

การลดคราบน้ำมันที่ชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ



นายันทวัฒน์ นันยา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



5 0 7 0 3 1 8 5 2 1

REDUCTION OF OIL CONTAMINATION ON HARD DISK DRIVE PARTS WITH  
AUTOMATIC HYDROCARBON WASHING MACHINE



Mr. Nuntawat Nunya

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การลดคราบน้ำมันที่ขึ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยเครื่องล้าง  
ไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ

โดย

นายนันท์วัฒน์ นันยา

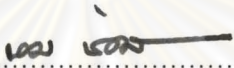
สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหกรรม

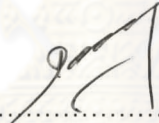
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

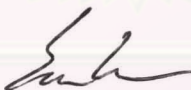
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

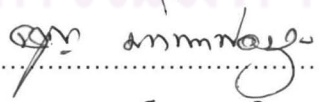
  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมมาภรณ์พิลาศ)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ จรุณ มหิตธาพองกุล)

นวัตกรรม นันยา : การลดคราบน้ำมันที่ขึ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ. (REDUCTION OF OIL CONTAMINATION ON HARD DISK DRIVE PARTS WITH AUTOMATIC HYDROCARBON WASHING MACHINE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตลิตเจริญ, 141 หน้า.

จุดมุ่งหมายของการวิจัยนี้ เพื่อศึกษาการลดคราบน้ำมันที่ขึ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ โดยจะพิจารณาจากร้อยละของของเสียของขึ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมันน้อยที่สุด และประยุกต์ใช้วิธีการของทาคุชิและวิธีพื้นผิวผลตอบ การทดลองถูกออกแบบขึ้นโดยวิธีการของทาคุชิ ซึ่งเมทริกซ์การทดลองประกอบด้วย พารามิเตอร์ของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติทั้ง 9 พารามิเตอร์ จากการทดลองพบว่า ทุกพารามิเตอร์มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 โดยที่อุณหภูมิของถังแวกคัม (vacuum tank) เป็นพารามิเตอร์หลักที่มีผลต่อร้อยละของของเสียของขึ้นส่วนที่มีคราบน้ำมัน รองลงมา คือ รอบเวลาของถังทรายเออร์ (dryer tank), รอบเวลาของสเปรย์ภายในถังทรายเออร์, รอบเวลาของถังดิพพิงที่ 2 (dipping tank no.2), รอบเวลาของถังดิพพิงที่ 1 (dipping tank no.1), รอบเวลาของถังเวทิง (waiting tank), รอบเวลาของถังอัลตราโซนิก (ultrasonic tank), รอบเวลาของถังแวกคัม และอุณหภูมิของถังทรายเออร์ ตามลำดับ

จากนั้น สร้างสมการกำลังสองของร้อยละของของเสียของขึ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมัน โดยใช้วิธีพื้นผิวผลตอบ ซึ่งสมการที่ประสิทธิภาพและสามารถนำไปพยากรณ์ ร้อยละของของเสียได้ด้วยระดับความเชื่อมั่น 95% และได้พารามิเตอร์ของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนที่สภาวะเหมาะสม คือ อุณหภูมิของถังแวกคัม 44.9495 °C, อุณหภูมิของถัง ทรายเออร์ 90 °C, รอบเวลาของถังดิพพิงที่ 1 150 วินาที, รอบเวลาของถังดิพพิงที่ 2 150 วินาที, รอบเวลาของถังอัลตราโซนิก 210 วินาที, รอบเวลาของถังเวทิง 210 วินาที, รอบเวลาของถังแวกคัม 210 วินาที, รอบเวลาของถังทรายเออร์ 658.182 วินาที และรอบเวลาของสเปรย์ภายในถังทรายเออร์ 247.879 วินาที การวิจัยนี้สามารถลดร้อยละของของเสียของขึ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมันจากร้อยละ 2.565 เหลือร้อยละ 0.127

ภาควิชา.....วิศวกรรมอุตสาหกรรม.....ลายมือชื่อนิสิต.....  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมอุตสาหกรรม.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
ปีการศึกษา.....2553.....

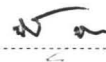
# # 5070318521 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : HARD DISK DRIVE PART/ PERCENTAGE OF DEFECTIVES/ OIL CONTAMINATION/ TAGUCHI METHOD/ RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

NUNTAWAT NUNYA : REDUCTION OF OIL CONTAMINATION ON HARD DISK DRIVE PARTS WITH AUTOMATIC HYDROCARBON WASHING MACHINE. THESIS ADVISOR : ASST.PROF.SOMKIAT TANGJITSITCHAROEN, D.Eng, 141 pp.

The aim of this research is to study the reduction of the oil contamination on hard disk drive parts using the automatic hydrocarbon washing machine. The washing conditions have been evaluated with the use of Taguchi method and response surface methodology. The optimal washing conditions have been determined to minimise the percentage of defectives of oil contamination. It is found that all parameters are high significance level of 0.05. The temperature of vacuum tank is the dominant parameter affecting the percentage of defectives of oil contamination, following by the cycle time of dryer tank, the cycle time of spray in dryer tank, the cycle time of dipping tank no.2, the cycle time of dipping tank no.1, the cycle time of waiting tank, the cycle time of hydrocarbon tank, the cycle time of vacuum tank and the temperature of dryer tank, respectively.

A second-order response surface model for the percentage of defectives of oil contamination has been developed from the observed data. The predicted model can be effectively used to predict the percentage of defectives of oil contamination by using the automatic hydrocarbon washing machine with 95% confidential level. The washing conditions from the response optimization are the 44.9495 °C of vacuum tank of, the 90 °C of dryer tank of, the cycle time of dipping tank no.1 of 150 sec, the cycle time of dipping tank no.2 of 150 sec, the cycle time of ultrasonic tank of 210 sec, the cycle time of waiting tank of 210 sec, the cycle time of vacuum tank of 210 sec, the cycle time of dryer tank of 658.182 sec, and the cycle time of spray in dryer tank of 247.879 sec. This research can reduce the percentage of defectives of oil contamination from 2.565% to 0.127%.

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

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

Academic Year : .....2010.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี โดยความช่วยเหลือจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเสียสละให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาของการวิจัย รวมถึงทุนการวิจัยครั้งนี้ได้รับสนับสนุนจากบริษัท อินทิเกรเทด พรินซ์ตัน เอ็นจิเนียริง (ประเทศไทย) จำกัด จึงขอขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ และรองศาสตราจารย์จรูญ มหิทธิภาพองกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง พร้อมทั้งให้ข้อคิดเห็นเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และความช่วยเหลือ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยสนับสนุน และให้กำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบคุณ พี่ๆ น้องๆ และผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	10
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	11
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	11
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....	11
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	13
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	41
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	48
3.1 การออกแบบการทดลอง .....	48
3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	68
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล .....	69

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	70
4.1 ผลการวิเคราะห์.....	70
4.2 อิทธิพลของปัจจัยที่มีต่อสัดส่วนของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมัน.....	89
4.3 การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ.....	75
4.4 การหาสภาวะที่เหมาะสม.....	95
4.5 การทดสอบยืนยันผล.....	97
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	100
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	100
5.2 อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	101
รายการอ้างอิง.....	103
ภาคผนวก.....	106
ภาคผนวก ก คู่มือการใช้งานของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ.....	107
ภาคผนวก ข สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	137
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	141



## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 : การล้างแบบต่าง ๆ ที่โรงงานกรณีศึกษาใช้ในปัจจุบัน .....	2
1.2 : ปริมาณชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันกับปริมาณเอาท์พุทของชิ้นงาน.....	2
1.3 : ส่วนประกอบของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ .....	5
1.4 : คอมโพเนนท์ของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ.....	8
1.5 : ลักษณะการทำงานของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ.....	8
2.1 : พัฒนาการของการออกแบบการทดลอง .....	17
2.2 : รายละเอียดของตารางออกทอกอนอล อะเรย์.....	20
2.3 : ตารางออกทอกอนอล อะเรย์มาตรฐาน $L_8$ .....	21
2.4 : การกำหนดจำนวนตัวอย่างสำหรับการทดลองของข้อมูลชนิดต่อเนื่องสำหรับออกทอกอนอล อะเรย์ $L_8$ .....	24
2.5 : การกำหนดจำนวนตัวอย่างสำหรับการทดลองของข้อมูลชนิดไม่ต่อเนื่องสำหรับออกทอกอนอล อะเรย์ $L_8$ .....	25
2.6 : ตัวอย่างตารางปัจจัยร่วมระหว่างคอัลล์มันน์ $L_{16}(2^{15})$ .....	26
2.7 : รูปแบบข้อมูลจากการทดลอง .....	34
2.8 : ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน .....	34
3.1 : สรุปเหตุและผลของปัญหาที่เกี่ยวกับการลดคราบน้ำมันของชิ้นงานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ .....	49
3.2 : สรุประดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลองของการลดคราบน้ำมันบนชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ .....	56
3.3 : ตารางออกทอกอนอล อะเรย์ $L_{27}(3^{13})$ ของทากูชิ .....	57
3.4 : ตารางปัจจัยร่วมระหว่างคอัลล์มันน์ $L_{27}$ .....	60
3.5 : ตารางออกทอกอนอล อะเรย์ $L_{27}(3^{13})$ ของการทดลอง.....	61
3.6 : ตารางออกทอกอนอล อะเรย์ $L_{27}$ ของการทดลอง .....	62

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
3.7 : ตารางลำดับการทดลอง.....	64
3.8 : ตารางที่ใช้ในการเก็บข้อมูลของการทดลอง.....	68
4.1 : ผลการทดลองของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด Shaft Aries .....	70
4.2 : ผลการทดลองของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด Sleeve Aries.....	71
4.3 : S/N Ratio ของผลการทดลองของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด Shaft Aries.....	73
4.4 : S/N Ratio ของผลการทดลองของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด Sleeve Aries .....	74
4.5 : Response table สำหรับ S/N ratios ของร้อยละของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด Shaft Aries ที่มีคราบน้ำมันของพารามิเตอร์ของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ .	75
4.6 : ตาราง ANOVA สำหรับค่า S/N Ratio ของร้อยละของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด Shaft Ariesที่มีคราบน้ำมัน .....	77
4.7 : Response table สำหรับ S/N ratios ของร้อยละของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด Sleeve Aries ที่มีคราบน้ำมันของพารามิเตอร์ของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ82	82
4.8 : ตาราง ANOVA สำหรับค่า S/N Ratio ของร้อยละของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด Sleeve Aries ที่มีคราบน้ำมัน .....	84
4.9 : ตาราง ANOVA สำหรับพื้นผิวผลตอบสำหรับร้อยละของชิ้นส่วนที่มีคราบน้ำมัน .....	90
4.10 : สรุปสถานะที่เหมาะสมในการลดคราบน้ำมันบนชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ .....	97
4.11 : ร้อยละของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมันของการทดลองยืนยันผล .....	98
4.12 : การทดสอบ t-test ของร้อยละของชิ้นส่วนที่มีคราบน้ำมันของการทดลองยืนยันผล99	99

## สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 : คราบน้ำมันบนชิ้นงาน.....	1
1.2 : แผนภาพแสดงร้อยละของของเสียสำหรับชิ้นงานตัวอย่าง ในเดือน มกราคม 2552.....	3
1.3 : แผนภาพแสดงร้อยละของของเสียสำหรับชิ้นงานตัวอย่าง ในเดือน กุมภาพันธ์ 2552.....	3
1.4 : เครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ.....	4
1.5 : โมเดลของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ.....	4
1.6 : basket ใส่ชิ้นงาน.....	10
2.1 : แผนภาพพาเรโต.....	13
2.2 : แผนภาพเหตุและผล.....	15
2.3 : สัญลักษณ์ของตารางออกทอกอนอด อะเรย์.....	19
2.4 : กราฟเชิงเส้น $L_4(2^3)$ .....	25
2.5 : การแจกแจงความน่าจะเป็นของ F.....	33
2.6 : ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมตามสมมติฐาน ( $\dot{F}(x)$ ) และฟังก์ชันการแจกแจงสะสมจากตัวอย่าง ( $S(x)$ ).....	41
3.1 : ผังแสดงเหตุและผลของปัญหาเกี่ยวกับการลดคราบน้ำมันสำหรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ ไดรฟ์ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ.....	49
3.2 : กราฟเชิงเส้นของการทดลอง.....	58
3.3 : กราฟเชิงเส้นมาตรฐาน $L_{27}(3^{13})$ .....	59
3.4 : กราฟเชิงเส้น $L_{27}(3^{13})$ ของการทดลอง.....	61
3.5 : Shaft Aries.....	66
3.6 : โมเดลของ Shaft Aries.....	66
3.7 : Sleeve Aries.....	67

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3.8 : โมเดลของ Sleeve Aries.....	67
3.9 : ชิ้นงานที่มีคราบน้ำมัน.....	68
4.1 : กราฟของค่า S/N ratio เฉลี่ยของร้อยละของชิ้นส่วน Shaft Aries ที่มีคราบน้ำมันที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ.....	76
4.2 : Residual Plot ของผลตอบของการทดลองของ Shaft Aries.....	80
4.3 : Probability Plot ของผลตอบของการทดลองของ Shaft Aries.....	80
4.4 : กราฟของค่า S/N ratio เฉลี่ยของร้อยละของชิ้นส่วน Shaft Aries ที่มีคราบน้ำมันที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ.....	83
4.5 : Residual Plot ของผลตอบของการทดลองของ Sleeve Aries.....	85
4.6 : Probability Plot ของผลตอบของการทดลองของ Sleeve Aries.....	85
4.7 : Contour Plot ของร้อยละของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมันที่รอบเวลาของถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8) กับรอบเวลาของถังทรายเออร์ ที่รอบเวลาของสเปรย์ในถังทรายเออร์ .....	91
4.8 : Surface Plot ของร้อยละของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมันที่รอบเวลาของถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8) กับรอบเวลาของถังทรายเออร์ ที่รอบเวลาของสเปรย์ในถังทรายเออร์ .....	92
4.9 : Contour Plot ของร้อยละของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมันที่รอบเวลาของถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8) กับรอบเวลาของสเปรย์ภายในถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8) ที่อุณหภูมิของถังทรายเออร์ : ก) 90 °C, ข) 100 °C และ ค) 110 °C.....	93
4.10 : Surface Plot ของร้อยละของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมัน ที่รอบเวลาของถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8) กับรอบเวลาของสเปรย์ภายในถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8) ที่อุณหภูมิของถังทรายเออร์ : ก) 90 °C, ข) 100 °C และ ค) 110 °C.....	94

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

4.11 : Contour Plot ของร้อยละของชั้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมัน ณ อุณหภูมิของ ถังแวกคัม (ถังที่ 5-6) กับรอบเวลาของถังแวกคัม).....	95
4.12 : สภาวะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยในการลดคราบน้ำมันบนชั้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ.....	95
4.13 : Probability Plot ของผลการทดลองยืนยันผล.....	98



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

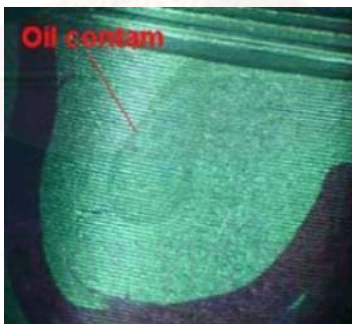
## บทที่ 1

### บทนำ

#### ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในสภาวะปัจจุบัน สิ่งที่มีการพัฒนาควบคู่ไปกับอุตสาหกรรมต่างๆ ก็คือ ระบบข้อมูลข่าวสาร ที่ต้องมีความเที่ยงตรงและแม่นยำ และอุปกรณ์ที่นำมาใช้เพื่ออำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานในปัจจุบัน ก็คือ คอมพิวเตอร์ ซึ่งฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ก็เป็นหนึ่งในอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างมากที่จะทำให้ข้อมูลสำคัญ ซึ่งเราต้องการสำรองหรือเก็บไว้มีความปลอดภัยและไม่เกิดการสูญหายขึ้น

หากแต่ตัวชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จัดเป็นชิ้นงานที่มีความละเอียดและต้องการความเที่ยงตรงสูง ซึ่งในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้นต้องมีกระบวนการตัดชิ้นงานโดยใช้ Cutting Oil ช่วยในการตัด จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการล้างชิ้นงาน เพื่อทำความสะอาดชิ้นงานให้มีความสะอาดสูงสุด แต่บ่อยครั้งที่พบปัญหาคราบน้ำมัน (Oil Contamination) ซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ 2.1 บนตัวชิ้นงาน อันเนื่องมาจากการล้างชิ้นงานที่ยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ จึงทำให้ชิ้นงานยังไม่สะอาดเพียงพอ รวมถึงอาจเกิดจากการที่ไม่มีการปิดตัวชิ้นงานให้มิดชิด ทำให้ละอองน้ำมันที่ปะปนอยู่ในอากาศเกาะที่ตัวชิ้นงานได้



ภาพที่ 1.1 คราบน้ำมันบนชิ้นงาน

การลดคราบน้ำมันออกจากตัวชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จึงเป็นสิ่งที่ผู้ผลิตต้องควบคุมจัดการ เนื่องจากคราบน้ำมัน อาจจะทำให้เกิดการสึกหรอและความผิดพลาดในการทำงานกับอุปกรณ์อื่น ๆ รวมถึงการเกิดการไม่ยอมรับจากลูกค้า ทำให้สูญเสียรายได้แก่ทางบริษัททั้งทางตรงและทางอ้อมได้

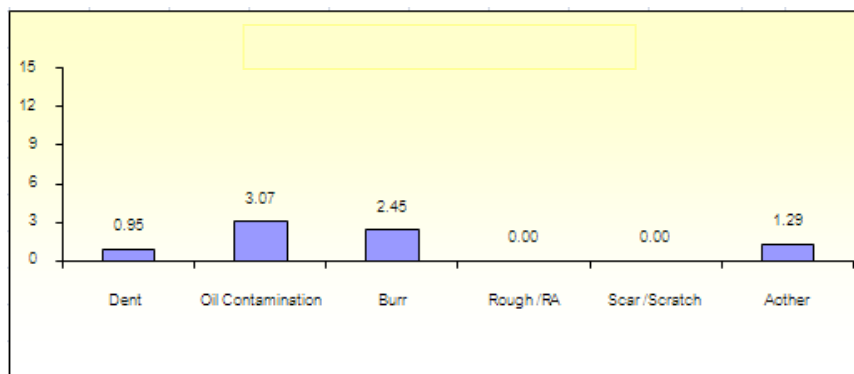
โรงงานกรณีศึกษา เป็นหนึ่งในโรงงานที่พบปัญหาการล้างคราบน้ำมันในกระบวนการล้าง (Washing Process) ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ จึงส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการแข่งขัน ซึ่งที่จริงแล้วทางโรงงานกรณีศึกษามีกระบวนการล้างอยู่มากมายหลายวิธี ดังตารางที่ 1.1 แต่ทว่า ยังไม่มีประสิทธิภาพสูงพอ เนื่องจากยังพบปริมาณชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ คือ 2 เปอร์เซ็นต์อยู่เสมอๆ เช่น ในชิ้นงานตัวอย่างพบว่า ร้อยละของจำนวนชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันในเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ 2552 เท่ากับ 3.07 และ 2.06 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้

ตารางที่ 1.1 การล้างแบบต่างๆ ที่โรงงานกรณีศึกษาใช้ในปัจจุบัน

Process	Washing						Washing auto		Hydrocarbon		Tumbling		
	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5	Mode 6	Mode 1	Mode 2	Mode 1	Mode 2	Mode 1	Mode 2	Mode 3
1	Solvent	Solvent	Solvent	Solvent	Solvent	ARX55	Solvent	Solvent	Solvent (tank)	Air blow	Lipon-F	Lipon-F	Lipon-F
2	Methylene chloride (Ultrasonic)	Lipon-F	Lipon-F	Lipon-F	Lipon-F	Hold dry (ARX55)	Program 1 (Part in put)	Program 1 (Part in put)	Hydrocarbon	Hydrocarbon	Rinse 1,2	Rinse 1,2	Rinse 1,2
3	Oven	Rinse 1,2	Rinse 1,2	Rinse 1,2	Rinse 1,2	Move to W.I.P.	Program 2 (Lipon-F)	Program 2 (Lipon-F)	Cool down	Cool down	SFC2288 (Ultrasonic)	Dipso 91 (Ultrasonic)	SFC2288 (Ultrasonic)
4	Cool down	AT-DW (Tank)	AT-DW (Tank)	AT-DW (Tank)	SFC2288 (Ultrasonic)		Program 4 (Water)	Program 4 (Water)	Move to W.I.P.	Move to W.I.P.	Rinse 3,4	Rinse 3,4	Rinse 3,4
5	Move to W.I.P.	AT-DW (Ultrasonic)	AT-DW (Ultrasonic)	AT-DW (Ultrasonic)	Rinse 3,4		Program 3 (Sfc2288)	Program 3 (Sfc2288)			Tumbling	SFC2288 (Ultrasonic)	Tumbling
6		Rinse 3,4	Rinse 3,4	Rinse 3,4	Air blow		Program 5 (Water)	Program 5 (Water)			Rinse 3,4	Rinse 3,4	Rinse 3,4
7		SFC2288 (Ultrasonic)	SFC2288 (Ultrasonic)	AT-DW (Ultrasonic)	Move to W.I.P.		Program 6 (Water)	Program 6 (Water)			Spin dry	Tumbling	Air blow
8		Rinse 3,4	Rinse 3,4	Rinse 3,4			Program 7 (SFC2288)	Program 7 (SFC2288)			Oven	Rinse 3,4	Methylene chloride (Ultrasonic Auto)
9		Air blow	Air blow	Air blow			Program 8 (Water)	Program 8 (Water)			Cool down	Spin dry	Oven
10		Oven	Methylene chloride (Ultrasonic)	Methylene chloride (Ultrasonic)			Program 9 (Water)	Program 9 (Water)			Move to W.I.P.	Oven	Cool down
11		Cool down	Oven	Oven			Program 10 (Water)	Program 10 (Water)				Cool down	Move to W.I.P.
12		Move to W.I.P.	Cool down	Cool down			Program 11 (Part out put)	Program 11 (Part out put)				Move to W.I.P.	
13			Move to W.I.P.	Move to W.I.P.			Air blow	Air blow					
14							ARX-55	Move to W.I.P.					
15							Move to W.I.P.						

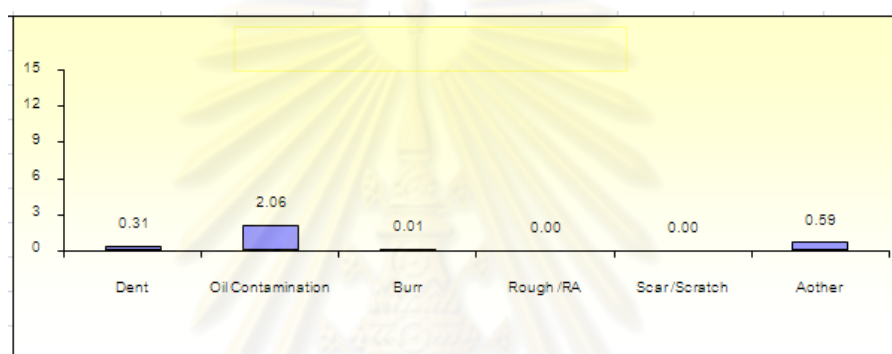
ตารางที่ 1.2 ปริมาณชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันกับปริมาณ Output ของชิ้นงานตัวอย่าง (เพิ่งเริ่มทำการผลิตในเดือนมกราคม 2552 เป็นเดือนแรก)

070336-103 ชิ้นงานตัวอย่าง	Output (ชิ้น)	จำนวนชิ้นงานที่มีคราบน้ำมัน (ชิ้น)	%Ng
มกราคม 2552	17,872	549	3.07
กุมภาพันธ์ 2552	29,232	602	2.06
รวม	47,104	1,151	5.13
เฉลี่ย	23,552	575.5	2.565



ภาพที่ 1.2 แผนภาพแสดงร้อยละของของเสียสำหรับชิ้นงานตัวอย่างในเดือนมกราคม

2552



ภาพที่ 1.3 แผนภาพแสดงร้อยละของของเสียสำหรับชิ้นงานตัวอย่างในเดือนกุมภาพันธ์

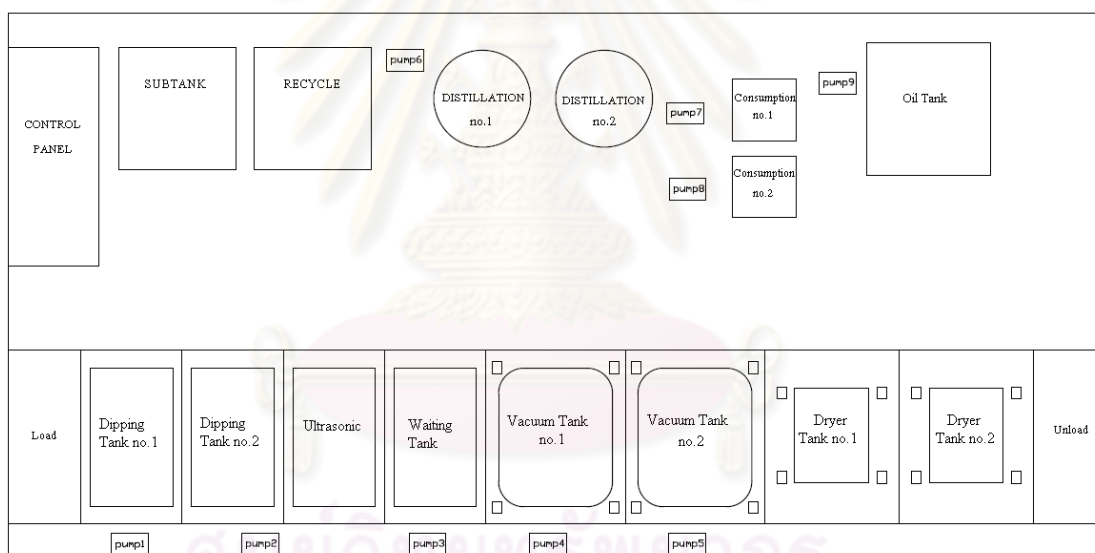
2552

เพื่อแก้ไขปัญหาการที่เกี่ยวกับคราบน้ำมันบนชิ้นงานต่างๆ และปัญหาการล้างที่ยังไม่มีประสิทธิภาพสูงพอ เครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติจึงถูกออกแบบและพัฒนาขึ้น ดังภาพที่ 1.4 โดยมีโมเดลของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ แสดงดังภาพที่ 1.5 ซึ่งศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตขั้นสูงและวิศวกรรมเพียงตรง ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและโรงงานกรณีศึกษาได้ร่วมกันพัฒนาขึ้น เพื่อใช้ในการลดคราบน้ำมันสำหรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยสารละลายไฮโดรคาร์บอน เพื่อมีจำนวนชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันลดน้อยลงให้มากที่สุดหรือแทบไม่มีเลย (Zero Defect) ซึ่งเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติดังกล่าวมีส่วนประกอบและลักษณะการทำงาน ดังตารางที่ 1.3 และ 1.4 ตามลำดับ





ภาพที่ 1.4 เครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ



ภาพที่ 1.5 โมเดลของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1.3 ส่วนประกอบของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ

Part	Tank name	Components	Quantity	Dimension (millimeters)
Front part	Dipping tank no.1	Tank SUS304	1	500 x 600 x 650
		Liquid level sensor	1	
	Dipping tank no.2	Tank SUS304	1	500 x 600 x 650
		Lifter set	1	
		Housing Filter SUS304 10"	1	
		Pump	1	
		Strainer	1	
		Sensor	1	
	Ultrasonic tank	Tank SUS304	1	500 x 600 x 750
		Ultrasonic Generator with Transducer 1800W 28 kHz.	1	
		Lifter set	1	
		Housing Filter SUS304 10" (the same set of Dipping Tank no.2)	1	
		Pump (the same set of Dipping Tank no.2)	1	
		Strainer (the same set of Dipping Tank no.2)	1	
		Sensor	1	
	Waiting tank	Tank SUS304	1	500 x 600 x 650
		Lifter set	1	
		Housing Filter SUS304 5"	1	
		Pump	1	
		Strainer	1	
Sensor		1		

Part	Tank name	Components	Quantity	Dimension (millimeters)	
	Vacuum tank no.1	Tank SUS304	1	Ø779 x 630	
		Ultrasonic Generator with Transducer 1800W 40KHz.	1		
		Lifter set	1		
		Housing Filter SUS304 5"	1		
		Pump	1		
		Strainer	1		
		Sensor	1		
		Pressure sensor	1		
Front part	Vacuum tank no.2	Tank SUS304	1	Ø779 x 630	
		Ultrasonic Generator with Transducer 1800W 40KHz	1		
		Lifter set	1		
		Housing Filter SUS304 5"	1		
		Pump	1		
		Strainer	1		
		Sensor	1		
		Pressure sensor	1		
	Dryer tank no.1	Dryer tank no.1	Tank SUS304	1	506 x 600 x 750
			Sensor	1	
			Pressure sensor	1	
	Dryer tank no.2	Dryer tank no.2	Tank SUS304	1	506 x 600 x 750
			Sensor	1	
			Pressure sensor	1	
Back part	Oil tank	Tank SUS304	1	565 x 565 x 1225	
		Pump	1		
		Strainer	1		
		Sensor	1		
	Consumption tank no.1	Consumption tank no.1	Tank SUS304	1	400 x 400 x 420
			Pump	1	

Part	Tank name	Components	Quantity	Dimension (millimeters)
		Strainer	1	
		Sensor	1	
	Consumption tank no.2	Tank SUS304	1	400 x 400 x 420
		Pump	1	
		Strainer	1	
		Sensor	1	
	Distillation tank no.1	Tank SUS304	1	Ø490 x 820
		Pump	1	
		Strainer	1	
		Sensor	1	
	Distillation tank no.2	Tank SUS304	1	Ø490 x 820
		Pump (the same set of Distillation tank no.1)	1	
		Strainer (the same set of Distillation tank no.1)	1	
		Sensor	1	
		Components	Quantity	
Tank SUS304		1		
Pump (the same set of Distillation tank no.1)		1		
Strainer (the same set of Distillation tank no.1)		1		
Sensor		1		
Tank SUS304		1		
Pump		1		
Housing Filter SUS304 10"		1		
Strainer		1		
Sensor	1			

ตารางที่ 1.4 คอมโพเนนต์ของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ

Section	Pre-washing			
Tank name	Dipping tank no.1	Dipping tank no.2	Ultrasonic tank	Waiting tank
Ultrasonic			28KHz.	
Lifter		✓	✓	
Pump	✓	✓	✓	✓
Filter	✓	✓	✓	✓
Vacuum				
Section	Hydrocarbon washing			
Tank name	Vacuum tank no.1	Vacuum tank no.2	Dryer tank no.1	Dryer tank no.2
Ultrasonic	40KHz.	40KHz.		
Lifter	✓	✓		
Pump	✓	✓		
Filter	✓	✓		
Vacuum	✓	✓	✓	✓

ตารางที่ 1.5 ลักษณะการทำงานของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ

Tank no.	Section	Tank Name	Hydrocarbon Solvent	การทำงาน
1	Pre-washing	Dipping tank no.1	Part Cleaner	เป็นถังที่รองรับชิ้นงานที่จะมาจุ่ม/แช่ลงใน Part Cleaner solvent เพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นงานสัมผัสกับอากาศและเป็นการเตรียมชิ้นงานก่อนนำไปล้างใน tank ถัดไป
2	Pre-washing	Dipping tank no.2	Careclean PC Hydrocarbon	เป็นถังให้ Lifer ทำงาน โดยที่ Lifer จะทำการเขย่าชิ้นงานให้คราบน้ำมันหลุดออกจากชิ้นงาน ใน Careclean PC Hydrocarbon solvent

Tank no.	Section	Tank Name	Hydrocarbon Solvent	การทำงาน
3	Pre-washing	Ultrasonic tank no.2 (คลื่นอัลตราโซนิก 28 KHz)	Careclean PC Hydrocarbon	เป็นถังซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างคลื่น Ultrasonic กับ Lifter โดยที่ Lifter จะทำการเขย่าชิ้นงานให้คราบน้ำมันหลุดออกจากชิ้นงาน และแตกตัวออกด้วยคลื่นอัลตราโซนิกที่มีความถี่ 28 KHz)
4	Pre-washing	Waiting tank	Careclean PC Hydrocarbon	เป็นถังที่จะมี lifter ทำการเขย่าชิ้นงานใน Hydrocarbon Solvent .ในสถานะปกติ
5	Hydrocarbon washing	Vacuum tank no.1 (คลื่นอัลตราโซนิก 40 KHz)	Careclean PC Hydrocarbon	เป็นถังซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างคลื่น Ultrasonic, Lifter และความชื้น โดยที่ Lifter จะทำการเขย่าชิ้นงานให้คราบน้ำมันหลุดออกจากชิ้นงาน และแตกตัวออกด้วยคลื่นอัลตราโซนิกที่มีความถี่ 40 KHz และมีความชื้นช่วยในการเร่งการแตกตัว
6	Hydrocarbon washing	Vacuum tank no.2 (คลื่นอัลตราโซนิก 40 KHz)	Careclean PC Hydrocarbon	เหมือน tank 5
7	Hydrocarbon washing	Dryer tank no.1	Careclean PC Hydrocarbon	เป็นถัง ซึ่งใช้ความร้อนและละอองสเปร์รี่ของ Hydrocarbon solvent ในการอบชิ้นงาน เพื่อระเหยคราบน้ำมันให้ออกจากชิ้นงาน

Tank no.	Section	Tank Name	Hydrocarbon Solvent	การทำงาน
8	Hydrocarbon washing	Dryer tank no.2	Careclean PC Hydrocarbon	เหมือน tank 8

นอกจากนี้ เครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติเครื่องนี้ มีความสามารถในการกลั่นเท่ากับ 128,000 BTU, 380 V, 1 HP, 2.5-3 Bar, 150 Litre/minute, ถังกลั่น มีความจุ SS304, 300 ลิตร และใช้ basket ใส่ชิ้นงาน โดยแต่ละ basket บรรจุได้สูงสุด 8 trays (ประมาณ 1,232 ชิ้นงาน) ดังภาพที่ 1.6



ภาพที่ 1.6 basket ใส่ชิ้นงาน

### วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อลดคราบน้ำมันสำหรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติของโรงงานกรณีศึกษา โดยใช้วิธีพื้นผิวผลตอบและวิธีการของทาภูชิ รวมถึงเทคนิคอื่น ๆ ทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการลดคราบน้ำมันสำหรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ

### ขอบเขตงานวิจัย

1. เนื่องด้วยข้อจำกัดในด้านวัตถุดิบทางตรงและคำสั่งผลิต จึงจำกัดขอบเขตของการศึกษาการลดคราบน้ำมัน ด้วยการศึกษาในรูปแบบต่อไปนี้ นั่นคือ
 

ชิ้นงานที่ใช้ศึกษา	Shaft Aries และ Sleeve Aries
Cutting oil	Castrol Vario Cut C825, Ilocut 734, etc.
สารทำความสะอาดชิ้นงาน	Careclean PC Hydrocarbon
สารละลายไฮโดรคาร์บอน	Part Cleaner
2. ทำการศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ของการล้างด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ
3. ควบคุมคุณลักษณะของวัตถุดิบและชิ้นงาน
  - ชนิดของโลหะที่ใช้ผลิตชิ้นงานต้องเป็นชนิดเดียวกัน
  - ก่อนนำชิ้นงานทั้งหมดเข้ามาในการล้างด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ ทุกชิ้นงานต้องมีสภาพของชิ้นงานเหมือนกัน โดยกระบวนการก่อนหน้าจะต้องทำการควบคุมการผลิตให้เหมือนกันทุกครั้ง
4. ทำการควบคุมเครื่องจักร โดยใช้เครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติเครื่องเดียวเท่านั้น

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดคราบน้ำมันสำหรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติของโรงงานกรณีศึกษาได้
2. ทราบถึงปัจจัยที่เหมาะสมในการล้างด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติได้
3. กระบวนการล้างมีเสถียรภาพ และมีประสิทธิภาพมากขึ้น
4. เป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพสำหรับผลิตภัณฑ์และกระบวนการอื่น ๆ ต่อไป

### ขั้นตอนการทำวิจัย

1. ศึกษาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงงาน
2. สัมภาษณ์งานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
3. ศึกษากระบวนการทำงานและปัจจัยที่ต้องควบคุมในการล้างด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ และเลือกปัจจัยที่สำคัญที่จะทำการศึกษา พร้อมทั้งกำหนดขอบเขตของการวิจัย



4. นำปัจจัยที่เลือกมาทำการออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีพื้นผิวผลตอบและวิธีการของ ทาภูติ
5. ดำเนินการทดลอง และเก็บรวบรวมข้อมูล
6. ทำการวิเคราะห์ผล เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย
7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

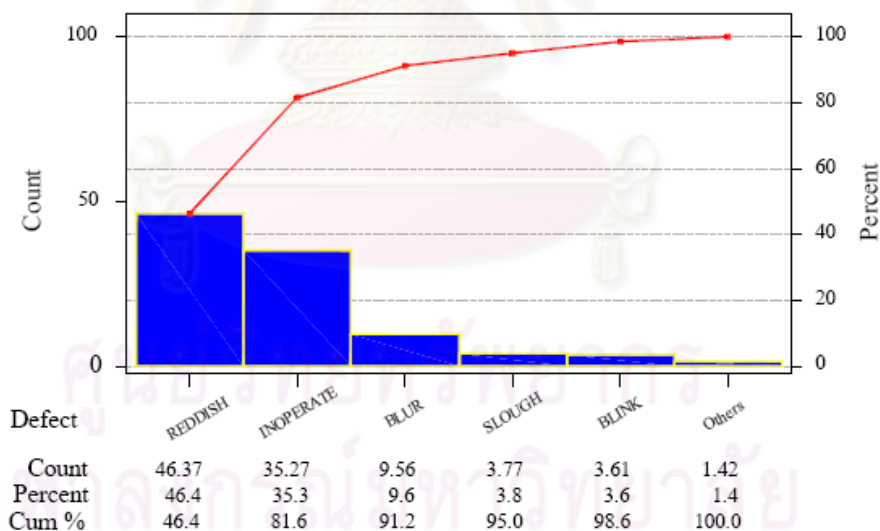
## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 แผนภาพพาเรโต

แผนภาพพาเรโต คือ ผังหรือแผนภูมิ หรือกราฟแท่งที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า หรือขนาดหรือความถี่ในการตรวจพบปัญหา หรือหน่วยวัด หรือลักษณะจำเพาะควบคุมใด ๆ ที่มีการจำแนกประเภทออกจากกัน และเขียนต่อกันโดยเรียงลำดับตามความสำคัญ ซึ่งเป็นเครื่องมือทางสถิติอีกตัวหนึ่งที่ใช้เพื่อแสดงให้เห็นถึงรายการ/จำนวน ประเภท หรือชนิดต่างๆ ของเหตุการณ์ หรือสถานการณ์อันพึงประสงค์ต่างๆ พร้อมกับระบุขนาดของความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่น่าเสนอนั้น โดยแผนภาพดังกล่าวจะอาศัยหลักการพาเรโตที่ระบุไว้ถึง “สิ่งที่มีความสำคัญมากจำนวนเล็กน้อย (The Vital Few) และสิ่งที่มีความสำคัญเพียงเล็กน้อยจำนวนมากมาย (The Trivial Many)” แสดงดังภาพที่ 2.1

Parato Chart for Quality Problem



ภาพที่ 2.1 แผนภาพพาเรโต

การสร้างแผนภาพพาเรโต มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

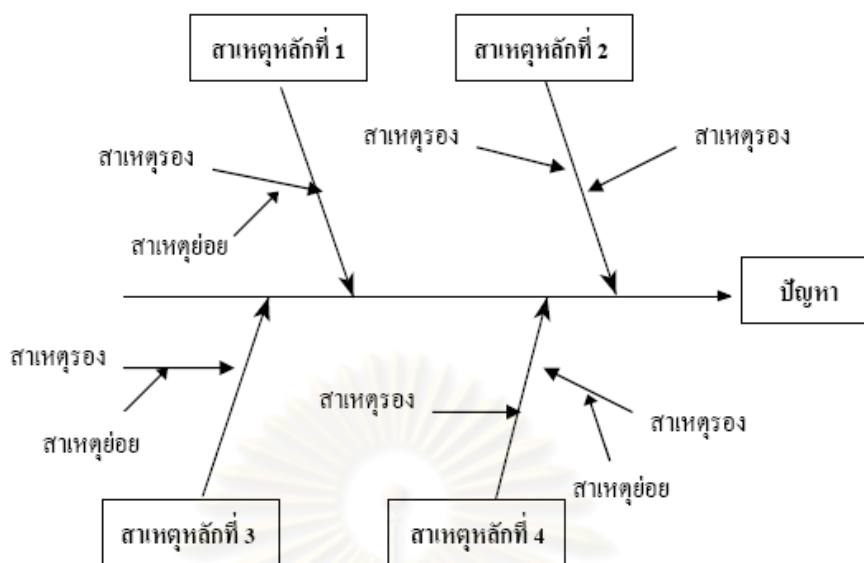
1. บ่งชี้ลักษณะสมบัติของกระบวนการที่จะใช้ในการสร้างแผนภาพ ซึ่งขึ้นอยู่กับธรรมชาติของปัญหาที่ต้องการตัดสินใจ

2. กำหนดช่วงเวลาที่จะใช้เก็บรวบรวมข้อมูล และกำหนดช่วงเวลาควรเป็นไปหลังจากศึกษาธรรมชาติของปัญหาอย่างดีแล้ว เนื่องจากในการเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการแก้ไขปัญหาด้วยแผนภาพพาเรโตนั้น มีความจำเป็นจะต้องทำการเปรียบเทียบภายใต้ช่วงเวลาที่เท่ากัน
3. ทำการกำหนดสเกล  $x$  และ  $y$  สำหรับการเขียนกราฟ โดยปกติแล้วสเกลของ  $y$  หมายถึงผล อันได้แก่ ค่าที่ใช้วัดปัญหา สำหรับสเกล  $x$  หมายถึง การจำแนกสาเหตุหรือผล
4. ทำการลากกราฟแท่งและกราฟสะสม โดยต้องให้แท่ง “อื่นๆ” อยู่ท้ายสุด มีข้อเสนอแนะว่าการเขียนแผนภาพพาเรโต ควรให้มีกราฟแท่งที่ใช้จำแนกประเภทประมาณ 6-10 แท่งเท่านั้น และแท่ง “อื่นๆ” ควรมีความสำคัญไม่เกิน 20% ของทั้งหมด
5. ทำการประยุกต์หลักการของพาเรโตกับแผนภาพดังกล่าว หากพบว่ากราฟดังกล่าวมิได้เป็นไปตามหลักการพาเรโต มีความจำเป็นต้องทำการทบทวนด้วยการเก็บข้อมูลใหม่ และพิจารณาตามขั้นตอนที่กล่าวมาแล้วอีกครั้ง (เปมิกา สุวรรณมณี, 2548)

## 2.2 ผังแสดงเหตุและผลหรืออิชิกาวาไดอะแกรม

ผังแสดงเหตุและผล คือ ผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางคุณภาพกับปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งผังแสดงเหตุและผลเป็นแผนภาพที่มีประโยชน์อย่างมากในการนำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลสำหรับปัญหาที่พิจารณา ได้รับการพัฒนาครั้งแรกโดยศาสตราจารย์คาโอรุ อิชิกาวา (Kaoru Ishikawa) จากแนวคิดเกี่ยวกับกระบวนการของชีวฮาร์ท (Shewhart) ว่า กระบวนการสามารถแยกเป็นสาเหตุหลักๆ ได้ 4 ประการ คือ คน เครื่องจักร วิธีการ และวัตถุดิบ ผังนี้จะแสดงความคิดที่เกี่ยวข้องต่างๆ ที่รวบรวมมา เนื่องจากผังนี้มีลักษณะโครงสร้างคล้ายกิ่งปลา อาจเรียกว่า ผังกิ่งปลา (นอกจากนี้ยังมีชื่อเรียกอื่นๆ อีก เช่น ผังรากไม้ (Tree-root Diagram), ผังต้นไม้ (Tree diagram), หรือผังลำน้ำ (River Diagram) ตลอดจนผังอิชิกาวา ไดอะแกรม (Ishikawa Diagram) เพื่อเป็นเกียรติแก่ Kaoru Ishikawa ผู้นำเอาผังชนิดนี้มาใช้) ผังนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนโครงกระดูกที่เป็นตัวปลา ซึ่งได้รวบรวมปัจจัยอันเป็นสาเหตุของปัญหา และส่วนหัวปลาที่เป็นข้อสรุปของสาเหตุที่กลายเป็นตัวปัญหา นอกจากนี้จะสามารถใช้ได้ทั้งการนำเสนอข้อมูลในรูปความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลแล้ว ยังสามารถใช้กับกิจกรรมการแก้ปัญหาแบบกลุ่มในการจัดลำดับและความสัมพันธ์ของสาเหตุปัญหา ในรูปของสมมติฐานของสาเหตุที่ได้มาจากการระดมสมอง แสดงดังภาพที่ 2.2

## Cause and Effect Diagram



ภาพที่ 2.2 แผนภาพเหตุและผล

ในการสร้างผังเหตุและผล มีวิธีการดังนี้

1. เลือกคุณลักษณะที่เป็นปัญหามา 1 อย่าง เขียนทางกรอบขวามือ
2. เขียนสาเหตุหลักเต็มลงบนเส้นกระดูกทั้งด้านบนและด้านล่าง
3. เขียนสาเหตุรองของแต่ละสาเหตุหลัก
4. เขียนสาเหตุย่อยของสาเหตุรองนั้น

การสร้างแผนภูมิแก๊งปลา มักจะสร้างหลังแผนภูมิพาเรโต คือ เมื่อวิเคราะห์จากแผนภูมิพาเรโต แล้วว่าจะเลือกแก้ไขข้อบกพร่องใด จะนำข้อบกพร่องที่เลือกแก้ไขมาเป็นปัญหาในแผนภูมิแก๊งปลา แล้วระดมความคิดจากบุคคลหลายๆ คนที่เกี่ยวข้อง เพื่อแยกแยะสาเหตุหลักและสาเหตุย่อยที่ทำให้เกิดปัญหา เพื่อให้สามารถแก้ปัญหาได้ตรงจุดและมีประสิทธิภาพมากที่สุด ประโยชน์อีกประการหนึ่งของแผนภูมิแก๊งปลา คือ นอกจากจะใช้ในการแยกแยะสาเหตุต่างๆ ในปัญหาของผลิตภัณฑ์หรือการให้บริการแล้ว ยังใช้ในการแยกแยะสาเหตุต่างๆ ของปัญหาทั่วๆ ไปได้อีกด้วย (เปรมิกา สุวรรณมณี, 2548)

### 2.3 วิธีพื้นผิวผลตอบ

วิธีพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Method, RSM) เป็นวิธีที่สร้างสมการของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (ระดับของปัจจัย, level of factor) กับตัวแปรผลตอบ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (regression) เพื่อหาค่าความเหมาะสม (optimal settings) ของระดับในแต่ละปัจจัยที่สนใจ ซึ่งวิธีพื้นผิวผลตอบเป็นเทคนิคที่ใช้ความรู้ด้านคณิตศาสตร์และสถิติมาทำ

การสร้างรูปแบบคณิตศาสตร์และทำการวิเคราะห์ เพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลตอบ ซึ่งได้เป็นฟังก์ชันของตัวแปรตามสมการ

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \varepsilon$$

โดยที่  $\varepsilon$  เป็นค่าผิดพลาดที่ได้จากการทดลอง ค่าคาดหวังของผลตอบถูกแสดงด้วย

$$E(y) = \hat{y} = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \varepsilon$$

เนื่องจากสมมติฐานที่ว่า  $\varepsilon \sim NID(0, \sigma^2)$  ผลตอบจะถูกแสดงด้วย

$$\hat{y} = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

ซึ่งเรียกว่า พื้นผิวผลตอบ (response surface) (Montgomery, 1984)

โดยทั่วไปแล้ว รูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบ (response) และตัวแปรอิสระ (independent variables) มีรูปแบบที่ไม่สามารถล่วงรู้มาก่อน ดังนั้น ขั้นตอนแรกของการวิเคราะห์ต้องหาฟังก์ชันที่เหมาะสม ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะใช้ฟังก์ชันที่เป็นเส้นตรง (first-order model) ดังสมการข้างล่าง

$$\hat{y} = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij} + \varepsilon_i, \quad i=1, 2, \dots, n$$

- โดยที่  $\hat{y}$  คือ ผลตอบที่ได้จากการสังเกตในแต่ละการทดลอง
- $x_{ij}$  คือ ค่าสังเกตตัวที่  $i$ th หรือระดับของตัวแปร  $x_j$  โดยมีค่าพารามิเตอร์  $\beta$  เป็นสัมประสิทธิ์ในแต่ละเทอมของแต่ละตัวแปรซึ่งมี  $k$  ตัวแปร
- $\varepsilon_i$  คือ ส่วนค่าคลาดเคลื่อนซึ่งมีสมบัติ  $E(\varepsilon) = 0$  และ  $Var(\varepsilon) = \sigma^2$

ถ้าความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบและตัวแปรมีรูปแบบที่ไม่เป็นเส้นตรง จะใช้ฟังก์ชันที่เป็นเส้นโค้ง (second-order model) (Raviraj Shetty และคณะ, 2008) ดังสมการ

$$\hat{y} = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

## 2.4 วิธีการของทากูชิ

### 2.4.1 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง คือ การกำหนดเงื่อนไขสำหรับการทดลองที่จะทำให้สามารถตีความหมายถึงสาเหตุและผลที่ต้องตัดสินใจได้ โดยพิจารณาความแตกต่างของข้อมูลจากสาเหตุ

ที่สามารถควบคุมได้ ซึ่งจุดประสงค์สำคัญของการทดลอง คือ การยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) และการค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) ซึ่งการทดลองกระทำได้ 2 วิธี คือ

1. การทดลองปฏิบัติงานจริง (Physical Experiment)
2. การทดลองด้วยการจำลองผล (Simulation)

### ตารางที่ 2.1 พัฒนาการของการออกแบบการทดลอง

แบบเก่า	แบบใหม่
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ปรับทีละตัวแปรต่อครั้ง</li> <li>2. ทำทุกตัวแปรที่เป็นไปได้ในการปรับ</li> <li>3. เลือกเอาเฉพาะการทดลองโดยการเดา</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ปรับทุกตัวแปรทั้งหมด (Full Factorials)</li> <li>2. ทำเพียงบางส่วน (Factional Factorials)</li> <li>3. เลือกการทดลองโดยมีหลักการ (Screening Design)</li> </ol>

จุดประสงค์สำคัญของการทดลองมี 2 ประการ คือ เป็นการยืนยันข้อเท็จจริง เป็นการพิสูจน์ถึงข้อเท็จจริง หรือความเชื่อจากประสบการณ์ หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิตและเป็นการค้นหาข้อเท็จจริง เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีต่อระบบการผลิต

หลักการสำคัญ 3 ประการของการออกแบบการทดลอง

1. หลักการสุ่ม (Randomization) เป็นหลักการที่ให้ข้อมูลแต่ละตัวมีโอกาสถูกเก็บเท่า ๆ กัน เพื่อกระจายผลกระทบที่เกิดจากอิทธิพลแทรกซ้อน ให้กับทุกระดับที่ศึกษาให้เท่า ๆ กัน
2. หลักการซ้ำ (Replication) เป็นการทำการทดลองซ้ำในแต่ละข้อมูล เพื่อวัตถุประสงค์ในการกำจัดออกซึ่งอิทธิพลแทรกซ้อนต่าง ๆ ที่มีในข้อมูล
3. หลักการบล็อก (Blocking) เป็นการจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วง เพื่อวัตถุประสงค์ในการลดอิทธิพลแทรกซ้อนออกไปเพื่อสร้างความแม่นยำในข้อมูลยิ่งขึ้น

หลักสำคัญสำหรับพิจารณาการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง สามารถแยกเป็นหัวข้อได้ดังนี้

1. การกำหนดปัญหา
  - 1.1 การรับรู้ถึงปัญหา
  - 1.2 การกำหนดตัวแปรตอบสนอง
  - 1.3 การกำหนดปัจจัยที่จะให้แปรเปลี่ยนค่า

- 1.4 การกำหนดระดับของปัจจัย (ทรีทเมนต์)
  - 1.4.1 ระดับเชิงคุณภาพ / ระดับเชิงปริมาณ
  - 1.4.2 กำหนดแบบสุ่ม / กำหนดแบบคงที่ / กำหนดแบบผสม
- 1.5 สรุปผลเกี่ยวกับระดับปัจจัยต่าง ๆ ที่นำมารวมกัน
2. การออกแบบการทดลอง
  - 2.1 ขนาดตัวอย่างที่ต้องการ
  - 2.2 การเรียงลำดับของการทดลอง
  - 2.3 วิธีการสุ่มตัวอย่างที่ใช้
  - 2.4 รูปแบบ และสมมติฐานที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ
3. การวิเคราะห์ผลการทดลอง
  - 3.1 วิธีการประมวลผลจากข้อมูล
  - 3.2 การคำนวณค่าทางสถิติที่ใช้สำหรับการทดสอบ
  - 3.3 การตีความหมายผลที่ได้จากการทดลองเพื่ออธิบายลักษณะกระบวนการผลิต
  - 3.4 การสรุปผลและกำหนดข้อเสนอแนะ

### ลำดับขั้นการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง

ขั้นตอนที่ 1 การรับรู้และนิยามถึงปัญหาที่สนใจ เป็นการกำหนดถึงสิ่งที่ผู้ทดลองอยากทราบและกำหนดว่าจะต้องการอะไร โดยผู้ทดลองจะต้องศึกษาสิ่งที่เกี่ยวข้องอย่างรอบคอบ

ขั้นตอนที่ 2 การกำหนดตัวแปรอิสระ หรือระดับของปัจจัย (ทรีทเมนต์) แบ่งได้ดังนี้

- 2.1 การกำหนดปัจจัย
  - 2.1.1 ปัจจัยเดียว
  - 2.1.2 2 ปัจจัย
  - 2.1.3 3 ปัจจัย ฯลฯ
- 2.2 การกำหนดทรีทเมนต์
  - 2.2.1 แบบสุ่ม
  - 2.2.2 แบบคงที่
  - 2.2.3 แบบผสม

ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดตัวแปรตอบสนอง โดยต้องพิจารณาถึงความสามารถในการวัดได้ และความถูกต้องกับความแม่นยำ

ขั้นตอนที่ 4 เลือกแบบการทดลองที่เหมาะสม ต้องให้ความสนใจถึงความมีประสิทธิภาพทางสถิติ (ความเสี่ยงในการตัดสินใจ) และความมีประสิทธิภาพทางเศรษฐศาสตร์ (ค่าใช้จ่ายในการทดลอง)

ขั้นตอนที่ 5 ดำเนินการทำการทดลอง ต้องให้ความสนใจถึงความสุ่ม ความถูกต้องในการวัด และความสม่ำเสมอในการทดลอง (กระบวนการอยู่ในการควบคุม)

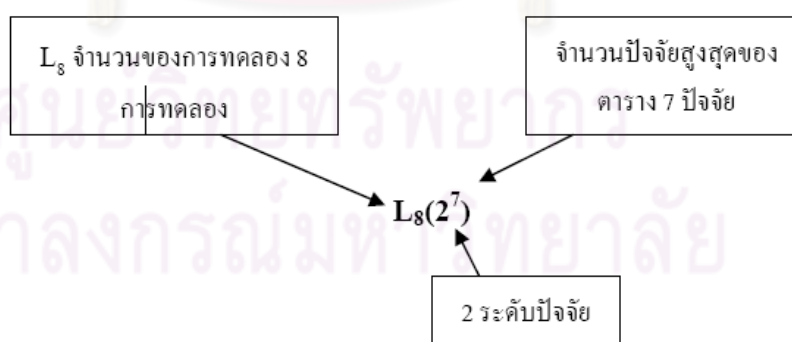
ขั้นตอนที่ 6 การวิเคราะห์ข้อมูล โดยทฤษฎีการอนุมานทางสถิติ

ขั้นตอนที่ 7 การสรุปผลและให้ข้อเสนอแนะ

การออกแบบการทดลองในอุตสาหกรรมปัจจุบัน จำเป็นต้องใช้การออกแบบทดลองที่มีการทดลองน้อย เพื่อประหยัดต้นทุนและเวลา รวมไปถึงข้อจำกัดอื่น ๆ เช่น ผลต่อสิ่งแวดล้อม การทดลองแบบต้องทำลายไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ หรือมีต้นทุนต่อการทดลองสูง ดังนั้นเพื่อเป็นการลดปัญหาต่าง ๆ โดยทั่วไปจึงนิยมใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองของทากูชิ ที่ใช้ตารางการทดลองออกทอกอนอล อะเรย์ ในการลดจำนวนครั้งของการทดลอง

#### 2.4.2 ออกทอกอนอล อะเรย์ (Orthogonal Array)

ออกทอกอนอล อะเรย์ เป็นตารางมาตรฐานที่ใช้ในการลดจำนวนการทดลอง ซึ่งคิดค้นโดยศาสตราจารย์ ฟิชเชอร์ (R.A. Fisher) การนำออกทอกอนอล อะเรย์ มาตรฐานไปใช้งานขึ้นอยู่กับระดับปัจจัย และจำนวนปัจจัยในการทดลอง ซึ่งจะได้จำนวนการทดลองตามมาตรฐานของออกทอกอนอลอะเรย์ นั้น ใช้สัญลักษณ์ แอล (L) ตามด้วยตัวอักษรซึ่งบ่งบอกจำนวนการทดลอง ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงสัญลักษณ์ของตารางออกทอกอนอลอะเรย์

การใช้ตารางออกทอกอนอล อะเรย์ มีข้อดีคือ ทำให้สามารถลดการทดลองให้น้อยลง และเป็นผลให้ลดเวลาและต้นทุนในการทดลองได้อย่างมาก เช่น



จำนวนปัจจัย	ระดับปัจจัย	การทดลองปกติใช้	การทดลองของทากูชิ
7 ปัจจัย	2	128 การทดลอง	8 การทดลอง (L <sub>8</sub> )
11 ปัจจัย	2	2048 การทดลอง	12 การทดลอง (L <sub>12</sub> )

ดังนั้นทำให้ลดเวลาและต้นทุนในการทดลองได้อย่างมาก รายละเอียดของตารางออกทอกอนอลอะเรย์ วิจารณ์ได้จากตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงรายละเอียดของตารางออกทอกอนอลอะเรย์

ออกทอกอนอลอะเรย์	จำนวนแถว	จำนวนปัจจัยสูงสุด	จำนวนสูงสุดของคอลัมน์ที่ 3 ระดับ			
			2	3	4	5
L4	4	3	3	-	-	-
L8	8	7	7	-	-	-
L9	9	4	-	4	-	-
L12	12	11	11	-	-	-
L16	16	15	15	-	-	-
L'16	16	5	-	-	-	-
L18	18	8	1	7	-	-
L25	25	6	-	-	-	6
L27	27	13	-	13	-	-
L32	32	31	31	-	-	-
L'32	32	10	1	-	9	-
L36	36	23	11	12	-	-
L'36	36	16	3	13	-	-
L50	50	12	1	-	-	11
L54	54	26	1	25	-	-
L64	64	63	63	-	-	-
L'64	64	21	-	-	21	-
L81	81	40	-	40	-	-

ตารางมาตรฐานออกทอกอนอลอะเรย์ แบ่งตามระดับของปัจจัยได้ 3 กลุ่ม คือ

1. ระดับปัจจัย มี 2 ระดับ ประกอบด้วยตาราง  $L_4(2^3)$ ,  $L_8(2^7)$ ,  $L_{12}(2^{11})$ ,  $L_{16}(2^{15})$ ,  $L_{32}(2^{31})$  และ  $L_{64}(2^{63})$
2. ระดับปัจจัย มี 3 ระดับ ประกอบด้วยตาราง  $L_9(3^4)$ ,  $L_{27}(3^{13})$ ,  $L_{81}(3^{40})$
3. ระดับปัจจัย มี 5 ระดับ ประกอบด้วยตาราง  $L_{25}(5^6)$

นอกจากนี้ ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการรวมปัจจัยที่มีระดับปัจจัยต่างกัน เช่น  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ ,  $L_{32}(2^1 \times 4^9)$ ,  $L_{36}(2^{11} \times 3^{12})$ ,  $L_{36}(2^3 \times 3^{13})$ ,  $L_{54}(2^1 \times 3^{25})$ ,  $L_{50}(2^1 \times 5^{11})$  เป็นต้น

จากตารางที่ 2.3 แสดงออกทอกอนอล อะเรย์  $L_8(2^7)$  มีระดับปัจจัยเท่ากับ 2 ระดับ และจำนวนของปัจจัยเท่ากับ 7 ปัจจัย จะมีการทดลอง 8 การทดลอง (Ross, 1988)

ตารางที่ 2.3 แสดงตารางออกทอกอนอล อะเรย์มาตรฐาน  $L_8$

ลำดับที่	ลำดับคอลัมน์						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

#### ระดับขั้นความอิสระของตารางออกทอกอนอลอะเรย์

ระดับขั้นความอิสระของตารางออกทอกอนอลอะเรย์ จะมีค่าเท่ากับระดับขั้นความอิสระของปัจจัยในแต่ละคอลัมน์คูณด้วยจำนวนคอลัมน์ หรืออาจบอกได้ว่า ระดับขั้นความอิสระของตารางออกทอกอนอล อะเรย์จะมีค่าเท่ากับ จำนวนการทดลอง - 1

ตัวอย่างเช่น ออกทอกอนอล อะเรย์  $L_9(3^4)$  จะมีคอลัมน์ทั้งหมดเท่ากับ 4 และระดับของปัจจัยเท่ากับ 3 ดังนั้น ระดับขั้นความอิสระในแต่ละคอลัมน์ = (ระดับของปัจจัย-1) × จำนวนคอลัมน์ =  $(3-1) \times 4 = 8$

### 2.4.3 การเลือกตารางออกทอกอนอล อะเรย์

การเลือกตารางออกทอกอนอล อะเรย์ จะพิจารณาจากผลรวมของระดับชั้นความอิสระของปัจจัย และปัจจัยร่วมแล้วนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับระดับชั้นความอิสระของตารางออกทอกอนอลอะเรย์ โดยมีการคำนวณ ดังนี้

การคำนวณระดับชั้นความอิสระของปัจจัยหลัก และปัจจัยร่วม

ระดับชั้นความอิสระของปัจจัยหลัก = (ระดับของปัจจัย - 1) × จำนวนปัจจัยหลัก

ระดับชั้นความอิสระของปัจจัยร่วม = (ระดับชั้นความอิสระของปัจจัยหลักที่ 1) × (ระดับชั้นความอิสระของปัจจัยหลักที่ 2) × จำนวนปัจจัยร่วม

ระดับชั้นความอิสระทั้งหมด = ระดับชั้นความอิสระของปัจจัยหลัก + ระดับชั้นความอิสระของปัจจัยร่วม

นำผลการคำนวณระดับชั้นความอิสระทั้งหมดของปัจจัย มาเปรียบเทียบกับระดับชั้นความอิสระของตาราง ออกทอกอนอล อะเรย์มาตรฐาน โดยเลือกตารางออกทอกอนอล อะเรย์ที่มีระดับชั้นความอิสระมากกว่าหรือเท่ากับ ระดับชั้นความอิสระทั้งหมดของปัจจัย

ตัวอย่างเช่น กำหนดให้ระดับของปัจจัยเท่ากับ 2 มีปัจจัยหลัก คือ A, B, C, D, E, F, G, H, I และ J และปัจจัยร่วม คือ A × B, A × C, C × D, E × F และ G × H

ระดับชั้นความอิสระของปัจจัยหลัก = (2-1) × 10 = 10

ระดับชั้นความอิสระของปัจจัยร่วม = (2 - 1) × (2 - 1) × 5 = 5

ดังนั้น ระดับชั้นความอิสระทั้งหมด = 10 + 5 = 15

จึงเลือกตาราง  $L_{16}(2^{15})$  ซึ่งมีระดับชั้นความอิสระของตารางออกทอกอนอล อะเรย์เท่ากับ 15 เพราะมีระดับชั้นความอิสระของตารางออกทอกอนอล อะเรย์ เท่ากับ ระดับชั้นความอิสระทั้งหมดของปัจจัย ดังนั้นจากตัวอย่างจึงเลือกตาราง  $L_{16}(2^{15})$  ได้ (เปมิกา สุวรรณมณี, 2548)

### 2.4.4 ปัจจัยสัญญาณรบกวน (Noise Factor)

ปัจจัยสัญญาณรบกวน คือ ปัจจัยที่เราไม่สามารถควบคุมได้ หรือยากแก่การควบคุมจึงไม่ทำการควบคุมในกระบวนการผลิต เราจึงกำหนดสิ่งนั้นเป็นสัญญาณรบกวน ซึ่งถือว่าเป็นค่าคลาดเคลื่อนในกระบวนการผลิตที่ทำให้เกิดความแปรปรวน แต่ในการคำนวณเราจะถือว่าเป็นจำนวนครั้งในการทดลอง

การทดลองจริงเป็นการทำให้บรรลุซึ่งผลสำเร็จ และการปฏิบัติการทดลองนี้เป็น การหาค่าตอบสนองของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ ผลการทดลองดิบจะถูกนำไปใส่ในตาราง โดยที่เครื่องชี้วัดการปฏิบัติสำหรับการทดลองทั้งหมด จะทำการแปลงให้อยู่ในรูปของ อัตราส่วนของ

Signal to Noise (S/N Ratio) โดยที่คุณลักษณะของ S/N Ratio สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

- Small – the – better type problem คือ ค่าความต้องการของค่าตอบสนองของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่ดีที่สุดมีค่าเป็นศูนย์ เช่น ต้องการให้เกิดข้อบกพร่องน้อยที่สุดในการผลิตคอมพิวเตอร์เวเฟอร์ ต้องการให้เกิดมลภาวะน้อยที่สุดจากโรงงาน และต้องการให้เกิดการรั่วของกระแสไฟน้อยที่สุด เป็นต้น

- Nominal – the – best – type problem คือ ค่าความต้องการของค่าตอบสนองของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่ดีที่สุด มีค่าเท่ากับค่าที่ได้กำหนดไว้หรือเป็นค่าที่จำกัดไว้ เช่น ความหนาของโพลีซิลิโคนที่ต้องการมีค่าตามที่ได้กำหนดไว้ในลักษณะที่มีคุณภาพ คือ สำหรับปัญหาแบบนี้เมื่อค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ ความแปรปรวนก็จะเป็นศูนย์ด้วย ค่ามากที่สุดของ nominal – the – best S/N ratio จะใช้ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของ  $y$  เมื่อ  $i$  คือจำนวนครั้งของการทดลองที่อยู่ในช่วงจาก 1 ถึง  $n$  ครั้ง

- Larger – the – better type problem คือ ค่าความต้องการของค่าตอบสนองของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่ดีที่สุดจะต้องมีค่าให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เช่น ต้องการให้ความแข็งแรงของสายไฟต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัดมีค่าให้มากที่สุด หรืออีกตัวอย่างหนึ่งคือ ต้องการให้น้ำมันของรถบรรทุกของสามารถขับเคลื่อนรถบรรทุกได้จำนวนไมล์มากที่สุด เป็นต้น

อัตราส่วนของ Signal to Noise (S/N Ratio) มีความสำคัญเป็นอย่างมาก ในการหาเป้าหมายที่ถูกต้องเพื่อหาค่าที่ดีที่สุด (Optimize) ของปัญหาของวิศวกรถ้าหากเกิดความล้มเหลวในการหาเป้าหมายก็จะนำไปสู่การสรุปผลที่ผิดพลาดได้ในเรื่องของระดับของปัจจัยที่เหมาะสม (กิตติกร ฤทธิ์สิงห์ และเลิศศักดิ์ สุมาลัย, 2546)

## 2.4.5 การลดค่าอคติในการทดลอง

2.4.5.1 การลดค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ

1. ความคลาดเคลื่อนหลัก เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ความคลาดเคลื่อนระหว่างการทดลอง ซึ่งความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นขณะที่มีการเปลี่ยนรูปแบบการทดลองหนึ่ง โดยทั่วไปเกิดจากการเปลี่ยนกรรมวิธีการทดลอง ค่าความคลาดเคลื่อนนี้สามารถลดได้โดยการลดจำนวนครั้งในการเปลี่ยนรูปแบบการทดลองให้น้อยที่สุด (การกำหนดปัจจัยลงตารางการทดลอง ออกทอกอนอด อะเรย์ ควรให้ปัจจัยที่มีความยุ่งยากในการเปลี่ยนรูปแบบการทดลองอยู่ในลำดับต้นๆ)

2. ความคลาดเคลื่อนรอน หรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ความคลาดเคลื่อนภายในการทดลอง ซึ่งเกิดจากการทำการทดลองหลายครั้งในรูปแบบการทดลองเดิม ซึ่งค่าของความคลาดเคลื่อนนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยของความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดและความคลาดเคลื่อนตามธรรมชาติของการวัด โดยที่ธรรมชาติของการวัดแก้ไขโดยการหาค่าเฉลี่ยจากการทำการวัดหลาย ๆ ครั้ง ส่วนความคลาดเคลื่อนของระบบ แก้ไขการฝึกฝนการทำการทดลองและใช้เครื่องมือทำการทดลองที่มีความเที่ยงตรงสูง

2.4.5.2 การสุ่มการทดลอง ความคลาดเคลื่อนในการทดลองเกิดจากลำดับการทดลองที่มีค่าเสื่อมสภาพในตัวเองในการทำการทดลองหลายครั้ง หรือการรวมตัวเมื่อมีการทำการทดลองหลายครั้งซึ่งไม่สามารถแก้ไขทางกายภาพได้ เราสามารถทำการลดปัญหาความคลาดเคลื่อนนี้ โดยการสุ่มการทดลองเพื่อการกระจายความคลาดเคลื่อนออกไปอย่างทั่วถึง แต่ก็อาจจะเพิ่มความคลาดเคลื่อนในรูปแบบความคลาดเคลื่อนหลัก เราอาจใช้การทดลองแบบเป็นกลุ่มของการข้อมูลแทนการสุ่มการทดลองของแต่ละลำดับการทดลอง

#### 2.4.6 การพิจารณาจำนวนการทดลอง

การพิจารณาจำนวนสำหรับการทดลอง (Ross, 1988) พิจารณาจากตารางต่อไปนี้

1. ข้อมูลผลลัพธ์ชนิดต่อเนื่อง (Variable Data)

ตารางที่ 2.4 การกำหนดจำนวนตัวอย่างสำหรับการทดลองของข้อมูลชนิดต่อเนื่องสำหรับ  
ออกทอกอนอล อะเรย์  $L_8$

จำนวนการทดลอง	ขนาดของตัวอย่างทั้งหมด	ระดับของความเชื่อมั่น		
		90%	95%	99%
1	8	2.39	3.10	4.84
2	16	1.55	1.95	2.80
3	24	1.24	1.55	2.17
4	32	1.06	1.32	1.84
5	40	0.95	1.17	1.63
6	48	0.86	1.07	1.47

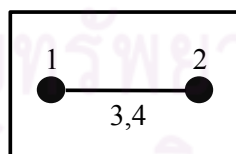
## 2. ข้อมูลผลลัพธ์ชนิดไม่ต่อเนื่อง (Attribute Data)

ตารางที่ 2.5 การกำหนดจำนวนตัวอย่างสำหรับการทดลองของข้อมูลชนิดไม่ต่อเนื่องสำหรับ  
ออกทอกอนอล อะเรย์  $L_8$

ร้อยละของของ เสียที่คาดหวัง	จำนวนตัวอย่างที่ น้อยที่สุดต่อการ ทดลอง	จำนวนตัวอย่าง ทั้งหมด	ออกเคอร์เรนซ์ที่ คาดหวังทั้งหมด
20	13	104	21
10	25	200	20
5	50	400	20
1	250	2000	20
0.5	500	4000	20
0.1	2500	20000	20

### 2.4.7 กราฟเชิงเส้น (Linear graph)

ในการวิจัยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดลองมีทั้งปัจจัยหลัก และปัจจัยร่วม ซึ่งเราต้อง  
กำหนดปัจจัยในการทดลองเหล่านั้นลงในตารางออกทอกอนอลอะเรย์ กราฟเชิงเส้นเป็นเครื่องมือ  
ชนิดหนึ่งที่ใช้ในการกำหนดปัจจัยแต่ละปัจจัยลงในคอลัมน์ โดยมีกราฟเชิงเส้นมาตรฐานของแต่ละ  
ตารางมาตรฐานออกทอกอนอลอะเรย์ไว้ ตัวอย่างในภาพที่ 2.4 เป็นกราฟเชิงเส้น  $L_4(2^3)$  ซึ่งมี  
ปัจจัย 3 ปัจจัย โดยที่ปัจจัยที่ 3 เป็นปัจจัยที่เกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ 1 และปัจจัยที่ 2  
ซึ่งในกรณีที่มีปัจจัยหลัก 2 ปัจจัย และปัจจัยร่วม 1 ปัจจัย ปัจจัยที่ 3 จะเป็นตัวแทนของปัจจัยร่วม



ภาพที่ 2.4 แสดงกราฟเชิงเส้น  $L_4(2^3)$

#### 2.4.7.1 การกำหนดปัจจัยในกราฟเชิงเส้น

ในการกำหนดปัจจัยลงในตารางออกทอกอนอลอะเรย์ โดยใช้กราฟเชิงเส้น ปฏิบัติ  
ตามขั้นตอนดังนี้

1. การเลือกตารางออกทอกอนอลอะเรย์ ในขั้นตอนนี้จะต้องทำการคำนวณหาค่า  
ระดับขั้นความอิสระของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม โดยระดับขั้นความอิสระของปัจจัยที่ทดลอง  
จะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับระดับขั้นความอิสระของตารางออกทอกอนอลอะเรย์มาตรฐาน

2. วาดรูปกราฟเชิงเส้นของปัจจัยที่ทดลอง โดยเขียนความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม

3. เปรียบเทียบกราฟเชิงเส้นของปัจจัยที่ทดลองกับกราฟเชิงเส้นมาตรฐาน โดยเลือกกราฟเชิงเส้นมาตรฐานที่ใกล้เคียงกับกราฟเชิงเส้นของปัจจัยที่ทดลองให้มากที่สุด

4. ปรับปรุงกราฟเชิงเส้นของปัจจัยที่ทดลองให้เข้าสู่กราฟเชิงเส้นมาตรฐาน

5. กำหนดปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม ลงในกราฟเชิงเส้นที่ได้แปลงเป็นกราฟเชิงเส้นมาตรฐาน

6. ในกรณีที่กราฟเชิงเส้นของปัจจัย สามารถแปลงเป็นกราฟเชิงเส้นมาตรฐานได้หลายรูปแบบให้คำนึงถึงปัจจัยที่ลำบากในการเปลี่ยนแปลงค่าในการทดลอง โดยพิจารณาปัจจัยนั้นแทนค่าในตัวเลขน้อยของกราฟเชิงเส้นมาตรฐาน

#### 2.4.7.2 การแปลงรูปแบบกราฟเชิงเส้นมาตรฐาน

ในบางครั้ง การแปลงกราฟเชิงเส้นของปัจจัยไม่สามารถแปลงเป็นกราฟเชิงเส้นมาตรฐานได้ จึงจำเป็นต้องมีการแปลงกราฟเชิงเส้นมาตรฐานให้เป็นกราฟเชิงเส้นที่เราต้องการ เราสามารถใช้ตารางในการแปลงกราฟเชิงเส้น ที่เรียกว่า ตารางปัจจัยร่วมระหว่างคอลัมน์ (Interaction between two column) ใช้ในการแปลงกราฟเชิงเส้น ซึ่งมีตัวอย่างดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างตารางปัจจัยร่วมระหว่างคอลัมน์  $L_{16}(2^{15})$

คอลัมน์ ที่	ลำดับคอลัมน์														
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	3	2	5	4	7	6	9	8	11	10	13	12	15	14	
2		1	6	7	4	5	10	11	8	9	14	15	12	13	
3			7	6	5	4	11	10	9	8	15	14	13	12	
4				1	2	3	12	13	14	15	8	9	10	11	
5					3	2	13	12	15	14	9	8	11	10	
6						1	14	15	12	13	10	11	8	9	
7							15	14	13	12	11	10	9	8	
8								1	2	3	4	5	6	7	
9									3	2	5	4	7	6	
10										1	6	7	4	5	
11											7	6	5	4	

คอดีมน์ ที่	ลำดับคอดีมน์													
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
12												1	2	3
13													3	2
14														1

## 2.5 การวิเคราะห์การทดลอง

### 2.5.1 การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์

โดยพิจารณาจาก

1. ความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อน (Assumption of independent of error) ถ้าสุ่มระดับของตัวแปรทดลองให้กับกลุ่มของหน่วยทดลองแล้ว ความคลาดเคลื่อนในการทดลองจะเป็นอิสระภายในกลุ่มทดลองเดียวกันและระหว่างกลุ่มทดลอง

2. การแจกแจงของความคลาดเคลื่อน ( $\varepsilon_{i(j)}$ ) จะเป็นโค้งปกติ (Assumption of Normality) ภายในแต่ละระดับการทดลองที่  $j$  หรือหมายถึง  $Y_{ij}$  ผลการวัด  $i$  จากกลุ่มที่  $j$  มีการแจกแจงเป็นโค้งปกติ

3. ความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน (Assumption of homogeneity of variance) คือ ทุกกลุ่มมีความแปรปรวนเท่ากัน ( $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_p^2$ )

#### วิธีการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้น

1. การตรวจสอบว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นปกติหรือไม่ (Normality) สามารถตรวจสอบเบื้องต้นด้วยการดูจากกราฟ จะต้องอาศัยความเชี่ยวชาญในการดูกราฟ และผิดพลาดได้ง่าย และเป็นไปได้ที่ผู้วิเคราะห์แต่ละคนจะสรุปแตกต่างกัน จึงควรใช้วิธีการตรวจสอบที่อย่างละเอียดด้วยการตรวจสอบทางสถิติควบคู่ไปด้วย เช่น ใช้ Kolmogorov-Smirnov Test ในกรณีที่ไม่ทราบค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของประชากร จะใช้ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างแทน หรือใช้ Shapiro-Wilk Test ในกรณีที่ทราบหรือไม่ทราบค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของประชากรก็ได้ แต่กลุ่มตัวอย่างต้องมีขนาดไม่เกิน 50 ตัวอย่าง หรือ Lilliefors Test ซึ่งเป็น



วิธีการที่ปรับปรุงมาจากวิธีของ Kolmogorov-Smirnov แต่จะให้ค่าความน่าจะเป็นในการทดสอบน้อยกว่าวิธีของ Kolmogorov-Smirnov

2. การทดสอบความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน (Homogeneity of Variance) สามารถตรวจสอบได้ด้วยวิธีการทางสถิติ เช่น ในกรณี 2 กลุ่ม สามารถใช้ *F-ratio* เป็นสถิติทดสอบและกรณีมีตัวอย่างมากกว่า 2 กลุ่ม สามารถใช้การทดสอบความแปรปรวนเท่ากันด้วย Bartlett test, Levene test หรือ Fligner test เป็นต้น รวมถึงสามารถตรวจสอบเบื้องต้นด้วยการดูจากกราฟ Residual Plot

3. การตรวจสอบความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อน (Independence of Errors) สามารถตรวจสอบได้จากการออกแบบการวิจัย (เบญจมาภรณ์ เสนารัตน์ และสมประสงค์ เสนารัตน์, 2553)

### 2.5.2 การวิเคราะห์การทดลองด้วยหลักการอัตราส่วนซิกเนลทูนอยส์ (Signal to Noise Ratio)

จากการใช้หลักการวิเคราะห์การทดลองด้วยค่าเฉลี่ยนั้นมีข้อบกพร่อง คือ ค่าที่ใช้ในการคำนวณเป็นค่าข้อมูลที่เกิดจากค่าเฉลี่ยเพียงอย่างเดียว ในบางครั้งค่าเฉลี่ยไม่สามารถเป็นตัวแทนของข้อมูลได้ดีนัก ทากูชิจึงได้นำความแปรปรวนในการกระจายของข้อมูลมาพิจารณาด้วย ซึ่งเรียกการนำเสนอนี้ว่า “หลักการอัตราส่วนซิกเนลทูนอยส์” (Signal to Noise Ratio) ในการใช้อัตราส่วนสัญญาณซิกเนลทูนอยส์นั้น สามารถเขียนในรูปสมการได้ คือ

$$S / N = -10 \log(10 \times MSD)$$

โดยที่  $S / N$  เป็นสัญลักษณ์แทน อัตราส่วนซิกเนลทูนอยส์

$MSD$  คือ ค่ากำลังสองของความเบี่ยงเบน (Mean Square Deviation)

การใช้  $MSD$  นี้มีรูปแบบการใช้ตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง กรณีใช้วิเคราะห์สัดส่วนของเสีย มีดังนี้

$$Loss = k \left( \frac{p}{1-p} \right)$$

$$S / N = -10 \log \left( 10 \left( \frac{p}{1-p} \right) \right)$$

ด้วยวิธีดังกล่าวเรียกกันทั่วไปว่า โอมิก้า ( $\Omega$ ) ทรานเฟอร์ ดังนั้นสมการมีดังนี้

$$\Omega = -10 \log \left( 10 \left( \frac{p}{1-p} \right) \right) \text{dB}$$

และสามารถแปลงกลับมาอยู่ในรูปของสัดส่วนได้ดังสมการต่อไปนี้

$$p = \frac{1}{1 + 10 \left( \frac{\Omega}{-10} \right)}$$

การคาดการณ์สัดส่วนกระบวนการสภาวะการที่ดีที่สุด คือ การพิจารณาผลลัพธ์เฉลี่ยที่ดีรวมกับผลลัพธ์ที่ได้จากปัจจัยที่เฉลี่ยมาจากระดับปัจจัยที่ให้ผลลัพธ์ในการทดลองที่ดี เช่น การทดลองให้ค่าปัจจัย A B C เป็นปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลอง มีสมการดังนี้

$$\hat{p} = Y + (A - Y) + (B - Y) + (C - Y)$$

ดังนั้นสมการ คือ

$$\hat{p} = Y + (a - Y) + (b - Y) + \dots + (n - Y)$$

เมื่อ	$Y$	เป็น ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์รวม
	$a$	เป็น ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ปัจจัย $a$
	$n$	เป็น ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ปัจจัย $n$

### 2.5.3 การวิเคราะห์ค่าโดยดูผลต่างของแต่ละปัจจัย

#### 2.5.3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลที่อ่านค่าได้ต่อเนื่อง (Variable Data)

การวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนชิกเนลทูนอยส์ มีขั้นตอน คือ

1. หาค่าของอัตราส่วนชิกเนลทูนอยส์ของในแต่ละลำดับการทดลอง
2. คำนวณหาค่าเฉลี่ยในแต่ละระดับของปัจจัย
3. เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนชิกเนลทูนอยส์ในแต่ละระดับของปัจจัยของ

แต่ละปัจจัย เพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อทดลอง

4. กำหนดระดับของปัจจัยที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด
5. นำค่าปัจจัย และระดับปัจจัยที่เลือกมาใช้ในการหาค่าเฉลี่ยที่คาดว่าจะ

จะได้จากการทดลอง

**2.5.3.2 การวิเคราะห์สัดส่วนของเสีย (ข้อมูลที่อ่านค่าได้ไม่ต่อเนื่อง)**  
 (Attribute Data) ในกรณีที่เราไม่สามารถทำการวัดผลการทดลองได้ด้วยค่าที่อ่านได้ เนื่องจากความจำกัดในการทำการทดลอง หรือข้อมูลที่ได้ไม่สามารถรวมกันได้ จึงต้องใช้การวัดค่าเป็นระดับ ในกรณีนี้เราจะพิจารณาเฉพาะปัจจัยหลัก เพื่อใช้ในการคำนวณผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการทดลอง เช่นเดียวกับการวิเคราะห์การทดลองด้วยค่าเฉลี่ย การคำนวณค่าก็จะพิจารณาในแต่ละระดับของแต่ละปัจจัย เช่นเดียวกับการวิเคราะห์การทดลองด้วยค่าเฉลี่ยเช่นกัน

ขั้นตอนในการคำนวณ มีขั้นตอน ดังนี้

1. รวมค่าผลลัพธ์ในแต่ละระดับผลลัพธ์ของแต่ละระดับของปัจจัย

ผลรวมตามลักษณะปัจจัย = ผลรวมของแต่ละปัจจัยแต่ละระดับ

2. พิจารณาผลลัพธ์ในระดับผลลัพธ์ที่เราสนใจแต่ละปัจจัย

ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของเสีย ( $y$ ) = ผลรวมของกลุ่มที่สนใจ/จำนวนทั้งหมด

3. หาค่าเปอร์เซ็นต์ระดับผลลัพธ์ที่สนใจแต่ละปัจจัย เทียบกับการทดลองรวมของระดับผลลัพธ์

สัดส่วนของเสียที่ปัจจัยใดๆ = จำนวนในกลุ่มที่สนใจ/จำนวนการทดลองที่สนใจ

ดังนั้น กระบวนการเฉลี่ย ณ การคาดการณ์สภาวะที่ดีที่สุด คือ

$$\hat{p} = y + (a - y) + (b - y) + \dots + (n - y)$$

4. แปลงข้อมูลจากขั้นตอนที่ 3 ด้วยหลักการแปลงข้อมูลโอเมกาทรานเฟอร์ (Omega Transfer) กรณีค่า  $P$  predicted เป็นค่าที่ติดลบต้องแปลงข้อมูลด้วยหลักการโอเมกาทรานเฟอร์

$$\Omega = 10 \log_{10} \left( \left( \frac{1}{P} \right) - 1 \right) \text{dB}$$

5. ทำการคำนวณค่าเฉลี่ย ซึ่งค่าเฉลี่ยที่ได้จะอยู่ในรูปแบบเดซิเบล

$$\hat{\Omega} = \Omega_y + (\Omega_a - \Omega_y) + (\Omega_b - \Omega_y) + \dots + (\Omega_n - \Omega_y)$$

6. แปลค่าเฉลี่ยที่ได้ในรูปแบบเดซิเบลกลับในรูปแบบเปอร์เซ็นต์

$$P = \frac{1}{1 + 10\left(\frac{\Omega}{-10}\right)}$$

สรุป การคำนวณค่าจะพิจารณาในแต่ละระดับของแต่ละปัจจัย คือ

1. ปัญหา Small – the – better type จะได้สมการเท่ากับ

$$\frac{S}{N} = 10 \log \frac{\bar{y}}{s_y^2}$$

2. Nominal – the – best – type problem จะได้สมการเท่ากับ

$$\frac{S}{N} = -10 \log \frac{1}{n} (\sum y^2)$$

3. Larger – the – better type problem จะได้สมการเท่ากับ

$$\frac{S}{N} = -10 \log \frac{1}{n} (\sum \frac{1}{y^2})$$

เมื่อ	$\bar{y}$	คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกต $y$
	$s_y^2$	คือ ความแปรปรวนของ $y$
	$n$	คือ จำนวนข้อมูล
	$y$	คือ ค่าสังเกต

## 2.5.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analsis of Variance: ANOVA)

### 2.5.4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยข้อมูลที่อ่านค่าได้ต่อเนื่อง

ในกระบวนการผลิต ทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตมีความเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ สิ่งที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตต้องการผลิต คือ ทำอย่างไรตัวแปรในกระบวนการผลิตจึงจะมีสภาพที่เหมาะสม และสามารถทำให้ผลผลิตออกมาตามความต้องการมากที่สุด ในการกำหนดค่าปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต เราสามารถทำได้ด้วยหลักการง่าย ๆ คือ ทำการเปลี่ยนค่าของปัจจัยแล้วสรุปผลการทดลองที่ได้ ซึ่งในกรณีที่กระบวนการผลิตมีปัจจัยในการผลิตมากกว่า 1 ปัจจัยขึ้นไปแล้ว การเกิดปัจจัยร่วม และความคลาดเคลื่อนในการปฏิบัติจะเป็นผลมาเกี่ยวข้องด้วยในวัตถุประสงค์ของการทดลอง สิ่งที่เราสนใจลำดับแรก คือ ความแปรปรวนซึ่งเราต้องลดค่าความแปรปรวนและต้องสามารถควบคุมได้ การใช้หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งเป็นวิธีทางสถิติค่าคิดค้นจาก Ronald Fisher ในปี ค.ศ.1930 ความจริงแล้วการวิเคราะห์ความ

แปรปรวนนั้นเป็นเพียงเครื่องมือที่ใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ และหลักการทางสถิติในการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของกลุ่ม โดยใช้ความแปรปรวนเป็นตัวแปรในการคำนวณ ซึ่งการวิเคราะห์ความแปรปรวนไม่ใช่เครื่องตัดสินใจ การตัดสินใจขึ้นอยู่กับความหมายจากผลลัพธ์หลักการคำนวณด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน มีดังนี้

### 1. การหาผลรวมกำลังสอง (Sum of Square)

การคำนวณค่าผลรวมกำลังสองของแต่ละปัจจัย คือ การนำข้อมูลที่อยู่ในระดับเดียวกันมารวมกันโดยใช้การยกกำลัง เพื่อหักล้างผลกระทบเรื่องเครื่องหมาย โดยที่ความแตกต่างของผลรวมกำลังสองของปัจจัยทั้งหมดและผลรวมกำลังสองของแต่ละปัจจัย คือ ผลรวมกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อน

$$SS_{tr} = \sum_{i=1}^a \frac{Y_{i.}^2}{n} - \frac{Y_{..}^2}{an}$$

$$SST = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n \left( Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{an} \right)$$

$$SSE = SST - (SS_{tr} + SS_{tr} + \dots + SS_n)$$

### 2. การหาระดับขั้นความอิสระ (Degree of Freedom)

$$\begin{aligned} \text{ค่าระดับขั้นความอิสระของแต่ละปัจจัย } (v_i) &= (\text{จำนวนระดับของปัจจัย} - 1) \\ &= n - 1 \end{aligned}$$

$$\text{ระดับขั้นความอิสระรวม } (v_T) = (\text{จำนวนการทดลองทั้งหมด} - 1) \times (\text{จำนวนกลุ่ม} - 1)$$

$$\text{ระดับขั้นความอิสระของความคลาดเคลื่อน } (v_e) = v_T - (v_{tr} + v_{tr} + \dots + v_n)$$

### 3. การหาค่ากำลังสองโดยเฉลี่ย (Mean Sum Square)

ค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยเป็นการสมมติฐานตามหลักการทฤษฎีการกระจายเข้าสู่ศูนย์กลาง (Central Limit Theorem) ซึ่งถือว่าค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยเทียบได้กับ ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง โดยที่ค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับผลรวมกำลังสองหารด้วยระดับขั้นความอิสระ ใช้สัญลักษณ์ V หรือ MS ซึ่งการหาค่ากำลังสองโดยเฉลี่ย

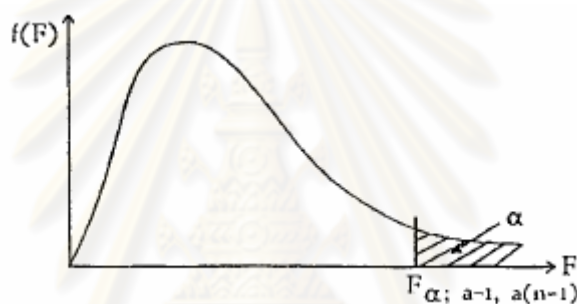
$$MS_i = \frac{SS_{tr}}{n - 1}$$

#### 4. การหาค่าตัวทดสอบ F และการใช้ตารางแจกแจง F ในการเปรียบเทียบความแปรปรวน

การหาค่าตัวทดสอบ F = ค่ากำลังสองเฉลี่ยของปัจจัย / ค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อน

$$F_{tr} = \frac{MS_i}{MS_{tr}}$$

การพิจารณาผลการคำนวณค่าทดสอบ F ของปัจจัยใด ๆ ที่ระดับการยอมรับ  $(1 - \alpha)$  จะสามารถพิจารณาค่า F ของปัจจัยเหล่านั้น จากการเปิดตารางการแจกแจง F เทียบ (ภาคผนวก) กรณีค่าที่ได้จากการเปิดตารางแจกแจง  $F(F_{\alpha, a-1, a(n-1)})$  มีค่าน้อยกว่าค่าคำนวณ ( $F_{tr}$ ) แสดงว่าปัจจัยการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 2.5 แสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของ F

#### 5. การปรับค่าความคลาดเคลื่อน (Pulling)

ในการทดลองบางครั้ง ผลการคำนวณหาค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยในบางปัจจัยนั้นมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่นที่มีค่ามาก จึงสามารถรวมปัจจัยที่น้อยนั้นรวมเข้ากับปัจจัยของความคลาดเคลื่อนในแนวของทากูชิ จะใช้หลักการพลูลิ่งอัฟ (Pulling Up) คือ การใช้ตัวทดสอบ F ทดสอบกับปัจจัยที่มีค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยของปัจจัยที่มีค่าน้อยที่สุด ถ้าผลการทดสอบอยู่ในขอบเขตของตารางการแจกแจง F ก็จะทำให้การรวมค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยของปัจจัยนั้นเข้ากับค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน และจะทำการทดสอบกับปัจจัยที่ค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยมีค่าน้อยลำดับต่อไปจนกว่าจะไม่ผ่านการทดสอบเทียบกับตัวทดสอบ F อ่างอิง

#### 6. การพิจารณาอิทธิพลของปัจจัย (Percent Contribution)

อิทธิพลของปัจจัย เป็นการบอกถึงผลลัพธ์ของอัตราส่วนของปัจจัยที่พิจารณาเทียบกับอิทธิพลของปัจจัยทั้งหมด ซึ่งจากการทดสอบด้วยการใช้ตาราง F สามารถบอกได้

เฉพาะตัวปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง ส่วนอิทธิพลของปัจจัยจะบอกได้ว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อการทดลองด้วยอัตราส่วนเท่าใดเมื่อเทียบกับอิทธิพลของปัจจัยทั้งหมด

$$\%Ptr = \left( \frac{SS_{tr}}{SST} \right) \times 100$$

มีจำนวนประชากรบางส่วนมีค่าเฉลี่ย ( $\mu$ ) ที่เราสนใจ ขนาดตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากรอาจมีขนาดต่าง ๆ ที่ไม่เท่ากัน ประชากรสามารถพิจารณาเป็นเซตของสิ่งทดลอง ซึ่งมีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง สิ่งทดลอง (ทรีทเมนต์) เป็นปัจจัย 1 ปัจจัยที่สนใจในระดับต่าง ๆ ค่าเฉลี่ยแต่ละค่าเป็นค่าเฉลี่ยตอบสนองจากสิ่งทดลอง

ตารางที่ 2.7 รูปแบบข้อมูลจากการทดลอง

สิ่งทดลอง	ค่าสังเกต	ผลรวมของสิ่งทดลอง	ค่าเฉลี่ยสิ่งทดลอง
1	$Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{1n}$	$Y_{1.}$	$\bar{Y}_{1.}$
2	$Y_{21}, Y_{22}, \dots, Y_{2n}$	$Y_{2.}$	$\bar{Y}_{2.}$
.	.	.	.
.	.	.	.
a	$Y_{a1}, Y_{a2}, \dots, Y_{an}$	$Y_{a.}$	$\bar{Y}_{a.}$
		$Y_{..}$	$\bar{Y}_{..}$

ตารางที่ 2.8 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

แหล่งความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง (SS)	องศาความอิสระ (df)	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (MS)	ตัวทดสอบ (Fe)
ระหว่างสิ่งทดลอง	$SS_{tr}$	a-1	$MS_{tr}$	$\frac{MS_{tr}}{MS_E}$
ภายในสิ่งทดลอง	$SS_E = SS_T - SS_{tr}$	a(n-1)	$MS_E$	
ทั้งหมด	$SS_T$	an-1		

เมื่อ n = จำนวนค่าสังเกตในแต่ละสิ่งทดลอง

a = จำนวนสิ่งทดลอง

### 2.5.4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยข้อมูลที่อ่านค่าได้ไม่ต่อเนื่อง

การวิเคราะห์ความแปรปรวนในลักษณะข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่องมีหลักการคำนวณ

ดังนี้

1. คำนวณสัดส่วนของเสียในทุกประเภท
2. คำนวณหาน้ำหนักทุกประเภท
3. คำนวณหาผลรวมกำลังสองโดยเฉลี่ยทั้งหมด ( $S_m$ )
4. คำนวณหาผลรวมกำลังสองทั้งหมด ( $SST$ )
5. คำนวณหาผลรวมกำลังสองของแต่ละปัจจัย ( $Str$ )
6. คำนวณหาผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน ( $Se$ )
7. การหาระดับค่าความอิสระ
8. การหาความแปรปรวนของแต่ละปัจจัย ( $V$ )
9. การหาค่าตัวทดสอบ  $F$  และการใช้ตารางแจกแจง  $F$  ในการเปรียบเทียบความแปรปรวน
10. การปรับค่าความคลาดเคลื่อน
11. การหาอิทธิพลของปัจจัย ในการดูอัตราส่วนแปรปรวนการทดลอง

### 2.5.5 สถิติทดสอบ t (t-Test Statistics)

เป็นการทดสอบสมมติฐานชนิดหนึ่งที่ใช้ผู้วิจัยใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก ( $n < 30$ ) การทดสอบผู้วิจัยจะต้องทราบค่าความแปรปรวนของประชากร ( $\sigma^2$ ) หรือในกรณีไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากร เพราะในงานวิจัยผู้วิจัยจะไม่มีโอกาสทราบค่าความแปรปรวนของประชากร ผู้วิจัยก็อาจจะใช้ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง ( $S^2$ ) แทน

การทดสอบที (t - test) ใช้ทดสอบกรณีต่าง ๆ ดังนี้

1. การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มเดียว
2. การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่ม
  - 2.1 กรณีกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มเป็นอิสระจากกัน
  - 2.2 กรณีกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มไม่เป็นอิสระจากกัน



### 2.5.5.1 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มเดียว

การทดสอบแบบนี้ใช้ในกรณีผู้วิจัยสุ่มตัวอย่างมาเพียงกลุ่มเดียว แล้วต้องการทดสอบว่าคะแนนเฉลี่ยของกลุ่มนี้จะแตกต่างจากค่าเฉลี่ยมาตรฐานอื่น ๆ หรือไม่ค่าต่าง ๆ ที่กำหนดเป็นเกณฑ์ถือว่าเป็นค่าเฉลี่ยของประชากร ( $\mu$ )

ขั้นตอนในการทดสอบ มีดังนี้

1. ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของสถิติทดสอบที่
  - กลุ่มตัวอย่างได้มาจากการสุ่ม และเป็นอิสระจากกัน
  - ประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ
  - ไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากร
  - ข้อมูลอยู่ในมาตราอันตรภาค หรืออัตราส่วน

#### 2. กำหนดสมมติฐาน

สำหรับการทดสอบแบบสองทิศทาง

$$H_0 : \mu = \mu_0$$

$$H_1 : \mu \neq \mu_0$$

สำหรับการทดสอบแบบทิศทางเดียว

$$H_0 : \mu = \mu_0$$

$$H_1 : \mu > \mu_0 \text{ หรือ } \mu < \mu_0 \text{ อย่างไม่อย่างใดอย่างหนึ่ง}$$

#### 3. กำหนด $\alpha$

#### 4. คำนวณค่าสถิติ $t$ จากสูตร

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{N}}} \quad \text{เมื่อ } df = N - 1$$

#### 5. กำหนดขอบเขตวิกฤต โดยหาค่า $t$ วิกฤต ( $t_\alpha$ หรือ $t_{\frac{\alpha}{2}}$ )

$$5.1 \quad t \geq -t_{\frac{\alpha}{2}} \text{ และ } t \geq t_{\frac{\alpha}{2}} \text{ สำหรับ } H_1 : \mu \neq \mu_0$$

$$5.2 \quad t \leq -t_\alpha \text{ สำหรับ } \mu < \mu_0$$

$$5.3 \quad t \geq t_\alpha \text{ สำหรับ } \mu > \mu_0$$

6. สรุปผล โดยพิจารณาตัวเลขเท่านั้น ไม่คิดเครื่องหมาย หาก  $t \geq t$  วิกฤต จะปฏิเสธ  $H_0$  และ  $t < t$  วิกฤต จะยอมรับ  $H_0$

## 2.5.5.2 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่ม

### กรณีกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มเป็นอิสระจากกัน (Independent Samples)

เป็นการทดสอบสมมติฐานเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่ม ในกรณีที่ไม่ทราบความแปรปรวนของประชากร และกลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มที่มีขนาดเล็ก กล่าวคือ  $n_1 < 30$  และ  $n_2 < 30$  ซึ่งก่อนที่จะทำการทดสอบ โดยใช้สถิติทดสอบที่ จะต้องนำค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มไปทดสอบ เพื่อสรุปว่าประชากรที่ศึกษานั้นมีความแปรปรวนเท่ากันหรือไม่

ขั้นตอนในการทดสอบ มีดังนี้

1. ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของสถิติทดสอบที่
  - กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มได้มาจากการสุ่มอย่างเป็นอิสระจากกัน
  - ประชากรทั้งสองกลุ่มมีการแจกแจงแบบปกติ
  - ไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากร
  - ข้อมูลอยู่ในมาตราอันตรรกาค หรืออัตราส่วน

#### 2. กำหนดสมมติฐาน

สำหรับการทดสอบแบบสองทิศทาง

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

สำหรับการทดสอบแบบทิศทางเดียว

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 > \mu_2 \text{ หรือ } \mu_1 < \mu_2 \text{ อย่างไม่อย่างหนึ่ง}$$

#### 3. กำหนด $\alpha$

#### 4. คำนวณค่าสถิติ $t$ จากสูตรใดสูตรหนึ่งใน 2 สูตร นี้

4.1 เมื่อทดสอบได้ว่า  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$  (สูตร t-test ชนิด Pooled Variance)

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{S_p^2 \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad \text{โดยมี } df = N_1 + N_2 - 2$$

เมื่อ  $S_p^2$  แทน ความแปรปรวนร่วม (Pooled Variance)

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

4.2 เมื่อทดสอบได้ว่า  $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$  (สูตร t-test ชนิด Separated Variance)

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)}}$$

$$\text{โดยมี } df = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1}\right)^2}{(n_1 - 1)} + \frac{\left(\frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{(n_2 - 1)}}$$

5. กำหนดขอบเขตวิกฤต โดยหาค่า  $t$  วิกฤต
6. สรุปผล โดยพิจารณาตัวเลขเท่านั้น ไม่คิดเครื่องหมาย หาก  $t \geq t$  วิกฤต จะปฏิเสธ  $H_0$  และ  $t < t$  วิกฤต จะยอมรับ  $H_0$

### กรณีกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มไม่เป็นอิสระจากกัน (Dependent Samples)

เป็นการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากร ในกรณีกลุ่มตัวอย่างไม่เป็นอิสระจากกัน หรือกลุ่มตัวอย่างทั้งสองสัมพันธ์กัน (Correlated Samples) อาจเรียกว่า การทดสอบความแตกต่างโดยวิธีจับคู่ (Paired-difference Test) หรือการทดสอบที่สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกัน (Paired Samples t-test or Two Related Samples t-test)

ขั้นตอนในการทดสอบ มีดังนี้

1. ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของสถิติทดสอบที่
  - กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มได้มาจากการสุ่มและมีความสัมพันธ์กัน
  - ประชากรทั้งสองกลุ่มมีการแจกแจงแบบปกติ
  - ข้อมูลอยู่ในมาตราอันตรรกภาพ หรืออัตราส่วน
2. กำหนดสมมติฐาน

สำหรับการทดสอบแบบสองทิศทาง

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

สำหรับการทดสอบแบบทิศทางเดียว

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 > \mu_2 \text{ หรือ } \mu_1 < \mu_2 \text{ อย่างใดอย่างหนึ่ง}$$

3. กำหนด  $\alpha$
4. คำนวณค่าสถิติ  $t$  จากสูตร

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n \sum D^2 - (\sum D)^2}{n-1}}} \quad \text{โดยมี } df = N - 1$$

เมื่อ  $D$  แทน ผลต่างระหว่างข้อมูลแต่ละคู่  
 $n$  แทน จำนวนคู่ของข้อมูล

5. กำหนดขอบเขตวิกฤต โดยหาค่า  $t$  วิกฤต
6. สรุปผล โดยพิจารณาตัวเลขเท่านั้น ไม่คิดเครื่องหมาย หาก  $t \geq t$  วิกฤต จะปฏิเสธ  $H_0$  และ  $t < t$  วิกฤต จะยอมรับ  $H_0$

### 2.5.6 การทดสอบโคลโมโกรอฟ-สไมร์นอฟ (The Kolmogorov-Sminov test)

การทดสอบโคลโมโกรอฟ-สไมร์นอฟ เป็นการทดสอบภาวะสารูปสนิที่ดีเหมือน การทดสอบไคสแควร์ คือเป็นการทดสอบว่าข้อมูลมีการแจกแจงสอดคล้องกับการแจกแจงตามที่ คาดไว้หรือไม่ เช่นเป็นการทดสอบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ เป็นต้น การทดสอบ ภาวะสารูปสนิที่ของโคลโมโกรอฟได้รับความนิยมมากกว่าการทดสอบของไคสแควร์เมื่อตัวอย่างมี ขนาดเล็ก เพราะให้ผลลัพธ์ที่แท้จริง ในขณะที่การทดสอบไคสแควร์ต้องการจำนวนตัวอย่างที่ ใหญ่ เพื่อที่จะทำให้สามารถใช้การแจกแจงไคสแควร์ประมาณการแจกแจงของสถิติทดสอบได้ดี พอ การทดสอบของโคลโมโกรอฟบางทีจะมีอำนาจการทดสอบมากกว่าการทดสอบไคสแควร์ใน หลายๆ สถานการณ์ เมื่อข้อมูลเป็นข้อมูลแบบอันดับ

การทดสอบโคลโมโกรอฟจะใช้ความถี่สัมพัทธ์สะสม หรือฟังก์ชันการแจกแจง ความน่าจะเป็นสะสม ( $F(x)$ ) ในการวิเคราะห์ โดยหลักการคือจะเป็นการทดสอบว่า ความถี่ สัมพัทธ์สะสมของค่าสังเกตแตกต่างจากค่าความถี่สัมพัทธ์สะสมตามที่คาดไว้หรือไม่ ซึ่ง หมายความว่า ถ้าสุ่มตัวอย่างจากประชากรที่ไม่ทราบฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสม ( $F(x)$ ) สามารถจะสรุปได้หรือไม่ว่า  $F(x) = F_0(x)$  สำหรับทุก ๆ ค่าของ  $x$  เมื่อ  $F_0(x)$  เป็น ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสมที่ทราบการแจกแจง การทดสอบโคลโมโกรอฟ-สไมร์

นอพี จะมีประสิทธิภาพมากกว่าการทดสอบไคสแควร์ และสามารถใช้ได้กับข้อมูลทุกกรณีแม้ว่าข้อมูลจะมีความถี่เท่ากับ 0 และตัวอย่างมีขนาดเล็กก็ตาม

### สถิติทดสอบ

ให้  $S(x)$  เป็นฟังก์ชันการแจกแจงสะสมหรือความถี่สัมพัทธ์สะสมจากตัวอย่างสุ่ม  $X_1, X_2, \dots, X_n$

$$\begin{aligned} \text{โดย} \quad S(x) &= (\text{จำนวนค่าสังเกตที่ } X \leq x) / n \\ &= \frac{\#(X \leq x)}{n} \end{aligned}$$

เมื่อ  $X_{(k)}$  เป็นสถิติลำดับที่  $k$  ของ  $X$  ซึ่งโดยทั่วไป การทดสอบจะเป็นการทดสอบแบบสองหางดังนี้

### การทดสอบสมมติฐาน

#### สมมติฐานการทดสอบ

กำหนดให้  $\dot{F}(x)$  เป็นฟังก์ชันการแจกแจงสะสมตามสมมติฐาน  $H_0$

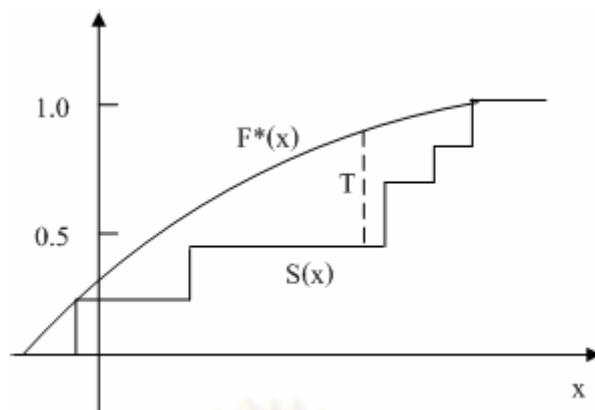
$$H_0 : F(x) = \dot{F}(x) \quad (\text{ข้อมูลมีการแจกแจงเป็นไปตามที่คาดหมาย})$$

$$H_1 : F(x) \neq \dot{F}(x) \quad (\text{ข้อมูลไม่มีการแจกแจงเป็นไปตามที่คาดหมาย})$$

ให้สถิติทดสอบ  $t$  เป็นระยะห่างที่กว้างที่สุดตามแนวตั้งระหว่าง  $S(x)$  และ  $\dot{F}(x)$  นั่นคือ

$$t = \text{Max} | \dot{F}(x) - S(x) |$$

ซึ่งรูปฟังก์ชันการแจกแจงสะสมตามสมมติฐาน ( $\dot{F}(x)$ ) และฟังก์ชันการแจกแจงสะสมจากตัวอย่าง ( $S(x)$ ) แสดงได้ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 แสดงฟังก์ชันการแจกแจงสะสมตามสมมติฐาน ( $F^*(x)$ ) และฟังก์ชันการแจกแจงสะสมจากตัวอย่าง ( $S(x)$ )

ถ้าข้อมูลจากตัวอย่างสุ่มมาจากการแจกแจงที่ระบุไว้ในสมมติฐาน  $H_0$  ความแตกต่างระหว่าง  $S(x)$  และ  $F^*(x)$  จะน้อย ในทางตรงกันข้าม ถ้า  $H_0$  ไม่จริง หรือตัวอย่างไม่ได้มาจากการแจกแจงที่ระบุไว้ในสมมติฐาน ความแตกต่างระหว่าง  $S(x)$  และ  $F^*(x)$  จะมีค่ามาก

การทดสอบแบบสองหาง จะปฏิเสธ  $H_0$  ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha$  ถ้า  $t$  มากกว่าค่าวิกฤตในตารางสถิติทดสอบโคลโมโกรอฟ-สไมร์นอฟ (ธิดาเดียว มยุรีสุวรรณ, 2553)

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### ภาษาไทย

**วิชา วิชาภัย บุนนาค (2543)** ศึกษาผลของปัจจัยในการบ่มต่อสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ ประกอบแต่เอพอกซีสำหรับเคลือบพื้นโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งประกอบด้วย เอพอกซีเรซิน (diglycidyl ether of bisphenol A (DGEBA)) สารบ่ม diethylene triamine (DETA) เส้นใยแก้ว และทราย โดยศึกษาผลิตภัณฑ์ประกอบแต่เอพอกซีเรซินทั้งในรูปแบบของสารเคลือบที่ยังไม่ได้นำไปเคลือบผิว และแบบที่เคลือบแล้วโดยจำลองขึ้นจากการเคลือบผลิตภัณฑ์ประกอบแต่เอพอกซีเรซินลงบนคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ มีการออกแบบการทดลองแปรสภาวะในการบ่มสารเคลือบผิว โดยประยุกต์ใช้หลักการออกแบบเซ็นทรัลคอมโพสิทโรเททาบิล (Central Composite Rotatable, CCR) และเลือกใช้การวิเคราะห์ผลโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) ทำให้ได้สมการพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการบ่มกับ สมบัติเชิงกลตอบสนองของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่เอพอกซีเรซิน ผลจากการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในการบ่มซึ่งได้แก่ อุณหภูมิการบ่ม ระยะเวลาในการบ่ม และปริมาณทรายที่ใช้เป็นสารเติมแต่งที่มีต่อสมบัติเชิงกล พบว่าของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่เอพอกซีเรซินที่บ่ม ณ อุณหภูมิห้อง ( $31^\circ$

C) จะมีความสามารถในการรับแรงกระแทก (impact strength) และค่าความเหนียวเมื่อแตก (fracture toughness) สูง ในขณะที่ความสามารถในการรับแรงกด (compressive strength) ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการรับแรงกดตันของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งที่บ่ม ณ อุณหภูมิสูง (99°C) การเพิ่มเวลาในการบ่มจะช่วยให้คุณสมบัติในการรับแรงกดดีขึ้น ส่วนการใส่ทรายเพื่อเป็นสารเติมแต่ง ไม่ได้มีผลต่อการรับแรงกดเท่าใดนัก แต่กลับช่วยให้พลังงานการแตก (fracture energy) ของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งอีพอกซีเรซินสูงขึ้นมากแต่ขณะเดียวกันก็ทำให้สมบัติ ในการรับแรงกดและแรงกระแทกลดลงเล็กน้อย ผลจากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า แต่ละสมบัติเชิงกลจะมีสภาวะที่เหมาะสมในการบ่มจะแตกต่างกันออกไป โดยแนวโน้มของความสามารถในการรับแรงกดจะเพิ่มขึ้นอีกเมื่อเพิ่มเวลาในการบ่มออกไปอีก

**ศิริวดี เอื้ออรุณโชติ (2546)** ได้เสนอแนวทางการควบคุมคุณภาพโดยใช้แนวทางของซิกซ์ซิกม่า เพื่อปรับปรุงข้อบกพร่องอันเนื่องมาจากคราบสกปรก (Contamination) ของกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียนสำหรับคอมพิวเตอร์ ระบบการดำเนินการคุณภาพตามแนวทางของซิกซ์ซิกม่า จะใช้หลักการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติเป็นสำคัญ ขั้นตอนตามวิธีการทางซิกซ์ซิกม่า 5 ขั้นตอน โดยเริ่มจากขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define), ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure), ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze), ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve), และขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต (Control) ตามลำดับ ในแต่ละขั้นของการสำรวจผลวิจัยสามารถระบุสาเหตุของปัญหา และแก้ไขโดยใช้หลักการทางสถิติวิศวกรรม ซึ่งขั้นตอนเริ่มต้นของการศึกษาได้นิยามปัญหา ศึกษาความแม่นยำและความถูกต้องของระบบการวัด การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาทำโดยแผนภาพแสดงเหตุและผล และเชื่อมโยงเพื่อหาความรุนแรงของปัญหาด้วยวิธีการ FMEA หลังจากนั้นวิเคราะห์สาเหตุต่างๆ เหล่านี้ว่ามีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียน เมื่อสามารถระบุถึงสาเหตุของปัญหา ขั้นตอนต่อไปคือการปรับปรุงเพื่อลดสัดส่วนของเสียเนื่องจากคราบสกปรก (Contamination defect proportion) โดยใช้หลักการทางสถิติวิศวกรรม เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองเช่นเดียวกัน สุดท้ายคือการจัดทำมาตรฐานการควบคุมและป้องกันปัญหา

**กิตติกร ฤทธิ์สิงห์ และเลอศักดิ์ สุมาลย์ (2546)** ทำการศึกษาบรอนซ์ผสม (Nickel-Aluminum Bronze) ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ผลิตเครื่องจักรกล ชิ้นส่วนยานยนต์และอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ การหล่อโลหะจำพวกบรอนซ์ผสม จะเกิดปัญหาจากผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งและเปราะ และเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อ การพัฒนาและการปรับปรุงคุณภาพของงานหล่อบรอนซ์ผสมดังกล่าวใช้วิธีการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลโดยหลักการของทากูชิ และใช้แผนการทดลอง ตาม

มาตรฐานของ Taguchi Method กำหนดตัวแปรที่มีผลต่องานหล่อ มี 4 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิเท ส่วนผสมทางเคมีของนิกเกิล ส่วนผสมทางเคมีของอลูมิเนียม และส่วนผสมทางเคมีของสังกะสี

**เปมิกา สุวรรณมณี (2548)** ทำการศึกษาเพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของการพ่นสี ที่ทำให้เกิดของเสียสีเป็นผิวสัมผัสน้อยที่สุด โดยใช้หลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง เมื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา พบว่ามีปัจจัย 5 ปัจจัย คือ ความสูงของหัวปืนพ่นสี (ระยะห่างระหว่าง งานกับหัวปืนพ่นสี) ความเร็วของหัวปืนพ่นสี ความเร็วของสายพาน แรงดันลม และความหนืดสี ที่ทำให้เกิดปัญหาดังกล่าว ดังนั้นจึงนำปัจจัยดังกล่าวมาออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคการ ออกแบบการทดลองของทากูชิ พบว่า ความหนืดสี และแรงดันลม มีอิทธิพลต่อการปัญหาสีเป็นผิว สัมผัสอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความสูงของหัวปืนพ่นสี ความเร็วของหัวปืนพ่นสี และความเร็วของ สายพาน ตามมาตรฐานการทำงานปัจจุบันไม่มีนัยสำคัญต่อการเกิดปัญหานี้ และเมื่อนำปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทดลองมาทำการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3 ระดับ เพื่อหาระดับปัจจัยที่ เหมาะสมด้วยเทคนิคพื้นผิวตอบสนอง และจากการนำผลการวิจัยไปใช้ในการทำงานจริง พบว่า จำนวนของเสียสีเป็นผิวสัมผัสลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการแก้ไขงานได้

**ชาญณรงค์ สายแก้ว และ นิพนธ์ ชิลพัฒน์ (2549)** ทำการออกแบบและสร้างเครื่อง ย่อยขวดแก้ว และประเมินปัจจัยที่มีผลต่อขนาดเศษแก้วของเครื่องย่อยขวดแก้ว โดยใช้การ ออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง  $2^k$  แฟคตอเรียลถูกนำมาใช้ในการเก็บข้อมูล และทำ การสร้างเข้ากักรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของพื้นผิวผลตอบสนอง ค่าเปอร์เซ็นต์ของขนาดเศษแก้ว ที่มีขนาดเล็กกว่ารูตะแกรงและสามารถลอดผ่านได้เป็นค่าที่ถูกบันทึกไว้ เพื่อนำไปใช้การวิเคราะห์ ความแปรปรวน และหาจุดที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรที่มีผลกระทบต่อขนาดของเศษแก้ว ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยขวดแก้วให้ได้ขนาดและปริมาณที่มาก คือ ความเร็วรอบและอัตราการป้อนขวดแก้ว นอกจากนี้ ความเร็วรอบประมาณ 450 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนขวดแก้ว 15 ขวดต่อนาที ซึ่งเป็นการออกแบบที่เหมาะสมที่สุดของเครื่อง เพื่อให้ได้ ขนาดของเศษแก้วตามที่ตลาดต้องการและได้ปริมาณมากที่สุดโดยเฉลี่ย

**ปาณิกา เสนาะดนตรี และ สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร (2550)** ทำการศึกษาปัญหาใน โรงงานเครื่องประดับ พบว่ามีปัญหาการเกิดฝุ่นบนผิวชิ้นเครื่องประดับ โดยคาดว่ากระบวนการที่ ทำให้เกิดฝุ่นคือ การหล่อ เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยในการหล่อ พบว่าปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อการเกิดฝุ่น คือ อุณหภูมิการหล่อ เวลาอบเบ้า อุณหภูมิน้ำโลหะ มุมเอียงชิ้นงาน และขนาดทางเดินน้ำโลหะ เมื่อทำการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดฝุ่นอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธีทากูชิ พบว่าอุณหภูมิ



การหล่อและอุณหภูมิน้ำโลหะมีผลต่อการเกิดผื่นบนผิวชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ จึงนำปัจจัยที่มีอิทธิพลดังกล่าวมาทำการทดลองเชิงแฟคทอเรียล เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง และนำระดับปัจจัยดังกล่าวไปหล่อชิ้นงานตัวอย่าง พบว่าสามารถลดจำนวนการเกิดผื่นลง สรุปได้ว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการหล่อได้

**องค์การ ศิริสวัสดิ์ (2551)** ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียอันเนื่องมาจากการผลิตเทฟลอน และหาสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยโดยการออกแบบการทดลอง โดยทำการทดลองกับผลิตภัณฑ์ 2 รุ่น ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเป็นปริมาณมากและเกิดของเสียในปริมาณมากด้วย คือ PV103(F4PN) และ PV102(G201) โดยเริ่มจากจากใช้แผนภาพแสดงเหตุและผลและการระดมสมอง ซึ่งทำให้ได้ปัจจัยเบื้องต้น 5 ปัจจัย คือ อุณหภูมิฮีทเตอร์โซน 1 อุณหภูมิฮีทเตอร์โซน 2 อุณหภูมิฮีทเตอร์โซน 3 อุณหภูมิฮีทเตอร์โซน 4 และความเร็วผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยหลักการทางสถิติ พบว่า มี 4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ การเกิดของเสียในการผลิตเทฟลอน คือ อุณหภูมิฮีทเตอร์โซน 1 อุณหภูมิฮีทเตอร์โซน 2 อุณหภูมิฮีทเตอร์โซน 3 และอุณหภูมิฮีทเตอร์โซน 4 จากผลการทดลองเพื่อการยืนยันผลการทดลองของเทฟลอนทั้งสองรุ่น โดยเปรียบเทียบสัดส่วนของการเกิดของเสียในการผลิตเทฟลอนที่ได้จากการใช้ระดับปัจจัยที่ได้จากการทดลองมาใช้ในการผลิตจริง สามารถลดของเสียของผลิตภัณฑ์ได้

**ปิยะชาติ อริยชาติมา (2552)** ทำการศึกษากระบวนการล้างของเครื่องล้างอัลตราโซนิกอัตโนมัติเครื่องใหม่ เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการล้างชิ้นงานให้เกิดของเสียอันเกิดจากราบสกปรกรวมกันทุกประเภทที่ไม่ใช่คราบสนิมให้เหลือน้อยที่สุดไม่เกินห้าสิบเปอร์เซ็นต์ของเปอร์เซ็นต์ของเสียเดิมหรือน้อยกว่าหนึ่งเปอร์เซ็นต์ โดยใช้เทคนิคทางสถิติวิศวกรรม และทำการจัดตั้งเวลามาตรฐานในการล้างงานแต่ละชิ้นงาน ด้วยวิธีการของโปรแกรมเชิงเส้น รวมถึงเทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมอื่น ๆ โดยดูผลจากแต่ละเงื่อนไขที่เปลี่ยนไปและพิจารณาถึงต้นทุนในการล้างและกำลังการผลิตตามแผนการของโรงงานกรณีศึกษา

**สินี ทองมี (2552)** ทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงกระบวนการชุบผิวด้วยไฟฟ้าของชิ้นส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ โดยกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการขัดเตรียมผิวชิ้นงานก่อนชุบและการชุบผิวด้วยไฟฟ้า เพื่อลดการนำชิ้นงานกลับมาซ่อมและเพื่อควบคุมความหนาของผิวชุบนิเกิลและทองตามเป้าหมายที่กำหนด ปัจจัยทั้งหมดที่มีผลต่อการแตกของชิ้นงาน คุณภาพผิวของชิ้นงานในการขัดเตรียมผิว และความหนาผิวชุบในการชุบนิเกิลและทอง โดยใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล ผู้วิจัยได้เลือกปัจจัยเพื่อทำการทดลองในการขัดเตรียมผิวชิ้นงาน คือ ปริมาณวัสดุขัด,

ปริมาณน้ำยาขัด, เวลาขัดชิ้นงานด้วยน้ำยาขัด และเวลาล้างชิ้นงาน และปัจจัยที่เลือกในการชุบนิเกิลและทอง คือ ความเข้มข้นของนิเกิลซัลเฟตในน้ำยาชุบนิเกิล, ความเข้มข้นของทองในน้ำยาชุบทอง, ค่า pH ของน้ำยาชุบนิเกิลและทอง, กระแสไฟฟ้าและเวลาในการชุบนิเกิลและทอง วิธีพื้นผิวผลตอบได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสม หลังจากการปรับปรุงกระบวนการขัดผิวและชุบผิวด้วยไฟฟ้าแล้ว พบว่า ไม่มีชิ้นงานที่ต้องนำกลับมาซ่อมอีก และสมการความสัมพันธ์ที่หาได้จากการทดลองนี้ ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการชุบต่อไปได้ โดยใช้กำหนดค่าของปัจจัยต่างๆของกระบวนการชุบจากสมการความสัมพันธ์นี้ เพื่อควบคุมความหนาของนิเกิลและทองให้ได้ตามเป้าหมายที่กำหนด

#### ภาษาอังกฤษ

Yang W. H. และ Tarng, Y. S. (1998) ทำการศึกษาพารามิเตอร์ของการตัดที่เหมาะสมในกระบวนการกลึง โดยใช้วิธีการของทากูชิ ทั้งออกทอกอนอล อะเรย์, อัตราส่วน signal-to-noise (S/N) และการวิเคราะห์การแปรปรวน (ANOVA) ในการตัดเหล็ก S45C ด้วยทั้งสแตนคาร์ไบด์ รวมถึง ศึกษาอิทธิพลที่มีต่อคุณภาพการตัดในกระบวนการกลึงอีกด้วย และผลจากการทดลองสามารถยืนยันประสิทธิภาพของการตัดได้

Angsumalin S., Somkiat T. และ Napassavong R. (2008) ศึกษาเพื่อปรับปรุงและหากระบวนการล้างที่เป็นมาตรฐาน โดยวัดจากจำนวนชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันจากกระบวนการตัดกระบวนการ dipping ได้ถูกออกแบบมาใช้แทนที่กระบวนการล้างแบบเดิม การทดลองได้ออกแบบขึ้นเพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่ควบคุมได้ และจากการทดสอบสมมติฐานและ general linear model นั้น พบว่า กระบวนการ dipping process ใน Careclean PC ด้วยถาดพลาสติกแบบมีหมุดมีนัยสำคัญทางสถิติ

Raviraj S., Raghuvir P., Srikanth S.R. และ Vasanth K. (2008) ศึกษาเพื่อพัฒนาส่วนประกอบเมทริกซ์ (metal matrix) ที่มี discontinuously reinforced เพื่อปรับปรุงความแข็งแรงและความอ่อนตัวของเหล็ก โดยใช้การออกแบบการทดลองของทากูชิและวิธีพื้นผิวผลตอบ ในการศึกษาความเรียบของพื้นผิวในการกลึงของ discontinuously reinforced aluminium composites (DRACs) ที่มีอะลูมิเนียมอัลลอย 6061 เป็นส่วนประกอบ และมีซิลิคอลคาร์ไบด์ 15 vol. % ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $25 \mu\text{m}$  ภายใต้การตัดแบบแห้ง ผลลัพธ์ที่ได้รวบรวมและทำการวิเคราะห์ด้วย MINITAB15 พารามิเตอร์ในการทดลองประกอบด้วยความเร็วในการตัด อัตราการป้อน และความลึกในการตัด พิจารณาอิทธิพลของพารามิเตอร์ในการตัดที่มีต่อความเรียบของพื้นผิว

และหาสภาวะที่เหมาะสมในการตัด จากนั้นวิธีพื้นผิวผลตอบ ถูกใช้เพื่อสร้างสมการกำลังสองของ พารามิเตอร์ในการตัดและความเรียบของพื้นผิว จากการทดลอง พบว่า พารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อ ความเรียบของพื้นผิว คือ อัตราการป้อน รองลงมาคือ ความเร็วในการตัด และมีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ค่าความเรียบด้วยสมการที่สร้างขึ้น

Kadirgama, K., Noor, M.M., Rahman, M.M., Bakar, R.A., และ Abou-El-Hossein, K.A., (2009) ศึกษาเพื่อพัฒนาโมเดลทางคณิตศาสตร์ของการกัดแม่พิมพ์ของ AISI ชนิด 618 วิธีการพื้นผิวผลตอบถูกนำมาใช้ในการพยากรณ์อิทธิพลของการกัดแม่พิมพ์ จากความสัมพันธ์ ระหว่างปัจจัยกระบวนการในการผลิต ซึ่งมีปัจจัย คือ ความเร็วในการตัด อัตราการป้อน ความลึกตัด และความกว้างตัด อิทธิพลของปัจจัยถูกใช้ในการสร้างสมการกำลังหนึ่ง ถึงกำลังสี่ ซึ่งผลลัพธ์ แสดงว่า การกลึงมีรอบหมุนเพิ่มขึ้น เมื่อลดความเร็วในการตัด เพิ่มอัตราการป้อน เพิ่มความลึกตัด และเพิ่มความกว้างตัด และจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า สมการกำลังสองมีความ แม่นยำมากกว่า และสามารถพยากรณ์การกลึงได้ใกล้เคียง ส่วนสมการกำลังสาม และสมการ กำลังสี่ ถูกสร้างขึ้นเพื่อศึกษาปฏิกิริยาระหว่างปัจจัย แบบ 3 ทาง และ 4 ทาง ตามลำดับ แต่พบว่า มีนัยสำคัญน้อยสำหรับทุกตัวแปร

Kadirgama, K., Noor, M.M., Rahman, M.M., Rejab, M.R.M., Haron, C.H.C., และ Abou-El-Hossein, K.A. (2009) ศึกษาเพื่อศึกษาความเรียบของพื้นผิวของการ milling mould ของอะลูมิเนียมอัลลอยชนิด 6061-T6 ด้วยมีดตัดคาร์ไบด์ ซึ่งการหาสภาวะที่เหมาะสมของ milling มีความสำคัญต่อการลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายสำหรับการหล่อขึ้นงาน และสร้างสมการ เพื่อการพยากรณ์ของความเรียบของพื้นผิวของอะลูมิเนียมอัลลอยชนิด 6061-T6 ด้วยปัจจัยใช้ ปัจจัยความเร็วในการตัด อัตราการป้อน ความลึกตัด และความกว้างตัด โดยใช้วิธีการทางสถิติ และหาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้วิธีการพื้นผิวผลตอบ จากสมการกำลังหนึ่งพบว่าอัตราการป้อนมี นัยสำคัญมากที่สุด ซึ่งมีอิทธิพลต่อความเรียบของพื้นผิว และในส่วนสมการกำลังสอง ก็ไม่มี ปฏิกิริยาระหว่างตัวแปรและผลตอบ

Reddy, B. Sidda; Kumar, J. Suresh; Reddy, K. Vijaya Kumar and Kumari, A.A. (2009) ทำการศึกษาโดยใช้วิธีการของทาภูชิและวิธีพื้นผิวผลตอบในการหา yield สูงสุดของไบโอดีเซล จาก alkali catalysed transesterification ของน้ำมันเสืยที่ใช้ในการอาหาร ใช้ฮอททอกอนอล อะเรย์ L<sub>9</sub> ของทาภูชิ ในการออกแบบการทดลองใช้ พารามิเตอร์ของกระบวนการ คือ อุณหภูมิ, เวลา , ปริมาณของเมทานอล และปริมาณของคะตาไลต์ พิจารณาสภาวะที่เหมาะสม yield ของไบโอดีเซล

ดีเซล จากอัตราส่วน signal to noise (S/N) สมการกำลังสองสร้างขึ้นจากพารามิเตอร์ของกระบวนการและ yield ของไบโอดีเซล ด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบ และตรวจสอบความแม่นยำของสมการด้วย coefficient of determination (R) พบว่า มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 1 ซึ่งสามารถนำไปพยากรณ์ค่าสังเกตก่อนข้างแม่นยำ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

เนื่องจากจุดประสงค์ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ลดคราบน้ำมันบนชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการลดคราบน้ำมันสำหรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ เพื่อให้จำนวนชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมันน้อยที่สุดหรือไม่มีเลย โดยในการทดลองจะใช้ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการตัดเรียบร้อยแล้ว บรรจุใส่ตะกร้า (basket) แล้วป้อนสู่เครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ และทำการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ ตามแบบการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ แล้วจึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูล และทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ ซึ่งมีขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง ดังนี้

#### 3.1 การออกแบบการทดลอง

สำหรับการวิจัยนี้เป็นการทดลอง ซึ่งประยุกต์ใช้เทคนิคของพื้นผิวผลตอบและวิธีการของทากูชิ โดยรายละเอียดของการออกแบบการทดลอง ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง ดังนี้

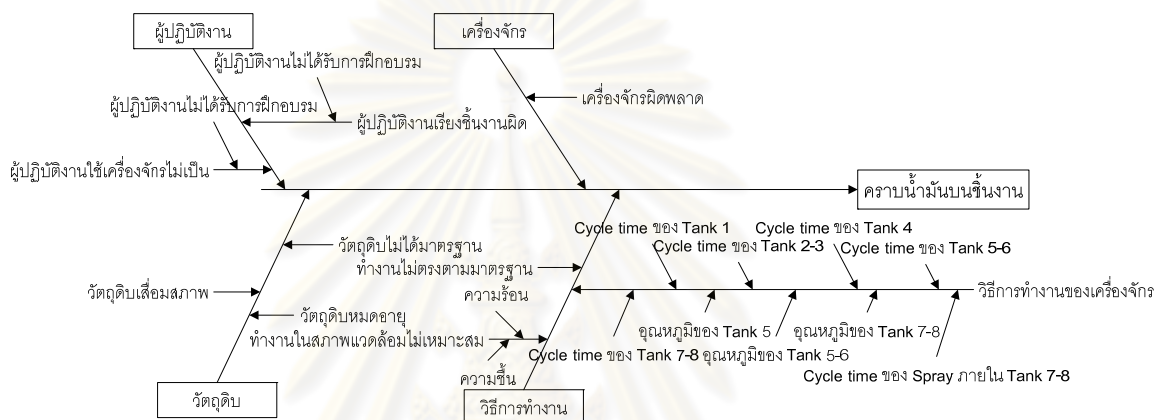
- 3.1.1 การกำหนดปัจจัยที่จะนำมาพิจารณา
- 3.1.2 การจำแนกปัจจัยหลัก และปัจจัยสัญญาณรบกวน
- 3.1.3 การกำหนดระดับของปัจจัย
- 3.1.4 การเลือกตารางการทดลอง
- 3.1.5 การพิจารณาการลดค่าอคติในการทดลอง
- 3.1.6 การกำหนดลำดับการทดลอง
- 3.1.7 วิธีทำการทดลอง

##### 3.1.1 การกำหนดปัจจัยที่จะนำมาพิจารณา

จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาคราบน้ำมันบนชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของกระบวนการล้าง โดยการระดมสมองร่วมกับผู้ที่รับผิดชอบในกระบวนการล้าง ซึ่งพิจารณาจาก 4 ปัจจัยหลัก ซึ่งได้แก่

- 1) ปัจจัยเนื่องจากคน (Man)
- 2) ปัจจัยเนื่องจากเครื่องจักร (Machine)
- 3) ปัจจัยเนื่องจากวัสดุดิบ (Material)
- 4) ปัจจัยเนื่องจากวิธีการ (Method)

ทำการการวิเคราะห์ปัจจัยโดยใช้ผังแสดงเหตุและผล ซึ่งแสดงดังภาพที่ 3.1 และอธิบายรายละเอียดดังตารางที่ 3.1 ตามลำดับ



ภาพที่ 3.1 ผังแสดงเหตุและผลของปัญหาเกี่ยวกับการลัดคราบน้ำมันสำหรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ

ตารางที่ 3.1 สรุปเหตุและผลของปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการลัดคราบน้ำมันของชิ้นงานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ

สาเหตุของปัญหา	ใช่	ไม่ใช่	เหตุผล
1. ผู้ปฏิบัติงาน			
1.1 ผู้ปฏิบัติงานใช้เครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติไม่เป็น	✓		เครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ เป็นเครื่องอัตโนมัติ สามารถใช้งานได้ง่าย และมีคู่มือวิธีการใช้งานของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ
1.1.1 ผู้ปฏิบัติงานไม่ได้รับการฝึกอบรม	✓		ผู้ใช้เครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ ต้องได้รับการฝึกอบรม และได้ผ่านการทดสอบการใช้เครื่อง ก่อนใช้งานจริง

สาเหตุของปัญหา	ใช่	ไม่ใช่	เหตุผล
1.2 ผู้ปฏิบัติงานจัดเรียงชิ้นงานผิด	✓		ภาชนะบรรจุงานทั้งถาดและตะกร้าถูกออกแบบมา เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานจัดเรียงงานในลักษณะเดียวกันเป็นมาตรฐาน
1.2.1 ผู้ปฏิบัติงานไม่ได้รับการฝึกอบรมการจัดเรียงงานที่ถูกต้องตามภาชนะ	✓		ผู้ปฏิบัติงานต้องได้รับการฝึกอบรมการจัดเรียงงานก่อนปฏิบัติงานจริง
2. เครื่องจักร			
2.1 เครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติผิดพลาด	✓		จากการตรวจสอบไม่พบปัญหาของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติที่มีส่วนทำให้เกิดปัญหาคราบน้ำมันบนชิ้นงาน
3. วัตถุดิบ			
3.1 วัตถุดิบไม่ได้มาตรฐาน	✓		มาตรฐานของวัตถุดิบเกิดจากข้อตกลงระหว่างบริษัท โรงงานกรณีศึกษา และผู้ผลิต ซึ่งผู้ผลิตจะทำการตรวจสอบวัตถุดิบว่าตรงตามมาตรฐานหรือไม่ก่อนส่งมาให้บริษัท ซึ่งหากไม่ผ่านมาตรฐานก็ต้องผลิตใหม่ ซึ่งจากการตรวจสอบไม่มีรายงานความผิดปกติดังกล่าว
3.2 วัตถุดิบเสื่อมสภาพ	✓		วัตถุดิบจะเสื่อมสภาพก็ต่อเมื่อมีการเก็บวัตถุดิบในสภาพที่ไม่เหมาะสม ซึ่งจากการตรวจสอบทั้งในที่เก็บวัตถุดิบและการตรวจสอบวัตถุดิบเองไม่พบความผิดปกติใดๆเกิดขึ้น
3.3 วัตถุดิบหมดอายุ	✓		วัตถุดิบที่เข้ามาในบริษัทจะมีเอกสารแฉ่งวันผลิตและวันหมดอายุ ซึ่งจะมีฝ่ายบันทึกข้อมูลเหล่านี้ เพื่อควบคุมไม่ให้แผนก washing นำวัตถุดิบที่หมดอายุมาใช้ ซึ่งถ้าวัตถุดิบใดถึงกำหนดวันหมดอายุ ก็จะไปกำจัดทิ้งทันที

สาเหตุของปัญหา	ใช่	ไม่ใช่	เหตุผล
4. วิธีการทำงาน			
4.1 วิธีการทำงานไม่ตรงตามมาตรฐาน	✓		ในการทำงานต่างๆ จะมีมาตรฐานที่ระบุถึงวิธีการและข้อควรระวัง ซึ่งผู้ปฏิบัติงานทุกคนต้องศึกษา และทำความเข้าใจก่อนการปฏิบัติงาน
4.2 สภาพการทำงานไม่เหมาะสม	✓		สภาพการทำงานมีการตรวจเช็คอยู่เสมอ ซึ่งถ้ามีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นจะมีสัญญาณเตือน
4.2.1 ความร้อน	✓		ความร้อนมีผลต่อละอองน้ำมันในอากาศ ซึ่งเมื่อมีการผ่านบริเวณที่มีความร้อนจะทำให้เกิดคราบน้ำมันบนชิ้นงานได้ แต่จากการตรวจสอบในเรื่องของความรอนั้น ไม่พบความผิดปกติเกิดขึ้น
4.2.2 ความชื้น	✓		ความชื้นมีผลต่อละอองน้ำมันในอากาศ ซึ่งเมื่อมีการผ่านบริเวณที่มีความชื้นสูงจะทำให้เกิดการควบแน่น อาจเกิดคราบน้ำมันบนชิ้นงานได้ แต่จากการตรวจสอบในเรื่องของความชื้นนั้น ไม่พบความผิดปกติเกิดขึ้น
4.3 ไม่มีวิธีการทำงานของเครื่องจักร	✓		เนื่องจากเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติเป็นเครื่องที่ผลิตและพัฒนาขึ้นมาใหม่ เพื่อกระบวนการล้างของโรงงานกรณีศึกษาโดยเฉพาะ จึงยังไม่มีพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ณ ปัจจุบัน
4.3.1 คุณภูมิของถังที่ 5-6	✓		คุณภูมิของถังที่ 5-6 เป็นคุณภูมิของ Careclean PC Hydrocarbon ที่มีคลื่นอัลตราโซนิก ที่มีความถี่ 40 KHz ในการเร่งการแตกตัวของคราบน้ำมัน ซึ่งถ้าใช้คุณภูมิที่สูง ก็จะทำให้คราบน้ำมันแตกตัวได้มาก แต่ถ้าสูงเกินไป จะทำให้เกิดการไหม้บนชิ้นงานได้
4.3.2 คุณภูมิของถังที่ 7-8	✓		คุณภูมิของถังที่ 7-8 เป็นคุณภูมิของลมร้อนใน ถังเพื่อใช้ในการระเหยของคราบน้ำมัน



สาเหตุของปัญหา	ใช่	ไม่ใช่	เหตุผล
			จากชิ้นงาน ซึ่งถ้าใช้อุณหภูมิที่สูง ก็จะทำให้คราบน้ำมันระเหยได้มาก แต่ถ้าสูงเกินไป จะทำให้เกิดการไหม้บนชิ้นงานได้
4.3.3 รอบเวลาของถังที่ 1 (Dipping Tank no.1)	✓		รอบเวลาของถังที่ 1 (Dipping Tank) เป็นช่วงเวลาของการนำชิ้นงานจุ่มลงใน Part Cleaner ก่อนเข้าสู่การล้างในถังถัดไป เพื่อให้ชิ้นงานอยู่ในสารละลายไฮโดรคาร์บอน ไม่ให้โดนอากาศภายนอก ซึ่งถ้าจุ่มชิ้นงานนานเกินไป จะส่งผลต่อคราบน้ำมันที่ชิ้นงานได้
4.3.4 รอบเวลาของถังที่ 2 (Dipping Tank no.2)	✓		รอบเวลาของถังที่ 2 (Dipping Tank no.2) เป็นช่วงเวลาของการนำชิ้นงานจุ่มลงใน Careclean PC Hydrocarbon ที่มีลิฟเตอร์ (Lifter) โดยให้ Lifter ทำการเขย่า ให้คราบน้ำมันแตกตัวและหลุดออกจากชิ้นงาน ซึ่งถ้าล้างเป็นเวลานาน ก็จะทำให้คราบน้ำมันหลุดจากชิ้นงานได้มาก แต่ถ้าล้างในนานเกินไป ก็จะทำให้เสียเวลาโดยไม่จำเป็น
4.3.5 รอบเวลาของถังที่ 3 (Ultrasonic Tank)	✓		รอบเวลาของถังที่ 3 (Ultrasonic Tank) เป็นช่วงเวลาของการนำชิ้นงานล้างใน Careclean PC Hydrocarbon ที่มีลิฟเตอร์และคลื่นอัลตราโซนิกที่มีความถี่ 28 KHz รวมอยู่ด้วย โดยให้ ลิฟเตอร์ทำการเขย่า และใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการทำให้คราบน้ำมันแตกตัวและหลุดออกจากชิ้นงาน ซึ่งถ้าล้างเป็นเวลานาน ก็จะทำให้คราบน้ำมันหลุดจากชิ้นงานได้มาก แต่ถ้าล้างในนานเกินไป ก็จะทำให้เสียเวลาโดยไม่จำเป็น
4.3.6 รอบเวลา ของ Tank 4 (Waiting Tank)	✓		รอบเวลา ของ Tank 4 (Waiting Tank) เป็นช่วงเวลาของการนำชิ้นงานล้างใน Careclean PC Hydrocarbon มีสถานะปกติ ไม่มีลิฟ

สาเหตุของปัญหา	ใช่	ไม่ใช่	เหตุผล
			เตอร์ ในการเขย่า เพื่อให้คราบน้ำมันหลุดออก และรอเวลาเพื่อนำไปสู่การล้างในถังถัดไป ซึ่ง ถ้ำล้างเป็นเวลานาน ก็จะทำให้คราบน้ำมัน หลุดออกได้มาก แต่ถ้ำล้างนานเกินไป ก็จะทำให้ เสียเวลาโดยไม่จำเป็น
4.3.7 รอบเวลาของถังที่ 5-6 (ถังแวกคัม)	✓		รอบเวลาของถังที่ 5-6 (ถังแวกคัม) เป็น ช่วงเวลาของการนำชิ้นงานล้างใน Careclean PC Hydrocarbon ที่อุณหภูมิสูงขึ้น, มีลิฟ เตอร์และคลื่นอัลตราโซนิกที่มีความถี่ 40 KHz ด้วย เพื่อใช้ความร้อนในการเร่งให้คราบ น้ำมันแตกตัวหลุดออกจากชิ้นงาน โดยใช้ ความร้อนในการเร่ง, ใช้ลิฟเตอร์ในการเขย่า และคลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งถ้ำล้างเป็นเวลานาน ก็จะทำให้คราบน้ำมันหลุดออกได้มาก แต่ถ้ำ ล้างในนานเกินไป ก็จะทำให้เสียเวลา และ อาจเกิดการไหม้บนชิ้นงานได้
4.3.8 รอบเวลาของถังที่ 7-8 (ถังทรายเออร์)	✓		รอบเวลาของถังที่ 7-8 (ถังทรายเออร์) เป็น ช่วงเวลาของการนำชิ้นงานเข้าอบในถังที่มีลม ร้อน เพื่อใช้ความร้อนในการระเหยคราบ น้ำมันออกจากชิ้นงาน ซึ่งถ้ำอบเป็นเวลานาน ก็จะทำให้คราบน้ำมันระเหยได้มาก แต่ถ้ำอบ นานเกินไป ก็จะทำให้เสียเวลา และอาจเกิด การไหม้บนชิ้นงานได้
4.3.9 รอบเวลาของสเปร์ย ภายใถังที่ 7-8 (ถังทรายเออร์)	✓		รอบเวลาของสเปร์ยภายใถังที่ 7-8 (ถังทราย เออร์) ซึ่งเป็นสเปร์ยของ Careclean PC Hydrocarbon เพื่อใช้สเปร์ยที่มีความร้อนใน การระเหยคราบน้ำมันออกจากชิ้นงาน ซึ่งถ้ำ อบเป็นเวลานาน ก็จะทำให้คราบน้ำมันระเหย ได้มาก แต่ถ้ำอบนานเกินไป ก็จะทำให้ เสียเวลา และอาจเกิดการไหม้บนชิ้นงานได้

### 3.1.2 การจำแนกปัจจัยหลัก และปัจจัยสัญญาณรบกวน

การจำแนกปัจจัยหลัก และปัจจัยสัญญาณรบกวน จะพิจารณาจากความสามารถในการควบคุมได้ของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ ซึ่งปัจจัยที่นำมาพิจารณาในการทดลอง จะต้องสามารถควบคุมได้ทุกปัจจัย จึงจัดว่าเป็นปัจจัยหลักทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยจำนวน 9 ปัจจัย ดังนี้

- 1) อุณหภูมิของถังแวกคัม (Vacuum Tank) (ถังที่ 5-6) ( $^{\circ}\text{C}$ )
  - 2) อุณหภูมิของถังทรายเออร์ (Dryer Tank) (ถังที่ 7-8) ( $^{\circ}\text{C}$ )
  - 3) รอบเวลาของถังดิพพิงที่ 1 (Dipping Tank no.1) (ถังที่ 1) (วินาที)
  - 4) รอบเวลาของถังดิพพิงที่ 2 (Dipping Tank no.2) (ถังที่ 2) (วินาที)
  - 5) รอบเวลาของถังอัลตราโซนิก (Ultrasonic Tank) (ถังที่ 3) (วินาที)
  - 6) รอบเวลาของถังเวทิง (Waiting Tank) (ถังที่ 4) (วินาที)
  - 7) รอบเวลาของถังแวกคัม (Vacuum Tank) (ถังที่ 5-6) (วินาที)
  - 8) รอบเวลาของถังทรายเออร์ (Dryer Tank) (ถังที่ 7-8) (วินาที)
  - 9) รอบเวลาของสเปร์ย์ภายในถังทรายเออร์ (Dryer Tank) (ถังที่ 7-8) (วินาที)
- ส่วนปัจจัยอื่น ๆ จะไม่นำมาพิจารณาในการทดลองนี้

### 3.1.3 การกำหนดระดับของปัจจัย

จากการศึกษาการล้างด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัตินี้ พบว่า ในการทดลอง จะมีความยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายในการทดลองสูง หากมีการกำหนดระดับปัจจัยหลาย ๆ ระดับ เพราะในการเปลี่ยนระดับการทดลองแต่ละครั้งจะต้องเสียเวลา และอาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการอื่น ๆ ของโรงงานต่อไป ดังนั้น เพื่อเป็นการลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลอง อีกทั้งหลีกเลี่ยงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นอื่น ๆ จึงกำหนดระดับปัจจัยในการทดลองทุก ๆ ปัจจัย ให้มีปัจจัยละ 3 ระดับ คือ ปัจจัยในลักษณะค่าสูง (Max), ค่ากลาง (Med) และค่าต่ำ (Min) โดยค่ากลาง (Med) นั้น จะมีค่าเป็นกึ่งหนึ่งระหว่างค่าสูงและค่าต่ำ จากนั้นกำหนดระดับปัจจัย โดยพิจารณาจากมาตรฐานการทำงานในกระบวนการล้างเดิม ข้อมูลผลิตภัณฑ์ และประสบการณ์จากผู้ที่เกี่ยวข้องในแผนก Washing ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

- 1) อุณหภูมิของถังแวกคัม (Vacuum Tank) (ถังที่ 5-6) แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ  $30^{\circ}\text{C}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$  และ  $50^{\circ}\text{C}$  (คำแนะนำจากคู่มือการใช้เครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ (ภาคผนวก ก) แนะนำที่อุณหภูมิ  $30-50^{\circ}\text{C}$ , ข้อมูลผลิตภัณฑ์ Careclean PC แนะนำที่อุณหภูมิ  $40^{\circ}\text{C}$  (ภาคผนวก ข))

- 2) อุณหภูมิของถังทรายเออร์ (Dryer Tank) (ถังที่ 7-8) แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 90 °C, 100 °C และ 110 °C (คำแนะนำจากคู่มือการใช้เครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ (ภาคผนวก ก) แนะนำที่อุณหภูมิ 90-110 °C)
- 3) รอบเวลาของถังดิฟฟิงที่ 1 (Dipping Tank no.1) (ถังที่ 1) แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 150 วินาที, 180 วินาที และ 210 วินาที (คำแนะนำจากคู่มือการใช้เครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ แนะนำที่ 150-180 วินาที และผู้มีประสบการณ์ในแผนก Washing แนะนำที่ 180-210 วินาที)
- 4) รอบเวลาของถังดิฟฟิงที่ 2 (Dipping Tank no.2) (ถังที่ 2) แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 150 วินาที, 180 วินาที และ 210 วินาที (คำแนะนำจากคู่มือการใช้เครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ แนะนำที่ 150-180 วินาที และผู้มีประสบการณ์ในแผนก Washing แนะนำที่ 180-210 วินาที)
- 5) รอบเวลาของถังอัลตราโซนิก (Ultrasonic Tank) (ถังที่ 3) แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 150 วินาที, 180 วินาที และ 210 วินาที (คำแนะนำจากคู่มือการใช้เครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ แนะนำที่ 150-180 วินาที และผู้มีประสบการณ์ในแผนก Washing แนะนำที่ 180-210 วินาที)
- 6) รอบเวลาของถังเวทิง (Waiting Tank) (ถังที่ 4) แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 150 วินาที, 180 วินาที และ 210 วินาที (คำแนะนำจากคู่มือการใช้เครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ แนะนำที่ 150-180 วินาที และผู้มีประสบการณ์ในแผนก Washing แนะนำที่ 180-210 วินาที)
- 7) รอบเวลาของถังแควคัม (ถังที่ 5-6) แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 150 วินาที, 180 วินาที และ 210 วินาที (คำแนะนำจากคู่มือการใช้เครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ แนะนำที่ 150-180 วินาที และผู้มีประสบการณ์ในแผนก Washing แนะนำที่ 180-210 วินาที)
- 8) รอบเวลาของถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8) แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 600 วินาที, 660 วินาที และ 720 วินาที แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 600 วินาที, 660 วินาที และ 720 วินาที (คำแนะนำจากคู่มือการใช้เครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ แนะนำที่ 660-720 วินาที และผู้มีประสบการณ์ในแผนก Washing แนะนำที่ 600-660 วินาที)
- 9) รอบเวลาของสเปรย์ภายในถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8) แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 180 วินาที, 240 วินาที และ 300 วินาที แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 150 วินาที, 180 วินาที และ 210 วินาที (คำแนะนำจากคู่มือการใช้เครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ แนะนำที่ 180-210 วินาที และผู้มีประสบการณ์ในแผนก Washing แนะนำที่ 150-180 วินาที)

### ซึ่งสรุปการกำหนดระดับของปัจจัย ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สรุประดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลองของการลดคราบน้ำมันบนชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับต่ำ	ระดับกลาง	ระดับสูง
อุณหภูมิของถังแวกคัม (Vacuum Tank) (ถังที่ 5-6) (°C)	A	30	40	50
อุณหภูมิของถังทรายเออร์ (Dryer Tank) (ถังที่ 7-8) (°C)	B	90	100	110
รอบเวลาของถังดิพพิงที่ 1 (Dipping Tank no.1) (วินาที)	C	150	180	210
รอบเวลาของถังดิพพิงที่ 2 (Dipping Tank no.2) (วินาที)	D	150	180	210
รอบเวลาของถังอัลตราโซนิก (Ultrasonic Tank) (ถังที่ 3) (วินาที)	E	150	180	210
รอบเวลาของถังเวทิง (Waiting Tank) (ถังที่ 4) (วินาที)	F	150	180	210
รอบเวลาของถังแวกคัม (Vacuum Tank) (ถังที่ 5-6) (วินาที)	G	150	180	210
รอบเวลาของถังทรายเออร์ (Dryer Tank) (ถังที่ 7-8) (วินาที)	H	600	660	720
รอบเวลาของสเปรย์ภายในถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8) (วินาที)	J	180	240	300

#### 3.1.4 การเลือกตารางการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองที่มีผลการทดลองเที่ยงตรงที่สุด คือ การใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ชนิด Full Factorial แต่การทดลองดังกล่าวเหมาะสมกับการทดลองที่มีจำนวนปัจจัยในการทดลองไม่มาก ระดับของแต่ละปัจจัยมีน้อย เช่น มีปัจจัย 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ ดังนั้นจำนวนการทดลองเท่ากับ  $2^3$  หรือ 8 การทดลอง แต่ถ้าหากมีปัจจัย 7 ปัจจัย จะใช้ทั้งหมดเท่ากับ  $2^7$  หรือ 128 การทดลอง ซึ่งจะทำให้ต้องใช้เวลา และค่าใช้จ่ายสูง ดังในการวิจัยนี้

ซึ่งมี 9 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ จะต้องใช้การทดลองทั้งหมด  $3^9$  หรือ 19683 การทดลอง ซึ่งจำนวนการทดลองสูงมาก อย่างไรก็ตามมีวิธีการของทากูชิ ซึ่งใช้ตารางออกทอกอนอลอะเรย์ และในการทดลองนี้มี 9 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ จะเลือกใช้ตารางออกทอกอนอลอะเรย์  $L_{27}(3^{13})$  (Ross, 1998) ดังตารางที่ 3.3 ซึ่งมีจำนวนการทดลอง 27 การทดลองเท่านั้น ทำให้สามารถลดเวลาและค่าใช้จ่ายได้มาก ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ จึงได้ทำการเลือกตารางการทดลอง ด้วยวิธีดังต่อไปนี้

การเลือกออกทอกอนอลอะเรย์

$$\begin{aligned} \text{ระดับชั้นความอิสระของปัจจัยหลัก} &= (\text{ระดับของปัจจัย} - 1) \times \text{จำนวนปัจจัย} \\ &= (3-1) \times 9 \\ &= 18 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ระดับชั้นความอิสระของปัจจัยร่วม} &= (3-1) \times (3-1) \times 2 \\ &= 8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ระดับชั้นความอิสระรวม} &= 18 + 8 \\ &= 26 \end{aligned}$$

ในการเลือกตารางมาตรฐานออกทอกอนอลอะเรย์ จะต้องเลือกตารางออกทอกอนอลอะเรย์ที่มีระดับชั้นความอิสระของตารางมากกว่าหรือเท่ากับระดับชั้นความอิสระของปัจจัย ดังนั้น จากการคำนวณระดับชั้นความอิสระรวมของปัจจัย เท่ากับ 26 จึงเลือกตารางมาตรฐานออกทอกอนอลอะเรย์  $L_{27}(3^{13})$  ดังตารางที่ 3.3 ซึ่งมีระดับชั้นความอิสระเท่ากับ 26 เช่นกัน

ตารางที่ 3.3 แสดงตารางออกทอกอนอลอะเรย์  $L_{27}(3^{13})$  ของทากูชิ

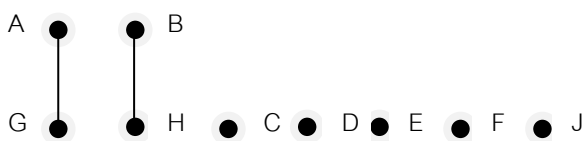
Trail no.	Column												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3

Trail no.	Column												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2

หมายเหตุ : ระดับ 1 คือ ระดับปัจจัยที่ระดับต่ำ, ระดับ 2 คือ ระดับปัจจัยที่ระดับปานกลาง และ  
ระดับ 3 คือ ระดับปัจจัยที่ระดับสูง

กำหนดรูปภาพเชิงเส้นของปัจจัยที่ทดลอง ดังนี้

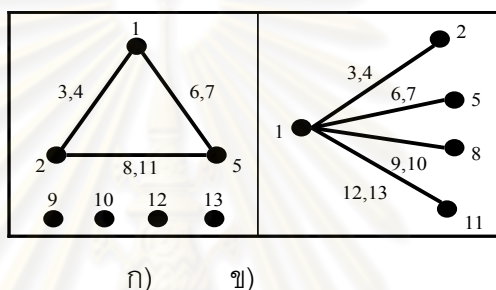
1. เขียนกราฟเชิงเส้นของการทดลอง



ภาพที่ 3.2 แสดงกราฟเชิงเส้นของการทดลอง

หมายเหตุ เนื่องจากในเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัตินี้ ภายใน vacuum tank (tank 5-6) มีปัจจัย A (อุณหภูมิของ vacuum tank) และ G (รอบเวลาของ vacuum tank) อยู่ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะมีปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและรอบเวลาของ vacuum tank เช่นเดียวกับภายใน dryer tank ที่มีปัจจัย B (อุณหภูมิของ dryer tank) และ H (รอบเวลาของ dryer tank) อยู่เช่นกัน

2. เปรียบเทียบกราฟเชิงเส้นของการทดลองกับกราฟเชิงเส้นมาตรฐาน และเลือกกราฟเชิงเส้นมาตรฐาน  $L_{27}(3^{13})$  ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับกราฟเชิงเส้นของการทดลอง โดยในที่นี้จะเลือกกราฟเชิงเส้นมาตรฐาน  $L_{27}(3^{13})$  ในภาพที่ 3.3 ก)



ภาพที่ 3.3 แสดงกราฟเชิงเส้นมาตรฐาน  $L_{27}(3^{13})$

(Syuhei Okada, Yasuhiro Itoh และ Tomomichi Suzuki, 2010)

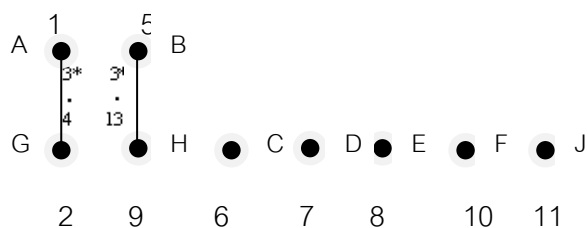
3. ปรับปรุงกราฟเชิงเส้นของปัจจัยที่ทดลองให้เข้าสู่กราฟเชิงเส้นมาตรฐาน และกำหนดปัจจัยหลัก และปัจจัยร่วมลงในกราฟเชิงเส้น ตามตารางปัจจัยร่วมระหว่างคอลัมน์  $L_{27}$  ดังตารางที่ 3.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ดังนั้นจะสามารถกำหนดปัจจัยแต่ละปัจจัยลงในตารางออกทอกอนอลอะเรย์ ได้ดังนี้



ภาพที่ 3.4 แสดงกราฟเชิงเส้น  $L_{27}(3^{13})$  ของการทดลอง

จากการพิจารณาค่าต่าง ๆ ที่กล่าวมา สามารถกำหนดปัจจัยและระดับลงในตารางออกทอกอนอล อะเรย์ ดังนี้

ตารางที่ 3.5 แสดงตารางออกทอกอนอลอะเรย์  $L_{27}(3^{13})$  ของการทดลอง

Trail no.	Column												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	A	G	$(AxG)_1$ $(BxH)_1$	$(AxG)_2$	B	C	D	E	H	F	J	-	$(BxH)_2$
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1

Trail no.	Column												
	1 A	2 G	3 (AxG) <sub>1</sub> (BxH) <sub>1</sub>	4 (AxG) <sub>2</sub>	5 B	6 C	7 D	8 E	9 H	10 F	11 J	12 -	13 (BxH) <sub>2</sub>
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2

หมายเหตุ : ระดับ 1 คือ ระดับปัจจัยที่ระดับต่ำ, ระดับ 2 คือ ระดับปัจจัยที่ระดับปานกลาง และระดับ 3 คือ ระดับปัจจัยที่ระดับสูง

เนื่องจากการทดลองนี้ สนใจเฉพาะอิทธิพลของพารามิเตอร์ของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนเท่านั้น ซึ่งจัดเป็นปัจจัยหลักของการทดลอง จึงทำให้ได้ตารางการทดลองดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 แสดงตารางออกทอกอนนอลอะเรย์ L<sub>27</sub> ของการทดลอง

ลำดับ ที่	พารามิเตอร์									
	1 A	5 B	6 C	7 D	8 E	10 F	2 G	9 H	11 J	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	
3	1	3	3	3	3	3	1	3	3	
4	1	1	1	1	2	2	2	2	3	
5	1	2	2	2	3	3	2	3	1	

ลำดับ ที่	พารามิเตอร์								
	1 A	5 B	6 C	7 D	8 E	10 F	2 G	9 H	11 J
6	1	3	3	3	1	1	2	1	2
7	1	1	1	1	3	3	3	3	2
8	1	2	2	2	1	1	3	1	3
9	1	3	3	3	2	2	3	2	1
10	2	1	2	3	1	3	1	2	1
11	2	2	3	1	2	1	1	3	2
12	2	3	1	2	3	2	1	1	3
13	2	1	2	3	2	1	2	3	3
14	2	2	3	1	3	2	2	1	1
15	2	3	1	2	1	3	2	2	2
16	2	1	2	3	3	2	3	1	2
17	2	2	3	1	1	3	3	2	3
18	2	3	1	2	2	1	3	3	1
19	3	1	3	2	1	2	1	3	1
20	3	2	1	3	2	3	1	1	2
21	3	3	2	1	3	1	1	2	3
22	3	1	3	2	2	3	2	1	3
23	3	2	1	3	3	1	2	2	1
24	3	3	2	1	1	2	2	3	2
25	3	1	3	2	3	1	3	2	2
26	3	2	1	3	1	2	3	3	3
27	3	3	2	1	2	3	3	1	1

หมายเหตุ : ระดับ 1 คือ ระดับปัจจัยที่ระดับต่ำ, ระดับ 2 คือ ระดับปัจจัยที่ระดับปานกลาง และ  
ระดับ 3 คือ ระดับปัจจัยที่ระดับสูง

### 3.1.5 การพิจารณาการลดค่าอคติในการทดลอง

ค่าอคติหรือความคลาดเคลื่อนหลัก คือ ความคลาดเคลื่อนระหว่างการทดลอง ซึ่งความคลาดเคลื่อนนี้จะเกิดขึ้น ขณะที่มีการเปลี่ยนรูปแบบการทดลองหนึ่งไปสู่อีกรูปแบบการทดลองหนึ่ง ซึ่งโดยทั่วไปเกิดจากการเปลี่ยนกรรมวิธีการทดลอง ค่าความคลาดเคลื่อนนี้สามารถลดได้ โดยการลดจำนวนครั้งในการเปลี่ยนรูปแบบการทดลองให้น้อยที่สุด (การกำหนดปัจจัยลงตารางการทดลองออกทอกอนอลอะเรย์ ควรให้ปัจจัยที่มีความยุ่งยากในการเปลี่ยนรูปแบบการทดลองอยู่ในลำดับต้น ๆ)

จากการศึกษาการล้างคราบน้ำมันด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัตินี้ พบว่าการปรับค่าอุณหภูมิของถังแวกคัม (ถังที่ 5-6) และถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8) แต่ครั้งนั้น มีความยากในการปรับให้มีค่าอุณหภูมิคงที่และตรงกันทุกการทดลอง อีกทั้งยังใช้เวลาในการปรับนาน ดังนั้น จึงกำหนดให้ปัจจัยอุณหภูมิของถังแวกคัม (ถังที่ 5-6) (A) และถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8) (B) อยู่ในลำดับที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ในตารางออกทอกอนอลอะเรย์ เพื่อลดจำนวนครั้งในการเปลี่ยนรูปแบบการทดลอง ซึ่งจะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนในระหว่างการทดลองลดลง

### 3.1.6 การกำหนดลำดับการทดลอง

เพื่อให้การทดลองนี้ประหยัดและไม่เกิดการสูญเสียมากในการทดลอง จึงจำเป็นต้องกำหนดลำดับการทดลองแบบสุ่ม โดยยึดอุณหภูมิของถังแวกคัม (ถังที่ 5-6) และอุณหภูมิของถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8) เป็นหลักในการทดลอง โดยกำหนดลำดับการทดลองดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ตารางลำดับการทดลอง

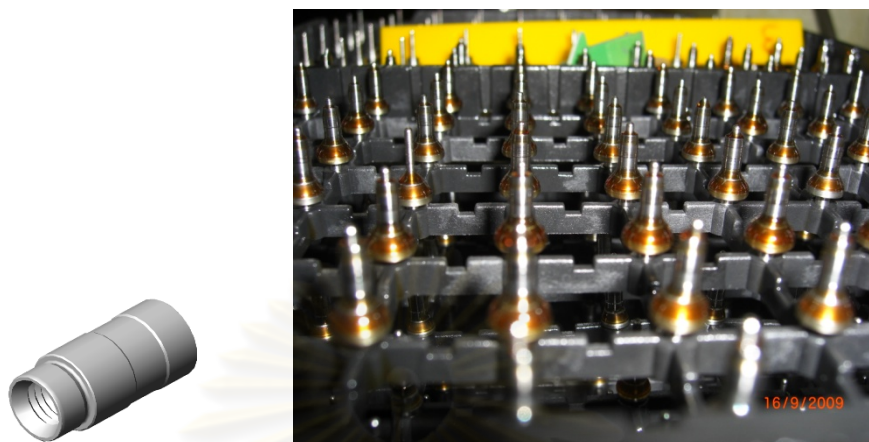
ลำดับที่	ลำดับการทดลอง
1	15
2	16
3	17
4	2
5	9
6	3
7	4
8	8
9	1
10	21

ลำดับที่	ลำดับการทดลอง
11	23
12	22
13	20
14	14
15	27
16	6
17	5
18	7
19	24
20	25
21	26
22	10
23	13
24	12
25	18
26	19
27	11

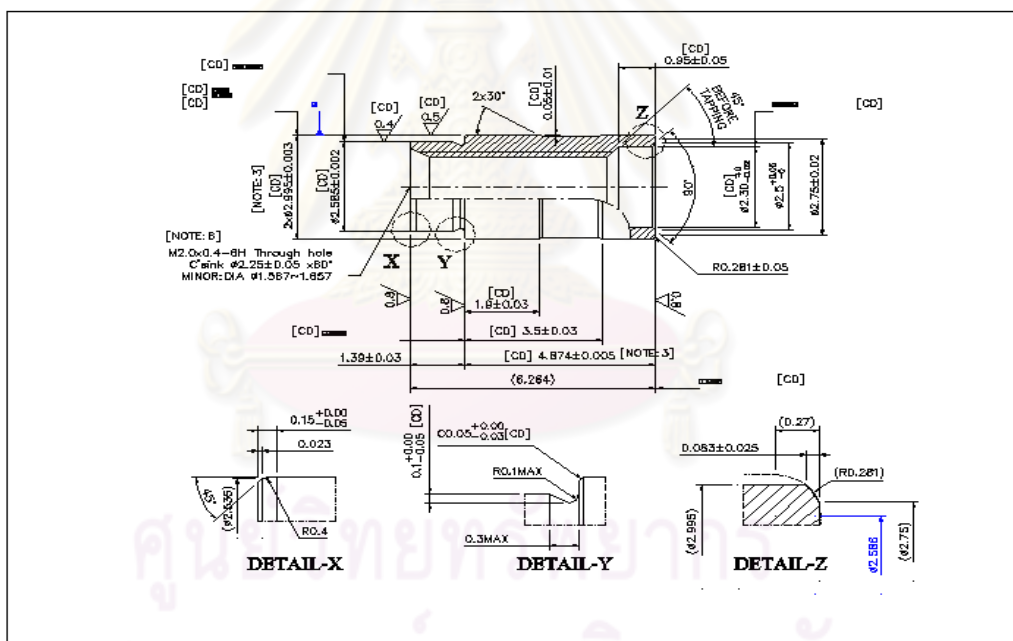
### 3.1.7 วิธีการทำการทดลอง

การทดลองจะทำการทดลองตามลำดับการทดลองในตารางที่ 3.4 และเก็บบันทึกผลการทดลอง ชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่เตรียมมาเพื่อใช้ในการทำการทดลองนี้ จะใช้ชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด Shaft Aries ซึ่งมีความยากในการล้างสูงสุด เนื่องจากชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นี้มีความละเอียด ซับซ้อน และมีขนาดเล็ก โดยมีลักษณะดังภาพที่ 3.5-3.6 และ Sleeve Aries ซึ่งมีลักษณะ ดังภาพที่ 3.7-3.8 ซึ่งไม่มีความซับซ้อนมากนัก และมีการผลิตเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทั้ง Shaft Aries และ Sleeve Aries นี้ จะมีสภาพเหมือนกับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในการผลิตจริงทุกประการ ซึ่งชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นี้จะต้องผ่านกระบวนการตัดเสียก่อน จึงจะนำชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้นมาใช้ในการทดลองล้างด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ ซึ่งสำหรับวิธีการใช้นั้น สามารถศึกษาได้จากคู่มือการใช้งานเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ ในภาคผนวก ก) นอกจากนี้ ในการทดลองแต่ละครั้งจะใช้ชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จำนวน 1 ลอต บรรจุในตะกร้าของการทดลอง จากนั้นจึงทำการทดลอง 27

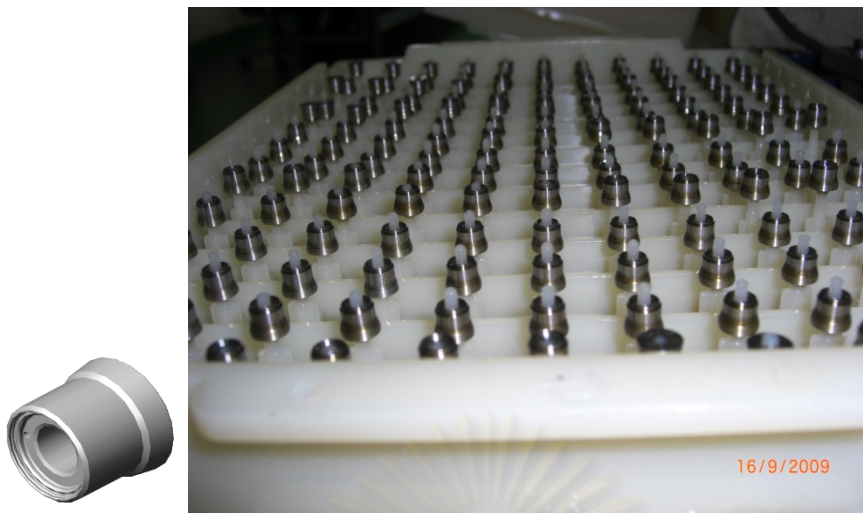
การทดลอง ดั้งนั้นจะต้องเตรียมชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เพื่อใช้ในการทดลองนี้รวมทั้งหมดเท่ากับ 27 ลอต



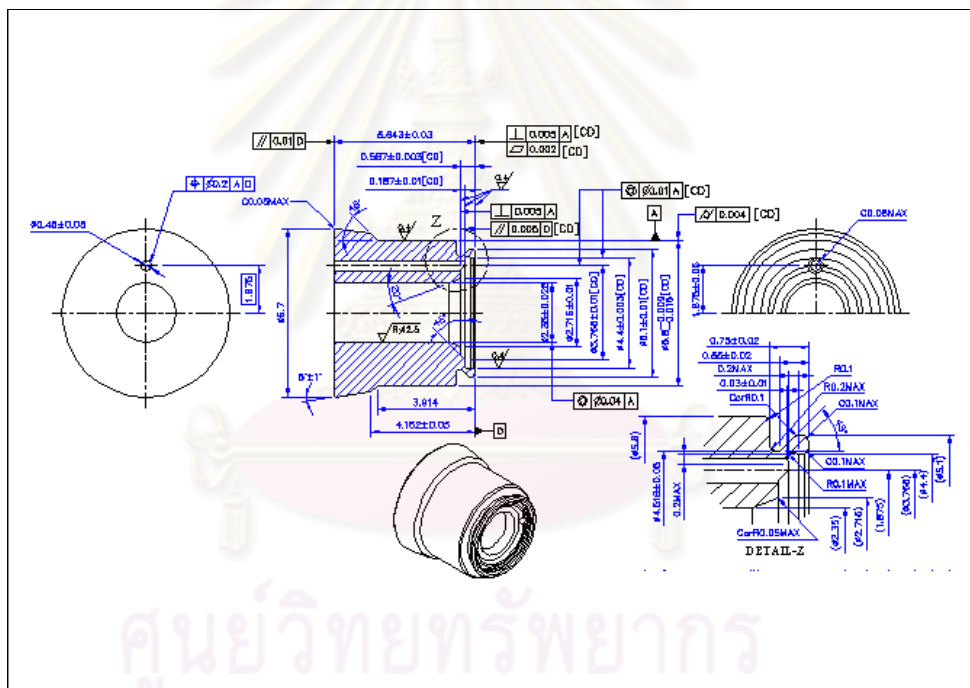
ภาพที่ 3.5 Shaft Aries



ภาพที่ 3.6 โมเดลของ Shaft Aries



ภาพที่ 3.7 Sleeve Aries



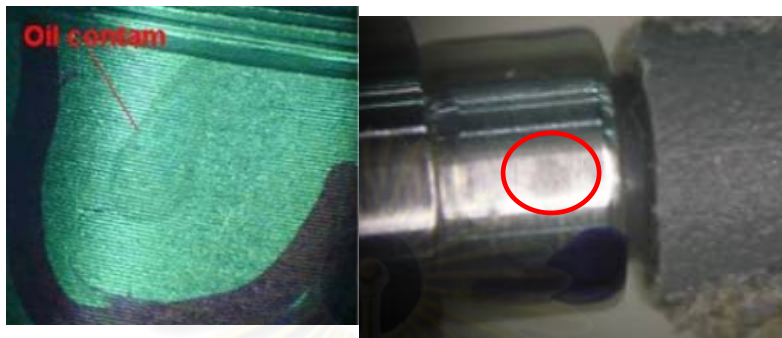
ภาพที่ 3.8 โมเดลของ Sleeve Aries

ส่วนตัวแปรตอบสนองหรือผลในการทดลอง คือ ร้อยละของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมัน ซึ่งในการตรวจสอบสภาพชิ้นส่วนจะทำการตรวจสอบโดยพนักงานแผนกควบคุมคุณภาพ ซึ่งจะนำมาใช้วิเคราะห์ผลการทดลอง ต่อไป



### 3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลผลในการทดลอง คือ จำนวนชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมัน โดยใช้วิธีการนับจำนวนชิ้นงาน ซึ่งจะนับเฉพาะชิ้นงานที่มีคราบน้ำมัน จากนั้นจึงหาค่าร้อยละชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมัน ทั้งนี้จะลักษณะดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 ชิ้นงานที่มีคราบน้ำมัน

และทำการบันทึกผลที่ได้ลงในตารางที่ 3.8 ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

ตารางที่ 3.8 ตารางที่ใช้ในการเก็บข้อมูลของการทดลอง

ลำดับ การ ทดลอง	พารามิเตอร์									ร้อยละ ชิ้นงานที่มี คราบน้ำมัน
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	
15	30	150	150	150	150	150	150	600	240	
16	30	180	180	180	180	180	150	660	300	
17	30	210	210	210	210	210	150	720	360	
2	30	150	150	150	180	180	180	660	360	
9	30	180	180	180	210	210	180	720	240	
3	30	210	210	210	150	150	180	600	300	
4	30	150	150	150	210	210	210	720	300	
8	30	180	180	180	150	150	210	600	360	
1	30	210	210	210	180	180	210	660	240	
21	40	150	180	210	150	210	150	660	240	
23	40	180	210	150	180	150	150	720	300	
22	40	210	150	180	210	180	150	600	360	

ลำดับ การ ทดลอง	พารามิเตอร์									ร้อยละ ชิ้นงานที่มี คราบน้ำมัน
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	
20	40	150	180	210	180	150	180	720	360	
14	40	180	210	150	210	180	180	600	240	
27	40	210	150	180	150	210	180	660	300	
6	40	150	180	210	210	180	210	600	300	
5	40	180	210	150	150	210	210	660	360	
7	40	210	150	180	180	150	210	720	240	
24	50	150	210	180	150	180	150	720	240	
25	50	180	150	210	180	210	150	600	300	
26	50	210	180	150	210	150	150	660	360	
10	50	150	210	180	180	210	180	600	360	
13	50	180	150	210	210	150	180	660	240	
12	50	210	180	150	150	180	180	720	300	
18	50	150	210	180	210	150	210	660	300	
19	50	180	150	210	150	180	210	720	360	
11	50	210	180	150	180	210	210	600	240	

### 3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยใช้การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการล้างชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ ซึ่งประกอบด้วย

- 3.3.1 วิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยที่มีต่อสัดส่วนของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ที่มีคราบน้ำมัน
- 3.3.2 การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ
- 3.3.3 การหาสภาวะที่เหมาะสม
- 3.3.4 การทดสอบเพื่อยืนยันผล

## บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

### ผลการวิเคราะห์

ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองตามการออกแบบที่กำหนดขึ้น จะถูกนำมาวิเคราะห์ตามวิธีพื้นผิวผลตอบ ซึ่งใช้ในการพิจารณาพารามิเตอร์ของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติที่มีผลต่อคราบน้ำมันบนชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีนัยสำคัญ จากนั้นพิจารณาระดับปัจจัยที่ทำให้เกิดสัดส่วนของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมันต่ำที่สุด และทำการทดสอบยืนยันผลต่อไป โดยผลของการทดลองของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด Shaft Aries และ Sleeve Aries ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด Shaft Aries

ลำดับ ที่	พารามิเตอร์									ร้อยละของ ชิ้นงานที่มี คราบน้ำมัน
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	
15	30	150	150	150	150	150	150	600	240	1.30
16	30	180	180	180	180	180	150	660	300	0.65
17	30	210	210	210	210	210	150	720	360	0.65
2	30	150	150	150	180	180	180	660	360	1.30
9	30	180	180	180	210	210	180	720	240	27.92
3	30	210	210	210	150	150	180	600	300	3.25
4	30	150	150	150	210	210	210	720	300	23.38
8	30	180	180	180	150	150	210	600	360	24.68
1	30	210	210	210	180	180	210	660	240	0.00
21	40	150	180	210	150	210	150	660	240	0.00
23	40	180	210	150	180	150	150	720	300	0.00
22	40	210	150	180	210	180	150	600	360	0.00
20	40	150	180	210	180	150	180	720	360	0.00
14	40	180	210	150	210	180	180	600	240	0.00
27	40	210	150	180	150	210	180	660	300	0.00

ลำดับ ที่	พารามิเตอร์									ร้อยละของ ชั้นงานที่มี คราบน้ำมัน
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	
6	40	150	180	210	210	180	210	600	300	0.00
5	40	180	210	150	150	210	210	660	360	0.00
7	40	210	150	180	180	150	210	720	240	0.00
24	50	150	210	180	150	180	150	720	240	0.65
25	50	180	150	210	180	210	150	600	300	0.00
26	50	210	180	150	210	150	150	660	360	1.95
10	50	150	210	180	180	210	180	600	360	0.00
13	50	180	150	210	210	150	180	660	240	0.00
12	50	210	180	150	150	180	180	720	300	0.00
18	50	150	210	180	210	150	210	660	300	0.00
19	50	180	150	210	150	180	210	720	360	5.19
11	50	210	180	150	180	210	210	600	240	0.00

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด Sleeve Aries

ลำดับ ที่	พารามิเตอร์									ร้อยละชั้นงาน ที่มีคราบน้ำมัน
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	
15	30	150	150	150	150	150	150	600	240	0.13
16	30	180	180	180	180	180	150	660	300	0.65
17	30	210	210	210	210	210	150	720	360	0.00
2	30	150	150	150	180	180	180	660	360	0.00
9	30	180	180	180	210	210	180	720	240	0.00
3	30	210	210	210	150	150	180	600	300	0.00
4	30	150	150	150	210	210	210	720	300	0.00
8	30	180	180	180	150	150	210	600	360	0.00
1	30	210	210	210	180	180	210	660	240	0.00
21	40	150	180	210	150	210	150	660	240	0.00
23	40	180	210	150	180	150	150	720	300	0.00

ลำดับ ที่	พารามิเตอร์									ร้อยละชิ้นงาน ที่มีคราบ น้ำมัน
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	
22	40	210	150	180	210	180	150	600	360	0.00
20	40	150	180	210	180	150	180	720	360	0.65
14	40	180	210	150	210	180	180	600	240	0.00
27	40	210	150	180	150	210	180	660	300	0.00
6	40	150	180	210	210	180	210	600	300	0.00
5	40	180	210	150	150	210	210	660	360	0.00
7	40	210	150	180	180	150	210	720	240	0.00
24	50	150	210	180	150	180	150	720	240	0.00
25	50	180	150	210	180	210	150	600	300	0.00
26	50	210	180	150	210	150	150	660	360	0.00
10	50	150	210	180	180	210	180	600	360	0.00
13	50	180	150	210	210	150	180	660	240	0.00
12	50	210	180	150	150	180	180	720	300	0.00
18	50	150	210	180	210	150	210	660	300	0.65
19	50	180	150	210	150	180	210	720	360	0.00
11	50	210	180	150	180	210	210	600	240	0.00

จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 สามารถคำนวณค่า S/N ratio ของสัดส่วนของชิ้นส่วนที่มีคราบ  
น้ำมัน โดยใช้คุณลักษณะคุณภาพของ Smaller is The Best  
Characteristic,  $\frac{S}{N} = -10 \log \frac{1}{n} (\sum y^2)$  ซึ่งค่า S/N ratio แสดงดังตารางที่ 4.3 และ 4.4  
ตามลำดับ ดังนี้

ตารางที่ 4.3 S/N Ratio ของผลการทดลองของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด Shaft Aries

ลำดับ ที่	พารามิเตอร์									S/N Ratio ของ ร้อยละชิ้นงาน ที่มีคราบน้ำมัน
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	
15	30	150	150	150	150	150	150	600	240	37.730
16	30	180	180	180	180	180	150	660	300	43.750
17	30	210	210	210	210	210	150	720	360	43.750
2	30	150	150	150	180	180	180	660	360	37.730
9	30	180	180	180	210	210	180	720	240	11.081
3	30	210	210	210	150	150	180	600	300	29.771
4	30	150	150	150	210	210	210	720	300	12.624
8	30	180	180	180	150	150	210	600	360	12.155
1	30	210	210	210	180	180	210	660	240	100.000
21	40	150	180	210	150	210	150	660	240	100.000
23	40	180	210	150	180	150	150	720	300	100.000
22	40	210	150	180	210	180	150	600	360	100.000
20	40	150	180	210	180	150	180	720	360	100.000
14	40	180	210	150	210	180	180	600	240	100.000
27	40	210	150	180	150	210	180	660	300	100.000
6	40	150	180	210	210	180	210	600	300	100.000
5	40	180	210	150	150	210	210	660	360	100.000
7	40	210	150	180	180	150	210	720	240	100.000
24	50	150	210	180	150	180	150	720	240	43.750
25	50	180	150	210	180	210	150	600	300	100.000
26	50	210	180	150	210	150	150	660	360	34.208
10	50	150	210	180	180	210	180	600	360	100.000
13	50	180	150	210	210	150	180	660	240	100.000
12	50	210	180	150	150	180	180	720	300	100.000
18	50	150	210	180	210	150	210	660	300	100.000
19	50	180	150	210	150	180	210	720	360	25.689

ลำดับ ที่	พารามิเตอร์									S/N Ratio ของ ร้อยละชิ้นงาน ที่มีคราบน้ำมัน
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	
11	50	210	180	150	180	210	210	600	240	100.000

ตารางที่ 4.4 S/N Ratio ของผลการทดลองของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด Sleeve Aries

ลำดับ ที่	พารามิเตอร์									S/N Ratio ของ ร้อยละชิ้นงาน ที่มีคราบน้ำมัน
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	
15	30	150	150	150	150	150	150	600	240	37.730
16	30	180	180	180	180	180	150	660	300	43.755
17	30	210	210	210	210	210	150	720	360	100.000
2	30	150	150	150	180	180	180	660	360	100.000
9	30	180	180	180	210	210	180	720	240	100.000
3	30	210	210	210	150	150	180	600	300	100.000
4	30	150	150	150	210	210	210	720	300	100.000
8	30	180	180	180	150	150	210	600	360	100.000
1	30	210	210	210	180	180	210	660	240	100.000
21	40	150	180	210	150	210	150	660	240	100.000
23	40	180	210	150	180	150	150	720	300	100.000
22	40	210	150	180	210	180	150	600	360	100.000
20	40	150	180	210	180	150	180	720	360	43.755
14	40	180	210	150	210	180	180	600	240	100.000
27	40	210	150	180	150	210	180	660	300	100.000
6	40	150	180	210	210	180	210	600	300	100.000
5	40	180	210	150	150	210	210	660	360	100.000
7	40	210	150	180	180	150	210	720	240	100.000
24	50	150	210	180	150	180	150	720	240	100.000
25	50	180	150	210	180	210	150	600	300	100.000
26	50	210	180	150	210	150	150	660	360	100.000
10	50	150	210	180	180	210	180	600	360	100.000
13	50	180	150	210	210	150	180	660	240	100.000

ลำดับ ที่	พารามิเตอร์									S/N Ratio ของ ร้อยละชิ้นงาน ที่มีคราบน้ำมัน
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	
12	50	210	180	150	150	180	180	720	300	100.000
18	50	150	210	180	210	150	210	660	300	43.755
19	50	180	150	210	150	180	210	720	360	100.000
11	50	210	180	150	180	210	210	600	240	100.000

### อิทธิพลของปัจจัยที่มีต่อร้อยละของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมัน

- อิทธิพลของปัจจัยที่มีต่อร้อยละของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด Shaft Aries ที่มีคราบน้ำมัน

วัตถุประสงค์ของการใช้ค่าอัตราส่วน S/N ของวิธีการของทากูชิ เพื่อหาวัดค่าของปัจจัยสัญญาณรบกวน ค่าอัตราส่วน S/N ของแต่ละระดับของพารามิเตอร์ของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ จะถูกคำนวณจากค่าอัตราส่วน S/N เฉลี่ยที่ระดับของพารามิเตอร์นั้น ๆ ของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด Shaft Aries ดังตารางที่ 4.5 ซึ่งแสดงค่าอัตราส่วน S/N เฉลี่ยของร้อยละชิ้นส่วนที่มีคราบน้ำมัน ที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ

ตารางที่ 4.5 แสดง Response table สำหรับ S/N ratios ของร้อยละชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด Shaft Aries ที่มีคราบน้ำมันของพารามิเตอร์ของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ

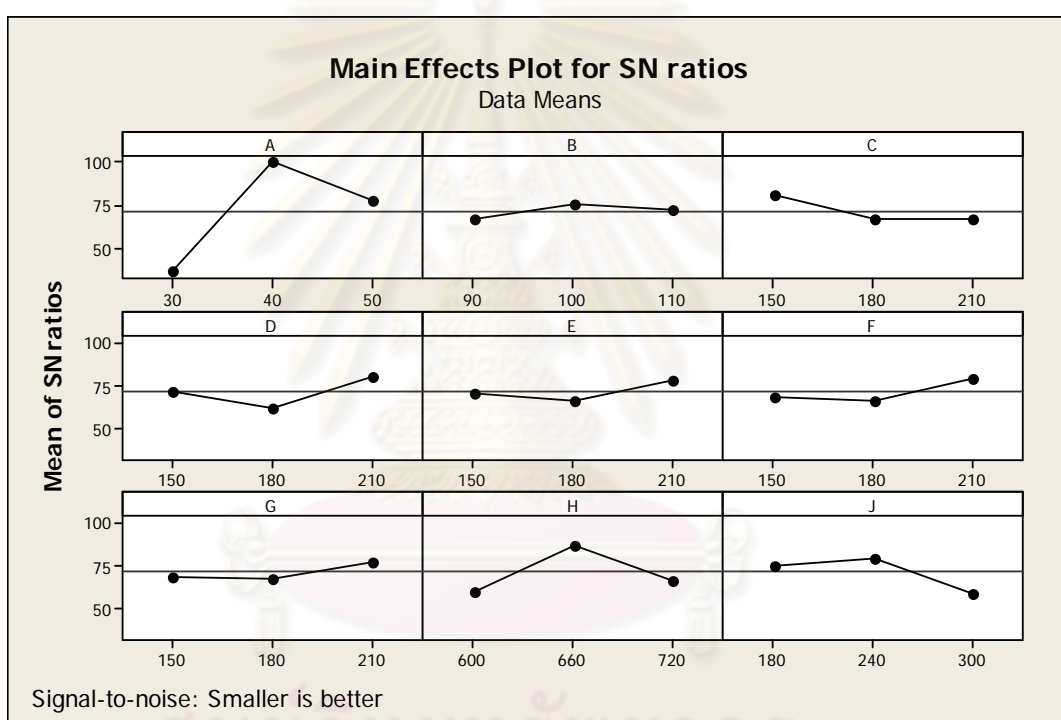
	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)
ระดับ	อุณหภูมิของ ถังแวกคัม (°C)	อุณหภูมิของ ถังทรายเออร์ (°C)	รอบเวลาของ ถังตีฟุ้งที่ 1 (วินาที)	รอบเวลาของ ถังตีฟุ้งที่ 2 (วินาที)	รอบเวลาของ ถังอัลตรา ไซนิก (วินาที)
1	36.51	67.02	80.58	72.32	70.20
2	100.00	75.40	67.14	61.84	65.85
3	78.18	72.27	66.97	80.53	78.64
ผลต่าง	63.49	8.38	13.61	18.69	12.78
อันดับ	1	9	5	4	7

	(F)	(G)	(H)	(J)
ระดับ	รอบเวลาของ ถัง เวทิง (วินาที)	รอบเวลาของ ถังแวกคัม	รอบเวลาของ ถังทรายเออร์	รอบเวลาของ สเปร์รี่ภายใน



	(วินาที)	(วินาที)	ถังทรายเออร์ (วินาที)
1	68.20	69.14	61.01
2	66.80	67.86	86.83
3	79.70	77.69	66.85
ผลต่าง	12.90	9.83	25.82
อันดับ	6	8	2

ส่วนค่า S/N Ratio เฉลี่ยของปัจจัย 9 ปัจจัยบนค่าร้อยละของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด Shaft Aries ที่มีคราบน้ำมัน ที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ ในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แสดงกราฟของค่า S/N ratio เฉลี่ยของร้อยละชิ้นส่วน Shaft Aries ที่มีคราบน้ำมัน ที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.1 พบว่า ปัจจัยคุณสมบัติของถังแควคัม (ถังที่ 5-6) เป็นปัจจัยหลักของการล้างชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นี้ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ ซึ่งมีค่า S/N ratio สูงสุด รองลงมาคือ รอบเวลาของถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8), รอบเวลาของสเปรย์ภายในถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8), รอบเวลาของถังดีฟฟิงที่ 2 (ถังที่ 2), รอบเวลาของถังดีฟฟิงที่ 1 (ถังที่ 1), รอบเวลาของถังเวทิง (ถังที่ 4), รอบเวลาของถังอัลตราโซนิค (ถังที่ 3) และรอบเวลาของถังแควคัม (ถังที่ 5-6) ตามลำดับ โดยคุณสมบัติของถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8) มีค่า S/N

ratio ต่ำที่สุด สำหรับงานวิจัยนี้ ค่าสัดส่วนของชิ้นส่วนที่มีคราบน้ำมันต่ำที่สุด ซึ่งเป็นลักษณะคุณภาพที่ดีที่สุดจะถูกนำมาพิจารณาในการวิเคราะห์ ทั้งนี้เมื่ออุณหภูมิของถังแวกคัม (ถังที่ 5-6) อยู่ที่ 40 °C ค่าสัดส่วนของชิ้นส่วนที่คราบน้ำมันมีค่าน้อยที่สุด ขณะที่เมื่ออุณหภูมิของถังแวกคัม (ถังที่ 5-6) สูงขึ้นหรือต่ำลง ค่าสัดส่วนของชิ้นส่วนที่คราบน้ำมันกลับเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิของถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8), รอบเวลาของสเปร์ย์ภายในถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8) และรอบเวลาของถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8)

ตารางที่ 4.6 แสดงตาราง ANOVA สำหรับค่า S/N Ratio ของร้อยละชิ้นงานที่มีคราบน้ำมัน

Source of Variance	DF	SS	MS	F	P	Contribution (%)
A	2	0.046818	0.023409	15.60	0.001	30.12
B	2	0.012907	0.006453	4.30	0.027	8.30
C	2	0.013730	0.006865	4.57	0.024	8.82
D	2	0.009383	0.004692	3.13	0.049	6.04
E	2	0.015594	0.007797	5.20	0.018	10.04
F	2	0.014264	0.007132	4.75	0.022	9.17
G	2	0.011247	0.005623	3.75	0.036	7.24
H	2	0.015369	0.007684	5.12	0.019	9.88
J	2	0.016156	0.008078	5.38	0.017	10.39
Residual Error	8	0.012006				
Total	26	0.167474				100.00

หมายเหตุ: DF = Degree of freedom, SS = Sum of Square, MS = Mean of Square, F = Fisher Test, P = Probability Statistic, 95% confident level

จากตารางที่ 4.6 พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ทุกปัจจัยของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติทั้ง 9 ปัจจัยมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ 0.05 ซึ่งได้แก่

- 1) อุณหภูมิของถังแวกคัม (Vacuum Tank) (ถังที่ 5-6) (°C)
- 2) อุณหภูมิของถังทรายเออร์ (Dryer Tank) (ถังที่ 7-8) (°C)
- 3) รอบเวลาของถังดิพพิงที่ 1 (Dipping Tank no.1) (ถังที่ 1) (วินาที)
- 4) รอบเวลาของถังดิพพิงที่ 2 (Dipping Tank no.2) (ถังที่ 2) (วินาที)

- 5) รอบเวลาของถังอัลตราโซนิก (Ultrasonic Tank) (ถังที่ 3) (วินาที)
- 6) รอบเวลาของถังเวทิง (Waiting Tank) (ถังที่ 4) (วินาที)
- 7) รอบเวลาของถังแวกคัม (ถังที่ 5-6) (วินาที)
- 8) รอบเวลาของถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8) (วินาที)
- 9) รอบเวลาของสเปรย์ภายในถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8) (วินาที)

และจากค่าร้อยละของ Contribution ของปัจจัยต่าง ๆ พบว่า

1) ปัจจัยอุณหภูมิของการล้างในถังแวกคัม (Vacuum Tank) (ถังที่ 5-6) มีอิทธิพลต่อร้อยละของชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันมากที่สุด ประมาณ 30.12% ทั้งนี้ เนื่องจากปัจจัยอุณหภูมิของถังทรายเออร์ เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญสูงสุดในการพิจารณาการล้างคราบน้ำมันด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ และคุณสมบัติของ Careclean PC ซึ่งมีความสามารถทำล้างคราบน้ำมันได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 40 °C ตรงกับข้อมูลใน Specification ของ Careclean PC ดังนั้น การล้างที่อุณหภูมิ 30 °C หรือ 50 °C จึงเหลือคราบน้ำมันที่ชิ้นงาน ทำให้ร้อยละชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันมากกว่า

2) ปัจจัยรอบเวลาของสเปรย์ภายในถังทรายเออร์ (Dryer Tank) (ถังที่ 7-8) มีอิทธิพลต่อร้อยละของชิ้นงานที่มีคราบน้ำมัน ประมาณ 10.39% เนื่องจากสเปรย์ Hot oil มีความสามารถในการลดคราบน้ำมันบนชิ้นงาน ด้วยการฉีดเป็นละอองสู่ชิ้นงานโดยตรง ซึ่งหากทำการฉีดละอองสเปรย์ที่ระดับ 300 วินาที เป็นระดับที่เหมาะสม จึงกำจัดคราบน้ำมันหลังจากทำการล้างในถังนี้ได้ดี ขณะที่ฉีดละอองแค่ 180 หรือ 240 วินาที ไม่สามารถกำจัดคราบน้ำมันได้ดี ทำให้เหลือร้อยละชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันน้อยกว่า

3) ปัจจัยรอบเวลาของถังอัลตราโซนิก (Ultrasonic Tank) (ถังที่ 3) มีอิทธิพลต่อร้อยละของชิ้นงานที่มีคราบน้ำมัน ประมาณ 10.04% เนื่องจากความสามารถในการกำจัดคราบน้ำมันของคลื่นอัลตราโซนิก ที่มีความถี่ 28 KHz และมี Lifter ทำการเขย่า ซึ่งรอบเวลาของถังนี้อยู่ที่ระดับ 210 วินาที เป็นระดับที่เหมาะสม สามารถกำจัดคราบน้ำมันได้ดี ขณะที่รอบเวลาแค่ 150 หรือ 180 วินาที เป็นเวลาที่ไม่นานเพียงพอ ไม่สามารถกำจัดคราบน้ำมันได้ดี ทำให้เหลือร้อยละชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันมากกว่า

4) ปัจจัยรอบเวลาของถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8) มีอิทธิพลต่อร้อยละของชิ้นงานที่มีคราบน้ำมัน ประมาณ 9.88% เนื่องจากถังนี้ เป็นถังใช้เพื่อการอบชิ้นงานด้วยความร้อน และลมร้อน มีความสามารถในการระเหยคราบน้ำมันบนชิ้นงาน ซึ่งหากใช้รอบเวลาที่ระดับ 660 วินาที เป็นระดับที่เหมาะสม จึงกำจัดคราบน้ำมันหลังจากทำการล้างในถังนี้ได้ดี ขณะที่รอบเวลาเพียง

600 หรือ 720 วินาที ไม่สามารถกำจัดคราบน้ำมันได้ดีเทียบเท่า ทำให้เหลือร้อยละชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันมากกว่า

5) ปัจจัยรอบเวลาของถังเวทิง (Waiting Tank) (ถังที่ 4) มีอิทธิพลต่อร้อยละของชิ้นงานที่มีคราบน้ำมัน ประมาณ 9.17% เนื่องจากถังนี้ เป็นถังเพื่อใช้รอเพื่อการล้างในถังถัดไป ด้วย Clearclean PC ในสถานะปกติ (ไม่มี Lifter และไม่มีคลื่นอัลตราโซนิก) เมื่อใช้รอบเวลาที่ระดับ 210 วินาที เป็นระดับที่จะเหมาะสม จึงกำจัดคราบน้ำมันหลังจากทำการล้างในถังนี้ได้ดี ขณะที่รอบเวลา 150 หรือ 180 วินาที ไม่สามารถกำจัดคราบน้ำมันได้ดีเทียบเท่า ทำให้เหลือร้อยละชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันมากกว่า

6) ปัจจัยรอบเวลาของถังดิพพิงที่ 1 (Dipping Tank no.1) (ถังที่ 1) มีอิทธิพลต่อร้อยละของชิ้นงานที่มีคราบน้ำมัน ประมาณ 8.82% เนื่องจากถังนี้บรรจุสาร Part Cleaner ซึ่งเป็นถังเพื่อไม่ให้ชิ้นงานสัมผัสกับอากาศภายนอกเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ เมื่อใช้รอบเวลาที่ระดับ 150 วินาที ก็เพียงพอที่จะเป็นระดับที่เหมาะสม ที่จะกำจัดคราบน้ำมันในขั้นต้นได้ดี ขณะที่รอบเวลา 180 หรือ 210 วินาที ไม่สามารถกำจัดคราบน้ำมันได้ดีเทียบเท่า ซึ่งเหลือร้อยละชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันมากกว่า

7) ปัจจัยอุณหภูมิของถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8) มีอิทธิพลต่อร้อยละของชิ้นงานที่มีคราบน้ำมัน ประมาณ 8.30% ด้วยความร้อนและลมร้อนภายในถัง ในการระเหยคราบน้ำมันออกจากชิ้นงาน ดังนั้น เมื่อใช้อุณหภูมิ 100 °C จึงเป็นเวลาทำให้ร้อยละชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 90 หรือ 110 °C

8) ปัจจัยรอบเวลาของถังแควคัม (ถังที่ 5-6) มีอิทธิพลต่อร้อยละของชิ้นงานที่มีคราบน้ำมัน ประมาณ 7.24% เนื่องจากความสามารถในการกำจัดคราบน้ำมันของคลื่นอัลตราโซนิก ที่มีความถี่ 40 KHz ความร้อน และมี Lifter ทำการเขย่า ซึ่งรอบเวลาของถังนี้อยู่ที่ระดับ 210 วินาที เป็นระดับที่จะนานที่กำจัดคราบน้ำมันได้ดีกว่า ขณะที่รอบเวลาแค่ 150 หรือ 180 วินาที ทำให้เหลือร้อยละชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันมากกว่า

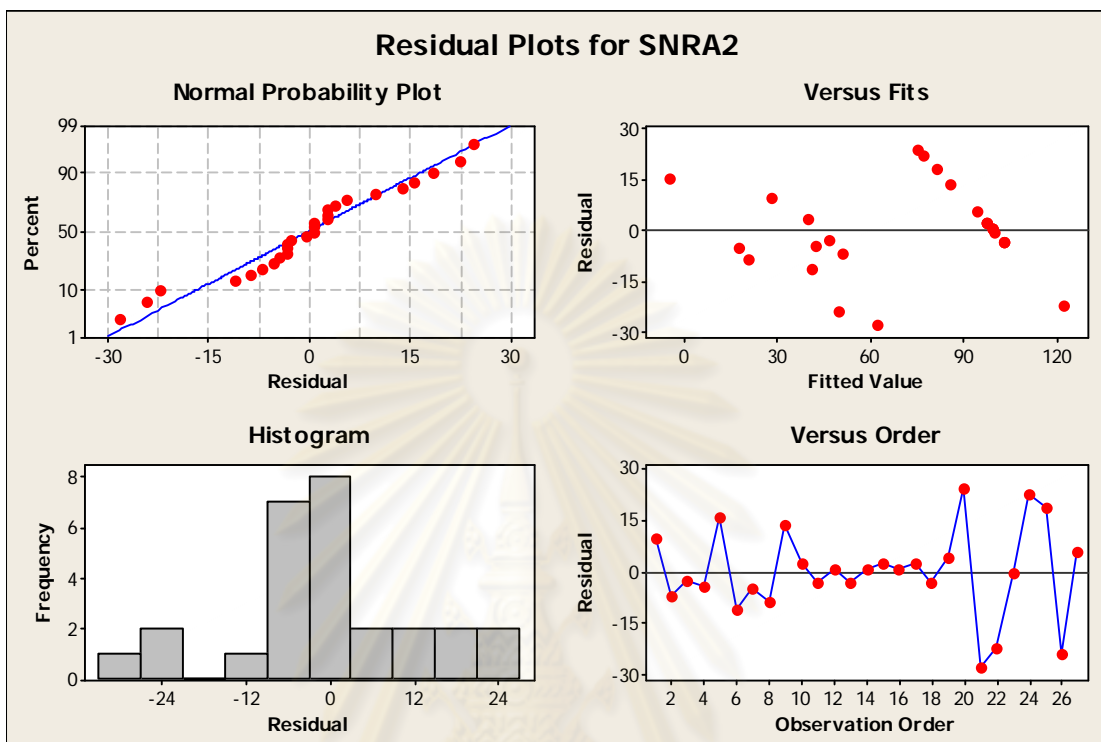
9) ปัจจัยรอบเวลาของถังดิพพิงที่ 2 (Dipping Tank no.2) (ถังที่ 2) มีอิทธิพลต่อร้อยละของชิ้นงานที่มีคราบน้ำมัน ประมาณ 6.04% เนื่องจากถังนี้มี Lifter ในการเขย่าชิ้นงาน เมื่อใช้รอบเวลาที่ระดับ 210 วินาที ก็เป็นระดับที่จะกำจัดคราบน้ำมันในขั้นต้นได้ดีกว่ารอบเวลา 150 หรือ 180 วินาที ซึ่งเหลือร้อยละชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันมากกว่า

#### การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์

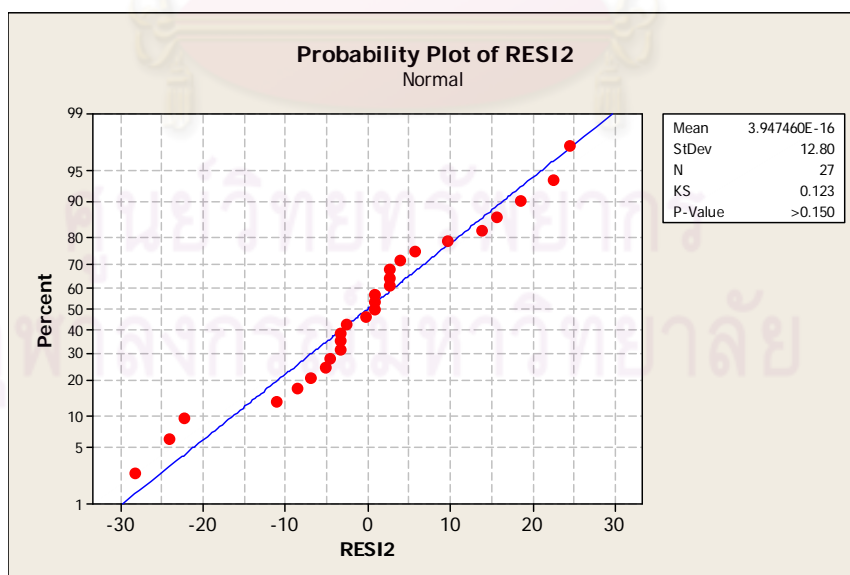
โดยพิจารณาจาก

1. ความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อน (Assumption of independent of error)

2. การแจกแจงของความคลาดเคลื่อน ( $\varepsilon_{i(j)}$ ) จะเป็นโค้งปกติ (Assumption of Normality)
3. ความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน (Assumption of homogeneity of variance)



ภาพที่ 4.2 แสดง Residual Plot ของผลตอบในการทดลองของ Shaft Aries



ภาพที่ 4.3 แสดง Probability Plot ของผลตอบในการทดลองของ Shaft Aries

จากภาพที่ 4.2 และ 4.3 สามารถทำการวิเคราะห์แบ่งได้เป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. การตรวจสอบว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นปกติหรือไม่ (Normality)

$H_0$  : Residual มีการแจกแจงแบบปกติ

$H_1$  : Residual ไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

จากภาพที่ 4.3 Probability Plot พบว่า Residual ของผลตอบมีลักษณะเป็นเส้นตรง หรือประมาณเกือบเป็นเส้นตรง และค่า Kolmogorov Smirnov เท่ากับ 0.123 และ P-value ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.150 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงสอดคล้องกับสมมติฐานหลักที่ว่า ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ แสดงว่า Residual มีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. การทดสอบความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน

จากภาพที่ 4.2 Versus fit และ Versus Order พบว่า Residual ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน หรือมีการกระจายตัวกระจาย แสดงว่า Residual มีความเป็นอิสระต่อกัน

3. การตรวจสอบความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อน (Independence of Errors)

เนื่องจากทำการสุ่มระดับของตัวแปรทดลองให้กับกลุ่มของหน่วยทดลอง ความคลาดเคลื่อนในการทดลองจึงเป็นอิสระภายในกลุ่มทดลองเดียวกันและระหว่างกลุ่มทดลอง จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาลำดับต่อไป

- อิทธิพลของปัจจัยที่มีต่อร้อยละของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด Sleeve Aries ที่มีคราบน้ำมัน

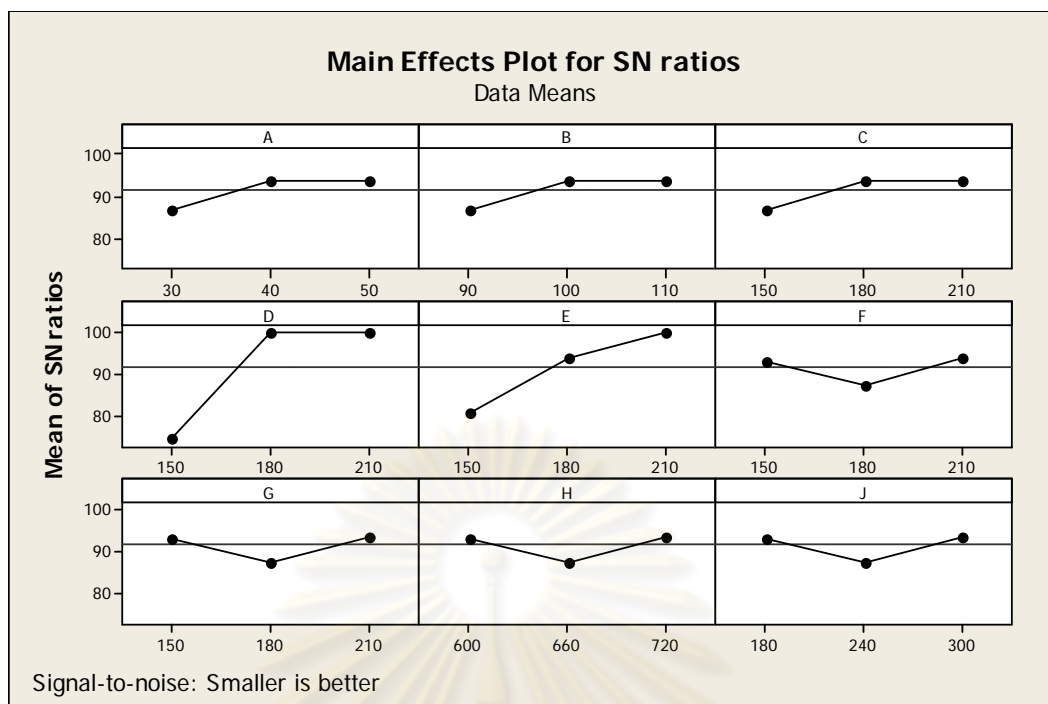
ในการหาค่าของปัจจัยสัญญาณรบกวนนั้น ค่า S/N Ratio ของแต่ละระดับของพารามิเตอร์ของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติจะถูกคำนวณจากค่า S/N Ratio เฉลี่ยที่ระดับของพารามิเตอร์นั้น ๆ ของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด Sleeve Aries ดังตารางที่ 4.7 ซึ่งแสดงค่า S/N ratios เฉลี่ยของร้อยละชิ้นส่วนที่มีคราบน้ำมัน ที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ

ตารางที่ 4.7 แสดง Response table สำหรับ S/N ratios ของร้อยละชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด Sleeve Aries ที่มีคราบน้ำมันของพารามิเตอร์ของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ

ระดับ	(A) อุณหภูมิของ ถังแวกคัม (°C)	(B) อุณหภูมิของ ถังทรายเออร์ (°C)	(C) รอบเวลาของ ถังดีฟฟิงที่ 1 (วินาที)	(D) รอบเวลาของ ถังดีฟฟิงที่ 2 (วินาที)	(E) รอบเวลาของ ถังอัลตรา ไซนิก (วินาที)
1	86.83	86.83	86.83	74.33	80.58
2	93.75	93.75	93.75	100.00	93.75
3	93.75	93.75	93.75	100.00	100.00
ผลต่าง	6.92	6.92	6.92	25.67	19.42
อันดับ	4	4	4	1	2

ระดับ	(F) รอบเวลาของ ถัง เวททิง (วินาที)	(G) รอบเวลาของ ถังแวกคัม (วินาที)	(H) รอบเวลาของ ถังทรายเออร์ (วินาที)	(J) รอบเวลาของ สเปร์รี่ภายใน ถังทรายเออร์ (วินาที)
1	93.08	93.08	93.08	93.08
2	87.50	87.50	87.50	87.50
3	93.75	93.75	93.75	93.75
ผลต่าง	6.25	6.25	6.25	6.25
อันดับ	7.5	7.5	7.5	7.5

ส่วนค่า S/N Ratio เฉลี่ยของปัจจัย 9 ปัจจัยบนค่าร้อยละของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด Shaft Aries ที่มีคราบน้ำมัน ที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ ในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.4 แสดงกราฟของค่า S/N ratio เฉลี่ยของร้อยละชิ้นส่วน Shaft Aries ที่มีคราบน้ำมัน ที่ระดับ ปัจจัยต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.3 พบว่า ปัจจัยรอบเวลาของรอบเวลาของถังดีฟิงที่ 2 (ถังที่ 3), เป็นปัจจัยหลักของการล้างชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นี้ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบ อัตโนมัติ ซึ่งมีค่า S/N ratio สูงสุด รองลงมาคือ รอบเวลาของถังอัลตราโซนิค (ถังที่ 3) ตามมา ด้วยอุณหภูมิของถังแวกคัม (ถังที่ 5-6), อุณหภูมิของถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8) และรอบเวลาของ ถังดีฟิงที่ 1 (ถังที่ 1) ซึ่งอยู่ในลำดับเดียวกัน รองลงมาอีก คือ รอบเวลาของถังเวทิง (ถังที่ 4), รอบเวลาของถังแวกคัม, รอบเวลาของถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8) และรอบเวลาของสเปรย์ ภายในถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8) ซึ่งอยู่ในลำดับเดียวกัน ตามลำดับ โดย มีค่า S/N ratio ต่ำที่สุด



ตารางที่ 4.8 แสดงตาราง ANOVA สำหรับค่า S/N Ratio ของร้อยละชิ้นงานที่มีคราบน้ำมัน

Source of Variance	DF	SS	MS	F	P	Contribution (%)
A	2	287.2	143.6	0.29	0.756	-
B	2	287.2	143.6	0.29	0.756	-
C	2	287.2	143.6	0.29	0.756	-
D	2	3952.8	1976.4	3.99	0.063	-
E	2	1768.5	884.3	1.79	0.228	-
F	2	211.9	106.0	0.21	0.812	-
G	2	211.9	106.0	0.21	0.812	-
H	2	211.9	106.0	0.21	0.812	-
J	2	211.9	106.0	0.21	0.812	-
Residual Error	8	3960.9	495.1			
Total	26	11391.6				

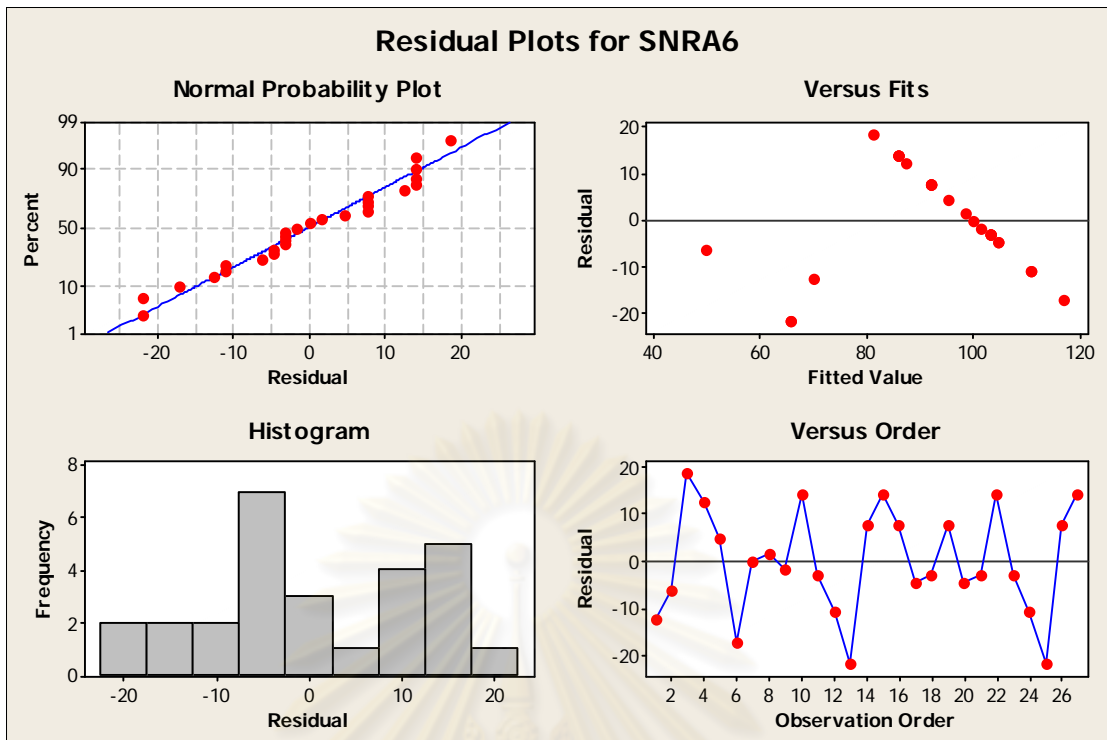
หมายเหตุ: DF = Degree of freedom, SS = Sum of Square, MS = Mean of Square, F = Fisher Test, P = Probability Statistic, 95% confident level

จากตารางที่ 4.8 พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ทุกปัจจัยของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติมีค่า P-value สูงกว่า 0.05 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติทั้ง 9 ปัจจัยไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ 0.05 สำหรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด Sleeve Aries

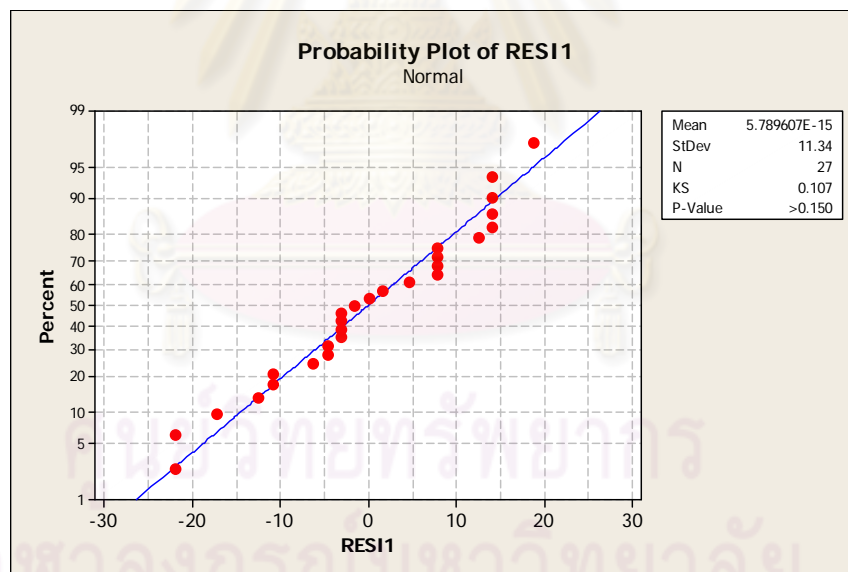
การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์

โดยพิจารณาจาก

1. ความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อน (Assumption of independent of error)
2. การแจกแจงของความคลาดเคลื่อน ( $\varepsilon_{i(j)}$ ) จะเป็นโค้งปกติ (Assumption of Normality)
3. ความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน (Assumption of homogeneity of variance)



ภาพที่ 4.5 แสดง Residual Plot ของผลการทดลองของ Sleeve Aries



ภาพที่ 4.6 แสดง Probability Plot ของผลการทดลองของ Sleeve Aries

### 1. การตรวจสอบว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นปกติหรือไม่ (Normality)

$H_0$  : Residual มีการแจกแจงแบบปกติ

$H_1$  : Residual ไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

จากภาพที่ 4.6 Probability Plot พบว่า Residual ของผลตอบมีลักษณะเป็นเส้นตรงหรือประมาณเกือบเป็นเส้นตรง และค่า Kolmogorov Smirnov เท่ากับ 0.107 และ P-value ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.150 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงสอดคล้องกับสมมติฐานหลักที่ว่า ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ แสดงว่า Residual มีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

### 2. การทดสอบความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน

จากภาพที่ 4.5 Versus fit และ Versus Order พบว่า Residual มีรูปแบบที่แน่นอน เป็นลักษณะเส้นตรงแบบเอียงขวา มีความชันเป็นลบ แสดงว่า Residual ไม่มีความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน

### 3. การตรวจสอบความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อน (Independence of Errors)

เนื่องจากทำการสุ่มระดับของตัวแปรทดลองให้กับกลุ่มของหน่วยทดลอง ความคลาดเคลื่อนในการทดลองจึงเป็นอิสระภายในกลุ่มทดลองเดียวกันและระหว่างกลุ่มทดลอง จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ในลำดับต่อไป

แต่ทว่า จากการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ พบว่า ข้อมูล Residual ไม่เป็นไปตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อข้างต้นทั้งหมด จึงไม่สามารถนำผลการทดลองของ Sleeve Aries นี้ ไปวิเคราะห์ในขั้นต่อไปได้

ดังนั้น ในขั้นตอนถัดไป จะทำการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลผลการทดลองได้จากการชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด Shaft Aries เท่านั้น

### การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ

สมการกำลังสองของพื้นผิวผลตอบของร้อยละของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ที่มีคราบน้ำมัน (y) ถูกสร้างขึ้นจากพารามิเตอร์ของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยต่าง ๆ ทั้งคุณภูมิของถังเวคคัม (ถังที่ 5-6) (A), คุณภูมิของถังดรายเออร์ (ถังที่ 7-8) (B), รอบเวลาของถังดีฟฟิงที่ 1 (ถังที่ 1) (C), รอบเวลาของถังดีฟฟิงที่ 2 (ถังที่ 2) (D), รอบเวลาของถังอัลตราโซนิก (ถังที่ 3) (E), รอบเวลาของถังเวทิง (ถังที่ 4) (F), รอบเวลาของถังเวคคัม (G), รอบเวลาของถังดรายเออร์ (H) และรอบเวลาของสเปรย์ภายในถังดรายเออร์ (J) ตามลำดับ โดยที่

ความสัมพันธ์ของร้อยละของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมันและพารามิเตอร์ของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติทั้งหมด คือ

$$y = \beta_0 + \beta_1A + \beta_2B + \beta_3C + \beta_4D + \beta_5E + \beta_6F + \beta_7G + \beta_8H + \beta_9J + \beta_{10}A^2 + \beta_{11}B^2 + \beta_{12}C^2 + \beta_{13}D^2 + \beta_{14}E^2 + \beta_{15}F^2 + \beta_{16}G^2 + \beta_{17}H^2 + \beta_{18}J^2 + \beta_{19}AB + \beta_{20}AC + \beta_{21}AD + \beta_{22}AE + \beta_{23}AF + \beta_{24}AG + \beta_{25}AH + \beta_{26}AJ + \beta_{27}BC + \beta_{28}BD + \beta_{29}BE + \beta_{30}BF + \beta_{31}BG + \beta_{32}BH + \beta_{33}BJ + \beta_{34}CD + \beta_{35}CE + \beta_{36}CF + \beta_{37}CG + \beta_{38}CH + \beta_{39}CJ + \beta_{40}DE + \beta_{41}DF + \beta_{42}DG + \beta_{43}DH + \beta_{44}DJ + \beta_{45}EF + \beta_{46}EG + \beta_{47}EH + \beta_{48}EJ + \beta_{49}FG + \beta_{50}FH + \beta_{51}FJ + \beta_{52}GH + \beta_{53}GJ + \beta_{54}HJ$$

จากผลลัพธ์ที่ได้ เมื่อนำไปวิเคราะห์การถดถอยของพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Regression) จะได้สมการของผลตอบของร้อยละของชิ้นส่วนที่มีคราบน้ำมัน ดังนี้

$$y = 5.52882 - 0.04949A + 0.01032B + 0.0058C + 0.00392D + 0.01585E + 0.01974F + 0.01201G - 0.02953H - 0.00416J + 0.0005A^2 - 0.00004B^2 - 0.00001C^2 - 0.00001D^2 - 0.00005E^2 - 0.00005F^2 - 0.00004G^2 + 0.00002H^2 + 0.00002J^2 - 0.00004AH - 0.00001AJ + 0.00001BE - 0.00002BF + 0.00003BG - 0.00001BH + 0.00001BJ$$

จากสมการของผลตอบของร้อยละของชิ้นส่วนที่มีคราบน้ำมันที่ได้สามารถสรุปอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการลดคราบน้ำมันได้ดังนี้

- 1) คุณหมุมิของถังแวกคัม (ถังที่ 5-6) มีอิทธิพลหรือมีผลกระทบต่อร้อยละของชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันเท่ากับ 0.04949 หรือร้อยละ 4.949 ในทิศทางเดียวกัน
- 2) คุณหมุมิของถังดรายเออร์ (ถังที่ 7-8) มีอิทธิพลต่อร้อยละของชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันเท่ากับ 0.01032 หรือร้อยละ 1.032 ในทิศทางเดียวกัน
- 3) รอบเวลาของถังดีฟฟิงที่ 1 (ถังที่ 1) มีอิทธิพลต่อร้อยละของชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันเท่ากับ 0.0058 หรือร้อยละ 0.58 ในทิศทางเดียวกัน
- 4) รอบเวลาของถังดีฟฟิงที่ 2 (ถังที่ 2) มีอิทธิพลต่อร้อยละของชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันเท่ากับ 0.00392 หรือร้อยละ 0.392 ในทิศทางเดียวกัน
- 5) รอบเวลาของถังอัลตราโซนิก (ถังที่ 3) มีอิทธิพลต่อร้อยละของชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันเท่ากับ 0.01585 หรือร้อยละ 1.585 ในทิศทางเดียวกัน



19) อัตราการยาระหว่างอุณหภูมิของถังแวกคัม (ถังที่ 5-6) กับรอบเวลาของถังดรายเออร์ (ถังที่ 7-8) มีอิทธิพลหรือมีผลกระทบต่อร้อยละของชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันเท่ากับ 0.00004 หรือร้อยละ 0.004 ในทิศทางตรงกันข้าม

20) อัตราการยาระหว่างอุณหภูมิของถังแวกคัม (ถังที่ 5-6) กับรอบเวลาของสเปร์ย์ภายในถัง ดรายเออร์ (ถังที่ 7-8) มีอิทธิพลหรือมีผลกระทบต่อร้อยละของชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันเท่ากับ 0.00001 หรือร้อยละ 0.001 ในทิศทางตรงกันข้าม

21) อัตราการยาระหว่างอุณหภูมิของถังดรายเออร์ (ถังที่ 7-8) กับรอบเวลาของถังอัลตราโซนิก (ถังที่ 3) มีอิทธิพลหรือมีผลกระทบต่อร้อยละของชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันเท่ากับ 0.00001 หรือร้อยละ 0.001 ในทิศทางเดียวกัน

22) อัตราการยาระหว่างอุณหภูมิของถังดรายเออร์ (ถังที่ 7-8) กับรอบเวลาของถังเวทิง (ถังที่ 4) มีอิทธิพลหรือมีผลกระทบต่อร้อยละของชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันเท่ากับ 0.00002 หรือร้อยละ 0.002 ในทิศทางตรงกันข้าม

23) อัตราการยาระหว่างอุณหภูมิของถังดรายเออร์ (ถังที่ 7-8) กับรอบเวลาของถังแวกคัม (ถังที่ 5-6) มีอิทธิพลหรือมีผลกระทบต่อร้อยละของชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันเท่ากับ 0.00003 หรือร้อยละ 0.003 ในทิศทางเดียวกัน

24) อัตราการยาระหว่างอุณหภูมิของถังดรายเออร์ (ถังที่ 7-8) กับรอบเวลาของถังดรายเออร์ มีอิทธิพลหรือมีผลกระทบต่อร้อยละของชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันเท่ากับ 0.00001 หรือร้อยละ 0.001 ในทิศทางตรงกันข้าม

25) อัตราการยาระหว่างอุณหภูมิของถังดรายเออร์ (ถังที่ 7-8) กับรอบเวลาของสเปร์ย์ภายในถังดรายเออร์ มีอิทธิพลหรือมีผลกระทบต่อร้อยละของชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันเท่ากับ 0.00001 หรือร้อยละ 0.001 ในทิศทางเดียวกัน

การทดสอบความแม่นยำของสมการของผลตอบของร้อยละของชิ้นส่วนที่มีคราบน้ำมัน

ตารางที่ 4.9 แสดงตาราง ANOVA สำหรับพื้นผิวผลตอบสำหรับร้อยละของชิ้นส่วนที่มีคราบน้ำมัน

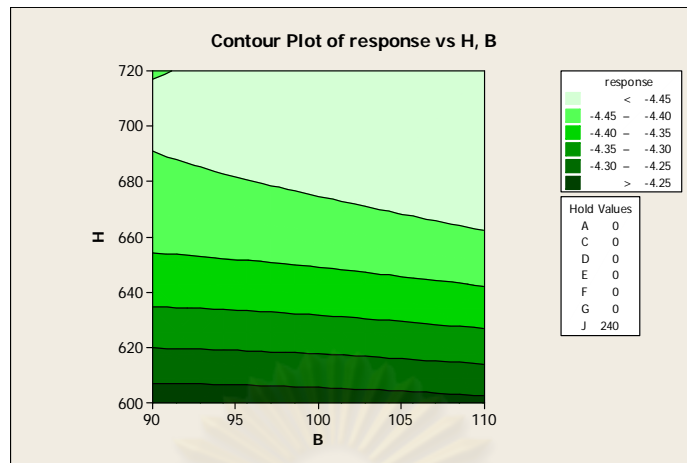
Source of Variance	DF	SS	MS	F	P
Regression	25	0.16747	0.00670	715.99	0.034
Linear	9	0.04297	0.00478	510.28	0.026
Square	9	0.07595	0.00844	901.98	0.047
Interaction	7	0.01200	0.00172	183.19	
Residual Error	1	0.00001	0.00001		
Total	26				

หมายเหตุ: DF = Degree of freedom, SS = Sum of Square, MS = Mean of Square, F = Fisher Test, P = Probability Statistic,  $R^2 = 99.99\%$ ,  $R^2(\text{adj.}) = 99.85\%$

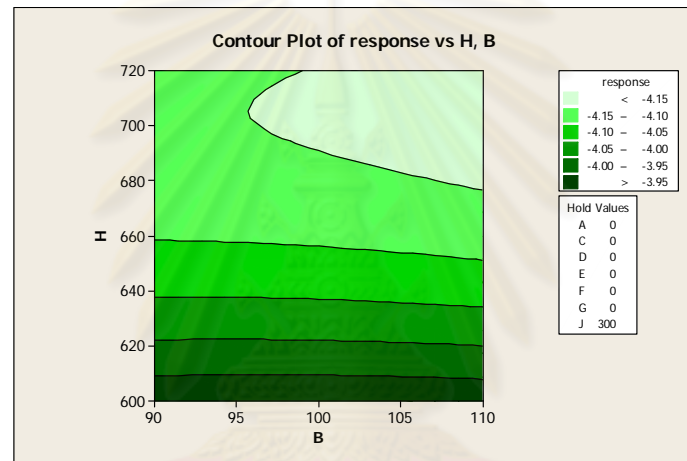
จากตารางที่ 4.9 พบว่า สมการกำลังสองของพื้นผิวผลตอบสำหรับร้อยละของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมันนี้มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 และมีความแม่นยำถึง 99.85% อีกทั้งยังสามารถสมการกำลังสองไปใช้และวิเคราะห์ต่อไป

จากสมการกำลังสองที่ได้ สามารถสร้าง Contour Plot และ Surface Plot ของร้อยละของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมันได้ ซึ่งพิจารณา Contour Plot และ Surface Plot จากปัจจัยในถึงแวกคัม (ถึงที่ 5-6) และถึงดรายเออร์ (ถึงที่ 7-8) ดังภาพที่ 4.7 – 4.11 ตามลำดับ ซึ่ง Contour Plot และ Surface Plot ที่ได้สามารถช่วยในการพยากรณ์ร้อยละของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมันได้ในทุก ๆ โชนของโดเมนของการทดลอง ซึ่งจะเห็นได้ว่า ร้อยละของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมันจะลดลง เมื่อรอบเวลามากขึ้นและอุณหภูมิสูงขึ้น ในระดับที่เหมาะสม

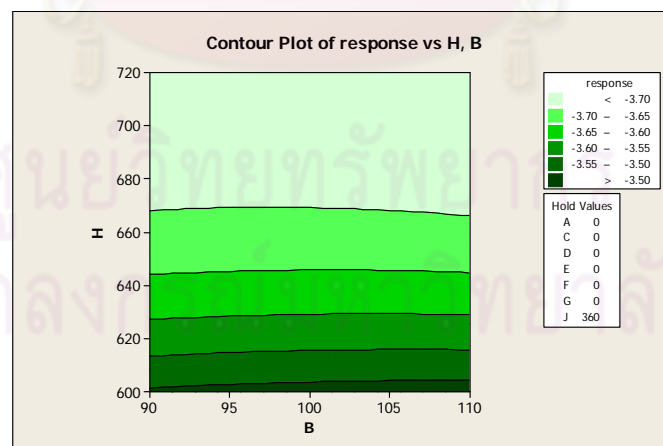
ถึงดรายเออร์ (ถึงที่ 7-8)



ก)



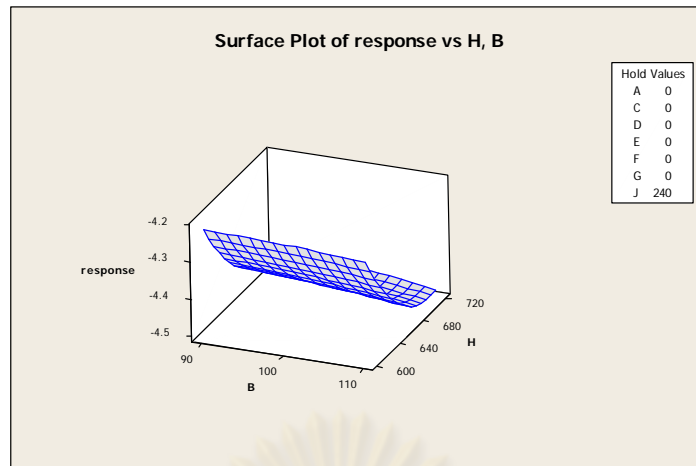
ข)



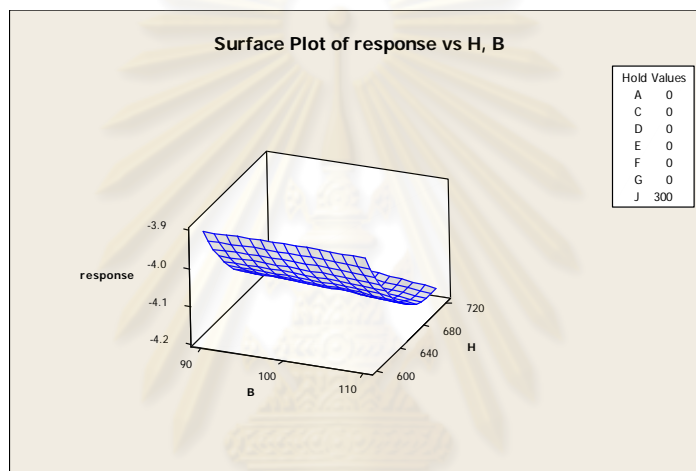
ค)

ภาพที่ 4.7 แสดง Contour Plot ของร้อยละของชั้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไทรฟที่มีควาบน้ำมัน ที่รอบเวลาของถึงดรายเออร์ (ถึงที่ 7-8) ก็รอบเวลาของถึงดรายเออร์ ที่รอบเวลาของสเปรย์ในถึงดรายเออร์ : ก) 240 วินาที, ข) 300 วินาที และ ค) 360 วินาที

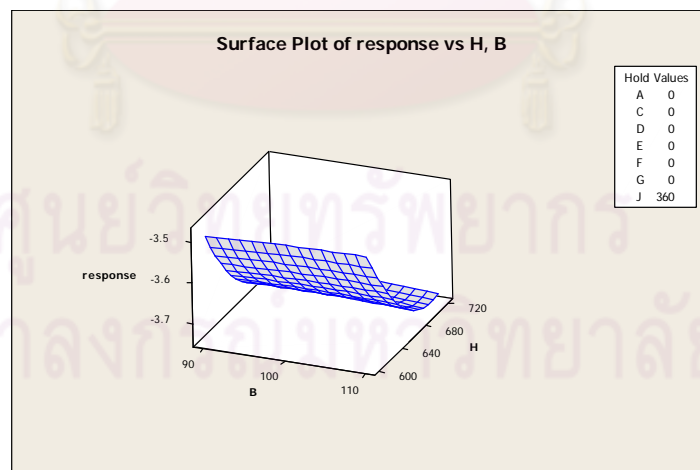




ก)

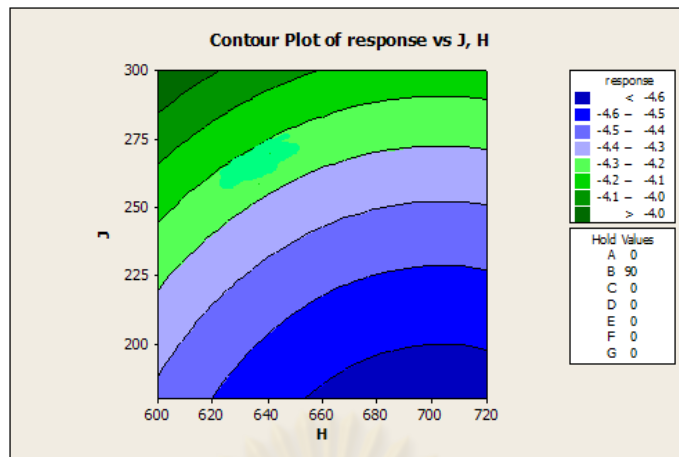


ข)

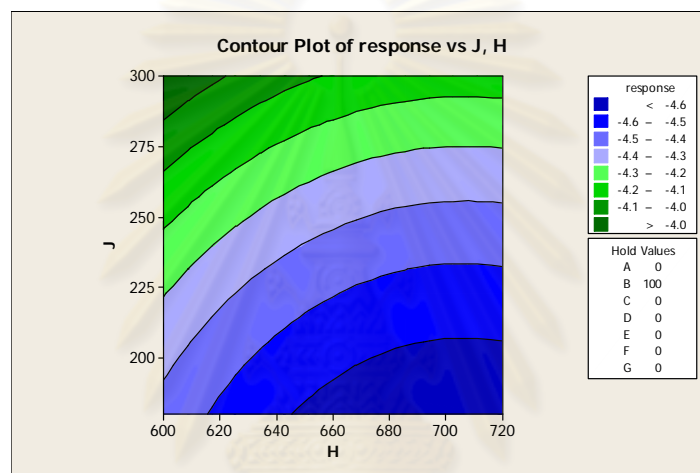


ค)

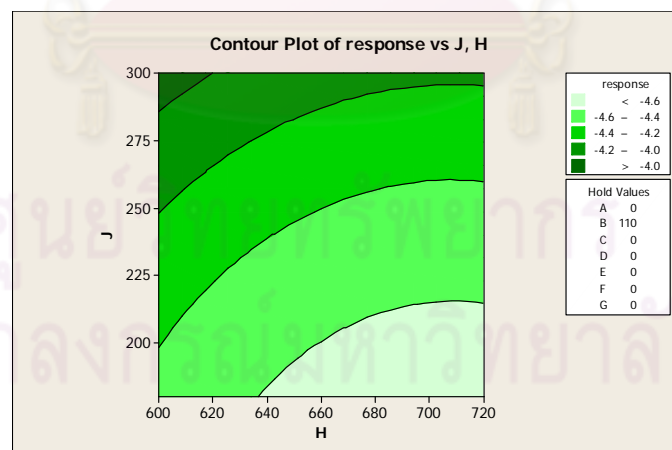
ภาพที่ 4.8 แสดง Surface Plot ของร้อยละของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมัน ที่รอบเวลาของถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8) กับรอบเวลาของถังทรายเออร์ที่รอบเวลาของสเปรย์ในถังทรายเออร์ : ก) 240 วินาที, ข) 300 วินาที และ ค) 360 วินาที



ก)

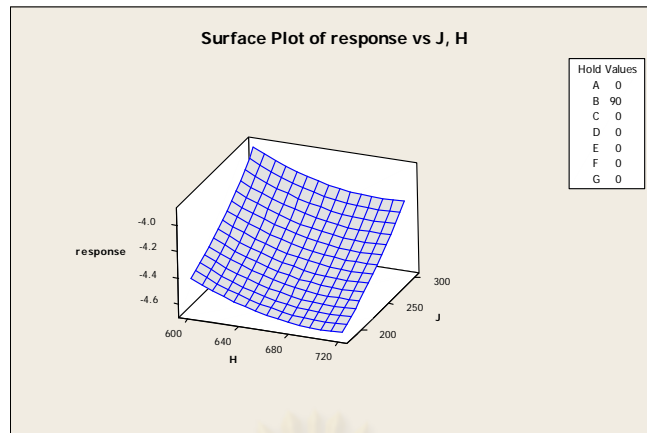


ข)

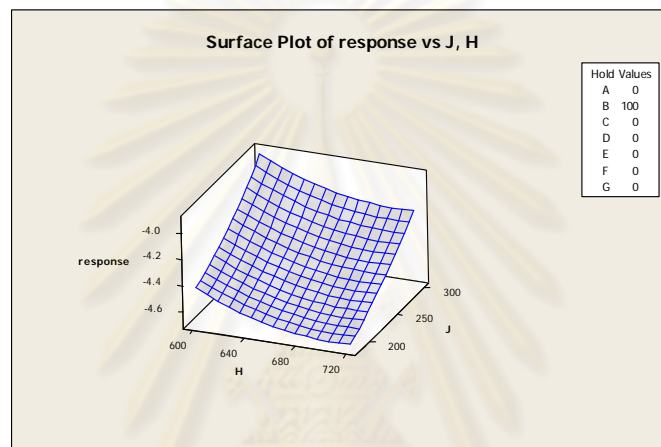


ค)

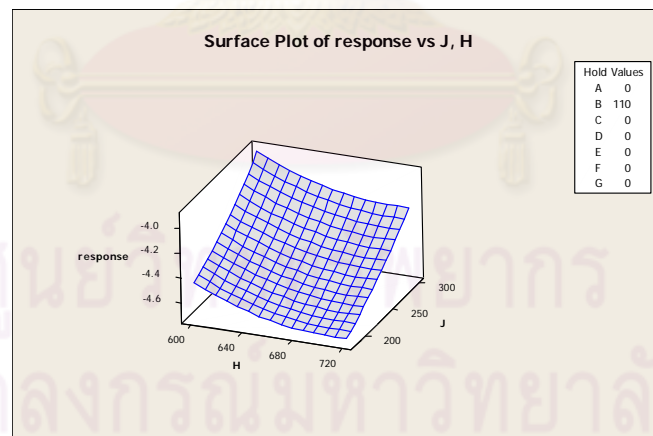
ภาพที่ 4.9 แสดง Contour Plot ของร้อยละของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมัน ที่  
 รอบเวลา ของถังดรายเออร์ (ถังที่ 7-8) กับรอบเวลาของสเปรย์ภายในถังดรายเออร์ (ถังที่ 7-8) ที่  
 อุณหภูมิของถังดรายเออร์ : ก) 90 °C, ข) 100 °C และ ค) 110 °C



ก)



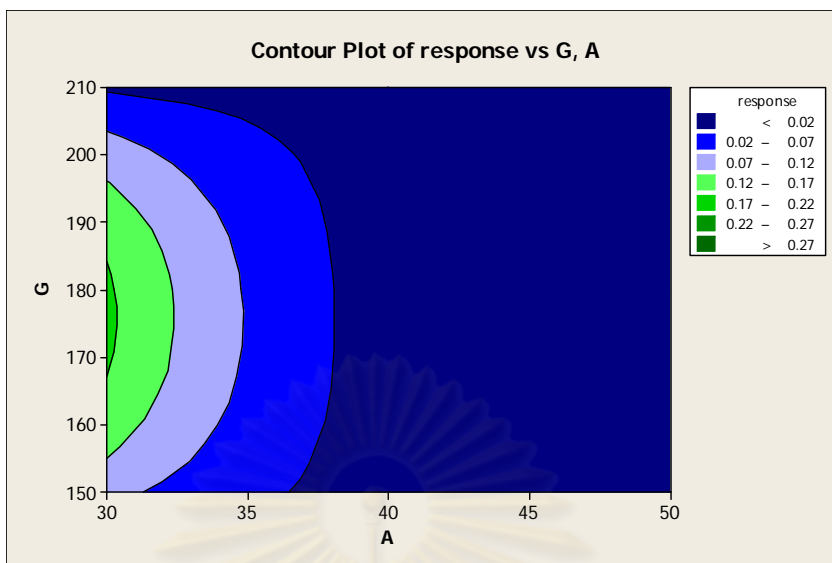
ข)



ค)

ภาพที่ 4.10 แสดง Surface Plot ของร้อยละของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมัน ที่  
 รอบเวลา ของถังดรายเออร์ (ถังที่ 7-8) กับรอบเวลาของสเปรย์ภายในถังดรายเออร์ (ถังที่ 7-8) ที่  
 อุณหภูมิของถังดรายเออร์ : ก) 90 °C, ข) 100 °C และ ค) 110 °C

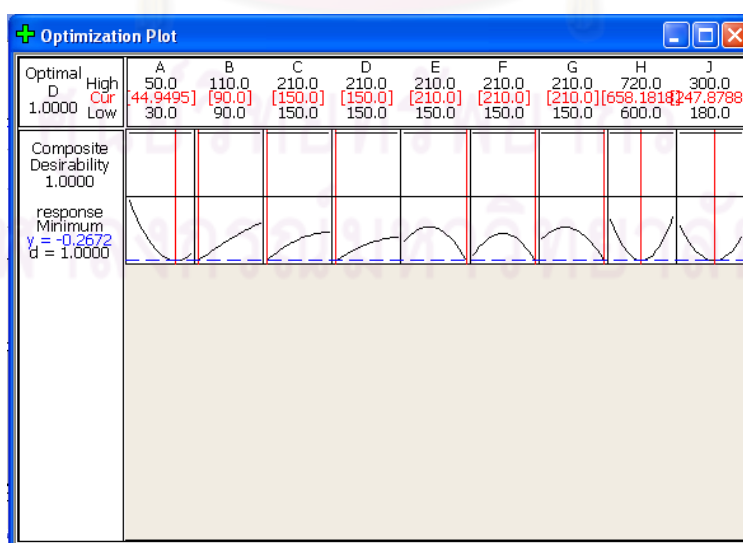
ถังแวกคัม (ถังที่ 5-6)



ภาพที่ 4.11 แสดง Contour Plot ของร้อยละของชั้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมัน ณ อุณหภูมิของถังแวกคัม (ถังที่ 5-6) กับรอบเวลาของถังแวกคัม

การหาสภาวะที่เหมาะสม

หาสภาวะที่เหมาะสมของการลดคราบน้ำมันบนชั้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ โดยพิจารณาจากร้อยละของชั้นส่วนที่มีคราบน้ำมัน จากการวิเคราะห์โดยใช้ Response optimization ตามสมการการถดถอยของพื้นผิวผลตอบในหน้า 90 ที่ได้ พบว่า ค่าที่เหมาะสมสำหรับเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ แสดงดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 สภาวะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยในการลดคราบน้ำมันบนชั้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ

จากภาพที่ 4.6 เมื่อพิจารณาปัจจัยที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย พบว่า ปัจจัย B, C และ D ( อุณหภูมิของถังดรายเออร์ (ถังที่ 7-8), รอบเวลาของถังดีฟฟิงที่ 1 (ถังที่ 1) และถังดีฟฟิงที่ 2 (ถังที่ 2) ตามลำดับ ) นั้น เมื่อมีค่าต่ำลง คือ เมื่ออุณหภูมิของถังดรายเออร์ (B) ต่ำ และรอบเวลาของถังดีฟฟิงที่ 1 และถังดีฟฟิงที่ 2 น้อย ตามลำดับ จะทำให้ร้อยละของชิ้นส่วนที่มีคราบน้ำมันต่ำ และเมื่อมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ก็จะทำให้ร้อยละของชิ้นส่วนที่มีคราบน้ำมันเพิ่มขึ้น ในขณะที่หากเพิ่มอุณหภูมิของถังแวกคัม (ถังที่ 5-6) (A) อุณหภูมิของถังดรายเออร์ จะทำให้ร้อยละของชิ้นส่วนที่มีคราบน้ำมันลดลง จนถึงระดับหนึ่ง สัดส่วนก็จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในส่วนของปัจจัย E, F และ G ( รอบเวลาของถังอัลตราโซนิก (ถังที่ 3), ถังเวทิง (ถังที่ 4) และถังแวกคัมตามลำดับ ) เมื่อรอบเวลาเพิ่มขึ้น ก็จะทำให้ร้อยละของชิ้นส่วนที่มีคราบน้ำมันสูงขึ้นตามด้วย แล้วจากนั้นจะลดต่ำลงจนทำให้มีค่าต่ำสุดที่อุณหภูมิ 210 °C และสำหรับปัจจัย H และ J (รอบเวลาของถังดรายเออร์ และรอบเวลาของสเปรย์ภายในถังดรายเออร์ เมื่อรอบเวลาน้อยเกินไป ก็จะทำให้ร้อยละของชิ้นส่วนที่มีคราบน้ำมันสูงขึ้น และร้อยละจะลดต่ำลง เมื่อรอบเวลาผ่านไประยะหนึ่ง จนถึงค่าต่ำสุด จากนั้นเมื่อรอบเวลามากขึ้น ก็จะทำให้ร้อยละของชิ้นส่วนที่มีคราบน้ำมันสูงขึ้นอีกครั้ง

จึงสามารถสรุปสถานะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยในกระบวนการล้าง ซึ่งใช้ในการลดคราบน้ำมันที่ชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติได้ ดังตารางที่ 4.10 ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.10 สรุปสถานะที่เหมาะสมในการลดคราบน้ำมันบนชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ค่าที่เหมาะสม
อุณหภูมิของถังแวกคัม (Vacuum Tank) (ถังที่ 5-6) (°C)	A	44.9495
อุณหภูมิของถังทรายเออร์ (Dryer Tank) (ถังที่ 7-8) (°C)	B	90
รอบเวลาของถังดิพฟิงที่ 1 (Dipping Tank no.1) (วินาที)	C	150
รอบเวลาของถังดิพฟิงที่ 2 (Dipping Tank no.2) (วินาที)	D	150
รอบเวลาของถังอัลตราโซนิก (Ultrasonic Tank) (ถังที่ 3) (วินาที)	E	210
รอบเวลาของถังเวทิง (Waiting Tank) (ถังที่ 4) (วินาที)	F	210
รอบเวลาของถังแวกคัม (Vacuum Tank) (ถังที่ 5-6) (วินาที)	G	210
รอบเวลาของถังทรายเออร์ (Dryer Tank) (ถังที่ 7-8) (วินาที)	H	658.182
รอบเวลาของสเปร์ย์ภายในถังทรายเออร์ (ถังที่ 7-8) (วินาที)	J	247.879

#### การทดสอบเพื่อยืนยันผล

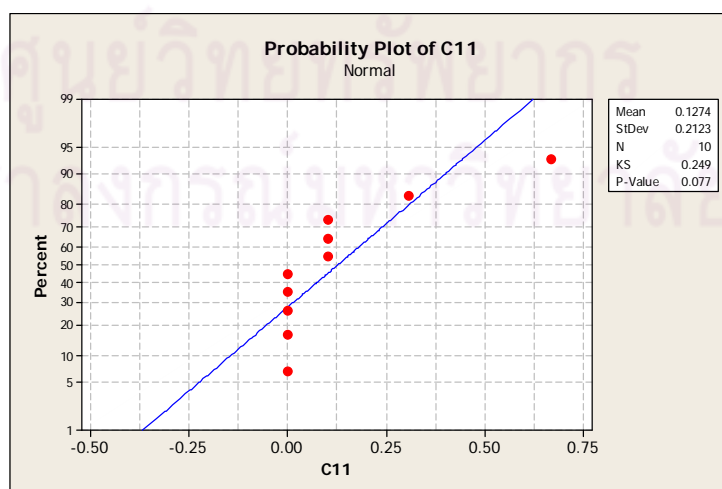
เมื่อได้สถานะที่เหมาะสมของการลดคราบน้ำมันบนชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ นำไปทดสอบเพื่อยืนยันผล โดยทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลด้วยชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จำนวน 10 ลอต โดยกำหนดค่าของปัจจัยตามตารางที่ 4.10 ซึ่งได้ผลการทดสอบ ดังตารางที่ 4.11 ดังนี้

ตารางที่ 4.11 แสดงร้อยละของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีความน้ำมัน ในการทดลองเพื่อยืนยัน

ผล

การทดสอบผล ครั้งที่	ชิ้นส่วนที่มี คราบน้ำมัน	ร้อยละของชิ้นส่วนที่มี คราบน้ำมัน
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	1	0.101
5	1	0.101
6	3	0.304
7	0	0
8	6	0.667
9	0	0
10	1	0.101
เฉลี่ย	1.2	0.127

จากผลการทดลองยืนยันผลของการลดคราบน้ำมันบนชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ด้วยเครื่อง  
ล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ จะได้ร้อยละเฉลี่ยของชิ้นส่วนที่มีคราบน้ำมันเท่ากับ ร้อยละ  
0.14 และผลการทดลองนี้มีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยการทดสอบด้วย  
สถิติ Kolmogorov-Smirnov ซึ่งค่า P-value เท่ากับ 0.77 ดังภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 แสดง Probability Plot ของผลการทดลองยืนยันผล

ถ้าหากร้อยละเฉลี่ยของชิ้นส่วนที่มีคราบน้ำมันจะอยู่ในค่าที่ยอมรับ ตามประวัตถุสงค์ของการทดลอง (กำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 2) ซึ่งสมมติฐานในการทดสอบด้วยสถิติ t คือ

$$H_0: \mu \leq 2 \text{ (ร้อยละเฉลี่ยของชิ้นส่วนที่มีคราบน้ำมัน ไม่มากกว่าร้อยละ 2)}$$

$$H_1: \mu > 2 \text{ (ร้อยละเฉลี่ยของชิ้นส่วนที่มีคราบน้ำมัน มากกว่าร้อยละ 2)}$$

ตารางที่ 4.12 แสดงการทดสอบ t-test ของร้อยละของชิ้นส่วนที่มีคราบน้ำมันของการทดลอง ยืนยันผล

	N	Mean	StDev	t	P
Lot	10	0.1274	0.2123	-27.89	1.000*

\*หมายเหตุ : ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากตารางที่ 4.12 พบว่า ค่า P-value มีค่าเท่ากับ 1.000 ซึ่งมีมากกว่า 0.05 จึงถือว่า ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ กล่าวคือ ร้อยละเฉลี่ยของชิ้นส่วนที่มีคราบน้ำมัน มีค่าไม่เกิน ร้อยละ 2 ด้วยระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ซึ่งลดลงจากก่อนทำการวิจัยจากร้อยละเฉลี่ยของ สัดส่วนของชิ้นส่วนที่มีคราบน้ำมันเท่ากับ 2.565 เหลือเพียงร้อยละ 0.127 เท่านั้น



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาการลดคราบน้ำมันที่ขึ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ นั้น จะพิจารณาผลตอบจากค่าของสัดส่วนของเสียของขึ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมันน้อยที่สุด โดยประยุกต์ใช้วิธีการของทากูชิและวิธีพื้นผิวผลตอบ การทดลองถูกออกแบบขึ้นโดยวิธีการของทากูชิ ซึ่งเมทริกซ์การทดลองประกอบด้วยพารามิเตอร์ของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติทั้ง 9 พารามิเตอร์ โดยทำการวิเคราะห์จากการระดมสมองและแผนภาพแสดงเหตุและผล ประกอบด้วยอุณหภูมิของถังแวกคัม (vacuum tank, ถังที่ 5-6), อุณหภูมิของถังทรายเออร์ (dryer tank, ถังที่ 7-8), รอบเวลาของถังดิฟฟิงที่ 1 (dipping tank no.1, ถังที่ 1), รอบเวลาของถังดิฟฟิงที่ 2 (dipping tank no.2, ถังที่ 2), รอบเวลาของถังอัลตราโซนิค (ultrasonic tank, ถังที่ 3), รอบเวลาของถังเวทิง (waiting tank, ถังที่ 4), รอบเวลาของถังแวกคัม, รอบเวลาของถังทรายเออร์ และรอบเวลาของสเปรย์ภายในถังทรายเออร์ จากการทดลองพบว่า ทุกพารามิเตอร์มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 โดยที่อุณหภูมิของถังแวกคัม เป็นพารามิเตอร์หลักที่มีผลต่อสัดส่วนของเสียของขึ้นส่วนที่มีคราบน้ำมัน รองลงมา คือ รอบเวลาของถังทรายเออร์, รอบเวลาของสเปรย์ภายในถังทรายเออร์, รอบเวลาของถังดิฟฟิงที่ 2 , รอบเวลาของถังดิฟฟิงที่ 1, รอบเวลาของ ถังเวทิง, รอบเวลาของถังอัลตราโซนิค, รอบเวลาของถังแวกคัม และอุณหภูมิของถังทรายเออร์ ตามลำดับ

จากนั้น ใช้วิธีการพื้นผิวผลตอบในการสร้างสมการกำลังสองของสัดส่วนของเสียของขึ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีคราบน้ำมัน โดย พบว่า สมการมีประสิทธิภาพและสามารถนำไปพยากรณ์สัดส่วนของเสียได้ด้วยระดับความเชื่อมั่น 95% และได้พารามิเตอร์ของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิของถังแวกคัม 44.9495 °C, อุณหภูมิของถังทรายเออร์ 90 °C, รอบเวลาของถังดิฟฟิงที่ 1 150 วินาที, รอบเวลาของถังดิฟฟิงที่ 2 150 วินาที, รอบเวลาของถังอัลตราโซนิค 210 วินาที, รอบเวลาของถังเวทิง 210 วินาที, รอบเวลาของถังแวกคัม 210 วินาที, รอบเวลาของถังทรายเออร์ 658.182 วินาที และรอบเวลาของสเปรย์ภายในถังทรายเออร์ 247.879 วินาที จากหากทำการล้างด้วยพารามิเตอร์นี้ จะช่วยประหยัดทั้งเวลาและต้นทุนในกระบวนการล้าง นั่นคือ ลดลงจากก่อนทำการวิจัยจากร้อยละเฉลี่ยของขึ้นส่วนที่มีคราบน้ำมันเท่ากับ 2.565 เหลือเพียงร้อยละ 0.127

## อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

### 1. อภิปรายและข้อเสนอแนะของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ

เนื่องมาจากเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ เป็นเครื่องล้างที่ถูกผลิตขึ้นมาใหม่ และกำลังอยู่ในช่วงการปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนให้ดียิ่งขึ้น เมื่อหลังจากทำการทดลอง พบว่า ควรทำการปรับ/เปลี่ยนอุปกรณ์หรือส่วนประกอบบางชิ้น เพื่อให้เครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติมีประสิทธิภาพในการล้างเพิ่มขึ้น เช่น

- ทำการปรับจังหวะการส่งคลื่นอัลตราโซนิกภายในถังอัลตราโซนิก (ถังที่ 3) และถังแวกคัม (ถังที่ 5-6) ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยอาจให้มีจังหวะสัญญาณความถี่มากขึ้น การเปลี่ยน/เพิ่มตำแหน่งปล่อยคลื่นอัลตราโซนิก รวมถึงอาจเพิ่มความถี่ และความเข้มของคลื่นอัลตราโซนิกเพื่อให้คลื่นมีโอกาสสัมผัสผิวชิ้นงานได้มากกว่าเดิม

- ขณะทำการทดลอง พบว่า บ่อยครั้งที่อุณหภูมิภายในถังแวกคัม (ถังที่ 5-6) ไม่คงที่ตลอดเวลา ส่งผลให้เส้นกราฟของปัจจัยอุณหภูมิภายในถังแวกคัมนี้ มีลักษณะเป็นเส้นโค้งพาราโบลา ทั้งนี้เพราะเมื่อฝาของถังแวกคัมเปิดขึ้น เพื่อรับ basket ที่มีชิ้นงานบรรจุอยู่จากถังก่อนหน้า หรือส่ง basket ที่มีชิ้นงานบรรจุอยู่ไปยังถังถัดไป ใอน้ำยาจะระเหยออกไป ทำให้ระบบปิดของถังนี้จะไม่สมบูรณ์ จะต้องใช้ระยะเวลาสักพักเพื่อให้อุณหภูมิกลับมาคงที่ตามที่กำหนดไว้อีกครั้ง

- ทำการปรับจังหวะการฟอสเฟอริ (ไอน้ำยา) ภายในถังทรายเดอร์ (ถังที่ 7-8) ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยอาจให้มีจังหวะสัญญาณที่เหมาะสมที่จะทำให้สเปรย์ของไอน้ำยา solvent มีโอกาสสัมผัสผิวชิ้นงานได้มากกว่าเดิม

### 2. อภิปรายและข้อเสนอแนะของวิธีการล้างด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ

- อาจเปลี่ยนวิธีการจัดวางชิ้นงานใหม่ จากเดิมที่ทำการวางชิ้นงานบนถาดหมุนในแนวตั้ง อาจเปลี่ยนมาแนวนอน ซึ่งสามารถวางชิ้นงานได้จำนวนมากขึ้น

### 3. อภิปรายและข้อเสนอแนะของ Hydrocarbon Solvent

- อาจเปลี่ยน Hydrocarbon solvent ใหม่ จากเดิมใช้ Careclean PC อาจเปลี่ยนมาใช้ solvent อื่น อย่างไรก็ตามทั้งนี้จะต้องศึกษาถึงคุณสมบัติและราคาของ Hydrocarbon solvent ใหม่ ๆ เพราะอาจล้างคราบน้ำมันบนชิ้นงานได้ดีกว่า

สำหรับงานวิจัยนี้ จะพิจารณาการลดเฉพาะคราบน้ำมันบนชิ้นงานเท่านั้น แต่แท้จริงแล้วชิ้นงานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นี้ อาจเกิดคราบสกปรกชนิดอื่น ๆ เช่น คราบสีขาว คราบสีน้ำเงิน คราบสนิม เป็นต้น ดังนั้น จึงเป็นสิ่งที่ผู้สนใจสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวิจัยต่อไป



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กิตติกร ฤทธิ์สิงห์ และเลิศศักดิ์ สุมาลย์. การปรับปรุงคุณภาพงานหล่อ निकเกิล-อลูมิเนียมบรอนซ์ โดยวิธีการของทาภูชิ. รายงานโครงการงานศึกษาปริญญาบัณฑิต, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.
- ชาญณรงค์ สายแก้ว และนิพนธ์ ชิลพัฒน์. การออกแบบการทดลองสำหรับการปรับปรุงผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต : การประยุกต์ในเครื่องย่อยขวดแก้ว. วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น 33, 4 (2549) : 415-430.
- ณัฐินี จงรักษ์. การวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาคาบเกิดคราบสกปรกบริเวณขาโลหะส่วนโค้งของวงจรรวมสำหรับเครื่องทำเครื่องหมายด้วยเลเซอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- ธิดาเดียว มยุรีสุวรรณค์. การทดสอบกรณีตัวอย่าง 1 กลุ่ม. [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา: <http://stat.kmutnb.ac.th/e-learning/PrinStat3/content2/2.pdf> [2553, สิงหาคม 20].
- เบญจมาภรณ์ เสนารัตน์ และ สมประสงค์ เสนารัตน์. แบบแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CR-p). [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา: <http://learners.in.th/file/tigermsu/CR-p.pdf> [2553, สิงหาคม 20].
- ปานิกา เสนาะดนตรี และสมเกียรติ จงประสิทธิ์พร. การพัฒนาประสิทธิภาพงานหล่อเครื่องประดับด้วยการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลอง กรณีตัวอย่าง: โรงงานเครื่องประดับ. วารสารการประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหการ (2550) : 140-145.
- ปารเมศ ชุตินา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- ปิยะชาติ อริยโชติมา. การศึกษาอิทธิพลของสภาวะการล้างที่มีต่อชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์บนเครื่องล้างแบบอัลตราโซนิคอัตโนมัติ. รายงานโครงการงานศึกษาปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- เปมิกา สุวรรณมณี. การศึกษาระดับปริญญาโทที่เหมาะสมในกระบวนการพ่นสีเฟอโรนเจอร์ไม่โดยการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: โรงงานผลิตเฟอโรนเจอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2548.

วิชา วิทยาภัย บุณนาค. อิทธิพลของปัจจัยในการบ่มต่อสมบัติเชิงกลของอีพอกซีเรซินเสริมเส้นใยแก้วสำหรับเคลือบคอนกรีตและมอร์ตาร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ และจันทนา จันทโร. สถิติสำหรับวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ศิริวดี เอื้ออรัญโชติ. การลดการปนเปื้อนจากกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียนสำหรับคอมพิวเตอร์โดยการประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

สินี ทองมี. การปรับปรุงกระบวนการชุบผิวด้วยไฟฟ้าของชิ้นส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

องค์การ ศิริสวัสดิ์. การศึกษาวิธีการผลิตเทพลอนที่เหมาะสม โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

#### ภาษาอังกฤษ

Angsumalin Senjuntichai, Somkiat Tangjitsitcharoen, and Napassavong Rojanarowan, Improvement of washing process for machining part due to oil contamination. Journal of IE network Conference (2008) : 465-469.

D.C. Montgomery. Design and Analysis of Experiments. New York : John Wiley and Sons, 1984.

Kadirgama, K., Noor, M.M., Rahman, M.M., Bakar, R.A., and Abou-El-Hossein, K.A.. Fourth order torque prediction model in end milling. Journal of Applied Sciences 9,13 (2009) : 2431-2437.


Kadirgama, K., Noor, M.M., Rahman, M.M., Rejab, M.R.M., Haron, C.H.C., and Abou-El-Hossein, K.A.. Surface roughness prediction model of 6061-T6 aluminium alloy machining using statistical method, European Journal of Scientific Research 25,2 (2009) : 250-256.

- Nuntawat Nunya and Somkiat Tangjitsitcharoen. Ruduction of Oil Comtamination on Hard Disk Drive Part by Automatic Hydrocarbon Washing Machine. Journal of International Symposium of Quality Management (2009) : 21.
- P.J. Ross. Taguchi Techniques for Quality Engineering: Loss Function, Orthogonal Experiments, Parameter and Tolerance Design. New York : McGraw-Hill, 1996.
- Raviraj Shetty, Raghuvir Pai, Srikanth S. Rao, and Vasanth Kamath. Machinability study on discontinuously reinforced aluminium composites (DRACs) using response surface methodology and Taguchi's design of experiments under dry cutting condition. Maejo International Journal of Science and Technology 2,1 (2008) : 227-239.
- Reddy, B. Sidda, Kumar, J. Suresh, Reddy, K. Vijaya Kumar, and Kumari, A.A.. Application of Taguchi and response surface methodology for biodiesel production from alkali catalysed transesterification of waste cooking oil, International Journal of Applied Engineering Research. 4,7 (2009) : 1169-1184.
- Syuhei Okada, Yasuhiro Itoh, and Tomomichi Suzuki. Experimental design to allocate more factors to  $L_{27}$ . [Online]. 2010. Available from:  
<http://www.bm.nsysu.edu.tw/tutorial/iylu/ANQ%202008/10.%20Session%20F/F1-04.doc> [2010, August 20].
- W.H. Yang and Y.S. Tarng. Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method. Journal of Materials Processing Technology 84 (1998) : 122–129.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก  
คู่มือการปฏิบัติงานเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## คู่มือการปฏิบัติงานเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ

- ขั้นตอนการเตรียมเครื่องล้างงาน



รูปที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมเครื่อง Auto Hydrocarbon Washing Machine

- ขั้นตอนการปฏิบัติงาน



ศูนย์วิทยพัสดุ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2 กระบวนการปฏิบัติงาน

## คำสั่งที่หน้าจอมอนิเตอร์

### 1. หน้าจอหลัก (Home page)



รูปที่ 3 หน้าจอหลัก

หน้าจอหลัก (Home page) นี้เป็นหน้าจอเริ่มต้นที่แสดงออกมาเมื่อเริ่มเปิดเครื่อง หน้าจอ  
นี้จะเป็นจุดเริ่มต้นสู่การตั้งค่าระบบและการเดินเครื่องต่อไป การทำความเข้าใจกับหน้าจอนี้เป็น  
เรื่องสำคัญมาก เพราะการเตรียมเครื่องต้องเริ่มจากหน้าจอนี้ก่อนเสมอจึงจะกดปุ่มเริ่มต้นการ  
ทำงาน (Start) ได้ โดยส่วนประกอบของหน้าจอหลักมีดังนี้

- 1) ปุ่มสัญญาณเตือน(Alarm)
- 2) ปุ่มตั้งระบบ (System setting)
- 3) ปุ่มตั้งเวลา (Time setting)
- 4) ปุ่มตรวจสอบสถานะการทำงาน (Status)
- 5) ปุ่มควบคุมเครื่องด้วยตนเอง (Manual)
- 6) ปุ่มตรวจตะกร้างาน (Basket)
- 7) ปุ่มควบคุมแขนกล (Robot arm)
- 8) ปุ่มเตรียมเริ่มต้นการทำงาน (Ready)
- 9) ปุ่มพักการทำงาน (Stand by)
- 10) ปุ่มเริ่มต้นการทำงาน (Start)
- 11) ปุ่มหยุดการทำงาน (Stop)

12) ปุ่มเลือกระบบการทำงาน (Auto-Manual selection)

13) ปุ่มหยุดสัญญาณเตือน (Reset alarm)

สำหรับปุ่มที่ 1 ถึง 7 นั้นเป็นปุ่มเพื่อเข้าสู่หน้าจอรองต่อ ๆ ไป แต่สำหรับปุ่มที่ 8 ถึง 13 นั้นเป็นปุ่มที่ทำงานภายในหน้าจอหลักนี้เอง ทั้งนี้ที่พนักงานเปิดเครื่องนั้นสัญญาณแสดงการทำงานรูปวงกลมเหนือปุ่มที่ 8-13 นั้นจะเป็นสีแดงทั้งหมด การเตรียมเครื่องให้พร้อมทำงานต่อไปมีขั้นตอนดังนี้

1. กดปุ่ม Stop เพื่อตั้งค่าเครื่องสู่สภาวะเริ่มต้น เมื่อกดปุ่มนี้ แล้วฝาของถังล่างที่ 1-8 จะเปิดจนครบทุกฝา แล้วจากนั้นจะปิดฝาทุกฝาอีกครั้ง ส่วนแขนกลนั้นจะทำการเปิดอ้ากว้าง และเลื่อนสู่ตำแหน่งเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดตามลำดับ ขณะที่กำลังตั้งค่าต่าง ๆ นี้ ห้ามพนักงานปฏิบัติงานกดปุ่มใด ๆ เป็นอันตราย เพราะอาจทำให้การทำงานของเครื่องติดขัดได้ หากพบปัญหาอื่น ๆ พนักงานต้องแจ้งต่อวิศวกรหรือช่างผู้ดูแลและซ่อมเครื่อง หากเครื่องทำการตั้งค่าเริ่มต้นเสร็จแล้วสัญญาณไฟสีเขียวจะปรากฏเหนือตำแหน่งปุ่ม Stop

2. เมื่อสัญญาณไฟเหนือปุ่ม Stop เปลี่ยนเป็นสีเขียวแล้วให้ กดปุ่มเลือกระบบการทำงาน (Auto-Manual selection) โดยให้กดที่ Auto เพื่อเลือกให้เครื่องเดินด้วยระบบทำงานอัตโนมัติ หากกดติดสัญญาณไฟเหนือปุ่ม Auto จะกลายเป็นสีเขียว

3. กดปุ่มเตรียมเริ่มต้น หรือ Ready เพื่อเริ่มต้นการทำงาน เมื่อกดปุ่มนี้แล้ว ฝาของถังล่างทุกฝาจะเปิดออก หากเครื่องเตรียมเสร็จแล้วสัญญาณไฟเหนือปุ่ม จะกลายเป็นสีเขียว ปุ่มเตรียมเริ่มต้นการทำงานนี้เป็นปุ่มที่สำคัญมาก หากไม่กดปุ่มนี้ก่อนกดปุ่ม Start เครื่องจะไม่ยอมทำงาน

4. กดปุ่มเริ่มต้นการทำงานหรือปุ่ม Start เมื่อกดปุ่มนี้ฝาของถังที่ 7 และ 8 จะปิดอีกครั้ง เพื่อตั้งอุณหภูมิอบ ส่วนสัญญาณไฟเหนือปุ่มจะกลายเป็นสีเขียว เมื่อสัญญาณไฟปรากฏพนักงานสามารถวางตะกร้าไว้ที่จุดเริ่มต้นทำงานได้

5. เมื่อต้องการปิดเครื่องให้กดปุ่มหยุดการทำงานหรือปุ่ม Stop เพื่อหยุดระบบทุกอย่าง และกลับเข้าสู่จุดเริ่มต้นอีกครั้งโดยต้องรอจนกว่าสัญญาณไฟสีเขียวจะปรากฏเหนือปุ่ม

6. หากต้องการพักเครื่องโดยให้อุณหภูมิยังคงถูกควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ให้กดปุ่ม Stop ก่อนจนไฟสัญญาณเป็นสีเขียวแล้วจึงกดปุ่มพักการทำงานหรือปุ่ม Stand by ให้ไฟสัญญาณเป็นสีเขียวเช่นกัน

### ปัญหาที่พบขณะเปิดเครื่อง

1) กดปุ่ม STOP แล้วแต่เครื่องไม่ดำเนินการหยุดการทำงาน

วิธีแก้ไข ปัญหานี้ อาจเกิดจากปุ่ม STAND BY ถูกกดค้างไว้อยู่ ให้กดปุ่ม STAND BY ซ้ำอีกครั้ง หากยังไม่สามารถหยุดการทำงานของเครื่องได้ ให้เปิดตู้เบรกเกอร์เพื่อสับสวิตช์สะพานไฟ เครื่องให้เปิดปิดใหม่อีกครั้ง โปรแกรมจะ reset ตัวเอง

2) กดปุ่ม STOP แล้วเครื่องเข้าสู่โหมดหยุดพักการทำงานโดยอัตโนมัติ (STAND BY)

วิธีแก้ไข เลือกโหมด Auto แล้วกดปุ่ม READY ให้ไฟสัญญาณกลายเป็นสีเขียว กดปุ่ม START เพื่อเดินเครื่อง แล้วลองกดปุ่ม STOP อีกครั้ง

3) ไม่สามารถเลือกระบบการทำงานได้ (Auto-Manual selection)

วิธีแก้ไข กดปุ่ม STOP ก่อนเพื่อ reset เครื่องล่าง หลังจากไฟสัญญาณสีเขียวปรากฏแล้ว เราสามารถเลือกระบบการทำงานได้ตามปกติ

4) ไม่สามารถกดปุ่มเริ่มต้นการทำงาน (START) ได้

วิธีแก้ไข อาจเกิดจากยังไม่เลือกระบบการทำงานไปที่ Auto หรือมีฉะนั้นให้กดปุ่ม STOP เพื่อ reset เครื่องใหม่อีกครั้ง

## 2. หน้าสัญญาณเตือน (Alarm)



รูปที่ 4 หน้าสัญญาณเตือน

หน้าสัญญาณเตือนเป็นหน้าที่แสดงว่าการทำงานของระบบส่วนใดขัดข้อง ที่หน้าจอสีขาวนั้นจะปรากฏข้อความบอกความผิดพลาดนั้นออกมาเช่น น้ำยาที่ใช้หมุนเวียนในระบบนั้นไม่เพียงพอ, บีบดันน้ำยาไม่สามารถทำงานได้หรืออุณหภูมิต่ำเกินไป เป็นต้น ส่วนหน้าจอทางด้านล่างนั้นจะมีสัญญาณบอกสถานะการทำงานของถังแต่ละถังว่าทำงานปกติหรือไม่ หากทำงานเป็นปกติสัญญาณจะแสดงเป็นกากบาทสีเขียว แต่หากระบบขัดข้องที่ถังนั้น สัญญาณจะแสดงเป็นกากบาทสีแดงโดยมีลักษณะความผิดพลาดแสดงอยู่ที่หัวข้อข้างล่างด้วย โดยหัวข้อต่าง ๆ นั้นมี 3 อย่างดังต่อไปนี้

- 1) Over load trip
- 2) Cooling water flow fail
- 3) Temperature fail

## 3. หน้าตั้งระบบ (System setting)



รูปที่ 5 หน้าตั้งระบบ

หน้าตั้งระบบนี้ เป็นการสั่งการทำงานของระบบที่ใช้งานกับถังที่ 1-6 ว่า ให้ระบบใดทำงานหรือระบบใดหยุดทำงานโดยระบบต่าง ๆ จะมีดังต่อไปนี้

- 1) PUMP (ระบบหมุนเวียนน้ำยา)
- 2) SWING (ระบบยกตะกั่วงานขึ้นลงภายในถัง)
- 3) ULTRA (ระบบอัลตราโซนิก)

สัญญาณไฟสีเขียวที่มุมซ้ายบนของปุ่มนั้นหมายถึงระบบนั้นยังมีการทำงานอยู่ แต่หากกดปุ่มนี้ซ้ำไฟสัญญาณจะกลายเป็นสีแดงหมายถึงว่าระบบถูกสั่งให้หยุดการทำงาน หากต้องการให้ระบบกลับมาทำงานอีกครั้งให้ทำการกดปุ่มอีกครั้ง

## 4. หน้าตั้งเวลา (Time setting)



รูปที่ 6 หน้าตั้งเวลา

หน้าตั้งเวลาเป็นหน้าจอที่แสดงเวลาทำงานของแต่ละถังเมื่อตะกร้าอยู่ภายใน เวลาเหล่านี้พนักงานสามารถปรับได้ตามความเหมาะสม โดยหน้าแรกที่เราเห็นนั้นคือเวลาของแต่ละตะกร้า ตั้งแต่ถังที่หนึ่งถึงถังที่แปดแสดงอยู่ที่กรอบสี่เหลี่ยมด้านขวาแสดงเป็นวินาที ทางด้านล่างของหน้าจอจะมีปุ่มเขียนว่า “Advance Time Setting” ซึ่งจะนำเราเข้าสู่หน้าจอควบคุมเวลาในการฟั่นไอน้ำยาที่ถังอบที่ 7 และถังอบที่ 8

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



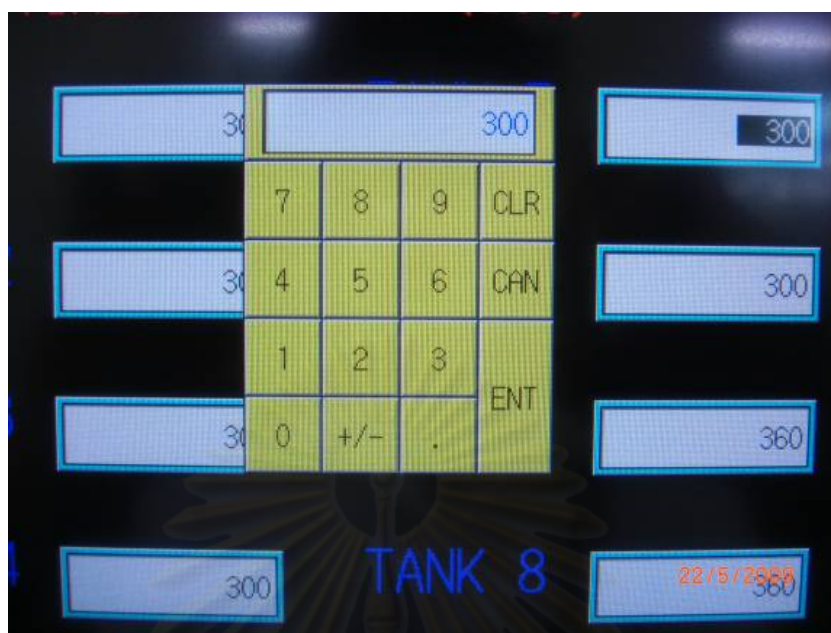


รูปที่ 8 หน้าตั้งเวลาเพิ่มเติม

หน้าจอนี้จะปรากฏขึ้นเมื่อเรากดปุ่ม Advance Time Setting หน้าจอนี้จะแสดงเวลาที่ใช้ในการพ่นไอน้ำยา Actrel 3356L ในถังที่ 7 กับถังที่ 8 ขณะทำการรอบขึ้นงาน ด้านล่างของหน้าจอจะมีปุ่ม “Back Time Setting” ซึ่งใช้เมื่อต้องการกลับไปหน้าจอตั้งเวลาถึงทำงานในแต่ละถัง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## การตั้งเวลาทำงาน



รูปที่ 9 หน้าจอเลขตั้งเวลา

การตั้งเวลาทำงานของแต่ละถังมีขั้นตอนดังนี้

- 1) เมื่อต้องการตั้งเวลาทำงานของถังใด ๆ ให้กดที่กรอบสีขาวที่แสดงเวลาเป็นวินาที
- 2) หน้าจอรองสีเหลืองที่ใช้ตั้งเวลาจะปรากฏขึ้น
- 3) ใส่ตัวเลขเวลาที่ต้องการตั้งลงไป
- 4) กดปุ่ม ENT เพื่อยืนยันตัวเลขที่ตั้งไว้
- 5) กดปุ่ม CAN หรือปุ่มยกเลิก(Cancel) เพื่อปิดหน้าจอรองสีเหลืองโดยไม่เปลี่ยนแปลงเวลาที่ตั้งไว้
- 6) กดปุ่ม CLR หรือปุ่มตั้งค่าใหม่ (Clear) เพื่อลบตัวเลขเก่าบนหน้าจอเหลืองและตั้งเวลาใหม่อีกครั้ง

สำหรับการเปลี่ยนเวลาทำงานที่หน้าจอ “Advance time Setting” นั้นสามารถทำได้โดยวิธีเดียวกัน แต่การตั้งเวลานี้ ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงงานที่ทำโดยเริ่มนับเวลาถอยหลังไปแล้วได้ (ดูที่หน้าตรวจตะกร้างาน) แต่เราสามารถตั้งเวลาสำหรับงานที่ยังไม่ได้เริ่มต้นทำงานได้ทันทีโดยไม่ต้องรอให้งานที่ทำไปแล้วเสร็จออกมาก่อน

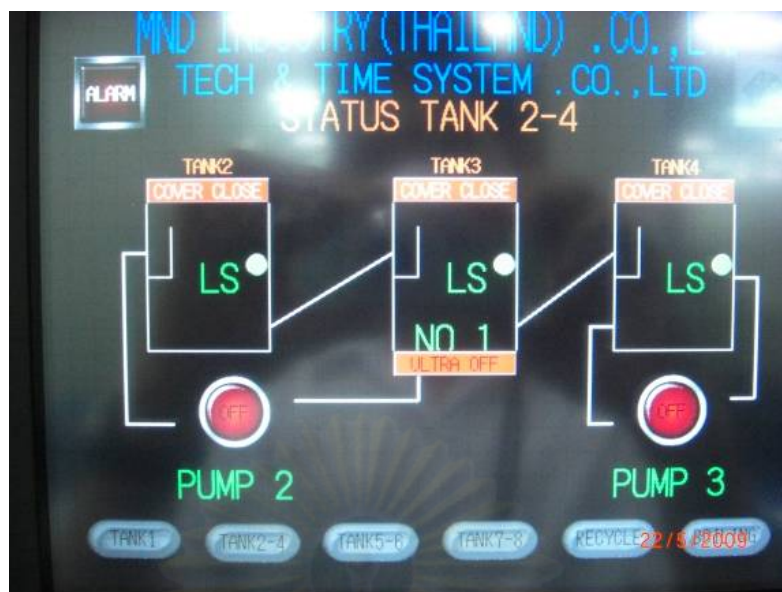
## 5. หน้าตรวจสอบสถานะการทำงาน (Status)



รูปที่ 10 หน้าตรวจสอบสถานะการทำงานถังที่ 1

เมื่อกดปุ่ม STATUS บนหน้าจอหลัก เครื่องจะนำมาสู่หน้าจอตรวจสอบสถานะการทำงานของถังที่ 1 โดยอัตโนมัติ ซึ่งถังที่ 1 นั้นจะมีระบบเวียนน้ำยา Careclean PC ระหว่างถังที่ 1 กับถังเก็บน้ำยาด้านหลังของเครื่อง ปุ่มหมายเลขหนึ่งนั้นจะทำการดูดน้ำยาจาก Subtank มาอยู่ที่ถังที่ 1 ให้ล้นออกไปตามช่องภายในถังกลับไป Subtank ตามเดิม หากสัญญาณไฟสีแดงที่ PUMP1 กระพริบ แสดงว่า ปุ่มกำลังทำงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 11 หน้าตรวจสภาวะการทำงานถังที่ 2-4

เมื่อกดปุ่ม TANK2-4 จะนำมาสู่หน้าจอนี้ ซึ่งจะแสดงระบบการทำงานของถังที่ 2 ถึงถังที่ 4 โดยถังที่ 4 จะรับน้ำจากถังเก็บน้ำด้านหลังมาหลังจากนั้นปั๊มหมายเลข 3 จะทำหน้าที่วนน้ำยาให้หมุนเวียนอยู่ตลอดเวลา เมื่อน้ำยามีปริมาณมากก็จะล้นไฟเข้าถังที่ 3 ภายในถังที่ 3 นี้จะมีเครื่องอัลตราโซนิกอยู่ได้ถังด้วยเพื่อช่วยดึงความสกปรกจากชิ้นงาน หากน้ำยาล้นที่ถังที่ 3 น้ำยาที่ล้นนั้นจะไหลไปเข้าที่ถังที่ 2 ต่อไป ถังที่สองกับถังที่ 3 นั้นใช้ปั๊มตัวเดียวกันคือ ปั๊มหมายเลข 2 ปั๊มตัวนี้จะทำหน้าที่ดูดน้ำยาจากถังที่ 2 เวียนไปที่ถังที่ 3 แต่หากน้ำยามากเกินไปน้ำยาที่ล้นจากถังที่ 2 จะไหลไปที่ถังรีไซเคิลทางด้านหลังของเครื่อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 12 หน้าตรวจสภาวะการทำงานถังที่ 5-6

เมื่อกดปุ่ม TANK5-6 จะนำเรามาที่หน้าจอนี้ หน้าจอนี้จะแสดงระบบการทำงานของถังที่ 5 กับถังที่ 6 ซึ่งถังที่ 5 กับถังที่ 6 นี้เป็นถังอัลตราโซนิคพร้อมระบบสุญญากาศ โดยถังที่ 6 นี้จะรับน้ำยาจากถังเก็บน้ำยาด้านหลังมาเพิ่มในถัง ภายในถังที่ 6 นี้จะมีปั๊มหมายเลข 5 อยู่ทำการวนน้ำยาภายในถัง หากปริมาณน้ำยามีมากเกินไปจะล้นไปเข้าถังที่ 5 ซึ่งในถังที่ 5 นี้จะมีปั๊มหมายเลข 4 ทำการวนน้ำยาอยู่เช่นกัน หากปริมาณน้ำยามีมากเกินไปก็จะถ่ายไปยังถังรีไซเคิลด้านหลัง อย่างไรก็ตามการถ่ายเทน้ำยาเหล่านี้ไม่ได้เกิดขึ้นทันทีทันใดเหมือนระบบของถังที่ 2 ถึงถังที่ 4 เนื่องจากมีวาล์วควบคุมอยู่หากต้องการให้น้ำยาไหลวนต้องทำการเดินเครื่อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 13 หน้าตรวจสภาวะการทำงานถังที่ 7-8

เมื่อกดปุ่ม TANK7-8 จะนำเราไปที่หน้าจอนี้ หน้าจอนี้จะแสดงระบบการทำงานของถังที่ 7 กับถังที่ 8 สำหรับถังที่ 7 กับถังที่ 8 นี้จะไม่มีการส่งน้ำยาเข้าไปมีเพียงไอของน้ำยาจากเครื่องดูดสุญญากาศเท่านั้น โดยไอเหล่านี้จะไหลไปสู่ถังเก็บน้ำยาด้านหลังของเครื่อง แล้วจะกลั่นตัวออกมาเป็นน้ำยา หากปริมาณน้ำยามีมากเพียงพอไฟสัญญาณที่ Low จะเปลี่ยนเป็นสีเขียว และปั๊มจะทำงานส่งน้ำยาออกไปที่ถังที่ 6 และถังที่ 4 โดยปั๊มที่ 7 จะส่งไปที่ 4 ส่วนปั๊มที่ 6 จะส่งไปที่ 6 แต่หากปริมาณน้ำยาไม่เพียงพอปั๊มจะไม่ทำงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 14 หน้าตรวจสถานะการทำงานถังต้มน้ำมันร้อน

เมื่อกดปุ่ม BOILING จะนำเราไปสู่หน้าจอระบบการทำงานของน้ำมันร้อน ซึ่งถึงทางด้านขวา ที่เขียนว่า HOT OIL คือ ถังต้มน้ำมันร้อนภายในถัง จะแสดงการทำงานของเครื่องทำความร้อนและมีเซนเซอร์วัดระดับน้ำมันภายใน ส่วนปุ่มหมายเลขเก้า นั้นจะเป็นปุ่มส่งน้ำมันร้อนไปเลี้ยงถังที่ 7 กับถังที่ 8 ซึ่งเป็นถังอบ ส่วนปุ่มหมายเลข 10 จะส่งน้ำมันร้อนไปเลี้ยงที่ถังหมายเลข 5, ถังหมายเลข 6 และบ่อต้มน้ำยา Actrel 3356L อีกสองถังทางด้านหลัง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 6. หน้าควบคุมเครื่องด้วยตนเอง (Manual)



รูปที่ 15 หน้าจอควบคุมเครื่องด้วยตนเอง

หน้าจอควบคุมเครื่องด้วยตนเองนั้น จะใช้งานได้ต้องเปลี่ยนโหมดการทำงานที่หน้าจอหลักอยู่ที่ Manual เสียก่อน จึงสามารถใช้งานหน้าจอเหล่านี้ได้ เมื่อเลือกเข้ามาที่หน้าจอนี้เครื่องจะนำเราเข้าสู่หน้าควบคุมปั๊มทันที โดยเราสามารถเลือกให้ปั๊มที่จุดต่าง ๆ ทำงานได้ โดยระบบของปั๊มนั้นได้อธิบายไว้แล้วในคู่มือเรื่องของหน้าตรวจสอบสถานะการทำงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 16 หน้าจอควบคุมโซลินอยด์วาล์วด้วยตนเอง

เมื่อกดปุ่ม SOLENOID VALVE จะเข้าสู่หน้าจอนี้ บนหน้าจอนี้จะมีปุ่มควบคุมวาล์วตามจุดต่าง ๆ บนเครื่อง โดยวาล์วเหล่านี้จะทำหน้าที่เปิด-ปิดเพื่อส่งน้ำยาให้เป็นที่ตามจังหวะการทำงานของเครื่องล้าง การเปิด-ปิดเครื่องเหล่านี้ด้วยตัวผู้ควบคุมเองจะทำให้ระบายน้ำยาไปตามจุดต่าง ๆ เท่านั้น หากตรวจสอบว่าจะเปิดวาล์วตัวไหนต้องไปเช็คหมายเลขที่ตัวควบคุมวาล์วบนตัวเครื่องก่อนทุกครั้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 17 หน้าจอควบคุมอัลตราโซนิกด้วยตนเอง

เมื่อกดปุ่ม ULTRASONIC เราจะเข้าสู่หน้าจอนี้โดยหน้าจอนี้จะทำให้เราสามารถควบคุมเครื่องอัลตราโซนิก, เครื่องทำความร้อนและปั๊มสุญญากาศได้ตามที่ต้องการ โดยอุปกรณ์เหล่านั้นมีดังต่อไปนี้

- 1) NO1 Washing เป็นเครื่องอัลตราโซนิกของถังที่ 2
- 2) NO2 Washing เป็นเครื่องอัลตราโซนิกของถังที่ 5
- 3) NO3 Washing เป็นเครื่องอัลตราโซนิกของถังที่ 6
- 4) Heater เป็นเครื่องทำความร้อนสำหรับน้ำมันร้อน
- 5) Vacuum Pump เป็นเครื่องทำสภาวะสุญญากาศสองเครื่องด้านบนของเครื่องล่าง

การควบคุมอุปกรณ์ทางด้านซ้ายของจอเพียงแต่กดปุ่ม ON สีเขียวเท่านั้นเครื่องก็จะทำงานหากต้องการหยุดต้องกดปุ่ม ON ซ้ำอีกครั้งก่อนเพื่อยกเลิกการเปิดเครื่อง แล้วจึงกดปุ่ม OFF เพื่อปิดเครื่องไม่ให้ทำงาน สำหรับอุปกรณ์ทางด้านขวาของจอภาพนั้นเปิดการทำงานด้วยการกดปุ่มหมายเลขหนึ่งหรือหมายเลขสองตามที่ต้องการเพื่อเปิดเครื่องนั้น ๆ หากต้องการปิดต้องกดปุ่มเดิมซ้ำเครื่องจึงจะหยุดการทำงาน



รูปที่ 18 หน้าจอบควบคุมฝาถังด้วยตนเอง

เมื่อกดปุ่ม COVER เราจะเข้าสู่หน้าจอนี้ ในหน้าจอนี้เราสามารถควบคุมการทำงานของฝาให้เปิดปิดหรือล็อกได้สำหรับถังที่ห้าถึงถังที่แปด โดยบางถังเราสามารถควบคุมระบบยกตะกร้าขึ้นลงได้ตามที่เราสั่งอีกด้วย ภายในหน้าจอนี้มีปุ่มต่าง ๆ ดังนี้

1) ปุ่มเปิดฝา OPEN ซึ่งเมื่อกดไปแล้ว ปุ่มจะกระพริบพร้อมเปิดฝา ระวังเมื่ออยู่ในในจังหวะที่กำลังเปิดฝานั้น อย่ากดปุ่มนี้ ชั่วมีจะนั้นจะทำให้ ฝาจะเปิดไม่สมบูรณ์ ให้รอจนกระทั่งฝาเปิดสมบูรณ์แล้วจึงกดปุ่มนี้ซ้ำ ไฟจะหยุดกระพริบเพื่อ ยกเลิกคำสั่งเปิดฝา

2) ปุ่มปิดฝา CLOSE ซึ่งเมื่อกดไปแล้ว ปุ่มจะกระพริบพร้อมปิดฝา ระวังเมื่ออยู่ในในจังหวะที่กำลังปิดฝานั้น อย่ากดปุ่มนี้ ชั่วมีจะนั้นจะทำให้ ฝาจะปิดไม่สมบูรณ์ ให้รอจนกระทั่งฝาปิดสมบูรณ์แล้วจึงกดปุ่มนี้ซ้ำ ไฟจะหยุดกระพริบเพื่อ ยกเลิกคำสั่งปิดฝา

3) ปุ่มยกตะกร้าขึ้นลง SWING เมื่อกดปุ่มนี้แล้ว ระบบยกจะทำงานจนกระทั่งเรากดปุ่มซ้ำอีกครั้ง

4) ปุ่มล็อกฝา PRESS มีเฉพาะถังที่ 5 ถึงถังที่ 8 เท่านั้น เนื่องจากถังเหล่านี้ มีระบบสุญญากาศจึงต้องปิดฝาให้แน่นหนาขึ้น เมื่อกดปุ่มฝาจะถูกล็อกให้แน่นขึ้น หากต้องการยกเลิกให้กดปุ่มเดิมซ้ำ



รูปที่ 19 หน้าจอเติมน้ำยาล่างในถังต้มด้วยตนเอง

เมื่อกดปุ่ม DISTILLATION เราจะเข้าสู่หน้าจอนี้ หน้าจอนี้มีไว้สำหรับเติมระดับน้ำที่ถังต้มที่หนึ่งและถังต้มที่สอง (BOILING1, BOILING2) สำหรับหน้าจอนี้ไม่จำเป็นที่จะต้องกดปุ่ม Manual ที่หน้าจอหลักก่อน เราสามารถเติมระดับน้ำยาที่ถังต้มได้เลยขณะอยู่ในโหมด Auto ปุ่มวงกลมทางด้าน ขวานั้นจะเป็นปุ่มเตือนว่าระดับน้ำยาในถังรีไซเคิลนั้นน้อยมากจนไม่สามารถเติมให้ถังต้มได้ เราต้องเติมน้ำยา Actrel 3356L ลงไปในถังรีไซเคิลก่อนจึงเติมน้ำยาได้ วิธีเติมน้ำยามีดังนี้

- 1) เช็คดูระดับน้ำยาว่าต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของกระบอกวงกลมหรือไม่ ถ้าต่ำกว่าต้อง เติมน้ำยา
- 2) เข้าสู่หน้าจอ DISTILLATION
- 3) กดปุ่ม ON เพื่อเติมน้ำยาเข้าไปภายในถังที่ระดับต่ำกว่าเกณฑ์ ปุ่มจะเปลี่ยนเป็นสีแดง
- 4) เช็คดูว่าระดับน้ำยาเกินกว่าครึ่งหนึ่งของกระบอกวงกลม แล้วจึงกดปุ่ม ON ซ้ำ เพื่อยกเลิกการเติมน้ำยา
- 5) ปุ่มจะกลับเป็นสีเขียวอีกครั้ง เสร็จสิ้นการเติมน้ำยาเข้าถังต้ม

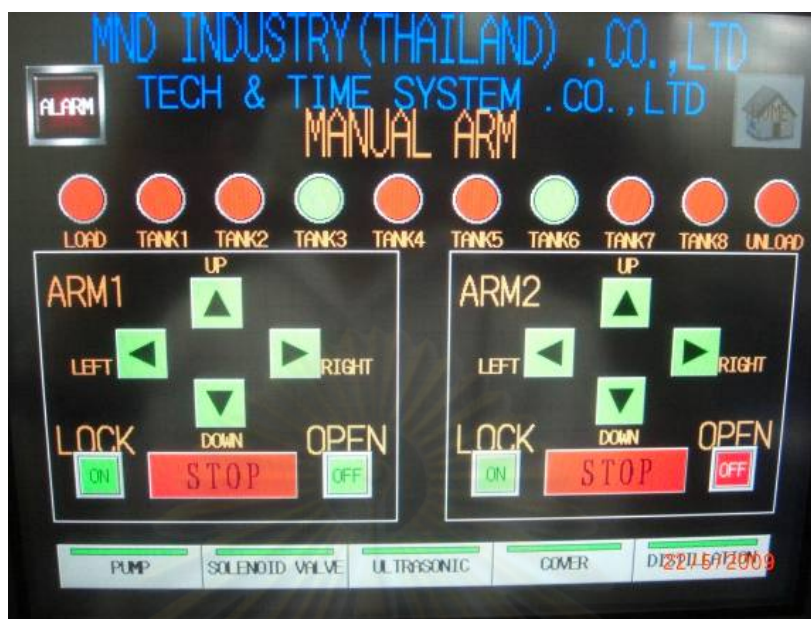
## 7. หน้าตรวจตะกร้างาน (Basket)



รูปที่ 19 หน้าจอตรวจตะกร้างาน

หน้าจอตรวจตะกร้างาน (BASKET) เป็นหน้าจอแสดงการทำงานของเครื่องด้านหน้า เซนเซอร์หน้าเครื่องจะตรวจจับตำแหน่งของแขนกล และตะกร้าทุกใบที่อยู่ใต้งว่าตะกร้านั้นว่าอยู่ในถังใดบ้าง ส่วนกรอบสี่เหลี่ยมที่มีตัวเลขด้านล่างที่เรียงกันอยู่ในกรอบสี่เหลี่ยมทั้งแปดกรอบนั้น คือ เวลาทำงานนับถอยหลัง ตัวเลขเหล่านี้ได้ถูกตั้งไว้ตามที่ออกแบบไว้ที่หน้าตั้งเวลา เมื่อเวลาถอยหลังจนถึงเลขศูนย์แสดงว่าการทำงานที่ถึงนั้นเสร็จสิ้นแล้ว แขนกลจะนำตะกร้าไปยังถังอื่นเพื่อทำงานในกระบวนการต่อไป ส่วนกรอบสี่เหลี่ยมทางด้านมุมขวาล่างทั้งสองกรอบนั้นเป็นเวลาถอยหลัง แสดงการทำงานเช่นเดียวกัน แต่เป็นเวลาในการพ่นไอน้ำยาในถังอบที่เจ็ดและถังอบที่แปด ตัวเลขทั้งสองตัวนี้สามารถตั้งได้ที่ ADVANCE TIME SETTING ที่หน้าจอตั้งเวลาเช่นกัน

## 8. หน้าควบคุมแขนกล (Robot arm)



รูปที่ 21 หน้าจอควบคุมแขนกลด้วยตนเอง

เมื่อกดปุ่ม ROBOT ARM เราจะเข้าสู่หน้าจอนี้ ที่หน้าจอนี้เราสามารถควบคุมแขนกลทั้งสองแขนได้ โดยแขนกลที่หนึ่งจะสามารถเคลื่อนที่ได้ ตั้งแต่ตำแหน่ง LOAD หรือตำแหน่งใส่งาน จนถึงถึงที่ 5 ส่วนแขนกลที่สองนั้นสามารถเคลื่อนที่ได้ตั้งแต่ถึงที่ห้าไปจนถึงตำแหน่ง UNLOAD หรือตำแหน่งงานออกจากเครื่องสำหรับปุ่มควบคุมแขนกลทั้งสองแขนนั้นมีดังนี้

1) ปุ่มควบคุมทิศทางไปทางซ้ายหรือขวา ปุ่มนี้ใช้ในการควบคุมแขนกลให้ไปตำแหน่งต่าง ๆ ตามที่ต้องการ ตามที่แขนกลแต่ละแขนสามารถวิ่งไปได้ หากแขนกลอยู่ตรงกับตำแหน่งใด ๆ ไฟสัญญาณรูปวงกลมที่ตำแหน่งนั้นจะกลายเป็นสีเขียว แต่หากเป็นสีแดงแสดงว่าแขนกลไม่ได้อยู่ที่ตำแหน่งนั้นหรือเซนเซอร์หาแขนกลไม่เจอ

2) ปุ่มเคลื่อนที่ขึ้นลงตามแนวตั้ง ปุ่มนี้ใช้ควบคุมแขนกลให้เคลื่อนที่ขึ้นลงตามจุดต่าง ๆ ปุ่มนี้เมื่อกดแล้วต้องกดปุ่มเดิมซ้ำหลังจากการเคลื่อนที่ขึ้นลงเสร็จสมบูรณ์ให้ปุ่มเปลี่ยนเป็นสีเขียวเหมือนเดิม

3) ปุ่มจับตะกร้าขึ้นงาน (LOCK) ปุ่มนี้ใช้เมื่อต้องการจับตะกร้าขึ้นงาน เมื่อกดปุ่ม นี้เสร็จและแขนกลจับตะกร้าแล้ว ต้องกดปุ่มนี้ซ้ำด้วยให้ปุ่มกลายเป็นสีเขียวก่อนกดปุ่มต่อไป

4) ปุ่มปล่อยตะกร้าขึ้นงาน (OPEN) ปุ่มนี้ใช้เมื่อต้องการปล่อยตะกร้าขึ้นงาน เมื่อกดปุ่มนี้เสร็จแล้ว และแขนกลปล่อยตะกร้าแล้ว ต้องกดปุ่มนี้ซ้ำด้วยให้ปุ่มกลายเป็นสีเขียว ก่อนกดจะปุ่มต่อไป

5) ปุ่มหยุดการเคลื่อนที่ของแขนกล(STOP) ใช้เมื่อต้องการหยุดแขนกลขณะทำงานใด ๆ ที่ไม่ใช่การจับหรือการปล่อยตะกร้า เมื่อกดปุ่มนี้แล้วปุ่มจะกระพริบไฟและแขนกลจะหยุดเคลื่อนที่ ให้กดปุ่มหยุดซ้ำอีกครั้ง เพื่อยกเลิกคำสั่งหยุด ขณะที่กดซ้ำนี้ แขนกลจะไม่เคลื่อนที่ต่อ เราสามารถสั่งให้แขนกลเคลื่อนไปตามคำสั่งใหม่ของเราได้เลย

### ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นขณะควบคุมแขนกล

1) เซนเซอร์หาตำแหน่งแขนกลไม่เจอและพยายามวิ่งต่อไปเรื่อย ๆ จนเกินตำแหน่งที่กำหนดไว้

วิธีแก้ไข ให้กดปุ่ม STOP เพื่อหยุดแขนกล กดปุ่ม STOP ซ้ำเพื่อยกเลิกคำสั่งหยุดแล้วกดปุ่มควบคุมทิศทางไปทางซ้ายหรือขวาตามทิศทางเดิมที่แขนกลวิ่งมาจนแขนกลเจอตำแหน่งเดิมอีกครั้ง

2) แขนกลเคลื่อนที่ลงไม่สุดตำแหน่ง ทำให้ไม่สามารถหยิบตะกร้างานได้

วิธีแก้ไข ยกเลิกปุ่มเคลื่อนที่ลงก่อนให้ปุ่มกลายเป็นสีเขียว หลังจากนั้นจึงกดปุ่มเคลื่อนที่ขึ้นให้เป็นสีแดง แขนกลจะเคลื่อนที่ขึ้นจนสุดเมื่อสมบูรณ์ (อาจเกิดการกระแทกเล็กน้อย) หลังจากนั้นให้กดปุ่มเคลื่อนที่ขึ้นซ้ำให้กลายเป็นสีเขียว การเคลื่อนที่ควรจะเป็นปกติเหมือนเดิมหากไม่แน่ใจให้ลองกดเคลื่อนที่ลงอีกครั้งเพื่อตรวจสอบ บางครั้งอาจต้องแก้ด้วยวิธีนี้ซ้ำถึง 3 รอบจึงจะเป็นปกติ

3) แขนกลไม่ยอมจับตะกร้า

วิธีแก้ไข ต้องกดปุ่ม OPEN ให้กลายเป็นสีเขียวก่อนกด LOCK

4) แขนกลไม่ยอมปล่อยตะกร้า

วิธีแก้ไข ต้องกดปุ่ม LOCK ให้กลายเป็นสีเขียวก่อนกด OPEN

5) แขนกลหาตำแหน่งไม่เจอแต่หยุดเคลื่อนที่แล้ว

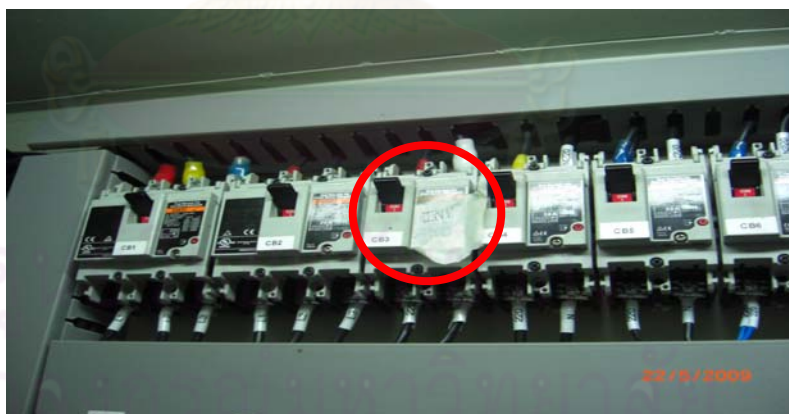
วิธีแก้ไข หากแขนกลหยุดเคลื่อนที่แต่ไม่พบตำแหน่งแสดงว่าเซนเซอร์ตรวจจับแขนกลหาตำแหน่งไม่เจอ ให้กดปุ่มเคลื่อนที่ซ้าย-ขวาไปยังตำแหน่งเดิมก่อนหน้าทีเคลื่อนที่มาหนึ่งครั้ง แขนกลจะขยับเล็กน้อย เซนเซอร์มักจะเจอตำแหน่งใหม่ หากยังไม่สามารถแก้ไขให้กดปุ่ม STOP ของแขนกลที่มีปัญหา ให้ทำการเปิดตู้เบรคเกอร์แล้วปิดสวิตช์ควบคุมแขนกลที่มีฉลากติดว่า INV ทางด้านซ้ายบน โดยที่ผู้ปฏิบัติงานสามารถจับแขนกลลากไปยังตำแหน่งเดิมได้ ให้ลากแขนกลไปตำแหน่งเดิมจนพบเซนเซอร์ แล้วจึงกลับมาเปิดสวิตช์อีกครั้ง หากยังไม่สามารถแก้ปัญหาได้ให้ กดปุ่ม STOP ที่หน้าจอหลัก เพื่อหยุดการทำงานและเคลื่อนแขนกลกลับเข้าสู่ตำแหน่งเริ่มต้น

- อุปกรณ์อื่น ๆ ด้านหลังเครื่อง
- 1) เบรกเกอร์ตัดไฟของเครื่องล่างทั้งเครื่อง เป็นเบรกเกอร์ตัวใหญ่ติดอยู่บริเวณด้านซ้ายบนของตู้เบรกเกอร์



รูปที่ 22 เบรกเกอร์เครื่องล่าง

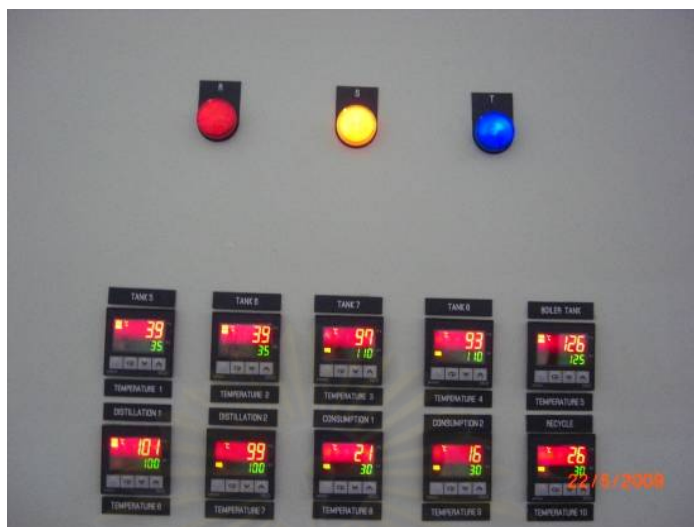
- 2) เบรกเกอร์บังคับไฟจ่ายให้แขนกล จะมีฉลากเขียนว่า INV อยู่ เป็นเบรกเกอร์ตัวเล็กตัวที่สามจากทางซ้ายแถวบน



รูปที่ 23 เบรกเกอร์แขนกล



3) เครื่องตั้งอุณหภูมิอยู่เหนือหน้าจอบคุมเครื่อง



รูปที่ 24 แผงตั้งอุณหภูมิ

มีค่าต่าง ๆ ที่ต้องตั้งดังนี้ (ค่ามาตรฐาน)

1. TANK5 (Temperature1) = 35
2. TANK6 (Temperature2) = 35
3. TANK7 (Temperature3) = 110
4. TANK8 (Temperature4) = 110
5. BOILER TANK (Temperature5) = 125
6. DISTILLATION1 (Temperature6) = 100
7. DISTILLATION2 (Temperature7) = 100
8. CONSUMPTION1 (Temperature8) = 30
9. CONSUMPTION2 (Temperature9) = 30
10. RECYCLE (Temperature10) = 30

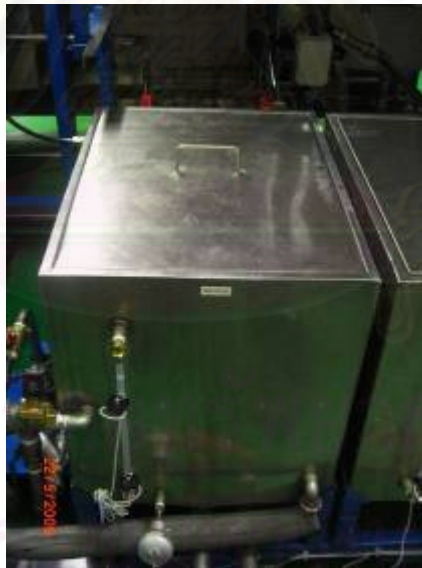
ตัวเลขที่ปรากฏในหน้าจอบังคับอุณหภูมิด้านบนที่เป็นสีแดงคือ อุณหภูมิจริง ๆ ณ ขณะนั้น ส่วนตัวเลขสีเขียวที่ปรากฏด้านล่างคือ ค่าของอุณหภูมิที่ตั้งไว้

## 4) แผงควบคุมอัลตราโซนิก



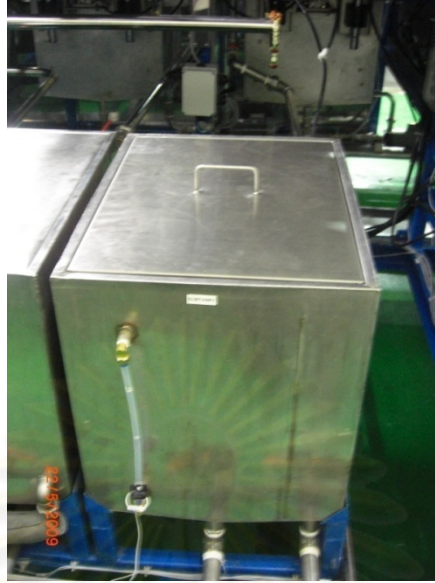
รูปที่ 25 เครื่องควบคุมอัลตราโซนิก

## 5) ถังรีไซเคิล เป็นถังที่รวมน้ำยาที่ใช้งานแล้วจากถังที่ห้าและถังที่สองก่อนนำไปต้ม



รูปที่ 26 ถังรีไซเคิล

- 6) Subtank เป็นถังเก็บน้ำยา H-C40 เพื่อรองรับการวนของน้ำยา อยู่ด้านขวาของถังรีไซเคิล



รูปที่ 27 ถังเก็บน้ำยา H-C40

- 7) หม้อต้ม มีสองหม้อคือ BOILING1, BOILING2 ต้องควบคุมระดับน้ำยา Actrel 3356L ให้สูงเกินกว่าครึ่งหนึ่งของกระจวงกลมเสมอ



รูปที่ 28 กระจวงกลมหม้อต้ม

- 8) ถังกลั่นน้ำยา (Condenser) เป็นถังรับไอน้ำยาจากการต้มมากลั่นเป็นหยดบริสุทธิ์เพื่อส่งไปถึง เก็บน้ำยา



รูปที่ 29 ถังกลั่นน้ำยา

- 9) ถังเก็บน้ำยาถังที่หนึ่ง (Consumption1) เป็นถังเก็บน้ำยาจากถังกลั่นเพื่อส่งไปที่ถังที่สี่



รูปที่ 30 ถังเก็บน้ำยาถังที่หนึ่ง

10) ถังเก็บน้ำยาถังที่สอง (Consumption2) เป็นถังเก็บน้ำยาจากถังกลั่นเพื่อส่งไปที่ถังที่หก




รูปที่ 31 ถังเก็บน้ำยาถังที่สอง

11) หม้อต้มน้ำมันร้อน (Hot oil) เพื่อเป็นตัวนำความร้อนไปให้กับถังที่ต้องใช้ความร้อนในการทำงาน



รูปที่ 32 ถังต้มน้ำมันร้อน



ภาคผนวก ข  
สารเคมีที่ใช้ในเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## Product Data

# Castrol Careclean® PC

### Description

Castrol Careclean® PC is a low odour, low toxicity, dearomatized hydrocarbon solvent for industrial process cleaning.

### Performance Benefits

- Effective cleaning
- Practically odourless
- Low toxicity
- Does not harm the ozone layer
- Compatible with all engineering metals
- May be regenerated by redistillation in suitable equipment
- Low fire hazard
- Rapid drying

### Recommended Applications

As a replacement for trichloroethane and other chlorinated solvents for the removal of all oily or greasy soils from steel or non-ferrous metal parts during manufacture.

### Method Of Use

Castrol Careclean® PC is normally used at ambient temperature. To achieve greater cleaning power and more rapid drying, it may be heated to a maximum of 50°C (in suitable equipment only).

### Equipment Required

Agitated or static immersion tanks or installations specifically designed for handling hydrocarbon solvents.

It is essential that all equipment and work areas are classified for the handling of inflammable solvents, in accordance with local regulations.

Castrol Careclean® PC cannot be used in vapour degreasing equipment designed for chlorinated solvents.

ศูนย์วิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### Typical Characteristics

Castrol	Careclean® PC
Appearance	Clear water white
Density @ 15°C, kg/cm <sup>3</sup>	0.804
Viscosity @ 40°C, cSt	1.80
Closed Flash Point, °C	80
Aromatic Content, %wt	<1.0

### Handling Precautions

**Castrol Careclean® PC**, like all degreasing solvents, will have a defatting effect on the skin. Protective gloves should be worn when handling washed components.



**Castrol Industrial**

**Premier Lubricants (S) Pte Ltd**

24 Jurong Port Road,  
 #01-01 Office Block,  
 CWT Distripark, Singapore 619097  
 Tel.: +65 262 5561  
 Fax: +65 262 5560





Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

**ExxonMobil**  
 Chemical

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

# ACTREL<sup>TM</sup> 3356 L FLUID

Hydrocarbon Fluid

Rev 1 (Oct 03) Asia Pacific

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

## Sales Specification

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Properties	Test Methods	Units	Lower Values	Upper Values
Appearance	Visual		Bright & clear	
Colour	ASTM D156 / JIS K2580-4.2	Saybolt	+30	-
Flash point	ASTM D56 / JIS K2285-4	°C	49	-
Water content	ASTM E1064	wppm	-	100

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

©2006 Exxon Mobil Corporation. To the extent the user is entitled to disclose and distribute this document, the user may forward, distribute, and/or photocopy this copyrighted document only if unaltered and complete, including all of its headers, footers, disclaimers, and other information. You may not copy this document to a Web site. ExxonMobil does not guarantee the typical (or other) values. Analysis may be performed on representative samples and not the actual product shipped. The information in this document relates only to the named product or materials when not in combination with any other product or materials. We based the information on data believed to be reliable on the date compiled, but we do not represent, warrant, or otherwise guarantee, expressly or impliedly, the merchantability, fitness for a particular purpose, suitability, accuracy, reliability, or completeness of this information or the products, materials, or processes described. The user is solely responsible for all determinations regarding any use of material or product and any process in its territories of interest. We expressly disclaim liability for any loss, damage, or injury directly or indirectly suffered or incurred as a result of or related to anyone using or relying on any of the information in this document. There is no endorsement of any product or process, and we expressly disclaim any contrary implication. The terms, "we", "our", "ExxonMobil Chemical", or "ExxonMobil" are used for convenience, and may include any one or more of ExxonMobil Chemical Company, Exxon Mobil Corporation, or any affiliates they directly or indirectly steward. The ExxonMobil Chemical Emblem, the "Interlocking X" Device, and Actrel, Certrel, Escald, Exa-Print, Exxol, Han, Hanesol, Isopar, Nappal, Pegasol, Solvesso, Teflame, Somentor are trademarks of Exxon Mobil Corporation.

Sang Hing Hong

Sang Hing Hong

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายณันท์วัฒน์ นันยา เกิดวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ.2528 ที่จังหวัดราชบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2549 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย