การวิเคราะห์ค่าตัวแปรที่มีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานในกระบวนการขัดหัวอ่านฮาร์ดดิสท์ไดรฟ์

นายวิวัฒน์ ยิ่งสุทธิพันธุ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาแมคคาทรอนิกส์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2556

FACTOR ANALYSIS OF STRIPE HEIGHT SIGMA (SH_SIGMA) IN A LAPPING PROCESS OF HARD DISK DRIVE

Wiwat Yingsuttipan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Master of Engineering in Mechatronic

Suranaree University of Technology

Academic Year 2013

การวิเคราะห์ค่าตัวแปรที่มีผลต่อความผันแปรของความต้านทานในกระบวนการขัดหัวอ่านฮาร์ดดิสท์ไดรฟ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____

(ผศ. ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล)
ประธานกรรมการ

_____

(ผศ. ดร.ปภากร พิทยชวาล)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

_____

(อ. ดร.ธีทัต ดลวิชัย)
กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

_____

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

_____

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

วิวัฒน์ ยิ่งสุทธิพันธุ์ : การวิเคราะห์ค่าตัวแปรที่มีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานในกระบวนการขัดหัวอ่านฮาร์ดดิสท์ไดรฟ์ (FACTOR ANALYSIS OF STRIPE HEIGHT SIGMA (SH_SIGMA) IN A LAPPING PROCESS OF HARD DISK DRIVE)
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปภากร พิทยชวาล, 76 หน้า.

กระบวนการขัด (Lapping Process) คือ กระบวนการขัดแท่งหัวอ่าน (Bar) บนแผ่นขัดหัวอ่าน (Plate)โดยจะขัดเอาส่วนที่เคลือบบนแท่งหัวอ่านออกตามความหนาที่กำหนดในกระบวนการนี้จะใช้ค่าความผันแปรของความต้านทาน (Stripe height, SH_SIGMA) เป็นตัวกำหนดคุณภาพโดยค่าความผันแปรของความต้านทานจะมีความสัมพันธ์กับความต้านทานของหัวอ่านแต่ละหัวอ่านในแท่งหัวอ่านนั้น ซึ่งถ้าค่าความผันแปรของความต้านทานมีค่ามากกว่าที่กำหนดจะพบว่าเกิดของเสีย (ค่าความต้านทานสูงหรือต่ำกว่าค่ามาตรฐาน) ที่กระบวนการทดสอบหลังกระบวนการขัด

งานวิจัยนี้นำเสนอการระบุปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดค่าความผันแปรของความต้านทานที่สูงเกินค่าที่ยอมรับได้และวิเคราะห์ค่าที่เหมาะสมเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งผลการทดลองพบว่าค่าปัจจัยหลักของค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance Pressure) ค่าอิทธิพลร่วมของค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance Pressure) กับค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp Pressure) และค่าอิทธิพลร่วมของค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด(Balance Pressure) กับค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation) เป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทาน และเมื่อนำผลสรุปที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองไปใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตจริงพบว่าค่าความผันแปรของความต้านทานมีค่าลดลง 27.2 เปอร์เซ็นต์ซึ่งจะทำให้เกิดของเสียลงลง 1.5 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการผลิตโดยประมาณ17,000 บาทต่อวัน

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ปีการศึกษา 2556 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

WIWAT YINGSUTTIPAN : FACTOR ANALYSIS OF STRIPE HEIGHT SIGMA (SH_SIGMA) IN A LAPPING PROCESS OF HARD DISK DRIVE. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. PAPHAKORN PITAYACHAVAL, Ph.D., 76 PP.

HARD DISK DRIVE/LAPPING PROCESS/STRIPE HEIGHT SIGMA (SH_SIGMA)

A lapping process composes of three main operations that are a mounting bar on carrier, a measuring parallel angle of head and an attaching Print Circuit Board (PCB) to connect signal of feedback resistance for a lapping control. In order to control a quality of lapping process, a stripe height sigma (SH_Sigma) is measured to indicate a conform part. Since a value of SH_Sigma relates with a resistance value, the high value of SH_Sigma naturally establishes a defective part.

This research presents an investigating process to establish parameters that influence to the high value of SH_Sigma including to optimize those parameters for process control. The result shown that a main effect from Balance pressure, an interaction of Balance pressure and oscillation, an interaction of Balance pressure and clamp pressure were effect to SH_Sigma. The results shown SH_Sigma values reduce to 27.2% from current baseline.

School of Mechanical Engineering Student's Signature _____

Academic Year 2013 Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปภากร พิทยชวาล อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยแก้ไขปัญหาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิระพล ศรีเสริฐผล อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้โอกาสในการศึกษา คำปรึกษาด้านวิชาการ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณฝ่ายธุรการประจำสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ช่วยอำนวยความสะดวกและเป็นผู้ประสานงานให้แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณบริษัทซีเกทและพนักงานฝ่ายผลิตบริษัทซีเกทที่ช่วยเหลือในการทดลองงานวิจัย อำนวยความสะดวกทั้งในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ ขอขอบคุณเพื่อนพี่น้องทั้งบัณฑิตศึกษาและเพื่อนพนักงานซีเกทที่ให้กำลังใจและเป็นที่ปรึกษาที่ดีตลอดมา

สำหรับคุณงามและความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดามารดาซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูบาอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีแก่ผู้วิจัย จนทำให้ประสบความสำเร็จในชีวิต รวมถึงภรรยาที่คอยให้กำลังใจในการทำงานวิจัยนี้เสมอมา

วิวัฒน์ ยิ่งสุทธิพันธุ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ฉ

สารบัญรูป ..... ช

บทที่

1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 ขอบเขตการวิจัย 3

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติความเป็นมาของการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม 5

2.2 หลักการและแนวคิดของการออกแบบการทดลองทางวิศวกกรม 6

2.3 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง 7

2.4 หลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับการออกแบบ 9

2.5 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 16

2.6 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ 23

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 31

3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีดำเนินการวิจัย 33

4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา เพื่อกำหนดปัจจัยที่จะนำมาพิจารณา 39
4.2 การดำเนินการทดลองเบื้องต้นโดยใช้การทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial 44design) 44
4.3 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเบื้องต้น 47
4.4 การดำเนินการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อค่าความผันแปรของความต้านทาน 55
4.5 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสม 57
4.6 บทสรุป 59

5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย 62
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต 63

รายการอ้างอิง 64

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา 66

ประวัติผู้เขียน 76

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 รูปแบบการทดลองที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน 15

2.2 รูปแบบของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย 17

2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2 ตัวแปร แบบ Fixed Effects 20Model 20

2.4 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแบบจำลอง 3 ปัจจัยแบบ Fixed Effects 22

2.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์สำหรับการออกแบบ 2^k 29

2.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบ 2^k 29

2.7 เครื่องหมายทางพีชคณิตสำหรับการคำนวณผลในการออกแบบ 2^k 31

4.1 ตารางแสดงเหตุและผลที่จะเป็นสาเหตุหลักที่อาจส่งผลให้เกิดค่าความผันแปรของความต้านทาน 41

4.2 แสดงปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) 42

4.3 แสดงการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ ที่มีการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำและค่ากลางอีก 3 45

4.4 แสดงผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ ที่มีการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำและค่ากลางอีก 3 47

4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ 50

4.6 แสดงการออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม 56

4.7 แสดงผลการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม 57

4.8 แสดงผลการทดลองที่ได้จากสมการโมเดลแบบ 2^k Factorial 58

4.9 ปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทาน 59

4.10 อิทธิพลร่วมที่มีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทาน 60

4.11 สภาวะที่เหมาะสมจากปัจจัยหลักและอิทธิพลร่วม 61

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 แผนผังแสดงการขัดหัวอ่าน 2
2.1 แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ 10
2.2 ตัวอย่างของการระบุสาเหตุของปัญหาโดยการใช้แผนภูมิก้างปลา 14
2.3 การทดลองร่วมปัจจัยของการออกแบบแบบ 2^k 25
3.1 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 35
3.2 แผนผังแสดงขั้นตอนกระบวนการขัดหัวอ่าน 36
4.1 แผนภาพแสดงสาเหตุของค่าความผันแปรของความต้านทานในกระบวนการขัดหัวอ่าน 39
4.2 แสดงการกระจายแบบปกติของค่าส่วนตกค้าง 49
4.3 กราฟของปัจจัยหลักที่เกิดจากค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด 51
4.4 แสดงกราฟของปัจจัยหลักที่เกิดจากค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด 52
4.5 แสดงกราฟของปัจจัยหลักที่เกิดจากค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน 53
4.6 แสดงกราฟของอิทธิพลร่วมที่เกิดจากค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด กับค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด 54
4.7 แสดงกราฟของอิทธิพลร่วมที่เกิดจากค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัดกับค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน 54
5.1 กราฟค่าความผันแปรของความต้านทานในแต่ละเดือน 62

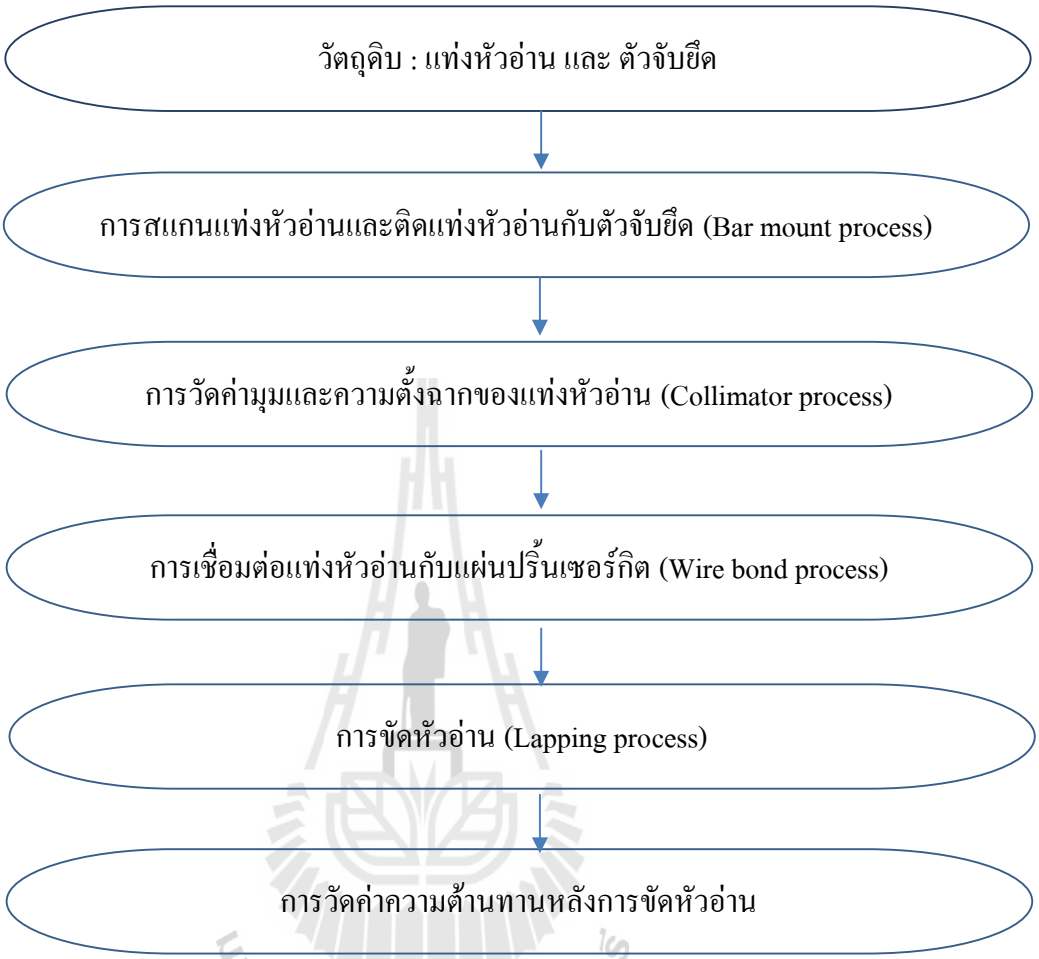
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสท์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive : HDD) ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วน คือหัวอ่านเขียน (Slider) ตัวจับยึดหัวอ่านเขียน(Head gimbal assembly) และแผ่นเก็บข้อมูล (Media) ในขั้นตอนการผลิตหัวอ่านเขียนของฮาร์ทดิสท์ไดร์ฟ์นั้นกระบวนการขัด (Lapping Process) เป็นขั้นตอนเริ่มต้นที่มีความสำคัญโดยกระบวนการนี้จะนำแท่งหัวอ่าน (Bar) มาขัดบนแผ่นขัดหัวอ่าน (Plate) โดยจะขัดเอาส่วนที่เคลือบบนแท่งหัวอ่านออกตามความหนาที่กำหนดซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. การสแกนแท่งหัวอ่านและติดแท่งหัวอ่านกับตัวจับยึดงาน (Bar mount process)
   เป็นขั้นตอนการติดแท่งหัวอ่านเป็นการนำแท่งหัวอ่านมาติดเข้ากับอุปกรณ์จับยึดแท่งหัวอ่านโดยใช้สารยึดติดแล้วนำไปเข้าตู้อบเพื่อให้สารยึดติดหลอมละลายแท่งหัวอ่านกับอุปกรณ์จับยึดให้ติดเข้าด้วยกันเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการขัดหัวอ่าน
2. การวัดค่ามุมและความตั้งฉากของแท่งหัวอ่าน (Collimator process)
   เป็นขั้นตอนการวัดค่ามุมและความตั้งฉากเพื่อใช้ในกระบวนการขัดเนื่องจากในกระบวนติดแท่งหัวอ่านกับตัวจับยึดนั้นจะทำให้ค่าของมุมและความตั้งฉากเปลี่ยนไป
3. การเชื่อมต่อแท่งหัวอ่านกับแผ่นปริ้นเซอร์กิต (Wire bond process)
   เป็นขั้นตอนการติดแผ่นปริ้นเซอร์กิตเข้ากับอุปกรณ์จับยึดแท่งหัวอ่านเพื่อใช้ในการเชื่อมติดวงจรเพื่อใช้ในกระบวนการขัดหัวอ่าน
4. การขัดหัวอ่าน (Lapping process)
   เป็นกระบวนการขัดหัวอ่านซึ่งแบ่งเป็นสองกระบวนการ คือ กระบวนการขัดแบบหยาบโดยใช้แผ่นฟิลม์ในการขัดเพื่อให้ได้ค่าความหนาของแท่งหัวอ่านตามที่กำหนดหลังจากนั้นส่งไปที่กระบวนขัดแบบละเอียดเพื่อทำการขัดเพื่อให้ได้ค่าความหนาของแท่งหัวอ่านตามที่กำหนดและเตรียมผิวหน้าเพื่อนำไปสู่กระบวนการถัดไป

ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนผังแสดงการขัดหัวอ่าน

ในกระบวนการขัดหัวอ่านจะมีการวัดค่าความผันแปรของความต้านทาน (SH_Sigma) ของแท่งหัวอ่านซึ่งแท่งหัวอ่านนั้นจะมีค่าความผันแปรของความต้านทานในแต่ละแท่งหัวอ่าน โดยค่าของความผันแปรของความต้านทานจะมีความสัมพันธ์กับค่าความต้านทานของแต่ละแท่งหัวอ่านในแท่งหัวอ่านนั้นถ้าค่าความผันแปรของความต้านทานของแท่งหัวอ่านมีค่าที่สูงเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดซึ่งจะทำให้เกิดของเสียที่กระบวนการวัดค่าความต้านทานหลังกระบวนการขัดหัวอ่านโดยในปัจจุบันนั้นค่าความผันแปรของความต้านทานของกระบวนการขัดนั้นอยู่ที่ 5 นาโนเมตรและทำให้เกิดของเสียที่กระบวนการวัดค่าความต้านทานหลังกระบวนการขัดอยู่ 6 เปอร์เซ็นต์ซึ่งนำมาสู่ต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาว่าตัวแปรใดหรือปัจจัยใดที่ส่งผลให้เกิดค่าของความผันแปรของความต้านทานที่สูงและส่งผลให้เกิดของเสียหรือการนำไปสู่กระบวนการแก้ไข เพื่อที่จะทราบถึงสาเหตุที่แท้จริง ทราบปัจจัย และนำความรู้ไปพัฒนาและหาวิธีการแก้ไขปัญหาสืบเนื่องจากปัจจัยต่างๆเหล่านั้นต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.ศึกษาค่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทาน

2.กำหนดค่าปัจจัยที่เหมาะสมในขั้นตอนกระบวนการขัด

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.การวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะกระบวนการขัดหัวอ่าน

2.การวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อค่าความผันแปรของความต้านทาน

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ระเบียบวิธีวิจัย สถานที่ทำการวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.4.1 ระเบียบวิธีวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัยจะแบ่งเป็นลำดับขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบที่จะทำให้เกิดค่าความผันแปรของความต้านทาน(SH_Sigma)ที่สูง

3. ออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ผลต่อการเกิดค่าความผันแปรของความต้านทาน (SH_Sigma)ที่สูง

4. ออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดค่าปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการขัดหัวอ่าน (Lapping Process) เพื่อลดค่าความผันแปรของความต้านทาน(SH_Sigma) ของกระบวนการขัดหัวอ่าน

5. เปรียบเทียบและประเมินมูลค่าของค่าใช้จ่ายที่ลดลง

6. สรุปผลการวิจัย

1.4.2 สถานที่ทำงานวิจัย

บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด : 90 หมู่ 15 ตำบลสูงเนิน อำเภอสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา 30170

1.4.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย

1. เครื่องขัดหัวอ่านเขียน (lapping machine)

2. โปรแกรมคอมพิวเตอร์Minitab

3.ตัวจับยึดแท่งหัวอ่าน กับ เครื่องขัดหัวอ่านเขียน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.สามารถกำหนดปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานและกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการขัดหัวอ่านในฮาร์ทดิสท์ไดรฟ์

2.สามารถลดค่าความผันแปรของความต้านทานที่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ในกระบวนการขัดหัวอ่าน

3.สามารถลดต้นทุนการผลิตฮาร์ทดิสท์ไดรฟ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ก่อให้เกิดของเสียในกระบวนการขัดหัวอ่านโดยใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลมาประยุกต์ใช้และช่วยในการวิเคราะห์และดำเนินงานวิจัยและใช้เครื่องมือทางสถิติจากหลักการอย่างมีประสิทธิภาพและเป็นการทำงานที่มีขั้นตอน ช่วยให้เข้าถึงปัญหาได้อย่างมีขั้นตอนและแก้ปัญหาได้ในที่สุดในบทนี้เสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำเอาหลักการของการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ในอุตสาหกรรมต่างๆ

2.1 ประวัติความเป็นมาของการออกแบบการทดลองทางวิศวกรม

Sir Ronald A.Fisherเป็นผู้คิดค้นการใช้วิธีทางสถิติสำหรับการออกแบบการทดลอง โดยเริ่มประยุกต์สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลที่สถานีทดลองทางการเกษตรกรรมของรอตทัมสเตต ที่ลอนดอน ประเทศอังกฤษ อยู่เป็นเวลานานหลายปีปรเมศ (2545) Fisher เป็นทั้งผู้พัฒนาและเป็นบุคคลแรกที่นำเอาการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis Of Variance) มาใช้เป็นวิธีการเบื้องต้นในการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง นอกจาก Fisher จะเป็นผู้บุกเบิกสาขาวิชาการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) แล้ว ยังมีบุคคลสำคัญอีกจำนวนมากที่มีส่วนให้การสนับสนุนสาขาวิชาอาทิ F.Yates, R.C.Bose, O.Kempthorne, W.G.Cochran, R.H.Myers, J.S.Hunter, W.G.Hunterและ G.E.P.Boxเป็นต้น (ปรเมศ 2545)

การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองในยุกแรกนั้นส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ทางการเกษตรและชีวภาพ ซึ่งทำให้คำศัพท์และคำนิยามส่วนมากที่ใช้กันอยู่ในวิชานี้มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับสาขาวิชาดังกล่าวอย่างมากปรเมศ (2545) อย่างไรก็ตาม การนำเอาการออกแบบการทดลองไปใช้งานทางด้านอุตสาหกรรมครั้งแรกเริ่มปรากฏประมาณช่วง ค.ศ. 1930 ซึ่งอุตสากรรมที่เกี่ยวข้องก็คืออุตสาหกรรมสิ่งทอ หลังจากสงครามโลกครั้งที่สองยุติลง วิธีการออกแบบการทดลองก็ได้เริ่มถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเคมีและกระบวนการผลิตในสหรัฐอเมริการและยุโรปตะวันตก กลุ่มอุตสาหกรรมเหล่านี้ได้รับประโยชน์อย่างมากในการใช้การออกแบบการทดลองสำหรับงานพัฒนาผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตนอกจากนั้นแล้ว

อุตสาหกรรมเกี่ยวกับสารกึ่งตัวนำและอิเล็กทรอนิกส์ก็ยังได้มีการนำเอาวิธีนี้ไปใช้และประสบผลสำเร็จอย่างมากเช่นกัน

หลายปีที่ผ่านมาได้มีการฟื้นฟูความสนใจเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองขึ้นในอเมริกา เพราะว่าอุตสาหกรรมในอเมริกาจำนวนมากพบว่าคู่แข่งทางการค้าที่อยู่ในทวีปอื่นๆได้ใช้การออกแบบการทดลองมาเป็นเวลานานแล้ว และวิธีการออกแบบการทดลองนี้เป็นปัจจัยต่อความสำเร็จทางด้านการแข่งขัน ถึงตอนนี้วิศวกรทั้งหมดสมควรจะได้ฝึกอบรมอย่างเป็นทางการเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองในระดับอุดมศึกษา แน่นอนว่าการประสานวิชาการเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองกับวชาชีพทางวิศวกรรมจะเป็นกุญแจสำคัญในการแข่งขันของอุตสาหกรรมในอนาคต

2.2 หลักการและแนวคิดของการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม

การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment) หมายถึงกระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อว่าจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติMontgomery (2005) ซึ่งจะทำให้ผู้วิเคราะห์สามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุผลได้ วิธีการออกแบบการทดลองในเชิงสถิติที่จำเป็น หากต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่เรามีอยู่ และถ้ายิ่งปัญหาที่สนใจนั้นเกี่ยวข้องกับความผิดพลาดในการทดลอง (Experimental Error) วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่Montgomery (2005)จะสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ ดังนั้นสิ่งสำคัญ 2 ประการสำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับการทดลองก็คือการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ซึ่งศาสตร์ทั้งสองนั้นมีความเกี่ยวข้องกันอย่างมาก ทั้งนี้เพราะว่าวิธีการวิเคาะห์เชิงสถิติที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นกับการออกแบบการทดลองที่จะนำมาใช้

หลักการพื้นฐาน 3 ประการของการออกแบบการทดลองคือ เรพลิเคชัน (Replication) แรนดอมไมเซชัน (Randomization) และบล็อกกิง (Blocking) ในที่นี้เรากำหนดว่า เรพลิเคชัน หมายถึงการทำการทดลองซ้ำ เรพลิเคชันมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการคือ ประการแรกเรพลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ ตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้กลายเป็นหน่วยของการวัดขั้นพื้นฐานสำหรับพิจารณาว่า ความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่ประการที่สองถ้าค่าเฉลี่ย (ตัวอย่างเช่น $\bar{y}$) ถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง ดังนั้นเรพลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบนี้ ตัวอย่างเช่น ถ้า $\pm^2$ คือความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละตัว และมี n เรพลิเคต ดังนั้นค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยของตัวอย่างนี้คือ

$$\pm_{\bar{y}}^{2} = \frac{\sigma^2}{n} \quad (2\text{-}1)$$

ผลในทางปฏิบัติคือว่า ถ้าเรามี n = 1 เรพลิเคตและค่าที่ได้จากการทดลอง y_1 = 145 (ใช้น้ำเป็นตัวดับความร้อน) และ y_2 = 147 (ใช้น้ำเกลือเป็นตัวดับความร้อน) เราอาจจะไม่สามารถที่จะสรุปอะไรเกี่ยวกับผลของการทดลองทั้งสองนี้ได้ นั่นคืออาจเป็นไปได้ว่าความแตกต่างที่สังเกตได้อาจจะเป็นผลมาจากความผิดพลาดในการทดลอง ในทางตรงกันข้าม ถ้า n มีค่ามากเพียงพอ และความผิดพลาดจากการทดลองมีค่าน้อย ดังนั้นถ้าเราสังเกตได้ว่า $\bar{y}_1 < \bar{y}_2$ เราก็จะสามารถสรุปได้อย่างปลอดภัยว่าการใช้น้ำเกลือเป็นตัวดับความร้อนนั้นจะทำให้ค่าความแข็งของชิ้นงานมากกว่าการใช้น้ำเป็นตัวดับความร้อนสำหรับโลหะผสมอลูมิเนียม

*แรนดอมไมเซชัน*เป็นพื้นฐานหลักสำหรับการใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบการทดลอง แรนดอมไมเซชัน หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูล (หรือความผิดพลาด) จะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ แรนดอมไมเซชันจะทำให้สมมุติฐานนี้เป็นจริง การที่เราแรนดอมไมซ์การทดลอง ทำให้เราสามารถลดผลของปัจจัยภายนอก(ปัจจัยรบกวนต่างๆที่จะมีผลกับการทดลอง)

บล็อกกิง เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจจะหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซ็ตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่างๆภายในแต่ละบล็อกจะเกิดขึ้นได้จากการทำบล็อกกิง

2.3 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มีขั้นตอนในการดำเนินการดังต่อไปนี้ ปรเมศ (2545)

1.ทำความเข้าใจถึงปัญหา บางคนอาจคิดว่าขั้นตอนนี้ง่ายและตรงไปตรงมาแต่ในความเป็นจริงแล้วขั้นตอนนี้ไม่ได้ง่ายอย่างที่คิด ในขั้นตอนนี้เราจะต้องพยายามพัฒนาแนวความคิดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง และบ่อยครั้งที่เราจะต้องหาข้อมูลอินพุตจากบุคคลหรือหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้อง เช่น แผนกวิศวกรรม แผนกประกันคุณภาพ แผนกผลิต แผนกการตลาด ผู้บริหาร ลูกค้าและแผนกบุคคล ถ้อยแถลงของปัญหาที่มีความชัดเจนจะมีผลอย่างมากกับความเข้าใจเกี่ยวกับ

ปรากฏการณ์และคำตอบสุดท้ายของปัญหานั้นๆ ด้วยเหตุผลนี้เองการออกแบบการทดลองทุกครั้งควรจะมีการทำงานเป็นทีม

2.เลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต ผู้ทดลองต้องเลือกปัจจัยที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงระหว่างทำการทดลอง กำหนดขอบเขตที่ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลง และกำหนดระดับ (Level) ที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง จะต้องพิจารณาด้วยว่าจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ณ จุดที่กำหนดให้อย่างไร และจะวัดผลตอบได้อย่างไร ดังนั้นในกรณีเช่นนี้ผู้ทดลองจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการอย่างมากซึ่งความรู้นี้อาจจะได้มาจากประสบการณ์และความรู้จากทฤษฎี มีความจำเป็นที่เราจะต้องตรวจสอบดูว่า ปัจจัยที่กำหนดขึ้นมาทั้งหมดนี้มีความสำคัญหรือไม่ และเมื่อวัตถุประสงค์ของการทดลองคือการกรองปัจจัย (Screening) เราควรจะกำหนดให้ระดับต่างๆที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อยๆการเลือกขอบเขตของการทดลองก็มีความสำคัญเช่นกัน ในการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเราควรจะเลือกขอบเขตให้มีความกว้างมากๆหมายถึงว่าขอบเขตที่ปัจจัยแต่ละตัวจะเปลี่ยนแปลงได้ควรมีค่ากว้างๆ และเมื่อได้เรียนรู้เพิ่มขึ้นว่า ตัวแปรใดมีความสำคัญและระดับใดที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เราอาจจะลดขอบเขตลงมาให้แคบลงได้

3.เลือกตัวแปรผลตอบ ในการเลือกตัวแปรผลตอบ ผู้ทดลองควรจะแน่ใจว่า ตัวแปรนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ บ่อยครั้งที่ค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (หรือทั้งคู่) ของกระบวนการจะเป็นตัวแปรผลตอบ เป็นไปได้ว่าในการทดลองหนึ่งอาจจะมีผลตอบหลายตัว และมีความจำเป็นอย่างมากที่เราจะต้องกำหนดให้ได้ว่า อะไรคือตัวแปรผลตอบ และจะวัดตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างไร ก่อนที่จะเริ่มดำเนินการทดลองจริง

4.เลือกการออกแบบการทดลอง ถ้ากิจกรรมการวางแผนก่อนการทดลองทำได้อย่างถูกต้องขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่ง่ายมาก การเลือกการออกแบบเกี่ยวข้องกับการพิจารณาขนาดของตัวอย่าง (จำนวนเรพลิเคต) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล และการตัดสินใจว่า ควรจะใช้วิธีบล็อกหรือแรนดอมไมเซชันอย่างใดอย่างหนึ่งหรือไม่ ในการเลือกการออกแบบ เราจำเป็นจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองอยู่ตลอดเวลา ในการทดลองทางวิศวกรรมศาสตร์ส่วนมาก เราจะทราบตั้งแต่เริ่มต้นแล้วว่า ปัจจัยบางตัวจะมีผลต่อผลตอบที่เกิดขึ้น ดังนั้นเราจะหาว่าปัจจัยตัวใดที่ทำให้เกิดความแตกต่าง และประมาณขนาดของความแตกต่างที่เกิดขึ้น

5.ทำการทดลอง เมื่อทำการทดลองเราจะต้องติดตามดูกระบวนการงานอย่างระมัดระวังเพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามแผน ถ้ามีอะไรผิดพลาดเกิดขึ้นเกี่ยวกับวิธีการ

ทดลองในขั้นตอนนี้ จะทำให้การทดลองที่ทำนั้นใช้ไม่ได้ ดังนั้นการวางแผนในตอนแรกจะมีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จที่จะเกิดขึ้น

6.วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เราควรจะนำเอาวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง ถ้าการทดลองได้ถูกออกแบบไว้เป็นอย่างดี และถ้าเราทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ วิธีการทางสถิติที่จะนำมาใช้นั้นจะเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน ข้อได้เปรียบของวิธีการทางสถิติก็คือ ทำให้ผู้ที่มีอำนาจในการตัดสินใจมีเครื่องมือช่วยที่มีประสิทธิภาพ และถ้าเรานำเอาวิธีการสถิติมาผนวกกับความรู้ทางวิศวกรรม ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ และสามัญสำนึก จะทำให้ข้อสรุปที่ได้ออกมานั้นมีเหตุผลสนับสนุนและมีความน่าเชื่อถือ

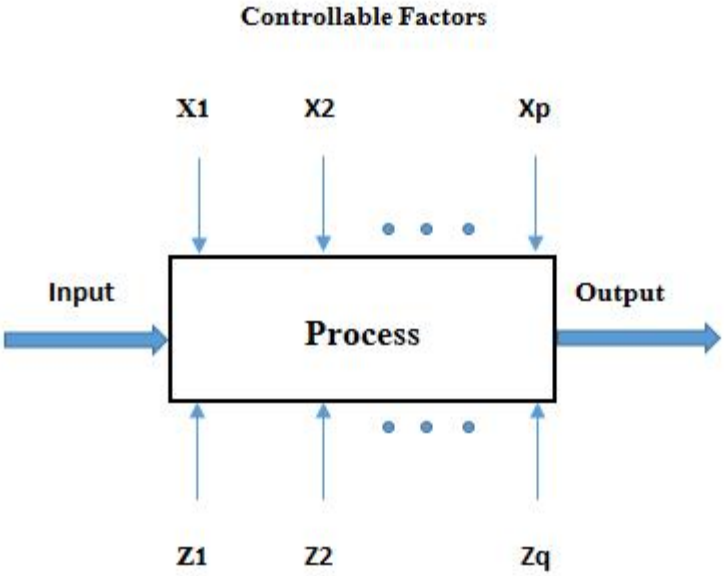
7.สรุปและข้อเสนอแนะ เมื่อเราได้วิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้ทดลองจะต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติและแนะนำแนวทางของกิจกรรมที่จะเกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้เราจะนำเอาวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเราต้องการนำเสนอผลงานนี้ให้ผู้อื่นฟัง นอกจากนี้แล้วการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing) ควรจะทำขึ้นเพื่อที่จะตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นอีกด้วย

2.4 หลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง

2.4.1 กลยุทธ์ในการทดลอง (Strategy of Experiment)

Montgomery (2005)กล่าวว่า ไม่ว่าเราจะอยู่ในสาขาวิชาใดก็ตาม เราจะต้องมีความเกี่ยวข้องกับการทดลองบ้างไม่มากก็น้อย ทั้งนี้เพื่อทำให้เราทราบหรือค้นพบถึงบางสิ่งบางอย่างเกี่ยวกับกระบวนการหรือระบบบางอย่าง โดยคำศัพท์แล้ว การทดลองจะหมายถึง การทดสอบ เราอาจจะให้คำนิยามของการทดลองว่าเป็นการทดสอบหรือเป็นชุดของการทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงกับตัวแปรขาเข้า (Input Variable) ของกระบวนการหรือระบบ เพื่อว่าเราอาจจะสังเกตหรือบ่งชี้ถึงเหตุผลของการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นกับผลตอบขาออก(Output Variable) ได้

ในการทดลองใดๆก็ตาม ผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับวิธีการเก็บข้อมูล ตามปกติแล้วการทดลองถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการและระบบ ซึ่งทั้งกระบวนการและระบบสามารถที่จะแทนด้วยแบบจำลองดังรูปที่ 2.1



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

หนึ่งปัจจัยต่อครั้ง (One Factor at A time) หรือการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อๆไป

2.4.2 หลักการพื้นฐาน

วชิรพงษ์ (2546) ได้กล่าวไว้ว่า "การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE) เป็นเทคนิคทางสถิติชั้นสูงที่ใช้ในการปรับตั้งค่าสภาวะของกระบวนการให้เป็นไปตามสภาพที่เราต้องการ ซึ่งข้อแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดระหว่างวิธีการโดยทั่วไปกับเทคนิคของการออกแบบการทดลองคือ วิธีการโดยทั่วไปมักเป็นแบบการลองผิดลองถูกหรือใช้การปรับตั้งค่าของกระบวนการที่ละค่า (One Factor at A time) เช่น ถ้าหากเราสงสัยว่าเราควรที่จะปรับตั้งค่าของอุณหภูมิในการอบชิ้นงาน เวลาที่ใช้ในการอบ และส่วนผสมของชิ้นงานเป็นเท่าไรดี จึงจะทำให้ชิ้นงานที่ได้มีคุณภาพสูงสุดไม่เป็นของเสีย ดังนั้นแนวทางที่เรามักใช้กันโดยทั่วๆไปก็คือเรามักที่จะไปลองปรับตั้งในส่วนของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบก่อน (ในขณะที่คงค่าของเวลาที่ใช้ในการอบกับอัตราส่วนผสมไว้) เมื่อทดลองจนได้ค่าของอุณหภูมิตามที่เราต้องการแล้วจึงค่อยไปปรับตั้งเรื่องของเวลา (และก็คงค่าของอุณหภูมิกับส่วนผสมไว้) จากนั้นสุดท้ายจึงไปทำ การปรับตั้งเรื่องของอัตราส่วนที่เหมาะสม (โดยการคงค่าของอุณหภูมิกับเวลาไว้) และเราอาจทำซ้ำวงจรนี้ไปเรื่อยๆ เพื่อที่จะหาหาจุดที่ดีที่สุดของกระบวนการ ซึ่งลักษณะการทำแบบนี้เรียกว่า One Factor at A time นั่นเอง โดยทั่วไปแล้วการทดลองแบบ One Factor at A time จะให้ผลของการเข้าสู่จุดหมายที่เราต้องการของกกระบวนการที่ช้ามากและสิ้นเปลืองทรัพยากรในการวิเคราะห์และเก็บข้อมูลสูงและยังไม่เหมาะสมอย่างยิ่งกับกระบวนการที่มีผลของความสัมพันธ์ร่วม (Interaction Effect) ระหว่างตัวแปรของกระบวนการด้วยกันเอง"

นอกจากนี้ Montgomery (2005) ยังได้กล่าวไว้อีกว่า ถ้าต้องการให้การทดลองเกิดประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผลได้สูงสุด เราจะต้องนำวิธีการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยในการวางแผนการทดลอง คำว่า การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistic Design of Experiment) หมายถึงกระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อว่าจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุผลได้ วิธีการออกแบบการทดลองในเชิงสถิติเป็นสิ่งที่จำเป็น ถ้าเราต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่เรามีอยู่ และถ้ายิ่งปัญหาที่สนใจนั้นเกี่ยวข้องกับความผิดพลาดในการทดลอง (Experimental Error) วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่จะสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองได้ ดังนั้นสิ่งสำคัญ 2 ประการสำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับการทดลองก็คือ การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ซึ่งศาสตร์ทั้งสองนี้มีความเกี่ยวข้องกันอย่างมาก ทั้งนี้เพราะ ว่าวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติที่เหมาะสมจะขึ้นกับการออกแบบการทดลองที่จะนำมาใช้ โดยประยุกต์ใช้

หลักการสามประการของการออกแบบการทดลอง คือ เรพลิเคชัน (Replication), แรนดอมไมเซชัน (Randomization) และบล็อกกิ้ง (Blocking)

2.4.3 ข้อดีของเทคนิคการออกแบบการทดลอง

วชิรพงษ์ (2546) ได้อธิบายข้อดีของเทคนิคการออกแบบการทดลองไว้ดังนี้คือ ให้ผลของความแม่นยำและความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูลสูง โดยสามารถระบุออกมาเป็นตัวเลขทางสถิติที่แสดงถึงค่าระดับความสำคัญของตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการ นอกจากนี้ยังมีความรวดเร็วในการดำเนินการตรวจสอบของปัญหา โดยทั่วไปแล้วถ้าหากเรามีปัญหาในการทดสอบอยู่ประมาณ 10 ปัจจัย ซึ่งในการดำเนินการทดสอบดูว่าปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลจริงๆต่อกระบวนการด้วยวิธีแบบ One Factor at A time จะใช้เวลานานถึงประมาณ 1 ปีในการตรวจสอบได้ครบทุกปัจจัย แต่ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองจะใช้เวลาเพียงแค่ 1-3 อาทิตย์เท่านั้นในการตรวจสอบปัจจัย

2.4.4 แนวทางในการออกแบบการทดลอง

Montgomery (2005)กล่าวว่า การใช้วิธีทางสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ทุกคนที่เกี่ยวข้องในการทดลองจะต้องมีความเข้าใจอย่างถ่องแท้ล่วงหน้าว่าเรากำลังศึกษาอะไรอยู่ จะเก็บข้อมูลได้อย่างไร และจะวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้นั้นอย่างไร ขั้นตอนในการดำเนินงานอาจจะทำได้ดังนี้

2.4.4.1 ทำความเข้าใจถึงปัญหา บางคนอาจคิดว่าขั้นตอนนี้ง่ายและตรงไปตรงมา แต่ในความเป็นจริงแล้วขั้นตอนนี้ไม่ได้ง่ายอย่างที่คิด ในขั้นตอนนี้เราจะต้องพัฒนาแนวความคิดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง และบ่อยครั้งที่เราจะต้องหาข้อมูลอินพุตจากบุคคลหรือหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้อง ถ้อยแถลงของปัญหาที่มีความชัดเจนจะมีผลอย่างมากต่อความเข้าใจในปรากฏการณ์และคำตอบสุดท้ายของปัญหานั้นๆ ด้วยเหตุนี้เองการออกแบบการทดลองทุกครั้งควรจะมีการทำงานเป็นทีม

2.4.4.2 เลือกปัจจัย ระดับและขอบเขต ผู้ทดลองต้องเลือกปัจจัยที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลอง กำหนดขอบเขตที่ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลง และกำหนดระดับ (Level) ที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง จะต้องพิจารณาด้วยว่าจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ณ จุดที่กำหนดได้อย่างไร และจะวัดผลตอบได้อย่างไร ดังนั้นในกรณีเช่นนี้ผู้ทดลองจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการอย่างมาก ซึ่งความรู้นี้อาจจะได้มาจากประสบการณ์และความรู้ทางทฤษฎี มีความจำเป็นที่เราจะต้องตรวจสอบดูว่า ปัจจัยที่กำหนดขึ้นมาทั้งหมดนี่มีความสำคัญหรือไม่ และเมื่อวัตถุประสงค์ของการทดลองคือการกรองปัจจัย (Screening) เราควรจะกำหนดให้ระดับต่างๆที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อยๆ การเลือกขอบเขตของการทดลองก็มีความสำคัญเช่นกัน ในการทดลองเพื่อกรองปัจจัย เราควรจะเลือกขอบเขตให้มีความกว้างมากๆ หมายถึงว่า ขอบเขตที่ปัจจัยแต่ละตัวจะเปลี่ยนแปลงได้

ควรมีค่ากว้างๆและเมื่อได้เรียนรู้เพิ่มขึ้นว่าตัวแปรใดมีความสำคัญและระดับใดที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เราอาจจะลดขอบเขตลงมาให้แคบลงได้

นอกจากที่ Montgomery(2005)ได้กล่าวไว้ในข้างต้นแล้ว วชิรพงษ์ (2546) ยังได้กล่าวเพิ่มเติมอีกว่าในขั้นตอนการระบุปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อกระบวนการนี้ เราใช้วิธีการประชุมกลุ่มเพื่อช่วยกันระดมความคิดจากประสบการณ์แล้วพิจารณาดูว่ามีปัจจัยใดบ้างที่อาจจะส่งผลต่อปัญหาที่เราสนใจ เช่น ถ้าหากปัญหาของเราคือ อัตราของเสียในการผลิตที่สูง ดังนั้นจากการประชุมร่วมกับพนักงานที่เกี่ยวข้องและเป็นพนักงานที่มีประสบการณ์ในการผลิตตรงพื้นที่ปัญหานั้นก็จะทำให้เราสามารถระบุรายการของปัจจัยต่างๆมากมายที่อาจจะส่งผลต่ออัตราการเกิดของเสียได้ เช่น เวลาในการอบชิ้นงาน (อบนานเสียมาก อบเร็วได้ชิ้นงานดีมากกว่า) อุณหภูมิในการอบ (ความร้อนสูงให้คุณภาพดีกว่าความร้อนต่ำ) และอื่นๆ ซึ่งประสบการณ์ต่างๆเหล่านี้เป็นพื้นฐานที่สำคัญในการก้าวไปสู่ขั้นต่อไปของการออกแบบการทดลองโดยจะส่งผลให้การดำเนินงานมีความรวดเร็วมากขึ้นไม่ต้องไปเสียเวลาตรวจสอบทุกปัจจัย (เช่น ถ้าจากประสบการณ์ที่ผ่านมาทำให้เรามั่นใจได้ว่าปัจจัยเรื่องความชื้นในส่วนผสมไม่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน ดังนั้นเราก็ไม่จำเป็นต้องนำเอาปัจจัยเรื่องความชื้นมาบรรจุไว้ในการทดลองก็ได้) ซึ่งจะเห็นได้ว่า ประสบการณ์ขององค์กร (Wisdom of Organization) นั้นเป็นองค์ประกอบหนึ่งของการออกแบบการทดลองเพราะเป็นจุดเริ่มต้นจองการดำเนินงานคือ การใช้ประสบการณ์คาดคะเนว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อปัญหาที่เราสนใจ ซึ่งถ้าหากไม่มีในส่วนของประสบการณ์องค์กรเข้ามาเกี่ยวข้องเลย (เช่น ทีมงานเป็นพนักงานใหม่ทั้งหมด) การออกแบบการทดลองก็ยังคงดำเนินต่อไปได้แต่จะใช้เวลาที่นานขึ้นเพราะเสียเวลาในการตรวจสอบทุกๆปัจจัยที่มีอยู่

โดยทั่วไปแล้วทีมงานของการออกแบบการทดลองนั้นจะต้องประกอบไปด้วยพนักงานอย่างน้อยหนึ่งคนขึ้นไปที่เป็นพนักงานที่มีประสบการณ์สูงที่ปฏิบัติงานอยู่ในพื้นที่นั้นมาเป็นระยะเวลานาน ทั้งนี้ก็เพื่อจุดประสงค์ในการช่วยคณะทำงานท่านอื่นๆ ในการระดมความคิดหาปัจจัยที่คาดว่าส่งผลต่อกระบวนการและจะได้นำเอาปัจจัยทั้งหลายเหล่านี้ไปดำเนินการออกแบบการทดลองได้ต่อไป

เครื่องมือคุณภาพที่มักนิยมนำมาใช้ในการระดมความคิดเพื่อระบุถึงสาเหตุที่คาดว่าน่าจะส่งผลต่อปัญหานั้นได้แก่ แผนภูมิก้างปลา (C&E Diagram), FMEA, Selection Matrix เป็นต้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การออกแบบเราจำเป็นจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองอยู่ตลอดเวลา ในการทดลองทางวิศวกรรมศาสตร์ส่วนมากเราจะทราบตั้งแต่เริ่มต้นแล้วว่า ปัจจัยบางตัวจะมีผลต่อผลตอบที่เกิดขึ้น ดังนั้นเราจะหาว่าปัจจัยตัวใดที่ทำให้เกิดความแตกต่างและประมาณขนาดของความแตกต่างที่เกิดขึ้น

วชิรพงษ์ (2456) ยังได้กล่าวเพิ่มเติมอีกว่าชนิดของรูปแบบการทดลองนั้นมีให้เลือกอยู่อย่างหลากหลาย แต่เราจำเป็นต้องเลือกมาเพียงแค่ 1-2 รูปแบบเท่านั้นเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาซึ่งหลักเกณฑ์ในการพิจารณาว่าเราควรที่จะเลือกรูปแบบการทดลองแบบไหนนั้นขึ้นอยู่กับเกณฑ์ดังต่อไปนี้ ได้แก่ เวลาที่มีให้เพื่อการวิเคราะห์ ระดับความถูกต้องในการวิเคราะห์ งบประมาณที่มีให้ในการออกแบบการทดลอง เป็นต้น โดยทั้งนี้เราสามารถสรุปรูปแบบของการทดลองที่นิยมใช้กันในปัจจุบันได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 รูปแบบการทดลองที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน

รูปแบบการทดลอง	**ลักษณะการทดลอง**	**เวลาในการวิเคราะห์**	**ความถูกต้อง**	**งบประมาณ**
Single Factor	การทดลองสำหรับหนึ่งปัจจัยโดยปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญที่คาดว่ามีผลกระทบสูงสุดต่อปัญหา	รวดเร็ว	ปานกลาง	น้อย
Factorial Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยและเป็นการทดลองเต็มรูปแบบ	ใช้เวลานาน	มากที่สุด	มาก
2^k Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยและเป็นการทดลองเต็มรูปแบบแต่กำหนดระดับของแต่ละปัจจัยอยู่ที่ปัจจัยละ 2 ระดับ	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
2^{k-p} Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยแต่ไม่ทำการทดลองแบบเต็มรูปแบบทั้งหมด (ลดรูป)	รวดเร็ว	น้อย	น้อย

ที่มา : วชิรพงษ์ (2546)

2.4.4.5 ทำการทดลอง Montgomery (2005) ได้กล่าวไว้ว่าเมื่อทำการทดลองเราจะต้องติดตามดูกระบวนการอย่างระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามแผน ถ้ามีอะไรผิดพลาดเกิดขึ้นเกี่ยวกับวิธีการทดลองในขั้นตอนนี้ จะทำให้การทดลองที่ทำนั้นใช้ไม่ได้ ดังนั้นการวางแผนในตอนแรกจะมีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จที่จะเกิดขึ้น

2.4.4.6 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ Montgomery (2005) ได้กล่าวไว้ว่าเราควรจะนำเอาวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตาม

วัตถุประสงค์ของการทดลอง ถ้าการทดลองได้ถูกออกแบบไว้เป็นอย่างดี และถ้าเราทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ วิธีการทางสถิติที่จะนำมาใช้นั้นจะเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน ข้อได้เปรียบของวิธีการทางสถิติก็คือ ทำให้ผู้ที่มีอำนาจในการตัดสินใจมีเครื่องช่วยที่มีประสิทธภาพ และถ้านำเอาวิธีทางสถิติมาผนวกกับความรู้ทางวิศวกรรม ความรู้กับกระบวนการ และสามัญสำนึก จะทำให้ข้อสรุปที่ได้ออกมานั้นมีเหตุผลสนับสนุนและมีความน่าเชื่อถือ

2.4.4.7 สรุปและข้อเสนอแนะMontgomery (2005) ได้กล่าวว่าเมื่อได้วิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้ทดลองจะต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติและแนะแนวทางของกิจกรรมที่จะเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้เรานำเอาวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเราต้องการนำเสนอผลงานนี้ให้ผู้อื่นฟัง นอกจากนี้แล้วการทำการทดลองเพื่อยืนยัน (Confirmation Testing) ควรจะทำขึ้นเพื่อที่จะตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นอีกด้วย

2.5 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

ปรเมศ (2545) ได้กล่าวไว้ว่าการทดลองส่วนมากในทางปฏิบัติจะเกี่ยวข้องกับการศึกษาถึงผลปัจจัย (Factor) ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ในกรณีเช่นนี้ การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) จะเป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล หมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ตัวอย่างเช่น กรณี 2 ปัจจัย ถ้าปัจจัย A ประกอบด้วย a ระดับและปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ ในการทดลอง 1 เรพลิเคต(Replicate) จะประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด ab การทดลอง และเมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล เราจะกล่าวว่าปัจจัยเหล่านี้มีการไขว้ (Crossed) ซึ่งกันและกัน

ปารเมศ(2545) ได้ให้นิยามคำว่า ผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่ง ไว้ว่า หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบ(Response) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยนั้นๆ ซึ่งเรียกว่า ผลหลัก (Main Effect) เนื่องจากว่ามันเกี่ยวข้องกับปัจจัยเบื้องต้นของการทดลอง

นอกจากนี้ ปารเมศ(2545) ยังได้กล่าวอีกว่าในการทดลองบางอย่างเราอาจจะพบว่าความแตกต่างของผลตอบที่เกิดขึ้นบนระดับต่างๆของปัจจัยหนึ่งจะมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับอื่นๆทั้งหมดของปัจจัยอื่น ซึ่งหมายถึงว่า ผลตอบของปัจจัยหนึ่งจะขึ้นกับระดับของปัจจัยอื่นๆนั่นเอง และเราเรียกเหตุการณ์นี้ว่า การมีอันตรกิริยา (Interaction) ต่อกันระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลชนิดที่ง่ายที่สุดจะเกี่ยวกับปัจจัย 2 ระดับ คือ A และ B ปัจจัย A จะประกอบด้วย a ระดับและปัจจัย B จะประกอบด้วย b ระดับซึ่งทั้งหมดนี้ถูกจัด

ให้อยู่ในรูปของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล นั่นคือ ในแต่ละเรพลิเคตของการทดลองจะประกอบด้วยการทดลองร่วมปัจจัยทั้งหมด abการทดลอง และโดยปกติจะมีจำนวนเรพลิเคตมั้งหมด n ครั้ง

กำหนดให้ y_{ijk}คือ ผลตอบที่สังเกตได้เมื่อปัจจัย A อยู่ที่ระดับ i (i = 1,2,…,a) และปัจจัย B อยู่ที่ระดับ j (j = 1,2,…,b) สำหรับเรพลิเคตที่ k (k = 1,2,…,n) รูปแบบทั่วไปของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2-4 เนื่องจากลำดับของการสังเกตทั้ง abnครั้ง ถูกเลือกมาอย่างสุ่ม ดังนั้น การออกแบบเช่นนี้เรียกว่า การออกแบบสุ่มบริบูรณ์ (Completely Randomized Design)

ตารางที่ 2.2 รูปแบบของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย

		Factor B			
		1	2	…	B
Factor A	1	$y_{111}, y_{112}, \ldots, y_{11n}$	$y_{121}, y_{122}, \ldots, y_{12n}$		$y_{1b1}, y_{1b2}, \ldots, y_{1bn}$
	2	$y_{211}, y_{212}, \ldots, y_{21n}$	$y_{221}, y_{222}, \ldots, y_{22n}$		$y_{2b1}, y_{2b2}, \ldots, y_{2bn}$
	:				
	a	$y_{a11}, y_{a12}, \ldots, y_{a1n}$	$y_{a21}, y_{a22}, \ldots, y_{a2n}$		$y_{ab1}, y_{ab2}, \ldots, y_{abn}$

ที่มา : ปารเมศ (2545)

ข้อมูลจากการทดลองอาจจะเขียนในรูปของแบบจำลองสถิติเชิงเส้น (Linear Statistical Model) คือ

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \begin{cases} i = 1,2,..,a \\ j = 1,2,..,b \\ k = 1,2,..,n \end{cases} \qquad (2\text{-}2)$$

โดยที่ μ หมายถึง ผลเฉลี่ยทั้งหมด; τ_iหมายถึง ผลที่เกิดจากระดับที่ i ของแถว (Row) ของปัจจัย A; β_jหมายถึง ผลที่เกิดจากระดับที่ j ของคอลัมน์ (Column) ของปัจจัย B; $(\tau\beta)_{ij}$หมายถึง ผลที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่าง τ_iและβ_jและ ε_{ijk} หมายถึง องค์ประกอบของความผิดพลาดแบบสุ่ม สมมติว่าปัจจัยทั้งคู่มีค่าตายตัว (Fixed) และผลจากการทดลอง (Treatment Effect) หมายถึง ส่วนที่เบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยทั้งหมด ดังนั้น $\sum_{i=1}^{a} \tau_i = 0$และ $\sum_{j=1}^{b} \beta_i = 0$ใน ทำนองเดียวกัน สมมติว่าผลที่เกิดจากอันตรกิริยามีค่าตายตัว และกำหนดว่า $\sum_{i=1}^{a} (\tau\beta)_{ij} =$

$\sum_{j=1}^{b}(\tau\beta)_{ij} = 0$เนื่องจากในการทดลองครั้งนี้มีจำนวนเรพลิเคต n ครั้ง ดังนั้น จำนวนข้อมูลที่ได้จากการสังเกตทั้งหมดเท่ากับ abn

ในการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย ทั้งปัจจัยที่เกิดจาก A(แถว) และ B(คอลัมน์) มีความสำคัญเท่ากัน ดังนั้น เราต้องการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความเท่ากันของผลที่เกิดจากปัจจัย A หรือกล่าวได้ว่า

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

$$H_1: at\ least\ one\ \tau_i \neq 0 \qquad (2\text{-}3)$$

และความเท่ากันของผลที่เกิดจากปัจจัย B

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

$$H_1: at\ least\ one\ \beta_i \neq 0 \qquad (2\text{-}4)$$

นอกจากนั้นแล้ว เรายังสนใจผลที่จะทราบว่า อันตรกิริยาที่เกิดระหว่างปัจจัย A และ B มีนัยสำคัญหรือไม่ หรือกล่าวได้ว่า

$$H_0: (\tau\beta)_{ij} = 0$$

$$H_1: at\ least\ one\ (\tau\beta)_{ij} \neq 0 \qquad (2\text{-}5)$$

2.5.2 การวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับ Fixed Effect Model

กำหนดให้ $y_{i..}$เป็นผลรวมของข้อมูลจากการทดลองทั้งหมดภายใต้ระดับที่ i ของปัจจัย A; $y_{.j.}$เป็นผลรวมของข้อมูลจากการทดลองทั้งหมดภายใต้ระดับที่ jของปัจจัย B; $y_{ij.}$เป็นค่าผลรวมของข้อมูลจากการทดลองทั้งหมดภายใต้เซลล์ในแหน่งที่ ijและ $y_{...}$เป็นผลรวมของข้อมูลจากการทดลองทั้งหมดที่ได้ กำหนดให้ $\bar{y}_{i..}$, $\bar{y}_{.j.}$, $\bar{y}_{ij.}$และ $\bar{y}_{...}$เป็นค่าเฉลี่ยของแถว คอลัมน์ เซลล์ และผลรวมทั้งหมด ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$y_{i..} = \sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk} \quad \bar{y}_{i..} = \frac{y_{i..}}{bn} \quad i = 1,2,..,a$$

$$y_{.j.} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk} \quad \bar{y}_{.j.} = \frac{y_{.j.}}{an} \quad j = 1,2,..,b$$

$$y_{ij.} = \sum_{k=1}^{n} y_{ijk} \quad \bar{y}_{ij.} = \frac{y_{ij.}}{n} \; i = 1,2,..,a \; j = 1,2,..,b$$

$$y_{...} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk} \quad \bar{y}_{...} = \frac{y_{...}}{abn}$$

(2-6)

ค่าผลรวมทั้งหมดของกำลังสองสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{AB} + SS_E \tag{2-7}$$

โดยที่

$$SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \tag{2-8}$$

$$SS_A = \frac{1}{bn}\sum_{i=0}^{a} y_{i..}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \tag{2-9}$$

$$SS_B = \frac{1}{an}\sum_{j=0}^{b} y_{.j.}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \tag{2-10}$$

$$SS_{Subtotals} = \frac{1}{n}\sum_{j=0}^{a}\sum_{j=1}^{b} y_{.j.}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \tag{2-11}$$

$$SS_{AB} = SS_{Subtotals} - SS_A - SS_B \tag{2-12}$$

$$SS_E = SS_T - SS_{AB} - SS_A - SS_B \tag{2-13}$$

หรือ

$$SS_E = SS_T - SS_{Subtotals} \tag{2-14}$$

เมื่อนำค่าของผลรวมของกำลังสองมาหารด้วยระดับขั้นความเสรีก็จะได้ค่าของค่ากำลังสองเฉลี่ย สังเกตว่า ถ้าสมมติฐานว่าง (Null Hypothesis) ที่ว่า ไม่มีผลเนื่องจากปัจจัยของแถว คอลัมน์ และอันตรกิริยา มีค่าเป็นจริง ดังนั้น MS_A, MS_B, MS_{AB}และMS_Eจะมีค่าประมาณเท่ากับ σ^2อย่างไรก็ตาม ถ้ามีความแตกต่างเนื่องจากปัจจัยของแถว จะได้ว่า MS_A จะมีค่ามากกว่า MS_E เหตุการณ์ทำนองเดียวกันจะเกิดขึ้นกับ MS_B และ MS_E เช่นกัน ดังนั้น ในการทดสอบความมีนัยสำคัญของผลหลักและอันตรกิริยา เราก็เพียงหาค่ากำลังสองเฉลี่ยที่เกี่ยวข้องด้วยค่า MS_E และถ้าอัตราส่วนนี้มีค่ามาก หมายความว่า ข้อมูลที่ได้จากการทดลองไม่สนับสนุนสมมติฐานว่าง (ปฏิเสธสมมติฐานว่าง)

ถ้าสมมติว่าแบบจำลองตามสมการที่ (2-2) เป็นแบบจำลองที่เหมาะสม และพจน์ของความผิดพลาด ε_{ijk}มีการกระจายแบบปกติและเป็นอิสระ โดยมีค่าความแปรปรวนคงตัวเท่ากับσ^2 ดังนั้น อัตราส่วนของค่ากำลังสองเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจาก $\frac{MS_A}{MS_E}, \frac{MS_B}{MS_E}$และ$\frac{MS_{AB}}{MS_E}$จะมีการกระจายแบบ F ซึ่งมีระดับขั้นความเสรีของตัวตั้งเป็น a-1, b-1 และ (a-1)(b-1) และมีระดับขั้นความเสรีของตัวหารคือ ab(n-1) ค่าบริเวณวิกฤตคือ ปลายหางด้านบนของการกระจายแบบ F วิธีการทดสอบจะกระทำโดยอาศัยตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2.3 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2 ตัวแปรแบบ Fixed Effects Model

Source of Variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F_0
A treatments				
B treatments				
Interaction				
Error				
Total				

ที่มา : ปารเมศ(2545)

2.5.3 การตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลอง

ก่อนที่จะนำข้อสรุปที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนไปใช้ จะต้องมีการตรวจสอบความเพียงพอ (Adequacy) ของแบบจำลองทางสถิติที่นำมาใช้เสียก่อน เครื่องมือที่ใช้ใน

การตรวจสอบคือ การวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) ส่วนตกค้างสำหรับแบบจำลองแฟกทอเรียล 2 ปัจจัยคือ

$$\varepsilon_{ijk} = y_{ijk} - \widehat{y_{ijk}} \tag{2-15}$$

และเนื่องจากว่าค่าของ $\widehat{y_{ijk}} = \bar{y}_{ij.}$ (ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากการสังเกตในเซลล์ที่ ij สมการที่ (2-14) กลายเป็น

$$\varepsilon_{ijk} = y_{ijk} - \bar{y}_{ij.} \tag{2-16}$$

2.5.4 รูปทั่วไปของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล

ผลของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นอาจจะขยายไปสู่กรณีทั่วไปได้ในกรณีที่ปัจจัย A มีจำนวนระดับเท่ากับ a, ปัจจัย B มีจำนวนระดับเท่ากับ b, ปัจจัย C มีจำนวนระดับเท่ากับ c ต่อไปเช่นนี้เรื่อยๆ และทั้งหมดนี้ถูกจัดให้อยู่ในลักษณะของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล ซึ่งจะมีจำนวนข้อมูลที่ได้ทั้งหมดในการทดลองเท่ากับ $abc..n$ และจะต้องมีเรพลิเคตอย่างน้อย *2* เรพลิเคต ($n \geq 2$) เพื่อที่จะทำให้สามารถหาค่าผลรวมของกำลังสองที่เกิดจากความผิดพลาดได้ ถ้าอันตรกิริยาที่เป็นไปได้ทั้งหมดถูกนำเข้าไปพิจารณาในแบบจำลอง

ถ้าปัจจัยในการทดลองทั้งหมดเป็นแบบค่าตายตัว เราสามารถที่จะคิดสูตรและทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลหลักและอันตรกิริยาได้โดยง่าย สำหรับแบบจำลองแบบผลตายตัว ตัวทดสอบเชิงสถิติสำหรับผลหลักและอันตรกิริยาสามารถหาได้โดยสร้างค่ากำลังสองเฉลี่ยของสิ่งนั้นขึ้น แล้วหารด้วยค่ากำลังสองเฉลี่ยของความผิดพลาด (เหมือนกับกรณีของ2ปัจจัย) และการทดสอบสมมติฐานจะใช้ F-Testแบบทดสอบปลายด้านบนหนึ่งด้าน จำนวนระกับความเสรีสำหรับผลหลักของปัจจัยใด ๆ มีค่าเท่ากับจำนวนระดับของปัจจัยนั้นลบด้วย 1 และจำนวนระดับขั้นความเสรีของอันตรกิริยามีค่าเท่ากับผลคูณของระดับขั้นความเสรีของส่วนประกอบของอันตรกิริยานั้น ๆ

ตัวอย่างเช่น พิจารณาแบบจำลองการวิเคราะห์ความแปรปรวน 3ปัจจัย

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + y_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \begin{cases} i = 1,2,..,a \\ j = 1,2,..,b \\ k = 1,2,..,c \\ l = 1,2,..,n \end{cases} \tag{2-17}$$

สมมติว่าA, BและCมีค่าตายตัว ตารางสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงได้ดังตารางที่ 2-3ค่าของF-Testของผลหลักและอันตรกิริยาหาได้โดยตรงจากค่ากำลังสองเฉลี่ยคาดหมายที่ได้

ตารางที่ 2.4 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแบบจำลอง 3 ปัจจัยแบบ Fixed Effects

Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F_0
A				
B				
C				
AB				
AC				
BC				
ABC				
Error				
Total				

การคำนวณด้วยมือสำหรับค่าผลรวมทั้งหมดของกำลังสองในตารางที่ 2-4มีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c}\sum_{l=1}^{n} y_{ijkl}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn} \quad (2\text{-}18)$$

ค่าผลรวมของกำลังสองของผลหลักหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$SS_A = \frac{1}{bcn}\sum_{i=1}^{a} y_{i...}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn} \quad (2\text{-}19)$$

$$SS_B = \frac{1}{acn}\sum_{j=1}^{b} y_{.j..}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn} \quad (2\text{-}20)$$

$$SS_C = \frac{1}{abn}\sum_{k=1}^{c} y_{..k.}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn} \quad (2\text{-}21)$$

เพื่อที่จะคำนวณค่าผลรวมของกำลังสองแบบ 2 ปัจจัยของอันตรกิริยา เราจะต้องสร้างตารางผลรวม ซึ่งประกอบด้วยเซลล์จำนวน $A*B, A*C$และ $B*C$เซลล์ขึ้นมา ซึ่งเกิดจากการยุบ

ตารางข้อมูลเบื้องต้นให้อยู่ในรูปแบบของตารางแบบ 2 ทาง จำนวน 3 ตาราง เพื่อคำนวณค่าต่างๆ เหล่านี้ค่าผลรวมของกำลังสองหาได้จาก

$$SS_{AB} = \frac{1}{cn}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} y_{ij..}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_A - SS_B \qquad (2\text{-}22)$$

$$= SS_{Subtotals(AB)} - SS_A - SS_B$$

$$SS_{AC} = \frac{1}{bn}\sum_{i=1}^{a}\sum_{k=1}^{c} y_{i.k.}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_A - SS_C \qquad (2\text{-}23)$$

$$= SS_{Subtotals(AC)} - SS_A - SS_C$$

$$SS_{BC} = \frac{1}{an}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c} y_{.jk.}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_B - SS_C \qquad (2\text{-}24)$$

$$= SS_{Subtotals(BC)} - SS_B - SS_C$$

ค่าผลรวมของกำลังสองของอันตรกิริยาแบบ 3 ปัจจัย หาได้จากสูตร

$$SS_{ABC} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c} y_{ijk.}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC}$$

(2-25)

$$= SS_{Subtotals(ABC)} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC}$$

ค่าผลรวมของกำลังสองของความผิดพลาดหาได้จากการลบผลรวมของกำลังสองทั้งหมดที่เกิดจากผลหลักและอันตรกิริยาจากผลรวมทั้งหมดของกำลังสอง

$$SS_E = SS_T - SS_{Subtotals(ABC)} \qquad (2\text{-}26)$$

2.6 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ

ปารเมศ (2545) ได้กล่าวว่าการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลใช้มากในการทดลองที่เกี่ยวกับปัจจัยหลายปัจจัย ซึ่งเราต้องการที่จะศึกษาถึงผลรวมที่มีต่อผลตอบซึ่งเกิดขึ้นจากปัจจัยเหล่านั้น

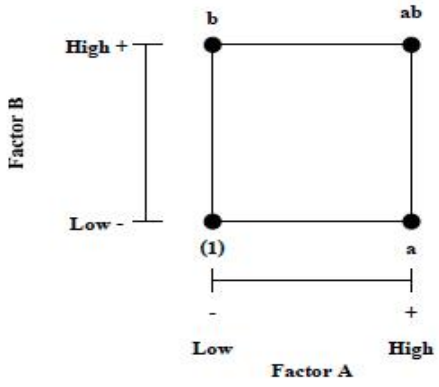
กรณีพิเศษของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลที่มีความสำคัญมากที่สุดคือ กรณีปัจจัย k ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับเหล่านี้อาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรือเวลา เป็นต้น หรืออาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพได้ เช่น เครื่องจักร หรือคนงาน เป็นต้น และใน 2 ระดับที่กล่าวถึงนี้จะแทนระดับ สูงหรือต่ำ ของปัจจัยหนึ่งๆหรือการ มีหรือไม่มี ของปัจจัยนั้นๆได้ใน 1 เรพลิเคตที่บริบูรณ์สำหรับการออกแบบเช่นนี้จะประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น 2 x 2 x 2 x .. x 2 = 2^kข้อมูลและเราเรียกการออกแบบลักษณะนี้ว่า การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k

การออกแบบ 2^kมีประโยชน์มากต่องานทดลองในช่วงแรก เมื่อมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่เราต้องการที่จะตรวจสอบ การออกแบบเช่นนี้จะทำให้เกิดการทดลองจำนวนน้อยที่สุดที่สามารถจะทำได้เพื่อศึกษาถึงผลของปัจจัยทั้ง k ชนิดได้อย่างบริบูรณ์โดยใช้การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล ดังนั้นจึงไม่แปลกใจเลยว่าการออกแบบ 2^kจะถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อกรองปัจจัยที่มีอยู่เป็นจำนวนมากให้เหลือน้อยลง เนื่องจากแต่ละปัจจัยของการทดลองแบบ 2^kประกอบด้วย 2 ระดับ เราขอสมมติว่าผลตอบที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงตลอดช่วงของระดับปัจจัยที่เลือกขึ้นมาทำการทดลอง ซึ่งสมมติฐานเช่นนี้เป็นสิ่งที่ยอมรับได้สำหรับการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเมื่อเราเพิ่งเริ่มต้นทำการศึกษาระบบ

2.6.1 การออกแบบ 2^k

การออกแบบ 2^kชนิดแรกที่จะกล่าวถึง คือ การออกแบบที่ประกอบด้วย 2 ปัจจัย (A และ B) แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ การออกแบบชนิดนี้เรียกว่า การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k ระดับของปัจจัยแต่ละตัวจะอยู่ที่ ต่ำและสูง

การทดลองร่วมปัจจัยสำหรับการออกแบบนี้แสดงในรูปของกราฟดังรูปที่ 2-3 ตามปกติแล้วเราจะแสดงผลของปัจจัยด้วยตัวอักษรลาตินตัวใหญ่ ดังนั้น Aจะแทนผลของปัจจัย A, B แทนผลของปัจจัย Bและ AB แทนอันตรกิริยาของ ABในการออกแบบ 2^k ระดับ ต่ำและสูง จะแทนด้วยเครื่องหมาย + และ – บนแกน Aและ Bตามลำดับ



$$A = \frac{1}{2n}\{[ab - b] - \ a -$$

$$\frac{1}{2n}[ab + a - b -$$

ได้เป็น

$$B = \frac{1}{2n}\{[ab - a] + [b -$$

$$\frac{1}{2n}[ab + b - a -$$

ผลของอันตรกิริยาของ AB คือ ค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างผลของ A ที่ B ระดับสูงกับผลของ A ที่ B ระดับต่ำ ซึ่งก็คือ

$$AB = \frac{1}{2n}\{[ab - b] - [a - (1)]\}$$

$$= \frac{1}{2n}[ab + (1) - a - b] \quad (2\text{-}29)$$

ในทางกลับกันเราอาจจะหาค่าของ ABได้จากค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างผลของ B ที่ A ระดับสูงกับผลของ B ที่ A ระดับต่ำ ซึ่งจะให้ผลออกมาเช่นเดียวกับสมการ (2-29)

สมการของผลของ A, B และ AB อาจจะหาได้โดยวิธีอื่นอีก เช่นผลของ Aสามารถหาได้จากความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของผลตอบของการทดลองร่วมปัจจัยทั้งสองบนด้านขวามือของรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสในรูปที่ 2-3 (เรียกว่า $\bar{y}_{A+}$)เนื่องจากมันคือค่าเฉลี่ยของผลตอบของการทดลองร่วมปัจจัยที่ Aมีค่าสูง) กับการทดลองร่วมปัจจัยทั้งสองที่อยู่ทางด้านซ้ายมือ (เรียกว่า $\bar{y}_{A-}$) นั่นคือ

$$A = \bar{y}_{A+} - \bar{y}_{A-}$$

$$= \frac{ab + a}{2n} - \frac{b + (1)}{2n}$$

$$= \frac{1}{2n}[ab + a - b - (1)] \quad (2\text{-}30)$$

ซึ่งผลที่ได้จะมีค่าเท่ากับค่าที่ได้จากสมการ (2-27) ทุกประการ ผลของ Bดังแสดงในสมการ (2-28) ก็สามารถหาได้จากผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของผลตอบของการทดลองร่วมปัจจัยทั้งสองบนด้านบนของรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (เรียกว่า $\bar{y}_{B+}$)กับค่าเฉลี่ยของการทดลองร่วมปัจจัยทั้งสองที่อยู่ด้านล่าง (เรียกว่า$\bar{y}_{B-}$)นั่นคือ

$$B = \bar{y}_{B+} - \bar{y}_{B-}$$

$$= \frac{ab + b}{2n} - \frac{a + (1)}{2n}$$

$$= \frac{1}{2n}[ab + b - a - (1)] \quad (2.31)$$

สุดท้ายผลของอันตรกิริยาของ AB หาได้จากค่าเฉลี่ยของการทดลองร่วมปัจจัยจากขวาไปซ้ายตามแนวเส้นทแยงมุมของรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (abและ (1)) ลบด้วยค่าเฉลี่ยของการทดลองร่วมปัจจัยจากซ้ายไปขวาตามแนวเส้นทแยงมุมของรูปสีเหลี่ยมจัตุรัส (a และ b) หรือ

$$AB = \frac{ab + (1)}{2n} - \frac{a + b}{2n}$$

$$= \frac{1}{2n}[ab + (1) - a - b] \qquad (2.32)$$

ซึ่งค่าที่ได้มีค่าเดียวกับสมการ (2-29)ทุกประการ

ในการทดลองที่เกี่ยวกับการออกแบบ 2^kเราจะต้องตรวจสอบทั้งขนาดและทิศทางของปัจจัยที่มีผลเพื่อที่จะหาว่า ตัวแปรตัวใดน่าจะเป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดผลขึ้น และใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนมาเป็นตัวยืนยันข้อสรุปนั้น

พิจารณาผลรวมของกำลังสองของ A, B และ AB กำหนดให้ว่าคอนแทรสต์ที่จะใช้ในการประมาณผลของ Aคือ

$$Contrast_A = ab + a - b - (1) \qquad (2\text{-}33)$$

เราจะเรียกคอนแทรสต์นั้ว่า ผลทั้งหมด (Total Effect) ของ A จากสมการ (2-28) และ (2-29) เราพบว่าคอนแทรสต์นี้ยังสามารถใช้ในการประมาณผลของ B และ AB ได้อีกด้วย ยิ่งกว่านั้นคอนแทรสต์เหล่านี้ยังมีรูปแบบในเชิงตั้งฉาก (Orthogonal) และผลรวมของกำลังสองของคอนแทรสต์ใดๆ จะหาได้จากคอนแทรสต์ยกกำลังสอง หารด้วยผลคูณของจำนวนของข้อมูลทั้งหมดที่อยู่ที่ในคอนแทรสต์นั้น กับผลรวมกำลังสองของสัมประสิทธิ์ของคอนแทรสต์ ดังนั้นผลรวมของกำลังสองของ A, B และ AB สามารถเขียนได้ดังนี้

$$SS_A = \frac{[ab+a-b-(1)]^2}{4n} \qquad (2\text{-}34)$$

$$SS_B = \frac{[ab+b-a-(1)]^2}{4n} \qquad (2\text{-}35)$$

$$SS_{AB} = \frac{[ab+(1)-a-b]^2}{4n} \qquad (2\text{-}36)$$

และผลรวมทั้งหมดของกำลังสองสามารถหาได้จาก

$$SS_T = \sum_{i=1}^{2}\sum_{j=1}^{2}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{4n} \qquad (2\text{-}37)$$

ปกติแล้ว SS_T จะมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ $4n-1$และค่าผิดพลาดของผลรวมของกำลังสองซึ่งมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ $4(n-1)$สามารถคำนวณได้จาก

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB} \qquad (2\text{-}38)$$

2.6.2 แบบจำลองการถดถอย

ในการออกแบบ 2^kแบบจำลองการถดถอย (Regression Model) สามารถหาได้ง่ายๆ ดังนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon \qquad (2\text{-}39)$$

โดยที่ x_1 และ x_2เป็นตัวแปรที่ถูกเข้ารหัส และ β แทนสัมประสิทธิ์ของการถดถอย

2.6.3 รูปทั่วไปของการออกแบบ 2^k

ปารเมศ (2545) กล่าวไว้ว่า วิธีการวิเคราะห์ที่เราได้กล่าวถึงมาก่อนหน้านี้อาจจะถูกทำให้อยู่ในรูปทั่วไปของการออกแบบ 2^kได้ นั่นคือ การออกแบบที่มี k ปัจจัย แตละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ แบบจำลองทางสถิติสำหรับการออกแบบ 2^kจะประกอบด้วยผลหลัก k ชนิด, $\binom{k}{2}$อันตรกิริยา 2 ปัจจัย, $\binom{k}{3}$อันตรกิริยาของ 3 ปัจจัย,..,และ 1 อันตรกิริยา k ปัจจัย นั่นคือ แบบจำลองบริบูรณ์สำหรับการออกแบบ 2^kจะประกอบไปด้วยผลทั้งสิ้น 2^k-1 ชนิด เครื่องหมายสำหรับการทดลองร่วมปัจจัยที่กำหนดให้ก่อนหน้านี้ยังใช้ในรูปแบบทั่วไปได้เช่นกัน

วิธีการทั่วไปในการวิเคราะห์เชิงสถิติของการออกแบบ 2^kได้สรุปไว้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์สำหรับการออกแบบ 2^k

1.Estimate Factor Effects
2.Form Initial Model
3.Perform Statistical Testing
4.Refine Model
5.Analyze Residual
6.Interpret Results

ที่มา : ปรเมศ(2545)

จากตารางที่ 2-4ในขั้นตอนแรกจะต้องประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยต่างๆและตรวจสอบเครื่องหมายและขนาดของผลที่จะเกิดขึ้น ข้อมูลเช่นนี้จะทำให้ผู้ทดลองทราบโดยเบื้องต้นว่า ปัจจัยและอันตรกิริยาตัวใดที่มีความสำคัญ และปัจจัยเหล่านี้ควรจะถูกปรับให้อยู่ในทิศทางใดเพื่อที่จะปรับปรุงผลตอบในการสร้างแบบจำลองเริ่มต้น ควรจะเลือกแบบจำลองเต็มรูปแบบ ซึ่งประกอบด้วยผลหลักและอันตรกิริยาทั้งหมด ในขั้นตอนที่สาม จะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อที่จะทดสอบความมีนัยสำคัญของผลหลักและอันตรกิริยา ตารางที่ 2-5แสดงรูปแบบทั่วไปของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^kที่มี n เรพลิเคต ขั้นตอนที่สี่จะเป็นการขัดเกลาแบบจำลอง ซึ่งขั้นตอนนี้จะเกี่ยวกับการดึงเอาตัวแปรที่ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญออกจากแบบจำลองเต็มรูปแบบ ขั้นตอนที่ห้าจะเป็นการวิเคราะห์ส่วนตกค้างเพื่อที่จะตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง และตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานที่สร้างขึ้น มีบางครั้งเช่นกันที่การขัดเกลาแบบจำลองเกิดขึ้นหลังจากการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง ทั้งนี้ เนื่องจากพบว่าแบบจำลองเกิดความไม่เพียงพอ หรือสมมติฐานที่กำหนดให้นั้นไม่ถูกต้องอย่างรุนแรง ในขั้นตอนสุดท้ายจะทำการวิเคราะห์ด้วยกราฟ โดยจะสร้างกราฟของผลหลักและอันตรกิริยา

ตารางที่ 2.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบ 2^k

Source of Variation	**Sum of Squares**	**Degree of Freedom**
k main effects		
A	SS_A	1
B	SS_B	1
:	:	:
K	SS_K	1

($\binom{k}{2}$ two-factor interactions		
AB	SS_{AB}	1
AC	SS_{AC}	1
:	:	:
JK	SS_{JK}	1
($\binom{k}{3}$ three-factor interactions		
ABC	SS_{ABC}	1
ABD	SS_{ABD}	1
:	:	:
IJK	SS_{IJK}	1
:	:	:
($\binom{k}{k}$ k-factor interaction		
ABC…K	$SS_{ABC\ldots K}$	1
Error	SS_E	$2^k(n-1)$
Total	SS_T	$n2^k-1$

ที่มา : ปรเมศ (2545)

เพื่อที่จะประมาณค่าของผล หรือค่าผลรวมของกำลังสองของผล จะต้องคำนวณหาค่าคอนแทรสต์ที่เกี่ยวข้องกับผลตัวนั้นก่อน ซึ่งทำได้โดยการใช้ตารางของเครื่องหมายบวกและลบ ดังเช่นตารางที่2-6เป็นต้น อย่างไรก็ตามสำหรับ k ที่มีค่ามาก วิธีการเช่นนี้จะทำให้เกิดความชักช้าในการใช้งาน ดังนั้น ควรจะใช้วิธีการอย่าง[illegible]จำนวนสมการของเทรสต์

$$\text{Contrast}_{AB\ldots K} = (a \pm 1)(b \pm 1)\ldots \qquad (2\text{-}40)$$

ในการขยายสมการ (2-40) จะใช้พีชคณิตเบื้องต้นเข้ามาช่วย และแทนค่า 1 ในสูตรที่คำนวณได้ครั้งสุดท้ายด้วย (1)สัญลักษณ์ในวงเล็บแต่ละชุดจะเป็นค่าลบ ถ้าปัจจัยนั้นได้ถูกรวมไว้ในคอนแทรสต์และเป็นค่าบวก ถ้าปัจจัยนั้นไม่ได้ถูกรวมเอาไว้

เมื่อคำนวณค่าคอนแทรสต์สำหรับผลต่างๆเรียบร้อยแล้วสามารถที่จะประมาณค่าผลต่างๆ และคำนวณหาค่าของผลรวมของกำลังสองได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$AB..K = \frac{2}{n2^k}(Contrast_{AB..K)} \quad (2\text{-}41)$$

$$SS_{AB..K} = \frac{2}{n2^k}(Contrast_{AB..K})^2 \quad (2\text{-}42)$$

ตามลำดับ โดยที่ n แทนจำนวนของเรพลิเคต

ตารางที่ 2.7 เครื่องหมายทางพีชคณิตสำหรับการคำนวณผลในการออกแบบ 2^k

Treatment	Factorial Effect			
Combination	I	A	B	AB
(1)	+	-	-	+
a	+	+	-	-
b	+	-	+	-
ab	+	+	+	+

ที่มา : ปรเมศ (2545)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในกระบวนการขัดหัวอ่านของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสท์ไดรท์ได้ถูกศึกษาอย่างต่อเนื่องเพื่อลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการนี้ โดยการปรับปรุงกระบวนการขัดหัวอ่าน(Lappingprocess)มีความจำเป็นที่จะต้องควบคุมค่าความผันแปรของความต้านทานให้ที่น้อยมาก ซึ่งในกระบวนการควบคุมนั้นได้นำแนวคิดของการออกแบบการทดลองแบบ DOE (Design of Experiment) มาทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทาน วิศิษฎ์ศรี และคณะ (2551)

ผลงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่ามีหลายปัจจัยที่ก่อให้เกิดค่าความผันแปรของความต้านทานที่สูง ได้แก่ กระบวนการควบคุมความผันแปรของความต้านทานด้วยการควบคุมแบบ PID control ได้ถูกนำเสนอจากการวิเคราะห์แบบ Two-way (ANOVA) ถึงปัจจัยที่มีผลในกระบวนการขัดอย่างละเอียดซึ่งเกิดจากการวางตัวหัวอ่านที่ผิดพลาดในขั้นตอนการวางแท่งหัวอ่านกับแผ่นขัด โดยจะส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนที่มากขึ้นและทำเกิดความผิดพลาดจากกระบวนการขัดหัวอ่านทำให้มีการขัดที่มากเกินหรือน้อยกว่าค่าที่กำหนดทำให้ค่าความผันแปรของความต้านนั้นมีค่าที่สูง Prasitและคณะ (2011) และได้มีการนำเอากระบวนการวิเคราะห์ทางสถิติของกระบวนการขัดหัวอ่านเปรียบเทียบกับโครงข่ายของ Neural Network โดยการปรับค่าควบคุมที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการขัดซึ่งได้พบว่าค่าความหนาของแท่งหัวอ่านนั้นมีผลต่อการควบคุมกระบวนการขัดเพื่อให้ได้ค่าความผันแปรของความต้านทานที่ลดลงในกระบวนการขัดหัวอ่าน สุธิดา (2554) ใน

ส่วนของขั้นตอนการเตรียมแท่งหัวอ่านเพื่อยึดติดเข้ากับอุปกรณ์จับยึดก็มีส่วนสำคัญเนื่องจากเป็นกระบวนการที่หากเกิดข้อผิดพลาด กระบวนการขัดหัวอ่านก็จะนำค่าที่ผิดพลาดไปใช้ในกระบวนการขัดหัวอ่านซึ่งจะส่งผลให้ค่าความผันแปรของความต้านทานนั้นมีค่าที่สูงขึ้นด้วย นุสรา (2555)

โดยในกระบวนการหลังการขัดหัวอ่านนั้นจะต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวหน้าหลังการขัดโดยมีการทดลองหาวัสดุที่ใช้ในกระบวนการขัดรวมถึงค่าตัวแปรที่ใช้ในการควบคุม นอกจากนี้แล้วยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการขัดซึ่งใช้วัสดุที่แตกต่างกันมาผสมกับสารขัดจำพวก Sic โดยทำการทดลองที่เกี่ยวกับขนาดของสารขัดกับปริมาณของวัสดุที่ใช้ในกระบวนการขัดหัวอ่านพบว่าทั้งสองส่วนนั้นมีผลต่อพื้นที่ผิวหน้าหลังกรับวนการขัด YoominAhn(1997) และถ้าต้องการให้พื้นผิวหน้าไม่เกิดรอยเนื่องจากการขัดนั้นจะต้องทำการควบคุมความเร็ว ความดัน และปริมาณสารที่ใช้ในกระบวนการขัดให้เหมาะสมด้วยเพื่อที่จะควบคุมค่าความผันแปรของความต้านทาน วสันต์ (2551)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

บทนี้นำเสนอวิธีดำเนินการวิจัยเพื่อวิเคราะห์ค่าตัวแปร ที่มีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานในกระบวนการขัดหัวอ่านฮาร์ดดิสท์ไดรฟ์โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก คือ การค้นหาปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานในกระบวนการขัดโดยการกรองปัจจัยและการวิเคราะห์ค่าที่เหมาะสมของปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องในกระบวนการขัดหัวอ่าน

3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก ดังนี้

1.การค้นหาปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานในกระบวนการขัดโดยการกรองปัจจัย (Screening Factor) ด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) เพื่อลดปัจจัยหลักที่ไม่มีนัยสำคัญออก และวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่คงเหลือ

2.การวิเคราะห์ค่าที่เหมาะสมของปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิตและลดของเสียที่จะเกิดขึ้นจากกระบวนการขัดเปิดผิวหน้าของหัวอ่านเขียน ที่เกิดจากค่าความผันแปรของความต้านทานที่สูง

โดยขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยสามารถแสดงได้ตามรูปที่ 3.1

3.1.1 การศึกษาสภาพการดำเนินงานของโรงงานกรณีศึกษาและกระบวนการขัดหัวอ่านเขียน

-ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษานี้ เป็นโรงงานที่ประกอบธุรกิจอุตสาหกรรมการผลิตและส่งออกฮาร์ดดิสท์ไดรท์โดยทางโรงงานได้แบ่งส่วนการผลิตออกเป็น 3ส่วน 1.หัวอ่านเขียน (Slider) 2.Head grimbly assembly (HGA) 3.Hard disk drive โดยมีการผลิตตลอด 24 ชั่วโมง แบ่งออกเป็นการทำงาน 3 กะช่วงเวลา

-กระบวนการขัดหัวอ่านเขียน (Slider)มีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.2

1.*กระบวนการติดแท่งหัวอ่าน(Bar Mount)*: ขั้นตอนการติดแท่งหัวอ่านเป็นการนำแท่งหัวอ่านมาติดเข้ากับอุปกรณ์จับยึดแท่งหัวอ่านโดยใช้สารยึดติดแล้วนำไปเข้าตู้อบเพื่อให้สารยึดติดหลอมละลายแท่งหัวอ่านกับอุปกรณ์จับยึดให้ติดเข้าด้วยกันเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการขัดหัวอ่าน

2.*กระบวนการติดแผ่นปริ้นเซอร์กิต (PCB)* :ขั้นตอนการติดแผ่นปริ้นเซอร์กิตเข้ากับอุปกรณ์จับยึดแท่งหัวอ่านเพื่อใช้ในการเชื่อมติดวงจรเพื่อใช้ในกระบวนการขัดหัวอ่าน

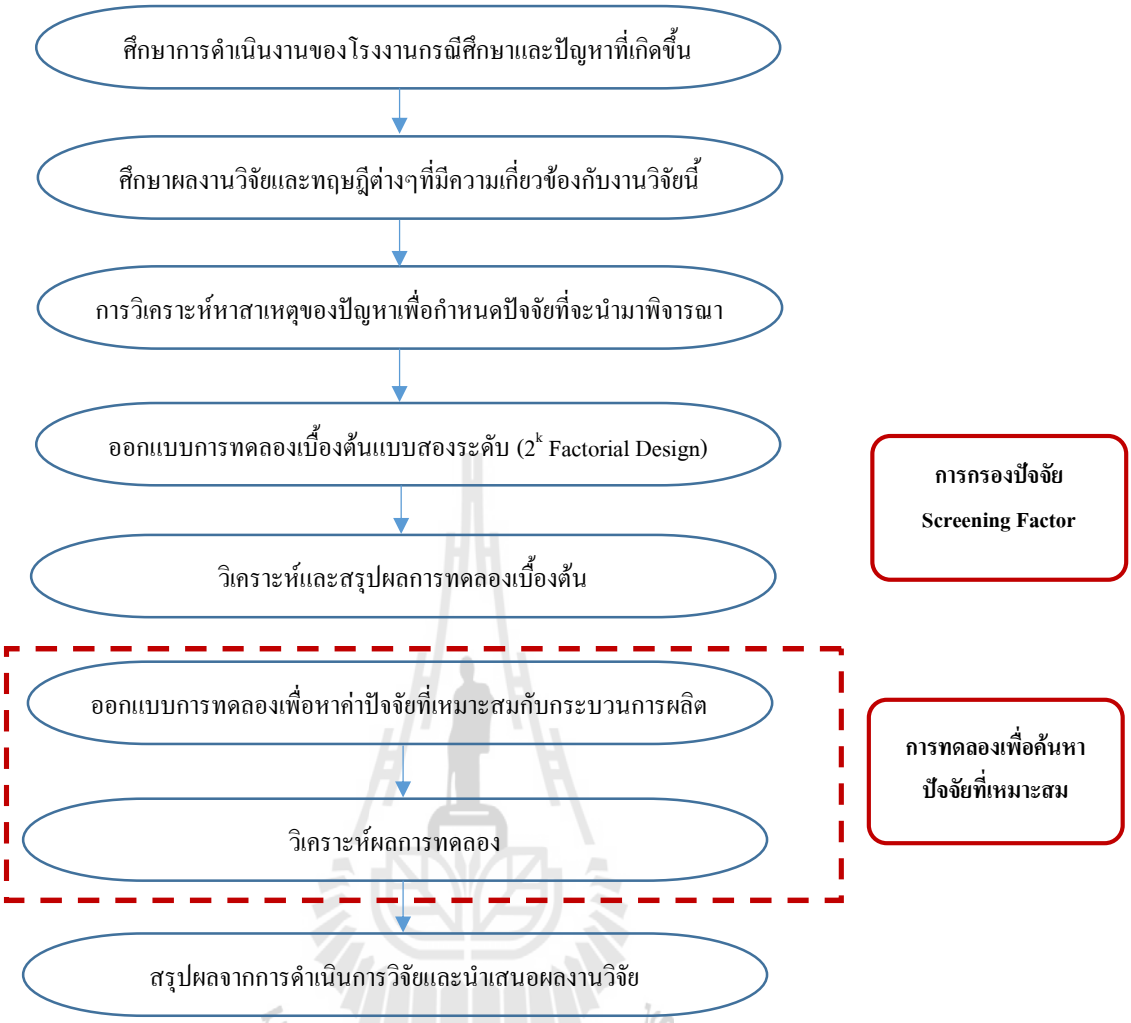
3.*กระบวนการเชื่อมวงจร (Wire Bonding)* :ขั้นตอนนี้เป็นการเชื่อมต่อวงจรโดยการใช้เส้นสายไฟเชื่อมต่อวงจรระหว่างแผ่นปริ้นเซอร์กิตกับแท่งหัวอ่าน

4.*กระบวนการขัดหัวอ่านอย่างหยาบ (Rough Lap)* :ขั้นตอนนี้เป็นการขัดอย่างหยาบโดยการใช้ฟิลม์ลักษณะคล้ายกระดาษทรายที่ติดบนแผ่นขัดเพื่อขัดให้ได้ค่าความหนาของแท่งหัวอ่านตามที่กระบวนการกำหนด ซึ่งหลังจากกระบวนการนี้จะส่งต่อไปยังกระบวนการขัดอย่างละเอียดอีกครั้ง

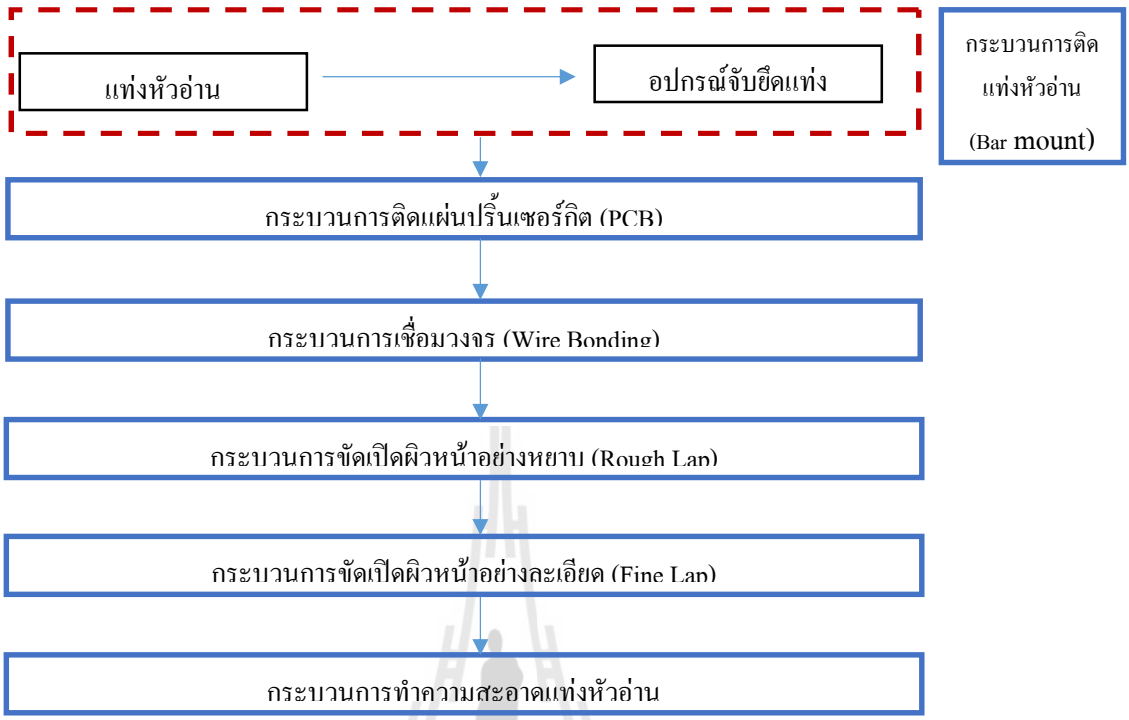
5.*กระบวนการขัดหัวอ่านอย่างละเอียด (Fine Lap)* :ขั้นตอนนี้เป็นการขัดอย่างละเอียดโดยการใช้แผ่นขัดเพื่อขัดให้ได้ค่าความหนาของแท่งหัวอ่านตามที่กระบวนการกำหนด

6.*กระบวนการทำความสะอาดแท่งหัวอ่าน*:กระบวนการนี้เป็นการนำแท่งหัวอ่านออกจากตัวจับยึดเพื่อทำความสะอาดแท่งหัวอ่านก่อนที่จะส่งต่อไปยังกระบวนการตรวจสอบแท่งหัวอ่านต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.1.2 ศึกษาผลงานวิจัยและทฤษฎีต่างๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ในการศึกษางานวิจัยครั้งนี้ จะเน้นและให้ความสำคัญกับการวิเคราะห์และการลดค่าความผันแปรของความต้านทานเพื่อลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบ ดังนั้นการนำหลักการทางสถิติมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมคุณภาพ และแก้ปัญหาค่าความผันแปรของความต้านทานที่สูง โดยอาศัยหลักการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติและการออกแบบการทดลองจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้

3.1.3 วิเคราะห์หาเหตุของปัญหา เพื่อกำหนดปัจจัยที่จะนำมาพิจารณา

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดค่าความผันแปรของความต้านทานที่สูง โดยในขั้นตอนนี้จะเป็นการระดมความคิดเห็นของทีมงาน ซึ่งเป็นผู้ที่มีประสบการณ์และความเชี่ยวชาญในกระบวนการผลิตและการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติ คือ แผนภาพก้างปลาหรือแผนภาพเหตุและผล (Fishbone Diagram or Cause and Effect Diagram) เพื่อช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุที่เกี่ยวข้องเบื้องต้นและกำหนดปัจจัยที่จะนำมาพิจารณา พร้อมทั้งกำหนดระดับปัจจัยที่จะใช้ในการศึกษาด้วย

3.1.4 ออกแบบการทดลองการเบื้องต้นแบบสองระดับ (2^k Factorial design)

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการค้นหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำให้เกิดค่าความผันแปรของความต้านทานที่สูงโดยการกรองปัจจัย (Screening Factor) ด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial design)เพื่อลดปัจจัยหลักที่ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญออก

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial design) คือ การออกแบบที่ประกอบด้วย k ปัจจัย แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับของปัจจัยแต่ละตัวจะอยู่ที่ “ต่ำ” และ “สูง” ซึ่งจะต้องทำการทดลองทั้งหมด 2 x 2 x 2 x…….x 2 = 2^kการทดลอง

3.1.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเบื้องต้น

ในการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองได้ใช้วิธีทางสถิติเชิงวิศวกรรม เพื่อให้ได้ผลการทดลองและข้อสรุปจากการทดลอง โดยการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนจากผลการดำเนินการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial design) ซึ่งอาศัยโปรแกรม Design – Expert มาทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.การตรวจสอบรูปแบบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking)เป็นการตรวจสอบว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่โดยดูจากค่าการเรียงตัวของส่วนตกค้างบนเส้นการแจกแจงแบบปกติ

2.การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าความผันแปรของความต้านทาน เป็นการหาค่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทาน

ผลจากการทดลองเบื้องต้นทำให้สามารถสรุปว่าปัจจัยใดที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดค่าความผันแปรของความต้านทานที่สูง

3.1.6 การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิต

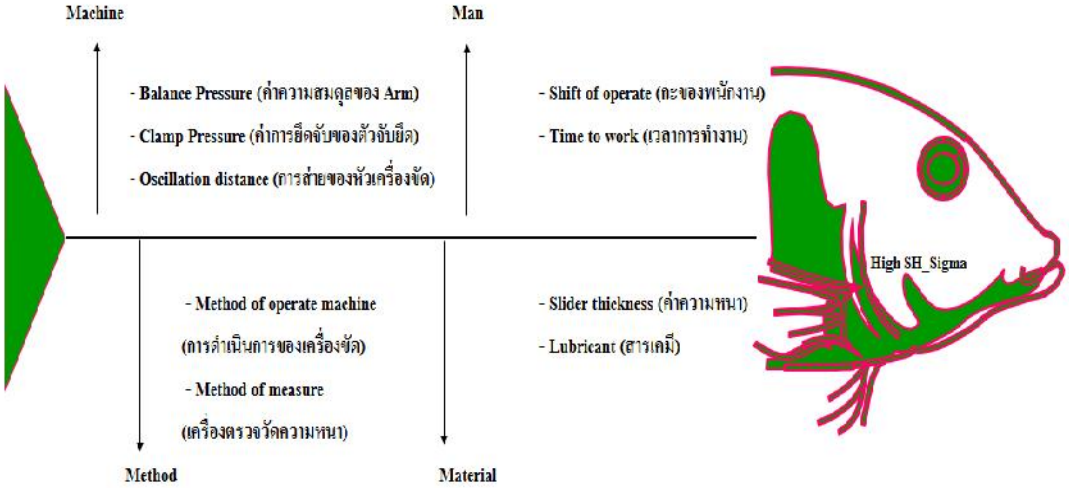
ในขั้นตอนนี้จะเป็นการค้นหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยและอันตรกิริยาที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญสำหรับกระบวนการผลิตซึ่งการทดลองนี้จะเป็นการนำค่าปัจจัยหลักอันตรกิริยาที่มีผลเชิงบวก คือ เมื่อมีการเพิ่มปัจจัยหลักและอันตรกิริยาจากน้อยไปหามากแล้วมีผลทำให้ค่าความผันแปรของความต้านทานลดลง

3.1.7 สรุปผลจากการดำเนินงานวิจัย

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการสรุปผลการดำเนินงานทั้งหมดที่ผ่านมา โดยผลการทดลองที่ได้จะถูกนำไปใช้ในสภาวะการทำงานจริงเพื่อตรวจสอบค่าความผันแปรของความต้านทานเป็นไปตามผลการทดลองหรือไม่ และนำผลที่ได้มาสรุปพร้อมทั้งเสนอข้อเสนอแนะเพิ่มเติมจาการทำงานวิจัยนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Fish Bone Diagram



4.1.1 การเลือกปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

โดยทั่วๆไปปัจจัยที่ส่งผลต่อความผันแปรของผลิตภัณฑ์หรือความแตกต่างในคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ซึ่งส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ไม่คงที่จะมาจาก 4M คือ

1.คน (Man)เป็นผลเนื่องจากเวลาของการทำงานของพนักงานซึ่งจะส่งผลต่อการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมความผันแปรของความต้านทาน

2.เครื่องจักร (Machine) เป็นผลเนื่องจากค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด, ค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด และค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน ซึ่งค่าตั้งไว้อาจจะมีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทาน

3.วัตถุดิบ (Material) เป็นผลเนื่องมาจากค่าความหนาของแท่งหัวอ่านและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งอาจจะมีผลต่อการควบคุมกระบวนการขัดและอาจจะส่งผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทาน

4.วิธีการและเครื่องมือวัด (Method) เป็นผลเนื่องมาจากการดำเนินการของเครื่องขัดและการวัดค่า ซึ่งการดำเนินการของเครื่องที่ผิดจะมีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทาน

โดยปัจจัยทั้ง 4 นั้นได้แสดงดังรูปที่ `4.1

จากแผนภาพเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) สามารถสรุปปัจจัยที่สำคัญที่อาจจะส่งผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานที่สูง ซึ่งค่าที่ทำการเลือกมาจะมีค่าการให้น้ำหนักความสำคัญที่มีค่ามากกว่า 100 ได้ดังต่อไปนี้

1.ค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure)คือ แรงกดทางด้านซ้ายและขวาของหัวเครื่องขัดเพื่อรักษาสมดุลระหว่างกระบวนการขัดหัวอ่าน

2.ค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp pressure)คือ แรงกดตัวจับยึดเข้ากับหัวเครื่องขัด ซึ่งถ้าแรงจับยึดน้อยไปก็จะทำให้เกิดการสั่นของตัวจับยึดโดยจะมีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานด้วย

3.ค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation) คือ การส่ายของหัวเครื่องขัดหัวอ่านในระหว่างกระบวนการขัดหัวอ่านบนแผ่นขัด

โดยปัจจัยที่สำคัญทั้งสามที่ได้เลือกมานั้นพบว่ามีค่าการให้น้ำหนักความสำคัญที่จะส่งผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานที่สูงเกิน 100 ซึ่งค่าการให้น้ำหนักมาจากการระดมความคิดเห็นของพนักงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการขัดหัวอ่านโดยแบ่งช่วงของการให้น้ำหนักดังต่อไปนี้

10 : มีความสำคัญและส่งผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานสูงสุด

5 : มีความสำคัญและส่งผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานปานกลาง

0 : ไม่มีความสำคัญและไม่ส่งผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทาน

ซึ่งการให้น้ำหนักความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อค่าการผันแปรของความต้านทานดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงเหตุและผลที่จะเป็นสาเหตุหลักที่อาจส่งผลให้เกิดค่าความผันแปรของความต้านทาน

		10	7	7	5	3	3	
		1	2	3	4	5	6	
Process Input		**High SH_ Sigma**	**Overlap defect**	**High slope**	**P-Bias out of spec**	**Plate scratch**	**High ABS time**	**Total**
1	ค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure)	8	6	6	6	4	4	218
2	ค่าการส่ายของหัวเครื่อง Lapping (Oscillation)	9	5	5	5	5	5	215
3	ค่าการจับยึดของตัวจับยึด (Clamp pressure)	8	4	4	4	4	4	180
4	ค่าความหนาของแท่งหัวอ่าน	4	2	2	4	1	0	91
5	สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการขัด	3	1	1	1	1	4	64
6	การดำเนินการของเครื่อง	2	2	1	1	0	2	52
7	กะของพนักงาน	1	1	1	1	1	0	32
8	เวลาทำงานของพนักงาน	1	1	1	1	0	0	29
9	เครื่องตรวจวัดความหนาของแท่งหัวอ่าน	2	0	0	0	0	0	20
Total		380	154	147	115	48	57	

4.1.2 การกำหนดระดับของปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

การกำหนดระดับของปัจจัยในการทดลอง จากการศึกษากระบวนการขัดเปิดผิวหน้าแท่งหัวอ่าน พบว่า หากมีการกำหนดระดับปัจจัยหลายๆระดับในการทดลองจะเกิดค่าใช้จ่ายในการทดลองสูง เพราะในการเปลี่ยนระดับปัจจัยในการทดลองแต่ละครั้งต้องใช้เวลาในการปรับแต่งเครื่องจักร และอาจมีผลกระทบต่อกระบวนการอื่นๆของโรงงานกรณีศึกษา ดังนั้นเพื่อเป็นการลดเวลาและค่าใช้จ่ายของการทดลอง อีกทั้งหลีกเลี่ยงผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นกับกระบวนการอื่นๆ จึงกำหนดระดับปัจจัยในการทดลองของทุกๆปัจจัยให้มีปัจจัยละ 2 ระดับ โดยพิจารณาแต่ละปัจจัยดังนี้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design)

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย		หน่วย
		Low (-)	High (+)	
1.ค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด	Balance pressure	2.XX	3.XX	pound
2.ค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด	Clamp pressure	1XX	2XX	psi
3.ค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน	Oscillation	3.X	4.X	mils

1.ค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure)

ระดับของปัจจัยค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) ถูกกำหนดอยู่ระหว่าง 2.XX – 3.XX pound อันเนื่องมาจาก ฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษาได้ทำการทดสอบคุณสมบัติและตรวจสอบคุณลักษณะถึงค่าที่กำหนดนั้นเป็นช่วงค่าของปัจจัยที่เหมาะสมกับเครื่องขัดเปิดผิวหน้าของแท่งหัวอ่านที่ต้องการระดับของปัจจัยค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) ต้องปรับให้อยู่ในช่วงไม่ต่ำกว่า 2.XX pound และไม่สูงกว่า 3.XX pound

สภาวะการดำเนินการผลิตในปัจจุบันจะกำหนดระดับของปัจจัยค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) อยู่ที่ 2.XX – 3.XX pound ดังนั้นในการออกแบบการทดลองจึงแบ่งระดับปัจจัยออกเป็น 2 ระดับดังนี้

ระดับ Low (-1) ค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) เท่ากับ 2.XX pound

ระดับ High (+1) ค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) เท่ากับ 3.XX pound

2.ค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp pressure)

ระดับของปัจจัยค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp pressure) ถูกกำหนดอยู่ระหว่าง 1XX – 2XX psi อันเนื่องมาจาก ฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษาได้ทำการทดสอบคุณสมบัติและตรวจสอบคุณลักษณะถึงค่าที่กำหนดนั้นเป็นช่วงค่าของปัจจัยที่เหมาะสมกับเครื่องขัดเปิดผิวหน้าของแท่งหัวอ่านที่ต้องการระดับของปัจจัยค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp

สภาวะการดำเนินการผลิตในปัจจุบันจะกำหนดระดับของปัจจัยค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp pressure) อยู่ที่ 1XX – 2XX psi ดังนั้นในการออกแบบการ pressure) ต้องปรับให้อยู่ในช่วงไม่ต่ำกว่า 1XX psi และไม่สูงกว่า 2XX psi ทดลองจึงแบ่งระดับปัจจัยออกเป็น 2 ระดับดังนี้

ระดับ Low (-1) ค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp pressure) เท่ากับ 1XX psi

ระดับ High (+1) ค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp pressure) เท่ากับ 2XX psi

3.ค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation)

ระดับของปัจจัยค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation) ถูกกำหนดอยู่ระหว่าง 3.X – 4.X mils อันเนื่องมาจาก ฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษาได้ทำการทดสอบคุณสมบัติและตรวจสอบคุณลักษณะถึงค่าที่กำหนดนั้นเป็นช่วงค่าของปัจจัยที่เหมาะสมกับเครื่องขัดเปิดผิวหน้าของแท่งหัวอ่านที่ต้องการระดับของปัจจัยค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation) ต้องปรับให้อยู่ในช่วงไม่ต่ำกว่า 3.X mils และไม่สูงกว่า 4.X mils

สภาวะการดำเนินการผลิตในปัจจุบันจะกำหนดระดับของปัจจัยค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation) อยู่ที่ 3.X – 4.X mils ดังนั้นในการออกแบบการทดลองจึงแบ่งระดับปัจจัยออกเป็น 2 ระดับดังนี้

ระดับ Low (-1) ค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation) เท่ากับ 3.X mils

ระดับ High (+1) ค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation) เท่ากับ 4.X mils

4.1.3 ตัวแปรตอบสนอง

ผลการตอบสนองจากการทดลองที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ค่าความผันแปรของความต้านทานซึ่งข้อกำหนดของการทดลองจะต้องมีค่าที่ไม่สูงเกิน 4 นาโนเมตร

4.2 การทดลองเบื้องต้นโดยใช้การทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design)

ในการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) จะแบ่งระดับของปัจจัย 2 ระดับ คือระดับสูงและระดับต่ำ เพื่อกรองปัจจัยหลัก (Screening Factor) ที่ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานในกระบวนการขัดเปิดผิวหน้า หรือปัจจัยหลักที่ไม่มีนัยสำคัญออก โดยมีรายละเอียดวิธีการทำการทดลองดังนี้

1.นำแท่งหัวอ่านติดกับอุปกรณ์จับยึดโดยใช้สารยึดติดหลอมละลาย
2.ติดแผ่นปริ้นเซอร์กิตเข้ากับอุปกรณ์จับยึดที่มีแท่งหัวอ่านเพื่อเชื่อมวงจร
3.นำมาเข้าเครื่องขัดเพื่อทำการขัดหัวอ่านอย่างหยาบและละเอียด
4.บันทึกผลการทดลองของค่าความผันแปรของความต้านทาน

4.2.1 รูปแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) คือการออกแบบที่ประกอบด้วย k ปัจจัย แต่ละปัจจัยประกอยด้วย 2 ระดับ ระดับของปัจจัยแต่ละตัวจะอยู่ที่ “ต่ำ” และ “สูง” ซึ่งจะต้องทำการทดลองทั้งหมด 2 x 2 x 2 x …… x 2 = 2^k การทดลอง

ขั้นตอนการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^kประกอบด้วยปัจจัยหลักที่ใช้ในการทดลอง 3 ปัจจัย คือค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure), ค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp pressure) และ ค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation)โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ และการจัดลำดับ (Run) ทดลองครั้งนี้จัดลำดับให้เป็นการทดลองแบบสุ่ม (Random) แต่ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดอคติของการทดลองที่อาจเกิดขึ้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองซ้ำที่ระดับปัจจัยต่างๆ เป็นจำนวน 3 ซ้ำ (3 Replicate) พร้อมทั้งเพิ่มค่ากลางอีก 3 การทดลองเพื่อให้ใกล้เคียงกับค่าจริงแล้วทำการเก็บข้อมูลในตารางบันทึกผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ

ดังนั้นผู้วิจัยจะต้องทำการทดลองทั้งหมด (2 x 2 x 2 x 3) + 3 = 27 การทดลอง และได้กำหนดค่า α ไว้ที่ระดับ 0.05 ซึ่งสามารถแสดงการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) ได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ ที่มีการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ และค่ากลางอีก 3

Run Order	Factor			SH_Sigma
	Balance pressure	Clamp pressure	Oscillation	
6	+	-	-	
20	-	+	+	
1	-	-	-	
14	-	-	+	
24	+	+	+	
17	+	-	+	
12	+	+	-	
10	+	+	-	
27	0	0	0	
25	0	0	0	
13	-	-	+	
21	-	+	+	
22	+	+	+	
7	-	+	-	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.3 แสดงการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ ที่มีการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำและค่ากลางอีก 3 (ต่อ)

Run Order	Factor			SH_Sigma
	Balance pressure	Clamp pressure	Oscillation	
3	-	-	-	
9	-	+	-	
8	-	+	-	
15	-	-	+	
11	+	+	-	
16	+	-	+	
26	0	0	0	
4	+	-	-	
18	+	-	+	
23	+	+	+	
2	-	-	-	

หมายเหตุ

เครื่องหมายลบ (-) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่มีระดับต่ำ (Low)

เครื่องหมายบวก (+) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่มีระดับสูง (High)

เครื่องหมายศูนย์ (0) หมายถึง ค่ากลางของระดับปัจจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.3 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเบื้องต้น

จากผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) ในตารางที่ 4.4 นำค่าผลตอบสนอง (ค่าความผันแปรของความต้านทาน : SH_Sigma) ที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความผันแปรของความต้านทาน (หรือที่มีนัยสำคัญ) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\alpha = 0.05$) ด้วยโปรแกรมทางสถิติ Design – Expert เพื่อวิเคราะห์ผลดังนี้

4.3.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking)

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองเป็นการตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการทดลองซึ่งผลการตรวจสอบแสดงได้ดังรูปที่ 4.2ด้วยการตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ของส่วนตกค้างซึ่งการตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) จากการพิจารณาการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ซึ่งใช้การทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability Plot) โดยนำข้อมูลในตารางที่ 4.4 มาสร้างเป็นแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residuals) กับ การกระจายตัว (Normal % Probability)พบว่า ค่าส่วนตกค้าง (Residuals) มีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง ทำให้ประมาณค่าได้ว่า ค่าส่วนตกค้าง (Residuals) มีการแจกแจงแบบปกติ

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ ที่มีการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำและค่ากลางอีก 3

Run Order	Factor			SH_Sigma
	Load Cell	Clamp force	Oscillation	
6	+	-	-	3.52
20	-	+	+	4.53
1	-	-	-	4.09
14	-	-	+	4.39
24	+	+	+	4.08

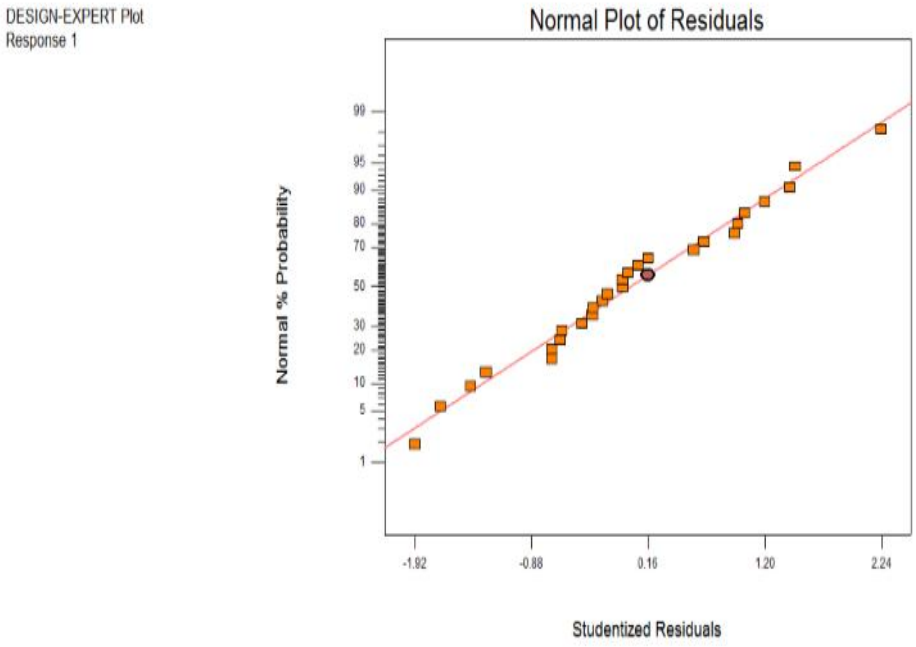
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ ที่มีการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำและค่ากลางอีก 3 (ต่อ)

Run Order	Factor			SH_Sigma
	Load Cell	Clamp force	Oscillation	
17	+	-	+	3.76
12	+	+	-	3.98
10	+	+	-	4.01
27	0	0	0	3.82
25	0	0	0	3.80
13	-	-	+	4.48
21	-	+	+	4.76
22	+	+	+	4.11
7	-	+	-	4.24
19	-	+	+	4.82
5	+	-	-	3.62
3	-	-	-	4.23
9	-	+	-	4.15
8	-	+	-	4.34
15	-	-	+	4.44
11	+	+	-	3.95
16	+	-	+	3.71

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ ที่มีการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำและค่ากลางอีก 3 (ต่อ)

Run Order	Factor			SH_Sigma
	Load Cell	Clamp force	Oscillation	
26	0	0	0	3.91
4	+	-	-	3.70
18	+	-	+	3.85
23	+	+	+	4.09
2	-	-	-	4.19



Standard Residual

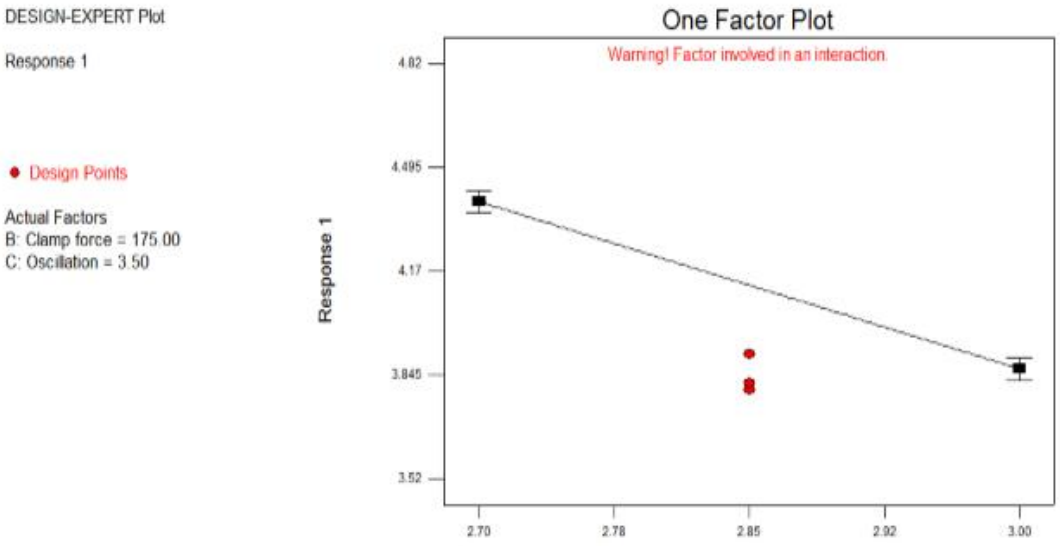
4.3.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าความผันแปรของความต้านทาน

จากผลการตรวจสอบการทดลองพบว่า ไม่มีความผิดปกติของการทดลองเกิดขึ้น เนื่องจากข้อมูลทั้งหมดนั้นกระจายตัวอย่างเป็นเส้นตรงและจึงได้นำข้อมูลในตารางที่ 4.4 มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยทั้งหมด โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ($\alpha = 0.05$)ซึ่งจะแสดงได้ดังตารางที่ 4.5

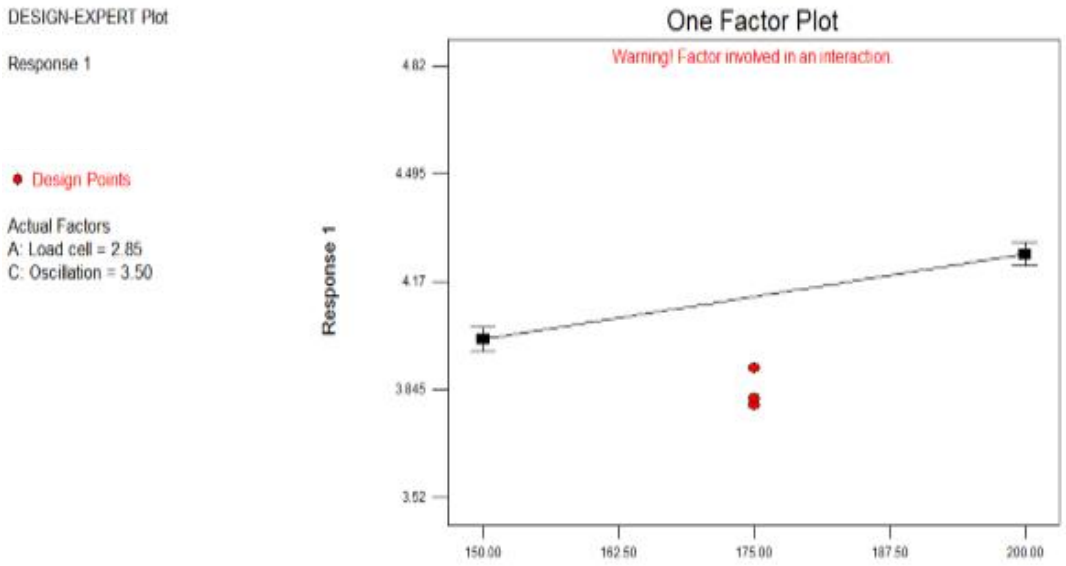
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ

Source of variation	Sum of squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F-Value	P-Value	
Model	2.536	5	0.507	70.175	<0.0001	Significant
ค่าความสมดุลของหัวอ่าน Balance pressure (A)	1.643	1	1.643	227.389	<0.0001	Significant
ค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด Clamp pressure (B)	0.395	1	0.395	54.696	<0.0001	Significant
ค่าการส่ายของหัวเครื่องขัด Oscillation (C)	0.375	1	0.375	51.891	<0.0001	Significant
AB	0.045	1	0.045	6.236	0.0214	Significant
AC	0.077	1	0.077	10.664	0.0039	Significant
Curvature	0.214	1	0.214	29.623	<0.0001	Significant
Residual	0.145	20	0.007			
Lack of fit	0.030	2	0.015	2.234		Not-Significant
Pure Error	0.115	18	0.006			
Cor Total	2.894	26				

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าความผันแปรของความต้านทาน โดยใช้โปรแกรม Design – Expertพบว่า ปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีอิทธิพลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานอย่างมีนัยสำคัญ (P-value < 0.05)คือ ค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance

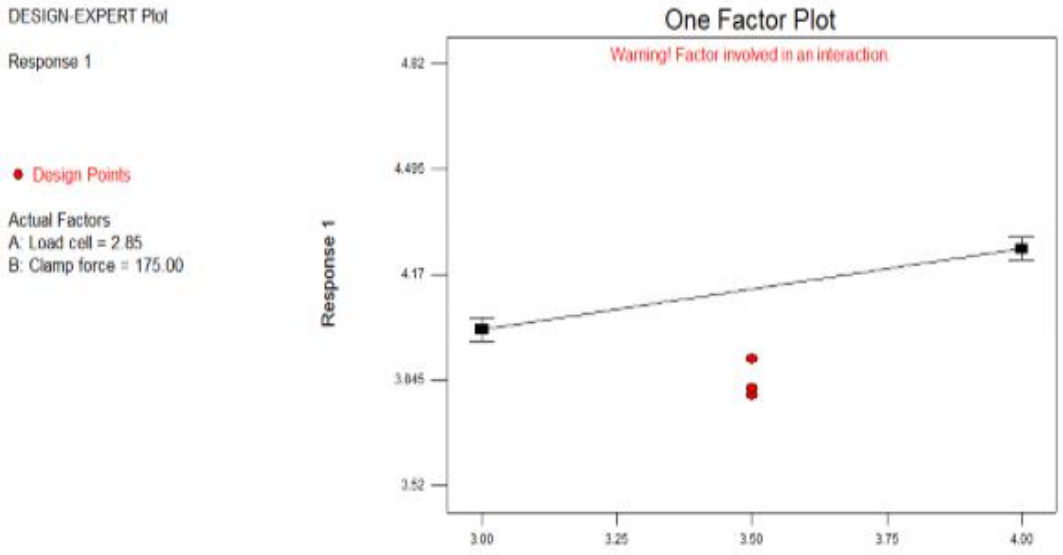


Balance pressure



Clamp pressure

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



Oscillation

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

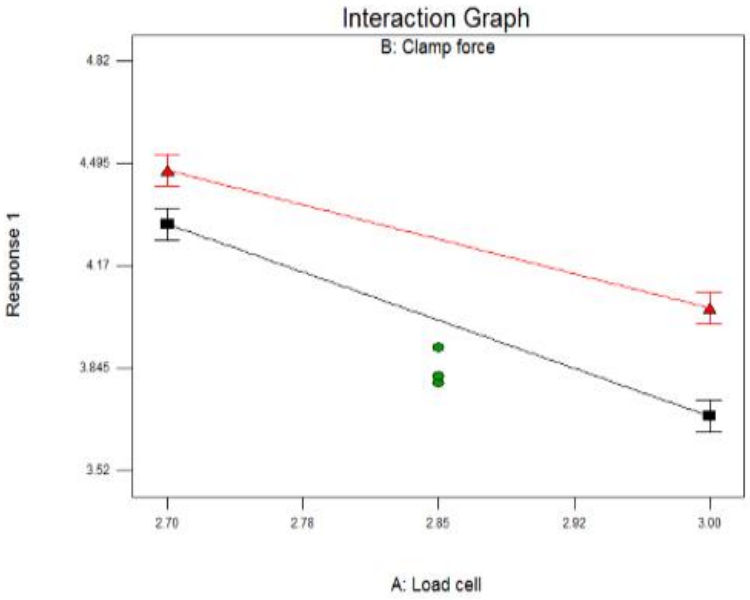
DESIGN-EXPERT Plot

Response 1

X = A: Load cell
Y = B: Clamp force

Design Points

B- 150.000
B+ 200.000
Actual Factor
C: Oscillation = 3.50



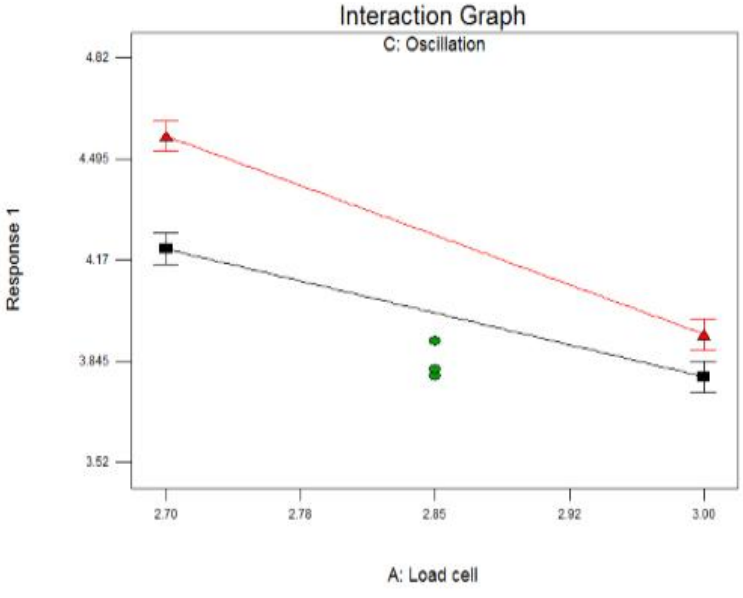
DESIGN-EXPERT Plot

Response 1

X = A: Load cell
Y = C: Oscillation

Design Points

C- 3.000
C+ 4.000
Actual Factor
B: Clamp force = 175.00



จากกราฟอิทธิพลร่วมสองปัจจัย ดังรูปที่ 4.6และ 4.7พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) กับ ค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp pressure)มีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเมื่อมีการตั้งค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) ที่ค่าต่ำ และตั้งค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp pressure) ที่ค่าต่ำด้วยจะส่งผลให้มีค่าความผันแปรของความต้านทานที่สูงกว่าเมื่อมีการตั้งค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) ที่ค่าสูง และตั้งค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp pressure) ที่ค่าสูงซึ่งอิทธิพลร่วมนี้จะมีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานอย่างมีนัยสำคัญและมีผลในเชิงบวก (ค่าความผันแปรของความต้านทานต่ำลง)

อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) กับ ค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation) มีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเมื่อมีการตั้งค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) ที่ค่าต่ำ และตั้งค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation) ที่ค่าต่ำด้วยจะส่งผลให้มีค่าความผันแปรของความต้านทานที่สูงกว่าเมื่อมีการตั้งค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) ที่ค่าสูง และตั้งค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation) ที่ค่าสูงซึ่งอิทธิพลร่วมนี้จะมีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานอย่างมีนัยสำคัญและมีผลในเชิงบวก (ค่าความผันแปรของความต้านทานต่ำลง)

จากผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design)แสดงให้เห็นว่าเป็นการทดลองเพื่อกรองปัจจัย (Screening Factor) ที่ไม่มีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานจากการพิจารณาอิทธิพลจากปัจจัยหลักและอิทธิพลจากปัจจัยร่วมต่อค่าความผันแปรของความต้านทานสามารถตัดปัจจัยหลักที่มีผลในเชิงลบออกได้สองปัจจัยและอิทธิพลของปัจจัยร่วมหนึ่งอิทธิพลออก

จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าค่าปัจจัยหลักและอิทธิพลร่วมที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญเชิงบวกอันได้แก่ ค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure), อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) กับ ค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp pressure) และอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) กับ ค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation) ดังนั้นการวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมต่อค่าความผันแปรของความต้านทานจะนำปัจจัยดังกล่าวไปออกแบบการทดลองในหัวข้อ 4.4

4.4 การดำเนินการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อค่าความผันแปรของความต้านทาน

จากการวิเคราะห์เบื้องต้นด้วยการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) พบว่าได้ค่าปัจจัยหลักหนึ่งค่าที่มีผลในเชิงบวก (ค่าความผันแปรของความต้านทานที่ต่ำ) และอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) กับ ค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp pressure) รวมทั้งอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) กับ ค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation) ซึ่งมีผลในเชิงบวกเช่นกัน

โดยในการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมนั้นจะทำการกำหนดค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) ที่ระดับสูงเนื่องจากจากการวิเคราะห์ด้วยการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) พบว่าเมื่อเพิ่มค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) ที่ระดับสูงจะให้ค่าความผันแปรของความต้านทานที่ต่ำและทำการ ผันแปรค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp pressure) และ ค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation) ทั้งสามระดับ คือ ระดับต่ำ ระดับสูง และค่ากลาง ผลการออกแบบตารางบันทึกผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.6

ดังนั้นเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมจึงต้องทำการทดลองทั้งหมด 9 การทดลองดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงการออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

Run Order	Factor			SH_Sigma
	Balance pressure	Clamp pressure	Oscillation	
1	+	-	-	
2	+	-	+	
3	+	-	0	
4	+	0	-	
5	+	0	+	
6	+	0	0	
7	+	+	-	
8	+	+	+	
9	+	+	0	

หมายเหตุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เครื่องหมายลบ (-) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่มีระดับต่ำ (Low)

เครื่องหมายบวก (+) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่มีระดับสูง (High)

เครื่องหมายศูนย์ (0) หมายถึง ค่ากลางของระดับปัจจัย

4.5 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสม

จากตารางที่ 4.7จะพบว่าค่าที่เหมาะสมจากการออกแบบการทดลองโดยเมื่อกำหนดค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) ที่ระดับสูงและทำการผันแปรค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp pressure) และ ค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation) ทั้งสามระดับ คือ ระดับต่ำ ระดับสูง และค่ากลาง จะพบว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับจะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตนั้นต้องกำหนดค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) ที่ระดับสูง (3.XX pound)ค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp pressure) ที่ระดับต่ำ (1XX psi) และ ค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation)ที่ระดับต่ำ (3.X mils)จะทำให้ได้ค่าความผันแปรของความต้านทานที่ต่ำที่สุด (3.64 นาโนเมตร)

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

Run Order	Factor			SH_Sigma
	Balance Pressure	Clamp Pressure	Oscillation	
1	+	-	-	3.64
2	+	-	+	3.85
3	+	-	0	3.82
4	+	0	-	3.75
5	+	0	+	3.89
6	+	0	0	3.88
7	+	+	-	3.94
8	+	+	+	3.98
9	+	+	0	4.02

จากผลการทดลองสุ่มตามตารางที่ 4.7 เพื่อทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมจะเมื่อเปรียบเทียบกับสมการโมเดลจากการทดลองแบบ 2^k Factorial ในสมการที่ 4-1 นั้นจะเห็นว่าให้ค่าที่ตรงกัน คือ ค่าที่เหมาะสมสำหรับจะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตนั้นต้องกำหนดค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) ที่ระดับสูง (3.XX pound) ค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp pressure) ที่ระดับต่ำ (1XX psi) และ ค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation) ที่ระดับต่ำ (3.X mils) ดังแสดงในตารางที่ 4.8

Response = 4.127 - 0.2617A + 0.1283B + 0.125C + 0.0433AB - 0.0567AC (4-1)

โดย

A = ระดับปัจจัยหลัก Balance Pressure

B = ระดับปัจจัยหลัก Clamp Pressure

C = ระดับปัจจัยหลัก Oscillation

AB = ระดับอิทธิพลร่วม Balance Pressure และ Clamp Pressure

AC = ระดับอิทธิพลร่วม Balance Pressure และ Oscillation

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองที่ได้จากสมการโมเดลแบบ 2^k Factorial

Run Order	Factor					SH_Sigma
	A	B	C	AB	AC	
1	+1	-1	-1	-1	-1	3.63
2	+1	-1	+1	-1	+1	3.82
3	+1	-1	0	-1	0	3.69
4	+1	0	-1	0	-1	3.74
5	+1	0	0	0	0	3.87
6	+1	0	+1	0	+1	3.99
7	+1	+1	-1	+1	-1	3.91
8	+1	+1	0	+1	0	4.03
9	+1	+1	+1	+1	+1	4.16

4.6 บทสรุป

ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

จากรูปที่ 4.3ถึง 4.5ปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีอิทธิพลต่อค่าความผันแปรของความต้านทาน จากการทดลองเบื้องต้นโดยใช้การทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design)สรุปได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทาน

	ค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure)	ค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp pressure)	ค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation)
(-)	2.XX	1XX	3.X
(+)	3.XX	2XX	4.X
ผลการทดลอง	มีนัยสำคัญเชิงบวก (3.64)	มีนัยสำคัญเชิงลบ (4.17)	มีนัยสำคัญเชิงลบ (4.19)

หมายเหตุ

ผลอย่างมีนัยสำคัญในเชิงบวก (ค่าความผันแปรของความต้านทานที่ต่ำ)

ผลอย่างมีนัยสำคัญในเชิงลบ (ค่าความผันแปรของความต้านทานที่สูง)

จากรูปที่ 4.6 ถึง 4.7 อิทธิพลร่วม (Interaction) ที่มีอิทธิพลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานจากการทดลองเบื้องต้นโดยใช้การทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design)สรุปได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 อิทธิพลร่วมที่มีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทาน

ค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure)	ค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp pressure)	ผลการทดลอง
2.XX	1XX	4.39
2.XX	2XX	4.28
3.XX	1XX	3.64
3.XX	2XX	4.05

ค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure)	ค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation)	ผลการทดลอง
2.XX	3.X	4.45
2.XX	4.X	4.19
3.XX	3.X	3.78
3.XX	4.X	4.02

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ค่าอิทธิพลร่วมของความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) กับ ค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp pressure) : มีผลอย่างมีนัยสำคัญในเชิงบวก (ค่าความผันแปรของความต้านทานที่ต่ำ) ซึ่งค่าที่ให้ค่าความผันแปรของความต้านทานที่ต่ำที่สุด คือ ค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) ที่ระดับสูง (3.XX pound) ค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp pressure) ที่ระดับต่ำ (1XX psi)

ค่าอิทธิพลร่วมของความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) กับ ค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation) : มีผลอย่างมีนัยสำคัญในเชิงบวก (ค่าความผันแปรของความต้านทานที่ต่ำ) ซึ่งค่าที่ให้ค่าความผันแปรของความต้านทานที่ต่ำที่สุด คือ กำหนดค่าความสมดุล

ของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) ที่ระดับสูง (3.XX pound) ค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation) ที่ระดับต่ำ (3.X mils)

จากการออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมจากปัจจัยหลักและอิทธิพลร่วมของปัจจัยพบว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับจะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตนั้นสรุปได้ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11สภาวะที่เหมาะสมจากปัจจัยหลักและอิทธิพลร่วม

ค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure)	3.XX pound
ค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp pressure)	1XX psi
ค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation)	3.X mils

โดยกำหนดค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Balance pressure) ที่ระดับสูง (3.XX pound) ค่าแรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp pressure) ที่ระดับต่ำ (1XX psi) และ ค่าการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation) ที่ระดับต่ำ (3.X mils) จะทำให้ได้ค่าความผันแปรของความต้านทานที่ต่ำที่สุด (3.64 นาโนเมตร)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กราฟค่าความผันแปรของความต้านทานในแต่ละเดือน
5.5
5
4.5
4
3.5
3
2.5
2
JAN '13
FEB '13
MAR '13
APR '13
MAY '13
JUN '13
JUL '13
AUG '13
SEP '13
OCT '13
NOV '13
DEC '13
JAN '14
FEB '14
MAR '14

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

5.2.1 ในการศึกษาการลดความผันแปรของความต้านทานในกระบวนการขัดหัวอ่าน อาจจะสามารถลดความผันแปรของความต้านทานได้อีกในอนาคตมากกว่าปัจจุบัน หรือมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยอื่นที่เกี่ยวกับเครื่องจักรที่ใช้ในการขัดหัวอ่าน อาทิเช่น ชนิดของตัวจับยึดที่ให้ช่วงของการดึงและดันในขณะกระบวนการขัดแท่งหัวอ่านที่เพิ่มขึ้นเพื่อช่วยในการปรับปรุงและลดค่าความผันแปรของความต้านทาน หรือสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการขัดชนิดใหม่ เป็นต้น

5.2.2 จากการศึกษาการลดความผันแปรของความต้านทานในกระบวนการขัดหัวอ่านส่วนหนึ่งเป็นการปรับปรุงและหาค่าสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องจักรเพื่อใช้ในกระบวนการขัดหัวอ่าน ซึ่งไม่ได้รวมถึงอายุการใช้งานของแผ่นขัดโดยน่าจะมีผลเนื่องจากกระบวนการขัดนั้นมีการเสียดสีกับแผ่นขัดอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นการวิจัยเกี่ยวกับอายุการใช้งานที่เหมาะสมของแผ่นขัดที่จะไม่ทำให้ค่าความผันแปรของความต้านทานเพิ่มขึ้น จึงเป็นงานวิจัยที่สามารถก่อให้เกิดประโยชน์ในอนาคต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

ปารเมศ ชุติมา (2545) **การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม.** พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ:สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เกรียงศักดิ์ แสนสำโรง และ สิริวิชญ์ เตชะเจษฎารังสี (2551) **การวิเคราะห์ผลกระทบของอุปกรณ์จับยึดสไลเดอร์บาร์ในกระบวนการขัดเปิดผิวหน้า**.วารสารวิจัยมข.13(8).หน้า 981-992

นุศรา ผาระนัตร (2555) **การกำหนดปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการขัดหัวอ่านของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เพื่อลดของเสีย**.วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาแมคคาทรอนิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิศิษฎ์ศรี วิยะรัตน์, อนุชา วัฒนาภา และ สิทธิชัย แก้วเกื้อกูล (2551) **การลดของเสียในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสท์โดยเทคนิคซิกส์ซิกม่า.**การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี พ.ศ.2551.หน้า 394-398

สุธิดา ปรีชาเดช (2554) **การพยากรณ์เวลาที่ใช้ในการขัดแผ่นซิลิคอนโดยโครงข่ายประสาทเทียม.** วิศวกรรมสาร มก.77.หน้า 1-11

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2545) **สถิติสำหรับงานวิศวกรรม** เล่ม 2.พิมพ์ครั้งที่ 6.กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

บรรหาร ลิลา และคณะ (2554) **การลดปัญหารอยบุบของฝาครอบด้านบนในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสท์ด้วยวิธี DMAIC**.การประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม.หน้า 678

วสันต์ พุกผาสุก และ อรรถกร เก่งพล (2551) **การลดของเสียจากกระบวนการชุบโครเมียมโดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกส์ซิกม่า : กรณีศึกษาบริษัทในอุตสาหกรรมชุบโครเมียม.** วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 18 ฉบับที่ 2 พ.ค – ส.ค.หน้า 33

กันยรัตน์ คมวัชระ (2547) การนำ Six Sigma **มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพการศึกษา.** วารสารประกันคุณภาพ ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน : หน้า 47

PrasitWonglersak, PrakarnkiatYoungkong and IttiponCheowanich.`` **PD Compensator for Lapping Process of Hard Disk Drive Heads``.**World Academy of science, Engineering and Technology 60 (2011) : 926-928

YoominAhn and Sang-Shin Park**.``Surface Roughness and Material Removel Rate of Lapping Process on Ceramics``.**KSME International Journal. Vol.11, No 5 (1997) : 494-504

S.M.Fulmali and R.B.Chadge.``**Need of Lapping Machine for Value Component : A Case Study**``.International Journal of Modern Engineering research. Vol.2, Issue 6 (2012) : 4609-4612

Douglas C. Montgomery.``**Design and Analysis of Experiments**. 6th ed. The United States of America : John Wiley &Sons,INC., (2005)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

วิวัฒน์ ยิ่งสุทธิพันธุ์ และ ปภากร พิทยชวาล (2557). **การวิเคราะห์ค่าตัวแปรที่มีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานในกระบวนการขัดหัวอ่านฮาร์ดดิสท์ไดรท์.** วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 7 หน้า.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การวิเคราะห์ค่าตัวแปรที่มีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานในกระบวนการขัดหัวอ่านฮาร์ดดิสท์ไดรท์

Factor Analysis Affecting to of Stripe Height Sigma (SH_Sigma) in Lapping Process of Hard Disk Drive

ปภากร พิทยชวาล [1] และ วิวัฒน์ ยิ่งสุทธิพันธุ์ [2]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

E-Mail: [1] paphakorn@g.sut.ac.th , [2] klong119@hotmail.com

บทคัดย่อ

กระบวนการขัดหัวอ่าน (Lapping Process) คือ กระบวนการขัดแท่งหัวอ่าน (Bar) บนแผ่นขัดหัวอ่าน (Plate) โดยจะขัดเอาส่วนที่เคลือบบนแท่งหัวอ่านออกตามความหนาที่กำหนด โดยในกระบวนการนี้จะใช้ค่าความผันแปรของความต้านทาน (SH_Sigma) เป็นตัวกำหนดคุณภาพซึ่งค่าความผันแปรของความต้านทาน จะมีความสัมพันธ์กับความต้านทานของหัวอ่านแต่ละหัวอ่านในแท่งหัวอ่านนั้นซึ่งถ้าค่าความผันแปรของความต้านทาน มีค่ามากกว่าที่กำหนดจะถือว่าเป็นของเสียโดยในกระบวนการผลิตปัจจุบันพบว่ามีของเสียเกิดขึ้นอยู่ 6% ซึ่งนำมาสู่ต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น บทความนี้จะได้นำเสนอการระบุปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดค่าความผันแปรของความต้านทาน ที่สูงเกินค่าที่ยอมรับได้ ซึ่งผลการทดลองพบว่าค่าปัจจัยหลักของค่าความสมดุลของแขนหัวอ่าน และอันตรกิริยาของค่าความสมดุลของแขนหัวอ่าน กับการส่ายของหัวเครื่องขัด และอันตรกิริยาของค่าความสมดุลของแขนหัวอ่าน กับค่าการยึดจับของตัวจับยึดเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทาน

คำหลัก : ฮาร์ดดิสท์ไดรท์, กระบวนการขัดหัวอ่าน, ค่าความผันแปรของความต้านทาน, กระบวนการควบคุม

Abstract

The lapping process composes of three main operations that are the mounting bar on carrier, the measuring parallel angle of head and the attaching Print Circuit Board (PCB) to connect the signal of feedback resistance for lapping control. In order to control a quality of lapping process, a stripe height sigma (SH_Sigma) is measured to indicate a conform part. Since a value of SH_Sigma relates with the resistance value, the high value of SH_Sigma naturally establishes a defective part. Furthermore, a current process contains 6% of defect rate in which affects to the high production cost. This paper presents an investigating process to establish the parameters that influence to the high value of SH_Sigma including to optimize those parameters for process control. The result shown that a main effect from load cell, an interaction of load cell and oscillation, an interaction of load cell and clamp force were effect to SH_Sigma

Keywords : Hard disk drive, Lapping process, Stripe height sigma (SH_Sigma), Process control

1.บทนำ

กระบวนการขัดหัวอ่าน(Lapping process) คือ กระบวนการขัดสารเคลือบผิวหน้าออกจากสไลเดอร์เพื่อเปิดขั้วสไลเดอร์ที่บริเวณปลาย ทำให้อุปกรณ์สามารถรับสัญญาณจากสไลเดอร์ได้และสัญญาณที่ได้จะถูกแปลงเป็นความต้านทานและแปลงเป็นค่าความหนาของสไลเดอร์ซึ่งจะถูก

ส่งไปยังเครื่องขัดเพื่อขัดสารเคลือบเปิดผิวหน้าตามเป้าหมายของแต่ละสไลเดอร์

กระบวนการขัดเปิดผิวหน้ายังถือเป็นกระบวนการที่สำคัญมากในกระบวนการผลิตสไลเดอร์ของฮาร์ดดิสท์ไดรท์ เนื่องจากเป็นกระบวนการเริ่มต้นในการผลิตหากมีข้อผิดพลาดจะส่งผลกระทบต่อการผลิตในขั้นตอนต่อไป ซึ่งในกระบวนการขัดนั้นจะมีการวัดค่าความผันแปรของความต้านทาน (SH_Sigma) ในแต่ละหัวอ่านโดยค่า SH_Sigma นั้นจะมีความสัมพันธ์แบบแปรตามกับความต้านทานของแต่ละหัวอ่านในแท่งหัวอ่านนั้นซึ่งถ้าค่า SH_Sigma นั้นมีค่าสูงจะทำให้เกิดของเสียมากที่กระบวนการวัดความต้านโดยในปัจจุบันนั้นค่า SH_Sigma ของกระบวนการขัดในปัจจุบันนี้ทำให้เกิดของเสียที่กระบวนการวัดค่าความต้านทานหลังกระบวนการขัดอยู่ 6% ซึ่งก่อให้เกิดต้นทุนการผลิตที่มากขึ้น

บทความนี้นำเสนอการระบุปัจจัยที่มีผลทำให้ค่า SH_Sigma สูงและส่งผลให้เกิดของเสียในกระบวนการวัดหลังการขัด ซึ่งผลจากการศึกษาในครั้งนี้จะนำไปควบคุมและพัฒนากระบวนการผลิตต่อไป

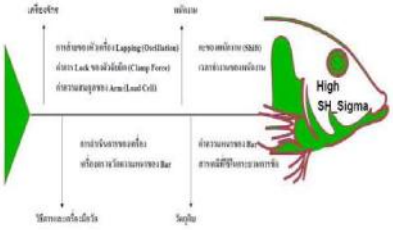
2.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในกระบวนการขัดของอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสท์ไดรท์ได้ถูกศึกษาอย่างต่อเนื่องเพื่อลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการนี้ แนวคิด Six Sigma ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสีย [1-3] ซึ่งผลการวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่ามีหลายปัจจัยที่ก่อให้เกิดของเสียขึ้น ได้แก่ กระบวนการควบคุมค่าความผันแปรของความต้านทานด้วยการควบคุมแบบ PID Control ได้ถูกนำเสนอจากการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของกระบวนการขัดละเอียด (Fine Lapping Process) [1] ตำแหน่งการวางตัวหัวอ่านที่ผิดพลาดซึ่งเกิดจากขั้นตอนของการวาง Slider กับ Suspension เป็นอีกปัจจัยที่ก่อให้เกิดของเสียในกระบวนการขัด [2] รวมถึงการออกแบบอุปกรณ์จับยึด (Slider) เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการขัดส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน [3] นอกจากนี้แล้วโครงข่ายประสาทเทียมได้ถูกนำมาพยากรณ์เพื่อหาระยะเวลาที่ใช้ในการขัดแผ่นซิลิกอนที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการขัดเพื่อก่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุด [4]

โดยในกระบวนการหลังการขัดนั้นจะต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวหน้าหลังการขัดโดยมีการทดลองหาวัสดุที่ใช้ในกระบวนการขัดรวมถึงค่าตัวแปรที่ใช้ในการควบคุม [5-7] นอกจากนั้นแล้วยังมีการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการขัดโดยใช้วัสดุ Alumina, Ni-Zn ferrite และ Sodium silicate glass ซึ่งวัสดุดังกล่าวจะถูกนำมาผสมกับสารขัดจำพวก Sic โดยทำการทดลองที่เกี่ยวกับขนาดของสารขัดกับปริมาณของวัสดุที่ใช้ในกระบวนการขัดซึ่งพบว่าทั้งสองส่วนนั้นมีผลต่อพื้นผิวหน้าหลังกระบวนการขัด [5] และถ้าต้องการให้พื้นผิวหน้าไม่เกิดรอยเนื่องจากการขัดนั้นจะต้องทำการควบคุมความเร็ว ความดัน และปริมาณสารที่ใช้ในกระบวนการขัดให้เหมาะสมด้วยเพื่อที่จะก่อให้เกิดของเสียจากกระบวนการขัดให้น้อยที่สุดด้วย [6-8] ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการปรับปรุงและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานที่เกิดจากเครื่องขัด

3.การดำเนินงาน

3.1 วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดค่า SH_Sigma ที่สูงจากการทำแผนภูมิก้างปลา (Fish Bone Diagram) ได้ข้อสรุปดังนี้



รูปที่ 1 แผนภูมิก้างปลา (Fish Bone Diagram)

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำงานในกระบวนการและคาดว่าก่อให้เกิดค่า SH_Sigma ที่สูงโดยใช้การวิเคราะห์ 4M ดังแสดงในรูปที่ 1 สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้ สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน (Man) ได้แก่ กะการทำงานของพนักงาน (Shift)

และเวลาทำงานของพนักงาน สาเหตุที่เกิดจากวิธีการและเครื่องมือวัด (Method) ได้แก่ การดำเนินการของเครื่องและเครื่องตรวจวัดความหนาของแท่งหัวอ่าน (Bar) สาเหตุที่เกี่ยวกับเครื่องจักร (Machine) ได้แก่ การส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (oscillation) และแรงยึดของตัวจับยึด (clamp force) และค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (load cell) และสาเหตุของวัตถุดิบ (Material) ได้แก่ ค่าความหนาของแท่งหัวอ่าน (Bar) และสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการขัด

โดยจากปัจจัยที่วิเคราะห์เบื้องต้นได้นำเอาหลักการ Failure Modes and Effect Analysis (FMEA) เพื่อระดมความคิดเห็นของผู้ที่เกี่ยวข้องพร้อมกับให้คะแนนในแต่ละสาเหตุที่คาดว่าจะเป็นปัจจัย โดยในการให้คะแนนนั้นจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ

ความรุนแรงของสาเหตุที่จะเกิดค่าความผันแปรของความต้านทาน (Severity : S) : ซึ่งจะให้ค่าความรุนแรงที่สูงเริ่มจาก 10 จนถึงไม่มีความรุนแรงที่ 0

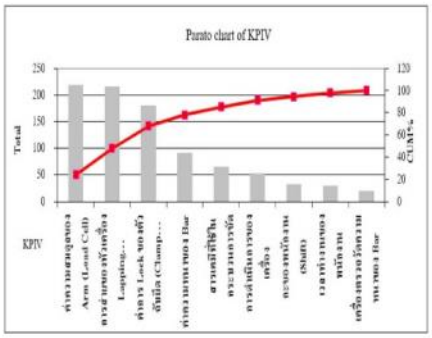
ความถี่ในการพบสาเหตุที่ทำให้เกิดค่าความผันแปรของความต้านทานที่สูง (Occurrence : O) : ซึ่งจะให้ค่าความถี่ที่มากเริ่มจาก 10 จนถึงไม่พบความถี่ที่ 0

กระบวนการตรวจสอบ (Detection : D) : ซึ่งถ้าไม่มีกระบวนการการตรวจสอบจะให้ค่าเริ่มจาก 10 จนถึงมีกระบวนการตรวจสอบที่ดีจะเป็น 0

โดยจากการให้คะแนนสามารถสรุปและได้แผนภาพของพาเรโตดังตารางที่ 1 และรูปที่ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่าพาเรโตสะสม

	RPN	%	Cum %
ค่าความสมดุลของ Arm (Load cell)	218	24.20	24.20
การส่ายของหัวเครื่อง Lapping (Oscillation)	215	23.86	48.06
ค่าการ Lock ของตัวจับยึด (Clamp Force)	180	19.98	68.04
ค่าความหนาของ Bar	91	10.10	78.14
สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการขัด	64	7.10	85.24
การดำเนินการของเครื่อง	52	5.77	91.01
กะของพนักงาน (Shift)	32	3.55	94.56
เวลาทำงานของพนักงาน	29	3.22	97.78
เครื่องตรวจวัดความหนาของ Bar	20	2.22	100.00
	901		



รูปที่ 2 แผนภาพพาเรโต (Parato chart)

จากรูปที่ 2 พบว่าสาเหตุที่ก่อให้เกิดของเสียสะสม 68% ได้แก่ 1.ค่าความสมดุลของแขนหัวอ่าน (Load cell) 2.การส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation) 3.ค่าแรงยึดของตัวจับยึด (Clamp force) ดังนั้นทั้ง 3 ปัจจัยนี้จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิต

3.2 การกำหนดปัจจัยในการทดลอง

3.2.1 ปัจจัยที่ควบคุม ได้แก่ เครื่องขัดหัวอ่านเขียน (Lapping Machine) และตัวจับยึดแท่งหัวอ่านกับเครื่องหัวอ่านเขียน

3.2.2 ปัจจัยที่คาดว่าจะมีผล ได้แก่ ค่าความสมดุลของแขนหัวอ่าน (Load cell), การส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation) และค่าแรงยึดของตัวจับยึด (Clamp force)

จากปัจจัยที่ควบคุมได้และควบคุมไม่ได้สามารถสรุปเป็นสภาวะการทำงานปกติได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางแสดงสภาวะการทำงานปกติ

ค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด (Load cell)	2.85	Pound
การส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน (Oscillation)	3.5	mil
แรงยึดจับของตัวจับยึด (Clamp force)	175	Psi

4.การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ผลที่เลือกใช้เป็นการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k โดยใช้โปรแกรม Design-Expert ในการออกแบบการทดลองค่าตัว

แปรทั้ง 3 ค่าโดยกำหนดค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดโดยมีค่ากลาง 3 ซ้ำซึ่งจากโปรแกรมจะออกแบบการทดลองได้ทั้งหมด 27 โดย การทดลองทั้ง 27 การทดลองนั้นมาจากการออกแบบการทดลองแบบ 2^3 และทำการการทดลองซ้ำ 3 ครั้งรวมทั้งค่ากลาง (ค่าสภาวะการทำงานปกติ) อีก 3 ครั้งดังตารางที่ 3 และ ตารางที่ 4

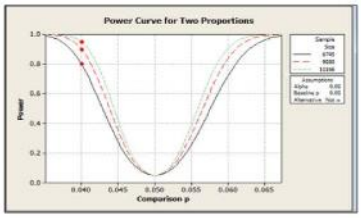
ตารางที่ 3 แสดงค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของตัวแปรทั้ง 3 ที่ใช้ในการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k

Factor	Name	Units	Low	High	Low code	High code
A	Load cell	Pound	2.70	3.00	-1	1
B	Clamp force	Psi	150	200	-1	1
C	Oscillation	mil	3.0	4.0	-1	1

ตารางที่ 4 แสดงค่าการทดลองทั้ง 27 การทดลอง

STD	RUN	Block	Load cell	Clamp force	Oscillation
6	1	Block1	3.00	150	3.0
20	2	Block1	2.70	200	4.0
1	3	Block1	2.70	150	3.0
14	4	Block1	2.70	150	4.0
24	5	Block1	3.00	200	4.0
17	6	Block1	3.00	150	4.0
12	7	Block1	3.00	200	3.0
10	8	Block1	3.00	200	3.0
27	9	Block1	2.85	175	3.5
25	10	Block1	2.85	175	3.5
13	11	Block1	2.70	150	4.0
21	12	Block1	2.70	200	4.0
22	13	Block1	3.00	200	4.0
7	14	Block1	2.70	200	3.0
19	15	Block1	2.70	200	4.0
5	16	Block1	3.00	150	3.0
3	17	Block1	2.70	150	3.0
9	18	Block1	2.70	200	3.0
8	19	Block1	2.70	200	3.0
15	20	Block1	2.70	150	4.0
11	21	Block1	3.00	200	3.0
16	22	Block1	3.00	150	4.0
26	23	Block1	2.85	175	3.5
4	24	Block1	3.00	150	3.0
18	25	Block1	3.00	150	4.0
23	26	Block1	3.00	200	4.0
2	27	Block1	2.70	150	3.0

ซึ่งเมื่อคำนวณสิ่งตัวอย่างเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลของทั้ง 27 การทดลองโดยใช้โปรแกรม Design Expert พบว่าในแต่ละการทดลองนั้นจะต้องใช้สิ่งตัวอย่างในแต่ละการทดลองเท่ากับ 11166 สไลเดอร์หรือเท่ากับประมาณ 180 bars ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงจำนวนสิ่งตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดลอง

5.ผลการทดลอง

จากการออกแบบการทดลองได้ผลการทดลองดังตารางที่5

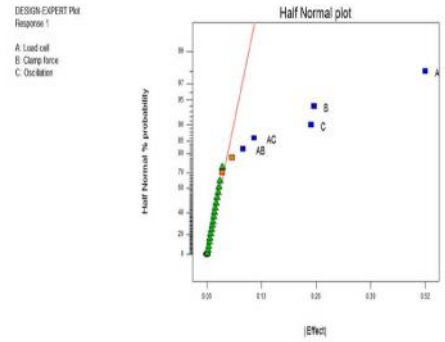
ตารางที่ 5 แสดงผลการทดลองทั้ง 27 การทดลอง

STD	RUN	Block	Load cell	Clamp force	Oscillation	Response
6	1	Block1	3.00	150	3.0	3.52
20	2	Block1	2.70	200	4.0	4.53
1	3	Block1	2.70	150	3.0	4.09
14	4	Block1	2.70	150	4.0	4.39
24	5	Block1	3.00	200	4.0	4.08
17	6	Block1	3.00	150	4.0	3.76
12	7	Block1	3.00	200	3.0	3.98
10	8	Block1	3.00	200	3.0	4.01
27	9	Block1	2.85	175	3.5	3.82
25	10	Block1	2.85	175	3.5	3.80
13	11	Block1	2.70	150	4.0	4.48
21	12	Block1	2.70	200	4.0	4.76
22	13	Block1	3.00	200	4.0	4.11
7	14	Block1	2.70	200	3.0	4.24
19	15	Block1	2.70	200	4.0	4.82
5	16	Block1	3.00	150	3.0	3.62
3	17	Block1	2.70	150	3.0	4.23
9	18	Block1	2.70	200	3.0	4.15
8	19	Block1	2.70	200	3.0	4.34
15	20	Block1	2.70	150	4.0	4.44
11	21	Block1	3.00	200	3.0	3.95
16	22	Block1	3.00	150	4.0	3.71
26	23	Block1	2.85	175	3.5	3.91
4	24	Block1	3.00	150	3.0	3.70
18	25	Block1	3.00	150	4.0	3.85
23	26	Block1	3.00	200	4.0	4.09
2	27	Block1	2.70	150	3.0	4.19

โดยเมื่อนำผลการทดลองไปคำนวณด้วยการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k เพื่อหาค่าตัวแปรหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทาน

ซึ่งจะเห็นได้ว่าจากรูปที่ 4 เป็นการพล็อตกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของผลที่มีต่อค่าความผันแปรของความต้านทาน โดยผลทั้งหมดที่อยู่บนเส้นตรงถือว่ามีผลต่อค่าความต้านทานน้อย ในขณะที่ผลที่มีผลต่อค่าความผันแปรมากจะอยู่ห่างจากเส้นตรงนี้ ซึ่งพบว่าผลของปัจจัยหลักทั้งสามและอันตรกิริยาระหว่างค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัดกับแรงยึดจับของตัวจับยึดและอันตรกิริยาระหว่างค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัดกับการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่านมีผลอย่างมากต่อผลการตอบสนองของการทดลองนี้

และตารางที่ 6 เป็นตารางสรุปการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดลองนี้ซึ่งเราสามารถสรุปได้ว่าจากข้อมูลที่ได้มาปรากฏว่าผลของปัจจัยหลักทั้งสามมีผลอย่างมีนัยสำคัญและอันตรกิริยาระหว่างค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัดกับแรงยึดจับของตัวจับยึดและอันตรกิริยาระหว่างค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัดกับการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่านมีผลอย่างมีนัยสำคัญเช่นกันเนื่องจากค่า P-value น้อยกว่า 0.0001



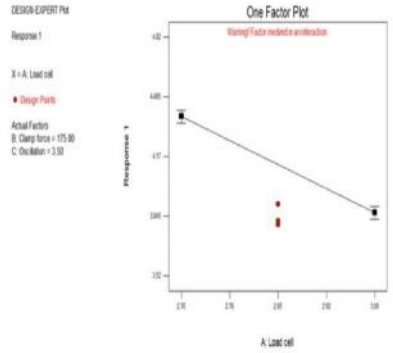
รูปที่ 4 แสดงผลของค่าตัวแปรที่มีผลต่อความผันแปรของความต้านทาน

ตารางที่ 6 ตารางอโนวาแสดงผลของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทาน

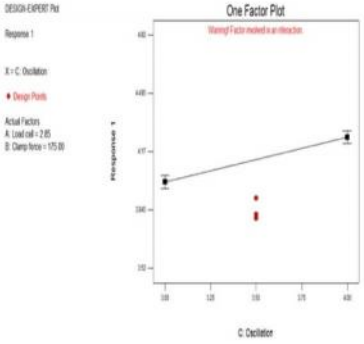
Source	Sum of Square	DF	Mean Square	F Value	Prob>F	
Model	2.526	5	0.507	70.175	<0.0001	Significant
A	1.643	1	1.643	227.389	<0.0001	
B	0.395	1	0.395	54.696	<0.0001	
C	0.375	1	0.375	51.891	<0.0001	
AB	0.045	1	0.045	6.236	0.0214	
AC	0.077	1	0.077	10.664	0.0039	
Curvature	0.214	1	0.214	29.623	<0.0001	Significant
Residual	0.145	20	0.007			
Lack of fit	0.030	2	0.015	2.234	0.1265	Not Significant
Pure Error	0.115	18	0.006			
Cor Total	2.894	26				

Factor	Coefficient Estimate	DF	Standard error	95% CI Low	95% CI High	VIF
Intercept	4.127	1	0.017	4.090	4.163	
A-Load cell	-0.262	1	0.017	-0.298	-0.225	1
B-Clamp force	0.128	1	0.017	0.092	0.165	1
C-Oscillation	0.125	1	0.017	0.089	0.161	1
AB	-0.043	1	0.017	0.007	0.080	1
AC	-0.057	1	0.017	-0.093	-0.020	1
Center Point	-0.283	1	0.052	-0.392	-0.175	1

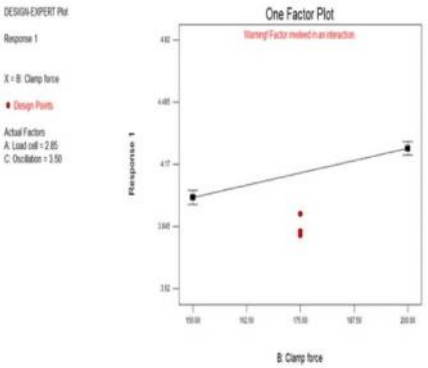
โดยเมื่อพิจารณาจากกราฟหลักทั้งสามปัจจัย จะพบว่าตัวแปรหลักทั้งสามมีหนึ่งปัจจัยที่มีผลในเชิงบวก คือ ค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัดที่ทำให้ค่าความผันแปรของความต้านทานลดลงเมื่อเพิ่มค่าความสมดุลของหัวเครื่อง โดยอีกสองปัจจัยหลักนั้นจะมีผลในเชิงลบ คือ ค่าแรงยึดจับของตัวจับยึดและการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่านที่ทำให้ค่าความผันแปรของความต้านทานสูงขึ้นเมื่อเพิ่มค่าแรงจับยึดของตัวจับยึดและการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่านดังแสดงในรูปที่5, รูปที่6 และ รูปที่7



รูปที่ 5 แสดงผลของปัจจัยหลักค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัดต่อค่าความผันแปรของความต้านทานที่ลดลง

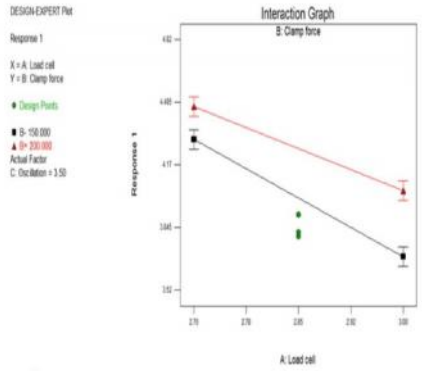


รูปที่ 7 แสดงผลของปัจจัยหลักการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่านต่อค่าความผันแปรของความต้านทานที่เพิ่มขึ้น

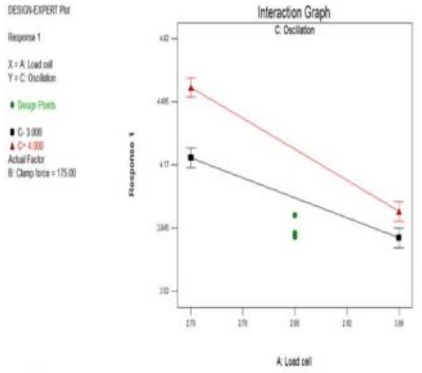


รูปที่ 6 แสดงผลของปัจจัยหลักค่าแรงยึดจับของตัวจับยึดต่อค่าความผันแปรของความต้านทานที่เพิ่มขึ้น

และเมื่อพิจารณากราฟของอันตรกิริยาเพิ่มจะพบว่ามีสองอันตรกิริยาที่มีผลในเชิงบวก คือ อันตรกิริยาระหว่างค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัดกับแรงยึดจับของตัวยึดจับและอันตรกิริยาระหว่างค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัดกับการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่านที่ทำให้ค่าความผันแปรของความต้านทานลดลงเมื่อมีการเพิ่มค่าของอันตรกิริยาทั้งสองดังรูปที่ 8 และรูปที่ 9



รูปที่ 8 แสดงผลของอันตรกิริยาระหว่างค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัดกับแรงยึดจับของตัวยึดจับต่อค่าความผันแปรของความต้านทานที่ลดลง



รูปที่ 9 แสดงผลของอันตรกิริยาระหว่างค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัดกับการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่านต่อค่าความผันแปรของความต้านทานที่ลดลง

จากข้อมูลที่ได้จากค่าตัวแปรหลักและอันตรกิริยานั้นในงานวิจัยนี้ได้ทดลองหาค่าที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการต่อโดยทำการควบคุมค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัดและทำการเปลี่ยนแปลงแรงยึดจับของตัวยึดจับและการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่านซึ่งการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทั้งสองนั้นจะใช้ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดรวมทั้งค่ากลาง โดยได้การทดลองเพิ่มอีก 9 การทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในกระบวนการดังแสดงในตารางที่ 7 พบว่าค่าที่ให้ค่าความผันแปรของความต้านทานที่ต่ำสุดนั้น คือ ค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัดที่ค่าสูงสุด (X2), แรงยึดจับของตัวจับยึดที่ค่าต่ำสุด (Y1) และการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่านที่ค่าต่ำสุด (Z1) ตารางที่ 7 ตารางแสดงการทดลองเพิ่มเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในกระบวนการขัด

การทดลอง	Load cell	Clamp force	Oscillation	SH_Sigma
1	2.85	150	3.0	3.64
2	2.85	150	3.5	3.85
3	2.85	150	4.0	3.82
4	2.85	175	3.0	3.75
5	2.85	175	3.5	3.89
6	2.85	175	4.0	3.88
7	2.85	200	3.0	3.94
8	2.85	200	3.5	3.98
9	2.85	200	4.0	4.02

6.สรุปผลการทดลอง

จากผลการวิจัยเพื่อหาปัจจัยในการลดค่าความผันแปรของความต้านทานพบว่าค่าปัจจัยหลักของค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัด และอันตรกิริยาของค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัดกับการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่าน และอันตรกิริยาของค่าความสมดุลของหัวเครื่องกับค่าการจับยึดของตัวจับยึดเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานและให้ค่าความผันแปรของความต้านทานที่ต่ำที่สุด คือ 3.64 โดยค่าที่เหมาะสมที่จะใช้ควบคุมกระบวนการนั้น คือ ค่าความสมดุลของหัวเครื่องขัดที่ค่ากลาง (2.85 pound), แรงยึดจับของตัวจับยึดที่ค่าต่ำสุด (150 psi) และการส่ายของหัวเครื่องขัดแท่งหัวอ่านที่ค่าต่ำสุด (3 mils)

7.กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยและพัฒนานี้ได้รับการสนับสนุนและความร่วมมือจากสาขาวิชาเครื่องกล (แมคคาทรอนิกส์) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและบริษัท Seagate Technology (Thailand) Ltd อ.สูงเนิน จ.นครราชสีมา

เอกสารอ้างอิง

[1] Prasit Wonglersak, Prakarnkiat Youngkong and Ittipon Cheowanich." PD Compensator for Lapping Process of Hard Disk Drive Heads," World Academy of science, Engineering and Technology 60, pp 926-928. 2011.

[2] วิศิษฎ์ศรี วิยะรัตน์, อนุชา วัฒนาภา และ สิทธิชัย แก้วเกื้อกูล." การลดของเสียในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสท์โดยเทคนิคซิกส์ซิกม่า," การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ.2551 หน้า 394-398. 2551.

[3] เกรียงศักดิ์ แสนสำโรง และ สิริวิชญ์ เตชะเขษฎารังสี." การวิเคราะห์ผลกระทบของอุปกรณ์จับยึดสไลเดอร์บาร์ในกระบวนการขัดเปิดผิวหน้า." วารสารวิชัยมช.13(8) 981-992. 2008.

[4] สุธิดา ปรีชาเดช."Prediction of Silicon Wafer Lapping Time by Artificial Neural Network," วิศวกรรมสาร มก.77, 1-11. 2554.

[5] Yoomin Ahn and Sang-Shin Park, "Surface Roughness and Material Removel Rate of Lapping Process on Ceramics" KSME International Journal. Vol.11, No 5,pp 494-504, 1997.

[6] S.M.Fulmali and R.B.Chadge, "Need of Lapping Machine for Value Component : A Case Study" International Journal of Modern Engineering research. Vol.2, Issue 6,pp 4609-4612, 2012.

[7] Walid Mahmoud Shewakh. "Comparision between Grinding and Lapping of Machined Part Surface Roughness in Micro and Nano Scale" Journal of Mechanical Engineering and Technology. Vol.4. No.1, 2012.

[8] นุสรา ผาระนัตร."การกำหนดปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการขัดหัวอ่านของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเพื่อลดของเสีย" 2555.

ประวัติผู้เขียน

นายวิวัฒน์ ยิ่งสุทธิพันธุ์ สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนวัดสุทธิวราราม พ.ศ. 2540 และสำเร็จการศึกษาระดับชั้นปริญญาตรี จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาเคมี เมื่อ พ.ศ. 2544 และสำเร็จการศึกษาระดับชั้นปริญญามหาบัณฑิตศึกษา จากคณะวิทยาศาสตร์ สาขาเคมีเทคนิค เมื่อ พ.ศ. 2547 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาแมคคาทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และได้สำเร็จการศึกษาเมื่อ พ.ศ. 2556 และมีผลงานวิจัย **“การวิเคราะห์ค่าตัวแปรที่มีผลต่อค่าความผันแปรของความต้านทานในกระบวนการขัดหัวอ่านฮาร์ดดิสท์ไดรท์.”** ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จำนวน 7 หน้า.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี