มีอย่างน้อยหนึ่งค่าของ } (\tau\beta)_{ij} \neq 0$$

$$H_0 : (\tau\gamma)_{ik} = 0 \quad \text{สำหรับทุกค่า } i, k$$

$$H_1 : \text{มีอย่างน้อยหนึ่งค่าของ } (\tau\gamma)_{ik} \neq 0$$

3. สมมติฐานของปัจจัยร่วมชนิด 3 ปัจจัย มี 10 สมมติฐาน เช่น

$$H_0 : (\tau\beta\gamma)_{ijk} = 0 \quad \text{สำหรับทุกค่า } i, j, k$$

$$H_1 : \text{มีอย่างน้อยหนึ่งค่าของ } (\tau\beta\gamma)_{ijk} \neq 0$$

$$H_0 : (\tau\beta\omega)_{ijl} = 0 \quad \text{สำหรับทุกค่า } i, j, l$$

$$H_1 : \text{มีอย่างน้อยหนึ่งค่าของ } (\tau\beta\omega)_{ijl} \neq 0$$

เมื่อตั้งสมมติฐานของการทดลองที่สนใจเสร็จแล้ว ก็จะนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ (Model Adequacy Checking) ซึ่งการตรวจสอบความถูกต้องนี้จะเป็นการตรวจสอบสมมติฐานว่า ค่าที่ได้จากการทดลองมีความเหมาะสมพอที่จะถูกอธิบายด้วยตัวแบบที่ตั้งไว้ได้ ทดสอบว่าค่าผิดพลาด (Errors, ε_{ijklmn}) มีการกระจายแบบปกติอย่างอิสระด้วยค่าเฉลี่ยเป็น 0 และค่าความแปรปรวนที่ไม่ทราบค่า σ^2 และมีการตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูลด้วย ซึ่งผลที่ได้จากการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบนี้คือ จะทำให้การวิเคราะห์ความแปรปรวนมีความถูกต้องและความน่าเชื่อถือมากขึ้น

4.8 สรุปขั้นตอนการทดลอง

หลังจากทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคทางสถิติแล้ว ขั้นตอนถัดไปจะเป็นการสรุปผลว่า ปัจจัยใดบ้าง ที่มีผลกระทบต่อค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ ตลอดจนต้องทำการเลือกระดับปัจจัยของปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญเหล่านั้น เพื่อทำการทดลองเพื่อการยืนยันผลจากระดับของปัจจัยที่เลือก ก่อนที่จะนำเสนอเพื่อการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป

ผลสรุปของการออกแบบการทดลองดังกล่าวสามารถที่จะพิจารณาได้จากตารางที่ 4.2 ดังนี้

ตารางที่ 4.2 สรุปแผนการออกแบบการทดลอง

แผนการออกแบบการทดลอง	
1. วัตถุประสงค์	เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในกระบวนการชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล เพื่อเป็นผลในการลดการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวดังกล่าว ทั้งค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเปลี่ยนแปลงค่าโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวจะต้องมีค่าไม่เกิน $0.033 \mu - inch$

ตารางที่ 4.2 สรุปแผนการออกแบบการทดลอง (ต่อ)

2. ข้อมูลพื้นฐาน

กระบวนการประกอบชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล จะเป็นการทำการยึดติดชิ้นส่วนหลัก 2 ชิ้น คือ หัวเขียนอ่านข้อมูล และตัวแกนจับยึดหัวเขียนอ่านข้อมูล โดยการใช้กาวและอบกาวให้แห้งด้วยแสง UV และความร้อน รวมทั้งการทำการเชื่อมต่อวงจรของชิ้นส่วนทั้งสองเข้าด้วยกัน โดยการใช้ลูกบอลทองและการบัดด้วยความถี่สูงระดับอัลตราโซนิก เนื่องจากค่า CTE ของชิ้นส่วนทั้งสองมีค่าแตกต่างกันมาก การเกิดขึ้นของการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวจึงเป็นสิ่งที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ หากแต่สามารถผ่อนคลายให้น้อยลงได้โดยการหาเงื่อนไขในการปรับตั้งค่าตั้งต่างๆ ในกระบวนการให้เหมาะสม และจากการพิจารณาเบื้องต้นพบว่าปัจจัยที่น่าจะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของหัวเขียนอ่านข้อมูล คือ ตำแหน่งของกาวโครงสร้าง ตำแหน่งของกาวตัวนำไฟฟ้า ขนาดของกาวโครงสร้าง ขนาดของกาวตัวนำไฟฟ้า ระยะห่างจากปลายท่อแสง UV ถึงตัวงาน และระยะเวลาในการให้แสง UV

3. ตัวแปรต่างๆ ในการทดลอง

3.1 ตัวแปรตอบสนอง

ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ซึ่งเข้าฟังก์ชัน $-\ln(S^2)$ แล้ว) ของค่าการเปลี่ยนแปลงการโก่งตัวของหัวเขียนอ่านข้อมูล ก่อนและหลังการประกอบ ซึ่งถูกวัดด้วยเครื่อง WYKO HD3300

3.2 ปัจจัย

ระดับ

1. ตำแหน่งของกาวโครงสร้าง (Mil)	14	32
2. ตำแหน่งของกาวตัวนำไฟฟ้า (Mil)	36	51.5
3. ขนาดของกาวโครงสร้าง (Mil ²)	52	104
4. ขนาดของกาวตัวนำไฟฟ้า (Mil ²)	80	165
5. ระยะห่างจากปลายท่อแสง UV ถึงตัวงาน (Mil)	15	70
6. ระยะเวลาในการให้แสง UV (วินาที)	1	5

3.3 ปัจจัยที่ควบคุม

1. เครื่องจักรที่ใช้ในการประกอบทั้งหมด
2. เครื่องวัดค่าการโก่งตัว
3. พนักงานทุกส่วนที่เกี่ยวข้อง
4. วัสดุดิบทางอ้อมทั้งหมด เช่น กาวทั้งสองชนิด สายไฟทอง

ตารางที่ 4.2 สรุปแผนการออกแบบการทดลอง (ต่อ)

4. จำนวนซ้ำ

การทดลองทั้งหมดมี $2^{6-1} = 32$ สถานะเงื่อนไข ไม่มีการทำซ้ำ

5. เมตริกการออกแบบการทดลอง

เมตริกการออกแบบการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.3

6. วิธีการสุ่ม

ทำการสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Complete Randomization) ในการทดลอง ตามตารางที่ 4.3 รวมถึงการสุ่มเพื่อกำหนดลำดับให้แต่ละชุดการทดลองด้วย

7. ตารางบันทึกผล

ใช้แบบฟอร์มเดียวกับเมตริกการออกแบบการทดลอง

8. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

ค่าตัวแปรตอบสนอง (Response Variable)

กราฟค่าเรสซิดวล (Residual Plot)

9. อื่น ๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 เมตริกการออกแบบการทดลองพร้อมการสุ่มลำดับการทำทดลอง

Std Order	Run Order	Basic Design					F = ABCDEF	Treatment Combination	Delta Crown	
		A	B	C	D	E			Avg.	-ln(S ²)
1	15	-1	-1	-1	-1	-1	-1	(1)		
2	11	1	-1	-1	-1	-1	1	af		
3	24	-1	1	-1	-1	-1	1	bf		
4	30	1	1	-1	-1	-1	-1	ab		
5	31	-1	-1	1	-1	-1	1	cf		
6	1	1	-1	1	-1	-1	-1	ac		
7	16	-1	1	1	-1	-1	-1	bc		
8	13	1	1	1	-1	-1	1	abcf		
9	3	-1	-1	-1	1	-1	1	df		
10	2	1	-1	-1	1	-1	-1	ad		
11	22	-1	1	-1	1	-1	-1	bd		
12	7	1	1	-1	1	-1	1	abdf		
13	29	-1	-1	1	1	-1	-1	cd		
14	10	1	-1	1	1	-1	1	acdf		
15	26	-1	1	1	1	-1	1	bcdf		
16	32	1	1	1	1	-1	-1	abcd		
17	20	-1	-1	-1	-1	1	1	ef		
18	21	1	-1	-1	-1	1	-1	ae		
19	23	-1	1	-1	-1	1	-1	be		
20	19	1	1	-1	-1	1	1	abef		
21	9	-1	-1	1	-1	1	-1	ce		
22	4	1	-1	1	-1	1	1	acef		
23	28	-1	1	1	-1	1	1	bcef		
24	25	1	1	1	-1	1	-1	abce		
25	17	-1	-1	-1	1	1	-1	de		
26	27	1	-1	-1	1	1	1	adef		
27	18	-1	1	-1	1	1	1	bdef		
28	14	1	1	-1	1	1	-1	abde		
29	6	-1	-1	1	1	1	1	cdef		
30	8	1	-1	1	1	1	-1	acde		
31	5	-1	1	1	1	1	-1	bcde		
32	12	1	1	1	1	1	1	abcdef		

4.9 สรุป

จากการออกแบบการทดลองที่ผ่านมานั้น แผนการทดลองที่ได้ซึ่งเป็นไปตามหลักการออกแบบการทดลอง และแผนการทดลองดังกล่าวนี้จะถูกนำไปใช้ในการดำเนินการทดลองต่อไป โดยในการดำเนินการทดลอง จะต้องปฏิบัติตามหลักการและแผนการทดลองที่วางไว้อย่างเคร่งครัด เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง มีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือของตัวข้อมูลที่สูงที่สุด โดย

ในบทถัดไปจะเป็นการดำเนินการทดลองทั้งหมด 32 ชุดการทดลองซึ่งมีเงื่อนไขในการปรับตั้งค่าต่างๆของกระบวนการต่างๆกัน ตามที่ได้วางแผนไว้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ขั้นตอนของการดำเนินการทดลอง

5.1 บทนำ

จากขั้นตอนของการออกแบบการทดลองในบทที่ 4 จะนำมาใช้เป็นหลักการในการดำเนินการทดลอง ซึ่งข้อกำหนดต่างๆที่ได้กล่าวไว้ในแผนการทดลอง จะต้องได้รับการปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด เช่น จัดเตรียมวัสดุชนิดต่างๆอย่างสุ่ม ลำดับการทดลองจะต้องถูกดำเนินการแบบสุ่มตามที่ได้ระบุไว้ ค่าปรับตั้งต่างๆที่ได้กำหนดไว้สำหรับแต่ละชุดการทดลอง รวมทั้งปัจจัยที่ถูกกำหนดให้เป็นปัจจัยควบคุม จะต้องทำการควบคุมอย่างเคร่งครัดเช่นกัน

ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง สามารถสรุปได้ดังนี้

1. จัดเตรียมวัสดุชนิดในการทดลอง
2. จัดเตรียมความพร้อมของเครื่องจักร
3. วัดค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลก่อนการประกอบ
4. ทำการประกอบชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล
5. วัดค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลเมื่อประกอบสำเร็จ

5.2 จัดเตรียมวัสดุชนิดในการทดลอง

วัสดุชนิดในการทดลองจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ กล่าวคือ วัสดุชนิดทางตรง ซึ่งประกอบด้วย ตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล (Slider) และตัวแขนจับยึดตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล (Suspension Assembly) และวัสดุชนิดทางอ้อม จะประกอบไปด้วย กาวโครงสร้าง กาวตัวนำไฟฟ้า และทองเพื่อใช้ในการทำการเชื่อมต่อวงจร

สำหรับวัสดุชนิดทางอ้อมนั้น เนื่องจากถูกกำหนดไว้ให้เป็นปัจจัยควบคุม การจัดเตรียมจึงเป็นแค่เพียงการตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ ว่าตรงตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดหรือไม่

และจะใช้เพียง 1 ชุดเท่านั้นตลอดการทดลองทั้งหมด ส่วนวัตถุดิบทางตรง เนื่องจากในแผนการทดลองได้มีการระบุให้ทำการสุ่มการกำหนดวัสดุสำหรับการทดลองแต่ละชุดการทดลอง ดังนั้นจะต้องมีการสุ่มวัตถุดิบทางตรงทั้ง 2 ชนิดเพื่อการดำเนินการทดลองตามแผนการทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดดังที่จะกล่าวต่อไปนี้

5.2.1 ตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล (Slider)

เนื่องจากสิ่งสกปรกใดๆ ทั้งที่เป็นผงฝุ่นและคราบสกปรกต่างๆ ที่อาจจะมีอยู่บนผิวหน้าของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลนั้น อาจส่งผลต่อความผิดพลาดของการวัดค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันการเกิดขึ้นของความผิดพลาดดังกล่าวได้ การทำความสะอาดอย่างดีที่สุด ทั้งโดยการใช้เครื่องล้างและการใช้พนักงานที่ทำหน้าที่ในการทำความสะอาดตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง และตัวหัวเขียนอ่านทุกตัวจะต้องทำการตรวจสอบความสะอาดอย่างละเอียด พร้อมทั้ง เพื่อให้เป็นไปตามที่ได้วางแผนการทดลองในแง่ของการสุ่มตัววัตถุดิบอย่างสมบูรณ์ จะทำการจัดเรียงลำดับตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลใหม่ให้เป็นแบบสุ่ม

5.2.2 ตัวแขนจับยึดตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล (Suspension Assembly)

ทำการหยิบตัวแขนจับยึดตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลอย่างสุ่ม เพื่อนำมาจัดวางไว้บนอุปกรณ์รองรับตัวแขนจับยึด (Pallet) โดยที่แต่ละ Pallet จะบรรจุตัวแขนจับยึดไว้เป็นจำนวน 5 ตัว ซึ่งแต่ละ Pallet ที่ได้ทำการบรรจุตัวแขนจับยึดไว้แล้วเหล่านี้จะถูกนำเข้ามาทำการประกอบตามลำดับแบบสุ่มต่อไป

5.3 การเตรียมความพร้อมสำหรับเครื่องจักร

เครื่องจักรต่างๆ ซึ่งรวมถึงทั้ง เครื่องจักรที่ใช้ในการประกอบชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลฮาร์ดดิสก์ และเครื่องจักรที่ใช้ในการวัดค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลด้วย จะต้องได้รับการตรวจสอบและการบำรุงรักษาอย่างถูกต้องจากพนักงานช่างเทคนิคที่มีความชำนาญและประสบการณ์ที่สูงอย่างถูกต้อง ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานตามปกติได้ พร้อมกันนี้ วิศวกรส่วนบำรุงรักษาจะทำการตรวจสอบเครื่องจักรต่างๆ ที่ได้ถูกเลือกเพื่อใช้ในการทำการทดลองทุกเครื่องอีกครั้ง รวมถึงจะทำการตรวจสอบระบบไฟฟ้าและระบบแรงดันลมต่างๆ ซึ่งจะต้องจ่ายเข้าเครื่องจักรต่างๆ ด้วยว่าต้องอยู่ในสภาพปกติ และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง เครื่องหยอดกาวอัตโนมัติ

จะต้องทำการปรับตั้งรูปแบบการหยอดกาวทั้งหมด 16 รูปแบบไว้ให้เรียบร้อย เพื่อความรวดเร็วในการเลือกรูปแบบการหยอดกาวที่ถูกต้องตามที่กำหนดไว้สำหรับแต่ละชุดการทดลอง เมื่อทำการทดลองในลำดับถัดไป

5.4 การวัดค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลก่อนทำการประกอบ

โดยการใช้เครื่อง WYKO HD3300 ของบริษัท Veeco ทำการวัดค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลทั้งหมด จากนั้น ด้วยหมายเลขกำกับเฉพาะตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลแต่ละตัว ซึ่งถูกเขียนไว้ที่ส่วนท้ายของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลโดยการใช้แสงเลเซอร์ ทำการอ่านหมายเลขกำกับเฉพาะตัวดังกล่าว เพื่อนำมาจับคู่กับค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล ที่เครื่อง WYKO HD3300 วัดออกมาให้ จากนั้นทำการเรียงลำดับของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลอย่างสุ่มอีกครั้ง เพื่อเป็นการเตรียมพร้อมสำหรับการนำไปใช้ในการประกอบต่อไป

5.5 การประกอบตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้สำหรับแต่ละชุดการทดลอง

ในกระบวนการประกอบนี้ จะต้องมีกรปฏิบัติตามเงื่อนไขต่างๆที่ได้วางไว้ในแผนการทดลองอย่างเคร่งครัด ซึ่งจะมีรายละเอียดของขั้นตอนในการปฏิบัติ ดังนี้

1. จากลำดับของการทำการทดลองของแต่ละชุดการทดลองที่ได้กำหนดไว้แล้ว ระบุชุดการทดลองที่กำลังจะทำการทดลอง
2. ที่เครื่องหยอดกาวอัตโนมัติ เลือกรูปแบบการหยอดกาวที่ปรับตั้งไว้แล้วในขั้นตอนที่ 5.3 (จะเป็นการกำหนดตำแหน่งของหยดกาวโครงสร้างและกาวตัวนำไฟฟ้า และค่าเวลาที่เหมาะสมสำหรับขนาดของหยดกาวแต่ละจุดไว้ล่วงหน้า ซึ่งในแง่ของขนาดที่ถูกต้อง จำเป็นที่จะต้องมีการปรับค่าของความดันลมควบคู่ไปด้วย) ซึ่งสอดคล้องกับที่ได้กำหนดไว้สำหรับชุดการทดลองที่กำลังจะทำการทดลอง ปรับตั้งค่าของแรงดันให้ถูกต้องตามที่กำหนดไว้ เพื่อให้ได้ขนาดของหยดกาวตรงตามที่ได้กำหนดไว้
3. สำหรับเครื่องประกอบตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลเข้ากับตัวแกนจับยึด ปรับตั้งค่าระยะห่างจากปลายท่อนำแสง UV ถึงตัวงานประกอบ และระยะเวลาในการให้แสง UV แก่ตัวงาน ตามที่กำหนดไว้ สำหรับชุดการทดลองซึ่งกำลังจะทำการทดลอง

4. ทำการเลือก Pallet ที่บรรจุด้วยตัวแขนจับยึดจำนวน 5 ตัว ซึ่งได้เตรียมไว้แล้วในขั้นตอนที่ 5.2.2 อย่างสุ่ม แล้วนำมาวางไว้ที่แท่นเครื่องหยอดกาวอัตโนมัติ และทำการหยอดกาวบนตัวแขนจับยึดทั้ง 5 ตัว จากตัวที่ 1 ถึงตัวที่ 5 ตามลำดับ (ในขณะที่เครื่องทำการหยอดกาวอยู่นั้น ทั้งพนักงานช่างเทคนิคและพนักงานปฏิบัติการจะต้องทำการตรวจสอบรูปแบบของการหยอดกาวว่าเป็นไปอย่างถูกต้องตามที่ได้กำหนดไว้ในแผนการทดลองทุกตัว)
5. นำ Pallet ซึ่งบรรจุไว้ด้วยตัวแขนจับยึดที่ผ่านการหยอดกาวมาแล้ว เข้าเครื่องประกอบตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล เพื่อทำการหีบตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลนำมาประกอบเข้ากับตัวแขนจับยึด และฉายแสง UV เข้าสู่ตัวงานเป็นระยะเวลาและด้วยระยะห่างตามที่ได้ปรับตั้งไว้แล้วในหัวข้อที่ 3
6. นำ Pallet ซึ่งได้ทำการประกอบตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลเข้ากับตัวแขนจับยึดเรียบร้อยแล้ว เข้าเครื่องเชื่อมต่อวงจรด้วยลูกบอลทองโดยอาศัยการสั่นด้วยความถี่สูงย่านอัลตราโซนิก เพื่อทำการเชื่อมต่อวงจรของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลเข้ากับวงจรของตัวแขนจับยึด
7. นำ Pallet ที่ผ่านขั้นตอนทั้งหมดก่อนหน้ามาพักรอไว้ จนกระทั่ง Pallet ทั้งหมด 32 ตัวได้ผ่านกระบวนการต่างๆ ตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 6 โดยใช้ค่าปรับตั้งต่างๆ ที่ตรงกับที่ได้กำหนดไว้ในแผนการทดลอง ครอบคลุม Pallet และมีการบันทึกหมายเลขกำกับเฉพาะตัว Pallet แต่ละตัว ว่า Pallet หมายเลขใด ได้ทำการทดลองตรงตามเงื่อนไขในการปรับตั้งตรงตามชุดการทดลองใด
8. นำ Pallet ทั้งหมด 32 ตัวเข้าอบกาวด้วยตู้อบกาวด้วยรังสีความร้อน พร้อมกัน เพื่อเป็นการกระจายผลการผิดพลาดใดๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นในตู้อบกาวสู่ชุดการทดลองทุกชุด
9. เมื่อ Pallet ทั้ง 32 ตัวออกจากตู้อบกาวเรียบร้อยแล้ว จะตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง เพื่อให้กาวและส่วนประกอบทั้งหมดเย็นตัวลงสู่อุณหภูมิห้องอย่างสมบูรณ์ เพื่อที่จะนำไปวัดค่าการโค้งตัวหลังการประกอบต่อไป

5.6 การวัดค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลหลังทำการประกอบเสร็จ

เมื่อตัวงานทั้งหมดได้ผ่านกระบวนการประกอบทุกขั้นตอนอย่างถูกต้อง และได้รับการปล่อยให้เย็นตัวสู่อุณหภูมิห้องอย่างสมบูรณ์เป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมงเรียบร้อยแล้ว ตัวงานประกอบทั้งหมด จะถูกอ่านหมายเลขกำกับเฉพาะตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลซึ่งถูกประกอบเป็นชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล เพื่อทำการบันทึกไว้ว่าชุดการทดลองแต่ละชุดใดๆ ประกอบด้วยตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลที่มีหมายเลขกำกับเฉพาะตัวใดบ้าง จากนั้นตัวงานประกอบทั้งหมดจะถูกสุ่มเพื่อทำการจัดเรียงลำดับใหม่ เพื่อให้ในกระบวนการวัดค่าการโก่งตัวก็เป็นไปในแบบสุ่มด้วย เมื่อทำการจัดเรียงลำดับตัวงานแบบสุ่มเรียบร้อยแล้ว ทำการวัดค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลสำหรับชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลทั้งหมด จากนั้นทำการอ่านหมายเลขกำกับเฉพาะตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลของชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลทั้งหมด เพื่อนำมาจับคู่กับค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล ที่เครื่อง WYKO HD3300 วัดออกมาให้อีกครั้ง

จากข้อมูลของค่าวัดค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลก่อนทำการประกอบ ซึ่งได้จับคู่กับหมายเลขกำกับเฉพาะตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลแต่ละตัว และข้อมูลของค่าวัดค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลหลังทำการประกอบเสร็จเป็นชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล ซึ่งได้จับคู่กับหมายเลขกำกับเฉพาะตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล ของชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลแต่ละตัวเช่นกัน โดยการใช้นี้บันทึกของชุดการทดลองต่างๆซึ่งได้มีการบันทึกหมายเลขกำกับเฉพาะตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลไว้ ทำการคำนวณหาผลต่างระหว่างค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลหลังการประกอบกับค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลก่อนการประกอบ ซึ่งจะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการประกอบชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล จากนั้นทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ย \bar{X} และค่าลือกฟังก์ชันของความแปรปรวน $-\ln(S^2)$ เพื่อใช้เป็นตัวแปรตอบสนอง D_Cn_Av และ DCn_lnS2 สำหรับแต่ละชุดการทดลองต่อไป

5.7 สรุป

หลังจากที่ได้ดำเนินการทดลองตามแผนการทดลอง ที่ได้วางแผนไว้อย่างเคร่งครัดแล้ว ข้อมูลที่จะใช้เป็นตัวแปรตอบสนอง D_Cn_Av และ DCn_lnS2 สำหรับแต่ละชุดการทดลองจะถูกนำไปบันทึกไว้ในตารางเมตริกการทดลองซึ่งอยู่ภายในโปรแกรม Minitab เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อพิจารณาว่า ปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่าน

ข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติบ้าง รวมทั้งเพื่อทำการหาเงื่อนไขในการปรับตั้งระดับปัจจัยต่างๆที่เหมาะสมเพื่อลดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเปลี่ยนแปลงค่าการ โกงตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลต่อไป



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

การคำนวณและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

6.1 บทนำ

เมื่อได้ทำการทดลองตามแผนการทดลองที่วางไว้อย่างเคร่งครัดแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองดังกล่าวจะถูกนำมาทำการวิเคราะห์เชิงสถิติตามหลักการของการออกแบบการทดลอง ซึ่งจะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยเพื่อพิจารณาว่าปัจจัยใดที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล ที่เกิดจากกระบวนการประกอบชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ จากนั้นต้องพิจารณาจากข้อมูลว่าที่ระดับปัจจัยใดจะทำให้เกิดค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวตามแนวยาวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลต่ำที่สุด และจากผลการเลือกระดับปัจจัยดังกล่าวจะนำไปสู่การทำการทดลองเพื่อการยืนยันผลต่อไป

6.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

แผนการทดลองที่ได้ออกแบบไว้สำหรับการทดลองนี้คือ แผนการทดลองแฟรคชันนอลแบบครึ่งหนึ่งของ 2^6 แฟคทอเรียล (One – half fractional of the 2^6 Design) ซึ่งมีเรสโซลูชัน VI ซึ่งการทดลองนี้จะใช้สำหรับการคัดเลือกหาปัจจัยเบื้องต้นที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการที่เราสนใจ และจากแผนการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ ได้ดำเนินการทดลองตามแผนที่วางไว้ทั้งหมด ซึ่งได้ข้อมูลจากทั้งหมด 32 ชุดการทดลองดังที่อยู่ในตารางที่ 6.1 และในหัวข้อย่อต่อไปนี้จะเป็นรายละเอียดของการวิเคราะห์ผลการทดลองตามหลักการทางสถิติต่างๆดังนี้

6.2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)

แผนการทดลองแฟรคชันนอลแบบครึ่งหนึ่งของ 2^k แฟกทอเรียล (One – Half Fractional of the 2^k Design) นั้น ถูกออกแบบมาเพื่อการลดจำนวนชุดการทดลอง เพื่อช่วยแก้ปัญหาการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดมากเกินไป โดยใช้หลักการ Sparsity of Effects Principle ซึ่งจะนำเอา

ตารางที่ 6.1 แสดงผลการทดลองของทั้งหมด 32 ชุดการทดลอง

Std Order	Run Order	Basic Design					F = ABCDEF	Treatment Combination	Delta Crown	
		A	B	C	D	E			Avg.	$-\ln(S^2)$
1	15	-1	-1	-1	-1	-1	-1	(1)	0.09061	8.99422
2	11	1	-1	-1	-1	-1	1	af	0.05448	6.50098
3	24	-1	1	-1	-1	-1	1	bf	0.08691	6.20622
4	30	1	1	-1	-1	-1	-1	ab	0.12005	6.64047
5	31	-1	-1	1	-1	-1	1	cf	0.08339	6.25189
6	1	1	-1	1	-1	-1	-1	ac	0.07586	7.58371
7	16	-1	1	1	-1	-1	-1	bc	0.16502	6.71846
8	13	1	1	1	-1	-1	1	abcf	0.14726	6.43533
9	3	-1	-1	-1	1	-1	1	df	0.09795	9.66926
10	2	1	-1	-1	1	-1	-1	ad	0.08055	6.48866
11	22	-1	1	-1	1	-1	-1	bd	0.15437	7.70461
12	7	1	1	-1	1	-1	1	abdf	0.24693	5.59351
13	29	-1	-1	1	1	-1	-1	cd	0.12446	6.17832
14	10	1	-1	1	1	-1	1	acdf	0.07371	7.29307
15	26	-1	1	1	1	-1	1	bcdf	0.24739	5.98035
16	32	1	1	1	1	-1	-1	abcd	0.19349	6.05754
17	20	-1	-1	-1	-1	1	1	ef	0.05888	6.56468
18	21	1	-1	-1	-1	1	-1	ae	0.08941	5.84126
19	23	-1	1	-1	-1	1	-1	be	0.03931	5.44752
20	19	1	1	-1	-1	1	1	abef	0.16858	5.32664
21	9	-1	-1	1	-1	1	-1	ce	0.08878	7.40463
22	4	1	-1	1	-1	1	1	acef	0.07857	6.44175
23	28	-1	1	1	-1	1	1	bcef	0.09777	6.38708
24	25	1	1	1	-1	1	-1	abce	0.13710	5.86972
25	17	-1	-1	-1	1	1	-1	de	0.12489	7.07683
26	27	1	-1	-1	1	1	1	adef	0.06989	6.98761
27	18	-1	1	-1	1	1	1	bdef	0.14645	6.77919
28	14	1	1	-1	1	1	-1	abde	0.16482	6.97410
29	6	-1	-1	1	1	1	1	cdef	0.13776	6.56503
30	8	1	-1	1	1	1	-1	acde	0.12308	5.73287
31	5	-1	1	1	1	1	-1	bcde	0.19814	6.73666
32	12	1	1	1	1	1	1	abcdef	0.21595	7.10731

ปัจจัยร่วมคิกรีสสูง (High - Order Interactions) ซึ่งมักจะไม่มีอิทธิพล (Effect) ต่อค่าตัวแปรตอบสนอง ไปรวมกับปัจจัยหลักหรือปัจจัยร่วมที่มีคิกรีสต่ำกว่า ซึ่งทำให้สามารถลดจำนวนชุดของการทดลองลงไปได้อย่างมาก

สำหรับการทดลองในครั้งนี้ ได้ใช้แผนการทดลองแฟรคชันนอลแบบครึ่งหนึ่งของ 2^6 แฟกทอเรียล (One - Half Fractional of the 2^6 Design) ซึ่งมีเรสโซลูชัน VI โดยมีดีไฟนิชัน (Defining Relation) $I = ABCDEF$ ซึ่งจะมีอิทธิพล (Effect) ของปัจจัยต่างๆ ร่วมกันดังนี้

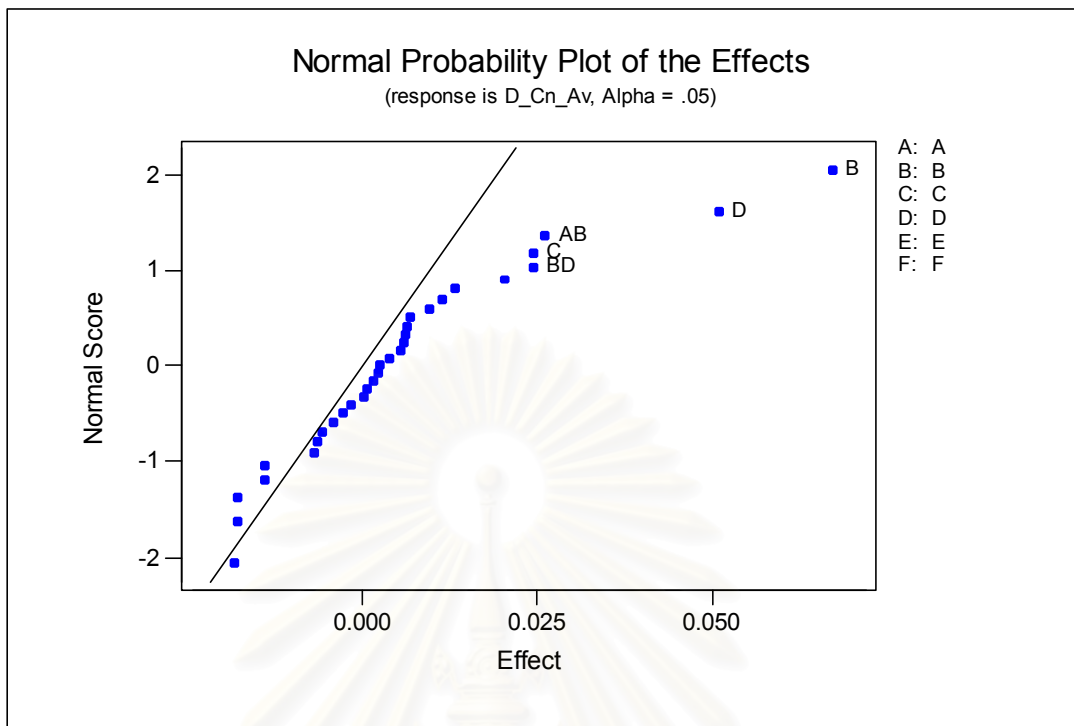
A + BCDEF	BC + ADEF	ABC + DEF
B + ACDEF	BD + ACEF	ABD + CEF
C + ABDEF	BE + ACDF	ABE + CDF
D + ABCEF	BF + ACDE	ABF + CDE
E + ABCDF	CD + ABEF	ACD + BEF
AB + CDEF	CE + ABDF	ACE + BDF
AC + BDEF	CF + ABDE	ACF + BDE
AD + BCEF	DE + ABCF	ADE + BCF
AE + BCDF	DF + ABCE	ADF + BCE
AF + BCDE	EF + ABCD	AEF + BCD

โดยที่	A	คือ	ตำแหน่งของกาวโครงสร้าง
	B	คือ	ตำแหน่งของกาวตัวนำไฟฟ้า
	C	คือ	ขนาดของกาวโครงสร้าง
	D	คือ	ขนาดของกาวตัวนำไฟฟ้า
	E	คือ	ระยะห่างจากปลายท่อแสง UV ถึงตัวงานประกอบ
	F	คือ	ระยะเวลาในการให้แสง UV
	AB	คือ	ปัจจัยร่วมระหว่าง A และ B
	AC	คือ	ปัจจัยร่วมระหว่าง A และ C
	AD	คือ	ปัจจัยร่วมระหว่าง A และ D
	AE	คือ	ปัจจัยร่วมระหว่าง A และ E
	AF	คือ	ปัจจัยร่วมระหว่าง A และ F
	BC	คือ	ปัจจัยร่วมระหว่าง B และ C
	BD	คือ	ปัจจัยร่วมระหว่าง B และ D

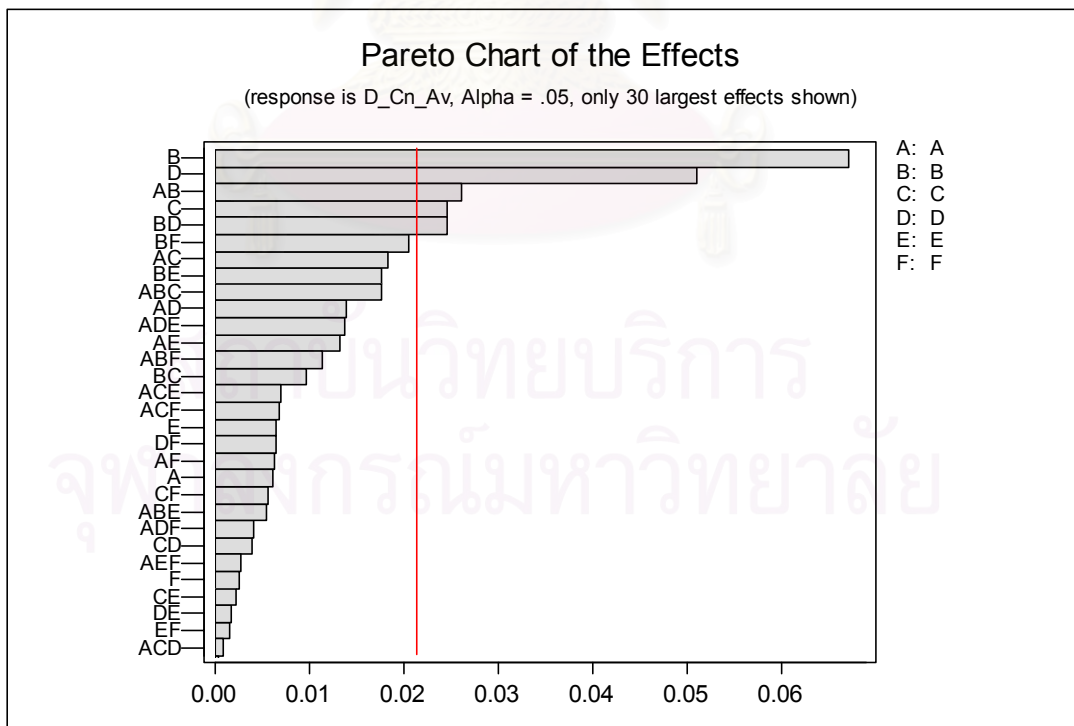
BE	คือ	ปัจจัยร่วมระหว่าง B และ E
BF	คือ	ปัจจัยร่วมระหว่าง B และ F
CD	คือ	ปัจจัยร่วมระหว่าง C และ D
CE	คือ	ปัจจัยร่วมระหว่าง C และ E
CF	คือ	ปัจจัยร่วมระหว่าง C และ F
DE	คือ	ปัจจัยร่วมระหว่าง D และ E
DF	คือ	ปัจจัยร่วมระหว่าง D และ F
EF	คือ	ปัจจัยร่วมระหว่าง E และ F
ABC	คือ	ปัจจัยร่วมระหว่าง A, B และ C
ABD	คือ	ปัจจัยร่วมระหว่าง A, B และ D
ABE	คือ	ปัจจัยร่วมระหว่าง A, B และ E
ABF	คือ	ปัจจัยร่วมระหว่าง A, B และ F
ACD	คือ	ปัจจัยร่วมระหว่าง A, C และ D
ACE	คือ	ปัจจัยร่วมระหว่าง A, C และ E
ACF	คือ	ปัจจัยร่วมระหว่าง A, C และ F
ADE	คือ	ปัจจัยร่วมระหว่าง A, D และ E
ADF	คือ	ปัจจัยร่วมระหว่าง A, D และ F
AEF	คือ	ปัจจัยร่วมระหว่าง A, E และ F

จากอิทธิพล (Effect) ที่แสดงไว้ข้างต้นนั้นจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มคือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัยหลัก (Main Effects) อิทธิพลที่เป็นผลมาจากปัจจัยหลัก 2 ตัวร่วมกัน (2 - Factor Interactions) และอิทธิพลที่เป็นผลมาจากปัจจัยหลัก 3 ตัวร่วมกัน (3 - Factor Interactions) ส่วนอิทธิพลที่เป็นผลมาจากปัจจัยหลักตั้งแต่ 4 ตัวขึ้นไปรวมกัน จากหลักการ Sparsity of Effects Principle จะถือว่าไม่ส่งผลกระทบต่อค่าตัวแปรตอบสนอง และไม่นำมาพิจารณาในการทดลองนี้

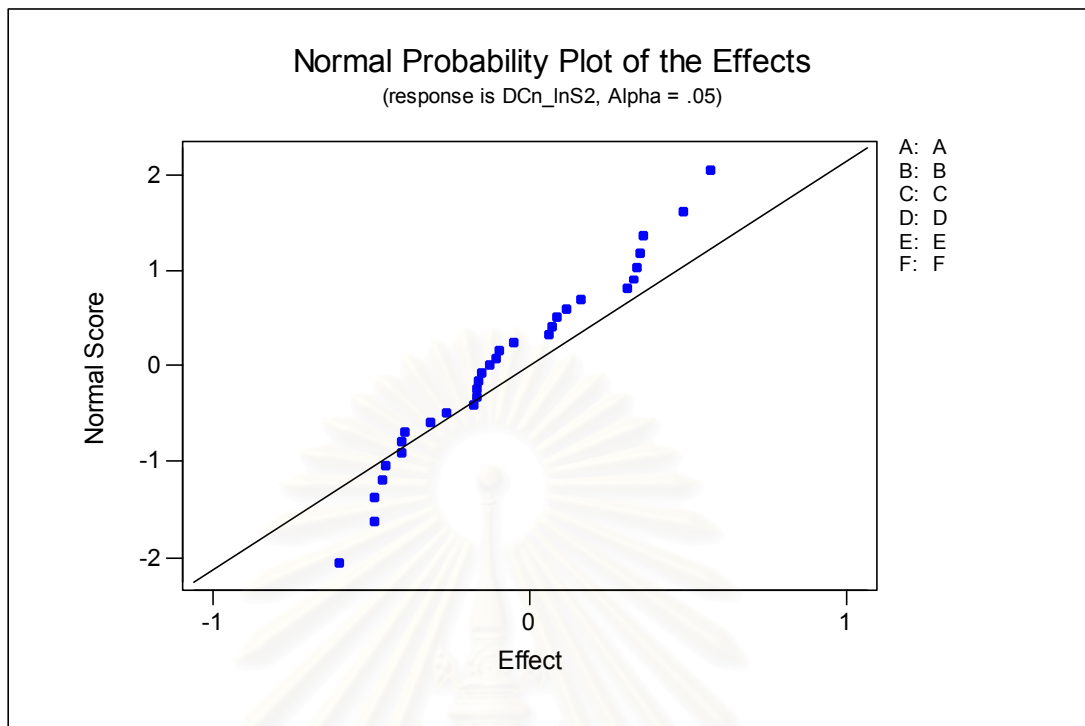
ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลลัพธ์ของการทดลองนี้จะใช้โปรแกรม Minitab Release 13 เพื่อช่วยในการประมวลผล ซึ่งจะเริ่มด้วยการทำการพล็อต Normal Probability Plot และ Pareto Chart ของอิทธิพล (Effect) ของปัจจัยต่างๆ ซึ่งส่งผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองทั้ง 2 ค่า คือ ค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล (D_Cn_Av) และค่า ล็อกฟังก์ชันของความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล (DCn_InS2) ซึ่งจากผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม Minitab จะแสดงไว้ดังในรูปที่ 6.1 ถึง 6.4



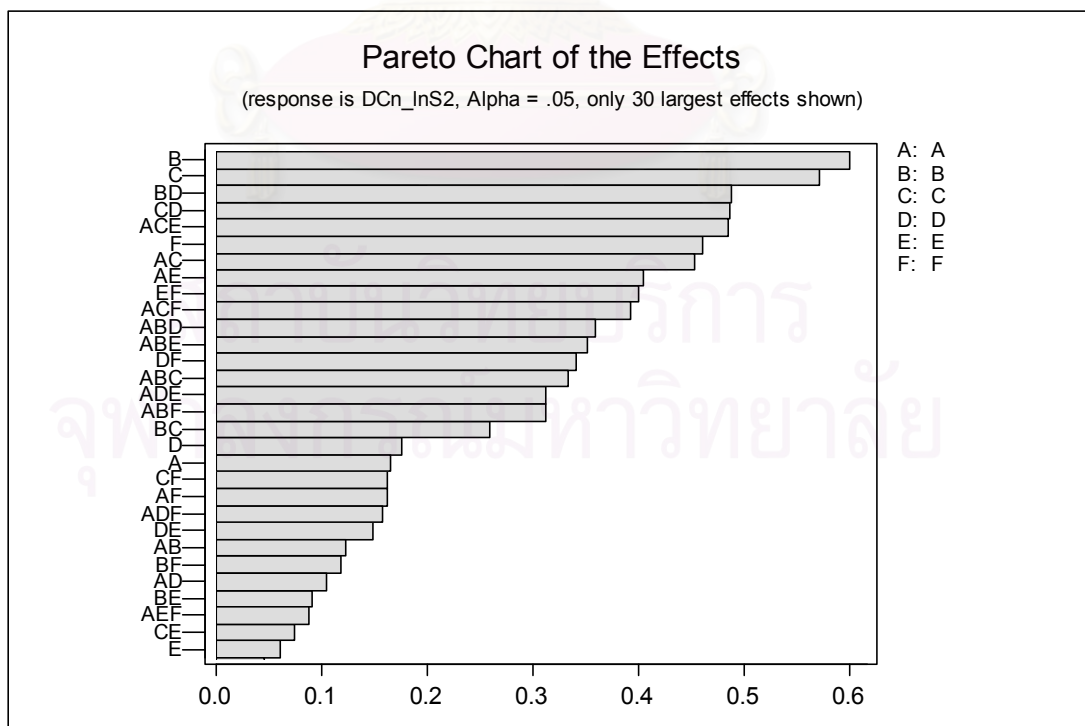
รูปที่ 6.1 Normal Probability Plot ของ Effects ซึ่งส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง D_Cn_Av



รูปที่ 6.2 Pareto Chart ของ Effects ซึ่งส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง D_Cn_Av



รูปที่ 6.3 Normal Probability Plot ของ Effects ซึ่งส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง $DCn_In(S^2)$



รูปที่ 6.4 Pareto Chart ของ Effects ซึ่งส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง $DCn_In(S^2)$

จากรูปที่ 6.1 และ 6.2 จะสามารถสรุปในเบื้องต้นนี้ได้ว่ามีปัจจัย B, D, AB, C และ BD ซึ่งมีแนวโน้มว่าจะส่งผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล (พิจารณาได้จากจุดที่ไม่เรียงอยู่บนเส้นตรงในรูปที่ 6.1 อย่างชัดเจน หรือปัจจัยซึ่งมีค่าผลกระทบที่อยู่ทางด้านขวาของเส้นแนวตั้งในรูปที่ 6.2) อย่างไรก็ตาม จำเป็นที่ต้องทำการทดสอบด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับปัจจัยที่มีศักยภาพทั้ง 5 ตัว จึงจะสามารถสรุปได้ว่า มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนกรณีของค่าล็อกฟังก์ชันของความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลนั้น พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีศักยภาพเลย โดยพิจารณาได้จากรูปที่ 6.3 และ 6.4 อย่างไรก็ตามทางผู้วิจัยได้ตัดสินใจที่จะเลือกปัจจัย B และ C เพื่อทำการพิจารณาต่อไป เนื่องจากในรูปที่ 6.4 ปัจจัยทั้ง 2 ตัวนี้มีค่าของผลกระทบที่สูงกว่าตัวอื่นและยังเป็นปัจจัยหลักที่มีศักยภาพสำหรับกรณีของตัวแปรตอบสนอง $D_{Cn_{Av}}$ ด้วย สำหรับผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง $D_{Cn_{Av}}$ ซึ่งพิจารณาเฉพาะปัจจัย A, B, D, AB, C และ BD นั้นสามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 6.2 และ 6.3 ซึ่งจะนำเอาปัจจัยที่ไม่มีศักยภาพที่เหลือทั้งหมดมาใช้ในการประมาณค่าพจน์ของ Pure Error ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่ไม่มีการทำซ้ำ (Unreplicated Factorial) ได้ อีกทั้งทำให้การวิเคราะห์เปรียบได้กับเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลของแผนการทดลองแบบ 2^4 แฟคทอเรียลที่มีการทำซ้ำการทดลองจำนวน 2 ครั้ง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นั้นพบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่มีศักยภาพทั้ง 5 ตัว ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง $D_{Cn_{Av}}$ (พิจารณาได้จากตารางที่ 6.2 ค่า P-Value ของ ปัจจัย B, D, AB, C และ BD มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ทุกตัว) และจากตารางที่ 6.3 ปัจจัย C และ B ก็ถูกพิจารณาว่ามีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง DCn_{lnS2} ที่ระดับนัยสำคัญอย่างน้อย 0.057 และ 0.070 ตามลำดับ ทำให้ปัจจัยหลักที่จะต้องถูกพิจารณาเพื่อการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการนั้นมีจำนวนทั้งสิ้น 4 ปัจจัย คือ A, B, C และ D

ตารางที่ 6.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง D_Cn_Av

Fractional Factorial Fit: D_Cn_Av versus A, B, C, D						
Estimated Effects and Coefficients for D_Cn_Av (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		0.124432	0.005007	24.85	0.000	
A	0.006104	0.003052	0.005007	0.61	0.548	
B	0.067327	0.033663	0.005007	6.72	0.000	
C	0.024604	0.012302	0.005007	2.46	0.021	
D	0.051116	0.025558	0.005007	5.10	0.000	
A*B	0.026250	0.013125	0.005007	2.62	0.015	
B*D	0.024576	0.012288	0.005007	2.45	0.021	
Analysis of Variance for D_Cn_Av (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	0.062306	0.062306	0.0155765	19.42	0.000
2-Way Interactions	2	0.010344	0.010344	0.0051722	6.45	0.006
Residual Error	25	0.020056	0.020056	0.0008022		
Lack of Fit	9	0.007706	0.007706	0.0008562	1.11	0.409
Pure Error	16	0.012350	0.012350	0.0007719		
Total	31	0.092707				

ตารางที่ 6.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง DCn_InS2

Fractional Factorial Fit: DCn_InS2 versus A, B, C, D						
Estimated Effects and Coefficients for DCn_InS2 (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		6.6731	0.1508	44.24	0.000	
A	0.1658	0.0829	0.1508	0.55	0.587	
B	-0.6014	-0.3007	0.1508	-1.99	0.057	
C	0.5713	0.2857	0.1508	1.89	0.070	
D	-0.1764	-0.0882	0.1508	-0.58	0.564	
A*B	-0.1237	-0.0618	0.1508	-0.41	0.685	
B*D	0.4902	0.2451	0.1508	1.63	0.117	
Analysis of Variance for DCn_InS2 (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	5.973	5.973	1.4933	2.05	0.118
2-Way Interactions	2	2.045	2.045	1.0225	1.40	0.264
Residual Error	25	18.198	18.198	0.7279		
Lack of Fit	9	7.486	7.486	0.8318	1.24	0.337
Pure Error	16	10.712	10.712	0.6695		
Total	31	26.217				

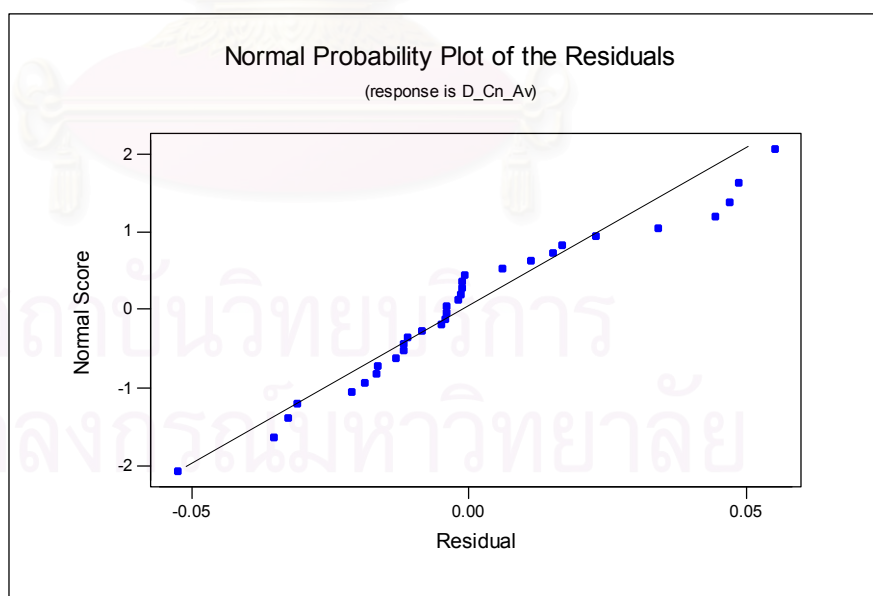
6.2.3 การตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ (Model Adequacy Checking)

จาก [1] ได้กล่าวไว้ว่าการที่ผลการวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะมีความน่าเชื่อถือที่สูงได้นั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการทดสอบสมมติฐานที่จำเป็นจะต้องถูกทดสอบก่อนเสมอ กล่าวคือ ค่าที่ได้จากการทดลองมีความเหมาะสมพอที่จะถูกอธิบายด้วยตัวแบบที่ตั้งไว้ได้

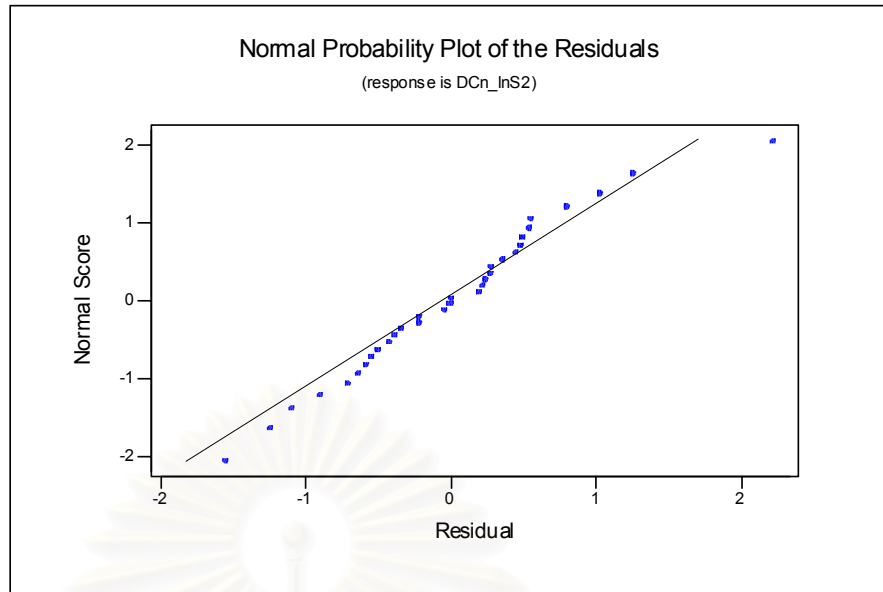
และค่าผิดพลาด (Errors) มีการกระจายแบบปกติอย่างอิสระด้วยค่าเฉลี่ยเป็น 0 และค่าความแปรปรวนที่ไม่ทราบค่า σ^2 , $\varepsilon_{ijklmn} \sim NID(0, \sigma^2)$ ซึ่งหากสมมติฐานเหล่านี้เป็นจริงการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะมีความน่าเชื่อถือที่สูงมาก อย่างไรก็ตามการตรวจสอบดังกล่าวมิได้กระทำได้ง่ายในทางปฏิบัติ การพิจารณาค่าเรสซิดิวล (Residual) จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบว่าสมมติฐานดังกล่าวถูกต้องหรือไม่ โดยการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายของค่าเรสซิดิวลจะต้องเป็นไปแบบไร้รูปแบบ (Structureless) ซึ่งโดยทั่วไปจะทำการวิเคราะห์ดังนี้

1. การตรวจสอบการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) ของข้อมูล

จะเป็นการทดสอบว่า $\varepsilon_{ijklmn} \sim NID(0, \sigma^2)$ เป็นจริง โดยการพิจารณา Normal Probability Plot ของเรสซิดิวล โดยใช้หลักการที่ว่าหากค่า ε_{ijklmn} มีการกระจายแบบปกติจริง กราฟดังกล่าวจะต้องมีลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งจากผลลัพธ์ที่ได้จากการพล็อตด้วยโปรแกรม Minitab ดังรูปที่ 6.5 และ 6.6 นั้น พบว่าค่าเรสซิดิวลสำหรับตัวแปรตอบสนองทั้ง 2 ตัว มีการเรียงตัวเป็นเส้นตรง จึงทำให้สรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติจริง



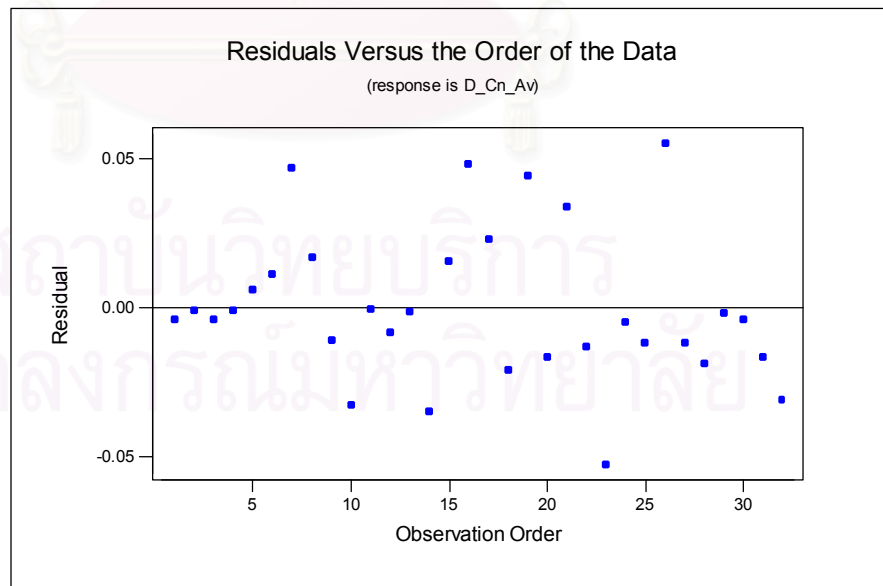
รูปที่ 6.5 Normal Probability Plot ของ Residuals สำหรับ D_Cn_Av



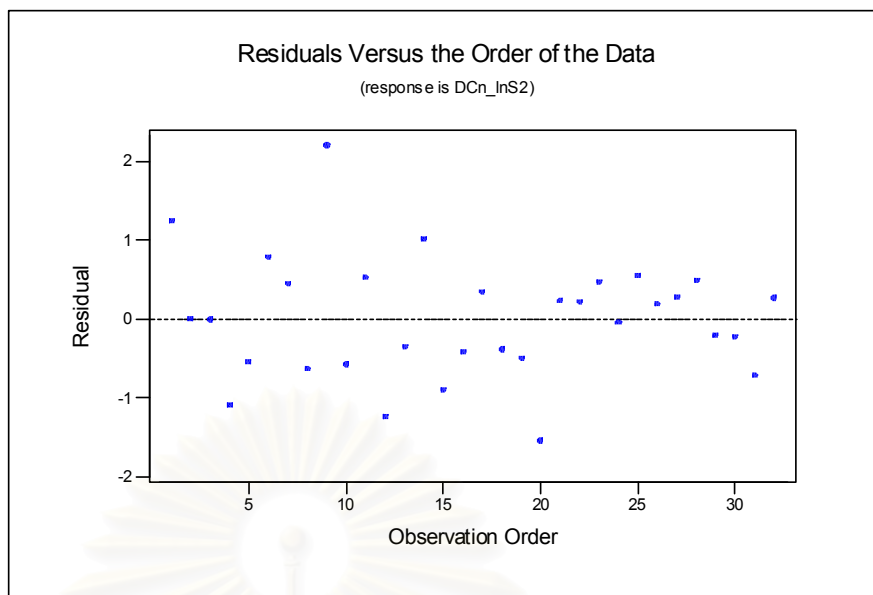
รูปที่ 6.6 Normal Probability Plot ของ Residuals สำหรับ DCn_InS2

2. การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของข้อมูล

การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล จะพิจารณาจากรูปแบบการกระจายตัวของค่าเรสซิดิวล ที่สัมพันธ์ลำดับของการทำการทดลองของชุดการ



รูปที่ 6.7 ค่าเรสซิดิวลของ D_Cn_Av เทียบกับลำดับที่ของการทำการทดลอง

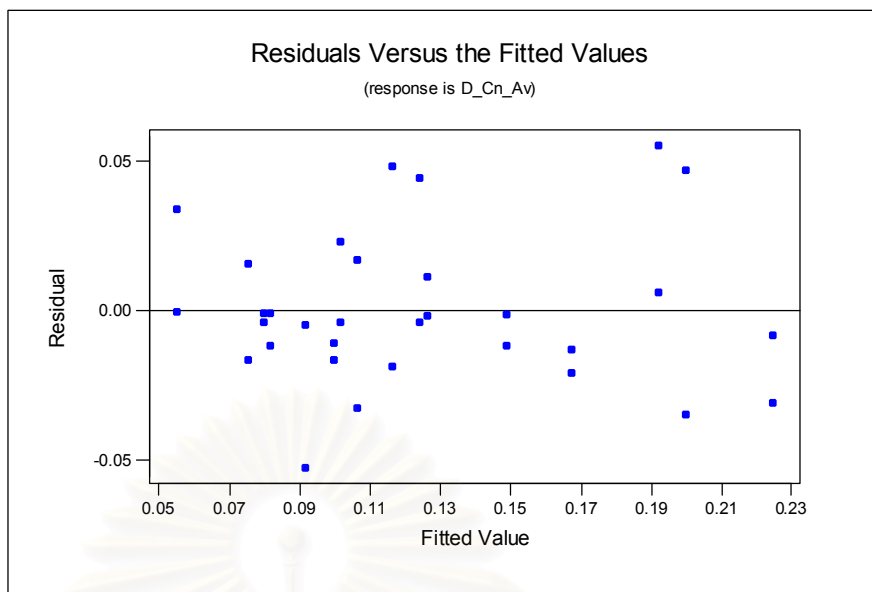


รูปที่ 6.8 ค่าเรสซิดิวลของ DCn_InS2 เทียบกับลำดับที่ของการทำการทดลอง

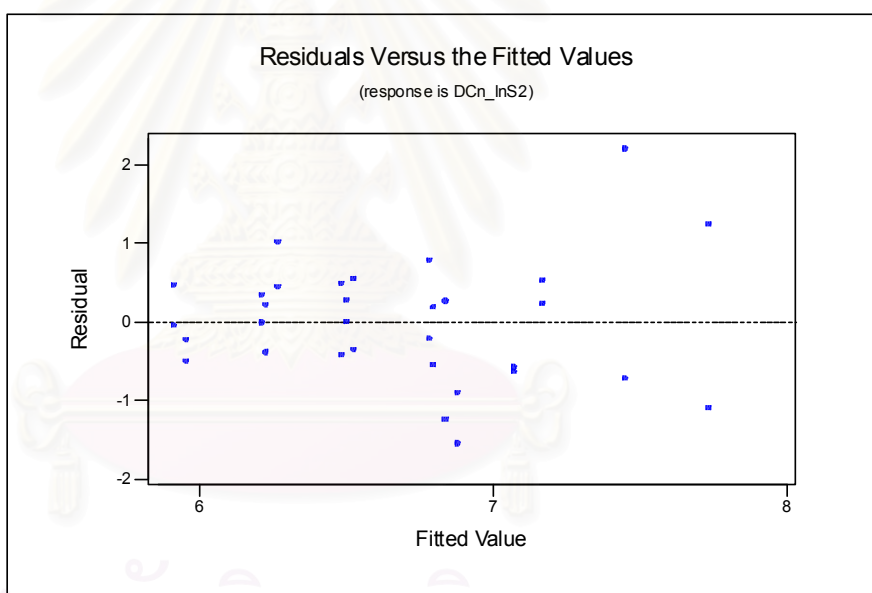
ทดลองทั้งหมด จะต้องเป็นไปในรูปแบบของการกระจายตัวแบบไร้รูปแบบ ซึ่งจะสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระ ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการทำการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ลำดับการทดลองที่ถูกต้อง ทำให้ค่าผิดพลาด (Error) ต่างๆ ที่เกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้กระจายตัวเข้าถึงทุกหน่วยของการทดลองอย่างเท่าเทียมกัน ซึ่งจากรูปที่ 6.7 และ 6.8 เป็นการพล็อตค่าของเรสซิดิวลของตัวแปรตอบสนอง D_Cn_Av และของ DCn_InS2 ตามลำดับ เทียบกับลำดับที่ของการทำการทดลอง ทำให้สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

3. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล

จากหลักการที่ว่าถ้าตัวแบบและสมมติฐานถูกต้อง การกระจายของค่าเรสซิดิวลจะต้องเป็นไปในแบบไร้รูปแบบ กล่าวคือการกระจายตัวของค่าเรสซิดิวลจะต้องไม่ขึ้นตรงกับตัวแปรใดๆ แม้แต่ค่าคาดหวังของผลตอบสนอง (Predicted response) ก็ตาม ซึ่งในกรณีนี้สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 6.9 และ 6.10 ซึ่งเป็นการพล็อตระหว่างค่าเรสซิดิวลกับค่าคาดหวังของผลตอบสนอง D_Cn_Av และของ DCn_InS2 ตามลำดับ และสามารถสรุปได้ว่าความแปรปรวนของข้อมูลมีความเสถียร โดยพิจารณาจากการกระจายตัวของค่าเรสซิดิวลอย่างไร้รูปแบบ



รูปที่ 6.9 ค่าเรสซิดิวลของ D_Cn_Av เทียบกับค่าคาดหวัง

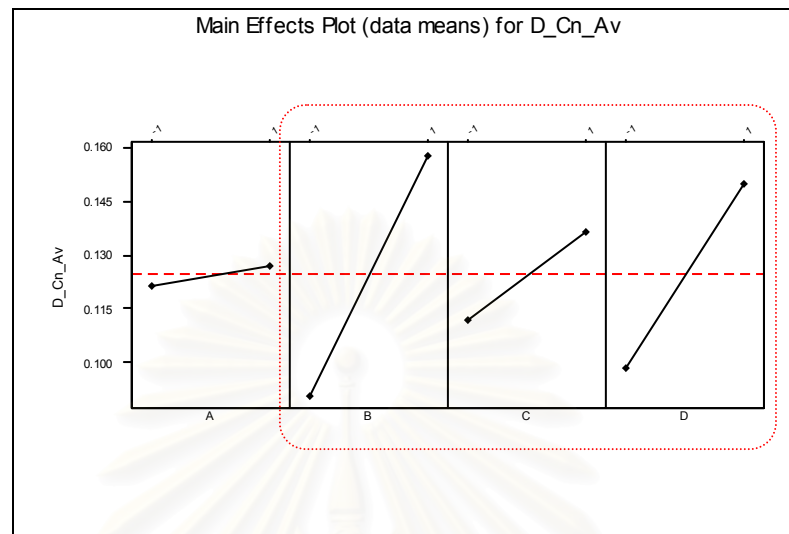


รูปที่ 6.10 ค่าเรสซิดิวลของ DCn_InS2 เทียบกับค่าคาดหวัง

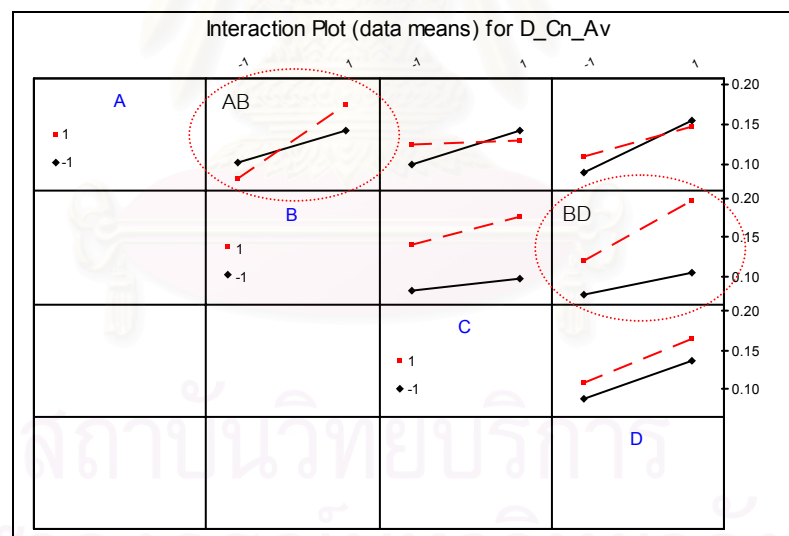
6.2.3 การวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองจากการทดลอง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนดังในตารางที่ 6.2 พบว่า ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ปัจจัยที่มีศักยภาพทั้ง 5 ตัว คือ B, C, BD, D และ AB มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของตัวหัวเข็นอ่านข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากปัจจัยร่วม AB เป็นหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ จึงทำให้ต้องมีการ

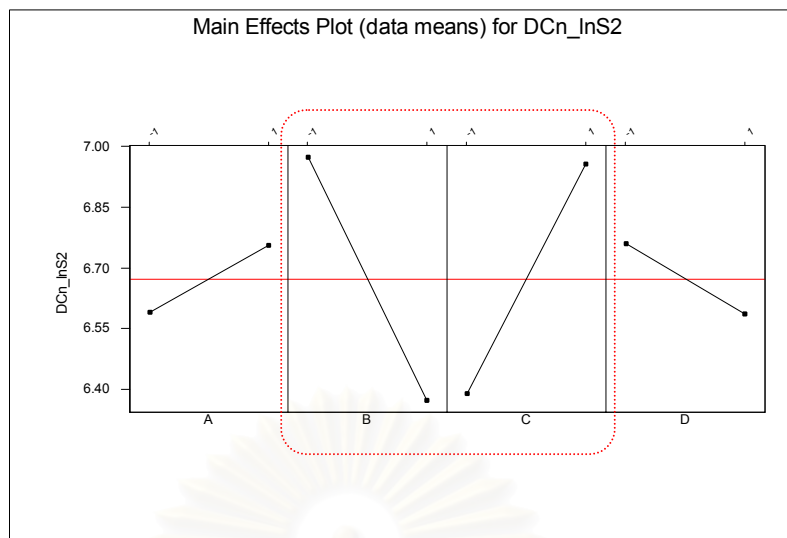
พิจารณาปัจจัยหลัก A ด้วย ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะทำการวิเคราะห์ปัจจัย A, B, C และ D พร้อมด้วยปัจจัยร่วมว่ามีผลอย่างไรต่อค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการ โกงตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล



รูปที่ 6.11 กราฟระหว่างอิทธิพลจากปัจจัยหลักกับค่าของตัวแปรตอบสนอง D_Cn_Av



รูปที่ 6.12 กราฟระหว่างอิทธิพลจากปัจจัยร่วมที่ประกอบด้วยปัจจัยหลัก 2 ตัวกับค่า D_Cn_Av



รูปที่ 6.13 กราฟระหว่างอิทธิพลปัจจัยหลักกับค่าของตัวแปรตอบสนอง DCn_InS2

เนื่องจากจากรูปที่ 6.11 ปัจจัยหลัก A จะส่งผลต่อค่าของตัวแปรตอบสนอง D_Cn_Av ที่น้อยมาก กล่าวคือการเปลี่ยนแปลงระดับปัจจัยของปัจจัยหลัก A จากค่าต่ำสุดไปหาค่าสูงสุด จะให้ผลของค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล ที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ($0.0061 \mu\text{-inch}$) ส่วนปัจจัยหลัก B, C และ D จะให้ผลของค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลที่เพิ่มขึ้นในขนาดที่มากกว่า กล่าวคือ 0.0673 , 0.0246 และ $0.0511 \mu\text{-inch}$ ตามลำดับ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับปัจจัยจากค่าต่ำไปหาค่าสูง ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าผลกระทบจากปัจจัย C และ D ไม่เป็นไปตามที่ได้พิจารณาไว้ในหัวข้อที่ 3.2.2 และ 3.2.4 กล่าวคือ ขนาดของหยดกาวยิ่งใหญ่กว่าจะมีการกระจายของแรงภายในที่ดีกว่า ควรที่จะให้ค่าการโก่งตัวที่น้อยกว่า แต่จากผลการทดลองกลับพบว่าด้วยขนาดของหยดกาวยิ่งใหญ่กว่ากลับให้ค่าของการโก่งตัวที่มากกว่า วิศวกรเครื่องกลของโรงงานตัวอย่างให้ความเห็นไว้ว่า แรงที่เกิดจากการหดตัวกลับของตัวแกนจับยึด จะเกิดขึ้นเท่าๆกันในทุกพื้นที่บนตัวแกนจับยึด ดังนั้นหากมีจุดยึดที่ใหญ่กว่า แรงที่จะกระทำต่อตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลก็จะเกิดจากพื้นที่บนตัวแกนจับยึดที่กว้างกว่า ทำให้เกิดการโก่งตัวที่มากกว่านั่นเอง และสำหรับปัจจัยร่วม AB และ BD นั้นพิจารณาได้จากรูปที่ 6.12 ซึ่งจะเห็นได้ว่า สำหรับปัจจัยร่วม AB เมื่อระดับของปัจจัยหลัก A เปลี่ยนไปจากค่าต่ำไปสู่ค่าสูง ก็จะทำให้ผลกระทบของปัจจัยหลัก B ที่มีต่อค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลมีค่ามากขึ้น และก็เป็นไปในทำนองเดียวกันสำหรับปัจจัยร่วม BD กล่าวคือ เมื่อระดับของปัจจัยหลัก B เปลี่ยนไป ก็จะทำให้ผลกระทบของปัจจัยหลัก D ที่มีต่อค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลมีค่ามากขึ้น จากการวิเคราะห์สมการถดถอย (Regression Analysis) ดังในตารางที่ 6.4 พบว่าสมการถดถอยเพื่อใช้ในการประมาณค่าเฉลี่ยของ

ค่าการเปลี่ยนแปลงการโค้งตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลมีความเหมาะสม โดยมีค่าสัมประสิทธิ์เพื่อการตัดสินใจ R-Sq (adjust) อยู่ที่ระดับ 73.2% ซึ่งทางคณะทำงานถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

ตารางที่ 6.4 การวิเคราะห์สมการถดถอยของตัวแปรตอบสนอง D_Cn_Av

Regression Analysis: D_Cn_Av versus A, B, C, D, AB, BD					
The regression equation is					
D_Cn_Av = 0.124 + 0.00305 A + 0.0337 B + 0.0123 C + 0.0256 D + 0.0131 AB + 0.0123 BD					
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	0.124432	0.005007	24.85	0.000	
A	0.003052	0.005007	0.61	0.548	
B	0.033663	0.005007	6.72	0.000	
C	0.012302	0.005007	2.46	0.021	
D	0.025558	0.005007	5.10	0.000	
AB	0.013125	0.005007	2.62	0.015	
BD	0.012288	0.005007	2.45	0.021	
S = 0.02832		R-Sq = 78.4%		R-Sq(adj) = 73.2%	
PRESS = 0.032860		R-Sq(pred) = 64.55%			
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	0.072651	0.012108	15.09	0.000
Residual Error	25	0.020056	0.000802		
Total	31	0.092707			
Source	DF	Seq SS			
A	1	0.000298			
B	1	0.036263			
C	1	0.004843			
D	1	0.020903			
AB	1	0.005512			
BD	1	0.004832			

จากความสัมพันธ์ที่ว่า หากค่า $-\ln(S^2)$ หรือค่าตัวแปรตอบสนอง DCn_InS2 ยังมีค่ามากก็ จะหมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลที่ น้อยกว่า (จากความสัมพันธ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน = $\sqrt{e^{-(DCn_In_S2)}}$) ดังนั้นจากรูปที่ 6.13 ซึ่งจะ พิจารณาเฉพาะปัจจัยหลัก B และ C พบว่าระดับปัจจัยของปัจจัยหลัก B ที่ต่ำกว่าจะให้ผลของค่า เบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลที่น้อยกว่า และ ในทางกลับกัน ระดับปัจจัยของปัจจัยหลัก C ที่สูงกว่าจะให้ผลของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการ เปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลที่น้อยกว่า อย่างไรก็ตามเนื่องจากตัวแปร ตอบสนอง DCn_InS2 ได้ถูกวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแล้วพบว่า ที่ระดับ นัยสำคัญ 0.05 ไม่มีปัจจัยใดที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง DCn_InS2 อย่างมีนัยสำคัญ ตัว แปรตอบสนองนี้จึงถูกพิจารณาเพื่อการอ้างอิงในการวิเคราะห์ผลเท่านั้น

6.2.4 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลอง

โดยการใช้ส่วนโปรแกรมย่อย Response Optimizer ของโปรแกรม Minitab ช่วยในการวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าการเปลี่ยนแปลงการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญต่างๆ โดยจะพิจารณาที่ผลลัพธ์ของตัวแปรตอบสนอง D_Cn_Av เป็นหลัก ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ควรจะต้องเป็นค่าที่ต่ำที่สุด เพราะว่าหากค่าการเปลี่ยนแปลงการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลมีค่าต่ำแล้ว ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวดังกล่าวก็ควรมีแนวโน้มที่ลดลงเช่นกัน ซึ่งในการพิจารณาระดับปัจจัยที่เหมาะสมนี้ก็จะพิจารณาผลลัพธ์ของตัวแปรตอบสนอง DCn_InS2 ด้วย โดยผลลัพธ์ของตัวแปรตอบสนองนี้จะใช้ใช้อ้างอิงเท่านั้น ซึ่งค่าของ DCn_InS2 ควรที่จะมีค่าที่มากที่สุด และจากผลลัพธ์ของโปรแกรมย่อย Response optimizer ในรูปที่ 6.14 จะได้ระดับของปัจจัยต่างๆดังในตารางที่ 6.5

ซึ่งจากผลลัพธ์ที่ได้จากส่วนโปรแกรมย่อย Response Optimizer นี้ ค่าคาดหมายของตัวแปรตอบสนอง D_Cn_Av หรือค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลจะอยู่ที่ประมาณ $0.055 \mu\text{-inch}$ และค่าคาดหมายของตัวแปรตอบสนอง DCn_InS2 (ใช้อ้างอิงเท่านั้น) จะอยู่ที่ประมาณ 7.166 ซึ่งจะให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลอยู่ที่ประมาณ $0.029 \mu\text{-inch}$

1	A	B	C	D
D	1.0	1.0	1.0	1.0
0.81527	[1.0000]	[-1.0]	[-1.0]	[-1.0]
Hi				
Lo	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0

D_Cn_Av Minimum y = 0.0551 d = 0.94875				
DCn_InS2 Maximum y = 7.1662 d = 0.70057				

รูปที่ 6.14 ผลลัพธ์ที่ได้จากส่วนโปรแกรมย่อย Response Optimizer ของโปรแกรม Minitab

ตารางที่ 6.5 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการทดลองเพื่อการยืนยันผล

ปัจจัย	ระดับปัจจัยที่เหมาะสม
1. ตำแหน่งของกาวโครงสร้าง (A)	32 mil
2. ตำแหน่งของกาวตัวนำไฟฟ้า (B)	36 mil
3. ขนาดของกาวโครงสร้าง (C)	52 mil (ค่าปัจจุบัน)
4. ขนาดของกาวตัวนำไฟฟ้า (D)	80 mil (ค่าปัจจุบัน)
5. ระยะห่างจากปลายท่อแสง UV ถึงตัวงาน (E)	70 mil (ค่าปัจจุบัน)
6. ระยะเวลาในการให้แสง UV (F)	1 วินาที (ค่าปัจจุบัน)

6.2.5 การทดลองเพื่อการยืนยันผลการทดลอง

เพื่อเป็นการยืนยันผลที่ได้จากการพิจารณาหาระดับที่เหมาะสม ของปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการประกอบชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล ว่ามีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลอยู่ที่ระดับไม่เกิน $0.033 \mu\text{-inch}$ ดังนั้นการทำการทดลองเพื่อการยืนยันผลจะทำการทดลองประกอบชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล โดยใช้ระดับปัจจัยตามที่ได้จากตารางที่ 6.5 ซึ่งจาก [10] ได้กล่าวถึงการทดสอบว่าค่าความแปรปรวน หรือ Variance ของชุดข้อมูลตัวอย่าง S^2 ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของค่าความแปรปรวนของข้อมูลประชากรที่จะทำการทดสอบ σ^2 จะเท่ากับค่าความแปรปรวนของข้อมูลประชากรที่ระดับ σ_0^2 หรือไม่ โดยการใช้ตัวสถิติเพื่อการทดสอบดังนี้

$$\chi_0^2 = \frac{(n-1)S^2}{\sigma_0^2}$$

โดยการตั้งสมมติฐานดังนี้

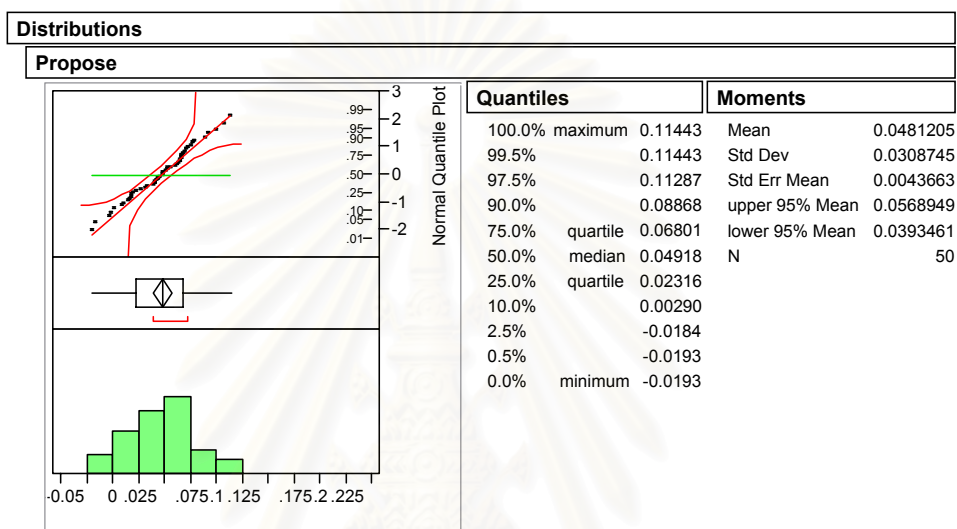
$$H_0 : \sigma^2 = \sigma_0^2$$

$$H_1 : \sigma^2 \neq \sigma_0^2$$

ซึ่งจะสามารถปฏิเสธ $H_0 : \sigma^2 = \sigma_0^2$ ได้ก็ต่อเมื่อ $\chi_0^2 > \chi_{\alpha/2, n-1}^2$ หรือ $\chi_0^2 < \chi_{1-\alpha/2, n-1}^2$ โดยการกำหนดให้ $\sigma_0^2 = 0.033^2$ ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ และจำนวนตัวอย่าง $n = 50$ เพื่อให้เป็นจำนวนที่มากพอเพื่อทำการทดสอบได้อย่างน่าเชื่อถือ

ซึ่งผลจากการทำการทดลองดังกล่าว พบว่าค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล ของชุดตัวอย่างชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูล จำนวนรวมทั้งสิ้น 50 ตัว มีค่าเท่ากับ 0.0481 และ 0.0309 $\mu\text{-inch}$ ตามลำดับ (พิจารณา

ได้จากรูปที่ 6.15 ซึ่งเป็นกราฟการกระจายของข้อมูลชุดตัวอย่างเพื่อการยืนยันผล) และเมื่อทำการทดสอบสมมติฐานพบว่า ค่า $\chi_0^2 = 42.88$ ในขณะที่ ค่า $\chi_{0.025,49}^2 = 70.21$ และค่า $\chi_{0.975,49}^2 = 31.57$ ทำให้ไม่สามารถที่จะปฏิเสธสมมติฐาน $H_0 : \sigma^2 = \sigma_0^2 = 0.033^2$ ได้ จึงสามารถสรุปได้ว่า ผลจากการเลือกระดับปัจจัยต่างๆดังกล่าวสามารถให้ผลลัพธ์ตรงตามที่ได้ตั้งเป้าหมายไว้ กล่าวคือมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลเท่ากับ $0.033 \mu\text{-inch}$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$



รูปที่ 6.15 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองเพื่อการยืนยันผล

6.3 สรุป

จากการออกแบบการทดลองและมีการทำการทดลองตามแผนที่วางไว้อย่างเคร่งครัด ทำให้สามารถวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง เพื่อการพิจารณากำหนดระดับปัจจัยของปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการผลิตที่เหมาะสมได้ ซึ่งจากการทำการทดลองเพื่อการยืนยันผล โดยการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของกาวโครงสร้างจาก ระยะห่างเท่ากับ 14 mil เป็น 32 mil ในแนวแกน X และตำแหน่งของกาวตัวนำไฟฟ้าจากระยะห่างเท่ากับ 51.5 mil เป็น 36 mil จากรูอ้างอิง ในแนวแกน Y ส่วนปัจจัยอื่นๆให้ใช้ค่าปัจจุบัน ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลเท่ากับ 0.0481 และ 0.0309 $\mu\text{-inch}$ ตามลำดับ และจากการทดสอบทางสถิติสามารถสรุปได้ว่า สามารถลดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลอยู่ที่ระดับ 0.033 $\mu\text{-inch}$ ได้อย่างมีนัยสำคัญ

บทที่ 7

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลงานวิจัย

จากการพิจารณาหาปัจจัยในเมืองต้น โดยการใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล ซึ่งทำการพิจารณาปัจจัยในการผลิตต่างๆ โดยพิจารณาจากปัจจัยหลัก คือ คน วิธีการ เครื่องจักร และวัสดุ หรือ 4M ผลลัพธ์ที่ได้จากการพิจารณาด้วยประสบการณ์และหลักการทางวิศวกรรม ทำให้ได้ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลในเมืองต้น 6 ปัจจัย คือ ตำแหน่งของกาวโครงสร้าง ตำแหน่งของการตัวนำไฟฟ้า ขนาดของกาวโครงสร้าง ขนาดของกาวตัวนำไฟฟ้า ระยะห่างจากปลายท่อหน้าแสง UV ถึงตัวงาน และระยะเวลาในการให้แสง UV

เพื่อเป็นการประหยัดทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ทั้งในแง่ของวัตถุดิบ พนักงาน และเวลาที่ใช้ในการทำการทดลอง การทดลองแบบแฟรคชันนอลแบบครึ่งหนึ่งของ 2^k แฟคทอเรียล จึงถูกเลือกเพื่อใช้ในการทดลองเพื่อหาว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลจากการทดลองและทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยหลักการทางสถิติ พบว่ามี 4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล คือ ตำแหน่งของกาวโครงสร้าง ตำแหน่งของการตัวนำไฟฟ้า ขนาดของกาวโครงสร้าง และขนาดของกาวตัวนำไฟฟ้า

จากการพิจารณาค่าที่เหมาะสมของระดับปัจจัยเพื่อการใช้งาน พบว่า ขนาดของกาวโครงสร้างควรมีขนาดเท่ากับ 52 mil² ขนาดของกาวตัวนำไฟฟ้าควรมีขนาดเท่ากับ 80 mil² ตำแหน่งของกาวโครงสร้างในแนวแกน X ควรจะอยู่ที่ระยะห่างเท่ากับ 32 mil และตำแหน่งของกาวตัวนำไฟฟ้าในแนวแกน Y ควรจะอยู่ที่ระยะเท่ากับ 36 mil จากจุดอ้างอิง

จากการทดลองเพื่อการยืนยันผล โดยทำการเปรียบเทียบผลของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล ที่ได้จากการใช้ระดับปัจจัยที่ได้จากการทดลองซึ่งได้ค่าเท่ากับ 0.0309 μ -inch กับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป้าหมายที่ 0.033 μ -inch ซึ่งพบว่าระดับปัจจัยที่นำเสนอขึ้นใหม่สามารถให้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจ กล่าวคือระดับของค่าเบี่ยงเบน

มาตรฐาน ของค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการ โกงตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล มีค่าเท่ากับ 0.033 $\mu - inch$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

7.2 ข้อจำกัดในงานวิจัย

ด้วยข้อจำกัดของปริมาณวัตถุดิบและเวลาที่สามารถใช้ทำการทดลองได้ เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายที่สูงมากและต้องทำการทดลองบนสายการผลิตปกติ ทำให้การทดลองไม่สามารถทำการซ้ำการทดลองได้ และไม่สามารถทำการทดลองที่มีจำนวนตัวอย่างในแต่ละชุดการทดลองที่มากนักได้ ซึ่งอาจเป็นผลให้ตัวแปรตอบสนองที่เป็นตัววัดความแปรปรวน ไม่สามารถวิเคราะห์ผลได้อย่างสมบูรณ์

7.3 ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็น

ถ้ามีเวลาและวัตถุดิบเพียงพอ อาจจะทำการศึกษาแบบครึ่งละปัจจัยเพื่อทำการเลือกปัจจัยที่มีศักยภาพ แทนการใช้เพียงหลักการทางวิศวกรรมและประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญในโรงงาน ตัวอย่าง

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ผลจากการทดลอง ในแง่ของตัวแปรตอบสนองในส่วนของตัววัดความแปรปรวน ซึ่งพบว่าไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญจากปัจจัยต่างๆที่ระดับนัยสำคัญที่ต้องการ อาจจะเป็นผลมาจาก การที่จำนวนตัวอย่างของแต่ละชุดการทดลองเพื่อนำมาหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีจำนวนที่น้อยเกินไป หากสามารถแยกสายการผลิตเพื่อทำการทดลองโดยเฉพาะได้ และสามารถจัดหาวัตถุดิบสำหรับการทดลองที่มากพอได้ จำนวนตัวอย่างสำหรับแต่ละชุดการทดลองควรที่จะต้องถูกพิจารณาเพิ่มจำนวนขึ้นด้วย

หากสามารถกระทำได้ ปัจจัยที่การวิจัยครั้งนี้ไม่สามารถทำการปรับเปลี่ยนได้ เช่น คุณสมบัติต่างๆของวัตถุดิบทางตรงและทางอ้อม ควรจะถูกทำการศึกษาด้วย โดยการขอความร่วมมือจากส่วนที่รับผิดชอบต่างๆ ทั้งที่อยู่ภายในและภายนอกโรงงานตัวอย่าง เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นเพื่อนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ในรุ่นถัดๆไปในอนาคต ที่อาจจะมีความต้องการการควบคุมค่าการ โกงตัวที่ดีขึ้น

การทดลองในครั้งนี้ได้กำหนดให้ เครื่องจักร พนักงานในส่วนต่างๆ และวัตถุดิบ เป็นปัจจัยควบคุม ดังนั้นผลที่ได้จากการทดลองนี้ เมื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตจริง ซึ่งอาจจะมี ความผัน

แปรต่างๆเกิดขึ้นได้ ทั้งในแง่ของ ความสามารถของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง ความสามารถของ พนักงานช่างเทคนิค ความชำนาญของพนักงานปฏิบัติการ และความผันแปรของตัววัตถุดิบทางตรง และวัตถุดิบทางอ้อมต่างๆ และอาจจะส่งผลกระทบต่อให้ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการ เปลี่ยนแปลงค่าการ โกงตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล ที่ได้จริงมีความแตกต่างจากผลที่ได้จากการ ทดลองนี้ได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. Montgomery, D. C. Design and analysis of experiments. 5 th ed. New York: John Wiley and Sons, 2001.
2. กัลยา วานิชย์บัญชา. หลักสถิติ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
3. Beer, F. P. and Johnston, E. R. Jr. Mechanics of materials. SI Metric Edition. Toronto: McGraw-Hill Ryerson, 1985.
4. Wyatt, D. Processing Guidelines for Photocurable adhesives. Lasers and Optronics (February 2000) : Page 11-13.
5. Emerson & Cuming. Technical data sheet technical tip (Bonding dissimilar CTE materials). www.emersoncuming.com : Emerson&Cuming, 2000.
6. กฤษดา อิศวรุ่งแสงกุล. การปรับปรุงคุณภาพของหัวอ่านเขียนข้อมูลฮาร์ดดิสก์โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
7. ทรงพล พิเศษฐ์วัฒนา. การประยุกต์การออกแบบการทดลองในการปรับปรุงคุณภาพของแรงดึงของหัวอ่านเขียนข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541
8. Robinson, G. K. Practical strategies for experimenting. New York: John Wiley and Sons, 2000.
9. Montgomery, D. C., and Myers, R. H. Response surface methodology: Process and product optimization using designed experiments. New York: John Wiley and Sons, 1995.
10. ปารเมศ ชูติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

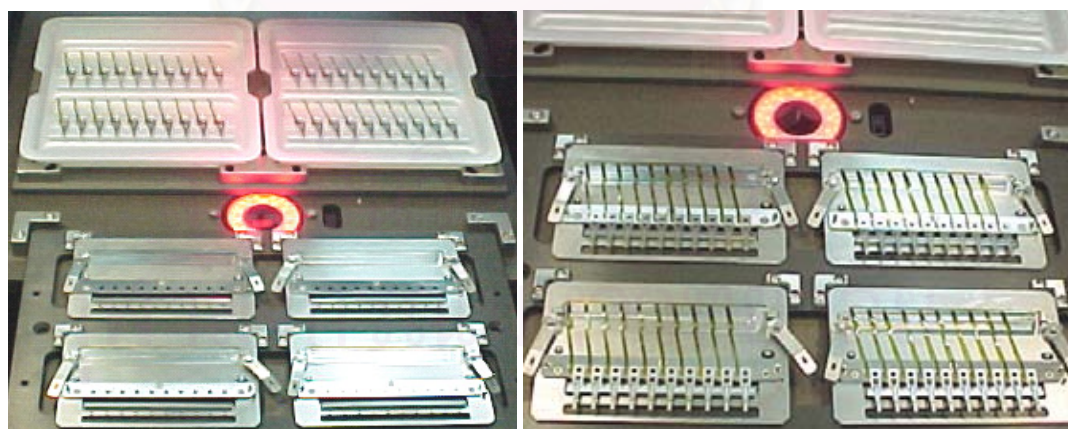
ภาพแสดงเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการประกอบชุดประกอบสำเร็จหัว
เขียนอ่านข้อมูล รวมถึงเครื่องวัดค่าการ โกงตัว



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



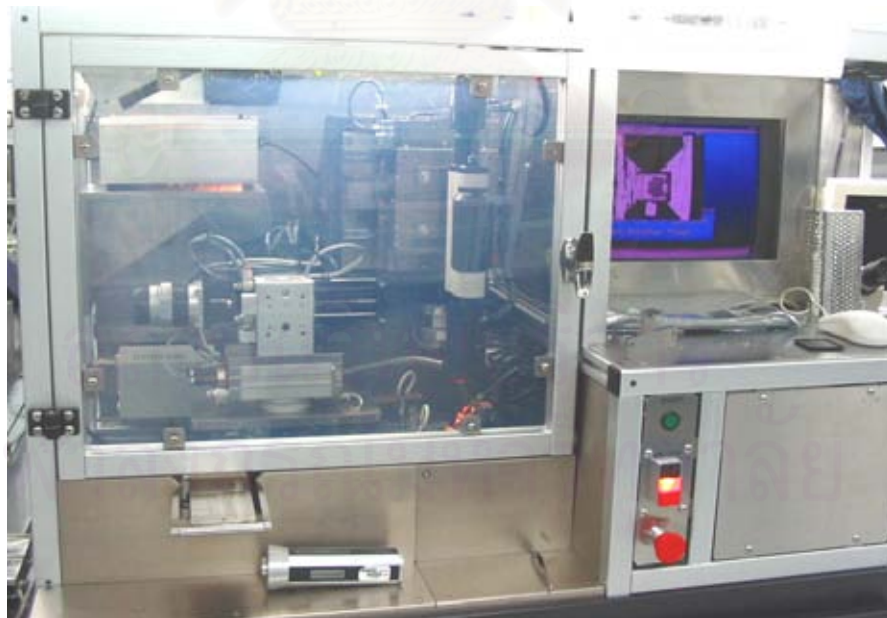
รูปที่ ก1 เครื่องถ่ายไอออนตัวแขวนจับยึด (Suspension)



รูปที่ ก2 ภาพก่อนและหลังการทำารถ่ายไอออน



รูปที่ ๓ เครื่องหยอดถาดอัตโนมัติ



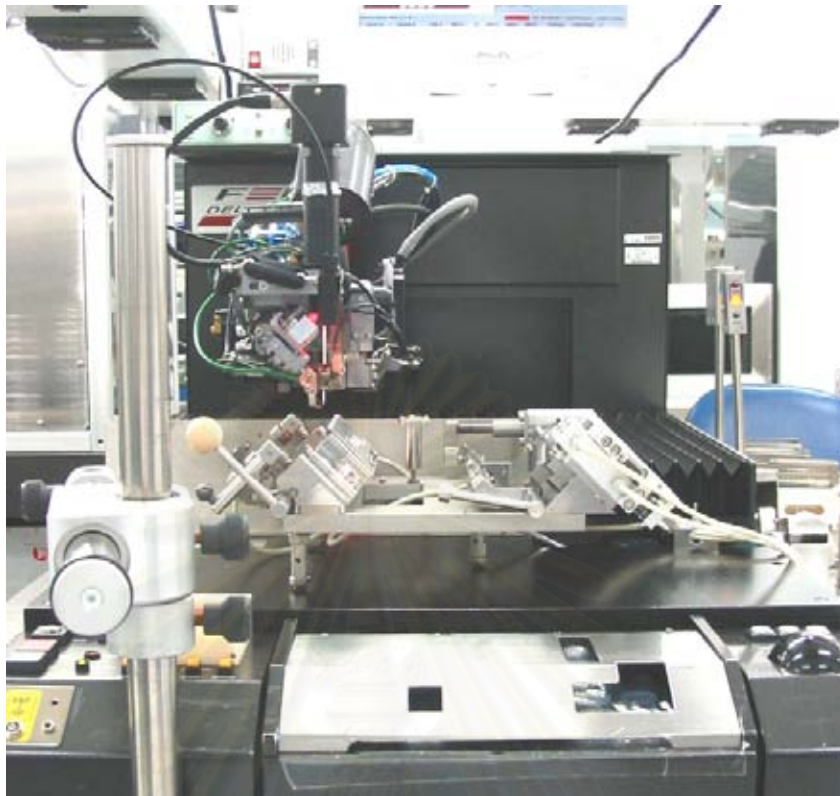
รูปที่ ๔ เครื่องประกอบตัว Slider เข้ากับ Suspension



รูปที่ ๓5 หลอดแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV)



รูปที่ ๓6 อุปกรณ์สำหรับการวัดค่าความเข้มแสง UV



รูปที่ ก7 เครื่องเชื่อมต่อวงจรด้วยลูกบอลทองโดยใช้อัลตราโซนิก



รูปที่ ก8 เครื่องอบกาวด้วยรังสีความร้อน



รูปที่ ก9 เครื่อง WYKO HD3300 สำหรับวัดค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล

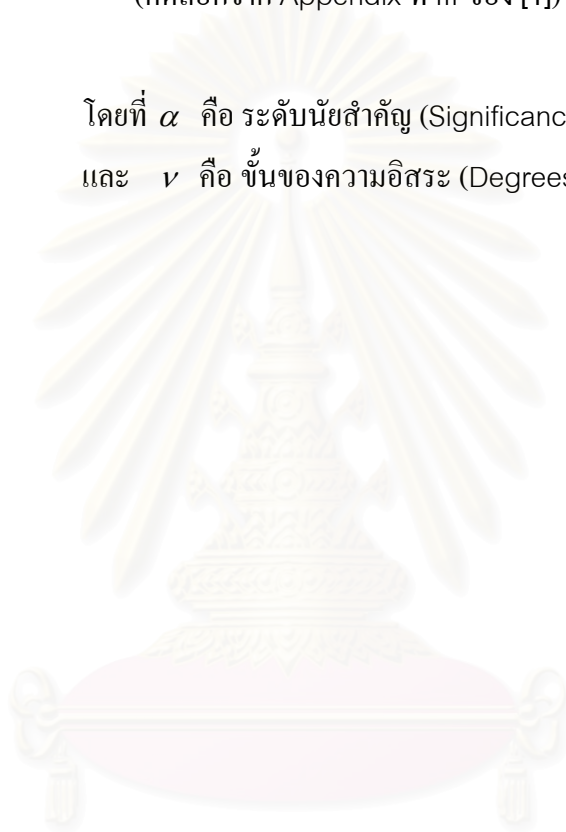
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

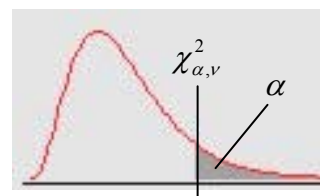
ตาราง Percentage Points of the χ^2 (Chi-square) Distribution
(คัดลอกจาก Appendix ที่ III ของ [1])

โดยที่ α คือ ระดับนัยสำคัญ (Significance Level)

และ ν คือ ชั้นของคามอิสระ (Degrees of Freedom)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ ข1 Percentage Points of the χ^2 Distribution

ν	α								
	0.995	0.990	0.975	0.950	0.500	0.050	0.025	0.010	0.005
1	0.00+	0.00+	0.00+	0.00+	0.45	3.84	5.02	6.63	7.88
2	0.01	0.02	0.05	0.10	1.39	5.99	7.38	9.21	10.60
3	0.07	0.11	0.22	0.35	2.37	7.81	9.35	11.34	12.84
4	0.21	0.30	0.48	0.71	3.36	9.49	11.14	13.28	14.86
5	0.41	0.55	0.83	1.15	4.35	11.07	12.38	15.09	16.75
6	0.68	0.87	1.24	1.64	5.35	12.59	14.45	16.81	18.55
7	0.99	1.24	1.69	2.17	6.35	14.07	16.01	18.48	20.28
8	1.34	1.65	2.18	2.73	7.34	15.51	17.53	20.09	21.96
9	1.73	2.09	2.70	3.33	8.34	16.92	19.02	21.67	23.59
10	2.16	2.56	3.25	3.94	9.34	18.31	20.48	23.21	25.19
11	2.60	3.05	3.82	4.57	10.34	19.68	21.92	24.72	26.76
12	3.07	3.57	4.40	5.23	11.34	21.03	23.34	26.22	28.30
13	3.57	4.11	5.01	5.89	12.34	22.36	24.74	27.69	29.82
14	4.07	4.66	5.63	6.57	13.34	23.68	26.12	29.14	31.32
15	4.60	5.23	6.27	7.26	14.34	25.00	27.49	30.58	32.80
16	5.14	5.81	6.91	7.96	15.34	26.30	28.85	32.00	34.27
17	5.70	6.41	7.56	8.67	16.34	27.59	30.19	33.41	35.72
18	6.26	7.01	8.23	9.39	17.34	28.87	31.53	34.81	37.16
19	6.84	7.63	8.91	10.12	18.34	30.14	32.85	36.19	38.58
20	7.43	8.26	9.59	10.85	19.34	31.41	34.17	37.57	40.00
25	10.52	11.52	13.12	14.61	24.34	37.65	40.65	44.31	46.93
30	13.79	14.95	16.79	18.49	29.34	43.77	46.98	50.89	53.67
40	20.71	22.16	25.48	26.51	39.34	55.76	59.34	63.69	66.77
50	27.99	29.71	32.36	34.76	49.33	67.50	71.42	76.15	79.49
60	35.53	37.48	40.48	43.19	59.33	79.08	83.30	88.38	91.95
70	43.28	45.44	48.76	51.74	69.33	90.53	95.02	100.42	104.22
80	51.17	53.54	57.15	60.39	79.33	101.88	106.63	112.33	116.32
90	59.20	61.75	65.65	69.13	89.33	113.14	110.14	124.12	128.30
100	67.33	70.06	74.22	77.93	99.33	124.34	129.56	135.81	140.17

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวัชรศักดิ์ ทวีสุข เกิดเมื่อวันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2516 สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปี พ.ศ. 2538 จากนั้นเข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรกระบวนการที่บริษัท ริท-ไรท์ (ประเทศไทย) จำกัด ผู้เขียนได้เข้ารับการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2544



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย