สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การลดเวลาในการทดสอบกระบวนการย่อยของ SRST ในการผลิตฮาร์ดดิสก์ โดยใช้การควบคุมพิกัดด้านบน

SRST SUB-PROCESS TEST TIME REDUCTION IN HARD DISK MANUFACTURING USING UPPER LIMIT CONTROL

1110413

อดิศร แก้วภักดี

ADISORN KAEWPUKDEE

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....1110413
วัน,เดือน,ปี.....12 พ.ค. 2553

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูล
วิทยาลัยร่วมด้านเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลและการประยุกต์ใช้งาน
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2553

KMITL-2010-DS-M-001-001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SRST SUB-PROCESS TEST TIME REDUCTION IN HARD DISK MANUFACTURING USING UPPER LIMIT CONTROL

ADISORN KAEWPUKDEE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIRMENT FOR
DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING IN DATA STORAGE TECHNOLOGY
COLLEGE OF DATA STORAGE TECHNOLOGY AND APPLICATIOS
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2010

KMITL-2010-DS-M-001-001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPY RIGHT 2010

COLLEGE OF DATA STORAGE TECHNOLOGY AND APPLICATIONS

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยาลัยร่วมด้านเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลและการประยุกต์ใช้งาน
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดเวลาในการทดสอบกระบวนการย่อยของ SRST ในการผลิตฮาร์ดดิสก์โดยใช้การควบคุมพิกัดด้านบน
Thesis Title	SRST Sub-Process Test Time Reduction in Hard Disk Manufacturing using Upper Limit Control
นักศึกษา	นายอดิศร แก้วภักดี
รหัสประจำตัว	51068902
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการบันทึกข้อมูล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. สมศักดิ์ ชุมช่วย
หมายเลขวิทยานิพนธ์	KMITL-2010-DS-M-001-01

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สุรพันธ์	เอื้อไพบูลย์	
รศ.ดร.ฤดี	มาสุจันท์	
ผศ.ดร.พรฤดี	เนติโสภากุล	
ผศ.ดร.ดนัยพงศ์	โชษฐ์โชติศักดิ์	
รศ.ดร.สมศักดิ์	ชุมช่วย	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 26 พฤษภาคม 2553 **เวลา** 09.00 - 11.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคารอธิการบดี ชั้น 7 ห้อง 704

วิทยาลัยร่วมด้านเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลและการประยุกต์ใช้งาน รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. อภินันท์ ธนชยานนท์)
คณบดี

สำนักทะเบียนและประมวลผล สจล.
วันที่ส่งเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
วันที่ 16 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 53
ลงชื่อ.....

ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดเวลาในการทดสอบกระบวนการย่อยของ SRST ในการผลิตฮาร์ดดิสก์โดยใช้การควบคุมพิกัดด้านบน
นักศึกษา	นายอดิศร แก้วภักดี
รหัสประจำตัว	51068902
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการบันทึกข้อมูล
พ.ศ.	2553
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สมศักดิ์ ชุมช่วย

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอการปรับปรุงเวลาในการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์ปัจจุบันในสายการผลิตฮาร์ดดิสก์ กระบวนการที่ใช้เวลานานก็คือกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ (Manufacturing test) โดยจะมุ่งประเด็นไปที่การทดสอบในกระบวนการ Self run stress test (SRST) ทั้งนี้เพราะขั้นตอนดังกล่าวเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลานานประมาณ 76% ของขั้นตอนการทดสอบทั้งหมด (ในรุ่นความจุ 320 กิกะไบต์ ใช้เวลาทดสอบประมาณ 36.2 ชั่วโมง) ด้วยเงื่อนไขการทำงานที่อุณหภูมิสูง (Squeeze test) ผลการทดสอบเป็นเวลาของแต่ละขั้นตอนย่อย (Sub-process) ภายในกระบวนการทดสอบ SRST ถูกจัดเก็บอยู่ในระบบฐานข้อมูล (Database system) ดังนั้นจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาจากผลการทดสอบที่ได้โดยการวิเคราะห์ข้อมูลจากระบบฐานข้อมูล วิธีการที่จะกล่าวนี้ได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรม ซึ่งได้จำลองแบบการควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติ (Statistical process control: SPC) และวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process capability analysis: PCA) ของแต่ละขั้นตอนย่อยในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์โดยใช้โปรแกรมมินิแท็บในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ได้จำลองทำการควบคุมกระบวนการภายในของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ในแต่ละขั้นตอนย่อย (เลือกบางขั้นตอนที่สำคัญ)

แบ่งการทดลองเป็นสามแบบคือ ทดลองกับข้อมูลของฮาร์ดดิสก์รุ่นความจุ 320 กิกะไบต์ ทดลองกับข้อมูลของฮาร์ดดิสก์เมื่อเปลี่ยนโค้ดทดสอบ (รุ่นความจุ 320 กิกะไบต์) และสุดท้ายทดลองกับข้อมูลของฮาร์ดดิสก์รุ่นความจุ 500 กิกะไบต์ ผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละแบบของการทดลอง อาทิเช่น ในขั้นตอนย่อย D036, D038 และ D029 จะได้เปอร์เซ็นต์เวลาที่ลดลงเป็น 12.11%, 17.47% และ 32.37% ตามลำดับ ทำให้เวลาเฉลี่ยโดยรวมลดลงจากปัจจุบันที่กระบวนการทดสอบ SRST ทำได้ แน่นอนว่าถ้าสามารถลดเวลาของการทดสอบฮาร์ดดิสก์ลงได้ก็จะสามารถช่วยลดต้นทุนในกระบวนการผลิต และเพิ่มอัตราการผลิตได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	SRST Sub-Process Test Time Reduction in Hard Disk Manufacturing Using Upper Limit Control
Student	Mr.Adisorn Kaewpukdee
Student ID.	51068902
Degree	Master of Engineering
Program	Data Storage of Technology
Year	2010
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Somsak Choomchuay

Abstract

This thesis outlines the effort of hard disk test time reduction. The Self Run Stress Test (SRST) is focused since this sub-process test has consumed test time significantly. For a particular model (such as a 320 Gbytes one), the SRST test can take up to 36.2 hrs (or roughly 76% of the whole test time). In principle, the SRST scan all bits and under squeeze condition. Obtained tested results are collected by the database systems. Fairly obvious, any improvement in test time could have great impacts in raising up the productivity as well as cutting down many concerned costs. In this study, we have relied on the past tests results. Our method employs Statistical Process Control (SPC) and Process Capability Analysis (PCA) as major keys for test time improvement attempts. Algorithm verification was made upon the collected data of a specific product types (i.e. 320 and 500 Gbytes models). By applying the said method to major time-consuming sub-processes, the test time could be reduced at a considerable level. Minitab program was used as a mathematical analysis tool. The obtained results have convinced us the possibility and benefits of test time reduction by considering only few time-consuming sub-processes.

Data sources of 3 kinds were examined. Those are: that of 320 Gbyte modes for 2 test-code version and that of 500 Gbytes model. The sub-processes D036, D028 and D029 play notably test time consuming. Applying our method to 320 Gbytes model (test-code V1.0), the test timed could be reduced by 12.11%, 17.47% and 32.37% respectively. The rests also give similar results. Upon the obtained results, be believe that the test time reduction could be of benefit in both term of cost saving and productivity enhancement.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก วิทยาลัยร่วมด้านเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลและการประยุกต์ใช้งาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ เลขที่ HDD-01-51-011M. ภายใต้ชื่อโครงการ I/U CRC (Industry/University Cooperate Research Center in Data Storage Technology and applications)

ขอขอบคุณ บริษัทฮิตาชิโกลบอลสตอเรสเทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้ให้การสนับสนุนสถานที่ทำงานและข้อมูลในการทำวิจัย ตลอดจนผู้ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ในช่วงที่เข้าพเจ้าต้องเดินทางไปทำงานวิจัย ต้องขออภัยด้วยที่ไม่ได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ร่วมห้องเรียน สาขาวิชาเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูล รุ่นที่ 1 ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาแนะนำในเรื่องการเรียน และคอยเป็นกำลังใจที่ดีให้กันโดยเสมอมา

ขอขอบคุณ ดร.อิทธิภูมิ บุญพิคำ ที่ได้ให้คำปรึกษาในช่วงที่ข้าพเจ้าศึกษา การใช้ชีวิตของนักศึกษาในระดับปริญญาโท (ชีวิตใน Lab.) แนะนำแนวทางในการศึกษาต่อ คอยเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา ได้คอยให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สมศักดิ์ ชุมช่วย ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดาและญาติพี่น้องซึ่งเป็นที่รักและเคารพอย่างยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

อดิศร แก้วภักดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ I

Abstract II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญรูป IX

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.1.1 อุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ 2

1.1.2 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของความจุของฮาร์ดดิสก์ 2

1.1.3 การทดสอบฮาร์ดดิสก์ 3

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 4

1.3 เป้าหมายและผลงานหลักที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา 4

1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย 5

1.5 สมมติฐานและคำถามการวิจัย 5

1.6 ข้อจำกัดของการศึกษา 5

1.7 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา 6

1.8 ทบทวนวรรณกรรม 6

1.8.1 ประวัติการประยุกต์ใช้สถิติสำหรับงานวิศวกรรม [7] 7

1.9 ขั้นตอนการศึกษา 10

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 11

2.1 พื้นฐานทางด้านสถิติ (Basic statistics) 11

2.1.1 สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) 12

2.1.2 สถิติเชิงอนุมาน (Inferential statistics) 13

2.1.3 ประชากรและตัวอย่าง (Population & Sample) 14

2.1.4 ตัวประมาณการ และค่าประมาณการ (Estimator and Estimated value) 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ข้อมูลและประเภทของข้อมูล (Data and Data type)....16
2.2.1 ข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative or Attribute data)....16
2.2.2 ข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative or Variable data)....17
2.3 การอธิบายและการวิเคราะห์ข้อมูล (Data presentation and Analysis)....19
2.3.1 การวัดแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลางของข้อมูล (Measures of central tendency)....19
2.3.2 การวัดการกระจายของข้อมูล (Measure of Dispersion)....20
2.3.3 ทฤษฎีแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลาง (Central Limit Theorem)....24
2.3.4 การทดสอบความเป็นการกระจายแบบปกติ (Normality test)....26
2.3.5 การแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution)....32
2.4 การควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติ (SPC: Statistical Process Control)....35
2.4.1 แนวความคิดการควบคุมกระบวนการ....35
2.5 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process capability analysis) [2]....43
2.5.1 การกระจายของกระบวนการ (Process spread)....44
2.5.2 ดัชนีแสดงความสามารถ (Capability Index) [7]....46
2.5.3 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการกับข้อมูลที่การกระจายไม่เป็นแบบปกติ...49
2.6 การเลือกจำนวนตัวอย่าง (Sample size selection)....53

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย....54
3.1 การประกอบและการทดสอบฮาร์ดดิสก์....54
3.1.1 ขั้นตอนการประกอบฮาร์ดดิสก์ (Procedure hard disk drive assembly)....54
3.1.2 ขั้นตอนการทดสอบฮาร์ดดิสก์....55
3.2 การปรับปรุงเวลาในการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์....58
3.3 ดึงข้อมูล (Data retrieval)....59
3.4 การกรองข้อมูล (Record extraction)....60
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล (Analysis)....64
3.5.1 เลือกลำดับขั้นตอนย่อยที่สำคัญ....64
3.5.2 ผลทางสถิติของขั้นตอนย่อย....66
3.5.3 ทดสอบความเป็นการกระจายแบบปกติ (Normality test)....67
3.5.4 สร้างแผนภูมิควบคุม....70
3.5.5 ดัชนีความสามารถของกระบวนการ....71
3.6 รูปแบบการควบคุม (Control model)....72
3.6.1 การคำนวณพิกัดควบคุม (Calculation specification limit)....74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 การเลือกพิกัดการควบคุมที่เหมาะสมสำหรับขั้นตอนย่อย 75
3.7 ตรวจสอบผลการควบคุม (Verification) 79

บทที่ 4 การทดลองและผล 80
4.1 การทดลองเพื่อหาจุดเหมาะสมของพิกัดควบคุมกระบวนการ (Specification limit optimization) 81
4.2 การปรับปรุงเวลาในการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์กับโปรแกรมโค้ดทดสอบใหม่ 85
4.3 การปรับปรุงเวลาในการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์กับรุ่นความจุ 500 กิกะไบต์ 90
4.4 การทดลองเป็นลำดับอย่างต่อเนื่องของกระบวนการ (Sequential testing of sup-process) ..94
4.5 พิจารณาการเพิ่มจำนวนตัวอย่าง 98
4.6 การประยุกต์ใช้งานกับกระบวนการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์ 101

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 104
5.1 สรุปผลการทดลองกับฮาร์ดดิสก์รุ่นความจุ 320 กิกะไบต์ 104
5.2 สรุปผลการทดลองเมื่อเปลี่ยนโปรแกรมโค้ดทดสอบใหม่ 106
5.3 สรุปผลการทดลองกับฮาร์ดดิสก์รุ่นความจุ 500 กิกะไบต์ 108
5.4 สรุปผลการทดลองการเพิ่มจำนวนตัวอย่าง 109
5.5 วิจารณ์และข้อเสนอแนะ 110
5.6 ข้อเสนอแนะแนวทางวิจัยในอนาคต 112
5.6.1 กำหนดระยะเวลาของเครื่องทดสอบ (Time cut off) 112
5.6.2 เกณฑ์จำนวนจุดเสีย (Defect count criteria) 113

ภาคผนวก 117
ประวัติผู้เขียน 122
ผลงานที่ได้รับการเผยแพร่ 122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลแสดงค่าทางสถิติ 12
ตารางที่ 2.2 สัญลักษณ์ที่ใช้เรียกแทนประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 15
ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างค่าการกระจายของข้อมูล 21
ตารางที่ 2.4 ค่าความแปรปรวนของข้อมูลกลุ่ม Y และ Z 22
ตารางที่ 2.5 ข้อมูลแสดงส่วนกลับของค่าตัวอย่างคอนไตลส์ (Normal Z-quantiles) 27
ตารางที่ 2.5 ข้อมูลแสดงส่วนกลับของค่าตัวอย่างคอนไตลส์ (Normal Z-quantiles) (ต่อ) 27
ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างของข้อมูล 29
ตารางที่ 2.7 ลำดับข้อมูลและค่าความน่าจะเป็นของข้อมูล 29
ตารางที่.2.8 ขนาดกลุ่มตัวอย่างของ Taro Yamane [26] 53
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลที่ได้จากการกรอง 62
ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างข้อมูลดิบของขั้นตอนย่อยที่คัดเลือกแล้ว (Sorted) 63
ตารางที่ 3.3 ค่าเวลาเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของสองกลุ่มตัวอย่าง 65
ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้ถูกแปลงด้วย Box-cox transformation (Lambda=0) 69
ตารางที่ 3.5 เส้นพิกัดควบคุมของแต่ละขั้นตอนย่อยในแต่ละระดับคุณภาพ 75
ตารางที่ 3.6 เปรียบเทียบผลในการปรับแต่งค่าพิกัดที่เหมาะสมของขั้นตอนย่อย D036 75
ตารางที่ 3.7 ค่าพิกัดควบคุมด้านบนที่ได้เลือกเพื่อนำไปควบคุมในแต่ละขั้นตอนย่อย 79
ตารางที่ 4.1 ทดลองใช้กับขั้นตอนย่อย D036 เพื่อหาจุดเหมาะสมของพิกัดควบคุม 81
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองกำหนดระดับคุณภาพกับแต่ละขั้นตอนย่อย 82
ตารางที่ 4.3 แสดงลำดับความสำคัญของขั้นตอนย่อยที่เปลี่ยนไปจากเดิม 86
ตารางที่ 4.4 เส้นพิกัดควบคุมของแต่ละขั้นตอนย่อยในแต่ละระดับคุณภาพ 87
ตารางที่ 4.6 เส้นพิกัดควบคุมของแต่ละขั้นตอนย่อยในแต่ละระดับคุณภาพ 91
ตารางที่ 4.7 ผลลัพธ์การกำหนดพิกัดควบคุมของแต่ละขั้นตอนย่อย 92
ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองกำหนดพิกัดควบคุมในแต่ละขั้นตอนย่อยอย่างต่อเนื่อง 95
ตารางที่ 4.9 คำนวณค่ากำลังงานที่เครื่องทดสอบใช้งาน 97
ตารางที่ 5.1 สรุปผลที่ได้เป็นเวลาเฉลี่ยและผลิตภัณฑ์ที่ได้รับของแต่ละขั้นตอนย่อย 105
ตารางที่ 5.2 สรุปผลที่ได้เป็นเวลาเฉลี่ยและผลิตภัณฑ์ที่ได้รับของแต่ละขั้นตอนย่อย 107
ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบผลเมื่อเปลี่ยนโค้ดทดสอบ (ฮาร์ดดิสก์รุ่นความจุ 320 กิกะไบต์) 107
ตารางที่ 5.4 สรุปผลที่ได้เป็นเวลาเฉลี่ยและผลิตภัณฑ์ที่ได้รับของแต่ละขั้นตอนย่อย 108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบผลการทดลองของขั้นตอนย่อยที่สำคัญ 110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์....1
รูปที่ 1.2 การพัฒนาเทคโนโลยีของแผ่นบันทึก และหัวอ่าน-เขียน [1]....3
รูปที่ 1.3 จำลองกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ในอุตสาหกรรม....3
รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ....11
รูปที่ 2.2 กราฟแท่งใช้อธิบายข้อมูลให้มองเห็นภาพชัดเจน....12
รูปที่ 2.3 เปรียบเทียบการกระจายข้อมูลระหว่างประชากรและกลุ่มตัวอย่าง....15
รูปที่ 2.4 ประเภทของข้อมูลและความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์....18
รูปที่ 2.5 พล็อตการกระจายของข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบเอ็กโพเนนเชียล....25
รูปที่ 2.6 พล็อตการกระจายของข้อมูลหลังจากสุ่มตัวอย่างมาแล้ว....25
รูปที่ 2.7 พล็อตการกระจายของข้อมูลหลังจากเพิ่มการสุ่มตัวอย่างขึ้นอีก....26
รูปที่ 2.8 พล็อตการกระจายตัวของข้อมูล....28
รูปที่ 2.9 พล็อตการกระจายตัวของข้อมูลที่ไม่เป็นการกระจายแบบปกติ....28
รูปที่ 2.10 พล็อตค่าความน่าจะเป็นของข้อมูลเปรียบเทียบกับลำดับข้อมูล....29
รูปที่ 2.11 พล็อตค่าความน่าจะเป็นแสดงข้อมูลที่ไม่เป็นการกระจายแบบปกติ....30
รูปที่ 2.12 ใช้โปรแกรมมินิแท็บทดสอบ Normality test (P-value = 0.324)....30
รูปที่ 2.13 ใช้โปรแกรมมินิแท็บทดสอบ Normality test (P-value<0.005)....31
รูปที่ 2.14 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มแบบปกติ....32
รูปที่ 2.15 การแปลงตัวแปรสุ่มให้เป็นแบบปกติมาตฐาน (Z)....33
รูปที่ 2.16 การแปลงตัวแปรสุ่มให้เป็นแบบปกติมาตรฐาน (Z)....34
รูปที่ 2.17 การแปลงตัวแปรสุ่มให้เป็นแบบปกติมาตรฐาน (Z)....35
รูปที่ 2.18 ความหมายของกระบวนการ....37
รูปที่ 2.19 โครงสร้างของแผนภูมิควบคุม....37
รูปที่ 2.20 มาตรฐานการควบคุมกระบวนการ แต่ละระดับคุณภาพ....39
รูปที่ 2.21 พล็อตฮีสโตแกรมของข้อมูลตัวอย่าง....41
รูปที่ 2.22 ทดสอบการแจกแจงของข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ (P-value = 0.277)....41
รูปที่ 2.23 จำลองสร้างแผนภูมิควบคุมจากข้อมูลตัวอย่าง....42
รูปที่ 2.24 การอนุมานความสามารถของกระบวนการจากข้อมูลสุ่ม [2]....44
รูปที่ 2.25 แสดงแนวความคิดของการวัดการกระจายด้วยดัชนี C_p....46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.26 แสดงเปรียบเทียบ C_p และ C_{pk} (*USL* หมายถึง พิกัดของข้อกำหนดเฉพาะด้านบน: Upper Specification Limit และ *LSL* หมายถึง พิกัดของข้อกำหนดเฉพาะด้านล่าง: Lower Specification Limit) และในที่นี้กำหนดให้ $6\hat{\sigma} = 5$ 47
รูปที่ 2.27 วิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการด้วยโปรแกรมมินิแท็บ.....48
รูปที่ 2.28 วิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการแสดงแบบระยะสั้นกับแบบระยะยาว.....49
รูปที่ 2.29 พล็อตฮีสโตแกรมก่อนการแปลงข้อมูล.....50
รูปที่ 2.30 ปรับแต่งค่าแลมบ์ด้าให้อยู่ในช่วงที่ดีที่สุด.....51
รูปที่ 2.31 พล็อตฮีสโตแกรมหลังจากแปลงข้อมูลแล้ว (Lambda = 0).....51
รูปที่ 2.32 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการกับข้อมูลที่มีการกระจายไม่เป็นแบบปกติ.....52
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการผลิตฮาร์ดดิสก์ในอุตสาหกรรม [1].....55
รูปที่ 3.2 จำลองกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ในอุตสาหกรรม.....55
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ Function test [1].....56
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ SRST test [1].....56
รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ Final test [1].....57
รูปที่ 3.6 บันทึกไฟล์ผลการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์.....58
รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ.....59
รูปที่ 3.8 ข้อมูลที่สามารถเปิดอ่านได้จากไฟล์เท็ค (Text file).....61
รูปที่ 3.9 ลำดับความสำคัญของค่าเวลาเฉลี่ยในแต่ละขั้นตอนย่อย (Sup-process).....64
รูปที่ 3.10 พล็อตเปรียบเทียบกันระหว่างสองกลุ่มตัวอย่างของขั้นตอนย่อย D036.....65
รูปที่ 3.11 ผลลัพธ์ทางสถิติของกลุ่มงานดีของขั้นตอน D036.....66
รูปที่ 3.12 ผลลัพธ์ทางสถิติของกลุ่มงานเสียของขั้นตอน D036.....67
รูปที่ 3.13 ทดสอบความเป็นการกระจายแบบปกติของข้อมูลในขั้นตอน D036 (P-value = 0.896).68
รูปที่ 3.14 กลุ่มตัวอย่างข้อมูลมีการกระจายไม่เป็นแบบปกติ (Non-normal distribution).....68
รูปที่ 3.15 กลุ่มตัวอย่างข้อมูล V073 หลังจากการแปลงข้อมูลแล้วมีการกระจายปั้นแบบปกติ (Normal distribution) P-value = 0.675.....69
รูปที่ 3.16 จำลองสร้างแผนภูมิควบคุมของขั้นตอนย่อย D036.....70
รูปที่ 3.17 วิเคราะห์ความสามารถของขั้นตอนย่อย D036.....71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.18 มาตรฐานการควบคุมด้วยวิธีการทางสถิติ ก.) เป็นการควบคุมกระบวนการที่ระดับ ±1σ ข.) เป็นการควบคุมกระบวนการที่ระดับ ±2σ ค.) เป็นการควบคุมกระบวนการที่ระดับ ±3σ 72
รูปที่ 3.19 รูปแบบในการกำหนดพิกัดควบคุม (ควบคุมด้านบน) 73
รูปที่ 3.20 เปรียบเทียบสัดส่วน FR และ FA ในแต่ละระดับคุณภาพ 76
รูปที่ 3.21 เปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยที่ลดลงในแต่ละระดับคุณภาพ.....76
รูปที่ 3.22 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของเวลาเฉลี่ยที่ได้รับในแต่ละระดับคุณภาพ.....77
รูปที่ 3.23 เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ได้รับในแต่ละระดับคุณภาพ.....78
รูปที่ 3.24 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างผลิตภัณฑ์ที่ได้รับและเวลาเฉลี่ยที่ลดลง เพื่อเลือกพิกัดควบคุมของขั้นตอนย่อย D036 78
รูปที่ 4.1 รูปแบบการทดลองกับข้อมูลตัวอย่าง.....80
รูปที่ 4.2 สัดส่วนของ FA และ FR ของแต่ละขั้นตอนย่อย.....83
รูปที่ 4.3 ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับของแต่ละขั้นตอนย่อย.....83
รูปที่ 4.4 เวลาเฉลี่ยที่ลดลงของแต่ละขั้นตอนย่อย.....84
รูปที่ 4.5 พล็อตพาเรโตลำดับความสำคัญของขั้นตอนย่อย.....86
รูปที่ 4.6 สัดส่วน FA และ FR ของแต่ละขั้นตอนย่อย 88
รูปที่ 4.7 ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับของแต่ละขั้นตอนย่อย.....89
รูปที่ 4.8 เวลาเฉลี่ยที่ลดลงของแต่ละขั้นตอนย่อย.....90
รูปที่ 4.9 พล็อตพาเรโตลำดับความสำคัญของขั้นตอนย่อย.....91
รูปที่ 4.10 สัดส่วน FA และ FR ของแต่ละขั้นตอนย่อย 93
รูปที่ 4.11 ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับของแต่ละขั้นตอนย่อย.....93
รูปที่ 4.12 เวลาเฉลี่ยที่ลดลงของแต่ละขั้นตอนย่อย.....94
รูปที่ 4.13 สัดส่วนของ GA และ GR ของแต่ละขั้นตอนย่อย 96
รูปที่ 4.14 สัดส่วนของ FA และ FR ของแต่ละขั้นตอนย่อย.....96
รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบค่ากลางและค่าเบี่ยนเบนมาตฐานของข้อมูลของขั้นตอนย่อย D036 ในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง.....98
รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบค่าสัดส่วนงานดีที่ถูกตัดออกของแต่ละกลุ่มตัวอย่าง.....99
รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ได้รับของแต่ละกลุ่มตัวอย่าง.....100
รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยที่ลดลงของแต่ละกลุ่มตัวอย่าง.....101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.19 จำลองขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในหนึ่งขั้นตอนย่อย 102
รูปที่ 5.1 พล็อตเปรียบเทียบการกระจายตัวของข้อมูล 111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ของประเทศไทยได้มีมูลค่าการส่งออกฮาร์ดดิสก์เป็นอันดับหนึ่งของโลก เพื่อทำให้เกิดผลกระทบที่ดีจึงต้องการพัฒนาและส่งเสริมอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ ในบทนำนี้จะกล่าวถึงสาเหตุที่ต้องทำงานวิจัยนี้ ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ได้เริ่มจากความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาในอุตสาหกรรการผลิตฮาร์ดดิสก์ มีเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ในการศึกษาที่ชัดเจน กล่าวถึงสมมติฐานหรือความเป็นไปได้ในการวิจัย มีกรอบแนวทางที่ต้องการให้ทำการวิจัย รวมทั้งคำจำกัดความที่ใช้ กล่าวถึงวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ด้วย และสุดท้ายได้กล่าวถึงลำดับขั้นตอนในการวิจัย

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แหล่งผลิตฮาร์ดดิสก์ในประเทศไทยกล่าวได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ที่ใหญ่ที่สุด มีโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์หลายโรงงาน ยังไม่รวมโรงงานอุตสากรรมที่ผลิตชิ้นส่วนประกอบที่ใช้ในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์อีกหลายแห่งด้วยกัน เพื่อให้อุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์มีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง ตลอดจนทำให้เกิดการจ้างงานมากมายหลายตำแหน่งงาน ส่งผลกระทบให้เศรษฐกิจโดยรวมของประเทศมีผลดี ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการพัฒนาส่งเสริมอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ ในทางด้านงานวิจัย วิชาการเทคโนโลยี และการพัฒนาทรัพยากรบุคคลในแขนงของฮาร์ดดิสก์ ดังนั้นจึงให้ความสนใจทำการศึกษาในส่วนงานที่มีความสำคัญที่จะทำให้การผลกระทบในทางที่ดีกับอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์นี้

รูปที่ 1.1 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

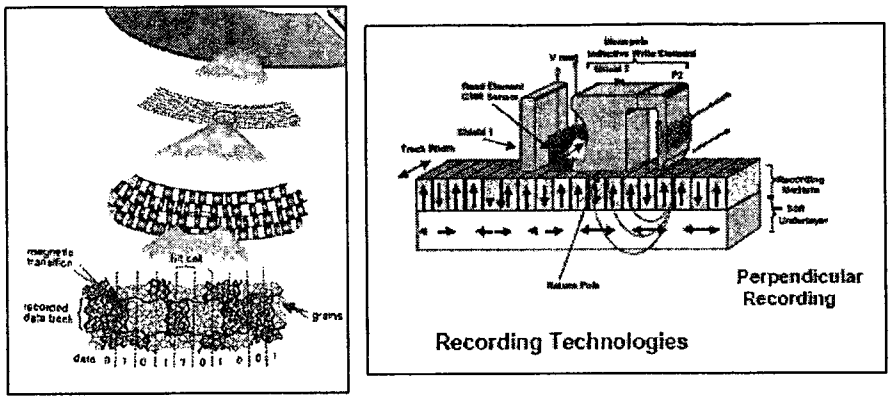
1.1.1 อุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กล่าวได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่รวมศาสตร์สาขาวิชาทางด้านวิศวกรรมไว้มากมายหลายแขนงวิชา อาทิเช่น ไฟฟ้าสื่อสาร, อิเล็กทรอนิกส์, การควบคุม, คอมพิวเตอร์ และวัสดุศาสตร์ เป็นต้น อีกทั้งในขั้นตอนการทำงานของฮาร์ดดิสก์ที่ต้องการความละเอียดสูง อาทิเช่น กระบวนการอ่าน-เขียน, กระบวนการเคลื่อนที่ของหัวบันทึก เป็นต้น จะต้องมีความละเอียดในระดับนาโนเมตร ซึ่งจะเป็นสาเหตุที่ทำให้กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ต้องใช้เทคโนโลยีการผลิตที่สูง เหตุผลก็คือทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถทำงานเป็นไปตามที่กำหนด มีความน่าเชื่อถือกับลูกค้า ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด และกว่าที่จะผลิตเป็นฮาร์ดดิสก์ที่พร้อมใช้งานก็ต้องใช้เวลานานพอสมควร อาจจะเป็นวัน สองวัน หรือสามวันต่อฮาร์ดดิสก์หนึ่งตัว หรือมากกว่านี้ถ้าหากฮาร์ดดิสก์มีความจุที่สูง โดยขั้นตอนการผลิตฮาร์ดดิสก์มีหลายขั้นตอนด้วยกัน ในอุตสาหกรรมการผลิตก็จะทำการประกอบซึ่งแบ่งเป็นสองส่วนหลักๆ คือ ส่วนประกอบที่เป็นกลไกล (Mechanical parts) และส่วนประกอบที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic parts) จะกล่าวรายละเอียดต่อไปในบทที่ 3 เป็นขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย การประกอบส่วนประกอบหลักทั้งสองส่วนจะดำเนินการภายในห้องสะอาด (Clean room) เพื่อป้องกันสิ่งสกปรกที่จะทำให้เกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์ เวลาที่ใช้ในส่วนของการประกอบคือประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเวลาที่เหลือจะเป็นการทดสอบฮาร์ดดิสก์ซึ่งจะใช้เวลาค่อนข้างนานคือประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ ของเวลาทั้งหมดในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ จึงเป็นสาเหตุที่ต้องทำการศึกษาวิจัยเพื่อให้เกิดแนวทางในการปรับปรุงของกระบวนการทดสอบนี้

1.1.2 แนวโน้วการเพิ่มขึ้นของความจุของฮาร์ดดิสก์

ก่อนหน้านี้กล่าวได้ว่าการเติบโตของฮาร์ดดิสก์ในด้านความจุต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Areal density) นั้นมีการเติบโตเป็นสองเท่าตัวเลยทีเดียว คือในช่วงปี ค.ศ. 1990 - ค.ศ. 2006 [1] ด้วยการพัฒนาเทคโนโลยีหัวบันทึก (หัวอ่าน-เขียน) (Head technology) และเทคโนโลยีแผ่นบันทึก (Media technology) เทคโนโลยีทั้งสองแบบนี้จะเป็นส่วนผลักดันได้ฮาร์ดดิสก์มีความจุที่สูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งในส่วนของอุตสาหกรรมการผลิตจะยังคงมีการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อที่จะรองรับเทคโนโลยีที่สูงขึ้น และเพื่อช่วยลดต้นทุนในกระบวนการผลิต ด้วยสาเหตุที่ว่าราคาของฮาร์ดดิสก์จะสวนทางกับความจุที่เพิ่มขึ้น การลดต้นทุนในกระบวนการผลิตจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น และทำให้เกิดผลกำไรได้ แน่นอนว่าที่ความจุของฮาร์ดดิสก์ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้กระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์นั้นใช้เวลาในการทดสอบนานเพิ่มขึ้นตามเช่นกัน โดยเฉพาะในส่วนของการทดสอบฮาร์ดดิสก์ที่จะได้กล่าวมาต่อไป จะเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลานานเพราะฉะนั้นถ้าฮาร์ดดิสก์มีความจุที่สูง ทำให้ในขั้นตอนการทดสอบนี้ยิ่งต้องใช้เวลานานเพิ่มขึ้น ก็แสดงว่าต้นทุนที่ต้องใช้ในการผลิตก็เพิ่มขึ้นตามด้วยเช่นเดียวกัน

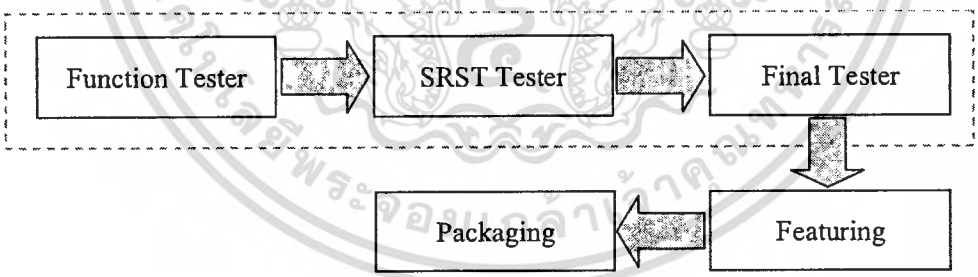
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 การพัฒนาเทคโนโลยีของแผ่นบันทึก และหัวอ่าน-เขียน [1]

1.1.3 การทดสอบฮาร์ดดิสก์

ภายในอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ หลังจากที่ฮาร์ดดิสก์ได้ประกอบเสร็จสิ้นภายในห้องสะอาด แล้วกระบวนการถัดไปก็คือกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ วัตถุประสงค์หลักก็เพื่อเป็นการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ว่าสามารถทำงานได้ตามที่กำหนดไว้หรือมีคุณลักษณะตามที่ต้องการ และทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความน่าเชื่อถือ ตลอดจนความต้องการและความพึงพอใจของลูกค้าที่จะมีต่อสินค้า ซึ่งในการทดสอบฮาร์ดดิสก์นั้นในบางอุตสาหกรรมจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้ [1]



รูปที่ 1.3 จำลองกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ในอุตสาหกรรม

(1) Function test เป็นการลงไมโครโค้ด และปรับแต่งพารามิเตอร์ เพื่อการเขียน-อ่าน และค้นหาที่ดีที่สุด ประกอบด้วย 10 ขั้นตอนย่อย และใช้เวลาในการทดสอบขั้นตอนนี้ประมาณ 10%

(2) Self Run Stress Test (SRST) เป็นการตรวจสอบพื้นผิวแผ่นสื่อ และทำการบันทึกตำแหน่งที่บกพร่อง รวมถึงการทดสอบฟังก์ชันภายใต้เงื่อนไขกดดัน (Squeeze test) ประกอบด้วย 12 ขั้นตอนย่อย และใช้เวลาในการทดสอบขั้นตอนนี้ประมาณ 76%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) Final Test เป็นการทดสอบฟังก์ชัน ตามเงื่อนไขการใช้งานของลูกค้า ประกอบด้วย 15 ขั้นตอนย่อย และใช้เวลาในการทดสอบขั้นตอนนี้ประมาณ 14%

ซึ่งความเป็นจริงแล้วอาจแบ่งย่อยได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ทำหน้าที่กำหนดสมรรถนะสูงสุด (Optimization) และส่วนที่ทำหน้าที่ตรวจสอบความผิดพลาด (Error detection) การลดเวลาของการทดสอบลงมานั้น เป็นสิ่งที่ท้าทายเพราะหมายถึงการลดต้นทุนในการผลิตอย่างมาก จากที่ได้กล่าวมาในกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์จะพบว่าขั้นตอนทั้งหมดประกอบด้วย 37 ขั้นตอนย่อย แต่กระบวนการ Self run stress test (SRST) จะเป็นขั้นตอนที่เสียเวลามากที่สุด จะได้กล่าวลงรายละเอียดในบทที่ 3 สำหรับการดำเนินการศึกษาในขั้นตอน SRST โดยเวลาที่ใช้ในการทดสอบ SRST ทั้งหมดคือ 36.2 ชั่วโมง สำหรับฮาร์ดดิสก์เฉพาะรุ่นที่มีความจุ 320 กิกะไบต์ ในช่วงของเวลาที่ทำการวิจัย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะมุ่งประเด็นการศึกษาไปที่กระบวนการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ดังที่กล่าวมาข้างต้นของกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ จะพบว่าขั้นตอนการทดสอบ SRST จะใช้เวลาทดสอบนานที่สุดจากสามขั้นตอนหลักที่กล่าวมา ประเด็นความสนใจของการศึกษาจึงมุ่งประเด็นไปที่ขั้นตอนการทดสอบ SRST ได้ตั้งเป้าหมายดังนี้

ต้องการลดเวลาในการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์อย่างมีนัยสำคัญ เช่น 5 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ หรือดีกว่าปัจจุบันที่กระบวนการทำได้ และโดยรุ่นเป้าหมายคือฮาร์ดดิสก์รุ่นที่มีความจุประมาณ 320 หรืออาจจะทดลองกับรุ่นความจุ 500 กิกะไบต์

1.3 เป้าหมายและผลงานหลักที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา

ให้คำแนะนำหรือผลการศึกษาที่จะชี้ว่าการลดเวลาในการทดสอบฮาร์ดดิสก์นั้นจะทำได้อย่างไรบ้าง โดยที่ความน่าเชื่อถือของตัวผลิตภัณฑ์ยังคงเท่าเดิมหรือดีกว่า แน่นอนว่าถ้าสามารถลดเวลาของการทดสอบลงได้ก็จะส่งผลให้อุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์นั้นสามารถเพิ่มอัตราการผลิต และยังสามารถที่จะลดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ อีกทั้งยังคาดว่าจะนำไปประยุกต์ใช้งานกับฮาร์ดดิสก์รุ่นอื่นๆ ก็พอจะมีแนวทางที่สามารถทำได้ เพราะฮาร์ดดิสก์รุ่นที่มีความจุมากๆ ย่อมใช้เวลาในกระบวนการทดสอบมากตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย

ปัจจุบันในอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ ได้มีความพยายามหาวิธีการใหม่ๆ เพื่อที่จะลดระยะเวลาในกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์เป็นอย่างมาก เช่นเดียวกันกับงานวิจัยนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการที่จะลดเวลาของการทดสอบฮาร์ดดิสก์ ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาคือผลจากการทดสอบของเครื่องทดสอบ (Tester machine) ฮาร์ดดิสก์ที่ได้ถูกบันทึกไว้ในระบบฐานข้อมูล (Database systems) นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติเพื่อค้นหาขั้นตอนย่อยที่ใช้เวลาทดสอบนาน เปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่มข้อมูลที่เป็นกลุ่มงานดี และกลุ่มงานเสียควบคุมกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ด้วยวิธีการทางสถิติ และวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ ที่เครื่องทดสอบสามารถทำได้จริง

1.5 สมมติฐานและคำถามการวิจัย

- จะทำการควบคุมฮาร์ดดิสก์ที่ใช้เวลาทดสอบนานๆ ได้อย่างไร ซึ่งก็ต้องทราบก่อนว่าการทดสอบแต่ละแบบมีขั้นตอนย่อยอะไรบ้าง แล้วจะต้องทราบว่าขั้นตอนย่อยในแต่ละขั้นตอนนั้นใช้เวลาเป็นเท่าไหร

- จะมีความแน่ใจได้อย่างไรว่าฮาร์ดดิสก์ที่ใช้เวลาทดสอบนานๆ นั้นจะเป็นฮาร์ดดิสก์ที่ไม่ผ่านกระบวนการทดสอบ สมมติว่านำฮาร์ดดิสก์จำนวน 100 ตัว ไปทำการทดสอบพร้อมกัน ภายในเครื่องทดสอบเครื่องเดียวกัน ถ้ามีฮาร์ดดิสก์ 1 ตัวที่ใช้เวลานานผิดปกติทั้งๆ ที่ฮาร์ดดิสก์อีก 99 ตัวที่ทดสอบพร้อมกันได้ทดสอบเสร็จแล้ว แต่ยังเหลือฮาร์ดดิสก์ตัวสุดท้ายนี้ที่ยังทำการทดสอบไม่เสร็จ เป็นผลทำให้เครื่องทดสอบใช้เวลานาน เพียงเพื่อรอฮาร์ดดิสก์ตัวเดียวแต่ผลสุดท้ายฮาร์ดดิสก์ตัวนี้ก็ไม่สามารถผ่านขั้นตอนการทดสอบได้ ซึ่งเวลาที่ต้องรอตรงนี้เป็นการรอที่สูญเปล่า ตั้งสมมติฐานที่ว่าถ้าสามารถควบคุมเวลาในแต่ละขั้นตอนย่อยได้แล้วก็จะทำให้เวลาเฉลี่ยโดยรวมของเครื่องทดสอบลดลงด้วย

- จะทราบสมรรถนะสูงสุดของกระบวนการ หรือเครื่องจักรได้อย่างไร สมมติฐานที่ว่าหากสามารถควบคุมเวลาที่ใช้ในการทดสอบของแต่ละขั้นตอนย่อยได้ จะสามารถทราบได้ว่าความสามารถของเครื่องทดสอบจะใช้เวลาที่แท้จริงเป็นเท่าไหรได้ด้วยเช่นกัน

1.6 ข้อจำกัดของการศึกษา

ต้องยอมรับว่าวิธีการที่จะสามารถลดเวลาการทดสอบฮาร์ดดิสก์ได้โดยตรงจะเป็นวิธีการ (Algorithms) ที่อยู่ในโปรแกรมการทดสอบ เป็นตัวดำเนินการหลักในการทดสอบ และนำวิธีการดังกล่าวมาใช้เขียนในโค้ดทดสอบ แต่โดยความต้องการให้ทำการศึกษาแล้วเป็นการศึกษาจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่อยู่ในระบบฐานข้อมูล (Database system) เป็นผลที่ได้จากกระบวนการทดสอบ ข้อมูลรายงานเวลาที่ใช้ในการทดสอบของแต่ละขั้นตอนย่อยของการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์

1.7 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา

การทดสอบฮาร์ดดิสก์ (Hard disk testing) หมายถึง เป็นขั้นตอนหนึ่งซึ่งอยู่ในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ในอุตสาหกรรม ทำการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่ได้ว่าสามารถทำงานได้ตามที่กำหนดไว้ หรือการทดสอบตามที่ลูกค้าต้องการ เพื่อทำให้เกิดคุณภาพและความน่าเชื่อถือในตัวผลิตภัณฑ์

การควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติ (Statistical process control) หมายถึง วิธีการที่ช่วยในการปรับปรุงกระบวนการ หรือตัวแปรที่ต้องการศึกษา โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลทางสถิติแล้วนำค่าที่ได้ทำการอนุมาน คอยตรวจสอบดูแลสิ่งผิดปกติที่จะเกิดขึ้นกับกระบวนการ ทำให้ทราบเหตุของปัญหาและสามารถแก้ไขได้ทันที

การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ PCA (Process capability analysis) หมายถึง การประเมินความสามารถของกระบวนการใดๆ โดยมีพื้นฐานมาจากการเก็บรวบรวมข้อมูลของกระบวนการ หรือตัวแปรที่เราต้องการศึกษา แล้วประเมินค่าของกระบวนการด้วยค่าความเชื่อมั่นที่กำหนดขึ้น ทำให้ทราบความสามารถของกระบวนการได้ แล้วนำผลการประเมินไปทำการปรับปรุงกระบวนการให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

1.8 ทบทวนวรรณกรรม

แน่นอนจากขอบเขตและข้อจำกัดของการวิจัยที่ได้รับที่เป็นโจทย์ในการศึกษา และเป็นทั้งแนวทางที่จะทำงานวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งได้มีความเกี่ยวข้องกับข้อมูลทางสถิติที่เป็นผลที่ได้รับภายหลังจากการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์แล้วนั้น โดยเมื่อกล่าวถึงข้อมูลทางสถิติในงานวิศวกรรมก็มีความสำคัญอย่างมากที่จะทำให้เกิดการปรับปรุงแก้ไขปัญหา และให้บรรลุเป้าหมาย ดังนั้นจะต้องกล่าวถึงความเป็นมาของความสำคัญของสถิติสำหรับงานวิศวกรรมดังต่อไปนี้

สถิติสำหรับงานวิศวกรรม (Engineering statistics) จะมีความสำคัญอยู่ 2 ตัวด้วยกันคือ "สถิติ (Statistics)" และ "งานด้านวิศวกรรม (Engineering)" ดังนั้นควรทำความเข้าใจเป็นอย่างๆ ไป

คำว่า "สถิติ (Statistics)" ขอสรุปความหมายว่าหมายถึง "ศาสตร์ (Science) สำหรับการตัดสินใจปัญหาภายใต้ความไม่แน่นอน (Uncertainty)" ดังนั้น การตัดสินใจด้วยสถิติ จึงจำเป็นต้องมีวิธีการ (Procedure) ที่เด่นชัดตามขั้นตอน ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป [2]

สำหรับคำว่า "วิศวกรรม (Engineering)" นั้น นพดล อินนา (2535) ได้สรุปโดยอิงนิยามของ ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology) ไว้ว่า "วิศวกรรมคือ การนำเอา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความรู้ทางคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ที่ได้รับจากการเรียน ประสบการณ์ และการฝึกปฏิบัติมาประยุกต์โดยการนำเอาวัสดุ และพลังงานจากธรรมชาติมาใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อมวลมนุษยชาติโดยประหยัด มีประสิทธิภาพ และไม่เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม" นอกจากนี้ Sanno (1983) ยังได้จำแนกศาสตร์ทางวิศวกรรมออกเป็นอีก 2 แขนง ประกอบด้วย "วิศวกรรมเทคโนโลยี (Technological engineering)" ซึ่งหมายถึง วิศวกรรมศาสตร์ที่ใช้เฉพาะกับผลิตภัณฑ์และการสร้างผลิตภัณฑ์ และ "วิศวกรรมการบริหาร (Managerial engineering)" ซึ่งหมายถึง วิศวกรรมศาสตร์ที่ใช้บริหารวิศวกรรมเทคโนโลยีสาขาต่างๆ ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ดังนั้น เมื่อรวมความหมายของคำว่า "สถิติสำหรับงานวิศวกรรม (Engineering statistics)" ก็จะมีความหมายโดยรวมถึง วิธีการสำหรับการตัดสินใจปัญหาภายใต้ความไม่แน่นอนเกี่ยวกับการประยุกต์วิทยาศาสตร์เพื่อการนำเอาวัสดุ และพลังงานธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประสิทธิภาพสูงที่สุด

ในปัจจุบัน ตลอดจนแนวโน้วในอนาคตคาดว่าจะมีการนำสถิติมาประยุกต์ใช้ในการตัดสินใจเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อวิศวกรรมเทคโนโลยีมีความก้าวหน้าขึ้นมา ความสลับซับซ้อนของปัญหาเพื่อการตัดสินใจก็จะทวีขึ้นเป็นเงาตามตัว ความจำเป็นต่อการประยุกต์สถิติจึงยิ่งมีมากขึ้นเรื่อยๆ

การประยุกต์สถิติในงานวิศวกรรม จะเป็นไปครบวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ กล่าวคือ นับตั้งแต่การออกแบบผลิตภัณฑ์ (Product design) การออกแบบกระบวนการ (Process design) การวางแผนการผลิต (Production planning) การควบคุมกระบวนการ (Process control) การวางแผนคุณภาพ (Quality planning) การตรวจสอบ (Inspection) ตลอดจนการวิจัยการตลาดและการพยากรณ์ (Forecasting) เป็นต้น นอกจากนี้ ในระบบการบริหาคุณภาพต่างๆ ไม่ว่า จะเป็นระบบการบริหารคุณภาพโดยรวม (Total quality management: TQM) หรือมาตรฐานการบริหารต่างๆ ล้วนแล้วแต่กำหนดความต้องการในการประยุกต์ใช้สถิติเพื่อการตัดสินใจในการบริหารงานนั้น

เทคนิคในการประยุกต์สถิติในงานวิศวกรรมนั้น อาจปรากฏในชื่อที่แตกต่างกันออกไป อาทิเช่น การออกแบบการทดลอง (Design of experiment: DOE) การควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติ (Statistical process control: SPC) การควบคุมคุณภาพเพื่อการยอมรับ (Acceptance quality control: AQC) การออกแบบที่มั่นคงของทากุชิ (Taguchi's robust design) เทคนิค 7 ประการของคิวซี (7 QC Tools) เป็นต้น โดยทุกเทคนิคพยายามสื่อถึงการประยุกต์สถิติในงานนั้น ๆ เท่านั้น แต่แท้จริงล้วนแล้วแต่มีรากฐานมาจากเทคนิคพื้นฐานเดียวกันทั้งสิ้น

1.8.1 ประวัติการประยุกต์ใช้สถิติสำหรับงานวิศวกรรม [7]

แม้ว่าวิชาสถิติจะเป็นวิชาที่เก่าแก่กว่า 200 ปี (ในครั้งแรกจะเป็นสถิติที่เน้นสถิติเชิงพรรณนาเท่านั้น สำหรับสถิติเชิงอนุมานเพิ่งจะมีวิวัฒนาการมาประมาณ 80 ปีเท่านั้น) แต่ว่าเพิ่งจะมีการประยุกต์สถิติสำหรังงานวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์ เมื่อเกือบ 100 ปีที่ผ่านมานี้เอง โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Duncan (1974) ได้สรุปไว้ วิชาสถิติได้รับการประยุกต์ใช้งานด้านวิทยาศาสตร์เมื่อประมาณ ค.ศ. 1900 โดยในช่วงแรกมีการประยุกต์เข้ากับสาขาฟิสิกส์และวิชาดาราศาสตร์ สำหรับการประยุกต์กับงานด้านวิศวกรรมนั้น ได้มีการประยุกต์วิชาสถิติเข้ากับงานควบคุมคุณภาพขึ้นครั้งแรกเมื่อ ค.ศ. 1924 โดย Dr.Walter A. Shewhart แห่ง Bell Telephone Laboratories ในรูปแบบของแผนภูมิควบคุม (Control chart) ซึ่งได้จากการประยุกต์ทฤษฎีการทดสอบสมมติฐานทางสถิตินั่นเอง หลังจากนั้นก็ได้มีการประยุกต์สถิติเข้ากับการตรวจสอบด้านคุณภาพ โดย H.F. Dodge และ H.G. Romig แห่ง Bell Lab. เช่นเดียวกัน และในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน คือประมาณปี ค.ศ. 1930 Ronald Fisher ก็ได้ประยุกต์ใช้สถิติกับการออกแบบการทดลองกับงานเกษตรกรรม จากนั้นการประยุกต์ใช้งานสถิติก็เป็นไปอย่างต่อเนื่อง

วิชาสถิติได้รับการประยุกต์อย่างเป็นรูปธรรมและได้ผลมากยิ่งขึ้นในประเทศญี่ปุ่น โดยเริ่มจาก Dr.Edwards Deming ได้เดินทางไปบรรยายเกี่ยวกับวิชาการชักสิ่งตัวอย่าง และแผนภูมิควบคุมสำหรับการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิต เมื่อปี ค.ศ. 1950 และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จุดเด่นก็คือ เป็นครั้งแรกที่มีการประยุกต์สถิติกับการแก้ปัญหาในกระบวนการผลิต โดยได้มีการรวบรวมเครื่องมือทางสถิติ 7 ตัว สำหรับแก้ปัญหาหน้างานหรือที่เรียกว่า "เทคนิค 7 ประการของ QC" ซึ่งประกอบด้วย 1) การจำแนกข้อมูล (Stratification) 2) แผนภาพพาเรโต (Pareto chart) 3) การตรวจสอบ (Check sheet) 4) ฮีสโตแกรม (Histogram) 5) แผนภาพก้างปลา (Cause and Failure chart) 6) กราฟและแผนภูมิควบคุม (Graph and Control chart) 7) แผนภาพการกระจาย (Scatter chart) จากรูปแบบการประยุกต์ใช้สถิติกับปัญหาหน้างานดังกล่าวนี้ ทำให้วิชาสถิติได้รับการประยุกต์ที่แพร่หลายและรวดเร็วยิ่งขึ้น

นอกจากการประยุกต์สถิติกับการควบคุมกระบวนการผลิตแล้ว สถิติยังได้รับการประยุกต์อย่างได้ผลที่ดีกับการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการ ด้วยเทคนิคที่รู้จักกันในชื่อของเทคนิคการออกแบบที่มั่นคงของทากุชิ (Taguchi's robust design) ซึ่งได้รับการพัฒนาโดย Dr.Genichi Taguchi (1980, 1986)

สำหรับในประเทศไทย สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) หรือ ส.ส.ท. (2532) ได้สรุปไว้ว่า นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2505 ที่ประเทศไทยเริ่มมีแผนพัฒนาเศรษฐกิจแห่งชาติทำให้มีนักลงทุนจากต่างประเทศเข้ามาประกอบการอุตสาหกรรมในประเทศมากขึ้นโดยลำดับ โดยเฉพาะญี่ปุ่น และอเมริกา ทำให้การประยุกต์สถิติกับอุตสาหกรรมได้พัฒนาขึ้นมาพร้อมกับความก้าวหน้างทางเทคโนโลยีการผลิตด้วย โดยเฉพาะหลักการของการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ (Statistical quality control: SQC)

ในการบริหารงานด้านคุณภาพของกระบวนการ นั้นผู้บริหารจะต้องค้นหาสารสนเทศผ่านทางตัวเลขดัชนีหรือเครื่องมือต่างๆ เพื่อให้รับทราบถึงความสามารถของกระบวนการที่บ่งชี้ถึงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการออกแบบกระบวนการ ตลอดจนการควบคุมกระบวนการที่บ่งชี้ถึงผลจากการควบคุมกระบวนการ ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจในการแก้ปัญหาที่เหมาะสมต่อไป

ความหมายของความสามารถของกระบวนการ นักวิชาการและสมาคมวิชาชีพจำนวนมากมายได้พยายามสรุปถึงความหมายของความสามารถของกระบวนการ (Process capability) ไว้ อาทิเช่น Montgomery (1996, p. 431) ได้นิยามไว้ว่า ความสามารถของกระบวนการ จะหมายถึงความสม่ำเสมอ (Uniformity) ของกระบวนการซึ่งจะทำการวัดได้จากค่าความผันแปรของผลที่ได้ (Output) จากกระบวนการ โดยอาจจจำแนกออกได้ 2 ประเภทคือ ความผันแปรโดยธรรมชาติในช่วงระยะเวลาสั้นๆ และความผันแปรตลอดช่วงเวลา ในขณะที่ ASQC (1996, p. 93) ได้นิยามไว้อย่างสั้นๆ ว่าความสามารถของกระบวนการคือ "พิกัดที่แสดงถึงความผันแปรที่เครื่องมือหรือกระบวนการหนึ่งดำเนินการภายใต้ความผันแปรต่ำๆ ที่ประเมินจากสภาวะที่หลากหลาย" ในสภาวะที่หลากหลายนี้ เป็นความผันแปรภายในกระบวนการหนึ่งที่ประกอบด้วยหลายตัวแปร อาทิเช่น พนักงาน วัตถุดิบที่มีหลายแบบ และอื่นๆ ซึ่งมีความแตกต่างกันออกไป อย่างไรก็ตามนิยามที่กล่าวไว้ค่อยข้างละเอียด และครอบคลุมมากกว่านิยามอื่นๆ จะเป็นนิยามของ Juran และ Gryna ดังที่ Juran และ Gryna (1988, p. 16.14) และ Juran และ Gryna (1993, p. 393) ได้ให้รายละเอียดดังนี้

กระบวนการ (Process) คือ องค์ประกอบที่แน่นอนประการหนึ่งของเครื่องจักร อุปกรณ์ วิธีการ วัตถุดิบ และพนักงานที่ก่อให้เกิดการผลิต (Unique combination of machine, tools, methods, materials and people engaged in production) [10]

ความสามารถ (Capability) คือ ความสามารถที่ขึ้นอยู่กับสมถรรนะที่ได้รับการทดสอบเพื่อให้บรรลุผลลัพธ์ที่สามารถวัดได้ (Competence, based on tested performance, to achieve measurable results) [10]

โดยสภาพการแข่งขันในอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ ทำให้ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต เพื่อให้สามารถบรรลุเป้าหมาย ในด้านการลดต้นทุนการผลิตลง หรือข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามลูกค้าต้องการ ดังนั้นโดนส่วนมากแล้วภายในอุสาหกรรมจะใช้วิธีการการควบคุมด้วยสถิติ ในส่วนของเครื่องจักร กระบวนการ พนักงาน องค์กร เป็นต้น วิธีการควบคุมด้วยสถิติจึงได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ปรับเปลี่ยนประยุกต์ใช้กับเป้าหมายได้หลายแบบ เพราะจะเห็นได้จากองค์กรที่ประสบความสำเร็จ และการวัดความสามารถก็เป็นดัชนีตัวชี้วัดที่จะบ่งบอกในเชิงปริมาณ ทำให้เกิดการปรับปรุงพัฒนาอย่างต่อเนื่อง บนพื้นฐานของข้อมูลทางสถิติ การเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้ก็มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์ให้ได้สารสนเทศของข้อมูลอย่างถูกต้องที่สุด และเครื่องมือในทางสถิติที่จะใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาให้ถูกต้องก็จำเป็นที่จะต้องถูกพิจารณาเช่นเดียวกัน เพราะในทางสถิตินั้นมีเครื่องมือที่สามารถใช้ได้อย่างมากมาย การใช้เครื่องมือทางสถิติที่ผิด อาจจะทำให้ได้สารสนเทศของข้อมูลนั้นๆ ผิดพลาดก็เกิดขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.9 ขั้นตอนการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ เป้าหมาย/ผลงานหลักที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา กรอบแนวคิดในการวิจัย สมมติฐานและคำถามการวิจัย ข้อจำกัดของการศึกษา คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา การทบทวนวรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องการงานวิจัย ข้อมูลและการอธิบายข้อมูลทางสถิติ เพราะว่าเป็นการศึกษาข้อมูลที่ได้ภายหลังจากการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์แล้ว จะได้นำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมาใช้อธิบายกับข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมมา การควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติและการวิเคราะห์หาความสามารถของกระบวนการ เป็นวิธีการที่นิยมใช้ในงานด้านอุตสาหกรรม เพื่อการปรับปรุงกระบวนการ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพ และเป็นไปตามความต้องการ

บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีการดำเนินงานวิจัย วิธีการได้มาของข้อมูลซึ่งเป็นผลจากกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ การจัดการกับข้อมูล เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล การควบคุมกระบวนการ การเลือกพิกัดควบคุมที่จะนำไปใช้ในแต่ละขั้นตอนย่อย และการตรวจสอบผลการควบคุมกระบวนการ

บทที่ 4 กล่าวถึงการทดลอง และผลการทดลอง ในการควบคุมกระบวนทดสอบฮาร์ดดิสก์โดยผลิตภัณฑ์ หรือรุ่นของฮาร์ดดิสก์ที่สนใจเป็นความจุของฮาร์ดดิสก์ 320 กิกะไบต์ การกำหนดพิกัดควบคุมกับข้อมูลช่วงที่สองซึ่งได้มีการเปลี่ยนโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบข้อมูลตัวอย่างที่เก็บบันทึกมาได้ การเลือกขั้นตอนย่อยที่จะนำมาทำการทดลอง การทดลองกับรุ่นฮาร์ดดิกส์รุ่นความจุ 500 กิกะไบต์ การทดลองเมื่อเพิ่มจำนวนตัวอย่างโดยใช้รูปแบบการควบคุมแบบเดิม รวมทั้งผลของการทดลองที่ได้รับในการทดลองแต่ละแบบ และความสามารถนำไปใช้กับงานจริง

บทที่ 5 เป็นบทสรุปผลการวิจัย ทำการสรุปวิเคราะห์ผลที่ได้รับในการทดลองแต่ละแบบ วิจารณ์ผลที่ได้รับ และข้อเสนอแนะที่จะทำให้เกิดประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ รวมถึงงานวิจัยมีจะสามารถทำต่อไปในอนาคต

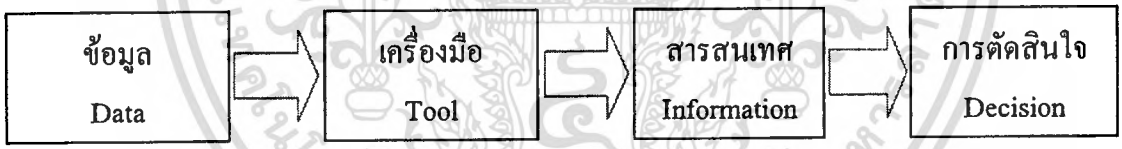
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการทำงานวิจัย และพื้นฐานของกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ ซึ่งเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงข้อมูลและประเภทของข้อมูลแบบต่างๆ การอธิบายข้อมูลด้วยสถิติ การกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบปกติ พื้นฐานของการควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติ และการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดนี้จำเป็นสำหรับการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงเวลาของการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์โดยอาศัยข้อมูลจากฐานข้อมูลที่มีอยู่

2.1 พื้นฐานทางด้านสถิติ (Basic statistics)

สถิติก็มีสถานะเป็นเพียงเครื่องมือในรูปแบบหนึ่ง ที่ใช้ในการเปลี่ยนข้อมูลดิบที่มีอยู่ไปสู่สาระสำคัญ เพื่อให้ผู้ที่มีหน้าที่หรืออำนาจในการตัดสินใจ ใช้ในการตัดสินใจเป็นอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งก็ไม่จำเป็นว่าต้องตัดสินใจตามสาระนั้นเสมอไป



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

สถิติ (Statistics) คือ การนำเอาข้อมูลส่วนน้อย (จากตัวอย่าง) มาช่วยในการคาดการณ์ (พยากรณ์) ข้อมูลส่วนมากที่ไม่อาจจะหาค่าที่ต้องการทราบได้หมด หรือเอาข้อมูลในอดีตและปัจจุบันมาช่วยในการคาดการณ์ (พยากรณ์) สิ่งที่จะเป็นในอนาคต ที่ไม่สามารถเห็นค่าที่ถูกต้องได้เพราะยังไม่ได้เกิดขึ้น ดังนั้นการใช้สถิติก็ไม่ต่างอะไรกับการเดาเหมือนกับบรรดานักทำนาย (หมอดู) ก็มีส่วนถูกและผิด ที่ว่าถูกคือการใช้สถิติจะให้ผลถูกต้องไม่ 100 % และเป็นเพียงการคาดการณ์สิ่งที่ยังมองไม่เห็นเช่นกัน ที่ว่าผิดก็คือการใช้สถิติอย่างถูกต้อง จะมีข้อกำหนดที่เป็นหลักวิทยาศาสตร์ ที่ผ่านการพิสูจน์แล้ว มีการใช้ข้อมูลการวิเคราะห์ด้วยคณิตศาสตร์ ซึ่งต่างจากที่หมอดูใช้ ที่จะเป็นศิลปศาสตร์ที่ยังไม่สามารถพิสูจน์ความถูกต้องได้เป็นเพียงศาสตร์ที่สืบถอดกันมาไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีที่เป็นที่เปิดเผย ในวิชาสถิติเราจะแบ่งลักษณะการนำไปประยุกต์ใช้งานได้เป็นสองลักษณะใหญ่ๆ และยังมีการแยกย่อยลักษณะของแต่ละกลุ่มได้อีกหลายลักษณะ ดังต่อไปนี้

2.1.1 สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics)

สถิติเชิงพรรณนา คือการใช้สถิติเพื่ออธิบายข้อมูลที่มีอยู่โดยไม่ได้นำไปพยากรณ์ประชากรแต่อย่างใด โดยลักษณะที่จะพรรณนาข้อมูลนั้นมีอยู่สองลักษณะ

(1) โดยใช้ตัวอักษร หรือตัวเลข

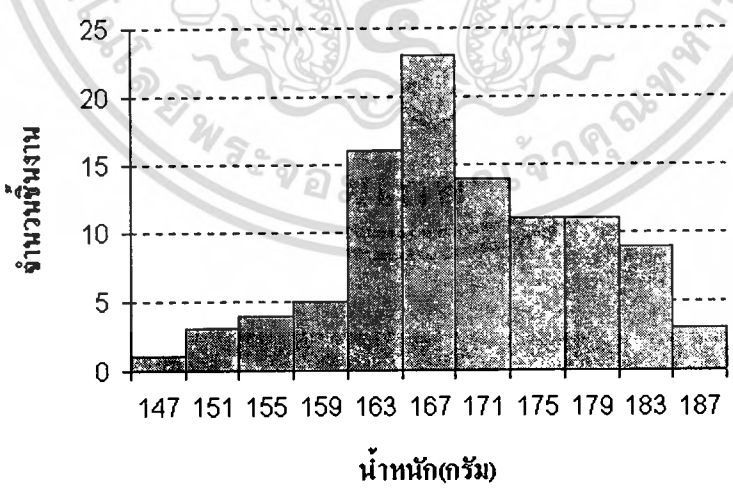
ยกตัวอย่างเช่น ข้อมูลการเก็บตัวอย่างน้ำหนักของชิ้นงาน (กรัม) จำนวน 100 ตัวอย่าง จะได้ค่าสถิติช่วยอธิบายข้อมูลที่เก็บมาได้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลแสดงค่าทางสถิติ

ตัวแปร	N	Mean	Median	Mode	Std.	SE Mean	Min.	Max.	Q1	Q3
น้ำหนัก	100	167.61	166.66	167.67	8.78	0.88	146.70	187.29	161.74	173.88

เป็นเพียงการอธิบายถึงข้อมูลที่เก็บมาได้ ออกมาในรูปของค่า หรือตัวเลขต่างๆ ที่เราสนใจ

(2) โดยใช้แผนภาพเพื่ออธิบาย ซึ่งมีข้อดีคือเราสามารถมองเห็นรูปแล้วเข้าถึงข้อมูลได้ง่ายกว่า จากตัวอย่างข้างบน ถ้าอธิบายในรูปของกราฟแท่งจะได้ดังนี้



รูปที่ 2.2 กราฟแท่งใช้อธิบายข้อมูลให้มองเห็นภาพชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 สถิติเชิงอนุมาน (Inferential statistics)

สถิติเชิงอนุมาน คือเป็นสถิติที่มีความสำคัญและถูกใช้มาก ลักษณะที่สำคัญคือเป็นการศึกษาข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง แล้วนำผลสรุปไปประมาณหรือคาดการณ์ประชากร หรือเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ทั้งนี้สามารถแยกย่อยลักษณะของสถิติอนุมานได้สองลักษณะดังนี้

1) การประมาณค่าพารามิเตอร์ (Parameter estimation) ค่าพารามิเตอร์คือ ค่าที่บ่งบอกคุณลักษณะเฉพาะของประชากรเช่น ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งวิธีประมาณค่าพารามิเตอร์นี้ก็ยังสามารถแบ่งได้สองวิธีคือ

1.1 การประมาณการแบบบอกค่าเดียวหรือแบบจุดเดียว (Point estimation) เช่น ประมาณค่าน้ำหนักเฉลี่ยของชิ้นงานทั้งหมด (ประชากร) เท่ากับ 167.6 กรัม เป็นต้น โดยที่ค่าที่เราได้มานี้จะได้มาจากการวิเคราะห์ข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างเท่านั้น ทำให้การประมาณค่าวิธีนี้มีโอกาสคลาดเคลื่อนมาก เพราะเราเองก็ไม่อาจรู้ค่าน้ำหนักที่แท้จริงของชิ้นงานได้ทุกชิ้น

1.2 การประมาณค่าแบบบอกเป็นช่วง (Interval estimation) เมื่อวิธีประมาณการแบบจุดมีโอกาสผิดพลาด เพราะเมื่อเราไปเก็บตัวอย่างมาอีกกลุ่ม เมื่อหาค่าเฉลี่ยออกมาก็จะได้ไม่ตรงกับของกลุ่มตัวอย่างแรก และถ้าเราไปเก็บตัวอย่างมาหลายๆ กลุ่ม ค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มก็เปลี่ยนไปทั้งได้มากกว่าและน้อยกว่า นั่นแปลว่าเมื่อเรานำไปประมาณค่าเฉลี่ยของประชากร แต่ละครั้งก็จะได้ค่าไม่ตรงอยู่ดี แต่ถ้าสังเกตดูจะเห็นว่า ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างหลายๆ กลุ่มนั้นจะตกอยู่ในย่านๆ หนึ่งเสมอเราเรียกว่า "Interval" ดังนั้นแทนที่เราจะบอกเป็นค่าเดียว เราก็เปลี่ยนมาบอกเป็นย่านที่ค่าพารามิเตอร์จะตกอยู่แทน แล้วเราก็คาดการณ์ได้ว่า โอกาสที่ค่าพารามิเตอร์จะอยู่ภายในช่วงนี้ด้วยระดับความมั่นใจเท่าไหร่

2) การทดสอบสมมุติฐาน (Hypothesis testing) เมื่อเรามีความสงสัยในเรื่องใด สิ่งสำคัญที่สุดคือเราจะตั้งสมมุติฐานเกี่ยวกับปัญหานั้นเสียก่อน ซึ่งแท้จริงก็คือเราตั้งสมมุติฐานเกี่ยวกับประชากรแล้ว เราก็ทำการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง เพื่อหาข้อสรุปว่าสมมุติฐานที่เราตั้งนั้น เราจะยอมรับหรือปฏิเสธ โดยมีวิธีการและรายละเอียดแยกย่อยอีกมากมาย

จะเห็นว่าข้อแตกต่างของสถิติเชิงพรรณนากับสถิติเชิงอนุมาน คือสถิติเชิงอนุมานจะมีการนำผลที่ได้ไปกล่าวอ้าง (อนุมาน) ถึงประชากรจำนวนมาก ดังนั้นหากเมื่อใดก็ตามที่ผู้ใช้วิเคราะห์ข้อมูลด้วยเครื่องมือทางสถิติแล้ว ไม่ได้นำไปกล่าวอ้างเลยเราก็จะเรียกว่าเป็นการพรรณนา แม้ว่าจะมีการใช้เครื่องมือของสถิติอนุมานก็ตาม เช่นเดียวกันหากมีการนำผลการวิเคราะห์ไปกล่าวอ้างถึงประชากรส่วนมากเราก็จะเรียกว่าเป็นการใช้ สถิติอนุมานแม้ว่าจะใช้กราฟหรือตัวเลขก็ตาม ดังนั้นพรมแดนของสถิติสองแบบนี้จึงไม่ได้อยู่ที่ชนิดของเครื่องมือแต่อยู่ที่วิธีการนำผลที่ได้ไปใช้ต่อต่างหาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ประชากรและตัวอย่าง (Population & Sample)

การศึกษาวิชาสถิติ (Statistics) จำเป็นอย่างมากที่ผู้ศึกษาจะต้องเข้าใจคำว่าประชากรและตัวอย่าง อย่างถ่องแท้เสียก่อน ในบทนี้จะขอกล่าวถึงสองเรื่องนี้เพื่อแสดงให้เห็นถึงความเหมือนหรือความแตกต่างกันของประชากรและตัวอย่าง เพื่อเป็นพื้นฐานความเข้าใจสำหรับหัวข้ออื่นๆ ด้วย

1) ประชากร (Population) ในที่นี้คำว่าประชากรไม่ได้หมายถึงคนหรือประชาชน แต่หมายถึงสิ่งที่เราสนใจอยากรู้ข้อมูล เช่นส่วนสูงของคน คำว่าประชากรก็คือ ค่าส่วนสูงของคนหลายคนมากๆ ถ้าเป็นอุณหภูมิ คำว่าประชากรก็จะหมายถึงค่าที่ได้จากการวัดหลายๆ ครั้งในช่วงเวลานานๆ เป็นต้น ถ้าในทางวิชาสถิติสิ่งสำคัญที่สุดหรือเป้าหมายของคนที่ใช้ความรู้ทางสถิติก็คือ ต้องการทราบหรืออธิบายถึงคุณสมบัติต่างๆ ของประชากร แต่เนื่องจากในชีวิตจริงๆ ผู้ที่ใช้วิชาสถิติไม่มีวันที่จะเก็บข้อมูลของประชากรทั้งหมดได้ ถ้าจะอธิบายคำว่าประชากรให้ได้ถูกต้องมากที่สุดก็คงจะเป็นดังต่อไปนี้

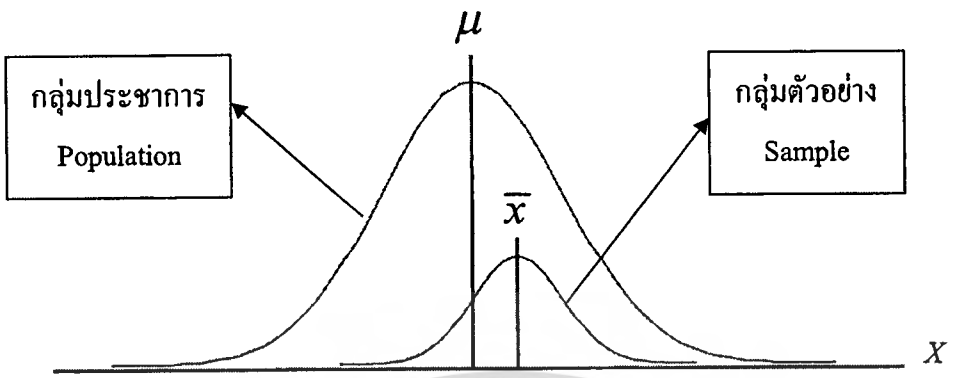
ประชากรมีจำนวนมากจนไม่อาจจะเก็บข้อมูลได้หมด แน่นอนว่าหากเราสามารถเก็บข้อมูลได้หมด นั่นแปลว่าเราสามารถอธิบายประชากรได้ถูกต้อง 100% เช่น การศึกษาเรื่องน้ำหนักแรกเกิดของทารกในประเทศไทย คำว่าประชากรในการศึกษาครั้งนี้ก็คือน้ำหนักของทารกแรกเกิดทุกคนในประเทศไทย แน่นอนว่าจะต้องไม่มีที่สิ้นสุดเพราะจะมีทารกแรกเกิด เกิดขึ้นทุกวันๆ อีกอย่างก็คือเป็นไปไม่ได้ที่ผู้ทำการศึกษาจะสามารถเก็บรวบรวมค่าน้ำหนักทารกแรกเกิดใหม่ได้ทุกคน จะต้องมีข้อจำกัดมากมายทั้งต้นทุนในการดำเนินการเวลาและทรัพยากรอื่นๆ หรือถ้ายกตัวอย่างในงานทางอุตสาหกรรม วิศวกรต้องการศึกษาเรื่องน้ำหนักบรรจุหนึ่งถุงของปูนซิเมนต์ คำว่าประชากรก็คือน้ำหนักบรรจุปูนซิเมนต์ทุกถุง ทั้งที่อยู่ในโกดังเก็บ ทั้งที่ส่งไปหาลูกค้าแล้วทั้งที่กำลังอยู่ในสายการผลิตจะเห็นได้ว่าไม่มีวันที่วิศวกรจะเก็บข้อมูลได้ทุกถุง

แต่ก็มีงานบางอย่างที่จำเป็นต้องเก็บข้อมูลของประชากรทั้งหมดเช่น งานสัมมโนประชากร ซึ่งเป็นเรื่องที่ภาครัฐจำเป็นต้องมีข้อมูลของคนทุกคนในประเทศ แต่จะเห็นได้ว่ารัฐต้องใช้บุคคลากร อุปกรณ์ เครื่องมือ เงิน รวมถึงทรัพยากรต่างๆ ไปอย่างมากมายกว่าจะทำได้

2) ตัวอย่าง (Sample) เมื่อเราไม่อาจจะเก็บข้อมูลของประชากรทุกตัวได้ เราจึงมีวิธีที่จะเก็บเอาเพียงบางตัว บางส่วน บางช่วงเวลา ของประชากร เพื่อมาทำการวิเคราะห์ แล้วนำผลที่ได้กลับไปประมาณหรืออธิบายถึงประชากรทั้งหมดอีกที สมาชิกของประชากรที่เราเก็บค่ามาดังกล่าวเรียกว่าตัวอย่าง แน่นอนว่าเมื่อเราทำการศึกษาผ่านตัวอย่างย่อมให้ผลลัพธ์ ที่ผิดพลาดไปจากค่าที่แท้จริงของประชากรบ้าง เราจึงต้องคำนึงถึง ระดับความเชื่อมั่นที่เราจะสามารถยอมรับความผิดพลาดดังกล่าว มีองค์ประกอบหลายประการที่เกี่ยวข้องกับระดับความเชื่อมั่น เช่น วิธีการเก็บตัวอย่างจากประชากร จำนวนตัวอย่างที่เก็บค่ามา แม้แต่เครื่องมือทางสถิติที่เราเลือกใช้ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ เป็นต้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะ ต้องมีแบบแผนอย่างถูกต้องด้วยในการที่จะเก็บตัวอย่าง ที่ผู้ทำการศึกษาควรให้ความสนใจ



รูปที่ 2.3 เปรียบเทียบการกระจายข้อมูลระหว่างประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

จากรูปข้างบนเป็นภาพอธิบายเปรียบเทียบ การกระจายของข้อมูลของประชากรและของกลุ่มตัวอย่าง เพื่อให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่าง จะมีความใกล้เคียงกับประชากร มากภายใต้เงื่อนไขการเก็บตัวอย่างที่ถูกต้อง สิ่งที่ใช้อธิบายประชากรเราจะเรียกว่า "Population parameter" ส่วนของกลุ่มตัวอย่างเราจะเรียกว่า "Sample statistics"

ตารางที่ 2.2 สัญลักษณ์ที่ใช้เรียกแทนประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร	กลุ่มตัวอย่าง
μ = ค่าเฉลี่ยของประชากร	$\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง
σ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร	$S, \hat{\sigma}$ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง

2.1.4 ตัวประมาณการ และค่าประมาณการ (Estimator and Estimated value)

เนื่องจากในความเป็นจริงทางวิชาสถิติเรามิอาจจะรู้ค่าของประชากรได้เลย สิ่งที่เราสามารถรู้ได้ก็คือกลุ่มตัวอย่างเท่านั้น แต่เนื่องจากท้ายที่สุดแล้วเราต้องการรู้ค่าของประชากรต่างหาก เราจึงใช้กลุ่มตัวอย่างมาประมาณค่าของประชากร เราจึงเรียก $\bar{X}$ ว่าตัวประมาณค่ากลาง (μ) ของประชากร (Population mean estimator) นั่นหมายความว่าค่าเฉลี่ยของตัวอย่างก็เป็นค่าโดยประมาณของค่ากลางของประชากร และเราเรียก $S, \hat{\sigma}$ ว่าตัวประมาณการค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) ของประชากร (Population standard deviation estimator) นั่นหมายความ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง ก็เป็นค่าโดยประมาณของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ข้อมูลและประเภทของข้อมูล (Data and Data type)

ในการที่เราจะศึกษาเกี่ยวกับข้อมูล เราจำเป็นที่จะต้องแยกประเภทของข้อมูลให้ได้ก่อน เพื่อที่จะทำความเข้าใจธรรมชาติของข้อมูลประเภทนั้นๆ และเพื่อให้เราสามารถที่จะเลือกใช้เครื่องมือทางสถิติที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หรืออธิบายข้อมูลนั้นๆ เราสามารถแบ่งประเภทของข้อมูลได้ดังต่อไปนี้

2.2.1 ข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative or Attribute data)

เป็นข้อมูลที่ไม่สามารถวัดด้วยอุปกรณ์การวัดใดๆ ได้เลย แต่ได้มาจากการนับการสังเกตุ เราจึงนิยามชนิดของข้อมูลที่ได้ว่าเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ แบ่งได้เป็นสองลักษณะย่อยได้ดังนี้

1) แบ่งโดยใช้ลักษณะนาม (Nominal scale) เช่น ข้อมูลของผู้ที่ผ่านเข้าออกประเทศไทยทางสนามบินดอนเมือง หรือถ้าเป็นตัวอย่างในงานอุตสาหกรรมดังต่อไปนี้ เป็นผลการศึกษาการทำงานของฮาร์ดดิสก์ที่ผ่านการผลิตแล้วจำนวน 1,000 หน่วย

- ผลการทดสอบฟังก์ชั่น (Function test): ผ่าน (Pass) 700 หน่วย ไม่ผ่าน (Fail) 300 หน่วย
- อาการปัญหา (Defect): เป็นรอยขีดข่วน (Scratch) 45.5% หักหรืองอ (Bent) 30.5% มีคราบสกปรก (Contamination) 23.0%

ข้อมูลที่เก็บมาได้เป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ ถึงแม้ว่าการเก็บข้อมูลตามตัวอย่างที่สองจะใช้เครื่องมือช่วยก็ตาม เช่น การทดสอบฟังก์ชันการทำงานของฮาร์ดดิสก์จะใช้เครื่องทดสอบโดยเฉพาะ แต่ลักษณะผลการทดสอบ แค่รายงานว่าผ่าน หรือไม่ผ่านการทดสอบ เราก็ถือว่าเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพอยู่ดี ถ้าสังเกตดีๆ เราจะพบว่าข้อมูลบางชนิด แยกย่อยได้มากกว่าสองลักษณะ (Category) เช่น อาการของปัญหา, สัญชาติ แต่บางชนิดแบ่งได้เพียงสองกลุ่ม เช่น เพศ, ผลการทดสอบ เป็นต้น

2) แบ่งโดยอันดับ (Ordinal scale) คล้ายกับแบบ Nominal scale แต่มีข้อแตกต่างกันอยู่ตรงที่ข้อมูลทั้งหมด จะเรียงลำดับกันอย่างชัดเจน การสลับที่ของข้อมูลจะทำให้สาระที่เราได้ผิดปกติไปทันที ในขณะที่ Nominal scale ไม่มีผล ตัวอย่างเช่น ผลการสำรวจความคิดเห็นต่อนโยบายจัดระเบียบสังคมของรัฐบาล ออกมาเป็นลักษณะดังนี้

- ความเห็น: เห็นด้วยอย่างยิ่ง 55.5% เห็นด้วย 30% ไม่ออกความคิดเห็น 5% ไม่เห็นด้วย 5% ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง 4.5%
- ระดับการศึกษา: มัธยม 12% อนุปริญญา 23% ปริญญาตรี 40 % ปริญญาโท 20% ปริญญาเอก 5%

จะเห็นว่าข้อมูลที่เก็บมานั้น มีอันดับอย่างชัดเจน นี่คือความแตกต่างของข้อมูล Nominal scale กับ Ordinal scale

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative or Variable data)

คือข้อมูลที่มีลักษณะเป็นตัวเลข สามารถแบ่งออกได้อีกเป็นสองชนิดย่อย ดังนี้

1) ข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete data) ลักษณะที่สำคัญคือ เป็นตัวเลขที่ได้จากการนับ ค่าทศนิยมมีค่าได้จำกัด หรือไม่มีความหมาย ดังตัวอย่างต่อไปนี้

- จำนวนครั้งที่เครื่องจักรหยุดทำงานวันนี้เท่ากับ 12 ครั้ง
- พบจุดบกพร่องในงานที่เพิ่งผลิตเสร็จ 9 จุด

จากตัวอย่างเราจะเห็นว่าจำนวนหรือตัวเลขจะไม่มีทางที่เป็นทศนิยมได้เลย ถึงแม้ว่าบางครั้งจะนำค่าข้อมูลเหล่านี้หลายค่า มาหาค่าเฉลี่ยได้ค่าที่มีทศนิยมก็ตาม ค่านั้นก็จะไม่มีจริงหรือไม่มีความหมายใดๆ

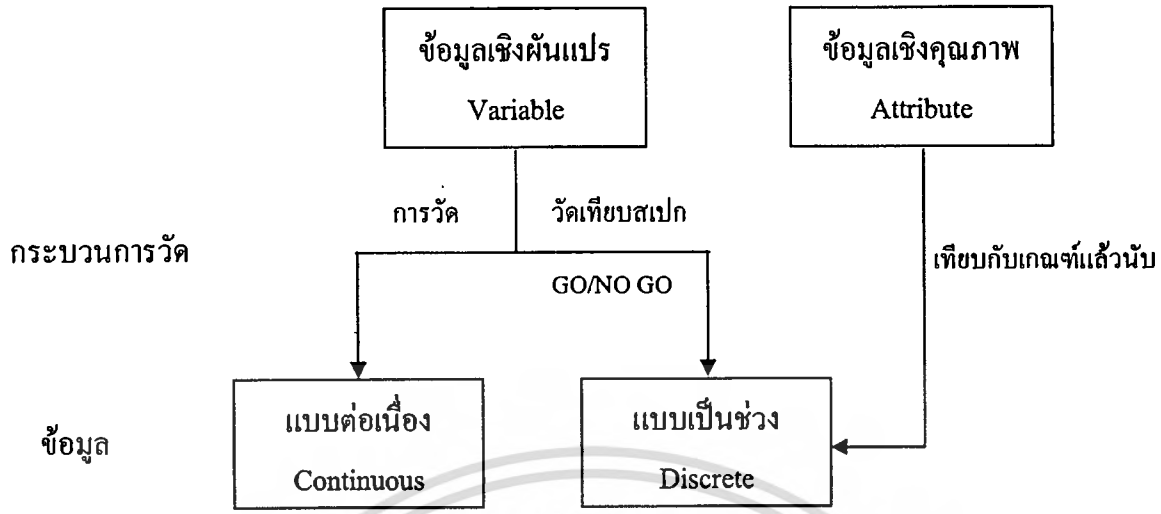
2) ข้อมูลแบบต่อเนื่อง (Continuous data) ลักษณะที่สำคัญคือต้องใช้เครื่องมือวัดมา ค่าทศนิยมมีความหมายและไม่มีที่สิ้นสุด ขึ้นอยู่กับความละเอียดของเครื่องวัดว่าจะแยกแยะออกเป็นทศนิยมได้กี่ตำแหน่ง ดังตัวอย่างต่อไปนี้

- อุณหภูมิห้อง ขณะนี้ 27.5 องศาเซลเซียส
- น้ำหนักของวัสดุชิ้นนี้ 23.45 กรัม

จากสองตัวอย่างที่ผ่านมา อุณหภูมิต้องวัดโดยเทอร์โมมิเตอร์ หรือระบบการวัดอุณหภูมิอย่างแน่นอน เพราะเรามิอาจรับรู้ค่าอุณหภูมิได้เอง และค่าน้ำหนักเราก็ต้องวัดโดยเครื่องชั่งน้ำหนักหรือระบบอื่นๆ ที่ออกแบบมาให้วัดค่าน้ำหนักได้ นั่นคือลักษณะอย่างแรก ส่วนลักษณะที่สองคือคุณสมบัติของค่าเหล่านี้ เช่น 27.505 องศาจะสูงกว่า 27.500 องศาแน่นอน และก่อนจะไปถึงค่า 27.505 ได้อุณหภูมิจะต้องเพิ่มไปเรื่อยๆ ไม่ใช่กระโดดไปค่าใหม่ได้ทันที แต่ในชีวิตจริงที่เราเห็นอุณหภูมิเปลี่ยนไปที่ 0.005 องศา ก็เพราะว่าความจำกัดของระบบการวัด และวิธีแสดงผลของระบบการวัดเท่านั้นเอง

ในการกำหนดตัวเลขให้กับสิ่งตัวอย่างที่ให้ความสนใจต่อพารามิเตอร์แบบผันแปรนั้น สามารถกระทำได้ทั้งกำหนดตัวเลขแบบต่อเนื่องด้วยเครื่องมือวัดและกำหนดให้เป็นตัวเลข 0, 1 ด้วยการใช้ Go และ NO-GO Gauge แต่สำหรับสิ่งตัวอย่างที่ให้ความสนใจต่อพารามิเตอร์แบบแอตทริบิวต์แล้วจะสามารถกำหนดตัวเลขเพียงแค่ 0 หรือ 1 ให้กับสิ่งตัวอย่างนั้นเท่านั้น ดังนั้น ในทางสถิติจะจำแนกประเภทของข้อมูลเชิงตัวเลขออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ข้อมูลแบบช่วง (Discrete) และข้อมูลแบบต่อเนื่อง (Continuous) ดังแสดงในรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
110413



รูปที่ 2.4 ประเภทของข้อมูลและความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์

เนื่องจากการวิเคราะห์ข้อมูลในทางสถิตินี้มีความจำเป็นต้องค้นหาสารสนเทศจากข้อมูล เพื่อประกอบการตัดสินใจ จึงมีความจำเป็นต้องพยายามเก็บรวบรวมข้อมูลให้มีสารสนเทศสำหรับการตัดสินใจให้มากที่สุด ซึ่งมีข้อควรคำนึงถึงในการเก็บข้อมูล 3 ประการคือ

1) ต้องทำความเข้าในกับจุดประสงค์อย่างแจ่มชัดว่าจะเก็บข้อมูลเพื่ออะไร โดยจะต้องให้ความสนใจต่อจุดประสงค์ทางธุรกิจ มิใช่จุดประสงค์เพื่อใช้กลวิธีทางสถิติในการวิเคราะห์

2) ต้องมีการจำแนกประเภท (Stratification) ของข้อมูลให้แจ่มชัดด้วยการทำความเข้าใจกับกระบวนการที่ศึกษา และความมีการทวนสอบด้วยแผนภาพพาเรโต หรือแผนภาพการกระจาย โดยการจำแนกประเภทของข้อมูลนี้อาจจำแนกตามสถานที่ เวลา รุ่นของผลิตภัณฑ์ สายการผลิต เครื่องจักร ฯลฯ

3) ต้องให้ความสนใจในคุณสมบัติด้านความสามารถในการแยกความแตกต่าง (Resolution) ของข้อมูล ทั้งนี้เพราะถ้าข้อมูลไม่สามารถแยกความแตกต่างได้แล้วก็ไม่อาจจะวิเคราะห์เพื่อหาสารสนเทศจากข้อมูลได้ เนื่องจากมีความจำเป็นต้องวิเคราะห์ความผันแปรในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยปกติจะพิจารณาคุณสมบัติของการแยกความแตกต่างของข้อมูลได้จากแผนภูมิความคุมพิสัย (Range-R) และพิจารณาว่ามีค่า R ที่เป็นไปได้กี่ค่าที่อยู่ภายในพิกัดควบคุมของแผนภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การอธิบายและการวิเคราะห์ข้อมูล (Data presentation and Analysis)

2.3.1 การวัดแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลางของข้อมูล (Measures of central tendency)

วัตถุประสงค์จริงๆ ที่เราจำเป็นต้องรู้เนื้อหาส่วนนี้ก็เพราะว่า ข้อมูลที่เรามีอยู่นั้นส่วนมากแล้วได้มาโดยวิธี เก็บค่าของกลุ่มตัวอย่างมาได้จำนวนหนึ่ง แต่เนื่องจากเราไม่อาจที่จะอธิบายข้อมูลที่เราได้มาทั้งหมดได้หรอกเพราะมีจำนวนมาก อย่างน้อยก็มากกว่าหนึ่งค่า แต่เนื่องจากจุดประสงค์สุดท้าย คือเราต้องการทราบเกี่ยวกับประชากร แต่ ณ ขณะนี้เรามีเพียง กลุ่มของข้อมูลจำนวนหนึ่ง จะทำอย่างไรเราถึงจะสามารถที่จะใช้กลุ่มของข้อมูลที่มีอยู่ดังกล่าวในการอธิบายตัวอย่าง (Sample) หรือประชากร (Population) ให้มองเห็นภาพได้ดีที่สุด เราจึงต้องให้ความสนใจในวิธีการที่เราใช้ในการอธิบายข้อมูลดังกล่าว ซึ่งวิธีที่เราใช้วัดหรืออธิบายข้อมูลที่เป็นที่นิยมมาก คือ การหาจุดกลาง (Middle point) ของข้อมูล เราเรียกว่าการวัดแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลางของข้อมูล มีค่าทางสถิติอยู่ 3 ค่าที่ใช้ในการอธิบายคือ ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่ามัธยฐาน (Median) และค่าฐานนิยม (Mode)

1) ค่าเฉลี่ย (Mean or Average) สัญญลักษณ์ทางคณิตศาตร์ คือ $\bar{X}$

คือผลลัพท์ทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการเฉลี่ยค่าทั้งหมดของกลุ่มข้อมูลโดยมีสมการในการหาดังนี้

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{N} X_i}{N} \tag{2.1}$$

X_i คือ ค่าของข้อมูลแต่ละตัว เมื่อ i เป็นจำนวนเต็มบวก 1, 2, 3,....N

N คือ จำนวนของข้อมูล

2) ค่ามัธยฐาน (Median) สัญญลักษณ์คือ ($\tilde{X}$)

คือค่าของตัวเลขในกลุ่มข้อมูลที่เรานำมาเรียงลำดับและค่าดังกล่าวอยู่ตรงกลางพอดี จากตัวอย่างข้างบน ข้อมูลที่เรามีสิบตัวดังกล่าวเมื่อจัดเรียงลำดับแล้วจะเป็นดังนี้

3 3 4 5 5 5 6 7 8 9

ในกรณีที่จำนวนข้อมูลเป็นเลขคู่ ตัวที่อยู่ตรงกลางจริงๆ ไม่มี เราจำเป็นต้อง เอาสองตัวที่อยู่กลางที่สุดมาหาค่าเฉลี่ยอีกที ซึ่งในตัวอย่างนี้ คือ 5 5 นำมาบวกกัน ได้ 10 หาค่าเฉลี่ยโดยเอา 2 มาหารก็จะได้ 5.0 ซึ่งได้ค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยพอ ไม่จำเป็นว่าค่ามัธยฐานจะต้องเท่ากับค่าเฉลี่ย ลองดูอีกตัวอย่าง มีข้อมูลอยู่ 11 ข้อมูลดังนี้

4.5 3 8 4 5 3.5 6 7 5.5 4 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำมาเรียงลำดับจะได้ดังนี้

3 3.5 4 4 4.5 5 5 5.5 6 7 8

เมื่อจำนวนข้อมูลเป็นเลขคี่ก็จะมีค่ากลางจริงๆ อยู่เพียงค่าเดียว จากตัวอย่างข้างบนนี้คือ 5

3) ค่าฐานนิยม (Mode)

เมื่อเราได้ข้อมูลมาจำนวนหนึ่งถ้าเรานำมาเรียงลำดับกัน (ซึ่งไม่จำเป็น) ในกรณีที่กลุ่มข้อมูลนี้จะมีค่าฐานนิยมหรือไม่ ถ้ามีเป็นเท่าไหร่ เราดูว่าเราพบข้อมูลค่าใดที่มีความถี่ หรือมีจำนวนมากที่สุดดังตัวอย่าง

3 3.5 4 4 5 5 5 6 6 7 8

จากตัวอย่างข้างบนนั้นฐานนิยมของข้อมูลชุดนี้คือ 5 เพราะมีถึงสามตัว ซึ่งมากที่สุดในข้อมูลกลุ่มนี้ ในบางกรณีจำนวนตัวเลขที่มีมากที่สุดในกลุ่มอาจจะมีมากกว่า หนึ่ง ก็ได้ก็จะทำให้มีค่ามัธยฐานมากกว่าหนึ่งด้วยเช่นกัน ดังตัวอย่าง

3 3.5 4 4 4 5 5 6 6 6 7 8

จากตัวอย่างข้างบนนี้ฐานนิยมมีสองค่าคือ 4 และ 6 ลักษณะเช่นนี้เราเรียกว่า ข้อมูลแบบสองฐานนิยม (Bi-modal) ซึ่งมีโอกาสเกิดขึ้นได้

โดยปกติการที่เราจะวัดค่าแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลางของข้อมูล เราจะใช้เพียงค่าใดค่าหนึ่งโดยมีเกณฑ์ดังนี้

1) หากข้อมูลดังกล่าวมีการกระจายแบบปกติ หรือแบบธรรมชาติ (Normal distribution) ให้ใช้ค่าเฉลี่ย (Mean) เป็นตัววัด ดังนั้นการที่เราเก็บตัวอย่างมาจำนวนหนึ่ง เราจำเป็นต้องทำการทดสอบก่อนว่า การกระจายตัวของข้อมูลดังกล่าว มีแนวโน้มเป็นแบบธรรมชาติหรือกระจายแบบปกติหรือไม่

2) หากข้อมูลดังกล่าว ไม่มีการกระจายแบบปกติ เราไม่สามารถใช้ค่าเฉลี่ยมาใช้ในการวัดได้ จำเป็นต้องใช้ค่ามัธยฐาน (Median) ในการวัดแทน หากมีการกระจายที่ไม่ปกติ และมีค่าส่วนใหญ่อยู่ที่ค่าใดค่าหนึ่งมากผิดปกติ ก็ควรใช้ค่าฐานนิยม (Mode) ในการวัดแต่โดยมากฐานนิยมมักไม่ได้ใช้มากนัก เรามักใช้ มัธยฐานมากกว่า

2.3.2 การวัดการกระจายของข้อมูล (Measure of Dispersion)

ถึงแม้เราจะสามารถหาค่าศูนย์กลาง โดยมีวิธีหาได้สามวิธีดังที่กล่าวมาแล้วนั้น เราก็ยังไม่อาจจะอธิบายข้อมูลได้อย่างดีพอ ลองเปรียบเทียบข้อมูลจากตารางต่อไปนี้ แล้วจะทำให้เข้าใจได้ว่าเพราะอะไรถึงเป็นเช่นนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางหากเราอธิบายข้อมูลสามกลุ่ม โดยใช้วิธีวัดแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลาง (Measure of central tendency) เราจะพบว่าข้อมูลของสามกลุ่ม นี้ไม่แตกต่างกันแต่อย่างใดแม้จะใช้ค่าเฉลี่ยและค่ามัธยฐานอธิบายก็ตาม ทั้งที่ความเป็นจริงข้อมูลสามกลุ่มนี้แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ดังนั้นวิธีวัดแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลางเพียงอย่างเดียวจึงไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างของข้อมูลดังกล่าวออกมาได้จึงต้องมีค่าทางสถิติตัวอื่นเข้ามาช่วยในการแยกแยะเราเรียกค่าสถิตินี้ว่าตัววัดการกระจายของข้อมูลซึ่งมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างค่าการกระจายของข้อมูล

X	Y	Z
30	10	10
30	30	20
30	30	30
30	30	40
30	50	50
ค่าเฉลี่ย = 30	ค่าเฉลี่ย = 30	ค่าเฉลี่ย = 30
ค่ามัธยฐาน = 30	ค่ามัธยฐาน = 30	ค่ามัธยฐาน = 30

1) ค่าพิสัย (Range) สัญญลักษณ์คือ R

เป็นวิธีวัดค่าความกระจายของข้อมูลที่ง่ายที่สุด หาได้จากการเอาค่าสูงสุดของข้อมูลในกลุ่มลบด้วยข้อมูลตัวที่ต่ำที่สุดของกลุ่ม จากตารางข้างบนหากเราใช้ค่าพิสัยเป็นตัววัดการกระจายของข้อมูลแต่ละกลุ่มจะได้ดังนี้

$$R = x_{max} - x_{min} \tag{2.2}$$

กลุ่ม X ค่าพิสัยคือ 30 - 30 = 0

กลุ่ม Y ค่าพิสัยคือ 50 - 10 = 40

กลุ่ม Z ค่าพิสัยคือ 50 - 10 = 40

ค่าพิสัยเป็นค่าไม่ใช่ช่วงความเชื่อมั่น (Interval) ให้ความรู้สึกถึงการกระจายของข้อมูล แต่เนื่องจากค่าพิสัยจะขึ้นอยู่กับค่าสูงสุด และต่ำสุดของข้อมูลในกลุ่มเท่านั้น อย่างข้อมูลของกลุ่ม Y และ Z ทั้งๆ ที่คุณสมบัติการกระจายของข้อมูลสองกลุ่มนี้จริงๆ แล้วแตกต่างกันแต่เมื่อใช้ค่าพิสัยในการวัดกลับไม่สามารถวัดความแตกต่างดังกล่าวได้ หรือถ้าหากข้อมูลในกลุ่มมีบางค่าที่กระจายอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกกลุ่มมากผิดปกติ (Outliers) การใช้ค่าพิสัยในการบอกค่าการกระจายของข้อมูลจะผิดพลาดจากที่ควรจะเป็นมากขึ้น

2) ค่าความแปรปรวน (Sample Variance) สัญญลักษณ์คือ $S^2, \hat{\sigma}^2$

เนื่องจากจุดอ่อนของค่าพิสัยดังที่กล่าวมาแล้ว ค่าความแปรปรวน (Variance) เป็นค่าที่ใช้วัดการกระจายของข้อมูลได้ดีกว่า เพราะไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่าสูงสุดและต่ำสุดของข้อมูลในกลุ่มเท่านั้น แต่ขึ้นอยู่กับค่าของข้อมูลทุกตัวว่าเบี่ยงเบน (Deviate) ไปจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มเท่าไหร่ ทำให้ค่าความแปรปรวน ต้องมีสมการคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนมากกว่าการหาค่าพิสัยดังตัวอย่างต่อไปนี้

$$Deviation = x - \overline{x}$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \mu)^2}{n-1} \tag{2.3}$$

จากตารางที่ 2.3 ข้อมูลกลุ่ม Y และ Z สามารถหาค่าความแปรปรวนได้ดังนี้

ตารางที่ 2.4 ค่าความแปรปรวนของข้อมูลกลุ่ม Y และ Z

Y	$(x-\overline{x})$	Z	$(x-\overline{x})$
10	(10-30) = -20	10	(10-30) = -20
30	(30-30) = 0	20	(20-30) = -10
30	(30-30) = 0	30	(30-30) = 0
30	(30-30) = 0	40	(40-30) = 10
50	(50-30) = 20	50	(50-30) = 20
$\overline{x}$ = 30	average = 0	$\overline{x}$ = 30	average = 0

ค่าความแปรปรวนก็คือค่าเฉลี่ยของค่าเบี่ยงเบนจากค่ากลางของข้อมูลทุกตัว แต่เราจะพบว่าเมื่อนำค่าเบี่ยงเบนจากค่ากลาง ทุกตัวมารวมกันจะได้ผลลัพธ์เป็นศูนย์ (เสมอ) ซึ่งทำให้เราไม่อาจนำค่าดังกล่าวไปใช้ในการหาค่าความแปรปรวนได้ ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว จึงจำเป็นต้องขจัดเครื่องหมายลบออกให้หมด โดยการนำเอาค่าเบี่ยงเบนมายกกำลังสอง แล้วค่อยนำมารวมกันตอนหลัง แล้วหาค่าเฉลี่ยโดยนำผลรวมที่ได้หารด้วยจำนวนข้อมูล แต่ตามสมการข้างบน ตัวหารจะเป็น $n-1$ ซึ่งเราเรียกว่าค่าระดับความอิสระของข้อมูล (Degree of freedom) เนื่องจากตัวอย่างนี้เป็นข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง (Sample) จึงใช้ค่าระดับความอิสระเป็นตัวหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถ้าสังเกตดีๆ เราจะพบว่าค่าที่ได้ไม่ใช่ค่าเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยที่แท้จริงยังติดกำลังสองอยู่ เราจึงเรียกค่าที่ได้นี้ว่าค่าความแปรปรวน (Variance) ถ้านำค่าดังกล่าวไปถอดกรณฑ์ หรือรากกำลังสองออก ค่าที่ได้ก็จะเรียกว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) นั่นเอง เพราะฉะนั้นทั้งค่าความแปรปรวนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจึงสามารถใช้อธิบายการกระจายของข้อมูลได้เช่นเดียวกัน แต่จะมีรายละเอียดที่แตกต่างกันในประเด็นย่อยๆ บ้าง

ดังนั้นค่าความแปรปรวนของกลุ่มข้อมูล Y คือ

$$S^2, \hat{\sigma}^2 = \frac{(-20)^2 + (20)^2}{5-1} = \frac{(400+400)}{4} = 200$$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มข้อมูล Y คือ

$$\hat{\sigma}, S = \sqrt{200} = 14.142$$

ดังนั้นค่าความแปรปรวนของกลุ่มข้อมูล Z คือ

$$S^2, \hat{\sigma}^2 = \frac{(-20)^2 + (-10)^2 + (10)^2 + (20)^2}{5-1} = \frac{(400) + (100) + (100) + (400)}{4} = 250$$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มข้อมูล Z คือ

$$S, \hat{\sigma} = \sqrt{250} = 15.811$$

จากตัวอย่างที่ผ่านมาจะเห็นว่า เมื่อเราใช้ค่าความแปรปรวน หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นตัววัดค่าการกระจายของข้อมูลกลุ่ม Y และกลุ่ม Z เราจะสามารถเห็นความแตกต่างของค่าการกระจายของข้อมูลสองกลุ่มนี้ได้ในขณะที่เมื่อเราใช้พิสัยในการการวัดเราจะไม่สามารถเห็นความแตกต่างดังกล่าวได้เลย

เมื่อใดจะใช้ค่าพิสัย เมื่อใดจะใช้ค่าความแปรปรวนในการวัดการการกระจาย สิ่งที่จะต้องพิจารณา เสมอก่อนจะเลือกใช้ค่าพิสัยหรือค่าความแปรปรวนในการวัด หรืออธิบายข้อมูล

1) จำนวนข้อมูล ถ้าเรามีข้อมูลน้อยตัวมากเช่น สองหรือสามตัวเท่านั้น ใช้ค่าพิสัย ก็ให้ความถูกต้องมากพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ความแตกต่างของค่า แม้มีจำนวนข้อมูลหลายตัวแต่หากค่าแต่ละค่ามีความใกล้เคียงกันมาก ก็สามารถจะวัดโดยค่าพิสัยได้

3) ถ้ามีข้อมูลหลายตัวควรใช้ค่าความแปรปรวน หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะให้ความถูกต้องมากที่สุด

2.3.3 ทฤษฎีแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลาง (Central Limit Theorem)

ถือเป็นทฤษฎีที่เชื่อมโยงระหว่างการกระจายแบบปกติ (Normal distribution) หรืออีกนัยหนึ่งคือการกระจายของประชากร (Population distribution) กับการกระจายข้อมูลตัวอย่าง (Sampling distribution) และถือเป็นทฤษฎีที่แก้ปัญหาความยุ่งยากซับซ้อนของทฤษฎีต่างๆ ในสาขาสถิติเชิงอนุมาน (Inferential statistics)

ทฤษฎีแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลาง (Central Limit Theorem) อธิบายไว้ว่า "สำหรับประชากรใดๆ แล้วถ้าเก็บตัวอย่างในจำนวนที่มากพอ การกระจายของค่าตัวอย่างดังกล่าวจะมีแนวโน้มใกล้เคียงกับการกระจายแบบปกติ (Normal distribution) เสมอ"

จากข้อความข้างบนหมายความว่า เมื่อเราเก็บตัวอย่างมา แล้วหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และหากเรากระทำเช่นนี้หลายๆ ครั้ง แล้วนำเอา ($\bar{X}$) ที่ได้หลายๆ ค่ามาพล็อตเป็นกราฟการกระจาย เราจะเห็นว่ากราฟที่ได้มีแนวโน้มเป็นการกระจายแบบปกติ (Normal distribution) เสมอ ไม่ว่าประชากรแม่ของข้อมูลตัวอย่างดังกล่าวจะมีการกระจายแบบใดก็ตาม จุดสำคัญของทฤษฎีนี้ มีอยู่ 2 ข้อคือ

1) สามารถใช้ได้กับข้อมูลจากประชากรทุกประเภทการกระจาย ไม่จำกัดว่าจะมีการกระจายแบบปกติ (Normal distribution) เท่านั้น

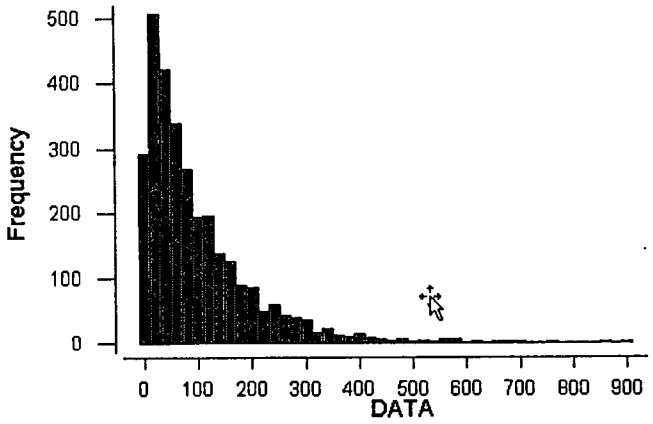
2) จำนวนตัวอย่างที่เก็บมาจะต้องมากพอ นั่นแปลว่า จำนวนตัวอย่างมีผลต่อลักษณะการกระจายตัวของข้อมูล

ตัวอย่างที่ 2.1

มีข้อมูลอยู่ 3,000 ข้อมูลซึ่งมีลักษณะการกระจายเป็นแบบเอ็กโพเนนเชียล (Exponential) ที่มีค่าเฉลี่ย อยู่ที่ 100.00 เมื่อแสดงในรูปแบบการกระจายพล็อตจะได้เป็นดังรูปกราฟด้านล่าง

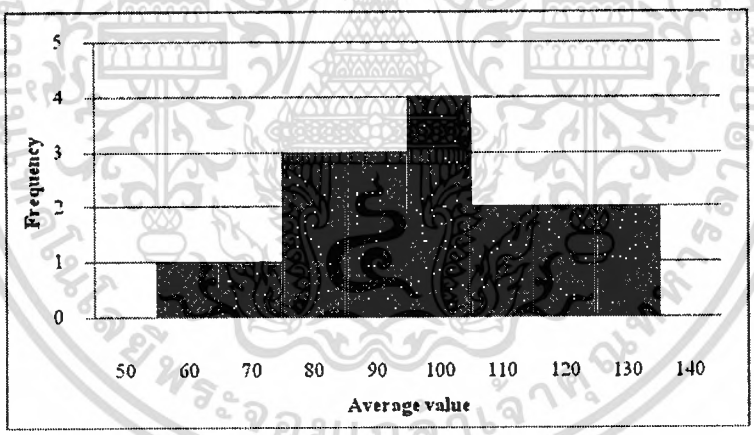
จากข้อมูลทั้งหมดดังกล่าว ทำการสุ่มตัวอย่างมา 10 ตัวอย่าง แล้วคำนวณหาค่า เฉลี่ยของ 10 ตัวอย่างดังกล่าวในทำนองเดียวกัน ได้ทำการสุ่มตัวอย่างซ้ำแบบเดิมทั้งหมด 20 รอบ เราก็จะได้ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างมาทั้งหมด 20 ค่า เมื่อนำทั้ง 20 ค่าเฉลี่ย ดังกล่าวมาทำการพล็อตการกระจายจะได้รูปกราฟด้านล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 พล็อตการกระจายของข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบเอ็กโพเนนเชียล

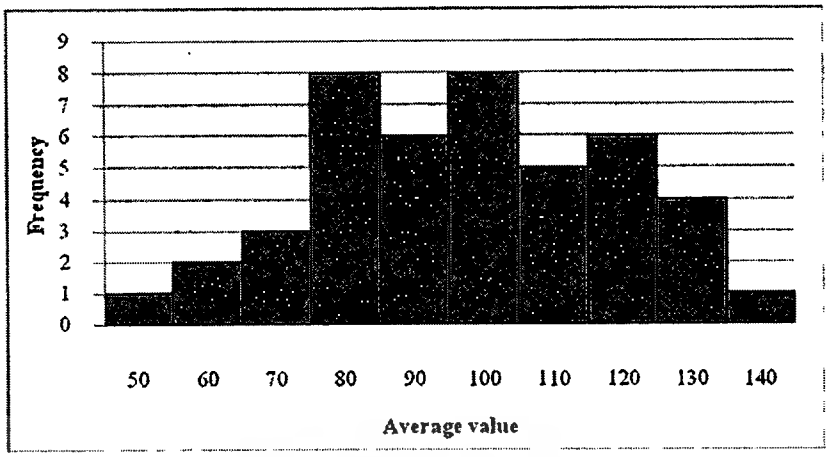
จะเห็นว่าลักษณะการกระจายของค่าเฉลี่ยจะไม่เหมือนลักษณะการกระจายของประชากรแม่เลย คือมีแนวโน้มจะเป็นการกระจายแบบปกติ แต่ค่าเฉลี่ยของข้อมูลใหม่นี้จะยังเท่าเดิมกับค่าของประชากรแม่อยู่ แต่ถ้าเพิ่มจำนวนการเก็บตัวอย่างไปเป็น 40 ครั้ง หรือมีค่าเฉลี่ยของตัวอย่างอยู่ทั้งหมด 40 ค่ากราฟที่ได้จะเป็นดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.6 พล็อตการกระจายของข้อมูลหลังจากสุ่มตัวอย่างมาแล้ว

จะเห็นว่า กราฟที่เกิดจากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจำนวน 40 ค่าเฉลี่ย มีลักษณะการกระจายเป็นแบบปกติอย่างชัดเจนมากขึ้น ซึ่งลักษณะการกระจายของข้อมูลใหม่ จะแตกต่างจากการกระจายของประชากรแม่ ซึ่งเป็นการกระจายแบบเอ็กโพเนนเชียล (Exponential distribution) อย่างสิ้นเชิง แต่ค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งสองชุดกลับมีค่าคงเดิม คือ 100.00 นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 พล็อตการกระจายของข้อมูลหลังจากเพิ่มการสุ่มตัวอย่างขึ้นอีก

การนำทฤษฎีแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลางไปประยุกต์ใช้งาน

ไม่มีข้อบ่งบอกการนำทฤษฎีนี้ไปใช้ เมื่อเกิดเหตุปัญหาใด หรือเมื่อไหร่เราถึงจะใช้ทฤษฎีนี้อย่างชัดเจน แต่พบว่าบางครั้งมีการนำทฤษฎีนี้ไปใช้โดยไม่รู้ตัว เช่น การเพิ่มจำนวนตัวอย่างที่เก็บก็จะมีผลให้ได้ข้อมูล ที่มีการกระจายที่ใกล้เคียงกับการกระจายแบบปกติมากขึ้น หรือเมื่อเราจะต้องใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลประเภทที่ต้องใช้กับการกระจายแบบปกติเท่านั้น แต่เมื่อเก็บตัวอย่างมาแล้วทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลแล้วไม่ผ่าน หรือประชากรแม่ไม่เป็นการกระจายตัวแบบปกติเราก็จะไม่สามารถใช้เครื่องมือวิเคราะห์ประเภทดังกล่าวได้ เราสามารถนำทฤษฎีแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลางดังกล่าวมาใช้ โดยต้องเก็บตัวอย่างหลายๆ รอบ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยแต่ละรอบๆ หลายๆ ครั้ง เราก็จะได้ข้อมูลใหม่เป็นการกระจายแบบปกติ (Normal distribution) ในที่สุด

2.3.4 การทดสอบความเป็นการกระจายแบบปกติ (Normality test)

เมื่อมีการสุ่มตัวอย่างจำนวนหนึ่งออกมาจากประชากรแม่ที่มีการกระจายแบบปกติ (Normal distribution) โดยปกติกลุ่มตัวอย่างดังกล่าวก็จะมีการกระจายเป็นแบบปกติ ตามประชากรแม่ด้วยเช่นกัน แต่นั่นก็ไม่ใช่กฎตายตัว เป็นไปได้ที่ตัวอย่างที่สุ่มออกมาจะมีการกระจายตัวไม่เป็นแบบปกติ (Non-normal distribution) ซึ่งนั่นก็ไม่ใช่ประเด็นปัญหาหากว่าเราไม่ได้นำข้อมูลไปทำการอนุมานกลับไปหาประชากรแม่อีกที เมื่อใดก็ตามที่ต้องการนำข้อมูลของสิ่งตัวอย่างไปทำการอนุมานถึงประชากรแม่ เราจะต้องแน่ใจว่าข้อมูลดังกล่าว มีการกระจายตัวเป็นแบบปกติเสมอ หากไม่เช่นนั่นการทดสอบสมมติฐาน หรือการอนุมาน ด้วยเครื่องมือทางสถิติอื่นๆ ก็จะให้ผลคลาดเคลื่อนตั้งแต่น้อยจนถึงไม่อาจยอมรับได้ ขึ้นอยู่กับลักษณะความไม่เป็นการกระจายแบบปกติ เมื่อเป็นเช่นนี้การทดสอบว่าข้อมูลของสิ่งตัวอย่างที่ได้มานั้นมีการกระจายแบบปกติหรือไม่ จึงเป็นสิ่งที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ ตัวอย่างการทดสอบความเป็นการกระจายแบบปกติมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ทดสอบด้วยพล็อตค่าคอนไทลส์เป็นแบบปกติ (Normal quantiles plot)

คือการพล็อตจุดตัดระหว่างค่าคอนไทลส์กับข้อมูลใดๆ ที่เก็บตัวอย่างมา โดยสมมุติฐานคือ ข้อมูลที่เก็บมาจากประชากรที่มีการกระจายเป็นแบบปกติ (Normal distribution) ก็น่าที่จะได้การกระจายของค่าตัวอย่างเป็นการกระจายแบบปกติด้วยเช่นกัน หากเป็นตามสมมุติฐานดังกล่าว กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวอย่างกับค่า Z จะใกล้เคียงเส้นตรงที่มีความชัน (Slope) เท่ากับ s และจุดตัดบนแกน Y (Intercept) จะเท่ากับ m นั่นแปลว่าจุดตัดของแนวเส้นบนแกน Y คือค่าเฉลี่ยของค่าตัวอย่างนั้นด้วย

สมมุติว่า $i = 1, 2, 3 \ldots\ldots n$ เป็นค่าอันดับของข้อมูล หลังจากเรียงลำดับค่าจากน้อยไปมากแล้วค่าตัวอย่างคอนไทลส์ (Sample quantiles) ของข้อมูลหาได้จากสมการที่ (2.4)

$$(i-0.5)/n \qquad (2.4)$$

ตารางที่ 2.5 ข้อมูลแสดงส่วนกลับของค่าตัวอย่างคอนไทลส์ (Normal Z-quantiles)

Order(i)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Data	24.46	25.61	26.25	26.42	26.66	27.15	27.31	27.54	27.74	27.94
Sample quantile	0.025	0.075	0.125	0.175	0.225	0.275	0.325	0.375	0.425	0.475
Z-quantile	-1.96	-1.44	-1.15	-0.93	-0.76	-0.6	-0.45	-0.32	-0.19	-0.06

ตารางที่ 2.5 ข้อมูลแสดงส่วนกลับของค่าตัวอย่างคอนไทลส์ (Normal Z-quantiles) (ต่อ)

Order(i)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Data	27.98	28.04	28.28	28.49	28.5	28.87	29.11	29.13	29.5	30.88
Sample quantile	0.525	0.575	0.625	0.675	0.73	0.775	0.825	0.875	0.93	0.975
Z-quantile	0.063	0.189	0.319	0.454	0.6	0.755	0.935	1.15	1.44	1.96

ขั้นตอนการทดสอบพล็อตค่าคอนไทลส์เป็นแบบปกติ (Normal quantile plot)

(1) เรียงอันดับข้อมูลที่มีอยู่จากน้อยไปหามาก (Sort the data)

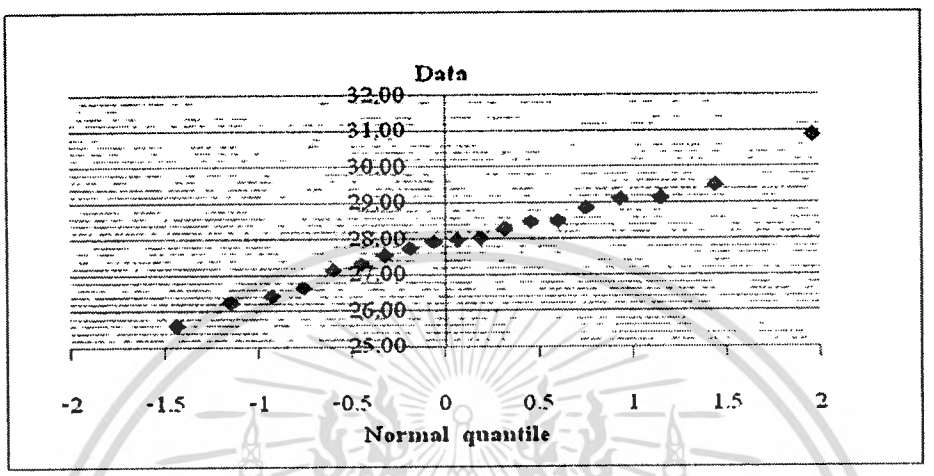
(2) คำนวณหาค่าตัวอย่างคอนไทลส์ (Sample quantiles) จากสมการที่ (2.4)

(3) ค่าตัวอย่างคอนไทลส์ที่ได้ตามข้อ 2 นี้คือ ค่าพื้นที่ใต้กราฟของการกระจายตัวแบบปกติ (Standard normal distribution) นั่นเอง นำค่าตัวอย่างคอนไทลส์ดังกล่าวไปหาค่า Z-quantiles โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

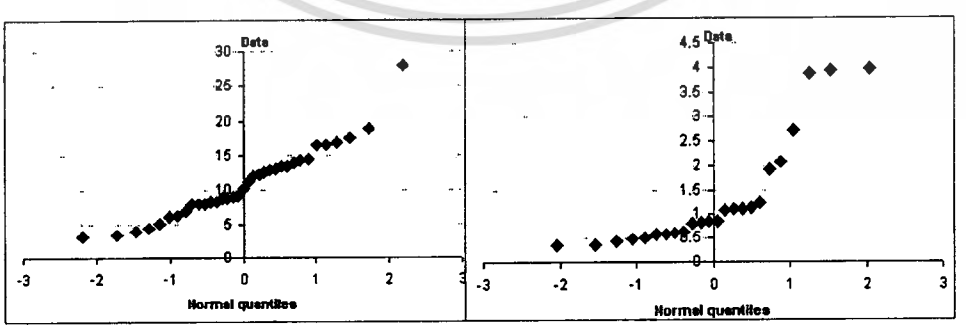
สามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานเกี่ยวกับสถิติโดยเลือกโหมด Inverse cumulative probability

(4) ใช้พล็อตการกระจายตัว (Scatter plot) เพื่อแสดงจุดตัด ของค่าข้อมูล (แกน Y) กับค่าคอนไตลส์ (แกน X) จะได้ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 พล็อตการกระจายตัวของข้อมูล

จากกราฟลักษณะการเรียงตัวของจุดตัดเป็นเส้นตรงแสดงว่าข้อมูล (Data) เป็นการกระจายแบบปกติ (Normal distribution) การทดสอบข้อมูลตัวอย่างที่เก็บมาจากประชากรว่ามีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ นับว่ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ด้วยเพราะถ้าข้อมูลไม่เป็นการกระจายแบบปกติแล้วเราไม่สามารถใช้ค่า σ และ μ ในการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ได้ เพราะถือว่าผิดข้อกำหนดของการกระจายแบบปกติ (Normal distribution) กรณีที่ข้อมูลตัวอย่างไม่เป็นการกระจายแบบปกติลักษณะของกราฟที่ได้จะเป็นดังตัวอย่างต่อไปนี้ โดยมีข้อสังเกตคือ แนวของจุดตัดจะไม่เป็นเส้นตรง นั่นเอง



(ก) (ข)

รูปที่ 2.9 พล็อตการกระจายตัวของข้อมูลที่ไม่เป็นการกระจายแบบปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ทดสอบด้วยพล็อตค่าความน่าจะเป็น (Probability plot)

เป็นวิธีที่คล้ายกับการทดสอบแบบพล็อตค่าคอนไตลส์ (Normal quantile plot) ต่างกันคือไม่มีการพล็อตเทียบกับค่า *Z*-quantiles แต่จะพล็อตค่าความน่าจะเป็นแทนมีขั้นตอนการทำดังนี้

(1) เมื่อได้ข้อมูลมาจะต้องทำการเรียงลำดับของค่าข้อมูลจากน้อยไปหามาก

(2) ใส่หมายเลขกำกับ (Rank: *i*) ตั้งแต่ 1, 2, 3.....n

(3) คำนวณหาค่าความน่าจะของข้อมูลตามสมการที่ (2.5)

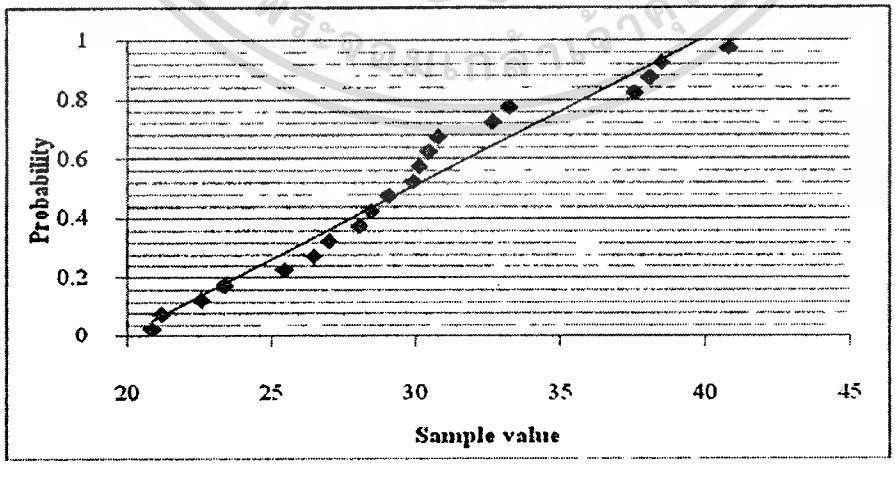
$$p = (i - 0.5)/n \tag{2.5}$$

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างของข้อมูล

Data (1)	30.47	25.48	33.25	38.51	38.11	40.84	20.86	30.81	37.58	26.46
Data (2)	28.48	23.38	22.58	27.01	28.06	21.20	29.10	29.94	32.69	30.14

ตารางที่ 2.7 ลำดับข้อมูลและค่าความน่าจะเป็นของข้อมูล

Rank	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Data (sorted)	20.86	21.20	22.58	23.38	25.48	26.46	27.01	28.06	28.48	29.10
Prob.	0.025	0.075	0.125	0.175	0.225	0.275	0.325	0.375	0.425	0.475
Rank	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Data (sorted)	29.94	30.14	30.47	30.81	32.69	33.25	37.58	38.11	38.51	40.84
Prob.	0.525	0.575	0.625	0.675	0.725	0.775	0.825	0.875	0.925	0.975

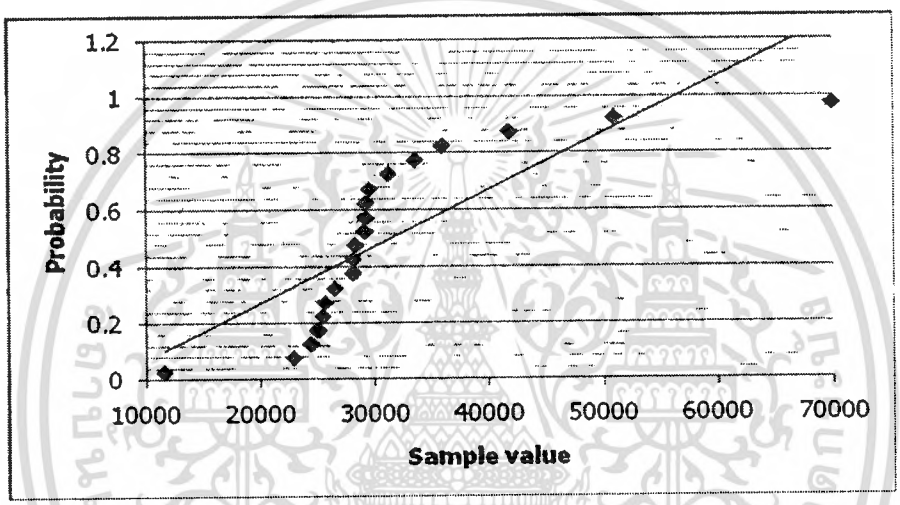


รูปที่ 2.10 พล็อตค่าความน่าจะเป็นของข้อมูลเปรียบเทียบกับลำดับข้อมูล

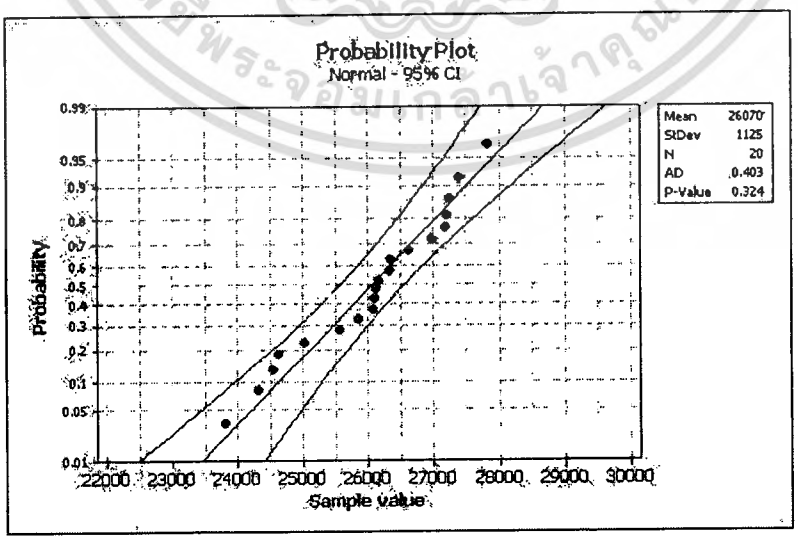
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) พล็อตการกระจายของข้อมูล (Scatter plot) ระหว่างค่าความน่าจะเป็นและข้อมูลที่ได้เรียงอันดับเรียบร้อยแล้ว โดยให้แสดงเส้นตรงด้วย

5) แปลความหมายโดยมีหลักว่า ถ้าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ (Normal distribution) แล้ว จุดตัดจะเรียงตัวกันเป็นแนวเส้นตรง และลักษณะการเกิดจุดจะต้องไม่กระจุกเป็นกลุ่มๆ และความห่างระหว่างจุดแต่ละจุดต้องใกล้เคียงกันเป็นส่วนใหญ่ แต่แน่นอนว่าค่าจะมีการอยู่ห่างจากเส้นมากน้อยแตกต่างกันไปบ้าง แล้วเท่าไหร่ถึงจะถือว่าไม่สามารถยอมรับได้ว่าเป็นการกระจายแบบปกติ ก็ให้ทำการประมาณการตามสมควร อย่างในตัวอย่างรูปที่ 2.10 นี้ก็พอจะประมาณว่าเป็นการกระจายแบบปกติได้



รูปที่ 2.11 พล็อตค่าความน่าจะเป็นแสดงข้อมูลที่ไม่เป็นการกระจายแบบปกติ



รูปที่ 2.12 ใช้โปรแกรมมินิแท็บทดสอบ Normality test (P-value = 0.324)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าวิธีการทดสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูล ที่แสดงผลโดยพล็อตการกระจายตัวของข้อมูล สามารถช่วยให้เราตัดสินใจได้ว่า ข้อมูลที่เราเก็บตัวอย่างมี จะมีการกระจายแบบปกติหรือไม่ เราเรียกการตัดสินใจด้วยผลแสดงด้วยกราฟว่า เชิงคุณภาพ (Qualitative) ซึ่งก็ให้ผลที่ถูกต้องได้เช่นกัน แต่บางครั้งการตัดสินใจต้องการความแม่นยำ เราจำเป็นต้องเห็นข้อมูลเชิงปริมาณ ช่วยในการตัดสินใจ เราจำเป็นต้องใช้โปรแกรมที่ออกแบบมาใช้สำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติโดยตรง เมื่อใช้โปรแกรมมินิแท็บจะให้ผลดังนี้

โปรแกรมมินิแท็บ จะให้ค่า P-Value ซึ่งเป็นการสรุปผลการทดสอบสมมติฐานที่ว่า

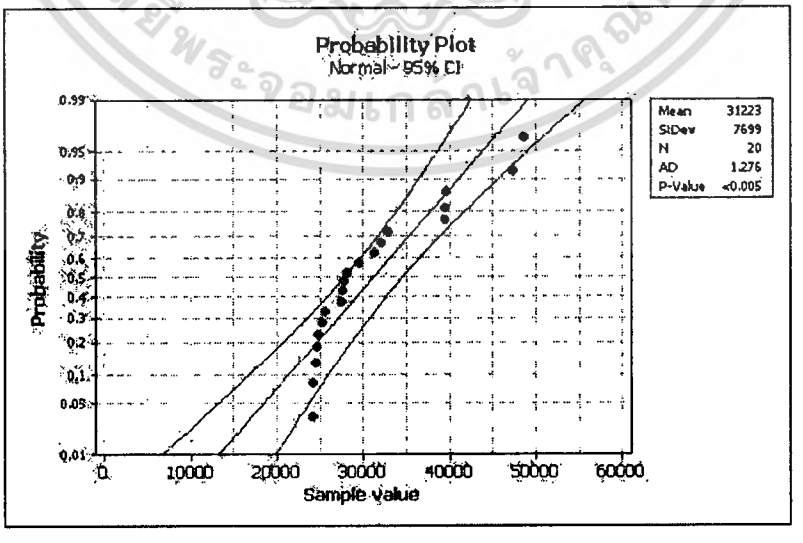
H_0: ข้อมูลมีการกระจายเป็นแบบปกติ (Normal distributed)

H_a: ข้อมูลไม่มีการกระจายเป็นแบบปกติ (Non-normal distributed)

ถ้าเรายอมรับความผิดพลาดที่ 5 % ($a = 0.05$) เมื่อ P-Value $> a$ เราจึงยอมรับสมมติฐาน H_0: ข้อมูลมีการกระจายเป็นแบบปกติ

ถ้าเรายอมรับความผิดพลาดที่ 5 % ($a = 0.05$) เมื่อ P-Value $< a$ เราจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0: ข้อมูลมีการกระจายเป็นแบบปกติ หรือยอมรับ H_a: ข้อมูลไม่มีการกระจายเป็นแบบปกติ

จะเห็นว่าโปรแกรมมินิแท็บจะเพิ่มส่วนที่เป็นการวิเคราะห์หรือพิสูจน์ในเชิงปริมาณหรือตัวเลขเพิ่มขึ้นมา เพื่อให้ง่ายในการตัดสินใจ แต่ถึงอย่างไรก็ตาม การที่เราจะทำการตรวจสอบข้อมูลเราจะต้องวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเชิงคุณภาพด้วย เช่น ถ้าไม่เป็นการกระจายแบบปกติแล้ว เพราะอะไรทำให้เราสามารถที่จะย้อนกลับมาดูว่า เราจะต้องแก้ไขวิธีเก็บข้อมูล หรือจะทำอย่างไรถึงจะได้ข้อมูลที่เป็นการกระจายแบบปกติ จากรูปที่ 2.12 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีการกระจายเป็นแบบปกติ (P-value>0.005) เมื่อเทียบกับในรูปที่ 2.13 ค่าที่ได้แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายไม่เป็นแบบปกติ (P-value<0.005)



รูปที่ 2.13 ใช้โปรแกรมมินิแท็บทดสอบ Normality test (P-value<0.005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

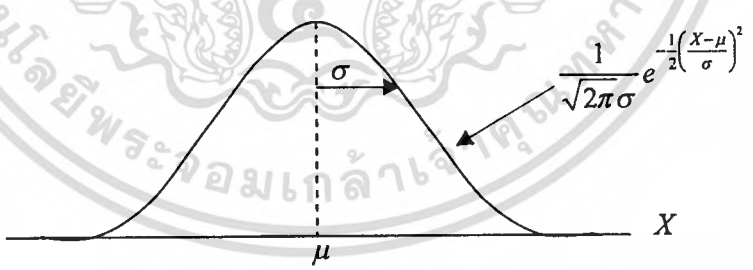
2.3.5 การแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution)

ในการอนุมานคุณสมบัติเชิงสถิติของกระบวนการนั้น ภายหลังจากการอนุมาน คือแทนค่าของกระบวนการด้วยค่าเฉลี่ย และความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติของกระบวนการแล้ว จะต้องทำการอนุมานรูปทรงที่แสดงการแจกแจงของกระบวนการซึ่งมีลักษณะกระจายแบบสุ่มรอบค่ากลางในลักษณะสมมาตร ซึ่งทางสถิติจะเรียกรูปทรงดังกล่าวว่า รูปทรงปกติ (Normal shape) หรือรูปทรงระฆังคว่ำ (Bell shape) โดยการอนุมานนี้จะอาศัยกฎแห่งโอกาส (Low of chance) ในรูปของความน่าจะเป็น (Probability) ดังนั้นจะถือว่ารูปทรงดังกล่าวนี้เป็นการแจกแจงของความน่าจะเป็น (Probability distribution) และจะเรียกรูปทรงที่อนุมานการแจกแจงของกระบวนการภายใต้สาเหตุความผันแปรโดยธรรมชาตินี้ว่า การแจกแจงของความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal probability distribution)

ถ้าให้ X เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงของความน่าจะเป็นแบบปกติแล้ว จะเรียก X ว่าตัวแปรสุ่มแบบปกติ โดยมีค่าเฉลี่ย μ $(-\infty < \mu > \infty)$ และความแปรปรวน σ^2 $(\sigma^2 > 0)$ ซึ่งมีฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น (Probability density function: pdf) ดังนี้

$$f(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{X-\mu}{\sigma}\right)^2}; -\infty < X > \infty \qquad (2.6)$$

และสามารถเขียนได้ด้วยสัญลักษณ์ $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มแบบปกติ

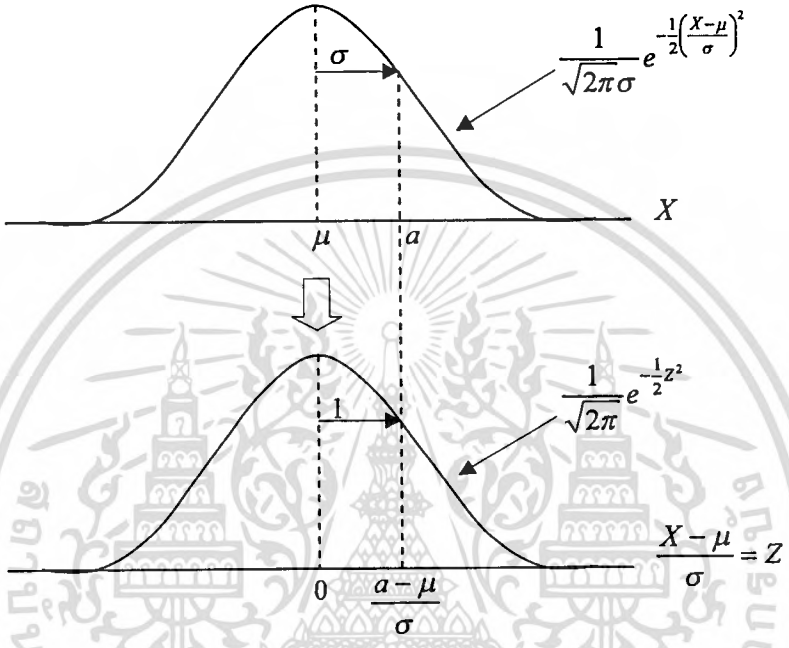
1) การแปลงตัวแปรสุ่มให้เป็นแบบปกติมาตรฐาน (Z)

ในการศึกษาถึงคุณสมบัติเชิงสถิติของตัวแปรสุ่มแบบปกตินี้ จะต้องอาศัยค่าความน่าจะเป็นหมายถึง พื้นที่ใต้เส้นโค้งของการแจกแจง ซึ่งสามารถหาได้จากการอินทิเกรตฟังก์ชันของการแจกแจงความหนาแน่นความน่าจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P(X > a) = \int_{a}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{X-\mu}{\sigma}\right)^2} dX \qquad (2.7)$$

เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาความยุ่งยากทางคณิตศาสตร์ดังกล่าว จะดำเนินการได้ด้วยการแปลงฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นเพื่อให้ $\mu = 0$ และ $\sigma = 1$ ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การแปลงตัวแปรสุ่มให้เป็นแบบปกติมาตฐาน (Z)

เมื่อแปลงตัวแปรสุ่มปกติ X ให้เป็นตัวแปรสุ่มปกติมาตรฐาน (Z) แล้วจะสามารถหาพื้นที่ใต้เส้นโค้งของการแจกแจงได้ง่ายกว่าเดิม เช่น

$$P\left[Z > \frac{a-\mu}{\sigma}\right] = \int_{\frac{a-\mu}{\sigma}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}Z^2} dZ \qquad (2.8)$$

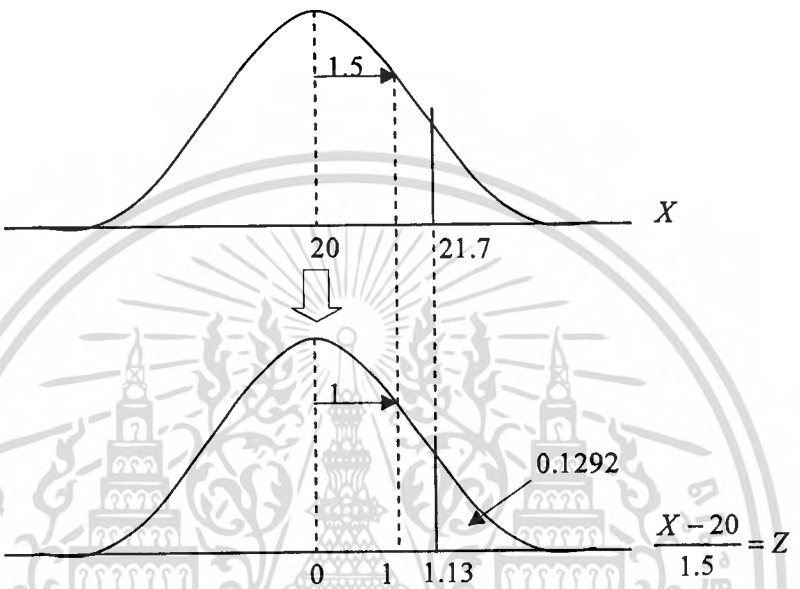
โดยการอินทิเกรตข้างบนหมายถึงความน่าจะเป็นที่ตัวแปรสุ่ม X จะมีค่าไม่ต่ำกว่า a ดังสมการข้างต้น แสดงไว้ในตารางที่ 1 ของภาคผนวก ดังนั้นในการศึกษาถึงคุณสมบัติทางสถิติของตัวแปรสุ่มแบบปกตินี้ จึงมีความจำเป็นต้องแปลงตัวแปรสุ่ม X เป็นตัวแปรสุ่ม Z แล้วอ่านค่าความน่าจะเป็นจากตารางที่ 1 ของภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 2.2

ถ้า $X \sim N(20,1.5^2)$ แล้วให้หาค่าความน่าจะเป็นที่ข้อมูล X จะมีค่ามากกว่า 21.7

ในการหาค่าความน่าจะเป็นให้ดำเนินการด้วยการแปลงข้อมูลให้เป็นค่า Z โดยการเปลี่ยนค่า μ จาก 20 เป็น 0 และค่า σ^2 จาก 1.5^2 ให้เป็น 1 ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การแปลงตัวแปรสุ่มให้เป็นแบบปกติมาตรฐาน (Z)

จากตารางที่ 1 ของภาคผนวก อ่านค่า Z_α ที่แถว 1.1 และให้อ่านค่าภายใต้สดมภ์ 0.03 ได้ค่า 0.1292 แสดงว่า

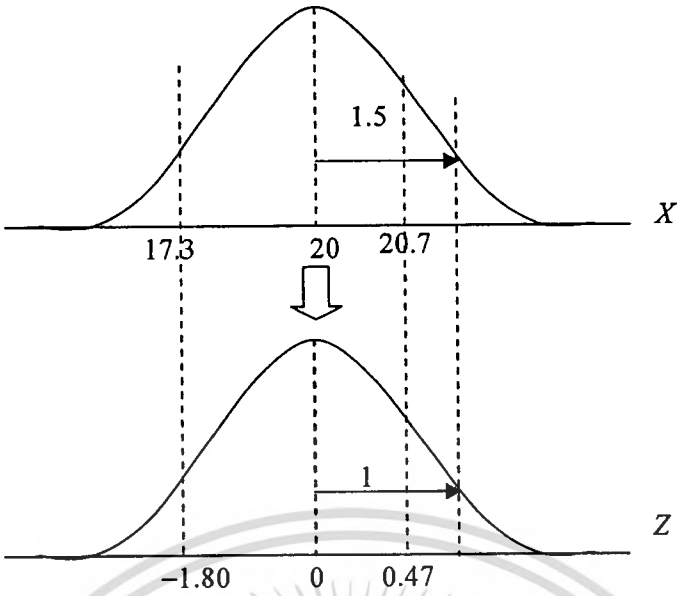
$$P(X > 21.7) = P(Z > 1.13)$$
$$= 0.1222$$

ตัวอย่างที่ 2.3

ถ้า $X \sim N(20,1.5^2)$ แล้วให้หาค่าความน่าจะเป็นที่ข้อมูล X จะมีค่าระหว่าง 17.3 ถึง 20.7

ในทำนองเดียวกับตัวอย่างที่ 2.2 ที่ให้เริ่มต้นด้วยการแปลงข้อมูลให้เป็นค่า Z โดยการเปลี่ยนค่า μ จาก 20 ให้เป็น 0 และการแปลงค่า σ^2 จาก 1.5^2 ให้เป็น 1 ดังรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 การแปลงตัวแปรสุ่มให้เป็นแบบปกติมาตรฐาน (Z)

จากตารางที่ 1 ของภาคผนวกอ่านค่า Z_α ที่แถว 0.4 ภายใต้สดมภ์ 0.07 ได้ค่าความน่าจะเป็น $P(Z > 0.47) = 0.3192$ และอ่านค่า Z_α ที่แถว 1.8 ภายใต้สดมภ์ 0.00 ได้ค่าความน่าจะเป็น $P(Z > 1.80) = 0.03593$ แต่โดยที่รูปทรงแบบปกติมาตรฐานมีความสมมาตรรอบค่า 0 ดังนั้น $P(Z > 1.80) = P(Z < -1.80)$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} P(17.3 < X < 20.7) &= P(-1.80 < Z < 0.47) \\ &= 1 - P(Z < -1.80) - P(Z > 0.47) \\ &= 1 - 0.03593 - 0.3192 \\ &= 0.64487 \end{aligned}$$

2.4 การควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติ (SPC: Statistical Process Control)

2.4.1 แนวความคิดการควบคุมกระบวนการ

การควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตรวจสอบติดตามเฝ้าดู และปรับปรุงกระบวนการใดๆ ที่เราสนใจ ช่วยป้องกันเหตุการณ์ที่คาดไม่ถึงที่อาจจะเกิดขึ้นกับกระบวนการ และสามารถบอกสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหากับกระบวนการได้ ทำให้สามารถป้องกันและแก้ไขปัญหาได้ทันที ในการจัดการด้านคุณภาพที่ดีนั้น นอกเหนือจากการดำเนินการควบคุมคุณภาพเพื่อรักษาระดับคุณภาพให้อยู่ในสภาวะที่มีเสถียรภาพแล้ว ยังมีความจำเป็นต้องดำเนินการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่องเพื่อรองรับต่อความต้องการของลูกค้าที่เปลี่ยนแปลงไปเสมอทั้งด้านคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ต้นทุนในการผลิต หรือความมีประสิทธิภาพของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการผลิต และเวลาในการส่งมอบผลิตภัณฑ์ให้กับลูกค้า โดยกลไกสำคัญที่ผลักดันให้เกิดการปรับปรุงคุณภาพนี้ นอกเหนือจากความต้องการของลูกค้าแล้ว ยังมีผลมาจากความสำเร็จในการปรับปรุงคุณภาพขององค์กรคู่แข่งทางธุรกิจด้วย

อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงคุณภาพจะต้องดำเนินการจากการที่ต้องประเมินผลถึงความสามารถของกระบวนการที่เป็นอยู่ในปัจจุบันก่อนเพื่อการพิจารณาว่ามีการควบคุมกระบวนการดีหรือไม่ (หรือเป็นการพิจารณาว่ากระบวนการอยู่ในสภาวะที่มีเสถียรภาพหรือไม่) แล้วจึงพิจารณาถึงระดับความสามารถของกระบวนการทั้งความสามารถเชิงปริมาณ (Capacity) และความสามารถเชิงคุณภาพ (Capability) และเมื่อทราบความสามารถของกระบวนการแล้วจึงทำการกำหนดถึงแนวทาง (approach) และโครงการ (project) ที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงคุณภาพต่อไป [2]

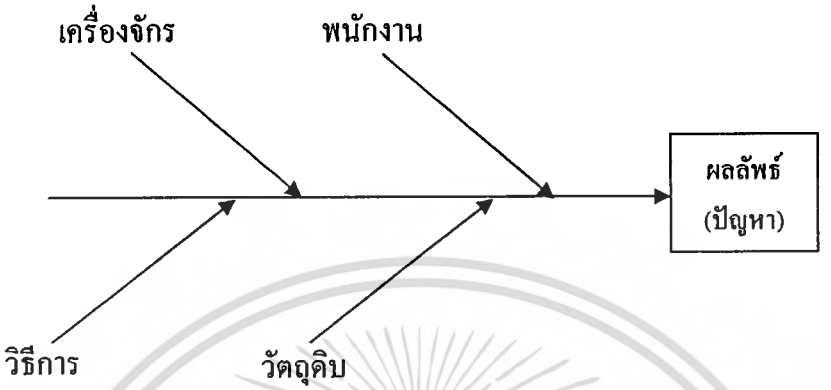
กระบวนการโดยทั่วไปแล้วมีความหมาย คือเป็นการเชื่อมต่อกันอย่างเป็นระบบของกิจกรรมต่างๆ ที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ตรงกับความต้องการ การควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิตินั้นได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ในกลุ่มงานอุตสาหกรรม รวมทั้งกลุ่มงานอื่นๆ ก็เพื่อที่จะให้เกิดการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต และสิ่งสำคัญเพื่อให้ผลิตภัณฑ์เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า การควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติสามารถช่วยควบคุมผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องหรือของเสียได้ด้วยเช่นกัน ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการสามารถวัดได้ด้วยดัชนีวัดความสามารถทำให้ทราบสมรรถนะที่แท้จริง และคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ ดัชนีความสามารถของกระบวนการจะช่วยในการปรับปรุงพัฒนาและยังสามารถคาดการณ์ถึงสมรรถนะของกระบวนการ สิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาในการควบคุมกระบวนการผลิต กระบวนการที่จะทำการปรับปรุงอาจจะเป็นผลิตภัณฑ์ หรือปัญหาก็ได้ สภาวะของกระบวนการที่อยู่ภายใต้สภาวะควบคุมซึ่งสามารถตรวจสอบโดยใช้แผนภูมิควบคุม หรือชาร์ตพาเรโต ความสามารถของกระบวนการ และความผันแปรของกระบวนการที่เกิดขึ้นนั้นจะเป็นไปตามธรรมชาติ หรือเป็นความผันแปรที่ผิดธรรมชาติ ทั้งหมดมีผลกับการควบคุมกระบวนการ [3] จะให้นิยามในความหมายของคุณสมบัติเฉพาะที่จะต้องศึกษาการวัดผลหรือการประเมินผล ภายใต้นิยามเหล่านี้จะมีคำสำคัญๆ อยู่ 4 คำด้วยกันคือ กระบวนการ สภาวะภายใต้การควบคุม ความสามารถ และความผันแปร ได้ให้รายละเอียดเพิ่มเติมดังนี้

1) กระบวนการ (Process)

กระบวนการหมายถึงการเชื่อมต่อกันอย่างเป็นระบบของกิจกรรม (a systematic series of the activity) ต่างๆ ที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ตรงกับความต้องการของลูกค้า เรียกผลลัพธ์นี้ว่า "ผลิตภัณฑ์" แต่ในที่นี้เราจะพิจารณาความหมายของกระบวนการในรูปของ ระบบของสาเหตุ (Causes system) ดังแสดงในรูปที่ 2.18 ระบบของกิจกรรมที่ทำให้เกิดกระบวนการอาจจะคล้ายกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

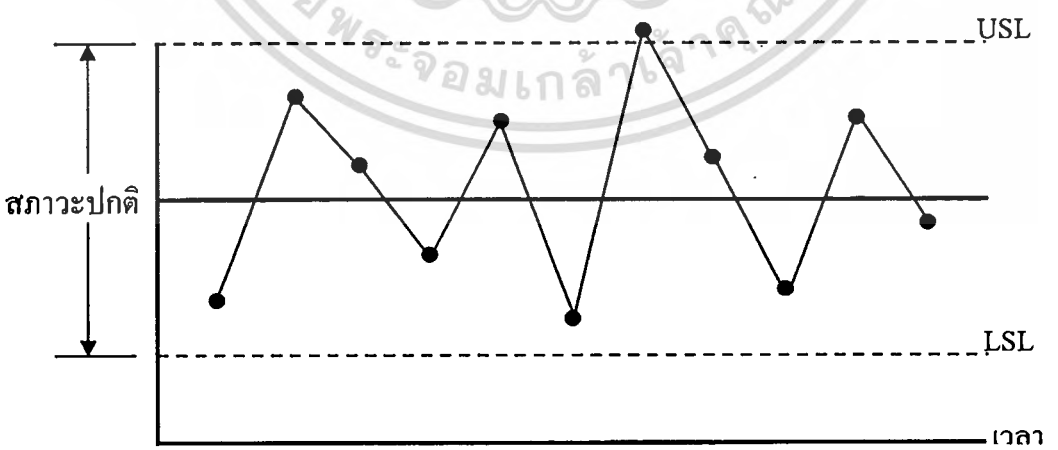
ระบบก้างปลา (Fishbone diagram) ดังนั้นก่อนการศึกษาความสามารถของกระบวนการจะต้องทำความเข้าใจก่อนเสมอว่าปัญหาที่ต้องการจะทำการแก้ไข หรือการปรับปรุงคุณภาพคืออะไร? และปัญหาดังกล่าวน่าจะมีสาเหตุมาจากอะไร?



รูปที่ 2.18 ความหมายของกระบวนการ

2) สภาวะภายใต้การควบคุม (In statistical control)

สภาวะที่อยู่ภายใต้การควบคุมนี้หมายถึงสภาวะ (เงื่อนไขของปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการผลิต) ที่อยู่ภายใต้สภาพปกติ (Regular) ไม่ใช่อยู่ภายใต้สภาวะของการทดลอง (Laboratory conditions) หรือภายใต้สภาวะที่ไม่เป็นไปตามสภาวะที่เคยเป็นมาก่อน และการพิจารณาว่ากระบวนการที่ศึกษาความสามารถนั้นอยู่ภายนอกสภาวะการควบคุมหรือไม่ ก็สามารถทวนสอบได้ด้วยแผนภูมิควบคุมดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 โครงสร้างของแผนภูมิควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการที่อยู่ภายใต้การควบคุมนี้ อาจจะได้รับการนิยามในความหมายอื่นๆ ได้อีกเช่น สภาวะเสถียรภาพ (Stability) สภาวะปฏิบัติงาน (Under operating conditions) สภาวะโดยปกติ (Normal condition) ฯลฯ และภายใต้สภาวะดังกล่าวนี้ กระบวนการจะมีคุณสมบัติที่สำคัญต่อการศึกษาความสามารถของกระบวนการอย่างมากคือคุณสมบัติของตัวแบบที่สามารถคาดการณ์ (Predictable pattern) ได้ ดังนั้น ก่อนการศึกษาความสามารถของกระบวนการ จะต้องทำความเข้าใจก่อนเสมอว่าปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถของกระบวนการนั้นจะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขอะไรที่ถือว่าเป็นเงื่อนไขในสภาพปกติ หรือเงื่อนไขภายใต้สภาวะควบคุม

3) ความสามารถ (Capability)

ความสามารถในที่นี้จะหมายถึงความสามารถในเชิงแข่งขัน (Competence) ที่ขึ้นอยู่กับสมรรถนะของกระบวนการที่ได้รับการทดสอบ (Tested performance) เพื่อให้บรรลุตามผลลัพธ์ที่สามารถวัดได้ (Measureable results) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในกระบวนการผลิตมักจะทำการวัดค่าของคุณสมบัติในเชิงกายภาพที่อาจกำหนดเป็นเชิงกล เชิงไฟฟ้า ฯลฯ อาจจะจำแนกความสามารถออกเป็นความสามารถโดยธรรมชาติ (Inherent capability) และความสามารถที่ได้รับการวัด (Measured capability) โดยที่ความสามารถโดยธรรมชาติ หมายถึงความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลผลิตจากกระบวนการที่ทำการศึกษาภายใต้สภาวะควบคุม ส่วนความสามารถที่ได้รับการวัดหมายถึงค่าความสามารถของกระบวนการที่ได้รับการประเมินผลผ่านข้อมูลที่ได้มาจากการกำหนดตัวเลขให้กับคุณลักษณะที่สนใจของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการที่ศึกษา

4) ความผันแปร (Variability)

กระบวนการใดๆ ก็ตามจะอยู่ภายใต้ความผันแปรโดยธรรมชาติเสมอ และความแตกต่างหรือความผันแปรที่ได้จากกระบวนการอาจจะประกอบด้วยความผันแปรที่ผิดธรรมชาติอีกด้วย ถ้ากระบวนการดังกล่าวอยู่ภายนอกการควบคุม ดังนั้นภายใต้การควบคุมกระบวนการ ผู้ดำเนินการจะต้องทำให้ความผันแปรของกระบวนการเป็นไปโดยธรรมชาติก่อนเสมอ (ที่เรียกว่า ภายใต้สภาวะควบคุม) และความผันแปรโดยธรรมชาตินี้ ยังแบ่งออกเป็นอีก 2 กรณีคือ

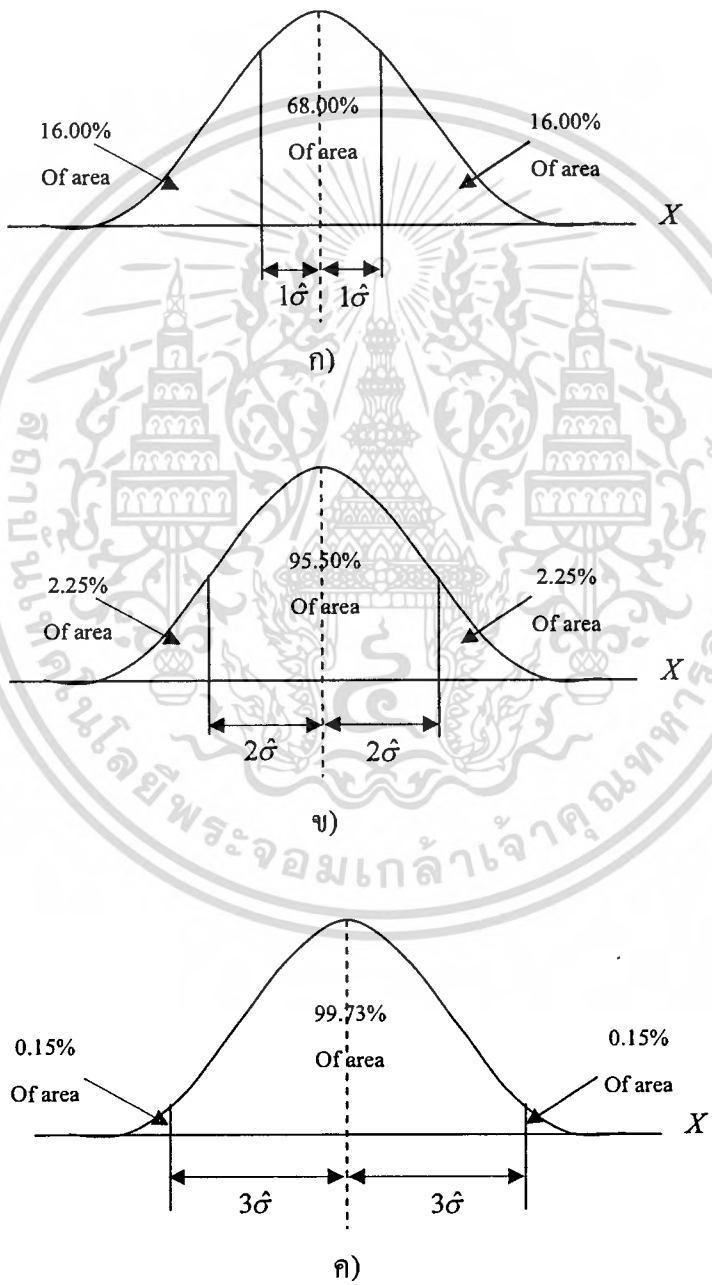
- ความผันแปรโดยธรรมชาติในระยะสั้นๆ (Short term variability) หมายถึงความผันแปรจากสาเหตุโดยธรรมชาติของกระบวนการที่เป็นผลจากการออกแบบกระบวนการ และถ้าต้องการจะลดความผันแปรประเภทนี้ลงได้ จะต้องดำเนินการผ่านการออกแบบใหม่สำหรับกระบวนการ

- ความผันแปรโดยธรรมชาติในระยะยาว (Long term variability) หมายถึงความผันแปรตลอดช่วงเวลา (Over the time) ที่กระบวนการได้รับการดำเนินการ แสดงว่าความผัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปรประเภทนี้เป็นผลจากการควบคุมกระบวนการ และถ้าต้องการจะลดความผันแปรประเภทนี้ลง จะต้องดำเนินการแก้ไขมาตราฐานของการควบคุมสำหรับกระบวนการเสียใหม่

วัตถุประสงค์สถิติในการควบคุมกระบวนการผลิตเพื่อทำการปรับปรุงและการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ โดยพิจารณากระบวนการที่สภาวะที่มีเสถียรภาพ หรือได้รับการควบคุม



รูปที่ 2.20 มาตรฐานการควบคุมกระบวนการ แต่ละระดับคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเวลาผ่านไปข้อมูลที่ได้จากการวัดจะมีการกระจายแบบปกติ (Normal distribution) ทำให้สามารถกำหนดเส้นพิกัดควบคุมกระบวนการได้จากกลุ่มตัวอย่างที่เก็บมาได้ ยกตัวอย่างเช่น การกำหนดเส้นพิกัดควบคุม (Specification limit) ของกระบวนการเมื่อกลุ่มตัวอย่างที่ได้นำมาหาค่าทางสถิติสมมติฐานในการสุ่มกลุ่มข้อมูลหรือตัวแปรแบบสุ่มจะมีการกระจายเป็นแบบปกติ จากรูปที่ 2.20 ก) เป็นการกำหนดพิกัดควบคุมที่ระดับคุณภาพที่หนึ่งเท่าของความเบี่ยงเบนมาตรฐาน "1σ" (Standard deviation) ของกลุ่มข้อมูลที่ได้สุ่มมา ผลก็คือจะทำให้ได้ความเชื่อมั่นที่ 0.6800 ของพื้นที่ใต้กราฟหรือ 68.00% การยอมรับกลุ่มข้อมูลที่ได้สุ่มมา และที่เหลือก็จะเป็นของเสีย (Defect) ในรูปที่ 2.20 ข) เป็นการกำหนดพิกัดควบคุมที่ระดับคุณภาพที่สองเท่าของความเบี่ยงเบนมาตรฐาน "2σ" กับกลุ่มข้อมูลที่ได้สุ่มมาจะได้ความเชื่อมั่นที่ 0.9550 ของพื้นที่ใต้กราฟหรือ 95.50% การยอมรับกลุ่มข้อมูลที่ได้สุ่มมา และที่เหลือก็จะเป็นของเสียที่เกิดขึ้นกับกระบวนการประมาณ 4.50% เมื่อกำหนดพิกัดควบคุมทั้งสองข้างของกระบวนการคือกำหนดพิกัดควบคุมด้านบน และกำหนดพิกัดควบคุมด้านล่าง แน่นอนที่ระดับคุณภาพที่สามเท่าของความเบี่ยงเบนมาตฐาน "3σ" เป็นที่นิยมใช้ในการกำหนดควบคุมกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม แสดงในรูปที่ 2.20 ค) จะให้ระดับช่วงความเชื่อมั่น (Confidence interval) ที่ 99.73%

โดยเป็นการควบคุมกระบวนการผลิตด้วยวิธีการทางสถิติ ทั้งนี้กลุ่มของข้อมูลจะต้องมีความแปรปรวนโดยธรรมชาติ จึงจะทำให้การสุ่มตัวอย่างมีการกระจายตัวเป็นแบบปกติ และกระบวนการมีความเสถียรภาพ หรืออยู่ในสภาวะที่สามารถควบคุมได้ ทำการเขียนเป็นสมการกำหนดพิกัดควบคุมกระบวนการดังสมการด้านล่างนี้

$$USL = \bar{X} + A\hat{\sigma} \tag{2.9}$$

$$CL = \bar{X} \tag{2.10}$$

$$LSL = \bar{X} - A\hat{\sigma} \tag{2.11}$$

USL = กำหนดพิกัดควบคุมด้านบน

CL = ค่ากลางของพิกัดควบคุม

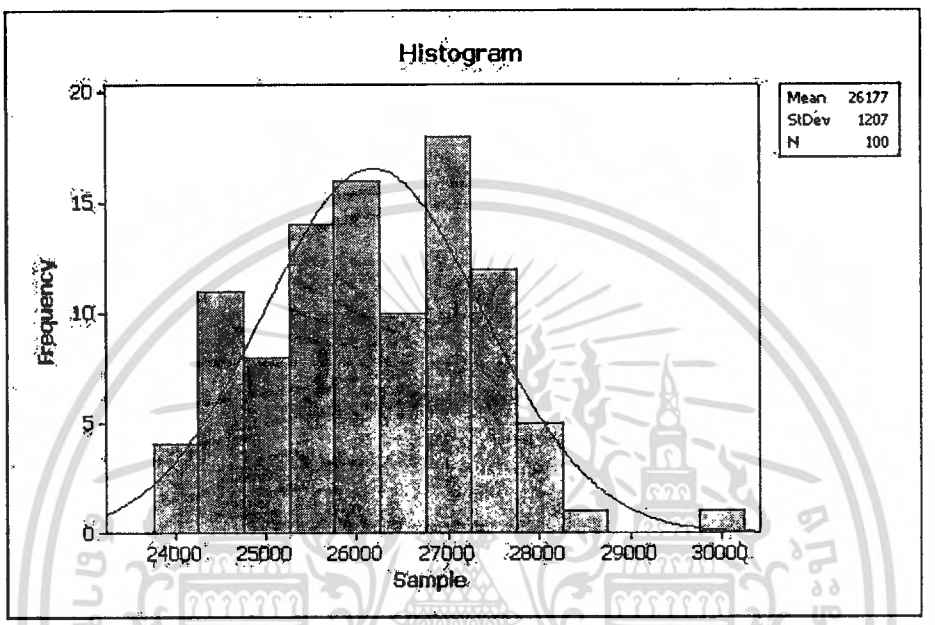
LSL = กำหนดพิกัดควบคุมด้านล่าง

เมื่อ A เป็นค่าคงตัวใดๆ ที่สามารถปรับเปลี่ยนตามการสร้างแผนภูมิควบคุมกระบวนการหรือเปลี่ยนตามกลุ่มตัวอย่างในการสุ่มข้อมูล

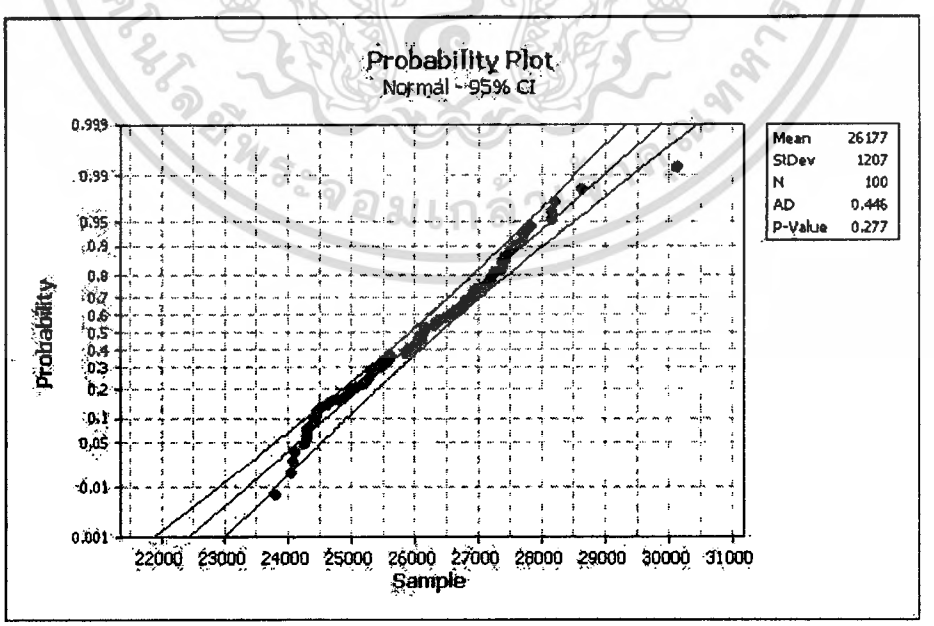
ในที่นี้จะยกตัวอย่างการสร้างแผนภูมิควบคุมใช้ในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของค่าของข้อมูลที่สุ่มมามีการกระจายรอบค่ากลางเป็นอย่างไร เป็นตัวเฝ้าดูการเปลี่ยนแปลงค่าที่ได้จากกระบวนการหรือสิ่งที่สนใจ แนวทางการควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติ แสดงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบด้วยโปรแกรมมินิแท็บ เป็นโปรแกรมประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับทางสถิติ สมมติให้ข้อมูลที่เราสุ่มมามีค่าการกระจายตัวดังที่แสดงในรูปที่ 2.21 พล็อตการแจกแจงของข้อมูลสุ่มจำนวน 100 ตัวอย่าง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเท่ากับ 26177 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 1206 จากตัวอย่างที่สุ่มมาจะเห็นว่าการกระจายของกราฟฮีสโตแกรมและเส้นโค้งมีความเข้าใกล้การกระจายแบบปกติ ทำให้การประมาณจะอ้างอิงการแจกแจงของข้อมูลเป็นแบบปกติ (Normal distribution)



รูปที่ 2.21 พล็อตฮีสโตแกรมของข้อมูลตัวอย่าง



รูปที่ 2.22 ทดสอบการแจกแจงของข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ (P-value = 0.277)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบการแจกแจงข้อมูลเป็นแบบปกติด้วยพล็อตความน่าจะเป็นของข้อมูลกับลำดับของข้อมูลที่ได้จะเห็นว่าข้อมูลมีการเรียงตัวเป็นแนวเส้นตรง ไม่มีการเกาะกลุ่มของข้อมูล โปรแกรมจะแสดงเป็นค่าความน่าจะเป็นได้เท่ากับ P-value = 0.277 ซึ่งถ้าค่าความน่าจะเป็นหรือ P-value < 0.005 แสดงว่าข้อมูลที่สุ่มมามีการแจกแจงไม่เป็นแบบปกติ (Non-normal distribution)

จำลองแผนภูมิควบคุมข้อมูลสุ่มมาด้วยระดับคุณภาพที่ $\pm 3\hat{\sigma}$ หรือควบคุมทั้งสองด้านคือด้านบนและด้านล่างด้วยสามเท่าของค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากสมการที่ (2.9), (2.10) และ (2.11) สามารถคำให้เส้นพิกัดควบคุมได้ดังนี้

จากค่าทางสถิติของกลุ่มตัวอย่างที่ได้ดังนี้ $\bar{X} = 26177$, $\hat{\sigma} = 1206$

$$USL = \bar{X} + 3\hat{\sigma}$$
$$= 26177 + (3 \times 1206)$$
$$= 29795$$

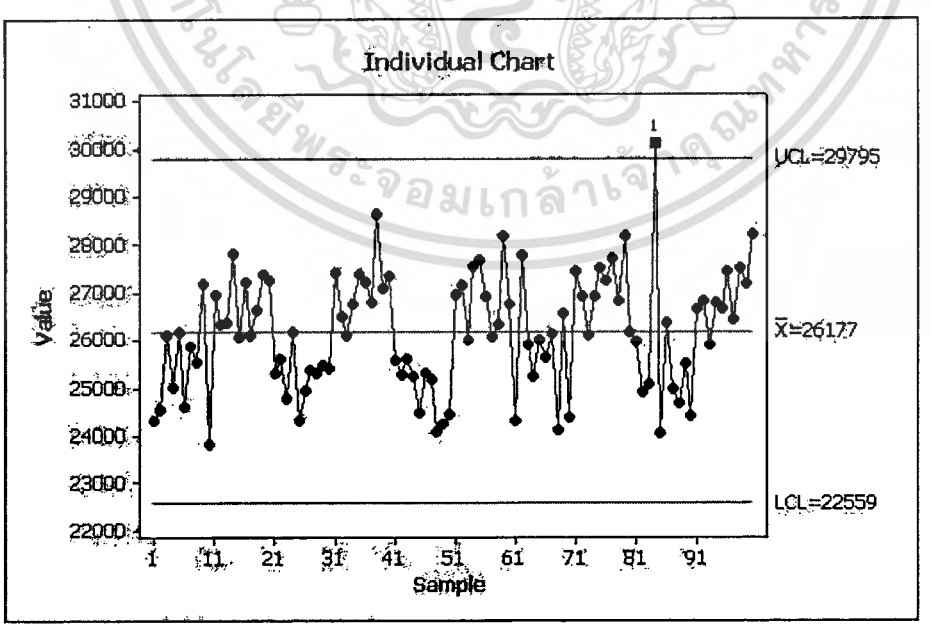
เพราะฉะนั้น $USL = 29795$

$$CL = \bar{X}$$
$$= 26177$$

เพราะฉะนั้น $CL = 26177$

$$LSL = \bar{X} - 3\hat{\sigma}$$
$$= 26177 - (3 \times 1206)$$
$$= 22559$$

เพราะฉะนั้น $LSL = 22559$



รูปที่ 2.23 จำลองสร้างแผนภูมิควบคุมจากข้อมูลตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนภูมิควบคุมกระบวนการของข้อมูลที่สุ่มมา สามารถจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมมินิแท็บจะให้ค่าพิกัดควบคุมด้านบนเป็น *UCL* (Upper control line) และค่าพิกัดควบคุมด้านล่างเป็น *LCL* (Lower control line) จะใช้ตัวแปรที่ต่างกันแต่ได้ค่าเท่ากับที่คำนวณ และพบว่ามีข้อมูลหนึ่งจุดที่อยู่นอกพิกัดควบคุม เช่นนี้เมื่อพบข้อบกพร่องของกระบวนการคือกระบวนการไม่ปกติก็สามารถที่จะเข้าไปตรวจสอบปัญหาและทำการแก้ไขได้ทันที

2.5 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process capability analysis) [2]

ในการจัดการด้านคุณภาพของกระบวนการนั้น ควรจำเป็นต้องค้นหาสารสนเทศผ่านทางตัวเลขดัชนีหรือเครื่องมือต่างๆ เพื่อให้รับทราบถึงความสามารถของกระบวนการที่บ่งบอกถึงผลจากการออกแบบกระบวนการดังกล่าว ตลอดจนการควบคุมกระบวนการที่บ่งบอกถึงผลจากการควบคุมกระบวนการ ก็เพื่อใช้ในการตัดสินใจดำเนินการปรับปรุงแก้ไขปัญหาต่อไป

กระบวนการ (Process) คือองค์ประกอบที่แน่นอนประการหนึ่งของเครื่องจักร อุปกรณ์ วิธีการ วัตถุดิบ และพนักงานที่ก่อให้เกิดการผลิต (Unique combination of machine, tools, methods, materials, and people engaged in production)

ความสามารถ (Capability) คือความสามารถที่ขึ้นอยู่กับสมรรถนะที่ได้รับการทดสอบเพื่อให้บรรลุผลลัพธ์ที่สามารวัดได้ (Competence, based on tested performance, to achieve measurable results)

ดังนั้น ความสามารถของกระบวนการ (Process capability) หมายความว่า ความผันแปรโดยธรรมชาติที่ได้รับการวัดของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการที่ศึกษา (The measured, inherent variation of the product turned out by a process) โดยที่ Juran and Gryna (1993, p.393) ได้ขยายความเพิ่มเติมไว้ว่า ความสามารถที่ได้รับการวัด (Measured capability) จะหมายถึงค่าความสามารถของกระบวนการที่ได้รับการประเมินผ่านข้อมูลซึ่งเป็นผลมาจากการวัดงานที่ได้รับการผลิตจากกระบวนการที่ศึกษา และความสามารถโดยธรรมชาติ (inherent capability) จะหมายถึงความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากกระบวนการที่อยู่ภายใต้สภาวะการควบคุม นอกจากนี้ผู้สนใจยังสามารถศึกษานิยามของความสามารถของกระบวนการได้จาก AIAG (1995, p.79), Amsden et al. (1986, p.133), Kane (1989, p.267), Mitra (1998, p.378), Western Electric Inc. (1984, p.34) และ Wheeler and Chamber (1986, p.125) [2].

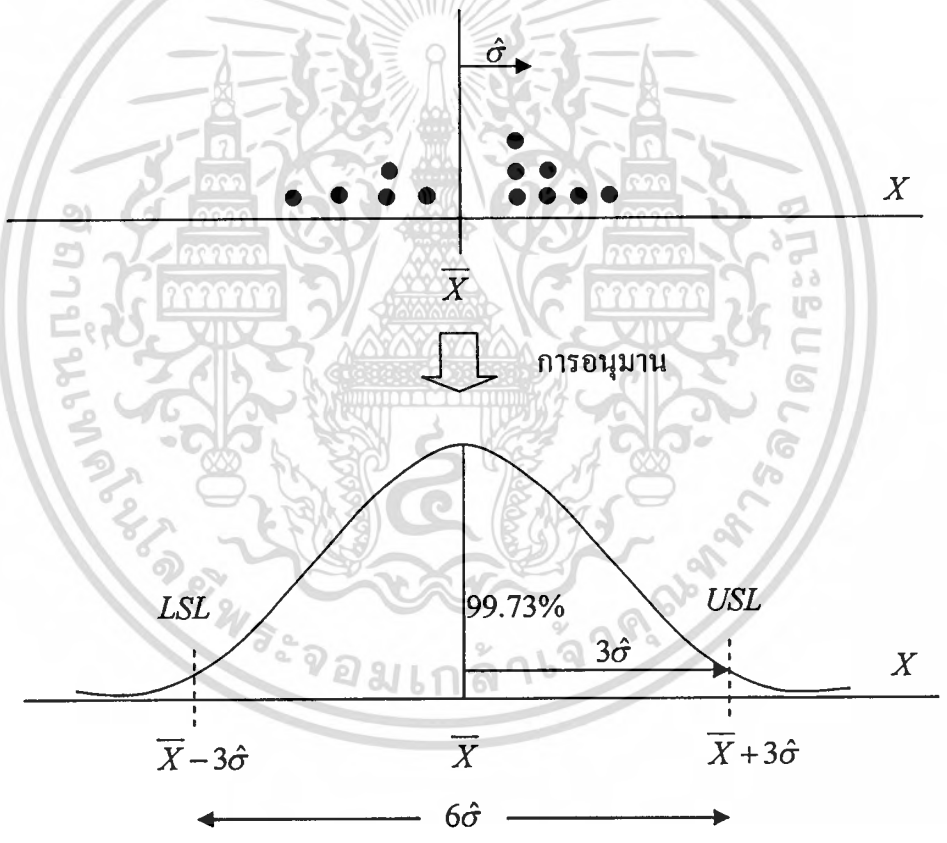
หลังจากที่ได้นิยามถึงความหมายของความสามารถของกระบวนการแล้ว ลำดับต่อไปจะมานิยามถึงความหมายการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการโดย Montgomery (1996, p.431-432) การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process capability analysis) หมายถึงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเมินความผันแปรของกระบวนการ (อาจอยู่ในรูปของฟังก์ชันความน่าจะเป็นที่จะระบุทั้งรูปทรง ค่ากลาง และปริมาณการกระจายของการแจกแจง) และวิเคราะห์ความผันแปรนี้กับข้อกำหนดหรือสเปกของผลิตภัณฑ์

2.5.1 การกระจายของกระบวนการ (Process spread)

ในการประเมินผลของความสามารถของกระบวนการนั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องประมาณค่าการกระจายของกระบวนการด้วยการใช้ข้อมูลสุ่มที่รวบรวมได้มาดำเนินการอนุมานค่าการกระจายของกระบวนการ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้ศึกษาจะอนุมานค่าประมาณของพารามิเตอร์ด้วยระดับความเชื่อมั่นเท่าใด สำหรับกรณีทั่วไปนั้นแนะนำให้ประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยระดับความเชื่อมั่น 99.73% ดังแสดงในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 การอนุมานความสามารถของกระบวนการจากข้อมูลสุ่ม [2]

จากรูปที่ 2.24 จะเรียกพิกัดด้านบนว่า พิกัดควบคุมด้านบน (Upper specification limit: *USL*) และจะเรียกพิกัดด้านล่างว่า พิกัดควบคุมด้านล่าง (Lower specification limit: *LSL*) ซึ่งมีความหมายว่า ถ้าทำการรวบรวมข้อมูลมาจากกระบวนการผลิตที่อยู่ภายใต้สภาวะธรรมชาติ จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุมานได้ว่า คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวจะมีลักษณะสุ่มอยู่ระหว่างพิกัดควบคุมด้านล่าง และพิกัดควบคุมด้านบนนี้ด้วยระดับความเชื่อมั่น 99.73%

ดังนั้น เมื่อ $USL = \bar{\bar{X}} + 3\hat{\sigma}$

และ $LSL = \bar{\bar{X}} - 3\hat{\sigma}$

เพราะฉะนั้น การกระจายของกระบวนการ $= USL - LSL$

$$= (\bar{\bar{X}} + 3\hat{\sigma}) - (\bar{\bar{X}} - 3\hat{\sigma})$$

$$= 6\hat{\sigma}$$

ในกรณีที่มีการเก็บรวบรวมข้อมูลมาจากกระบวนการภายใต้สภาวะควบคุม และทำการประเมินผลความผันแปรของสิ่งตัวอย่างด้วยวิธีภายในกลุ่มย่อยจะเรียกการกระจายของกระบวนการว่า "การกระจายตัวของกระบวนการแบบระยะสั้น (Short-term process spread)" ซึ่งประมาณได้ด้วยค่า $\hat{\sigma}_{ST}$ ถ้าข้อมูลมีการรวบรวมเพียงกลุ่มย่อยเดียว ซึ่งสามารถทวนสอบข้อสมมติได้ด้วยฮีสโตแกรม หรือรวบรวมด้วยแผนภูมิควบคุมที่มีจำนวนกลุ่มย่อยไม่เกิน 20 กลุ่ม จะสามารถประมาณค่า $\hat{\sigma}_{ST}$ ได้จาก

$$\hat{\sigma}_{ST} = \frac{\bar{R}}{d_2^*} \tag{2.12}$$

เมื่อกำหนดให้ d_2^* เป็นแฟกเตอร์การปรับค่าในการประมาณความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ขึ้นอยู่กับกลุ่มตัวอย่าง

สำหรับในกรณีที่มีการเก็บรวบรวมข้อมูลมาจากกระบวนการภายใต้สภาวะควบคุม แต่ทำการประเมินผลความผันแปรของสิ่งตัวอย่างด้วยวิธีโดยรวม จะเรียกการกระจายของกระบวนการว่า "การกระจายตัวของกระบวนการแบบระยะยาว (Long-term process spread)" ซึ่งประมาณได้ด้วยค่า $\hat{\sigma}_{LT}$ และในทางปฏิบัติแล้วจำนวนข้อมูลในกรณีนี้มักจะมีจำนวนมาก จึงแนะนำให้ประมาณค่าด้วยความเบี่ยงเบนมาตรฐานของสิ่งตัวอย่างแทนโดย

$$\hat{\sigma}_{LT} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{\bar{X}})^2}{n-1}} \tag{2.13}$$

โดยที่ n = จำนวนข้อมูลอิสระ (X_i) ทั้งหมด

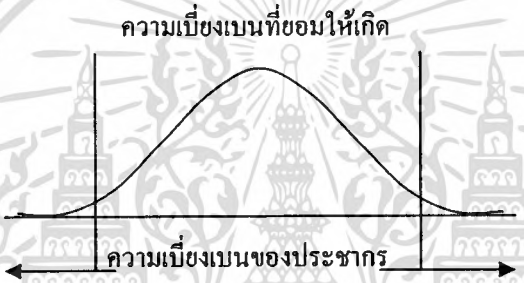
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ดัชนีแสดงความสามารถ (Capability Index) [7]

ในงานวิศวกรรมนั้นการตัดสินใจเกี่ยวกับประชากรนั้นมักจะคำนึงถึงค่าความเบี่ยงเบนของประชากรอยู่ในช่วงที่ยอมให้เกิดหรือไม่ เพราะถ้าหากขนาดของความเบี่ยงเบนไม่ว่าจะมากหรือน้อยเพียงไรก็ตาม หากว่าอยู่นอกขอบเขตที่ยอมให้เกิดแล้วก็จำเป็นต้องมีการปฏิบัติการแก้ไขทันที

ตัวสถิติที่ใช้เป็นตัววัดความเบี่ยงเบนของข้อมูลจากประชากรเมื่อเทียบกับขนาดของความเบี่ยงเบนที่ยอมให้เกิดแล้ว เรียกว่า "ดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการ (Process capability index)" หรือ C_p โดยนิยามได้ว่า

$$C_p = \frac{\text{ความเบี่ยงเบนที่ยอมให้เกิด}}{\text{ความเบี่ยงเบนของประชากร}}$$



รูปที่ 2.25 แสดงแนวความคิดของการวัดการกระจายด้วยดัชนี C_p

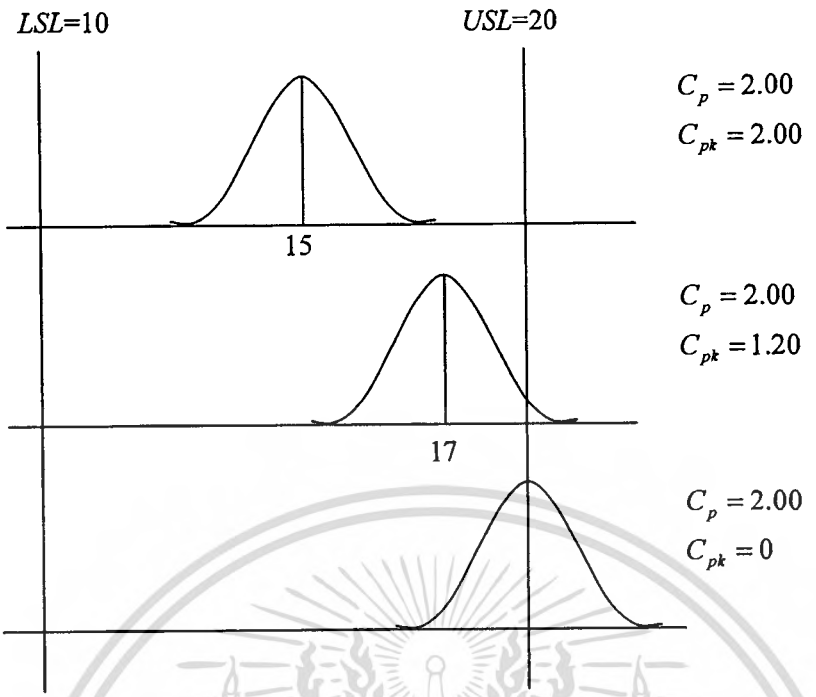
ในงานวิศวกรรมการผลิต มักนิยามความเบี่ยงเบนที่ยอมให้เกิดในรูปของขนาดความคลาดเคลื่อนอนุโลม (Tolerance) ของข้อกำหนดเฉพาะ (Specification) และมักจะนิยามความเบี่ยงเบนของประชากรในรูปหกเท่าของขนาดความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังนั้นนิยามสมการที่ (2.14) ได้ใหม่ว่า

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}} \tag{2.14}$$

แต่อย่างไรก็ตามการวัดการกระจายด้วยค่า C_p นั้นเป็นการวัดค่าการกระจายโดยมิได้คำนึงถึงค่าที่ควรจะเป็นของประชากร ดังนั้น หากค่าที่ควรจะเป็นมิได้อยู่ที่ค่ากึ่งกลางของข้อกำหนดเฉพาะแล้วจะมีผลทำให้ตีความหมายผิดพลาดไปได้ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.26

ในกรณีนี้ จำเป็นต้องพิจารณาขนาดของความเบี่ยงเบนด้วยการคำนึงถึงค่าที่ควรจะเป็นของประชากร และเรียกตัวสถิติในกรณีนี้ว่า "ดัชนี C_{pk}" (ตัวย่อ k ในดัชนีมาจากคำว่า "Kurtosis" ในที่นี้มีความหมายว่ากระบวนการ "เลื่อนไป")

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 แสดงเปรียบเทียบ C_p และ C_{pk} (*USL* หมายถึง พิกัดของข้อกำหนดเฉพาะด้านบน: Upper Specification Limit และ *LSL* หมายถึง พิกัดของข้อกำหนดเฉพาะด้านล่าง: Lower Specification Limit) และในที่นี้กำหนดให้ $6\hat{\sigma} = 5$

การวัดดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการ เมื่อคำนึงถึงค่าที่ควรจะเป็นของประชากร (μ) ซึ่งอนุมานได้ด้วย $\bar{X}$ จะพิจารณาได้ดังนี้

เมื่อคำนึงถึงพิกัดควบคุมเฉพาะด้านบน; $C_{pu} = \dfrac{USL - \bar{X}}{3\hat{\sigma}}$ (2.15)

เมื่อคำนึงถึงพิกัดควบคุมเฉพาะด้านล่าง; $C_{pl} = \dfrac{\bar{X} - LSL}{3\hat{\sigma}}$ (2.16)

โดยตัวย่อ "*u*" และ "*l*" ในดัชนี C_{pu} และ C_{pl} หมายถึงพิกัดด้านบน (Upper limit) และพิกัดด้านล่าง (Lower limit) โดยลำดับ และดัชนี C_p เป็นดัชนีที่ใช้ประเมินว่าการกระจายของประชากรออกนอกช่วงที่ยอมให้เกิดหรือไม่ ซึ่งจะพบว่า หากค่า C_p ของพิกัดใดมีค่าต่ำกว่าแล้ว ก็จะหมายถึงการที่ค่าที่ควรจะเป็นของประชากรนั้นอยู่ใกล้กับพิกัดด้านนั้นของข้อกำหนดเฉพาะมากกว่า อันเป็นการสื่อความหมายให้ทราบว่าการกระจายของประชากรจะเกินช่วงที่ยอมให้เกิดในพิกัดด้านนั้น ดังนั้นจึงนิยามดัชนี C_{pk} ได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

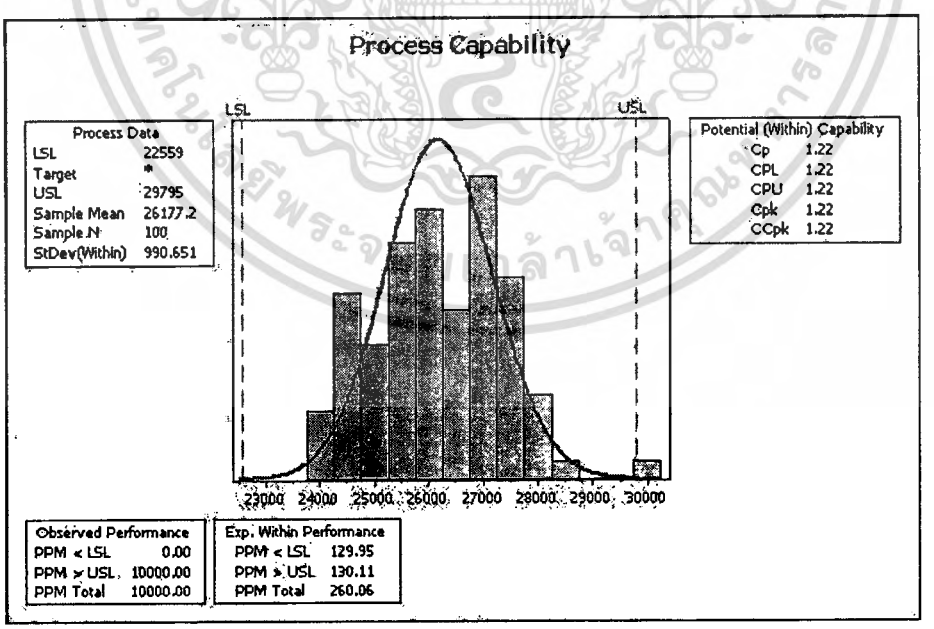
$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl}) \tag{2.17}$$

การวิเคราะห์การกระจายของข้อมูลด้วยค่า C_p และ C_{pk} นี้ นอกจากจะทำให้ผู้วิเคราะห์ได้รับถึงสารสนเทศเกี่ยวกับการกระจายของข้อมูลในเชิงเปรียบเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะแล้ว ยังสามารถรับทราบถึงตำแหน่งของค่าที่ควรจะเป็นของประชากร เมื่อเทียบกับค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะด้วยกล่าวคือ

1) ถ้า $C_p = C_{pk}$ ค่าที่ควรจะเป็นของประชากรอยู่ตรงค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะ
2) ถ้า $C_p > C_{pk}$ ค่าที่ควรจะเป็นของประชากรจะเยื้อง (Offset) ไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะ

โดยสารสนเทศที่ได้จากการวิเคราะห์ตามสมการด้านบนจะช่วยให้ผู้วิเคราะห์สามารถดำเนินการปฏิบัติการแก้ไขได้ดียิ่งขึ้น

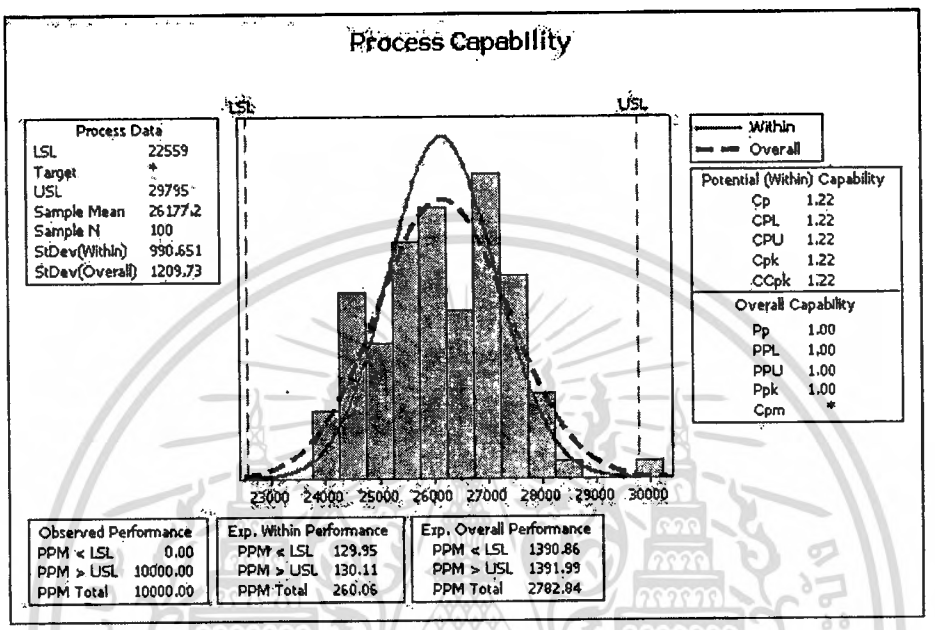
ในตัวอย่างหัวข้อการสร้างแผนภูมิควบคุมที่ผ่านมาจะนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาความสามารถของกระบวนการ สมมติว่ากระบวนการอยู่ภายใต้สภาวะควบคุม ในที่นี้จะจำลองด้วยโปรแกรมมินิแท็บด้วยค่าทางสถิติที่คำนวณได้ ในรูปที่ 2.27 แสดงผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการที่ได้จากโปรแกรมมินิแท็บ



รูปที่ 2.27 วิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการด้วยโปรแกรมมินิแท็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่ได้แสดงได้ด้วยดัชนี C_{pk} = 1.22 ซึ่งใช้การประมาณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\hat{\sigma}_{ST}$ แบบระยะสั้น และสัดส่วนของเสียที่เกิดจากการกำหนดพิกัดควบคุมกระบวนการ PPM (Observed performance) มีค่าประมาณ 1.00% ถ้าคิดจากการประมาณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\hat{\sigma}_{ST}$ แบบระยะสั้น PPM (Exp. Within performance) มีค่าประมาณ 0.0026%



รูปที่ 2.28 วิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการแสดงแบบระยะสั้นกับแบบระยะยาว

ในการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในรูปที่ 2.28 นี้จะแสดงให้เห็นการเปรียบเทียบการประเมินความสามารถแบบระยะสั้น (Potential within capability) กับประเมินความสามารถของกระบวนการแบบระยะยาว (Overall capability) เช่นเดียวกันก็จะได้ค่าสัดส่วนของเสียที่จะเกิดกับกระบวนการทั้งสองแบบ PPM (Exp. Within performance and Exp. Overall performance) ที่เพิ่มเติมจากรูปที่ 2.28 ก็จะเป็นดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการแบบระยะยาว P_{pk} = 1.00 และสัดส่วนของเสียที่จะเกิดขึ้นกับกระบวนการ PPM (Exp. Overall performance) = 0.2%

2.5.3 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการกับข้อมูลที่การกระจายไม่เป็นแบบปกติ

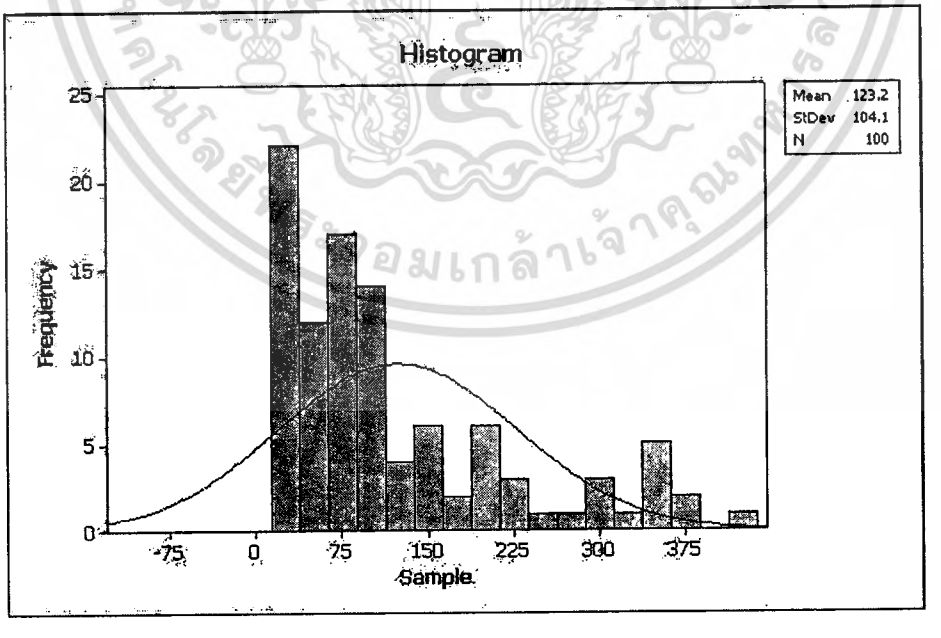
ข้อมูลที่สุ่มมาหรือที่จะนำมาวิเคราะห์มีความไม่แน่นอนเสมอไปว่าจะมีการกระจายเป็นแบบปกติ ถ้าหากข้อมูลมีการกระจายไม่เป็นแบบปกติแล้วการหาความสามารถของข้อมูลแบบเดิมจะทำให้เกิดความผิดพลาดจากน้อยไปจนถึงมาก หากข้อมูลที่ได้มีการกระจายเป็นแบบอื่นๆ ที่แน่นอนเช่น มีการกระจายแบบล็อก (Log distribution), การกระจายแบบไวล์บูล (Weilbull

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

distribution) เราสามารถใช้การประมาณความสามารถของกระบวนการหรือของเสียที่จะเกิดขึ้นกับกระบวนการด้วยการกระจายดังกล่าว ซึ่งโปรแกรมมินิแท็บมีเครื่องมีไว้ให้แล้ว ในที่นี้จะนำเสนอการวิเคราะห์ความสามารถของข้อมูลที่การกระจายไม่เป็นแบบปกติด้วยการแปลงข้อมูลโดยบ็อคซ์-ค็อกซ์ หรือ "Box-cox transformation" [8] เพื่อที่จะทำให้ที่สภาวะปกติของกระบวนการเมื่อเก็บตัวอย่างข้อมูลแล้วมีการกระจายไม่เป็นแบบปกติ ทั้งๆ ที่ข้อมูลอยู่ภายใต้การควบคุมของกระบวนการซึ่งก็มีโอกาสเกิดขึ้นได้เช่นกัน กำหนดให้สมการที่ (2.18) เป็นสมการในการแปลงแบบบ็อคซ์-ค็อกซ์ (Box-cox transformation)

$$x_i^{(\lambda)} = \begin{cases} \dfrac{(x_i^{\lambda}-1)}{\lambda}, & if\ \lambda \neq 0 \\ \ln(x_i), & if\ \lambda = 0 \end{cases} \qquad \text{เมื่อ} \quad 1 \le i \le n \qquad (2.18)$$

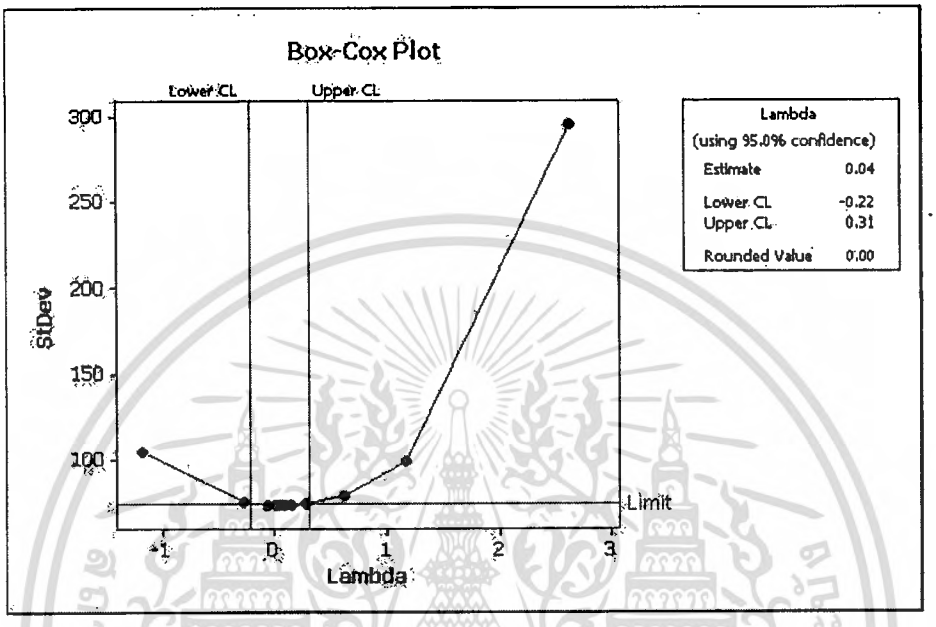
จากสมการตัวแปร λ จะทำให้ข้อมูลที่นำมาแปลงถูกเปลี่ยนไปโดยการปรับค่าของ λ แล้วตรวจสอบด้วยผลของการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการแปลงทำให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดกับคือข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ ในโปรแกรมมินิแท็บจะคำนวณหาค่า λ ที่เหมาะสมซึ่งจะทำให้ข้อมูลหลังการแปลงค่ามีการกระจายตัวใกล้เคียงกับการกระจายแบบปกติมากที่สุด หลังจากนั้นจึงนำค่าที่ถูกแปลงพร้อมทั้ง *LSL* และ *USL* ไปคำนวณหาค่า C_{pk} ซึ่งต่อไปนี้จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีการกระจายไม่เป็นแบบปกติด้วยวิธีการแปลงแบบบ็อคซ์-ค็อกซ์ ในโปรแกรมประยุกต์ใช้งานมินิแท็บ



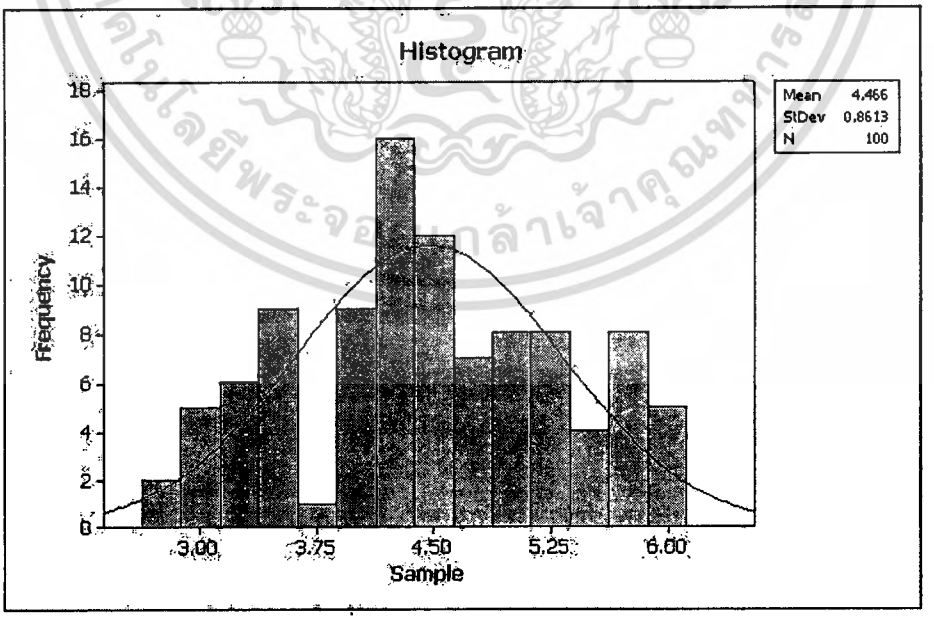
รูปที่ 2.29 พล็อตฮีสโตแกรมก่อนการแปลงข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่ถูกสุ่มมา 100 ตัวอย่าง เมื่อพล็อตการแจกแจงของข้อมูลจะเห็นได้ว่ามีการกระจายไม่เป็นแบบปกติ โดยสมมติให้ข้อมูลอยู่ภายใต้สภาวะควบคุมโดยธรรมชาติ รูปที่ 2.29 พล็อตข้อมูลก่อนทำการแปลง ตัวอย่างแสดงถึงการแจกแจงของข้อมูลว่ามีการกระจายไม่เป็นแบบปกติ หรือจะทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติ (Normality test) ก็ได้



รูปที่ 2.30 ปรับแต่งค่าแลมบ์ด้าให้อยู่ในช่วงที่ดีที่สุด

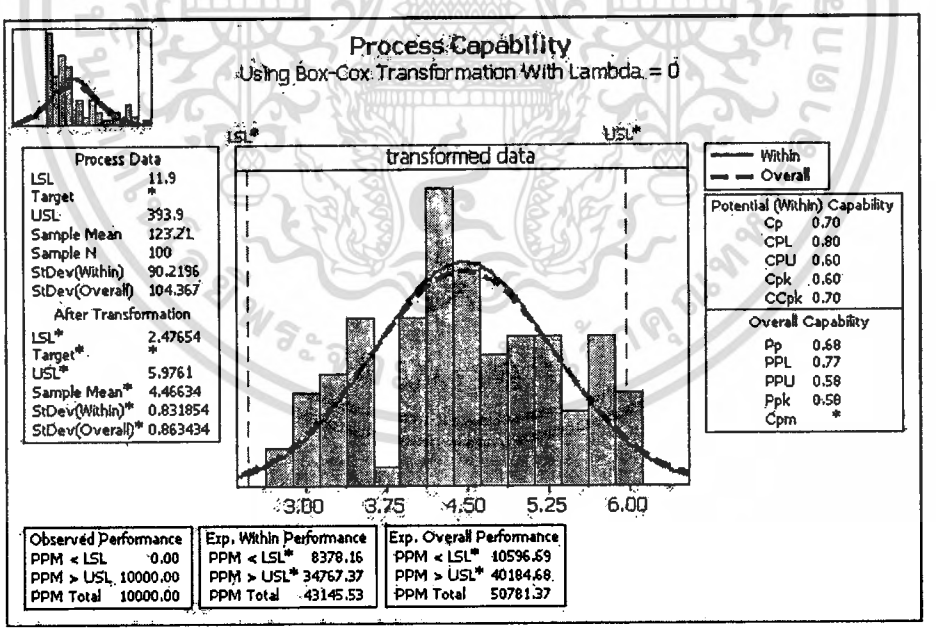


รูปที่ 2.31 พล็อตฮีสโตแกรมหลังจากแปลงข้อมูลแล้ว (Lambda = 0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับตัวแปรแลมบ์ด้า (Lambda) ในสมการที่ (2.18) ช่วยปรับให้ข้อมูลมีการกระจายเป็นแบบปกติมากที่สุด ช่วง Lower CL ไปยัง Upper CL คือช่วงที่ค่าของแลมบ์ด้าที่ทำให้ข้อมูลมีการกระจายเป็นแบบปกติมากที่สุด จากรูปที่ 2.30 Lower CL = -0.22 และ Upper CL = 0.31 จะเห็นว่าข้อมูลหลังจากการแปลงเมื่อนำมาพล็อตแล้วจะมีการแจกแจงของข้อมูลเป็นการกระจายเป็นแบบปกติ แสดงดังรูปที่ 2.31 พล็อตฮีสโตแกรมของข้อมูลหลังจากการแปลงแล้ว หรือสามารถทดสอบด้วยการทดสอบการกระจายแบบปกติ (Normality test) ด้วยพล็อตความน่าจะเป็นกับลำดับของข้อมูล (Probability plot) ในโปรแกรมมินิแท็บ การประยุกต์ใช้งานในการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการเมื่อข้อมูลมีการกระจายไม่เป็นแบบปกติดังตัวอย่างด้านล่าง

ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการเมื่อข้อมูลมีการกระจายไม่เป็นแบบปกติ จากข้อมูลที่แปลงมาด้วย Box-cox transformation ให้ค่าแลมบ์ด้าเหมาะสมที่ Lambda = 0 แสดงในรูปที่ 2.32 ค่าดัชนี C_{pk} = 0.60 ใช้ความเบี่ยงเบนมาตรฐานแบบระยะสั้น, P_{pk} = 0.58 เมื่อใช้ความเบี่ยงเบนมาตรฐานแบบระยะยาว และของเสียที่เกิดกับกระบวนการ PPM (Observed performance) = 1.00% กับชุดข้อมูลที่นำมาทดลอง, PPM (Exp. Within performance) = 4.31% ด้วยค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานแบบระยะสั้น, PPM (Exp. Overall performance) = 5.07% ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานแบบระยะยาว



รูปที่ 2.32 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการกับข้อมูลที่มีการกระจายไม่เป็นแบบปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การเลือกจำนวนตัวอย่าง (Sample size selection)

ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่จะนำมาหาพิกัดควบคุมเพื่อแทนประชากรทั้งหมด ในที่นี้กลุ่มประชากรมีค่าทั้งหมดเท่ากับ 8,000 ตัวอย่าง ถ้าอ้างอิงจากวิธีการคำนวณหาตัวอย่างของ "ทาโร ยามาเน่ Taro Yamane" [26] ดังสมการที่ 4.1 จะได้ว่า N = 8,000 ตัวอย่าง, ค่าความเชื่อมั่นที่ 98% (e = 0.02) เพราะฉะนั้นก็สามารถหาจำนวนกลุ่มตัวอย่างเพื่อที่จะนำค่าทางสถิติมาแทนจำนวนประชากรทั้งหมดได้เท่ากับ 1,905 ตัวอย่าง แต่ที่ได้ทดลองคือได้นำจำนวนตัวอย่างเป็น 2,000 ตัวอย่าง เพื่อจะใช้ค่าทางสถิติแทนประชากรทั้งหมดที่พิจารณา

ตารางที่.2.8 ขนาดกลุ่มตัวอย่างของ Taro Yamane [26]

จำนวนประชากร (N)	จำนวนกลุ่มตัวอย่าง (n), ที่ระดับความคลาดเคลื่อน (%)				
	± 1%	± 2%	± 3%	± 4%	± 5%
500	*	*	*	*	222
1,000	*	*	*	385	285
2,000	*	*	714	476	333
4,000	*	1,538	870	541	364
8,000	*	1,905	976	580	381
10,000	5,000	2,000	1,000	588	385
∞	10,000	2,500	1,111	625	400

สมการการคำนวณหาค่ากลุ่มตัวอย่างของ "ทาโร ยามาเน่ (Taro Yamane)" [26]

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \tag{4.1}$$

n = จำนวนตัวอย่าง

N = จำนวนประชากร

e = ค่าความคลาดเคลื่อน

จากที่ได้กำหนดจำนวนตัวอย่าง 2,000 ตัวอย่าง เพื่อที่จะนำค่าทางสถิติมาใช้แทนค่าประชากร แล้วทำการกำหนดพิกัดในการควบคุมกระบวนการด้วยจำนวนกลุ่มตัวอย่าง 2,000 ตัวอย่าง สามารถอ้างอิงได้จากสมการ และผลการคำนวณค่าจำนวนตัวอย่างที่ได้ในตารางที่ 2.8 จะพบว่าในตารางที่ 2.8 ค่าจำนวนตัวอย่างที่ 2,500 นั้นสามารถแทนจำนวนประชาการได้ไม่จำกัด โดยจะให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ ± 2% ความคลาดเคลื่อนในที่นี้คือ ค่าทางสถิติที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างจะไม่เหมือนค่าทางสถิติของกลุ่มประชากรทั้งหมด 100% จะเกิดความผิดพลาดได้ ± 2%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

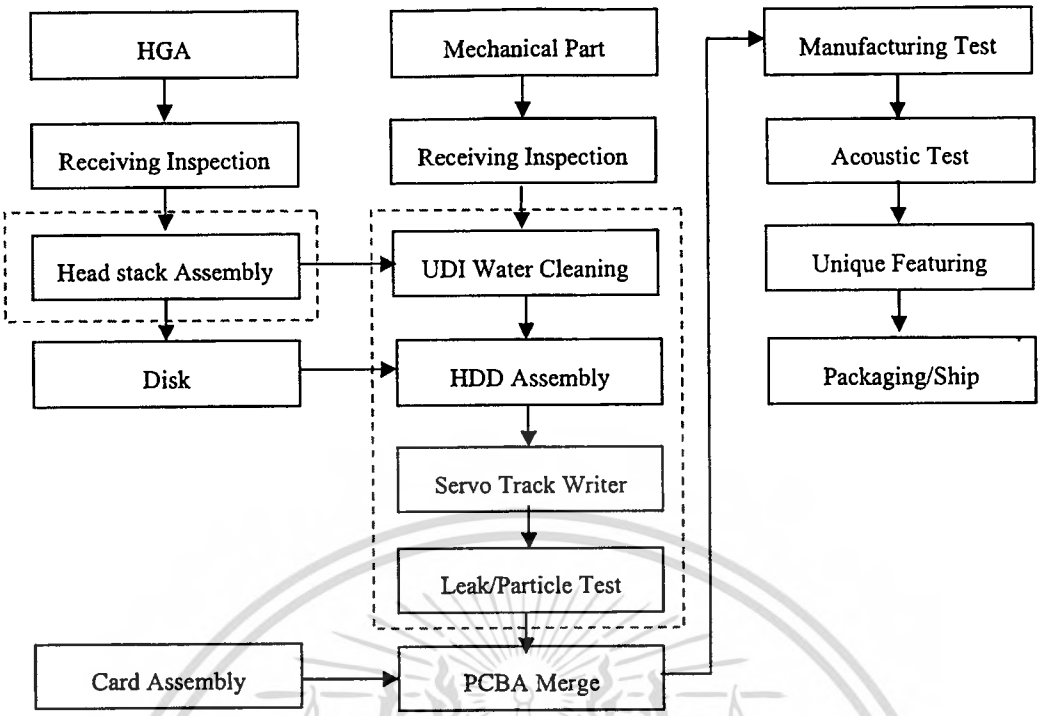
ขั้นตอนการดำเนินการทำวิจัยการปรับปรุงเวลาในการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์นี้ จะเริ่มต้นด้วยการทำความเข้าใจคร่าวๆ ถึงขั้นตอนการประกอบและการทดสอบฮาร์ดดิสก์ ว่ามีขั้นตอนการทำงาน มีกระบวนการทำงาน รวมถึงส่วนประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในสายการผลิตและการทดสอบฮาร์ดดิสก์ โดยจะได้กล่าวให้พอเห็นภาพในหัวข้อที่ 3.1 ในหัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงการปรับปรุงเวลาในการทดสอบฮาร์ดดิสก์ในกระบวนการที่เราสนใจ คือกระบวนการทดสอบ SRST ที่ใช้เวลานานที่สุด ได้ทำการศึกษาในส่วนที่เป็นข้อมูลที่ได้ภายหลังจากการทดสอบเสร็จแล้ว ข้อมูลถูกบันทึกไว้ในฐานข้อมูล (Database) จะกล่าวถึงการได้มาซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ รวมถึงการวิเคราะห์การควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติ การวิเคราะห์หาความสามารถของกระบวนการ นำผลที่ได้หลังจากวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ทำการกำหนดรูปแบบการควบคุมกระบวนการ และสุดท้ายทำการตรวจสอบผลการควบคุมว่าสามารถให้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ หรือสรุปเพื่อจะทำการทดลองใช้วิธีนี้ในการปรับปรุงเวลาในการทดสอบฮาร์ดดิสก์

3.1 การประกอบและการทดสอบฮาร์ดดิสก์

3.1.1 ขั้นตอนการประกอบฮาร์ดดิสก์ (Procedure hard disk drive assembly)

ในอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์จะต้องมีศาสตร์วิชาต่างๆ หลายแขนง และเทคโนโลยีขั้นสูง เพื่อที่จะทำให้สามารถดำเนินกิจกรรมต่างๆ เป็นไปตามเป้าหมาย ดังนั้นกว่าที่จะผลิตฮาร์ดดิสก์ออกมาให้ใช้งานแต่ละตัวนั้นจะต้องใช้เวลานาน ดังที่แสดงในรูปที่ 3.1 เป็นขั้นตอนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งจะไม่ขอกล่าวรายละเอียด แต่จะแสดงให้เห็นขั้นตอนการผลิตเท่านั้น ในกรอบเส้นปะเป็นส่วนที่จะต้องทำการผลิตภายในห้องสะอาด (Clean room) เพราะไม่เช่นนั้นจะทำให้ฮาร์ดดิสก์เกิดความเสียหายได้ และในการศึกษาวิจัยนี้เราจะสนใจขั้นตอนของการทดสอบฮาร์ดดิสก์ (Manufacturing test) เป็นพิเศษ เพราะขั้นตอนนี้ใช้เวลานานที่สุด โดยถ้าคิดเป็นร้อยเปอร์เซ็นต์จากขั้นตอนการผลิตทั้งหมดแล้ว ขั้นตอนการทดสอบฮาร์ดดิสก์จะใช้เวลาอยู่ที่ 60-70% หรือฮาร์ดดิสก์บางรุ่นอาจจะสูงถึง 80% ก็มี ดังนั้นจะต้องศึกษาเพื่อที่จะให้เกิดแนวทางในการปรับปรุงเวลาของกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์

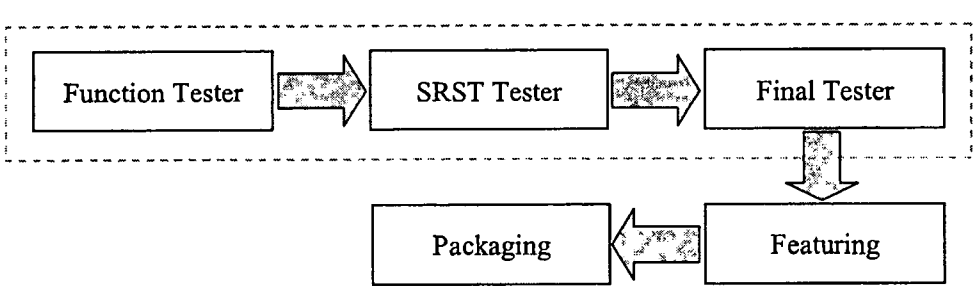
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการผลิตฮาร์ดดิสก์ในอุตสาหกรรม [1]

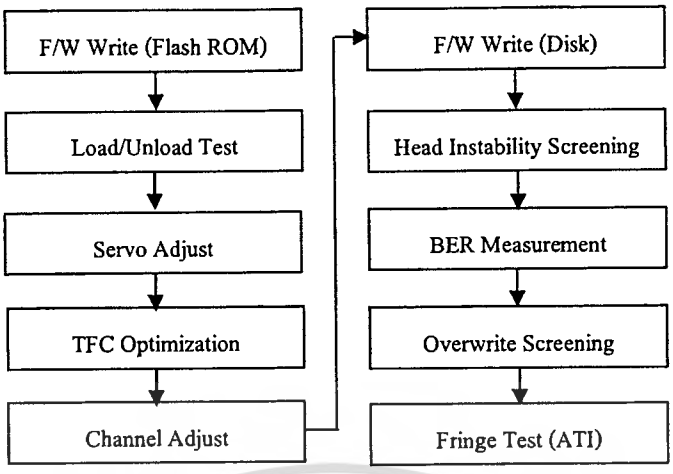
3.1.2 ขั้นตอนการทดสอบฮาร์ดดิสก์

กระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ที่จะกล่าวถึงนี้ ก็คือเป็นกระบวนการหนึ่งที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เมื่อฮาร์ดดิสก์ประกอบ (Assembly) ชิ้นส่วนต่างๆ เสร็จเรียบร้อยแล้วภายในห้องสะอาด (Clean room) และจะถูกนำมาทดสอบภายนอกห้องสะอาด (Normal area) โดยกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ประกอบด้วย 3 กระบวนการหลักๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 จำลองกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ที่มีอยู่ในอุตสาหกรรมการผลิต ในส่วนที่อยู่ในกรอบเส้นประ ซึ่งในแต่ละกระบวนการหลักก็จะแบ่งเป็นหลายขั้นตอนย่อย (Sub-process) ดังนั้นจึงทำให้การทดสอบทั้งหมดใช้เวลาค่อนข้างนาน กระบวนการทั้งหมดนั้นมีขั้นตอนการทำงานที่อยู่ภายในเครื่องทดสอบ (Tester machine) โดยใช้โปรแกรมควบคุมการทดสอบในแต่ละขั้นตอนย่อยของแต่ละกระบวนการหลัก



รูปที่ 3.2 จำลองกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ในอุตสาหกรรม

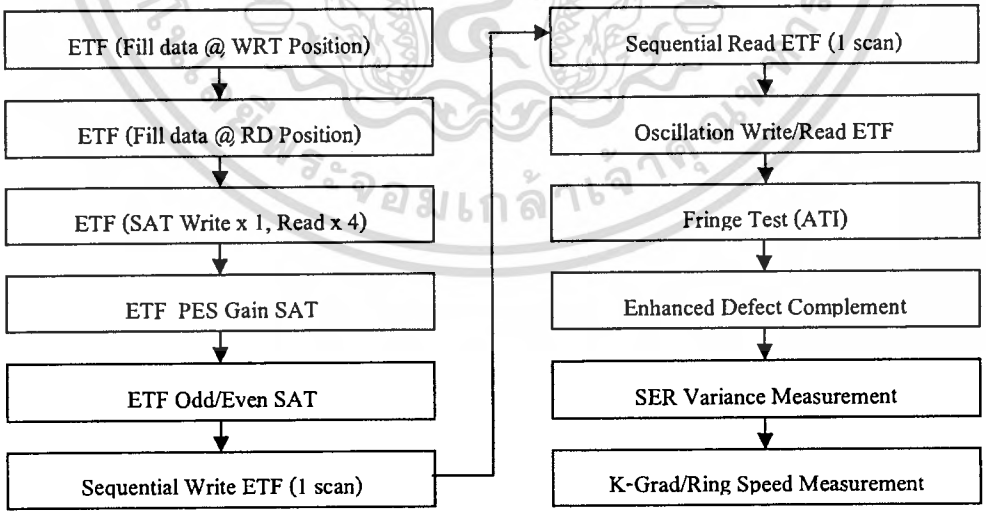
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ Function test [1]

ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่แบ่งกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1) Function test คือการทดสอบการทำงานของฮาร์ดดิสก์โดยลงไมโครโค๊ด (Firmware) ทำการทดสอบหัวบันทึก โดยการอ่าน-เขียนข้อมูล, ทดสอบการเคลื่อนที่ของหัวบันทึก (Load/Unload) และเป็นขั้นตอนการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสม ดังรูปที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการทดสอบ Function test โดยในแต่ละขั้นตอนจะไม่ได้กล่าวลงรายละเอียด ซึ่งสุดท้ายเวลาที่ใช้ไปในกระบวนการนี้คือประมาณ 4.5 ชั่วโมง (รุ่นที่มีความจุ 320 กิกะไบต์)

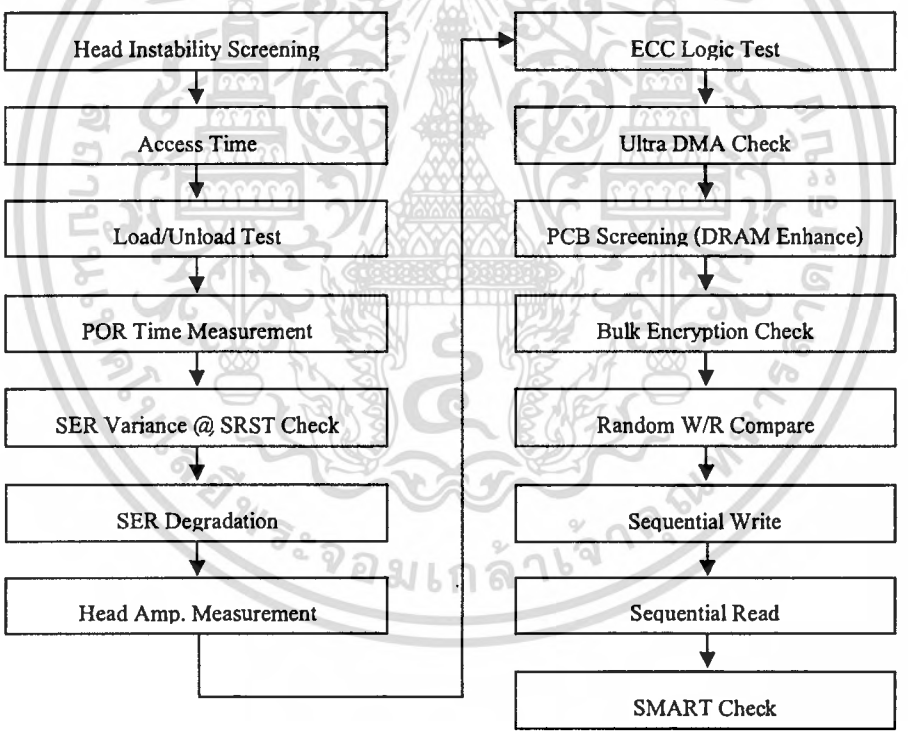


รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ SRST test [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) SRST (Self run stress test) โดยหลักแล้วขั้นตอนนี้เป็นการตรวจหาจุดเสียหายของแผ่นบันทึกข้อมูล (Media) ซึ่งจะมีวิธีการตรวจสอบทั้งหมดประมาณ 12 วิธีการที่แตกต่างกันออกไป แสดงขั้นตอนดังรูปที่ 3.4 ซึ่งจะทำการตรวจหาจุดเสียหายของแผ่นบันทึกข้อมูลที่เงื่อนไขที่อุณหภูมิสูง ทำการทดสอบทุกๆ บิตที่ใช้บันทึกข้อมูล ด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้เวลาที่ใช้ในการทดสอบในขั้นตอนนี้นานกว่าขั้นตอนอื่นๆ ในฮาร์ดดิสก์รุ่นที่ได้ทำการศึกษาโดยเฉลี่ยจะเวลา 36.7 ชั่วโมง (รุ่นที่มีความจุ 320 กิกะไบต์)

3) Final test การทดสอบในขั้นตอนสุดท้ายนี้เป็นการทดสอบเพื่อให้แน่ใจ หลังจากผ่านขั้นตอนของการทดสอบที่อุณหภูมิสูงมาแล้วฮาร์ดดิสก์จะยังสามารถอ่าน-เขียนข้อมูลได้ปกติ และสุดท้ายก็ทำการเพิ่มคุณลักษณะต่างๆ ของฮาร์ดดิสก์ที่ตามลูกค้าต้องการ เวลาที่ใช้ในขั้นตอนนี้ในฮาร์ดดิสก์รุ่นที่ได้ทำการศึกษาโดยเฉลี่ยจะใช้เวลา 6.7 ชั่วโมง (รุ่นที่มีความจุ 320 กิกะไบต์) ซึ่งมีวิธีการทั้งหมด 15 วิธีการดังที่แสดงในรูปที่ 3.5 ด้านล่างนี้



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ Final test [1]

ผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องทดสอบในแต่ละกระบวนทดสอบฮาร์ดดิสก์สามารถระบุคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (ฮาร์ดดิสก์ที่ผ่านและไม่ผ่านการทดสอบ) ก่อนที่จะถูกส่งต่อไปยังกระบวนการถัดไป หรือสุดท้ายคือการส่งมอบให้กับลูกค้า ในปัจจุบันในแต่ละกระบวนการได้มีการกำหนด

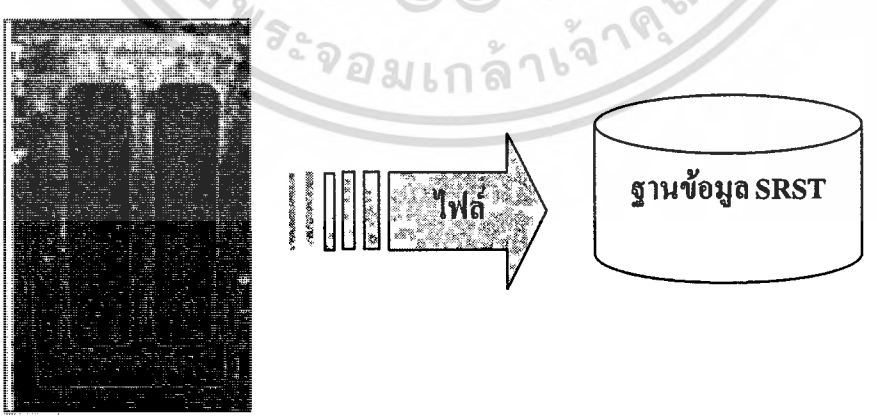
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาที่ใช้กับเครื่องทดสอบ (Time out) คือต้องใช้เวลาไม่เกินที่กำหนดไว้ โดยเมื่อถึงระยะเวลาที่กำหนดขั้นตอนการทดสอบต่างๆ ต้องสิ้นสุด แล้วก็ทำการคัดแยกฮาร์ดดิสก์ที่ผ่านกับไม่ผ่านออกจากเครื่องทดสอบ ในส่วนที่ผ่านการทดสอบก็จะส่งไปยังกระบวนการถัดไป และที่ไม่ผ่านการทดสอบก็จะถูกตรวจสอบแก้ไข แล้วก็นำมาทำการทดสอบอีกครั้ง (Rework)

ดังนั้นจึงมีความต้องการที่จะทำการศึกษาผลลัพธ์ของการทดสอบในแต่ละขั้นตอนย่อย เพื่อที่จะสามารถบอกได้ว่าขั้นตอนย่อยขั้นตอนใดที่ทำให้เวลาของการทดสอบนาน แล้วจะสามารถควบคุมกระบวนการได้อย่างไร แนวคิดคือถ้าฮาร์ดดิสก์ที่ใช้เวลาทดสอบนานๆ จะมีแนวโน้มว่าจะเป็นฮาร์ดดิสก์ที่ไม่ผ่านการทดสอบ จึงจะต้องหาวิธีวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาเพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจที่จะใช้วิธีการที่ได้เป็นวิธีการควบคุมกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ ซึ่งก็จะเข้าข่ายการควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติและการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

3.2 การปรับปรุงเวลาในการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์

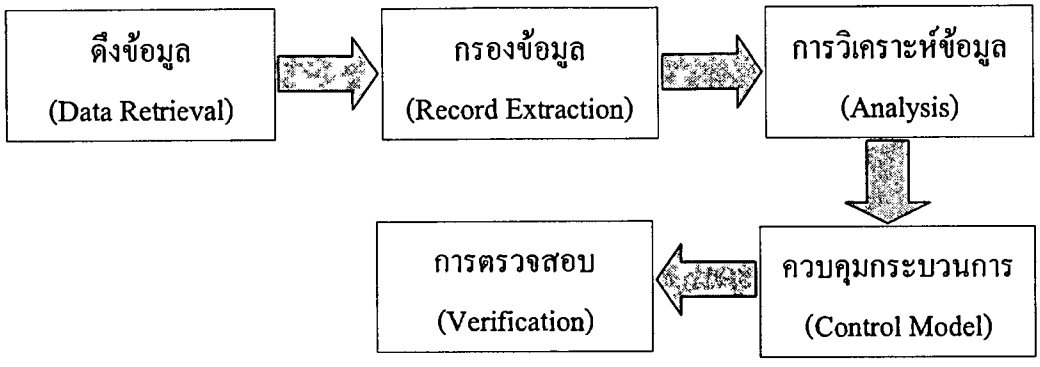
จากขั้นตอนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น จะเห็นว่ากระบวนการทดสอบ SRST นั้นจะใช้เวลานานที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการทดสอบอื่นๆ ซึ่งต่อจากนี้ไปเราจะมุ่งประเด็นความสนใจไปที่กระบวนการนี้ ภายหลังการทดสอบเสร็จแล้วผลของการทดสอบที่เป็นข้อมูลรายงานเกี่ยวกับเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนย่อยก็จะถูกเก็บไว้ที่ฐานข้อมูล (Database) ดังรูปที่ 3.6 ข้อมูลถูกส่งไปที่ฐานข้อมูล โจทย์ปัญหาอยู่ที่การนำข้อมูลจากฐานข้อมูลมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการตัดสินใจที่จะทำการปรับปรุงกระบวนการ โดยฮาร์ดดิสก์ที่เราสนใจทำการศึกษาเป็นฮาร์ดดิสก์ที่มีความจุ 320 กิกะไบต์



เครื่องทดสอบ SRST

รูปที่ 3.6 บันทึกไฟล์ผลการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ

ดังนั้นจึงทำการแสดงวิธีการศึกษาข้อมูลจากฐานข้อมูลและวิธีการดำเนินการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 3.7 ด้านข้างบน โดยเริ่มแรกเป็นการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูล จากนั้นก็กรองข้อมูลในส่วนที่เราต้องการเพื่อให้ตรงกับความต้องการ นำข้อมูลที่ได้มาผ่านกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ แล้วก็ทำการควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติ กระทั่งวิเคราะห์หาความสามารถของกระบวนการในแต่ละขั้นตอนย่อย และสุดท้ายก็ตรวจสอบผลการควบคุมกระบวนการ รายละเอียดของแต่ละวิธีการดำเนินการศึกษาจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

3.3 ดึงข้อมูล (Data retrieval)

โดยปกติข้อมูลที่เราสนใจจะถูกเก็บไว้บนฐานข้อมูล (Database) เป็นล็อกไฟล์ (Log file) ที่เครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ส่งผลการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไปเก็บไว้ จากฐานข้อมูลที่ได้มีการบันทึกข้อมูลรายงานผลการทดสอบฮาร์ดดิสก์ในกระบวนการ SRST เอาไว้ สามารถเข้าไปดึงข้อมูลที่คลังข้อมูล (Data warehouse) ที่อินทราเน็ตของระบบในโรงงาน โดยแบ่งแยกกลุ่มงานหลักๆ ได้สองกลุ่มงานจากฐานข้อมูลดังนี้

1) กลุ่มงานดี (Pass drive) คือฮาร์ดดิสก์ที่ผ่านกระบวนการทดสอบ SRST

2) กลุ่มงานเสีย (Fail drive) คือฮาร์ดดิสก์ที่ไม่ผ่านกระบวนการทดสอบ SRST

ทำการเก็บข้อมูลที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง (Sample) มาทั้งหมดกลุ่มละ 2,000 ตัวอย่างต่อหนึ่งขั้นตอนย่อย (ในกระบวนการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์จะประกอบด้วยขั้นตอนย่อยหลายขั้นตอนด้วยกัน) เพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือได้ว่าสามารถบอกค่าทางสถิติแทนประชากร (Population) ทั้งหมดได้ การได้มาซึ่งข้อมูลการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์นั้นเราพิจารณาผลที่จะกระทบกับข้อมูล เช่น ช่วงเวลาโดยจะต้องเป็นช่วงเวลาที่กระบวนการมีการทดสอบอย่างต่อเนื่อง (Production time) กระบวนการทดสอบมีการดำเนินการมาเป็นระยะเวลาพอสมควร และไม่มีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงกระบวนการ (Process on change) หรือถ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงกระบวนการ ก็จะต้องเก็บกลุ่มตัวอย่างที่เป็นช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน อาจจะกล่าวได้ว่าเป็นช่วงเวลาที่กระบวนการมีความเสถียรภาพ (Stability) เมื่อเวลาผ่านไป จะทำให้ข้อมูลที่ได้มีความเป็นการกระจายแบบปกติสูง

3.4 การกรองข้อมูล (Record extraction)

ข้อมูลที่ดึงมาจากฐานข้อมูล (Database) เริ่มแรกจะเป็นไฟล์นามสกุล (*.000) หรือไบนาลี่ไฟล์ (Log file) ที่เป็นรายงานผลของเครื่องทดสอบไม่สามารถเปิดไฟล์ข้อมูลได้ ดังนั้นจึงทำการเปลี่ยนเป็นไฟล์เท็ค (*.txt) เพื่อให้สามารถเปิดไฟล์อ่านข้อมูลที่อยู่ในไฟล์นั้นได้ ในที่นี้เราใช้โปรแกรม St25fil.exe เป็นโปรแกรมช่วยเปลี่ยนนามสกุลไฟล์ ซึ่งขั้นตอนการใช้คำสั่งมีดังต่อไปนี้

1) เปิดหน้าต่างคำสั่ง DOS command เข้าไปที่ Start menu/Run แล้วพิมพ์คำสั่ง cmd เพื่อทำการเปิดหน้าต่าง DOS command

2) ในหน้าต่าง DOS command ให้พิมพ์คำสั่งเพื่อที่จะสั่งให้ St25fil.exe สามารถทำงานได้ โดยพิมพ์คำสั่งดังนี้ D:/st25fil สั่งไปที่ไดเรคทรอรี่ของโปรแกรม St25fil.exe

3) ขั้นตอนต่อไปก็ทำการสั่งให้ทำการเปลี่ยนไฟล์นามสกุล (*.000) ที่เราต้องการแปลงให้เป็นไฟล์เท็ค (*.txt) โดยใช้คำสั่งดังนี้ d:/rawdata/SRST/6600/*.000 –e:txt –yt –cl –ts –c11 สั่งไปที่ไดเรคทรอรี่ที่ไฟล์ถูกจัดเก็บไว้ หลังจากนั้นไฟล์ทั้งหมดก็จะถูกเปลี่ยนนามสกุลไฟล์ไปเป็น (*.txt) ดังรูปที่ 3.8 แสดงผลที่ได้จากการเปลี่ยนไฟล์เป็นนามสกุล (*.txt) แล้วสามารถอ่านไฟล์ข้อมูลที่อยู่ภายในนั้นได้

การกรองข้อมูล (Data filtering) ในการกรองข้อมูลในไฟล์ (*.txt) ภายในจะประกอบไปด้วยข้อมูลรายงานขั้นตอนย่อยของการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์ ซึ่งมีข้อมูลมากมาย ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทำการกรองเอาเฉพาะข้อมูลที่เราสนใจเท่านั้น ซึ่งก็คือข้อมูลที่เป็นส่วนขั้นตอนย่อย (Sub-process) ในการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์ และข้อมูลที่เป็นเวลาที่ใช้ (Test time) ในขั้นตอนย่อยนั้นๆ และสุดท้ายเป็นตัวอักษรที่ใช้แทนชื่อ (Code) ของแต่ละขั้นตอนย่อย แต่ถ้าหากว่าต้องการข้อมูลตัวอื่นๆ ก็สามารถกรองเอาข้อมูลส่วนนั้นมาได้เช่นกัน ขึ้นอยู่กับว่าต้องการพิจารณาอะไรเป็นหลัก ในที่นี้ต้องการพิจารณาข้อมูล 3 ข้อมูลดังนี้

1) รหัส (Code) คือเป็นตัวอักษรที่ใช้แทนชื่อของขั้นตอนย่อยในกระบวนการทดสอบ SRST

2) ตัวนับ (Counter) คือตัวเลขที่บอกถึงลำดับขั้นตอนย่อยในกระบวนการทดสอบ SRST

3) เวลาของการทดสอบ (Test time) คือเวลาที่แต่ละขั้นตอนย่อยใช้ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
64[s] 0   0 11  I 001A  0  0    64[s] 0 0 Time Stamp   Initialize    DriveTemp 26 deg
251[s] 0  0 11  u 001C  0  0   315[s] 1 1 Time Stamp   OtherTimeStamp DriveTemp 28 deg
250[s] 0  0 11  u 001C  0  0   565[s] 1 2 Time Stamp   OtherTimeStamp DriveTemp 28 deg
251[s] 0  0 11  u 001C  0  0   816[s] 1 3 Time Stamp   OtherTimeStamp DriveTemp 28 deg
 0[s] 0   0 11  u 001C  0  0   816[s] 1 4 Time Stamp   OtherTimeStamp DriveTemp 28 deg
 4[s] 0   0 11  k 001C  0  0   820[s] 2 5 Time Stamp   SSW AltTrkCmpl DriveTemp 28 deg
 0[s] 0   0 11  L 001C  0  0   820[s] 3 6 Time Stamp   Memory Access  DriveTemp 28 deg
 0[s] 0   0 11  L 001C  0  0   820[s] 4 7 Time Stamp   Memory Access  DriveTemp 28 deg
 0[s] 0   0 11  L 001C  0  0   820[s] 5 8 Time Stamp   Memory Access  DriveTemp 28 deg
 0[s] 0   0 11  L 001C  0  0   820[s] 6 9 Time Stamp   Memory Access  DriveTemp 28 deg
16[s] 0   0 11  w 001C  0  0   836[s] 7 10 Time Stamp  Measure SER   DriveTemp 28 deg
229[s] 0  0 11  w 001E  0  0  1065[s] 8 11 Time Stamp  Measure SER   DriveTemp 30 deg
 0[s] 0   0 11  I 001E  0  0  1065[s] 0 12 Time Stamp  Initialize    DriveTemp 30 deg
 0[s] 0   0 11  L 001E  0  0  1065[s] 3 13 Time Stamp  Memory Access  DriveTemp 30 deg
 0[s] 0   0 11  L 001E  0  0  1065[s] 4 14 Time Stamp  Memory Access  DriveTemp 30 deg
 0[s] 0   0 11  L 001E  0  0  1065[s] 5 15 Time Stamp  Memory Access  DriveTemp 30 deg
 0[s] 0   0 11  L 001E  0  0  1065[s] 6 16 Time Stamp  Memory Access  DriveTemp 30 deg
 0[s] 0   0 11  L 001E  0  0  1065[s] 10 17 Time Stamp Memory Access  DriveTemp 30 deg
 1[s] 0   0 11  L 001E  0  0  1066[s] 11 18 Time Stamp Memory Access  DriveTemp 30 deg
```

รูปที่ 3.8 ข้อมูลที่สามารถเปิดอ่านได้จากไฟล์เท็ค (Text file)

ซึ่งใช้โปรแกรมชิกวิน (Cygwin program) เป็นโปรแกรมที่ใช้ดำเนินการในการกรองข้อมูล จะใช้ร่วมกันกับโปรแกรมภาษาที่เรียกว่า "awk" เป็นโค้ด (Source code) และนำไปคอมไพล์ร่วมกับโปรแกรมชิกวินโดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1) ทำการเขียนโค้ดโปรแกรมในโน้ตแพด (Notepad) แล้วบันทึกเป็นนามสกุล (*.awk) ซึ่งโค้ดโปรแกรมออค (awk) ที่ทำการเขียนจะอ้างอิงไปยังข้อมูลในไฟล์เท็ค (Text file) ที่เราต้องการ โค้ดโปรแกรมอยู่ในภาคผนวก
2) เมื่อทำการเขียนโค้ดโปรแกรมออค (awk) ได้แล้วจะทำการคอมไพล์ร่วมกับโปรแกรมชิ-กวิน (Cygwin) โดยมีคำสั่งดังนี้

   awk –f d:\rawdata\SRST\22.awk

   d:/rawdata/SRST/6600/……*.txt> d:/rawdata/SRST/6600/….*.csv
3) หลังจากโปรแกรมทำงานเสร็จก็สามารถตรวจสอบข้อมูลที่ได้ที่ไดเรคทรอรี่นั้น

   d:/rawdata/SRST/6600/….*.csv

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลที่ได้หลังจากผ่านการกรองเรียบร้อยแล้ว รายงานการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์ในหนึ่งตัว (Unit drive) จะมีลำดับขั้นตอนย่อย (Sub-process) และดังที่แสดงในตารางที่ 3.1 ก็เป็นส่วนหนึ่งของข้อมูล (Raw data) ซึ่งจะนำข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ทางสถิติในลำดับต่อไป

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลที่ได้จากการกรอง

Code	Counter	Test time (sec.)	Code	Counter	Test time (sec.)	Code	Counter	Test time (sec.)
u	1	251	d	44	968	u	80	1
k	2	4	d	45	359	s	82	17
w	7	16	d	46	969	u	83	1
w	8	229	d	47	358	s	85	17
d	12	6910	d	48	968	u	86	1
d	14	6903	v	50	128	s	88	17
w	15	5	v	51	127	u	89	1
T	16	2652	s	53	6715	s	91	18
d	19	6908	w	54	7	u	92	0
v	20	247	s	55	6739	s	94	18
w	21	8	v	56	13	u	95	1
P	23	138	w	57	8	s	97	17
P	24	860	v	65	1	u	98	1
P	25	359	c	66	4	s	100	17
P	27	360	c	67	309	u	101	1
P	29	359	c	68	2	s	103	17
P	31	363	c	69	2	u	104	1
v	33	128	v	71	153	s	106	17
d	36	25000	v	72	14	u	107	1
v	37	128	v	73	65	a	114	97
v	38	127	v	74	16	a	115	456
w	39	240	v	75	20	a	117	4484
d	42	358	u	77	251	?	118	692

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างข้อมูลที่ได้สุ่มมาทั้งหมด นำมาทำการหาคัดแยก (Sort data) ให้ข้อมูลเป็นกลุ่มเดียวกัน เป็นข้อมูลดิบ (Raw data) ก่อนที่จะให้นำไปทำการวิเคราะห์หาค่าทางสถิติต่อไป ต้องการให้ข้อมูลดิบของเรามีจำนวน 2,000 ข้อมูล ต่อหนึ่งขั้นตอนย่อย เพราะฉะนั้นจำนวนข้อมูลก็จะมีขั้นตอนย่อยที่ซ้ำๆ กันตามจำนวนที่เราดึงมา แต่ค่าเวลาของแต่ละตัวจะไม่เหมือนกันคือฮาร์ดดิสก์แต่ละตัวจะใช้เวลาในขั้นตอนย่อยนั้นๆ แตกต่างกันออกไป ตัวแปรที่ใช้คัดแยกข้อมูลก็จะประกอบด้วย โค้ด (Code) และตัวนับ (Counter) เท่านี้ก็จะได้ข้อมูลดิบที่จะนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไปได้ ตารางที่ 3.2 แสดงข้อมูลดิบที่คัดแยกมาได้ของแต่ละขั้นตอนย่อยที่ได้เลือกมา จำนวนที่นำมาแสดงได้เลือกมา 20 ตัวอย่างเท่านั้น แท้ที่จริงดังได้กล่าวไปแล้วว่าได้ทำการสุ่มตัวอย่างทั้งหมด 2,000 ตัวอย่าง ต่อหนึ่งขั้นตอนย่อย

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างข้อมูลดิบของขั้นตอนย่อยที่คัดเลือกแล้ว (Sorted)

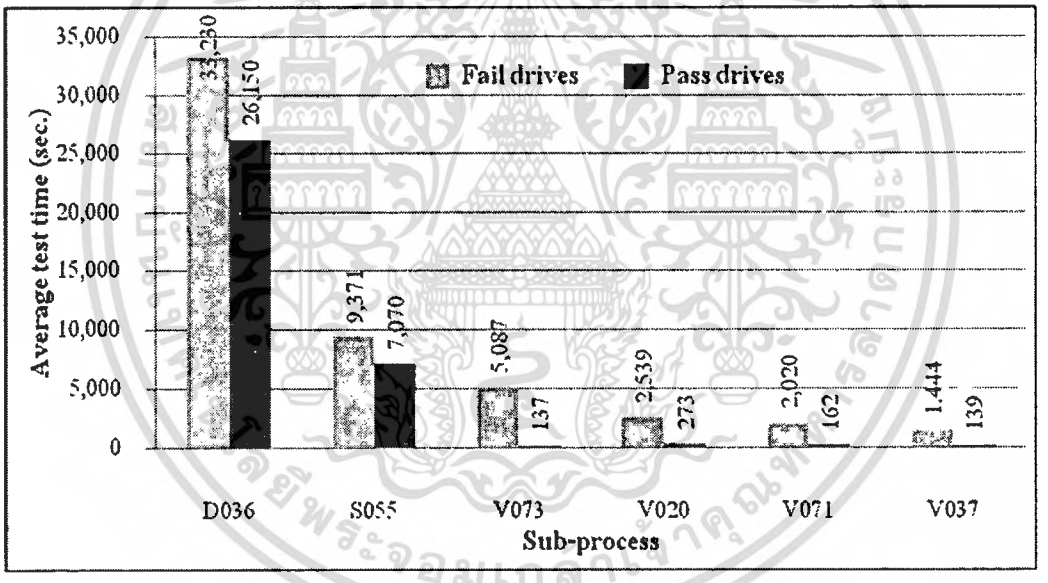
N.	V020	D036	V037	S055	V071	V073
1	256	24114	126	6505	171	31
2	257	26337	132	6855	148	45
3	243	25021	155	6981	174	573
4	356	26544	174	6587	285	30
5	249	26705	130	6991	146	108
6	243	25597	124	7002	139	32
7	265	24805	138	6859	159	166
8	247	25976	123	6847	136	65
9	724	26448	451	6894	223	106
10	363	26342	196	6816	208	142
11	262	27661	137	6592	164	68
12	229	27892	117	7062	124	33
13	261	25550	131	6689	146	58
14	256	27410	128	6725	145	81
15	252	26399	130	6564	151	78
16	233	28018	121	6266	147	27
17	247	26699	126	6590	150	146
18	279	27472	146	7001	158	227
19	361	27484	177	6931	218	400
20	256	25858	131	6893	147	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล (Analysis)

3.5.1 เลือกลำดับขั้นตอนย่อยที่สำคัญ

จากข้อมูลที่ได้มาจะแบ่งออกเป็นสองกลุ่มตัวอย่างคือกลุ่มงานดี (Pass drive) และกลุ่มงานเสีย (Fail drive) หาขั้นตอนย่อย (Sup-process) ที่ใช้เวลาในการทดสอบนานที่สุดของกระบวนการทดสอบ SRST ทั้งหมด โดยสามารถพล็อตข้อมูลเป็นกราฟพาเรโต (Pareto chart) พบว่าที่จริงแล้วมีขั้นตอนที่ใช้เวลานานจริงๆ อยู่ประมาณหกขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.9 แสดงให้เห็นว่าขั้นตอนที่ใช้เวลานานที่สุดของกระบวนการทดสอบ SRST คือขั้นตอน D036 หรือเป็นขั้นตอนการตรวจหาจุดเสียหายของบิตข้อมูลบนแผ่นบันทึก ซึ่งเราทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มงานดีและกลุ่มงานเสีย แล้วพบว่าความแตกต่างระหว่างสองกลุ่มมีความแตกต่างกันค่อยข้างมาก นั้นหมายความว่ากลุ่มงานเสียจะถูกทำการทดสอบจนกว่าเวลาของเครื่องทดสอบจะสิ้นสุด ทำให้เกิดการเสียเวลาในการทดสอบ ซึ่งเวลาของการทดสอบที่ควรจะเป็นคือเท่ากับเวลาเฉลี่ยของกลุ่มงานดี



รูปที่ 3.9 ลำดับความสำคัญของค่าเวลาเฉลี่ยในแต่ละขั้นตอนย่อย (Sup-process)

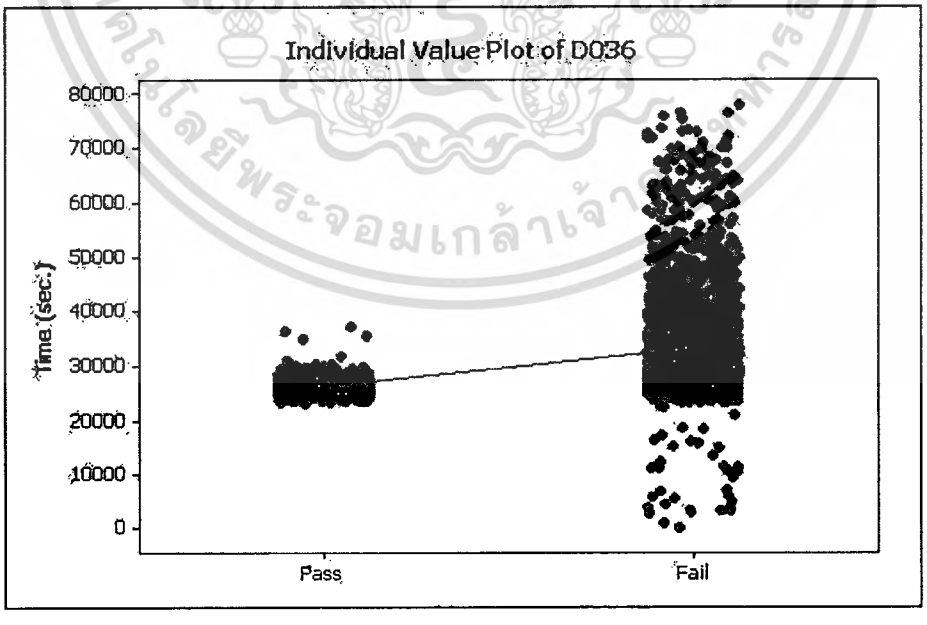
เมื่อทำการพล็อตพาเรโตกราฟ จะพบว่าขั้นตอนย่อยที่มีความสำคัญสูงสุดที่ทำให้เวลาของเครื่องทดสอบโดยรวมนานนั่นคือ ขั้นตอนย่อย D036 ซึ่งในขั้นต่อไปเราจะยกตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนย่อย D036 และในรูปที่ 3.9 ก็จะเห็นลำดับความสำคัญรองลงมา โดยเลือกมาแค่หกขั้นตอนย่อยที่สำคัญเท่านั้น แท้ที่จริงมีขั้นตอนย่อยอีกมากมาย แต่จะใช้เวลาค่อนข้างน้อยจึงไม่น่าสนใจ ในทางทฤษฎีก็ควรจะเลือกลำดับขั้นตอนที่มีความสำคัญมากๆ จะทำให้สามารถมุ่งตรงประเด็นที่สนใจ หรือตรงปัญหาที่ต้องการแก้ไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ค่าเวลาเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของสองกลุ่มตัวอย่าง

ขั้นตอนย่อย (Sup-processes)	ค่าเฉลี่ย (Pass drives)	ค่าเฉลี่ย (Fail drives)	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Pass drives)	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Fail drives)
V020	273	2,539	31	4,855
D036	26,150	33,230	1,107	10,422
V037	139	1,444	17	2,970
S055	7,070	9,371	293	3,825
V071	162	2,020	30	2,541
V073	137	5,087	106	3,573

นอกจากนี้เมื่อข้อมูลทั้งสองกลุ่มมาเปรียบเทียบกันแล้วจะเห็นความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มงานดีกับกลุ่มงานเสีย ในแต่ละลำดับขั้นตอนที่ได้เลือกมา ขั้นตอนย่อย D036 เวลาเฉลี่ยต่างกันเท่ากับ 7080 วินาที หรือประมาณ 2 ชั่วโมง และรองลงมาคือขั้นตอนย่อย V073 เวลาเฉลี่ยต่างกันเท่ากับ 4950 วินาที หรือประมาณ 1.4 ชั่วโมง เป็นต้น ดังตารางที่ 3.3 ในหลักสุดท้ายแสดงค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสองกลุ่มตัวอย่าง แนวความคิดก็คือว่าถ้าหากทำให้กลุ่มงานเสียถูกกำหนดระยะเวลาในการทดสอบให้ไวขึ้น ก็จะทำให้ค่าความแตกต่างของเวลาเฉลี่ยลดลงด้วย ส่งผลให้เครื่องทดสอบสามารถทำการทดสอบได้เร็วขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน อย่างน้อยก็จะทำให้เข้าใกล้ค่าเวลาเฉลี่ยของกลุ่มงานดี



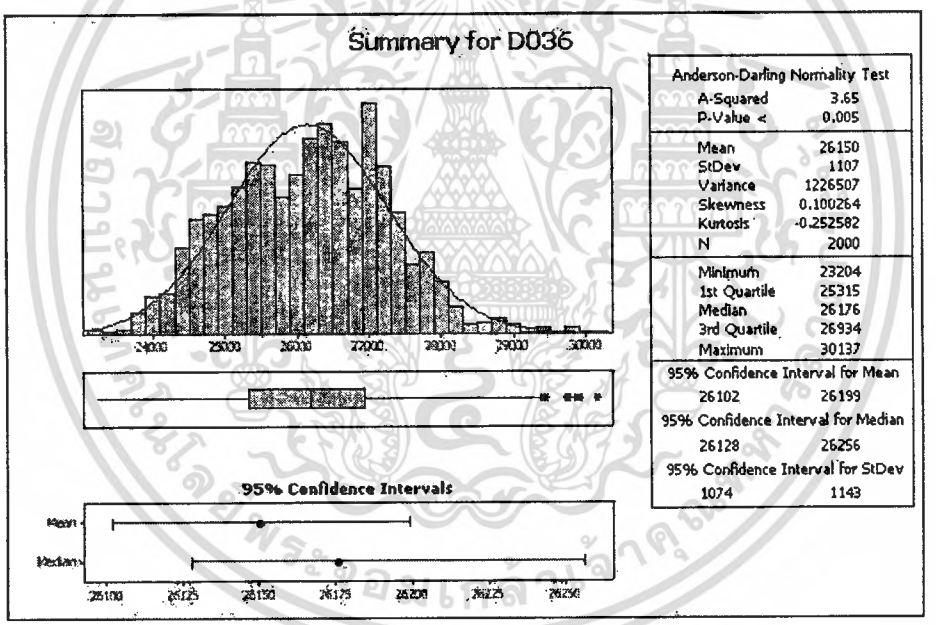
รูปที่ 3.10 พล็อตเปรียบเทียบกันระหว่างสองกลุ่มตัวอย่างของขั้นตอนย่อย D036

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้านสถิติที่ใช้ในการวิจัยนี้จะใช้โปรแกรมมินิแท็บ (Minitab software) ใช้แสดงผลลัพธ์รูปกราฟแบบต่างๆ อธิบายค่าทางสถิติ และวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง จะดำเนินการด้วยโปรแกรมมินิแท็บนี้เป็นหลัก จากรูปที่ 3.10 แสดงให้เห็นความแตกต่างของขั้นตอนย่อย D036 ระหว่างกลุ่มงานดีและกลุ่มงานเสีย เวลาเฉลี่ย (Average) ของกลุ่มงานดีมีค่าเท่ากับ 26150 วินาที หรือประมาณ 7.2 ชั่วโมง เวลาเฉลี่ยของกลุ่มงานเสียมีค่าเท่ากับ 33230 หรือประมาณ 9.2 ชั่วโมง และค่าความแปรปรวน (Variance) ของข้อมูลก็จะเห็นว่ากลุ่มงานดีจะมีค่าความแปรปรวนน้อยกว่ากลุ่มงานเสีย จะแสดงในเชิงปริมาณในหัวข้อถัดไป

3.5.2 ผลทางสถิติของขั้นตอนย่อย

ดังที่แสดงในรูปที่ 3.11 ผลที่ได้จากโปรแกรมมินิแทบของขั้นตอน D036 เป็นกราฟรวมผลลัพธ์ทางสถิติ (Summary graph) ได้ในกลุ่มงานดี สิ่งที่เราสนใจผลที่ได้ทางสถิติมีดังนี้ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26150 ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1107

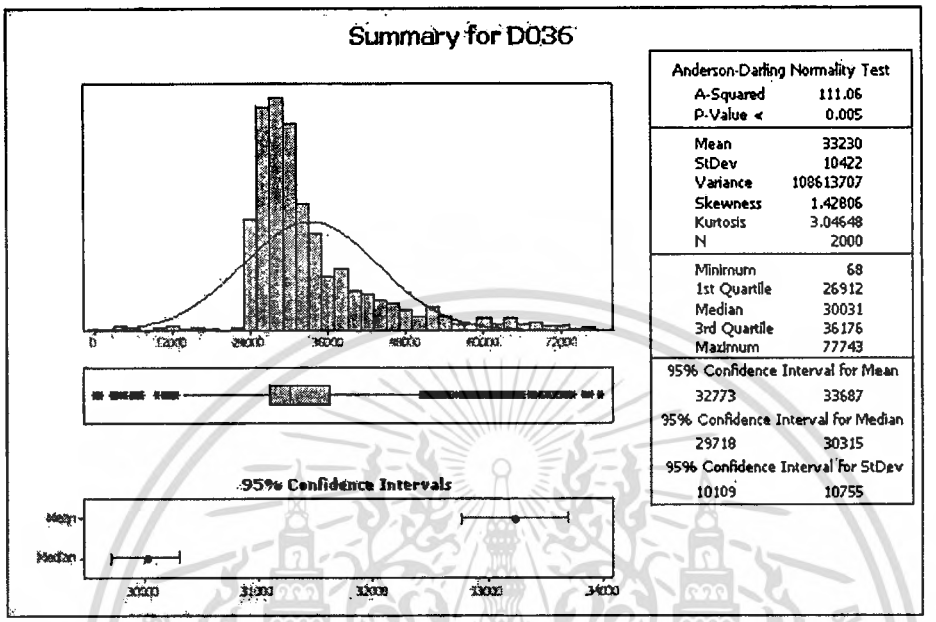


รูปที่ 3.11 ผลลัพธ์ทางสถิติของกลุ่มงานดีของขั้นตอน D036

จากกราฟที่พล็อตรวมผลลัพธ์ที่ได้ทางสถิติของขั้นตอนย่อย D036 ทั้งสองกลุ่มตัวอย่างคือในรูปที่ 3.11 เป็นของกลุ่มงานดี และในรูปที่ 3.12 เป็นของกลุ่มงานเสีย เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้พบว่ากลุ่มงานดีจะให้ค่าสถิติที่มีความเสถียรภาพมากกว่านั่นหมายถึง ค่าเฉลี่ยของเวลาในการทดสอบมีค่าน้อยซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการ ค่าความแปรปรวนของข้อมูลต่ำ หรือมีค่าความเบี่ยงเบนของข้อมูลน้อยกว่า และถ้าสังเกตรูปทรงของกราฟทั้งที่เป็นกราฟแท่ง และกราฟเส้นการกระจายตัวของข้อมูลของกลุ่มงานดีจะเหมือนการกระจายแบบปกติมากกว่า เพราะฉะนั้นในการอนุมานค่าทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถิติเพื่อที่จะนำไปควบคุมกระบวนการต้องพิจารณาค่าของกลุ่มงานดีเป็นหลัก จะทำให้ผลลัพธ์มีความใกล้เคียง หรือทำให้การปรับปรุงกระบวนการมีประสิทธิภาพมากกว่า คล้ายกับสมมติให้ข้อมูลที่ได้จากกลุ่มงานดีนี้เป็นรูปแบบของข้อมูลที่อยู่ภายใต้สภาวะควบคุม



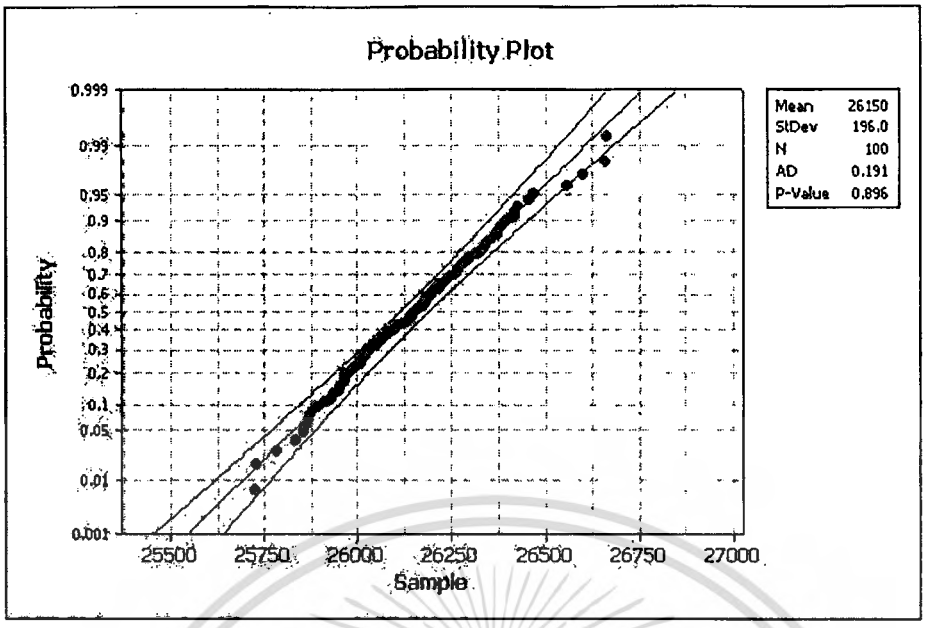
รูปที่ 3.12 ผลลัพธ์ทางสถิติของกลุ่มงานเสียของขั้นตอน D036

3.5.3 ทดสอบความเป็นการกระจายแบบปกติ (Normality test)

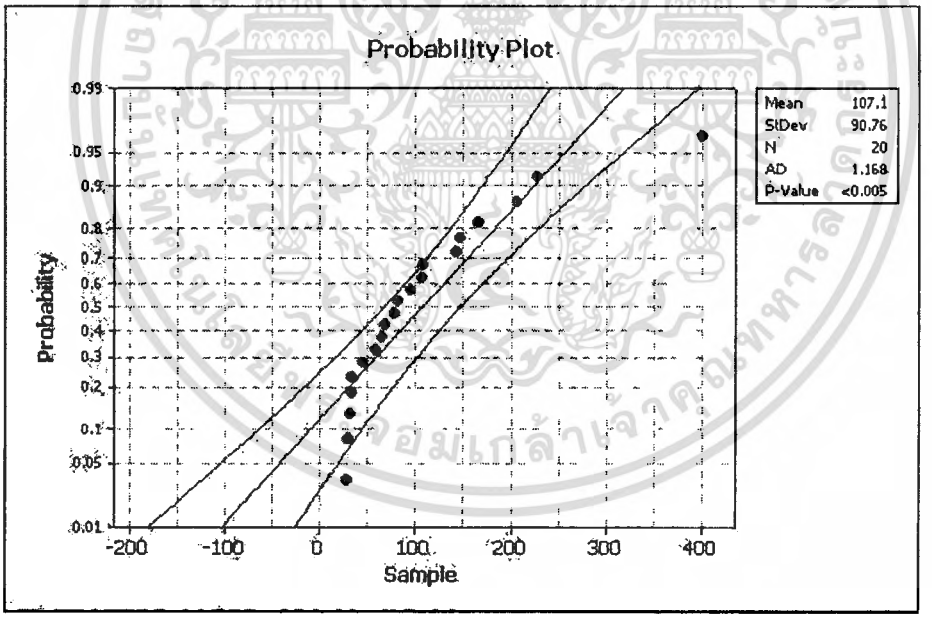
จากรูปที่ 3.11 กราฟที่แสดงผลลัพธ์ของกลุ่มงานดีในขั้นตอน D036 โดยใช้โปรแกรมมินิแท็บจะพบว่าการกระจายของข้อมูลไม่เป็นแบบปกติ เนื่องจากจำนวนข้อมูลที่นำมาทดสอบความเป็นการกระจายแบบปกตินั้นมีข้อมูลจำนวนมาก ซึ่งทำให้ผลที่ได้มีความเป็นไปได้น้อยที่จะทำให้ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ แต่ถ้าเราแบ่งข้อมูลเป็นกลุ่มย่อยแล้วทำการทดสอบใหม่ก็จะพบว่าข้อมูลมีการกระจายเป็นแบบปกติ ซึ่งค่าเฉลี่ยของกลุ่มของข้อมูลที่ยังคงเท่าเดิมดังแสดงผลในรูปที่ 3.13 พล็อตความน่าจะเป็นของกลุ่มตัวอย่างที่ได้สุ่มมาเพื่อทดสอบความเป็นการกระจายแบบปกติ

เมื่อเราทำการสุ่มข้อมูลตัวอย่างจากขั้นตอน D036 ออกเป็นกลุ่มย่อยจากข้อมูลทั้งหมด 2,000 ตัว แบ่งเป็นกลุ่มๆ ละ 20 ตัว จะได้ข้อมูลทั้งหมด 100 กลุ่ม เพื่อให้มั่นใจเราจึงทำการทดสอบความเป็นการกระจายแบบปกติ โดยทดสอบแบบ Probability plot จำลองการทำงานในโปรแกรม Minitab ดังที่แสดงในรูปที่ 3.13 ทดสอบการกระจายของข้อมูลเป็นแบบปกติในขั้นตอนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ D036 ค่าที่บ่งบอกในเชิงปริมาณคือ p-value = 0.896 (Probability value มากกว่า 0.05) กล่าวได้ว่ากลุ่มตัวอย่างที่ได้มามีการกระจายเป็นแบบปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ทดสอบความเป็นการกระจายแบบปกติของข้อมูลในขั้นตอน D036 (P-value = 0.896)



รูปที่ 3.14 กลุ่มตัวอย่างข้อมูลมีการกระจายไม่เป็นแบบปกติ (Non-normal distribution)

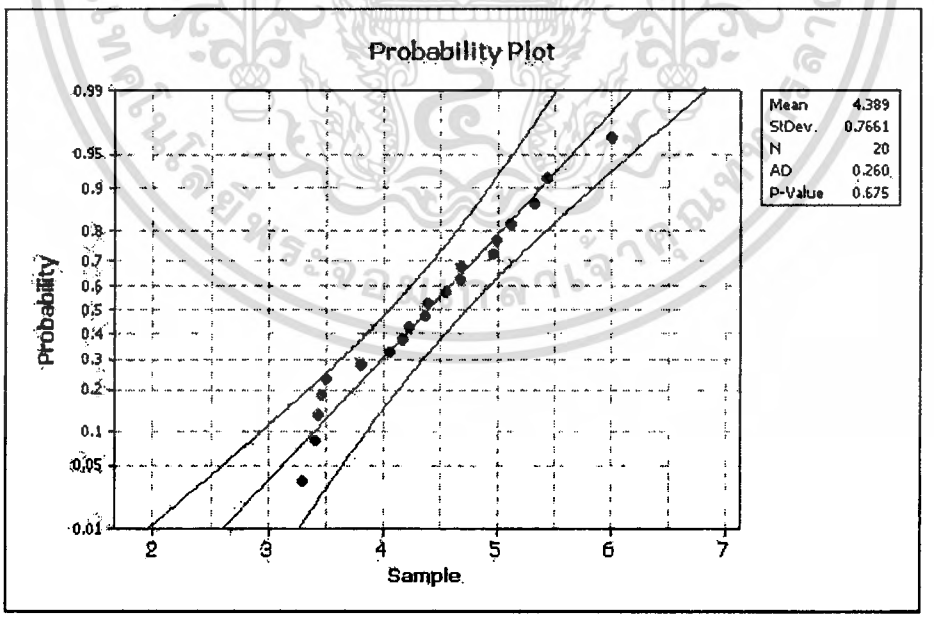
ในกรณีของกลุ่มข้อมูลที่ได้สุ่มมาพบว่ามีการกระจายไม่เป็นแบบปกติ (Non-normal distribution) ดังแสดงค่าของข้อมูลในตารางที่ 3.4 ตัวอย่างของข้อมูลของขั้นตอนย่อย V073 ซึ่งมีการกระจายไม่เป็นแบบปกติ ในการวิเคราะห์หาความสามารถของกระบวนการโดยให้ทำการเปลี่ยนข้อมูลไปอยู่ในรูปของการกระจายตัวเป็นแบบปกติ ในที่นี้เราจะใช้วิธีการแปลงข้อมูลแบบ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Box-Cox หรือเรียกว่า "Box-Cox Transformation" แสดงด้วยสมการที่ (2.18) ที่ค่าแลมบ์ด้าเท่ากับศูนย์ (Lambda = 0) เป็นจุดที่ทำให้ข้อมูลมีความเป็นการกระจายเป็นแบบปกติมากที่สุด

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้ถูกแปลงด้วย Box-cox transformation (Lambda=0)

N	Non-transformation	Transformation with Lambda = 0	N	Non-transformation	Transformation with Lambda = 0
1	31	3.43399	11	33	3.49651
2	45	3.80666	12	58	4.06044
3	30	3.40120	13	81	4.39445
4	108	4.68213	14	78	4.35671
5	32	3.46574	15	27	3.29584
6	166	5.11199	16	146	4.98361
7	65	4.17439	17	227	5.42495
8	106	4.66344	18	400	5.99146
9	142	4.95583	19	94	4.54329
10	68	4.21951	20	94	5.32301



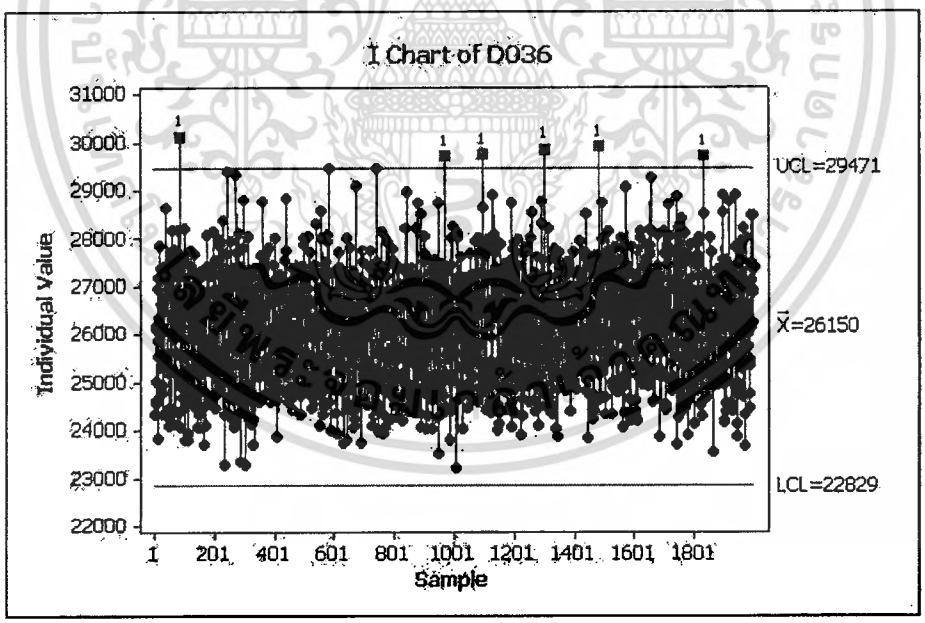
รูปที่ 3.15 กลุ่มตัวอย่างข้อมูล V073 หลังจากการแปลงข้อมูลแล้วมีการกระจายเป็นแบบปกติ (Normal distribution) P-value = 0.675

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังที่แสดงในรูปที่ 3.15 เป็นการทดสอบข้อมูลว่ามีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ ในขั้นตอนย่อย V073 กลุ่มตัวอย่างที่ได้มาข้อมูลมีการกระจายไม่เป็นแบบปกติ ทำการแปลงข้อมูลใหม่ด้วยการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ด็อกซ์ (Box-cox transformation) ทำให้ได้ข้อมูลชุดใหม่ที่มีการกระจายเป็นแบบปกติ สามารถนำไปประเมินหาความสามารถของกระบวนการที่เชื่อถือได้

3.5.4 สร้างแผนภูมิควบคุม

ข้อมูลที่นำมาจำลองสร้างแผนภูมิควบคุมเป็นขั้นตอนย่อย D036 โดยสมมติให้กระบวนการอยู่ภายใต้สภาวะควบคุม ซึ่งให้จำลองมาจากข้อมูลกลุ่มงานดี แสดงให้เห็นว่าถ้าเป็นไปตามสมมติฐานแล้วข้อมูลกลุ่มงานดีที่ต้องการส่วนใหญ่ก็จะสามารถผ่านพิกัดควบคุม หรือเวลาที่ใช้ในการทดสอบในขั้นตอนย่อย D036 สามารถอยู่ในเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ จากรูปที่ 3.16 ค่าพิกัดควบคุมด้านบนมีค่าเท่ากับ 29471 และจะมีจำนวนข้อมูลบางส่วนที่ใช้เวลาทดสอบเกิน ซึ่งก็จะถูกกำหนดให้เป็นของเสีย และถ้าดูข้อมูลกลุ่มงานเสียโดยส่วนใหญ่จะใช้เวลาเกินที่ได้กำหนดไว้ก็จะสามารถตัดช่วงเวลาที่สูญเปล่ากับฮาร์ดดิสก์ที่ไม่ผ่านกระบวนการทดสอบ ค่าพิกัดควบคุมที่ได้จะอ้างอิงสมการที่ (2.9), (2.10) และ (2.11) ในแผนภูมิควบคุมถ้าไม่ได้กำหนดสิ่งที่ต้องการลงไป โปรแกรมจะพิจารณาค่าทางสถิติของขั้นตอนย่อย D036 ที่ได้มาจากหัวข้อก่อนนี้ได้ดังนี้



รูปที่ 3.16 จำลองสร้างแผนภูมิควบคุมของขั้นตอนย่อย D036

จำนวนข้อมูล $N = 2{,}000$ ตัวอย่าง ที่เป็นกลุ่มงานดีที่สมมติว่าอยู่ภายใต้สภาวะควบคุม

ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 26150$, ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\hat{\sigma}, S = 1107$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$USL = \bar{\bar{X}} + 3\hat{\sigma}$$

$$= 26150 + 3 \times (1107) = 29471$$

$$CL = \bar{\bar{X}} = 26150$$

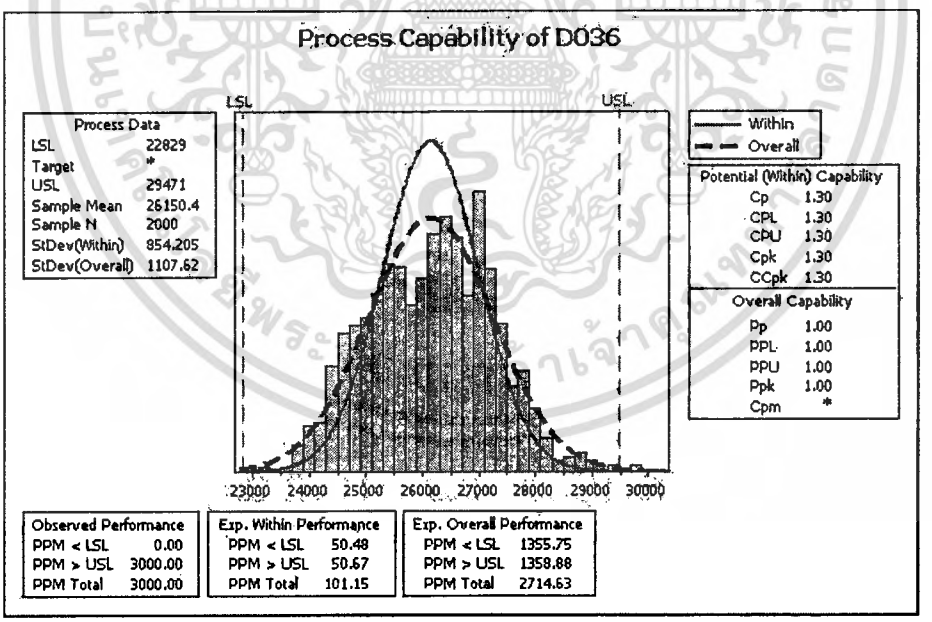
$$LSL = \bar{\bar{X}} - 3\hat{\sigma}$$

$$= 26150 - 3 \times (1107) = 22829$$

ก็จะเท่ากับค่าที่โปรแกรมคำนวน หรือค่าเดิมที่ได้ตั้งไว้ (Default) ของโปรแกรม

3.5.5 ดัชนีความสามารถของกระบวนการ

การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ ในที่นี้ก็คือจะแสดงค่าดัชนีความสามารถของขั้นตอนย่อย D036 ดังที่แสดงในรูปที่ 3.17 ค่าดัชนีความสามารถแบบระยะสั้น C_{pk} = 1.30, ค่าดัชนีความสามารถแบบระยะยาว P_{pk} = 1.00 และประเมินสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นดังนี้ สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นจากจำนวนของข้อมูล PPM (Observed performance) = 0.30%, สัดส่วยของเสียที่เกิดขึ้นจากการประเมินแบบระยะสั้น PPM (Exp. Within performance) = 0.01% และสุดท้ายสัดส่วยของเสียที่เกิดขึ้นจากการประเมินแบบระยะยาว PPM (Exp. Overall performance) = 0.27%,



รูปที่ 3.17 วิเคราะห์ความสามารถของขั้นตอนย่อย D036

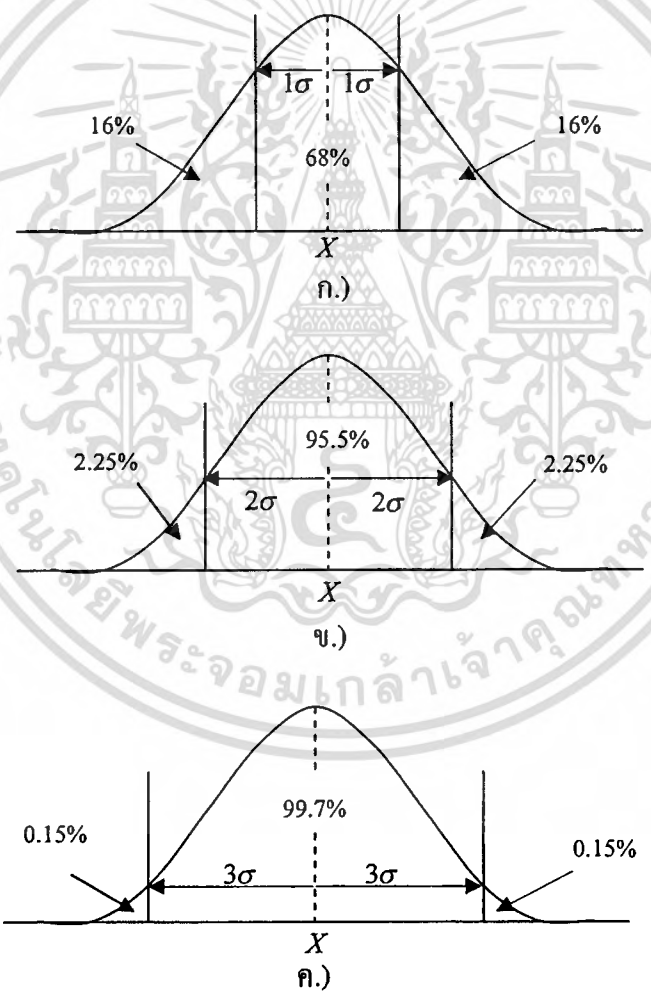
วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้คือต้องการกำหนดพิกัดควบคุม (Specification limit) กระบวนการในขั้นตอนย่อยต่างๆ ที่เราสนใจ เพื่อที่จะนำไปใช้กับเครื่องทดสอบ ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฮาร์ดดิสก์ที่ใช้เวลาในการทดสอบเกินจากพิกัดควบคุมกระบวนการไปแล้ว จะกำหนดให้ฮาร์ดดิสก์ตัวนั้นเป็นฮาร์ดดิสก์เสียแล้วกำหนดเป็นรหัสความผิดพลาด (Error code) ขึ้นมา เมื่อคำนวณเวลาเฉลี่ยของขั้นตอนย่อยนั้นแล้วทำให้เวลาเฉลี่ยลดลง ซึ่งจะส่งผลทำให้เวลาที่ใช้โดยรวมของเครื่องทดสอบลดลงได้เช่นเดียวกัน

3.6 รูปแบบการควบคุม (Control model)

ในการควบคุมขั้นตอนย่อยในกระบวนการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์นั้น จากข้อสมมติฐานที่ว่าถ้าสามารถควบคุมระยะเวลาในขั้นตอนย่อยในแต่ละขั้นตอนที่ใช้เวลานานๆ จะทำให้ค่าเวลาเฉลี่ยในขั้นตอนนั้นลดลง

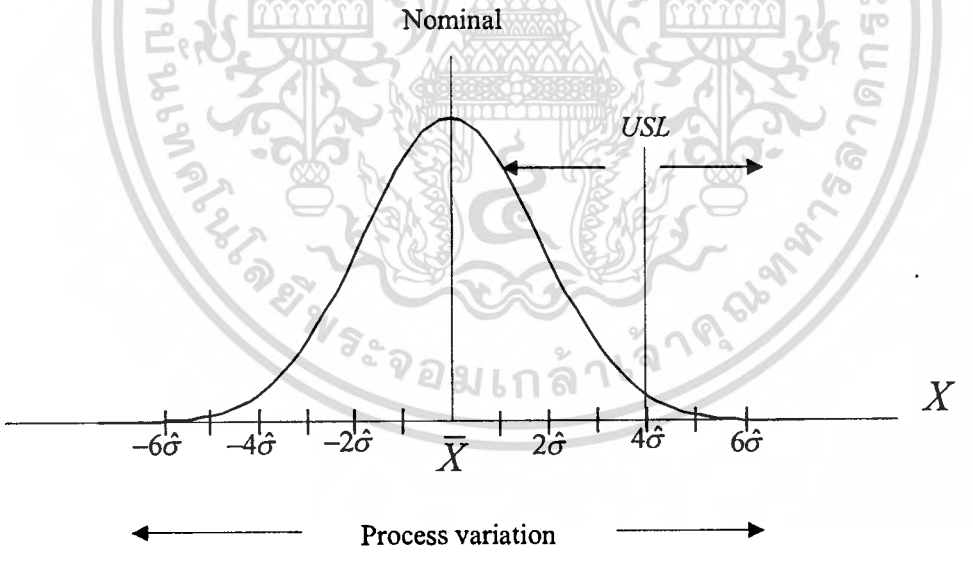


รูปที่ 3.18 มาตรฐานการควบคุมด้วยวิธีการทางสถิติ ก.) เป็นการควบคุมกระบวนการที่ระดับ $\pm 1\sigma$ ข.) เป็นการควบคุมกระบวนการที่ระดับ $\pm 2\sigma$ ค.) เป็นการควบคุมกระบวนการที่ระดับ $\pm 3\sigma$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วจะทำให้เวลาของการทดสอบ SRST โดยรวมลดลงด้วยเช่นเดียวกัน ด้วยค่าทางสถิติของแต่ละขั้นตอนย่อยที่ได้มาดังตารางที่ 3.3 จากนั้นก็ทำการประยุกต์ใช้การควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติ (SPC: Statistical process control) และวิเคราะห์หาความสามารถของกระบวนการ (PCA: Process capability analysis) เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการดังนี้ ข้อคำนึงในกำหนดรูปแบบการควบคุมขั้นตอนย่อย ให้ทำการพิจารณาค่าทางสถิติจากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นกลุ่มงานดี (Pass drive) เพราะว่าเราต้องการที่ให้ผลที่ได้มีความใกล้เคียงกับรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลในกลุ่มงานดีมากกว่ากลุ่มงานเสีย กลุ่มงานเสียจะให้ค่าทางสถิติที่ไม่แน่นอนคือเมื่อนำมาประเมินผลแล้วทำให้ผิดพลาดมากกว่า ของจากเส้นโค้งที่แสดงถึงการกระจายตัวของข้อมูล หรือจากข้อมูลที่เราได้สุ่มมาสามารถอธิบายการ

จะทำการกำหนดพิกัดควบคุมโดยพิจารณาจากข้อมูลทางสถิติของกลุ่มงานดีที่ผ่านการทดสอบเป็นหลักเพราะเราต้องการความสามารถของกระบวนการที่ทำได้ดีที่สุดในปัจจุบัน พบว่าถ้านำกลุ่มงานที่ไม่ผ่านการทดสอบมาพิจารณาแล้วจะทำให้การอนุมานค่าทางสถิติมีความผิดพลาดสูง เพราะค่าทางสถิติที่ได้จากกลุ่มงานเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการทดสอบเช่น ค่ากลางของข้อมูล ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีความเชื่อถือได้น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลของกลุ่มงานดี



รูปที่ 3.19 รูปแบบในการกำหนดพิกัดควบคุม (ควบคุมด้านบน)

หากพิจารณาภายใต้กระบวนการที่มีการกระจายเป็นแบบปกติแล้ว มาตรฐานที่เป็นที่นิยมสำหรับควบคุมกระบวนการคือการควบคุมด้วยวิธีการทางสถิติ จากรูปที่ 3.19 ให้ทำการพิจารณาพื้นที่ใต้กราฟของข้อมูลที่มีการกระจายเป็นแบบปกติ จะพบว่าถ้ากำหนดการควบคุมเป็น $\pm 1\sigma$ รอบค่ากลางของกระบวนการ ได้เปอร์เซ็นต์การยอมรับที่ 68% ของพื้นที่ใต้กราฟ เกิดของเสียใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการประมาณ 32% และถ้ากำหนดการควบคุมเป็น $\pm 2\sigma$ รอบค่ากลางของกระบวนการ ทำให้ได้เปอร์เซ็นต์การยอมรับที่ 95.5 % ของพื้นที่ใต้กราฟ ของเสียที่จะเกิดประมาณ 5.5% สุดท้ายเป็นที่นิยมสำหรับการควบคุมคือ $\pm 3\sigma$ รอบค่ากลางของกระบวนการ ทำให้ได้เปอร์เซ็นต์การยอมรับที่ 99.7 % ของพื้นที่ใต้กราฟ ของเสียที่จะเกิดประมาณ 0.3% จากนี้เราจะนำไปกำหนดพิกัดควบคุมในแต่ละขั้นตอนย่อย แสดงดังสมการที่ (2.9), (2.10) และ (2.11) ในบทที่ 2

3.6.1 การคำนวณพิกัดควบคุม (Calculation specification limit)

สมมติฐานที่ว่าข้อมูลใดๆ ที่ถูกสุ่มแล้วจะมีการกระจายตัวเป็นการกระจายแบบปกติ (Normal distribution) ภายใต้สภาวะควบคุมโดยธรรมชาติซึ่งโดยส่วนใหญ่ก็จะเป็นแบบนั้น แต่ก็ไม่เสมอไปถ้ามีการกระจายไม่เป็นแบบปกติก็จะมีวิธีการพิจาณา หรือใช้วิธีการทางสถิติที่แตกต่างกันออกไป การคำนวณหาพิกัดควบคุมในที่นี้จะยกตัวอย่างข้อมูลที่ถูกสุ่มมาเป็นขั้นตอนย่อย D036 จำนวนข้อมูล $N = 2{,}000$ ตัวอย่าง ที่เป็นกลุ่มงานดีที่สมมติว่าอยู่ภายใต้สภาวะควบคุม ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 26150$, ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\hat{\sigma}, S = 1107$ สามารถหาเส้นพิกัดควบคุมด้านบน Upper control limit: *USL*

ระดับคุณภาพที่ 1σ

$$USL = \bar{X} + 1\hat{\sigma}$$
$$= 26150 + 1 \times (1107) = 27257$$

ระดับคุณภาพที่ 2σ

$$USL = \bar{X} + 2\hat{\sigma}$$
$$= 26150 + 2 \times (1107) = 28364$$

ระดับคุณภาพที่ 3σ

$$USL = \bar{X} + 3\hat{\sigma}$$
$$= 26150 + 3 \times (1107) = 29471$$

ระดับคุณภาพที่ $4\sigma, 5\sigma, 6\sigma$ จะได้ค่าพิกัดควบคุมมีค่าเท่ากับ 30578, 31685 และ 32792 ตาลำดับ

จากกลุ่มตัวอย่างในขั้นตอนย่อย D036 เพื่อที่จะคำนวณหาพิกัดควบคุมด้านบน (Upper specification limit: *USL*) ได้แล้วเราก็ทำการกำหนดเส้นควบคุมในขั้นตอนอื่นๆ ที่มีความสำคัญคือที่ใช้เวลาในการทดสอบรองลงมาจากขั้นตอน D036 ซึ่งแสดงดังตารางที่ 3.5 ผลที่ได้จากการกำหนดพิกัดควบคุมด้านบนในแต่ละขั้นตอนย่อยที่ได้เลือกมามีทั้งหมด 6 ขั้นตอนย่อย ก็จะแบ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับคุณภาพการควบคุมออกเป็น 6 ระดับ ที่ได้กล่าวไปแล้วคือตั้งแต่ 1σ ถึง 6σ เพื่อเป็นการปรับหาจุดพิกัดควบคุมที่เหมาะสมกับแต่ละขั้นตอนย่อย และที่จะใช้ในการทดสอบกับข้อมูลที่มีอยู่

ตารางที่ 3.5 เส้นพิกัดควบคุมของแต่ละขั้นตอนย่อยในแต่ละระดับคุณภาพ

ขั้นตอนย่อย Sub-process	ค่าเฉลี่ย	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน	พิกัดควบคุม (Upper specification limit: *USL*)					
			1σ	2σ	3σ	4σ	5σ	6σ
V020	273	31	304	335	366	397	428	459
D036	26,150	1,107	27,257	28,364	29,471	30,578	31,685	32,792
V037	139	17	156	173	190	207	224	241
S055	7,070	293	7,363	7,656	7,949	8,242	8,535	8,828
V071	162	30	192	222	252	282	312	342
V073	137	106	243	349	455	561	667	773

3.6.2 การเลือกพิกัดการควบคุมที่เหมาะสมสำหรับขั้นตอนย่อย

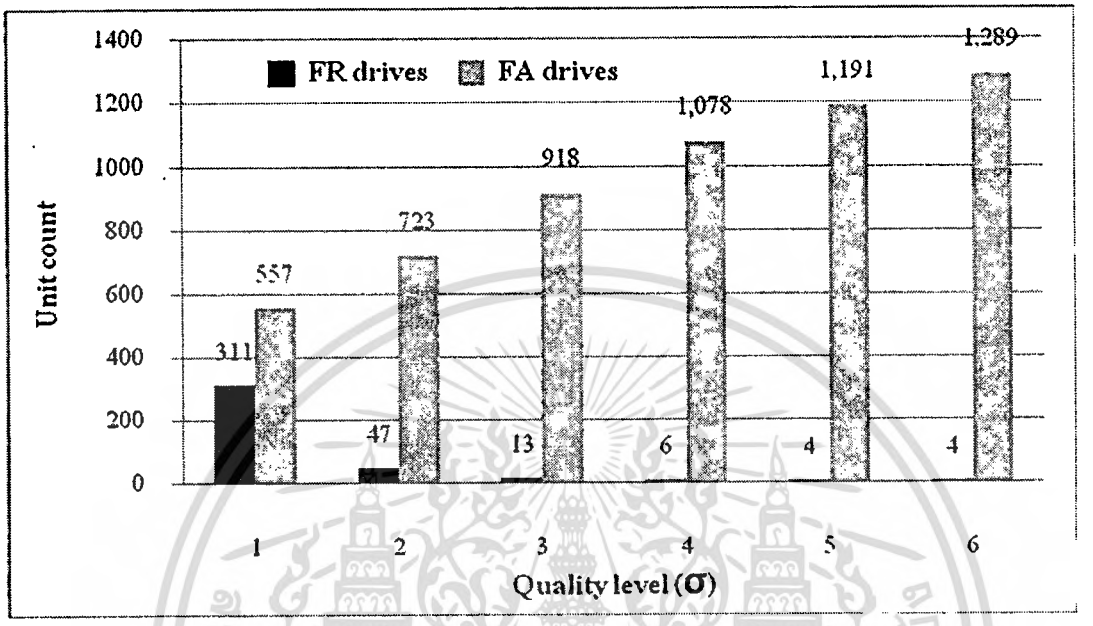
ดังตารางที่ 3.5 เป็นพิกัดควบคุมที่คำนวณได้ที่ระดับคุณภาพ 1σ ไปจนถึง 6σ ได้ทำการปรับแต่งพิกัดควบคุมของแต่ละขั้นตอนย่อย โดยการนำค่าที่ได้จากการคำนวณดังที่แสดงในตารางที่ 3.5 นำไปทดลองปรับแต่งหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ที่จะใช้กำหนดพิกัดควบคุมในแต่ละขั้นตอนย่อย ยกตัวอย่างผลที่ได้จากการปรับแต่งของขั้นตอนย่อย D036 ดังที่แสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 เปรียบเทียบผลในการปรับแต่งค่าพิกัดที่เหมาะสมของขั้นตอนย่อย D036

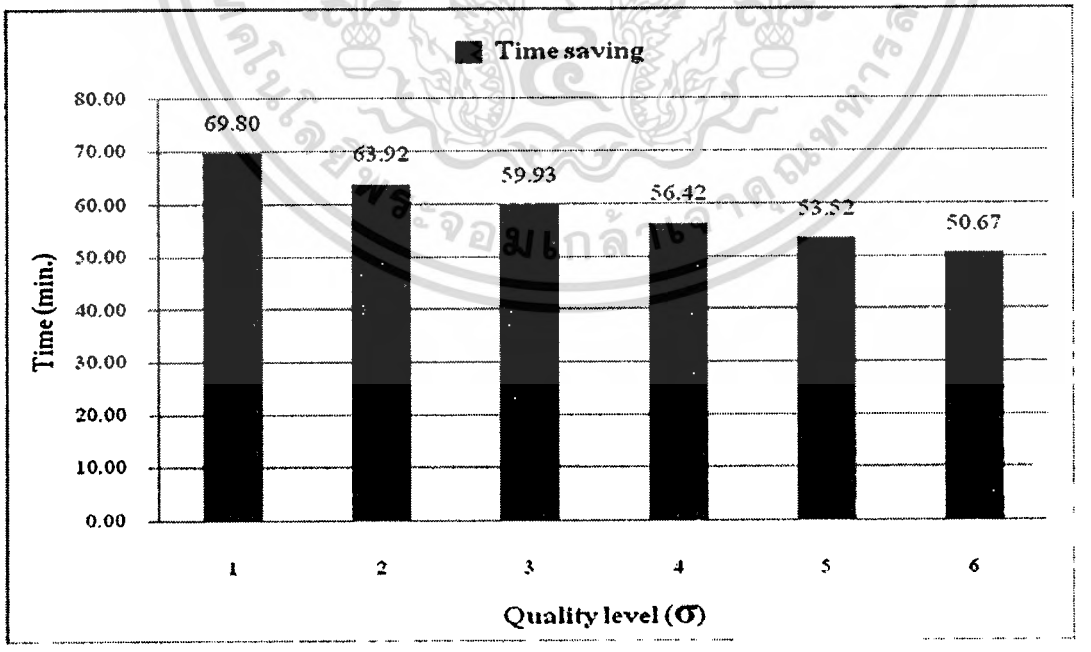
ระดับคุณภาพ	FR drives (units)	FA drives (units)	Time saving (%)	Yield (%)	C_{pk}
1σ	311	557	14.10	84.45	0.55
2σ	47	723	12.91	97.65	0.72
3σ	13	918	12.11	99.35	1.01
4σ	6	1,078	11.40	99.70	1.32
5σ	4	1,191	10.81	99.80	1.64
6σ	4	1,289	10.23	99.80	1.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งตัวอย่างขั้นตอนย่อย D036 ที่ได้เลือกมาทำการแสดง จะเห็นได้ว่าในการพิจารณาพิกัดควบคุมที่จะนำไปใช้ในขั้นตอนย่อย D036 นี้นั้นจะต้องได้รับการปรับแต่งให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยการพิจารณาผลของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ และเวลาเฉลี่ยที่ลดลงในการปรับเปลี่ยนค่าระดับคุณภาพ



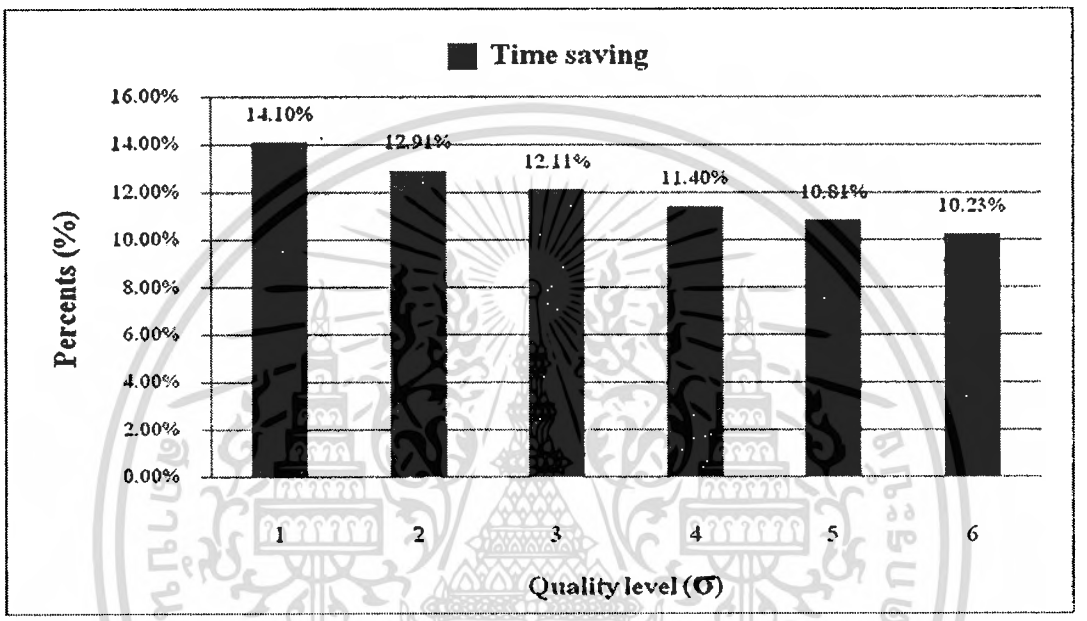
รูปที่ 3.20 เปรียบเทียบสัดส่วน FR และ FA ในแต่ละระดับคุณภาพ



รูปที่ 3.21 เปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยที่ลดลงในแต่ละระดับคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

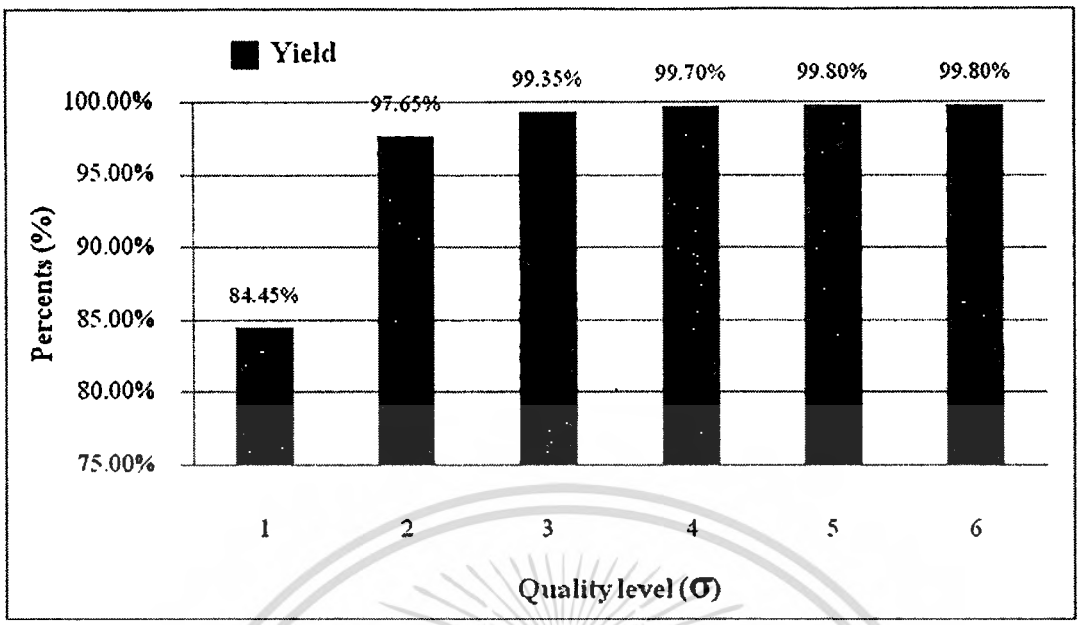
ในรูปที่ 3.20 ได้แสดงผลค่าของสัดส่วนการตัดกลุ่มงานดี และสัดส่วนการยอมรับงานเสีย ที่ได้ในการปรับแต่งพิกัดควบคุมของขั้นตอนย่อย D036 สัดส่วนของค่า FR และ FA จะมีผลโดยตรงกับค่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ และค่าเวลาเฉลี่ยที่จะสามารถลดลงได้ตามลำดับ ผลที่ได้จากการปรับแต่งจะแสดงให้เห็นได้ว่า ถ้าค่า FR มีค่ามากๆ ก็คือ จะเป็นสัดส่วนที่กลุ่มงานดีจะถูกตัดออกไปสูงตาม ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมีค่าน้อย และถ้าค่า FA มีค่ามากๆ นั่นก็หมายความว่าสัดส่วนที่กลุ่มงานเสียถูกยอมรับเยอะด้วย จะทำให้ค่าเวลาที่ได้รับมีค่าเฉลี่ยสูงตามไปด้วย



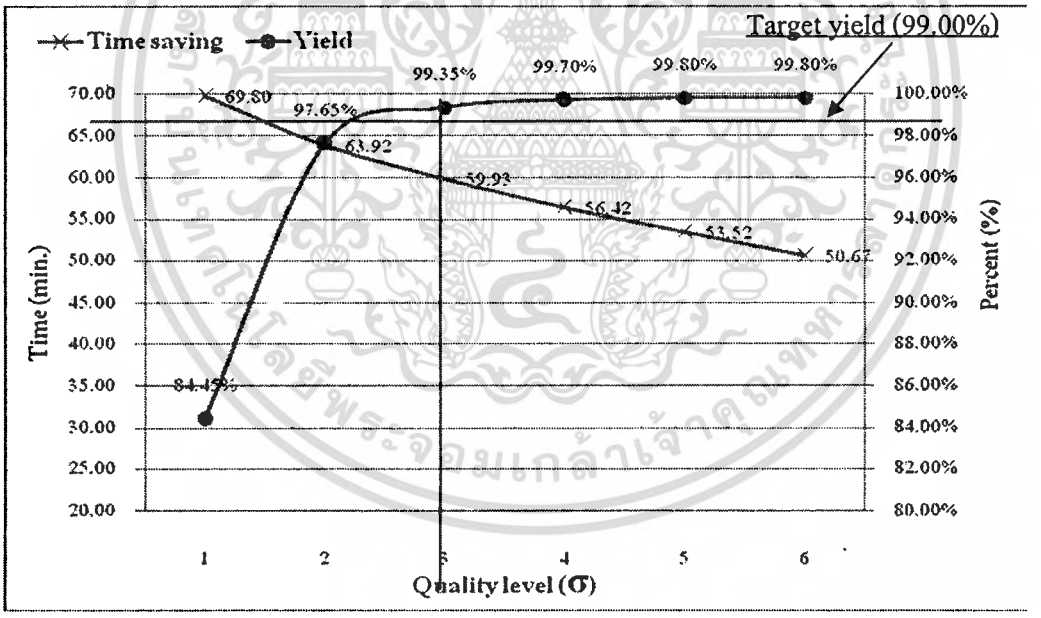
รูปที่ 3.22 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของเวลาเฉลี่ยที่ได้รับในแต่ละระดับคุณภาพ

รูปที่ 3.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยที่ลดลงเมื่อทดลองปรับแต่งพิกัดควบคุมที่เหมาะสม เวลาเฉลี่ยที่ลดลงในแต่ละระดับคุณภาพของพิกัดควบคุม จะพบว่าเวลาเฉลี่ยที่ลดลงนั้นมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 60 นาที หรือ 1 ชั่วโมง คือไม่ว่าจะทำการกำหนดใช้ระดับคุณภาพที่เท่าไหรก็ตามเวลาที่ลดลงในขั้นตอนย่อย D036 ก็ถือว่ามีค่าใกล้เคียงกัน และคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ดังที่แสดงในรูปที่ 3.22 โดยพิจารณาจากเวลาเฉลี่ยก่อนและหลังที่ได้มีการกำหนดพิกัดควบคุม ค่าเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงอยู่ที่ประมาณ 12% ดังนั้นจะได้ทำการพิจารณาผลของเวลาเฉลี่ยที่ลดลงร่วมกันกับค่าของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ เพื่อหาพิกัดควบคุมที่เหมาะสมที่จะกำหนดใช้กับขั้นตอนย่อย D036 นี้ต่อไป ดังในกราฟรูปที่ 3.23 นี้เป็นผลการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ได้รับในแต่ละระดับคุณภาพ จะพบว่าที่ระดับคุณภาพที่ 3σ ขึ้นไปก็จะให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับเกินกว่า 99.00% แล้ว ดังนั้นในขั้นตอนย่อย D036 นี้จะเลือกพิกัดควบคุมด้านบนที่ระดับคุณภาพที่ 3σ ก็ถือได้ว่าเหมาะสม ด้วยเหตุผลดังที่ได้พิจารณามาเป็นลำดับข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ได้รับในแต่ละระดับคุณภาพ



รูปที่ 3.24 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างผลิตภัณฑ์ที่ได้รับและเวลาเฉลี่ยที่ลดลง เพื่อเลือกพิกัดควบคุมของขั้นตอนย่อย D036

จากรูปที่ 3.24 เมื่อเลือกระดับควบคุมคุณภาพที่ระดับ 3σ จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับเป็น 99.35% ซึ่งก็ถือว่าสูงกว่าเป้าหมายที่ได้ตั้งไว้ ประมาณเวลาเฉลี่ยที่ลดลงอยู่ที่ 59.93 นาที การพิจารณาเป้าหมายผลิตภัณฑ์ที่ได้รับนั้น ต้องตรวจสอบว่าปัจจุบันผลิตภัณฑ์ที่ได้รับในสายการผลิต

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ที่กี่เปอร์เซ็นต์ (Yield of production line) แล้วทำการตั้งเป้าหมายให้มีค่าที่สูงกว่าปัจจุบัน จะทำให้ลดผลกระทบกับผลิตภัณฑ์ที่ได้รับในสายการผลิตด้วย ยกตัวอย่างการเลือกพิกัดควบคุมที่เหมาะสมที่สุดในขั้นตอนย่อยต่อไปคือ V020, V037, S055, V071 และ V073 แสดงในตารางที่ 3.7 ซึ่งจะพบว่ามีบางขั้นตอนย่อยที่ให้ผลที่เป็นค่าของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับน้อยกว่าเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ เราสามารที่จะไม่ทำการควบคุมกระบวนการย่อยด้วยวิธีการนี้ก็ได้ แต่ในที่นี้จะได้ทำการทดลองเพื่อแสดงให้เห็นได้ว่า ผลของการควบคุมสามารถทำให้กระบวนการย่อยใช้ค่าเวลาในการทดสอบลดลงได้ กระบวนการที่น่าจะสามารถทดสอบได้จริงได้แก่ ขั้นตอนย่อย D036 และS055 โดยใช้ระดับคุณภาพที่ 3σ และ 5σ ตามลำดับ ซึ่งจะให้ผลลัพธ์ที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ และเวลาเฉลี่ยที่ลดลงได้ดีกว่าขั้นตอนย่อยอื่นๆ

ตารางที่ 3.7 ค่าพิกัดควบคุมด้านบนที่ได้เลือกเพื่อนำไปควบคุมในแต่ละขั้นตอนย่อย

ขั้นตอนย่อย	ระดับคุณภาพ	ค่าพิกัดควบคุมด้านบน (*USL*)
V020	6	459
D036	3	29,471
V037	6	241
S055	5	7,949
V071	6	342
V073	6	773

3.7 ตรวจสอบผลการควบคุม (Verification)

ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับภายหลังจากการกำหนดรูปแบบการควบคุมกระบวนการ พิจารณาจากตัวแปรต่างๆ อาทิเช่น เวลาเฉลี่ย (Time average) แต่ละขั้นตอนย่อย, ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ (Yield), สัดส่วนกลุ่มตัวอย่างทั้งสอง (FA, FR, GA, และ GR), กำลังงานที่ใช้ (Power consumption) ภายหลังจากที่ได้ทำการกำหนดพิกัดควบคุมกับขั้นตอนย่อยที่เราสนใจไปแล้ว การควบคุมกระบวนการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์ในปัจจุบันที่เราสนใจศึกษา แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างขั้นตอนย่อย D036 ที่นำมาวิเคราะห์สามารถใช้เวลาลดลงเฉลี่ย 12% เมื่อกำหนดพิกัดการควบคุมกระบวนการ ซึ่งคาดว่าเวลาของกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ โดยรวมจะสามารถลดลงอีกหากมีการปรับปรุงในขั้นตอนย่อยอื่นๆ ซึ่งจะเป็นกรณีศึกษาในขั้นต่อไป จากกระบวนการที่ได้ทำการศึกษาพบว่าข้อมูลบางอย่างที่ได้บันทึกไว้ในระบบฐานข้อมูล ควรจะทำให้เกิดความสนใจจากบุคคลที่มีอำนาจในการตัดสินใจ เพื่อการปรับปรุงกระบวนการ หรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในองค์กรอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อองค์กรในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การลดค่าใช้จ่ายในการผลิตก็ดี และอื่นๆ ที่ขึ้นอยู่กับการนำวิธีการไปปรับใช้กับงาน

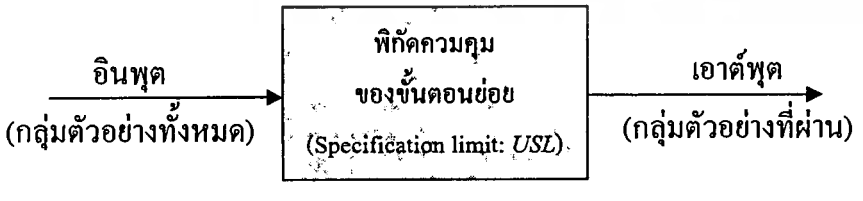
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผล

การทดลองนี้จะกล่าวถึงวิธีการออกแบบการทดลองควบคุมกระบวนการด้วยการกำหนดพิกัดควบคุมที่ได้มาในบทที่ 3 (หัวข้อ 3.6 รูปแบบการควบคุม) จากกลุ่มตัวอย่างข้อมูลที่ได้ ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของงานดี และกลุ่มของงานเสีย กลุ่มตัวอย่างละ 2,000 ตัวอย่าง โดยจะทำการควบคุมกระบวนการด้วยพิกัดควบคุมในตารางที่ 3.5 ใช้พิกัดควบคุมด้านบน (Upper specification limit: *USL*) เป็นการควบคุมด้านเดียว ด้วยเหตุผลที่ว่าต้องการไม่ให้การทดสอบใช้เวลาเกินพิกัดควบคุม คือใช้เวลาทดสอบน้อยๆ ยิ่งดี เพราะจะทำให้เวลาเฉลี่ยโดยรวมของเครื่องทดสอบลดลงตามไปด้วย ได้ออกแบบการทดลองควบคุมเป็น 4 แบบด้วยกันดังนี้ 1. แบบแรกการทดลองเพื่อหาจุดเหมาะสมของพิกัดควบคุมในแต่ละระดับคุณภาพที่ได้ เพื่อเป็นการหาจุดเหมาะสมในการควบคุมกระบวนการของแต่ละขั้นตอนย่อย 2. แบบที่สองการทดลองเป็นลำดับอย่างต่อเนื่องด้วยพิกัดควบคุมกับขั้นตอนย่อยทั้งหมดที่ถูกเลือกมา 3. แบบที่สามเมื่อมีการเปลี่ยนโปรแกรมที่ใช้ทดสอบ (Test code version) จึงได้ทำการเก็บข้อมูลชุดใหม่แล้วทำการทดลอง ทั้งสามแบบข้างต้นเป็นการทดลองกับฮาร์ดดิสก์รุ่นความจุ 320 กิกะไบต์ 4. และสุดท้ายได้ทำการทดลองกับข้อมูลของฮาร์ดดิสก์รุ่นความจุ 500 กิกะไบต์ ซึ่งในแต่ละแบบของการทดลองจะได้นำเสนอผลลัพธ์ที่ได้ของการทดลองควบคุมกระบวนการดังที่จะนำเสนอในหัวข้อถัดไป และสุดท้ายจะแสดงรูปแบบที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการเขียนโปรแกรมเพื่อที่จะควบคุมระยะเวลาในการทดสอบของขั้นตอนย่อยของการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์

รูปที่ 4.1 เป็นรูปแบบการควบคุมโดยนำข้อมูลตัวอย่างที่เก็บมาได้ ซึ่งก็เป็นค่าเวลาของแต่ละขั้นตอนย่อย เพื่อเป็นอินพุตงานผ่านเข้าไปยังตัวควบคุม หรือตรวจสอบเวลาของขั้นตอนย่อยนั้นๆ แล้วจะให้จำนวนตัวอย่างงานที่เป็นเอาต์พุตออกมา



รูปที่ 4.1 รูปแบบการทดลองกับข้อมูลตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การทดลองเพื่อหาจุดเหมาะสมของพิกัดควบคุมกระบวนการ (Specification limit optimization)

รูปแบบการควบคุมกระบวนการทดสอบ SRST ในขั้นตอนย่อยที่ได้มา ได้แบ่งออกเป็นระดับคุณภาพตั้งแต่ 1σ จนถึง 6σ แล้วจะทำการทดลองเพื่อหาจุดเหมาะสมของพิกัดควบคุมกระบวนการ ทดลองกำหนดระดับคุณภาพจาก 1σ ไปเรื่อยๆ จนถึงที่ระดับสุดท้ายคือ 6σ จากตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองเพื่อหาจุดเหมาะสมของพิกับควบคุม โดยแสดงผลการทดลองกับขั้นตอนย่อย D036 เพื่อหาจุดเหมาะสมของพิกัดควบคุมขั้นตอนย่อยนี้ จะได้ค่าระดับคุณภาพที่เหมาะสมกับขั้นตอนย่อย D036 นั่นคือที่ระดับคุณภาพที่ 3σ ผลการทดลองซึ่งแสดงสิ่งที่เราสนใจหลักๆ คือผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ (Yield), เวลาเฉลี่ยที่ลดลง (Time saving) และมีค่า C_{pk} เป็นตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ เมื่อวิเคราะห์ผลพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่สูญเสียไปประมาณ 0.65% กับความคุ้มค่าของเวลาทดสอบที่ลดลงเฉลี่ยประมาณ 1 ชั่วโมง โดย 1 ชั่วโมงที่ได้มายังสามารถเพิ่มอัตราการผลิต (Productivity) เพิ่มขึ้นได้ ดังนั้นจุดเหมาะสมที่จะกำหนดใช้พิกัดควบคุมกระบวนการกับขั้นตอนย่อย D036 นี้ คือกำหนดพิกัดควบคุมด้านบน (Upper specification limit) ที่ 3σ นั่นเอง ดังที่แสดงในตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบผลที่ได้ของตัวแปรต่างๆ ในการพิจารณาหาจุดเหมาะสมของพิกัดควบคุมกระบวนการในขั้นตอนย่อย D036

ตารางที่ 4.1 ทดลองใช้กับขั้นตอนย่อย D036 เพื่อหาจุดเหมาะสมของพิกัดควบคุม

ระดับคุณภาพ	พิกัดควบคุมด้านบน (*USL*)	อินพุต	เอาต์พุต	C_{pk}	FA drive	FR drive	เวลาเฉลี่ยลดลง (ชั่วโมง)	Yield %
1σ	27,257	4,000	2,246	0.55	557	311	1.16	84.45
2σ	28,364	4,000	2,676	0.72	723	47	1.07	97.65
3σ	29,471	4,000	2,905	1.01	918	13	1.00	99.35
4σ	30,578	4,000	3,072	1.32	1,078	6	0.94	99.70
5σ	31,685	4,000	3,187	1.64	1,191	4	0.89	99.80
6σ	32,792	4,000	3,285	1.97	1,289	4	0.84	99.80

เพื่อให้เข้าใจประเด็นของความหมายของคำจำกัดความสองคำนี้ได้แก่ FA (Fault acceptance) และ FR (Fault rejection) จึงจะขอกล่าวอธิบายดังนี้ จากจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ได้มาคือ 4,000 ตัวอย่าง ซึ่งได้แบ่งเป็นกลุ่มงานดี 2,000 ตัวอย่าง และกลุ่มงานเสีย 2,000 ตัวอย่าง สมมติว่ารูปแบบการควบคุมที่ถูกสร้างขึ้นไม่ได้ถูกนำมาใช้งานกับกระบวนการทดสอบ นั่นก็คือกระบวนการปกติ (Normal process) เมื่ออินพุตงานเข้าไปในระบบก็จะได้เอาต์พุตเหมือนเดิมคือกลุ่มงานดี 2,000 ตัวอย่าง และกลุ่มงานเสีย 2,000 ตัวอย่าง แต่เมื่อใดที่ใช้พิกัดควบคุมก็จะทำให้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า FA และ FR ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ค่า FA จำนวนงานเสียที่ผ่านพิกัดควบคุม แต่ไม่ได้หมายถึงจะผ่านกระบวนการทดสอบ SRST ไปยังกระบวนการถัดไปหรือไปยังลูกค้าได้ เป็นเพียงกลุ่มงานที่มีช่วงเวลาของการทดสอบที่สามารถผ่านพิกัดควบคุมที่กำหนดขึ้นในขั้นตอนย่อยเท่านั้น และค่า FR จำนวนงานดีที่ใช้เวลาทดสอบนานจนเกินพิกัดควบคุมที่กำหนด แล้วก็ถูกฟ้องว่าเป็นงานเสีย (Time out) แต่ก็จะถูกนำไปตรวจสอบแล้วกลับมาทำการทดสอบอีกรอบ (Rework)

ในตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองเพื่อหาจุดเหมาะสมของพิกัดควบคุมในแต่ละขั้นตอนย่อย ซึ่งเช่นเดียวกับการหาจุดที่เหมาะสมในขั้นตอนย่อย D036 ที่แสดงในตารางที่ 4.1 นั้นเอง ในท้ายสุดให้ทำการเลือกระดับคุณภาพที่เหมาะสมกับขั้นตอนย่อยนั้นๆ มาเพียงระดับเดียวที่ดีที่สุด ก็ด้วยการพิจารณาผลของ ค่าเวลาเฉลี่ยที่ลดลง (Time saving), ค่าสัดส่วนของ FA และ ค่าสัดส่วนของ FR ที่ส่งผลถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ (Yield) รวมถึงการวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดค่าความสามารถของกระบวนการ (C_{pk}) ที่ได้ในแต่ละขั้นตอนย่อย ทั้งหมดเป็นตัวแปรที่ใช้ประกอบการพิจารณาที่จะเลือกระดับคุณภาพที่เหมาะสมของขั้นตอนย่อยทั้ง 6 ขั้นตอนที่ได้เลือกมาทดลอง แสดงผลลัพธ์ในตารางที่ 4.2 และพล็อตกราฟค่าที่ได้จากตารางในรูปที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 ถัดไปตามลำดับ

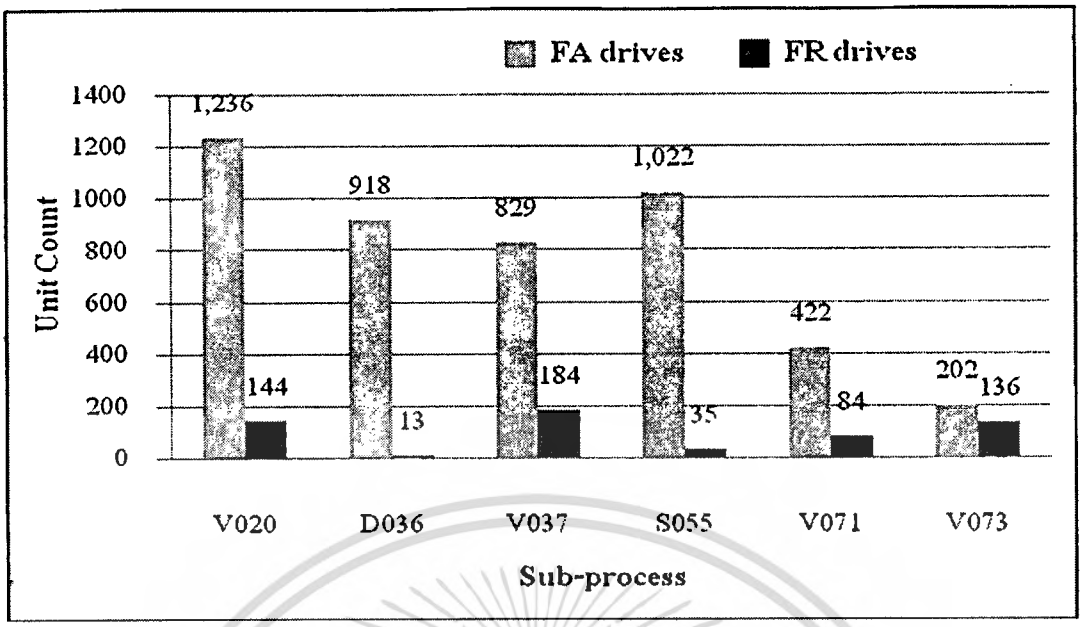
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองกำหนดระดับคุณภาพกับแต่ละขั้นตอนย่อย

ขั้นตอนย่อย Sub-process	ระดับคุณภาพ	พิกัดควบคุมด้านบน (*USL*)	อินพุต	เอาต์พุต	C_{pk}	FA drives	FR drives	เวลาเฉลี่ยลดลง (นาที)	Yield %
V020	6σ	459	4,000	3,092	1.17	1,236	144	19.20	92.80
D036	3σ	29,471	4,000	2,905	1.01	918	13	60.00	99.35
V037	6σ	241	4,000	2,645	1.20	829	184	11.00	90.80
S055	3σ	7,949	4,000	2,987	1.00	1,022	35	14.77	98.25
V071	6σ	342	4,000	2,338	1.52	422	84	15.47	95.80
V073	6σ	773	4,000	2,066	1.30	202	136	41.90	93.20

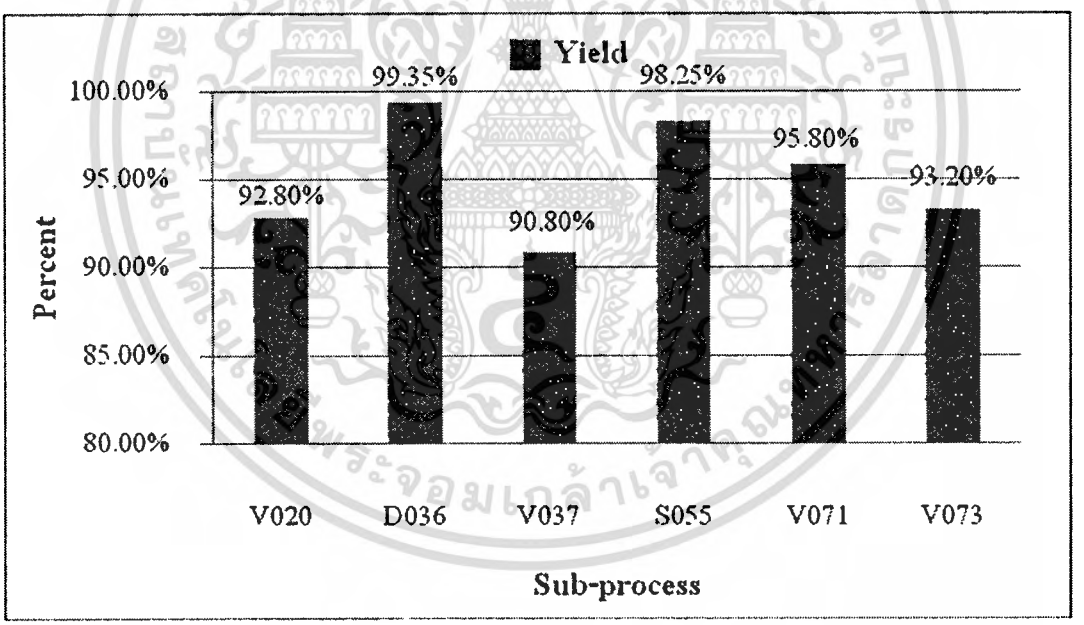
C_{pk} คือดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ, FA คือจำนวนงานเสียที่ผ่านพิกัดควบคุม, FR คือจำนวนงานดีที่ไม่ผ่านพิกัดควบคุม, และ Yield คือคิดจากจำนวนกลุ่มงานดีที่ถูกตัดออกไป

จากรูปที่ 4.2 กราฟแท่งแสดงค่าสัดส่วน FA และ FR ซึ่งก็เป็นตัวชี้วัดการทดลองที่จะบอกความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากที่ควรจะเป็น โดยความผิดพลาดที่ว่าก็คือจำนวนงานเสียที่นำมาทดสอบกับการควบคุมกระบวนการ ควรจะถูกตัดออกหรือให้เหลือกลุ่มงานเสียให้น้อยที่สุดในแต่ละขั้นตอนย่อยนั่นเรียกว่าค่า FA และส่วนค่า FR ก็เป็นตัวชี้วัดข้อผิดพลาดอีกอันหนึ่งที่จะบอกว่าความผิดพลาดที่ทำการตัดกลุ่มงานดีให้เป็นงานเสียเมื่อเวลาที่ใช้ทดสอบเกินพิกัดควบคุม ในส่วนค่า FR นี้จะนำไปคำนวณหาค่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ (Yield) อีกที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 สัดส่วนของ FA และ FR ของแต่ละขั้นตอนย่อย

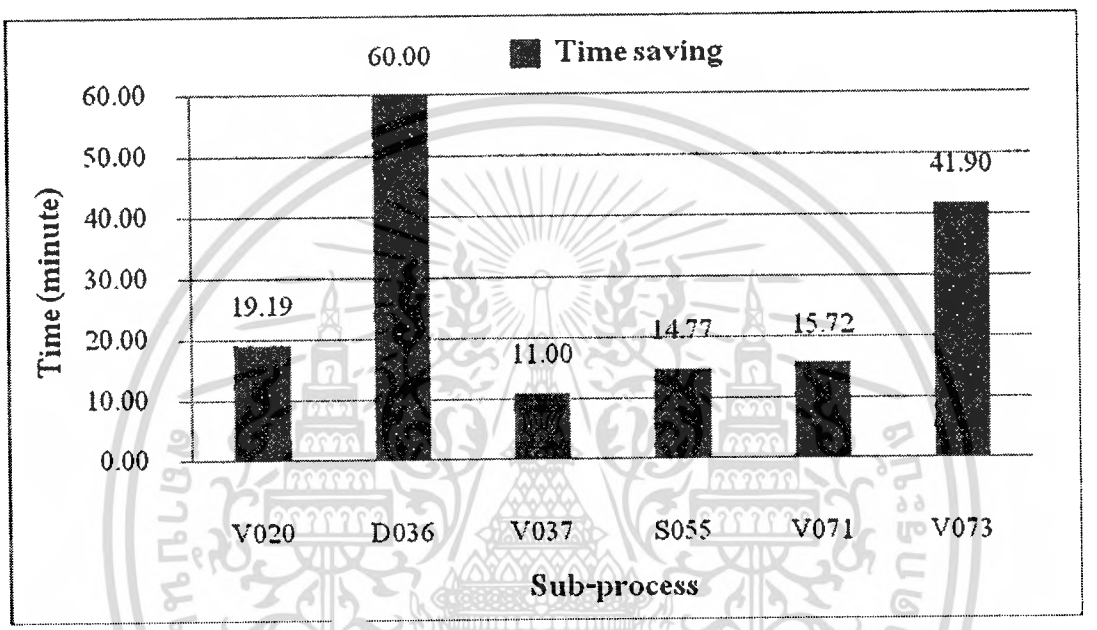


รูปที่ 4.3 ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับของแต่ละขั้นตอนย่อย

ผลลัพธ์ที่ต้องพิจารณาควบคู่กับค่าเวลาเฉลี่ยที่ได้ในแต่ละขั้นตอนย่อยก็คือผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ (Yield) เมื่อได้ทำการกำหนดพิกัดควบคุมในแต่ละขั้นตอนย่อยแล้ว โดยพิจารณาผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจากกลุ่มงานดี ซึ่งโดยปกติแล้วถ้าไม่มีการกำหนดพิกัดควบคุมกระบวนการนี้กลุ่มงานดีทั้งหมด 2,000 ตัวอย่าง ที่นำมาทดลองก็จะยังคงเป็นงานดีเทียบได้กับหนึ่งร้อยเปอร์เซ็นต์ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายหลังที่ได้ทำการกำหนดพิกัดควบคุมแล้วทำให้จำนวนงานดีบางส่วนถูกกำหนดให้เป็นงานเสีย และนั่นก็คือผลผลิตที่จะต้องสูญเสียไป ดังนั้นจะต้องพิจารณาผลิตภัณฑ์ที่ได้รับเป็นพิเศษซึ่งจะมีผลกระทบโดยตรงกับผลผลิตในสายการผลิต (Production line) จากรูปที่ 4.3 พบว่าขั้นตอนย่อย V020 และ V037 ค่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับนั้นมีค่าน้อยอยู่ที่ 92.80% และ 90.80% ตามลำดับ จะต้องพิจารณาควบคู่ไปกับเวลาเฉลี่ยที่ลดลงในขั้นตอนย่อยนั้นๆ ด้วย ว่าจะสามารถทำให้ได้ประสิทธิผลมากน้อยเพียงใดกับผลผลิตที่ต้องสูญเสียไป ก่อนที่จะกำหนดการควบคุมกระบวนการจริงๆ



รูปที่ 4.4 เวลาเฉลี่ยที่ลดลงของแต่ละขั้นตอนย่อย

ขั้นตอนย่อย D036 ได้เวลาเฉลี่ยที่ลดลงมากที่สุดคือ 1 ชั่วโมง รองลงมาเป็นขั้นตอนย่อย V073 เวลาเฉลี่ยที่ลดลงได้ 41.90 นาที ที่นอกเหนือจากนี้ได้เวลาเฉลี่ยลดลงค่อนข้างน้อย โดยประมาณจะอยู่ที่ 15 นาที ดังที่แสดงเป็นกราฟในรูปที่ 4.4 ด้านบน สิ่งที่ต้องการโดยท้ายสุดก็คือเวลาที่ลดลงของการทดสอบในแต่ละขั้นตอนย่อย เพื่อทำให้การกระบวนการทดสอบ SRST โดยรวมมีเวลาลดลงตามเช่นกัน เพราะฉะนั้นจากผลที่ได้ทั้งหมดจากตัวแปรที่นำมาพิจารณาวิเคราะห์หาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดที่จะกำหนดพิกัดควบคุม พบว่าขั้นตอนที่น่าจะสามารถบรรลุเป้าหมายมากที่สุดก็คือขั้นตอนย่อย D036 ที่ให้ค่าตัวแปรต่างๆ ใกล้เคียงกับที่เราต้องการมากที่สุด สมมติฐานก็คือว่าถ้ากำหนดใช้รูปแบบการควบคุมกับขั้นตอนย่อย D036 นี้แล้วจะให้ผลที่ดีที่สุด แต่ขั้นตอนย่อยอื่นๆ ก็สามารถทำได้ด้วย อาจจะเป็นแบบจำลองการทดสอบเพื่อพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้

รูปแบบแรกที่ทำการทดลองก็เพื่อหาจุดเหมาะสม (Optimum) ของพิกัดควบคุมกระบวนการ และยังช่วยทำให้หาเหตุผลในการตัดสินใจได้ดี ที่จะใช้รูปแบบการควบคุมนี้กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนย่อยใดได้บ้าง ด้วยการพิจารณาค่าของผลลัพธ์ของแต่ละตัวแปร ทำให้แน่ใจได้ว่าประสิทธิผลที่จะได้รับภายหลังจากการกำหนดพิกัดควบคุมมีความเป็นไปได้มากน้อยเพียงใด หรือถ้าเป็นแบบเลวร้ายจริงๆ ก็คือไม่สามารถกำหนดพิกัดที่จะไปควบคุมในแต่ละขั้นตอนย่อยได้เลย ในที่นี้ขั้นตอนย่อย D036 ยังให้ผลที่น่าพอใจ และขั้นตอนย่อยอื่นๆ ก็สามารถทดลองได้เช่นเดียวกัน แม้ผลลัพธ์ที่ได้จะไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ดี แต่นี่ก็เป็นวิธีการแบบใหม่ที่ยังไม่เคยมีการนำมาใช้มาก่อน จึงไม่ตัดขั้นตอนใดออก คือจะทำการทดลองแล้วดูผลลัพธ์ทั้งหมดที่ได้ ดังในการทดลองในหัวข้อต่อไป

4.2 การปรับปรุงเวลาในการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์กับโปรแกรมโค้ดทดสอบใหม่

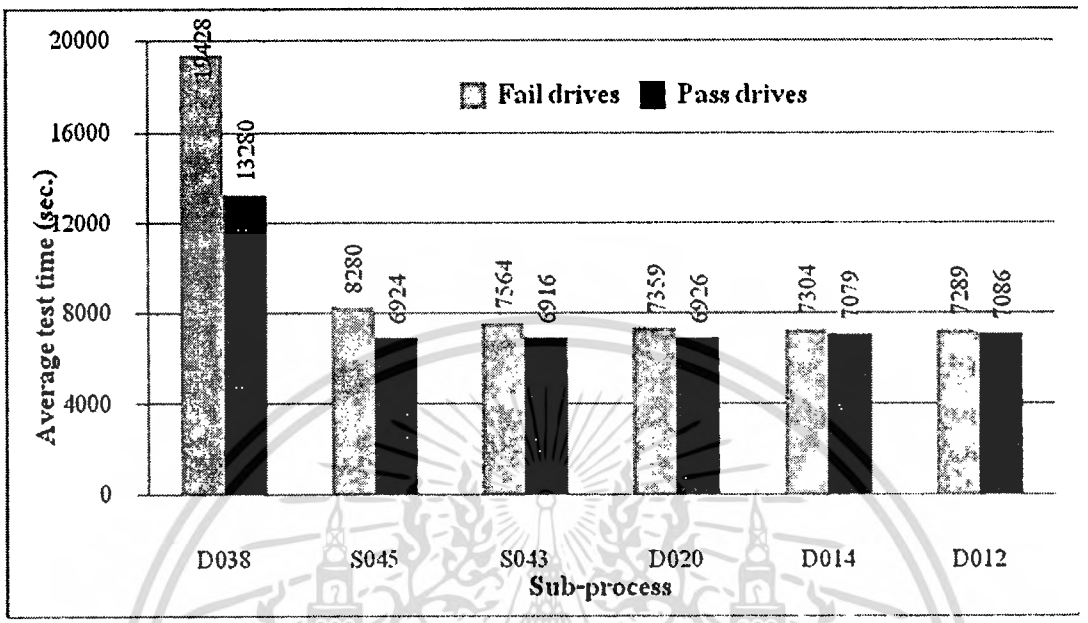
การปรับปรุงเวลาในการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์ช่วงที่สอง (รุ่นความจุ 320 กิกะไบต์) ข้อมูลที่ได้เกิดผิดเพี้ยนไปจากเดิมที่ก่อนหน้านี้ได้เก็บข้อมูลมา เนื่องจากกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลง (Process change) ในกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ดังที่ได้นำเสนอมานั้น ข้อมูลที่ได้เป็นแค่ช่วงเวลาหนึ่งที่ได้ทำการศึกษา พิจารณาว่าไม่มีผลกระทบใดๆ ที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปของกระบวนการทดสอบ หรือสมมติฐานว่ากระบวนการอยู่ในสภาวะควบคุม (Stability) และช่วงที่สองที่ได้เข้าไปเก็บข้อมูลเป็นพบว่าขั้นตอนย่อยมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เพราะได้ทำการเปลี่ยนโค้ดทดสอบ (Test code version) ที่ใช้ในเครื่องทดสอบ จึงทำให้ขั้นตอนย่อยภายในเครื่องทดสอบเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ถ้าหากจะพยายามทำการกำหนดพิกัดควบคุมในแต่ละขั้นตอนย่อยก็จะต้องทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ใหม่เมื่อทำการเปลี่ยนโค้ดที่ใช้ทดสอบ ขั้นตอนการดำเนินงานก็เหมือนที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ (3.3) ถึง (3.7)

1) เลือกขั้นตอนย่อยที่สำคัญ

ผลของการศึกษาต่อไปนี้เป็นการเก็บข้อมูลของการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์เมื่อช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยรุ่นของฮาร์ดดิสก์ยังเป็นรุ่นเดิมคือ รุ่นที่มีความจุ 320 กิกะไบต์ แต่ข้อมูลที่ได้มานี้เป็นการกำหนดใช้โค้ดทดสอบตัวใหม่ สาเหตุที่มีการเปลี่ยนแปลงโค้ดทดสอบก็คือ มีวิธีการใหม่ๆ ในการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์ที่สามารถลดระยะเวลาในการทดสอบได้ ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วจะพบว่าโค้ดที่ใช้ทดสอบมีการเปลี่ยนค่อยข้างบ่อยเนื่องจากกระบวนการมีการปรับปรุงเพื่อที่จะลดเวลาในการทดสอบอยู่เรื่อยๆ จากข้อมูลที่เก็บมาในช่วงที่สองนี้นำมาพล็อตเพื่อหาขั้นตอนย่อยที่ใช้เวลานานได้ดังรูปที่ 4.5 แล้วทำการเปรียบเทียบกับรูปที่ 3.9 จะพบว่าขั้นตอนย่อยที่มีความสำคัญในรูปที่ 3.9 ได้เปลี่ยนไป คาดว่าจากขั้นตอนย่อย D036 จะกลายมาเป็นขั้นตอนย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D038 แทนเพราะใช้เวลามากที่สุดเหมือนกันแต่ลำดับตัวเลขหรือตัวนับ (Counter) เท่านั้นที่เปลี่ยนไป ส่วนขั้นตอนย่อยตัวอื่นๆ ก็ถูกเปลี่ยนไปตามโปรแกรมโค้ดทดสอบเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.5 พล็อตพาเรโตลำดับความสำคัญของขั้นตอนย่อย

ตารางที่ 4.3 แสดงลำดับความสำคัญของขั้นตอนย่อยที่เปลี่ยนไปจากเดิม

ลำดับที่	ขั้นตอนย่อย (ช่วงแรก)	ขั้นตอนย่อย (ช่วงสอง)
1	D036	D038
2	S055	D012
3	V073	D014
4	V020	S045
5	V071	S043
6	V037	D020

ในตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบขั้นตอนย่อยที่ได้มาเมื่อกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลง ทำให้การกำหนดใช้พิกัดควบคุมในแต่ละขั้นตอนย่อยต้องพิจารณาว่ามีการเปลี่ยนโปรแกรมที่ใช้ทดสอบหรือไม่ เพราะจะทำให้ขั้นตอนย่อยเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ซึ่งข้อมูลที่ได้มาช่วงที่สองนี้จากรูปที่ 4.5 จะพบว่ามีความแตกต่างที่เห็นได้ชัดเจนระหว่างกลุ่มของงานดี และกลุ่มของงานเสียเพียงแค่ขั้นตอนย่อย D038 เท่านั้น ขั้นตอนย่อยอื่นๆ ที่เหลือก็มีความแตกต่างไม่มาก แต่ก็เลือกตามลำดับความสำคัญ สมมติฐานจากรูปที่ 4.5 ถ้าความแตกต่างระหว่างสองกลุ่มตัวอย่างมีค่าน้อยแล้วผลที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาดว่าจะได้รับเมื่อทำการควบคุมคือ เวลาเฉลี่ยที่จะลดลงก็จะน้อยตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ดี สามารถทำการทดลอง เพื่อให้ได้ข้อเท็จจริงซึ่งจะทำให้ทราบว่ารูปแบบควบคุมที่จะนำไปใช้งานจริงนั้นจะต้องพิจารณาค่าที่ได้ในส่วนนี้เพิ่มเติมเข้าไปด้วย ก่อนที่จะทำการควบคุมกับกระบวนการจริงๆ

2) กำหนดพิกัดควบคุม

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าในการกำหนดพิกัดควบคุมกับขั้นตอนย่อย ต้องนำค่าทางสถิติของกลุ่มตัวอย่างงานดีใช้ในการพิจารณาเป็นหลัก ตารางที่ 4.4 ผลลัพธ์ที่คำนวณเส้นพิกัดควบคุมด้านบนของแต่ละขั้นตอนย่อย พิจารณาจากระดับคุณภาพของการกระแจกแจงข้อมูล นำค่าที่ได้ไปทดลองเพื่อหาเส้นพิกัดควบคุมที่เหมาะสมของแต่ละขั้นตอนย่อยต่อไป

ตารางที่ 4.4 เส้นพิกัดควบคุมของแต่ละขั้นตอนย่อยในแต่ละระดับคุณภาพ

ขั้นตอนย่อย Sub-process	ค่าเฉลี่ย	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน	พิกัดควบคุม (Upper specification limit: *USL*)					
			1σ	2σ	3σ	4σ	5σ	6σ
D012	7,086	277	7,363	7,640	7,917	8,194	8,471	8,748
D014	7,079	277	7,356	7,633	7,910	8,187	8,464	8,741
D020	6,926	277	7,203	7,480	7,757	8,034	8,311	8,588
D038	13,280	524	13,804	14,328	14,852	15,376	15,900	16,424
S043	6,916	268	7,184	7,452	7,720	7,988	8,256	8,524
S045	6,924	264	7,188	7,452	7,716	7,980	8,244	8,508

การทดลองกำหนดพิกัดควบคุมกับกลุ่มตัวอย่างที่ได้มา แบ่งเป็นตั้งแต่ระดับคุณภาพที่ 1σ ไปจนถึง 6σ กับทั้งหกขั้นตอนย่อยที่ได้เลือกมา คำนวณได้จากรูปแบบการควบคุมในหัวข้อที่ 3.6 ด้วยค่าทางสถิติของกลุ่มตัวอย่างงานดี หลังจากนั้นให้เลือกระดับคุณภาพที่สามารถควบคุมแล้วให้ผลลัพธ์ที่ต้องการมากที่สุดมาหนึ่งระดับของแต่ละขั้นตอนย่อย ในตารางที่ 4.5 เป็นผลการทดลองที่ได้และเลือกระดับคุณภาพที่ดีที่สุด

3) ทดสอบกำหนดพิกัดควบคุมกับขั้นตอนย่อย

จากกลุ่มตัวอย่าง 4,000 ตัวอย่าง ที่ได้เก็บข้อมูลมา ซึ่งแบ่งออกเป็นกลุ่มของงานดี (Pass drives) 2,000 ตัวอย่าง และกลุ่มของงานเสีย (Fail drives) 2,000 ตัวอย่าง นำกลุ่มตัวอย่างในการทดสอบของแต่ละขั้นตอนย่อยที่เลือกมาผ่านการกำหนดพิกัดควบคุมกระบวนการในแต่ละระดับคุณภาพ หลังจากนั้นก็ทำการเลือกระดับคุณภาพที่ทำให้ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงตามที่ต้องการ คือเวลา

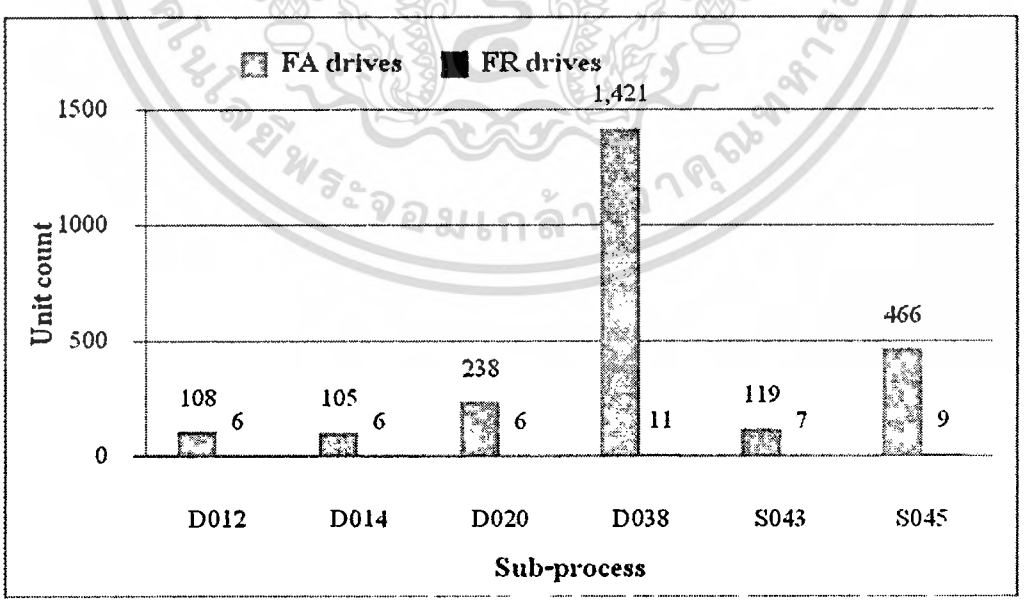
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลี่ยที่ลดลงมากๆ และผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมีเปอร์เซ็นต์สูง ซึ่งผลที่ได้ในแต่ละขั้นตอนย่อยแสดงในตารางที่ 4.5 เมื่อทำการกำหนดพิกัดควบคุมแล้ว

ตารางที่ 4.5 ผลลัพธ์การกำหนดพิกัดควบคุมของแต่ละขั้นตอนย่อย

ขั้นตอนย่อย Sub-process	ระดับคุณภาพ	พิกัดควบคุมด้านบน (*USL*)	อินพุต	เอาต์พุต	C_{pk}	FA drives	FR drives	เวลาเฉลี่ยลดลง (นาที)	Yield
D012	3σ	7917	4,000	3,886	0.84	6	108	0.59	99.70 %
D014	3σ	7910	4,000	3,889	0.84	6	105	0.68	99.70 %
D020	3σ	7757	4,000	3,756	0.83	6	238	2.33	99.70 %
D038	5σ	15900	4,000	2,568	0.94	11	1421	47.68	99.45 %
S043	5σ	8256	4,000	3,874	1.25	7	119	3.82	99.65 %
S045	5σ	8244	4,000	3,525	0.92	9	466	8.25	99.55 %

แม้ว่าเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจะค่อยข้างสูงก็ตาม แต่ถ้าหากพิจารณาเวลาเฉลี่ยที่ลดลงในแต่ละขั้นตอนย่อยแล้วจะเห็นว่ามีขั้นตอนย่อย D038 ที่ให้เวลาสูงสุดคือ 47.68 นาที ส่วนขั้นตอนย่อยอื่นๆ ให้เวลาเฉลี่ยน้อยมาก ไม่เหมาะที่จะทำการควบคุม ดังที่กล่าวไปแล้วว่าขั้นตอนย่อย D038 พบว่ามีค่าความต่างของเวลาเฉลี่ยระหว่างกลุ่มงานดี และกลุ่มงานเสียอยู่มาก ดังนั้นจึงเป็นผลทำให้เมื่อกำหนดพิกัดควบคุมแล้วสามารถตัดจำนวนงานเสียที่ใช้เวลานานออกไปได้เยอะ เป็นผลให้เวลา

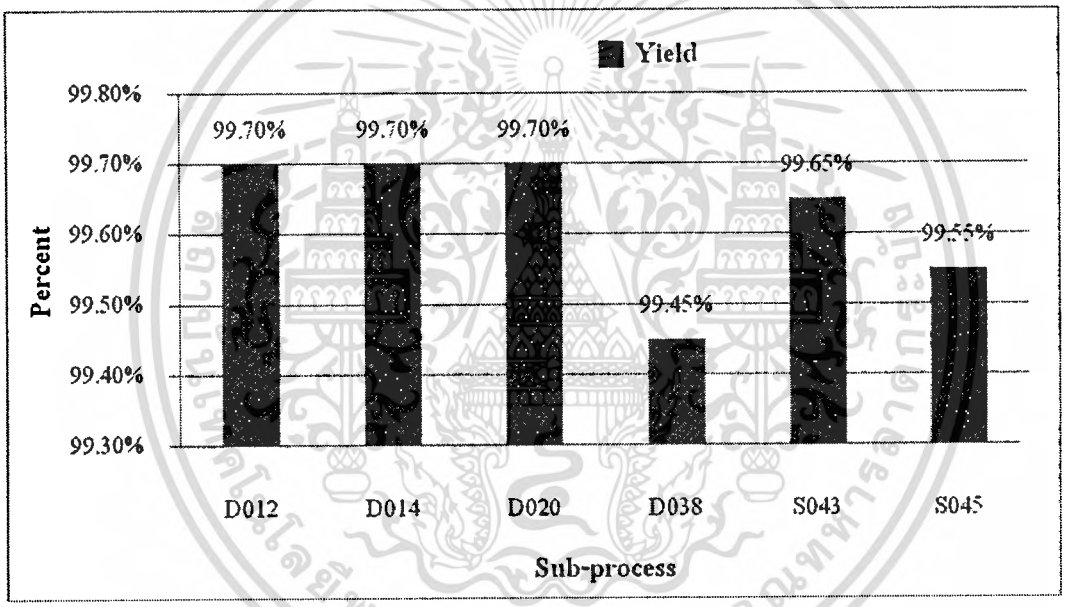


รูปที่ 4.6 สัดส่วน FA และ FR ของแต่ละขั้นตอนย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลี่ยที่ได้ในขั้นตอนย่อย D038 นี้ลดลงมากที่สุด จำนวนงานเสียที่ได้ตัดออกไปแสดงได้โดยสัดส่วนของ FR drives จำนวนที่ตัดกลุ่มงานเสียออกเท่ากับ 1,421 ตัวอย่าง และเทียบกับสัดส่วนของ FA drives จำนวนที่ตัดกลุ่มงานดีออกเท่ากับ 11 ตัวอย่าง เมื่อรวมกันแล้วจะได้จำนวนที่ตัดออกทั้งหมดเท่ากับ 1,432 ตัวอย่าง จากอินพุตงานทั้งหมด 4,000 ตัวอย่าง เพราะฉะนั้นในขั้นตอนย่อย D038 นี้จะทำให้เหลือเอาต์พุตงานผ่านการควบคุมเท่ากับ 2,568 ตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และแสดงสัดส่วนของ FA และ FR ในรูปที่ 4.6

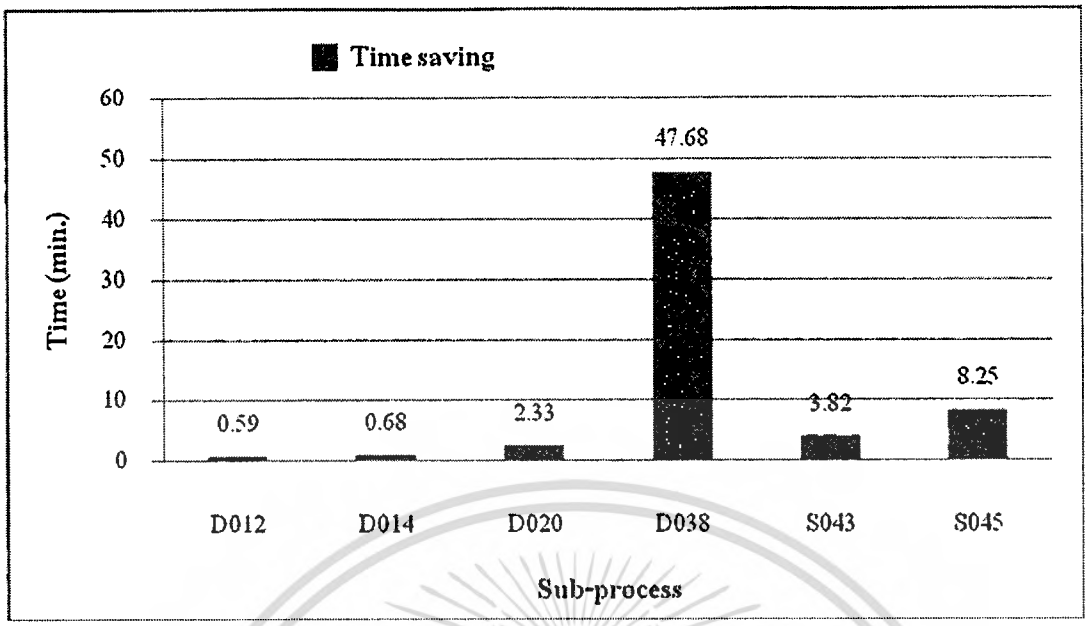
พล็อตกราฟผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Yield) ในรูปที่ 4.7 ซึ่งคำนวณได้โดยพิจารณาจากกลุ่มงานดี คือ ถ้ากำหนดพิกัดควบคุมแล้วจะทำให้กลุ่มงานดีบางส่วนที่ใช้เวลานานถูกตัดออกไป พบว่าผลจากการควบคุมในแต่ละขั้นตอนย่อยมีผลิตภัณฑ์ที่ได้รับสูงถึง 99.00% ขึ้นไป



รูปที่ 4.7 ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับของแต่ละขั้นตอนย่อย

จากรูปที่ 4.8 ในขั้นตอนย่อย D038 พบว่าสามารถประหยัดเวลาในการทดสอบได้สูงสุดถึง 47.68 นาที ส่วนขั้นตอนย่อยอื่นๆ โดยเฉลี่ยแล้วยังประหยัดเวลาได้น้อย ไม่เหมาะที่จะกำหนดใช้งานจริง ที่น่าจะทำได้ก็มีเพียงขั้นตอนย่อย D038 นี้เท่านั้น ภายหลังจากที่ได้เปลี่ยนโปรแกรมโค้ดทดสอบใหม่ขึ้นมา เมื่อเทียบกับครั้งก่อนพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปของขั้นตอนย่อย และเวลาที่ใช้ในกระบวนการทดสอบก็ลดลง ถือว่าเป็นการเปลี่ยนโค้ดที่ใช้ทดสอบไปในแนวทางที่ดี จะดีกว่าแนวทางที่ได้ทำการศึกษาอยู่นี้ก็ได้ เพราะเป็นการปรับเปลี่ยนวิธีการทดสอบฮาร์ดดิสก์ได้โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 เวลาเฉลี่ยที่ลดลงของแต่ละขั้นตอนย่อย

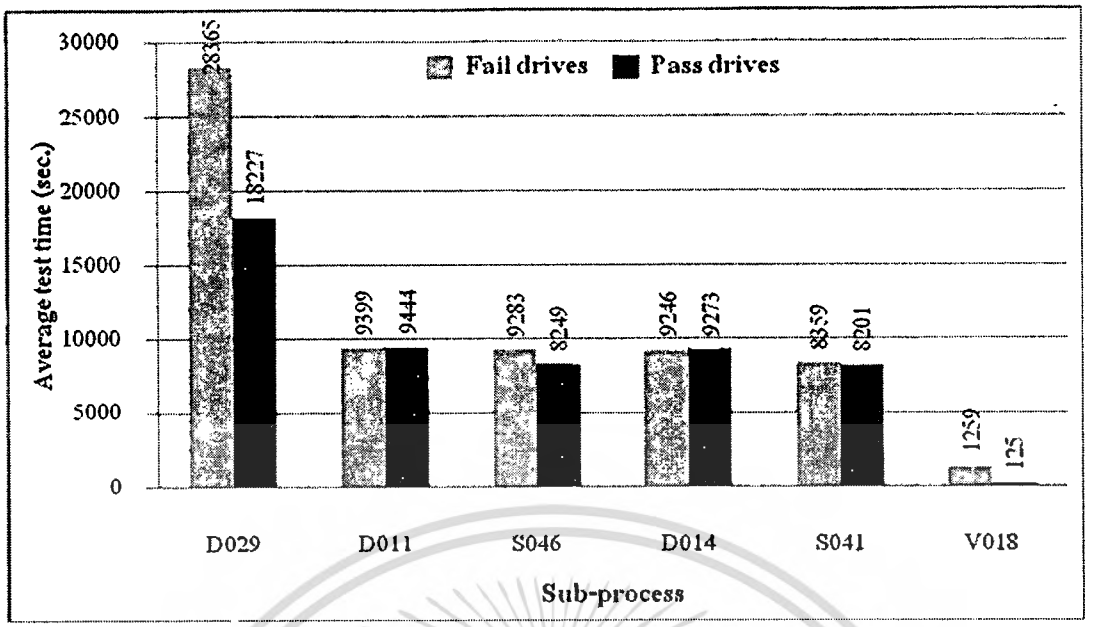
4.3 การปรับปรุงเวลาในการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์กับรุ่นความจุ 500 กิกะไบต์

รุ่นของฮาร์ดดิสก์ที่ผลิตในอุตสาหกรรมมีหลายรุ่นด้วยกัน แน่นอนว่าฮาร์ดดิสก์ที่มีความจุที่มากจะใช้เวลาในการทดสอบนานกว่าฮาร์ดดิสก์ที่มีความจุน้อย หากแนวทางที่กำหนดสามารถนำไปใช้ได้ผลจริงกับเครื่องทดสอบ เพราะฉะนั้นก็มีความเป็นไปได้ที่จะประยุกต์ใช้งานกับฮาร์ดดิสก์รุ่นอื่น ๆ ในกระบวนการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์ จึงได้พยายามทำการทดสอบใช้การควบคุมขั้นตอนย่อยของการทดสอบ SRST กับฮาร์ดดิสก์รุ่นที่มีความจุ 500 กิกะไบต์ เพื่อตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้ ลำดับขั้นตอนการศึกษาก็เช่นเดียวกับที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ (3.3) ถึง (3.7) ซึ่งจากนี้เป็นต้นไปเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง

1) เลือกขั้นตอนย่อยที่สำคัญ

ข้อมูลผลการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์รุ่นความจุ 500 กิกะไบต์ นำข้อมูลตัวอย่างพล็อตหาขั้นตอนย่อยที่ใช้เวลานาน หรือขั้นตอนย่อยที่ทำให้เวลาในกระบวนการทดสอบนาน โดยนำค่าเวลาเฉลี่ยของแต่ละขั้นตอนย่อยมาพล็อตพาเรโตลำดับความสำคัญแต่ละขั้นตอนย่อย ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.9 จะพบว่าข้อมูลที่ได้แสดงให้เห็นว่าขั้นตอนย่อย D029 จะใช้เวลาทดสอบนานที่สุด และเป็นการพล็อตเปรียบเทียบกันระหว่างกลุ่มงานดี และกลุ่มงานเสีย ทำให้เห็นค่าความต่างของเวลาเฉลี่ย ในขั้นตอนย่อย D029 มีค่าความต่างของเวลาเฉลี่ยที่ใช้ค่อนข้างมาก เมื่อเทียบกับขั้นตอนย่อยอื่นๆ แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 พล็อตพาเรโตลำดับความสำคัญของขั้นตอนย่อย

2) กำหนดพิกัดควบคุม

ตารางที่ 4.6 ผลลัพธ์จากที่คำนวณเส้นพิกัดควบคุมด้านบนของแต่ละขั้นตอนย่อย พิจารณาจากระดับคุณภาพของการกระแจกแจงข้อมูลของกลุ่มงานดี นำค่าที่ได้ไปทดลองเพื่อหาเส้นพิกัดควบคุมที่เหมาะสมของแต่ละขั้นตอนย่อย ทดสอบกับทุกขั้นตอนย่อยที่ได้เลือกมา และทำการทดสอบโดยเริ่มจากระดับคุณภาพที่ 1σ ไปจนถึงที่ระดับคุณภาพที่ 6σ แล้วนำผลที่ได้มาพิจารณา

ตารางที่ 4.6 เส้นพิกัดควบคุมของแต่ละขั้นตอนย่อยในแต่ละระดับคุณภาพ

ขั้นตอนย่อย Sub-process	ค่าเวลาเฉลี่ย	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน	พิกัดควบคุม (Upper specification limit: *USL*)					
			1σ	2σ	3σ	4σ	5σ	6σ
D011	9433	208	9641	9849	10057	10265	10473	10681
D014	9262	208	9470	9678	9886	10094	10302	10510
V018	125	305	430	735	1040	1345	1650	1955
D029	17259	400	17659	18059	18459	18859	19259	19659
S041	8184	177	8361	8538	8715	8892	9069	9246
S046	8210	150	8360	8510	8660	8810	8960	9110

หาจุดเหมาะสมที่จะกำหนดพิกัดควบคุมในแต่ละขั้นตอนย่อยนั้นๆ การคำนวณได้จากรูปแบบการควบคุมกระบวนการในหัวข้อที่ 3.6 ด้วยค่าทางสถิติของกลุ่มตัวอย่างงานดี หลังจากนั้นให้เลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับคุณภาพที่สามารถควบคุมแล้วให้ผลลัพธ์ที่ต้องการมากที่สุดมาหนึ่งระดับของแต่ละขั้นตอนย่อย ในตารางที่ 4.7 เป็นผลการทดลองที่ได้และเลือกระดับคุณภาพที่ดีที่สุด

3) ทดสอบกำหนดพิกัดควบคุมกับขั้นตอนย่อย

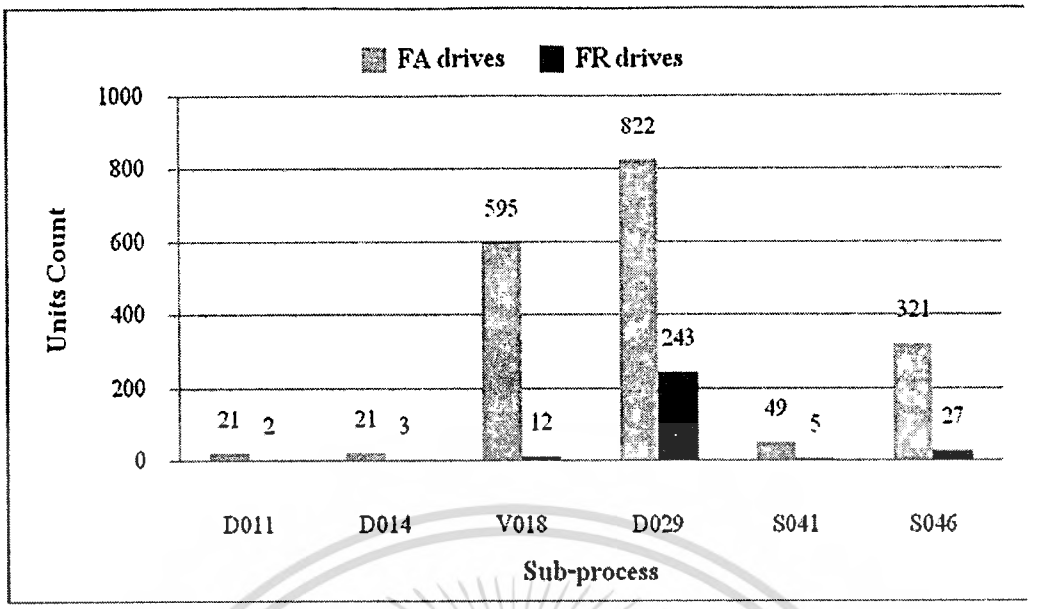
ข้อมูลตัวอย่างของฮาร์ดดิสก์รุ่นความจุ 500 กิกะไบต์ ดังเช่นที่ได้ทดลองมาก่อนหน้าแล้ว จึงจะกล่าวถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองในตารางที่ 4.7 สิ่งที่เราสนใจเป็นค่าเวลาเฉลี่ยที่ลดลง จะพบว่าขั้นตอนย่อย D029 จะให้ค่าเวลาเฉลี่ยลดลงมากที่สุดเป็น 128.26 นาที แต่อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ที่ได้รับในขั้นตอนย่อย D029 นี้ มีค่าค่อนข้างน้อยคือเท่ากับ 87.85 เปอร์เซ็นต์ และพิจารณาขั้นตอนย่อยอื่นๆ พบว่าเวลาเฉลี่ยลดลงน้อย แต่ค่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับค่อนข้างมากโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 99.00 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาด้วยวิธีการกำหนดรูปแบบการควบคุมในการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์รุ่นความจุ 500 กิกะไบต์ ให้ผลที่ไม่น่าพึงพอใจ เพราะมีขั้นตอนย่อยขั้นตอนเดียวที่ให้เวลาเฉลี่ยลดลงมากแต่ก็ต้องสูญเสียผลิตภัณฑ์ที่ได้รับไปค่อนข้างมาก ส่วนขั้นตอนย่อยอื่นๆ ก็ได้เวลาเฉลี่ยลดลงน้อยเกินที่จะกำหนดพิกัดควบคุมใช้ในขั้นตอนย่อยนั้นๆ

ตารางที่ 4.7 ผลลัพธ์การกำหนดพิกัดควบคุมของแต่ละขั้นตอนย่อย

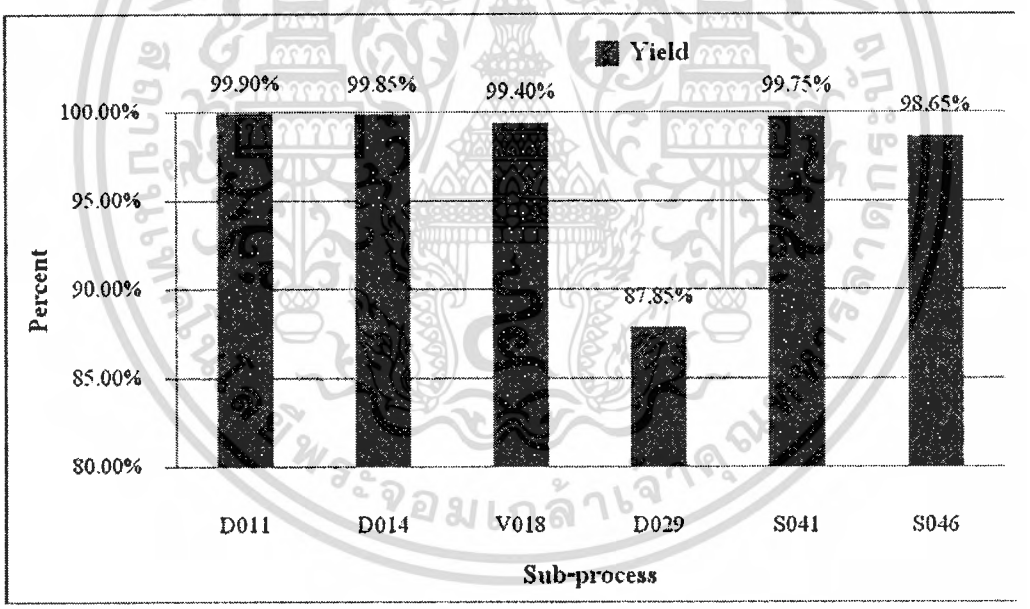
ขั้นตอนย่อย Sub-process	ระดับคุณภาพ	พิกัดควบคุมด้านบน (*USL*)	อินพุต	เอาต์พุต	C_{pk}	FA drives	FR drives	เวลาเฉลี่ยลดลง (นาที)	Yield
D011	5σ	10,473	4,000	3,977	1.36	2	21	0.21	99.90%
D014	5σ	10,320	4,000	3,976	1.35	3	21	0.21	99.85%
V018	6σ	1,955	4,000	3,393	1.61	12	595	8.38	99.40%
D029	6σ	19,659	4,000	2,935	1.13	243	822	128.26	87.85%
S041	6σ	9,246	4,000	3,946	1.78	5	49	2.09	99.75%
S046	6σ	9,110	4,000	3,652	1.51	27	321	9.03	98.65%

รูปที่ 4.10 แสดงสัดส่วน FA และ FR ที่ให้ผลกับค่าเวลาเฉลี่ยที่ลดลง และค่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับตามลำดับ ที่เราสนใจเป็นขั้นตอนย่อย D029 จะเห็นว่าค่า FA มีค่าสูงสุดที่ 822 ตัวอย่าง ซึ่งจะทำให้ค่าเวลาเฉลี่ยลดลง (ประหยัดเวลาได้ 128.26 นาที) และค่า FR ในขั้นตอนย่อย D029 นี้ก็มีค่าสูงเช่นกันเป็น 243 ตัวอย่าง โดยจะทำให้ค่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมีเปอร์เซ็นต์น้อยตามที่ 87.85%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 สัดส่วน FA และ FR ของแต่ละขั้นตอนย่อย

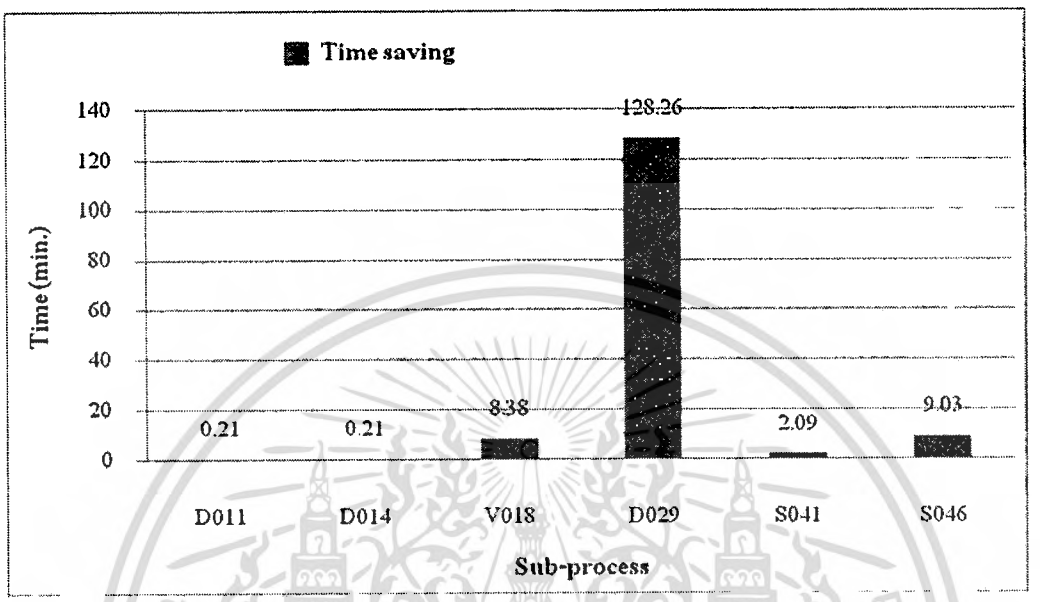


รูปที่ 4.11 ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับของแต่ละขั้นตอนย่อย

ในขั้นตอนย่อย D029 นี้จะสามารถประหยัดเวลาลงได้ 128.26 นาที แต่สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้รับก็มีเปอร์เซ็นต์จึงไม่เหมาะที่จะกำหนดใช้การควบคุมของขั้นตอนย่อยนี้ พิจารณาขั้นตอนย่อยอื่นๆ ก็พบว่าเวลาเฉลี่ยที่ลดลงยังน้อย แม้จะให้ผลลัพธ์ที่เป็นสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้รับสูง ก็ไม่เหมาะที่จะใช้วิธีการกำหนดพิกัดควบคุมเช่นกัน ดังนั้นในการศึกษาการปรับปรุงเวลาในการทดสอบ SRST

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของฮาร์ดดิสก์รุ่นความจุ 500 กิกะไบต์นี้ ด้วยวิธีการกำหนดพิกัดควบคุมเวลาในแต่ละขั้นตอนย่อย ไม่สามารถใช้งานได้ แต่ควบคู่กันไปก็มีการศึกษาด้วยวิธีการอื่นๆ ที่สามารถเห็นผลได้ชัดเจนกว่าก็มี



รูปที่ 4.12 เวลาเฉลี่ยที่ลดลงของแต่ละขั้นตอนย่อย

4.4 การทดลองเป็นลำดับอย่างต่อเนื่องของกระบวนการ (Sequential testing of sup-process)

ขั้นตอนย่อยที่ได้เลือกมาทดลองนี้เป็นส่วนหนึ่งซึ่งอยู่ภายในการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์ ในความจริงการทดสอบขั้นตอนย่อยทั้งหมดจะดำเนินการไปอย่างต่อเนื่อง จนทราบผลของการทดสอบ SRST ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้จำลองการทดสอบด้วยการกำหนดพิกัดควบคุมของแต่ละขั้นตอนย่อยทำการทดสอบอย่างต่อเนื่องเริ่มจากขั้นตอนย่อยที่อยู่ลำดับแรก (V020) จนไปถึงขั้นตอนย่อยลำดับสุดท้าย (V073) ที่ได้ถูกเลือกมา ดังตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองเป็นลำดับอย่างต่อเนื่องของกระบวนการ (Sequential testing of sub-process)

ในขั้นตอนการทดลองที่สองนี้เป็นการกำหนดพิกัดควบคุมกระบวนการอย่างต่อเนื่อง คือ อินพุตตัวอย่างงานเข้าไปทั้งหมด 4,000 ตัวอย่าง ที่ขั้นตอนย่อยลำดับเริ่มแรก V020 ได้เอาต์พุตงานที่เหลือเป็น 3,092 ตัวอย่าง อินพุตเข้าไปยังขั้นตอนย่อย D036 ต่อ และในขั้นตอนย่อย D036 นี้ได้เอาต์พุตที่เหลือเป็น 2,393 ตัวอย่าง เป็นอินพุตเข้าไปยังขั้นตอนย่อยต่อไปเรื่อยๆ จนไปถึงขั้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย่อยสุดท้าย V073 ที่ได้มีการกำหนดพิกัดควบคุมกระบวนการ เอาต์พุตสุดท้ายที่ได้จะมีค่าสัดส่วน GA จำนวนงานดีที่คงเหลือ 1,699 ตัวอย่าง และค่าสัดส่วน GR จำนวนงานเสียที่คงเหลือ 15 ตัวอย่าง

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองกำหนดพิกัดควบคุมในแต่ละขั้นตอนย่อยอย่างต่อเนื่อง

ลำดับที่	ขั้นตอนย่อย	สัดส่วนจำนวนตัวอย่าง (Units)					
		อินพุต	เอาต์พุต	GA	GR	FA	FR
1	V020	4,000	3,092	1,865	764	1,236	144
2	D036	3,092	2,393	1,843	686	550	13
3	V037	2,393	2,017	1,797	330	220	46
4	S055	2,017	1,862	1,777	135	85	20
5	V071	1,862	1,793	1,775	67	18	2
6	V073	1,793	1,699	1,696	15	3	79

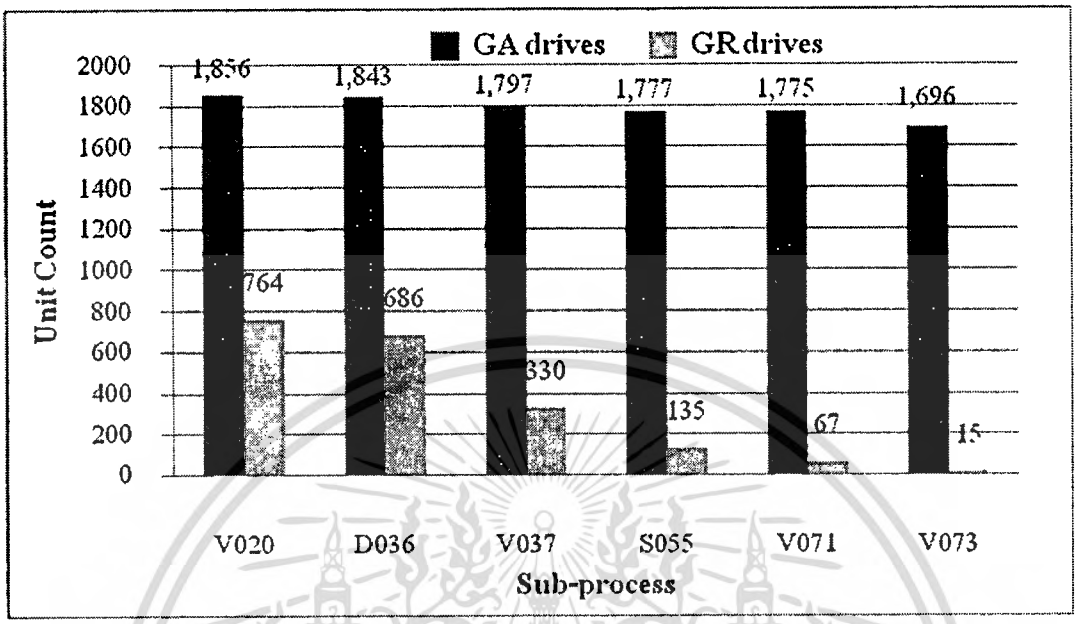
GA คือจำนวนงานดีที่คงเหลือ, GR คือจำนวนงานเสียที่คงเหลือ, FA คือจำนวนงานเสียที่ผ่านพิกัดควบคุม, FR คือจำนวนงานดีที่ไม่ผ่านพิกัดควบคุม

ในแต่ละขั้นตอนย่อยของการทดลองนี้จะได้ให้ผลลัพธ์ของตัวแปรที่เหลือ FA และ FR ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ด้านบน GA เป็นสัดส่วนที่แสดงจำนวนงานดีที่คงเหลือ และ GR เป็นสัดส่วนที่แสดงจำนวนงานเสียที่คงเหลือ เมื่อผ่านพิกัดควบคุมของแต่ละขั้นตอนย่อย เช่นกันในตารางที่ 4.3 ค่าสัดส่วน FA และ FR เป็นข้อผิดพลาดที่ไปยอมรับกลุ่มงานเสียและไม่ยอมรับกลุ่มงานดีตามลำดับในแต่ละขั้นตอนย่อย นำค่าที่ได้พล็อตกราฟดังที่แสดงในรูปที่ 4.13 และ 4.14

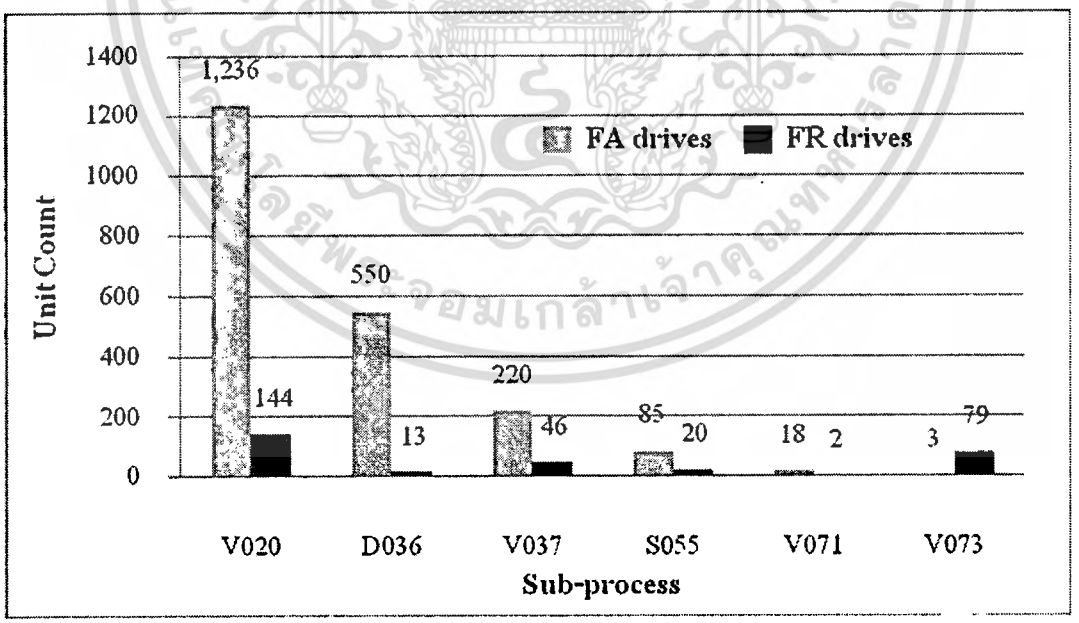
นำผลลัพธ์ที่ได้ในตารางที่ 4.8 พล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าสัดส่วน GA และ GR ในกราฟนี้จะดูสัดส่วนของ GA ที่คงเหลือในขั้นตอนย่อย V073 ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายที่มีการกำหนดพิกัดควบคุม เป็นกลุ่มงานดีที่คงเหลือ 1,696 ตัวอย่าง จากกลุ่มงานดีทั้งหมด 2,000 ตัวอย่าง ทางอุดมคติจะพยายามให้คงเหลือให้มากที่สุดเพราะนั่นหมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจะมากด้วย และค่า GR ที่ขั้นตอนย่อย V073 เป็นกลุ่มงานเสียที่คงเหลือ 15 ตัวอย่าง จากกลุ่มงานเสียทั้งหมด 2,000 ตัวอย่าง แสดงในรูปที่ 4.13 อีกผลลัพธ์หนึ่งเป็นการพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าสัดส่วน FA และ FR จากการทดลองที่สอง ค่าสัดส่วน FA ค่อยๆ ลดลงตามจำนวนงานที่เหลือ สุดท้ายแล้วกลุ่มงานเสียจะเหลือแค่ 3 ตัวอย่าง ที่ขั้นตอนย่อย V073 และค่าสัดส่วน FR เป็นการตัดงานดีในแต่ละขั้นตอนย่อย ค่า FR นี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ (Yield) ลดลงด้วย นำไปคำนวณสัดส่วนการสูญเสียงานดี ถ้าแต่ละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนย่อยมีค่า FR มากจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมีเปอร์เซ็นต์น้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.14 แสดงสัดส่วน FA และ FR เมื่อทำการทดลองควบคุมกระบวนการอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 4.13 สัดส่วนของ GA และ GR ของแต่ละขั้นตอนย่อย



รูปที่ 4.14 สัดส่วนของ FA และ FR ของแต่ละขั้นตอนย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 คำนวณค่ากำลังงานที่เครื่องทดสอบใช้งาน

ขั้นตอนย่อย (Sub-process)	จำนวนตัวอย่าง	กำลังงานไม่ใช้พิกัดควบคุม (กิโลวัตต์)	กำลังงานใช้พิกัดควบคุม (กิโลวัตต์)	กำลังงานที่ประหยัดได้ (กิโลวัตต์)
V020	4,000	31.200	6.400	24.800
D036	3,092	510.180	448.340	61.840
V037	2,393	10.529	1.914	8.614
S055	2,017	89.554	79.873	9.681
V071	1,862	11.544	1.862	9.682
V073	1,793	26.895	1.793	25.102
รวม		**679.902**	**540.182**	**139.719**

ค่าเวลาเฉลี่ยที่ได้สามารถหาค่าพลังงานที่ลดลงในแต่ละขั้นตอนย่อย ในขณะที่ฮาร์ดดิสก์ทำการทดสอบจะบริโภคพลังงานต่อหนึ่งชั่วโมง กำหนดให้ดังนี้ กำลังงานที่ใช้ = 20 วัตต์/ชั่วโมง/หนึ่งหน่วย เมื่อพิจารณาเฉพาะขั้นตอนย่อยที่ถูกนำมาทดลอง ดังนั้นก่อนหน้าที่ไม่ได้มีการกำหนดพิกัดควบคุมกระบวนการ หาค่ากำลังงานรวมที่ไม่ได้ใช้พิกัดควบคุมได้เท่ากับ 679.902 กิโลวัตต์ และเมื่อกำหนดพิกัดควบคุม ค่ากำลังงานรวมเมื่อทำการกำหนดพิกัดควบคุมเท่ากับ 540.182 กิโลวัตต์ โดยสูตรที่ใช้คำนวณหากำลังงานในแต่ละขั้นตอนย่อยดังแสดงตามสมการด้านล่างนี้

$$\text{กำลังงานไม่ใช้พิกัดควบคุม} = \text{จำนวนตัวอย่าง} \times 20 \text{ วัตต์ต่อชั่วโมง} \times \text{เวลาเฉลี่ย}_{(\text{ไม่ใช้})} \quad (4.1)$$

$$\text{กำลังงานใช้พิกัดควบคุม} = \text{จำนวนตัวอย่าง} \times 20 \text{ วัตต์ต่อชั่วโมง} \times \text{เวลาเฉลี่ย}_{(\text{ใช้})} \quad (4.2)$$

$$\text{กำลังงานที่ประหยัดได้} = \text{กำลังงานไม่ใช้พิกัดควบคุม} - \text{กำลังงานใช้พิกัดควบคุม} \quad (4.3)$$

("ไม่ใช้" หมายถึงเมื่อไม่ได้กำหนดพิกัดควบคุมกระบวนการของขั้นตอนย่อย และ "ใช้" หมายถึงเมื่อได้กำหนดพิกัดควบคุมกระบวนการของขั้นตอนย่อย)

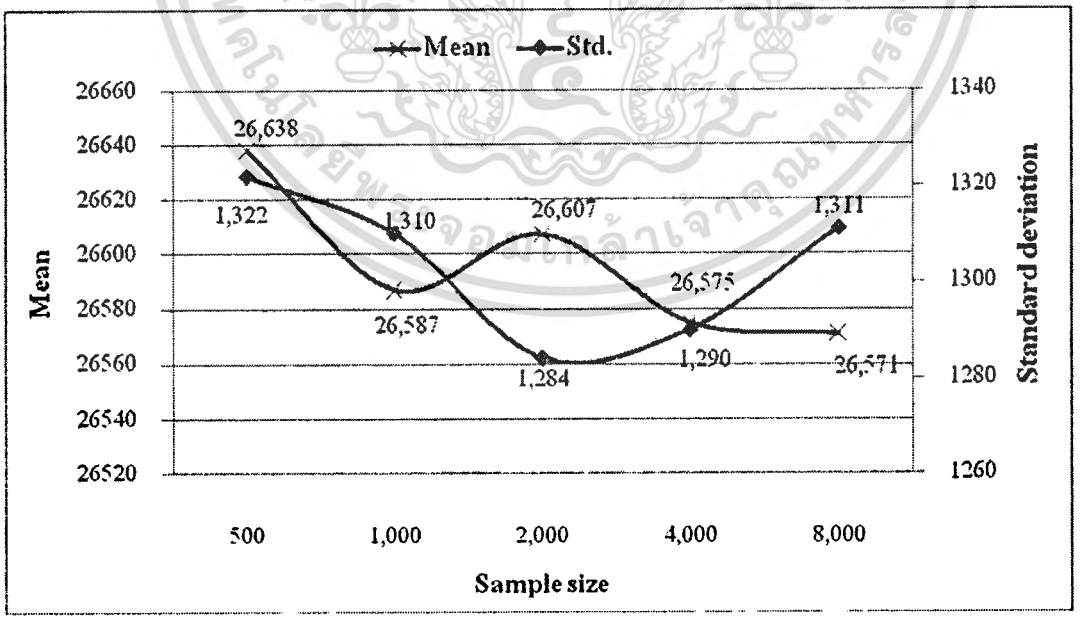
จากตารางที่ 4.9 แสดงค่ากำลังงานที่ได้จากการคำนวณในแต่ละขั้นตอนย่อย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าเวลาเฉลี่ยของการทดสอบที่ลดลงในแต่ละขั้นตอนย่อย สามารถทำให้ประหยัดกำลังงานที่ใช้ในการทดลอบได้ประมาณ 140 กิโลวัตต์ จากกลุ่มตัวอย่างงานทั้งหมด 4,000 ตัวอย่าง ข้อดีนั่นแสดงว่ากระบวนการทดสอบจะสามารถลดต้นทุนในกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิกส์ได้ (Cost saving) และเวลาที่ลดลงสามารถเพิ่มผลผลิตได้ (Productivity) ส่วนข้อด้อยก็คือผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ที่ประมาณ 97.32% อย่างไรก็ดีนี่เป็นการทดลองกับของมูลส่วนหนึ่งเท่านั้น หวังเพียงว่าถ้ามีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำไปประยุกต์ใช้งานจริงจะมีผลที่ได้ใกล้เคียงกับที่ได้ทดลอง ก็จะสามารถตอบได้ว่ากลุ่มตัวอย่างที่นำมาทดลอง สามารถแทนค่าทางสถิติของกระบวนการของกลุ่มประชากรหลักได้

4.5 พิจารณาการเพิ่มจำนวนตัวอย่าง

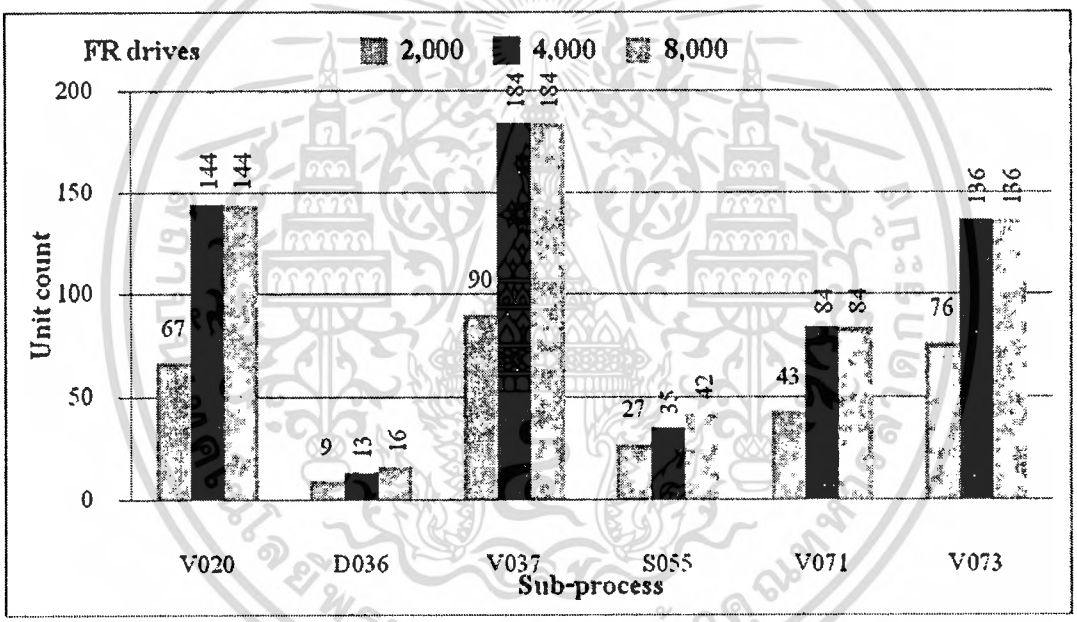
จากการทดลองทั้งสามแบบในหัวข้อที่ผ่านมานั้นได้ทำการทดลองด้วยกลุ่มตัวอย่างที่เป็นจำนวนฮาร์ดดิสก์ทั้งหมด 4,000 ตัวอย่าง กับช่วงเวลาที่เก็บรวบรวมข้อมูลการทดสอบฮาร์ดดิสก์ช่วงหนึ่ง โดยพิจารณากระบวนการด้วยสภาวะที่อยู่ภายใต้สภาพปกติไม่มีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการ ได้แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น ดังนี้ 1) กลุ่มตัวอย่างที่เป็นงานดี (Pass drive) จำนวน 2,000 ตัวอย่าง 2) กลุ่มตัวอย่างที่เป็นงานเสีย (Fail drive) จำนวน 2,000 ตัวอย่าง (ฮาร์ดดิสก์ที่เป็นกลุ่มงานเสียจะทำการทดสอบไม่ครบทุกขั้นตอนย่อย) เพื่อให้ได้ข้อมูลของแต่ละขั้นตอนย่อยตามจำนวนที่ต้องการ จะต้องเก็บข้อมูลกลุ่มงานเสียจำนวนมาก ถ้าจะทำการเพิ่มขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (Sample size) เราจะต้องพิจาณากลุ่มของข้อมูลดิบที่ได้มาอย่างแน่นอน อาทิเช่น จะต้องอยู่ภายใต้การควบคุม ไม่มีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการใดๆ ที่จะทำให้เกิดผลกระทบกับข้อมูลโดยตรง หรือทำให้มีการเปลี่ยนแปลงอันจะทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลผิดพลาด ในการทดลองต่อไปนี้ได้เป็นการทดลองเปรียบเทียบจำนวนกลุ่มตัวอย่างให้มากขึ้นเป็น 2,000 4,000 และ 8,000 ตัวอย่าง ภายใต้เงื่อนไขดังกล่าวแล้วทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้รับ



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบค่ากลางและค่าเบี่ยนเบนมาตฐานของข้อมูลของขั้นตอนย่อย D036 ในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งต่อไปจะทดลองรูปแบบควบคุมด้วยพิกัดควบคุมด้านบนที่ได้กำหนดขึ้นจากจำนวนข้อมูล 2,000 ตัวอย่าง จะสามารถนำค่าทางสถิติมากำหนดพิกัดควบคุมกับจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ทดลองจำนวนที่ต่างกันได้ ทำการทดลองในฮาร์ดดิสก์รุ่นความจุ 320 กิกะไบต์ ในรูปที่ 4.15 พล็อตกราฟแสดงค่ากลางและค่าเบี่ยงเบนมาตฐาน เปรียบเทียบในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง เป็นข้อมูลที่ได้จากการสุ่มของข้อมูลในขั้นตอนย่อย D036 ซึ่งข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าทางสถิติ ทั้งที่เป็นค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูล เราจะได้นำรูปแบบการควบคุมด้วยพิกัดด้านบนทดลองควบคุมกระบวนการย่อย จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 2,000 ตัวอย่าง ที่จะนำมาคำนวนพิกัดควบคุมในแต่ละขั้นตอนย่อย ในการทดลองแบบแรก และแบบเพิ่มจำนวกลุ่มตัวอย่างนี้ก็หาความแตกต่างว่าหากทำการเพิ่มจำนวนข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองจะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จะยังคงเหมือนเดิม หรือว่ามีข้อแตกต่างกันอย่างไรบ้าง



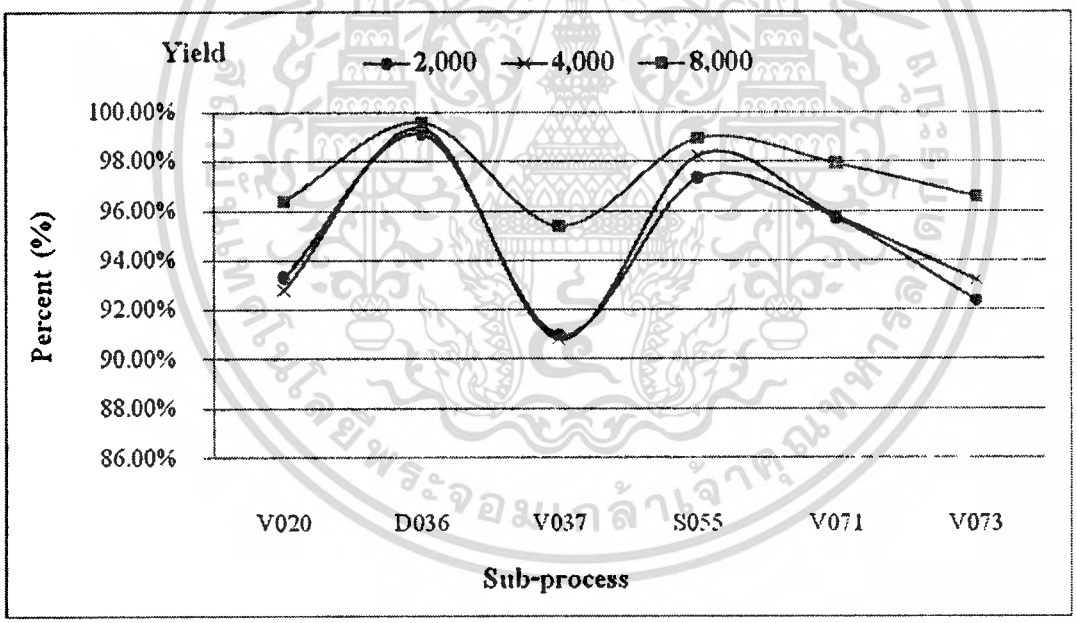
รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบค่าสัดส่วนงานดีที่ถูกตัดออกของแต่ละกลุ่มตัวอย่าง

แต่อย่างไรก็ตามกลุ่มข้อมูลที่นำมาทดลองกับรูปแบบการควบคุมที่ได้กำหนดขึ้นในครั้งแรก ผลลัพธ์ที่ได้สามารถแสดงด้วยค่าของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ และเวลาเฉลี่ยที่ลดลงได้ หากมีผลลัพธ์ไม่ได้ตามเป้าหมายแล้วข้อพิจารณาต่อไปคือ การปรับปรุงพิกัดควบคุมกระบวนการใหม่ เพราะฉะนั้นในการที่จะกำหนดค่าพิกัดควบคุมกระบวนการ จะต้องทำการพิจารณากลุ่มตัวอย่างที่จะนำมาแทนกลุ่มของประชากรทั้งหมดด้วย ว่าค่าทางสถิติของกลุ่มตัวอย่างจะต้องมีความน่าเชื่อถือคือสามารถแทนกลุ่มประชากรทั้งหมด เมื่อกลุ่มข้อมูลที่นำมาทดลองแล้วให้ผลลัพธ์ที่ได้ไม่ดีพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะต้องมีการปรับเปลี่ยนข้อกำหนดที่จะยอมให้เกิด หรือข้อกำหนดพิกัดควบคุมที่นำไปใช้กับกระบวนการต้องได้รับการปรับปรุงใหม่นั่นเอง

แสดงผลลัพธ์ที่เป็นสัดส่วนจำนวนงานดีที่ถูกตัดออก (FR drives) โดยทำการเปรียบเทียบในแต่ละกลุ่มตัวอย่างที่ได้นำมาทดลอง ดังที่แสดงในรูปที่ 4.16 ซึ่งสัดส่วนที่เป็นจำนวนงานดีที่ถูกตัดออกนี้จะมีผลกับค่าของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ (Yield) เทียบกับจำนวนของกลุ่มงานดีทั้งหมดที่ได้นำมาทดลอง ผลการทดลองจากค่าสัดส่วนจำนวนงานดีที่ถูกตัดออก นำมาคำนวณหาค่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจากการควบคุมกระบวนการด้วยพิกัดด้านบน ซึ่งค่าที่ได้แสดงในรูปที่ 4.17 เปรียบเทียบแสดงแนวโน้วของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ ในแต่ละกลุ่มตัวอย่างที่ได้นำมาทดลอง ที่กลุ่มตัวอย่างจำนวน 8,000 ตัวอย่าง ยังให้ค่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมีค่าสูงโดยเฉลี่ยจากแต่ละขั้นตอนย่อย บ่งบอกว่ากระบวนการมีการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละขั้นตอนย่อย อยู่ในช่วงที่ใช้พิกัดควบคุมได้ดี แต่ก็มีโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ที่กลุ่มข้อมูของงานดี จะหลุดออกนอกพิกัดควบคุมที่เรากำหนด นั่นก็หมายความว่าจะทำให้ค่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมีค่าลดลง



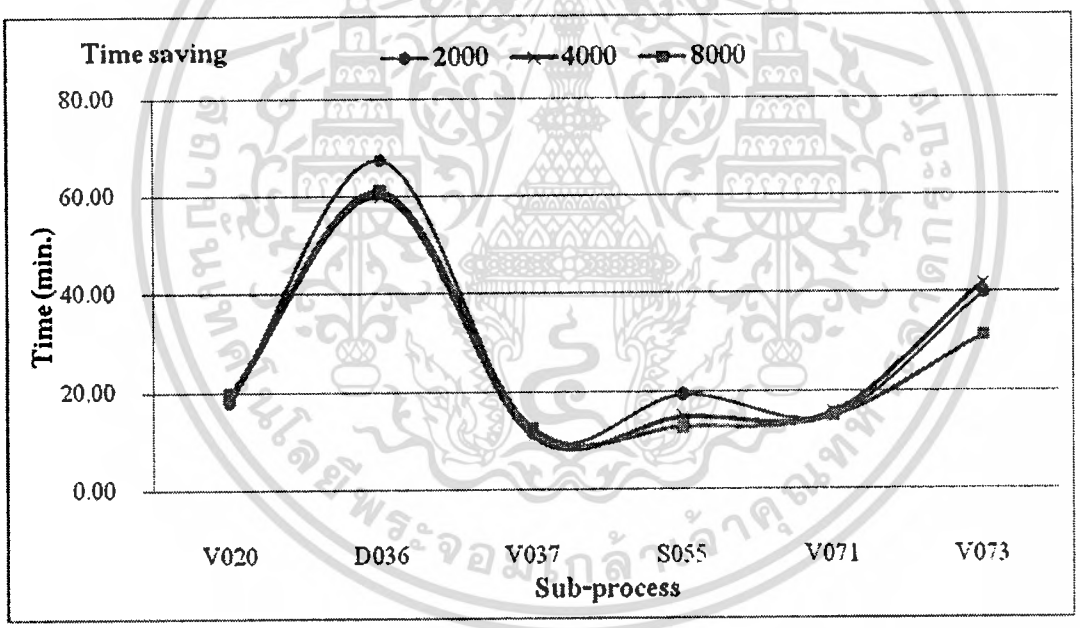
รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ได้รับของแต่ละกลุ่มตัวอย่าง

และสุดท้ายได้แสดงผลลัพธ์เป็นเวลาเฉลี่ยที่ลดลง คำนวนจากค่าเวลาเฉลี่ยก่อนการควบคุมกระบวนการ ลบด้วยค่าเวลาเฉลี่ยภายหลังที่ได้มีการควบคุมกระบวนการแล้ว จะทำให้ได้ผลลัพธ์เป็นค่าเวลาเฉลี่ยที่ลดลงในแต่ละขั้นตอนย่อยของแต่ละกลุ่มตัวอย่างที่ได้นำมาทดลอง จะพบว่าค่าเวลาเฉลี่ยที่ได้รับในแต่ละขั้นดอนย่อย ของแต่ละกลุ่มตัวอย่างที่นำมาทดลอง จะมีค่าเวลาเฉลี่ยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใกล้เคียงกัน ยกตัวอย่างเช่น ขั้นตอนย่อย V020 และ V037 ค่าเวลาเฉลี่ยที่ลดลงมีค่าเกือบจะเท่ากันในทุกๆ กลุ่มตัวอย่างที่นำมาทดลอง และในขั้นตอนย่อยอื่นๆ จะแสดงดังรูปที่ 4.18

ด้วยรูปแบบการควบคุมกระบวนการโดยใช้พิกัดควบคุมด้านบนแบบเดิมที่ใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 2,000 ตัวอย่าง แล้วนำค่าพิกัดควบคุมมากำหนดใช้กับจำนวนกลุ่มตัวอย่างใหม่ที่มีตั้งแต่ 2,000 4,000 และ 8,000 ตัวอย่าง เพื่อที่จะทำการเปรียบเทียบผลที่ได้รับของแต่ละขั้อตอนย่อย ซึ่งพบว่าค่าที่ใช้ในการพิจารณาที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับและค่าเวลาเฉลี่ยที่ลดลงมีความแตกต่างกันเล็กน้อย เป็นไปในแนวทางที่สามารถยอมรับได้ คือผลิตภัณฑ์ที่ได้รับไม่ว่าจะเป็นกลุ่มตัวอย่างไหนก็จะเห็นว่ามีแนวโน้วที่เพิ่มขึ้น ก็แสดงได้ว่าข้อมูลที่ได้รับมีการกระจายตัวอยู่ในช่วงที่กำหนด แต่ก็มีโอกาสที่การกระจายตัวข้อมูลจะออกนอกพิกัดควบคุม จะทำให้ค่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับน้อยลง ก็เป็นผลของการควบคุม หรือกระบวนการสามารถควบคุมได้ก็จะทำให้สามารถแก้ไขได้ทัน และจะพบว่าเวลาเฉลี่ยที่ลดลงของแต่ละกลุ่มตัวอย่างในแต่ละขั้นตอนย่อยจะมีค่าใกล้เคียงกัน



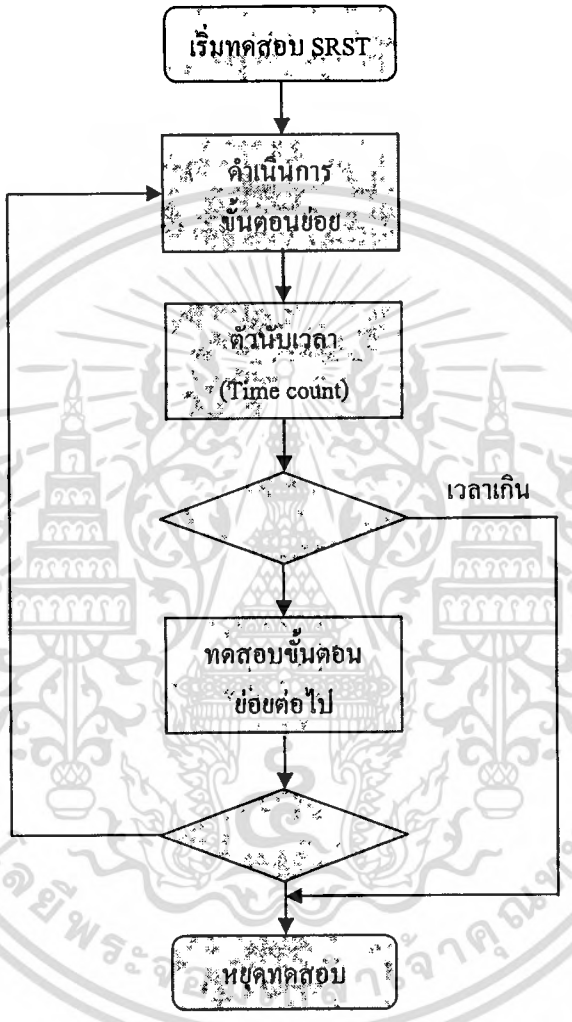
รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยที่ลดลงของแต่ละกลุ่มตัวอย่าง

4.6 การประยุกต์ใช้งานกับกระบวนการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์

ปัจจุบันเครื่องทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์ได้ถูกควบคุมด้วยโปรแกรมที่ใช้สำหรับทดสอบ (Test code) ซึ่งเครื่องทดสอบ (Tester machine) จะมีวิธีการดำเนินการที่คล้ายกับการกำหนดพิกัดควบคุมกระบวนการของขั้นตอนย่อย โดยเครื่องทดสอบได้มีวิธีกำหนดเวลาควบคุมการทดสอบ เมื่อกระบวนการทดสอบ SRST ใช้เวลาเกินที่ตั้งไว้ กระบวนการทดสอบก็จะหยุด แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการควบคุมทั้งกระบวนการ SRST ในวิธีที่จะนำเสนอนี้จะทำการควบคุมเฉพาะขั้นตอนย่อยที่อยู่ภายในกระบวนการ SRST ที่สำคัญเท่านั้น ทำการเขียนโปรแกรมทดสอบควบคุมขั้นตอนย่อย ดังรูปที่ 4.7 แสดงการทำงานของโปรแกรมเพื่อให้เข้าใจการทำงานการควบคุมเวลาในแต่ละขั้นตอนย่อย



รูปที่ 4.19 จำลองขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในหนึ่งขั้นตอนย่อย

แบบจำลองการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของขั้นตอนย่อย โดยเริ่มจากกระบวนการทดสอบ SRST เข้าสู่การทำงานของขั้นตอนย่อยที่เราต้องการควบคุม แล้วขั้นตอนย่อยนั้นก็เริ่มทำงาน โดยมีตัวนับเวลา (Counter) เริ่มจับเวลาการทำงานของขั้นตอนย่อย แล้วมีตัวตรวจสอบเงื่อนไขดังนี้ ตัวนับได้นับเวลาเกิน (Time out) จากที่ได้กำหนดหรือควบคุมไว้ จะทำการหยุดทดสอบแล้วแสดงเป็นรหัสผิดพลาด (Error code) และถ้าหากขั้นตอนย่อยนั้นทำงานเสร็จก่อนเวลาที่กำหนด แสดงว่าขั้นตอนย่อยนั้นผ่านการควบคุมเวลาที่กำหนดไปยังขั้นตอนย่อยถัดไปของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการ SRST ดังรูปที่ 4.6 เป็นแบบจำลองการทำงานของโปรแกรมตรวจสอบเวลาในการดำเนินการทดสอบของแต่ละขั้นตอนย่อยของกระบวนการ SRST

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเฉพาะรุ่นของฮาร์ดดิสก์ที่สนใจเท่านั้น ดังที่กล่าวไปแล้วว่าเป็นการศึกษาและทดลองกับรุ่นที่มีความจุ 320 และ 500 กิกะไบต์ ถ้ามีโอกาสนำรูปแบบการควบคุมนี้ไปประยุกต์ใช้งานได้ตามที่ตั้งสมมติฐานไว้ ในขั้นต่อไปอาจจะสามารถนำไปใช้กับฮาร์ดดิสก์รุ่นอื่นๆ ที่ต้องการก็มีความเป็นไปได้ค่อนข้างสูง เพราะโดยขั้นตอนย่อยของการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์นั้นก็มีความคล้ายกันในแต่ละรุ่นของฮาร์ดดิสก์ ซึ่งผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ก็มีความจุหลายรุ่น ถ้านำไปใช้ร่วมกันได้ก็จะเป็นการดีที่จะทำให้สามารถลดเวลาของการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองในบทที่ 4 ได้ศึกษาการปรับปรุงเวลาในกระบวนการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์ โดยต้องเสนอแนะแนวทางที่เป็นไปได้ ความท้าทายอยู่ที่ว่าให้ศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลจากระบบฐานข้อมูล (Database system) ในโรงงานอุตสาหกรรม ผลที่ได้คือสามารถจำลองวิธีการควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติ (SPC) และวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (PCA) ของการทดสอบ SRST ในขั้นตอนย่อย ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้พยายามนำวิธีการควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติ มาช่วยจัดการควบคุมระยะเวลาของการทดสอบ SRST ในขั้นตอนย่อย (Sub-process) จากผลการทดลองที่ได้พบว่า เมื่อเราทำการควบคุมกระบวนการทดสอบจะทำให้สามารถลดระยะเวลาของการทดสอบของเครื่องทดสอบลงได้ จากเวลาในปัจจุบันของขั้นตอนย่อยนั้นๆ ทำให้การทดสอบของเครื่องทดสอบใช้เวลาโดยรวมเร็วขึ้น เนื่องจากไม่ต้องรอเวลาของขั้นตอนย่อยที่ใช้เวลาทดสอบนานๆ และมีความเป็นไปได้ว่าขั้นตอนย่อยใดๆ ที่ใช้เวลาทดสอบนานจะไม่สามารถผ่านกระบวนการทดสอบ SRST ได้ เพราะฉะนั้นเราจึงต้องทำการลดระยะเวลาตรงนี้ได้โดยใช้เทคนิคดังกล่าว การทดลองแบ่งออกเป็นสามแบบด้วยกันดังนี้ การทดลองกับฮาร์ดดิสก์รุ่นความจุ 320 กิกะไบต์ การทดลองกับฮาร์ดดิสก์รุ่นความจุ 320 กิกะไบต์เมื่อเปลี่ยนโปรแกรมโค้ดทดสอบใหม่ และการทดลองกับฮาร์ดดิสก์รุ่นความจุ 500 กิกะไบต์ ซึ่งจะได้กล่าวสรุปผลและข้อเสนอแนะในหัวข้อต่อไป

5.1 สรุปผลการทดลองกับฮาร์ดดิสก์รุ่นความจุ 320 กิกะไบต์

ข้อมูลที่เป็นไฟล์ผลการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์ที่ได้รับมานั้น ภายในประกอบไปด้วยสารสนเทศของข้อมูลมากมาย แต่เราต้องการแสดงผลในสิ่งที่เราสนใจคือระยะเวลาของการทดสอบในแต่ละขั้นตอนย่อย ซึ่งก็สามารถทำให้เรารู้ว่าในกระบวนการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์นั้น ภายในแล้วขั้นตอนย่อยขั้นตอนใดที่ใช้เวลานานที่สุด โดยจากรุ่นของฮาร์ดดิสก์ที่ได้ทำการศึกษาแสดงให้เห็นขั้นตอนที่สำคัญที่ใช้เวลานานด้วยรูปที่ 3.9 เป็นกราฟพาเรโตแสดงขั้นตอนย่อยที่สำคัญที่สุดได้ถูกเลือกมา แล้วนำข้อมูลของขั้นตอนย่อยในแต่ละขั้นตอนที่เราสนใจมาทำการวิเคราะห์การควบคุมด้วยวิธีการทางสถิติ ร่วมกับการวิเคราะห์หาความสามารถของกระบวนการด้วย ซึ่งก็สามารถกำหนดพิกัดควบคุมของขั้นตอนย่อยที่ในแต่ละระดับคุณภาพดัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงในตารางที่ 4.1 เพื่อที่จะกำหนดระยะเวลาของการทดสอบของขั้นตอนย่อยนั้นๆ ทำการทดลองเพื่อหาพิกัดควบคุมที่เหมาะสม เมื่อฮาร์ดดิสก์ที่ถูกทดสอบใช้เวลาเกิน (Time out) ในขั้นตอนใดแล้วก็จะถูกตัดและกำหนดให้เป็นฮาร์ดดิสก์ที่ไม่ผ่านการทดสอบ (Fail drive) ผลการควบคุมกระบวนการด้วยพิกัดควบคุมในแต่ละขั้นตอนย่อย จากจำนวนของข้อมูลที่นำมาทดลองทำให้เห็นจำนวนกลุ่มงานดีที่ผ่านการทดสอบ เปรียบเทียบกับกลุ่มงานเสียที่ไม่ผ่านการทดสอบแสดงสัดส่วนในตารางที่ 4.2 แสดงค่าในตารางด้วยรูปที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 เป็นสัดส่วน FA และ FR, คำนวณผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ (Yield) และเวลาเฉลี่ยที่ลดลง (Time saving) ของแต่ละขั้นตอนย่อยตามลำดับ ในขั้นตอนย่อย D036 สามารถลดเวลาเฉลี่ยได้ 3,600 วินาที คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ประมาณ 12.11% และผลิตภัณฑ์ที่ได้รับคือ 99.35% รองลงมาเป็นขั้นตอนย่อย V073 สามารถลดเวลาเฉลี่ยได้ 2,514 วินาที คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ประมาณ 93.11% แต่จะให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับค่อยข้างต่ำเป็น 93.20% ในตารางที่ 5.1 ผลการลองของขั้นตอนย่อยอื่นๆ แสดงเวลาเฉลี่ยก่อนการควบคุม และเวลาเฉลี่ยหลังการควบคุม ในคอลัมน์ที่ 2 และ 3 ตามลำดับ หลังจากนั้นคิดเป็นเวลาเฉลี่ยที่ลดลง, เวลาที่ลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ในคอลัมน์ที่ 4 และ 5 ตามลำดับ และในคอลัมน์สุดท้ายแสดงเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับของแต่ละขั้นตอนย่อย เวลาเฉลี่ยที่ลดลงมากๆ เป็นสิ่งที่ต้องการ อาทิเช่น ขั้นตอนย่อย D036 และ V073 ผลที่ได้รับมีเวลาเฉลี่ยลดลงเป็น 3,600 วินาที และ 2,514 วินาที ตามลำดับ และต้องบอกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจะต้องมีค่าที่มากกว่า 99.00% เช่นกัน เพื่อไม่ให้กระทบกับผลิตภัณฑ์ที่ได้รับในสายการผลิต (Production line) กล่าวได้ว่าเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับที่มีค่าต่ำเนื่องมาจากมีการกระจายตัว (Spread) ของข้อมูลสูง หรือมีค่าความแปรปรวนสูง และเวลาเฉลี่ยที่ลดลงมีค่าน้อยเพราะว่าค่าเวลาเฉลี่ยของกลุ่มงานดีมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มงานเสีย รูปแบบการควบคุมจะใช้ได้ดีคือให้ค่าเวลาเฉลี่ยลดลงมากๆ เมื่อค่าเวลาเฉลี่ยระหว่างสองกลุ่มงานมีความแตกต่างกันมาก

ตารางที่ 5.1 สรุปผลที่ได้เป็นเวลาเฉลี่ยและผลิตภัณฑ์ที่ได้รับของแต่ละขั้นตอนย่อย

ขั้นตอนย่อย (Sub-process)	เวลาเฉลี่ยก่อนการควบคุม (วินาที)	เวลาเฉลี่ยหลังการควบคุม (วินาที)	เวลาเฉลี่ยที่ลดลง (วินาที)	เวลาที่ลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์	ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ (Yield)
V020	1,437	285	1,152	81.17%	92.80%
D036	29,705	26,105	3,600	12.11%	99.35%
V037	810	150	660	81.48%	90.80%
S055	8,016	7,130	886	11.05%	98.25%
V071	1,110	182	928	83.60%	95.80%
V073	2,700	186	2,514	93.11%	93.20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเครื่องทดสอบแท้ที่จริงแล้วขั้นตอนย่อยต่างๆ จะทำงานอย่างต่อเนื่องจนเสร็จสิ้น ดังนั้นจึงได้ออกแบบการทดลองกำหนดพิกัดควบคุมเป็นลำดับต่อเนื่องของขั้นตอนย่อยทั้งหมดที่ได้เลือกมา ทำให้ได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.8 แสดงสัดส่วนของจำนวนกลุ่มงานดี และกลุ่งานเสียที่ผ่านในแต่ละขั้นตอน และแสดงในรูปที่ 4.13 และ 4.14 สุดท้ายได้คำนวนกำลังงานของเครื่องทดสอบตามสูตรสมการที่ (4.1) - (4.3) ทำให้สามารถลดลงได้ประมาณ 140 กิโลวัตต์ ต่อจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 4,000 ตัวอย่าง (หรือจำนวนของฮาร์ดดิสก์) ที่ใช้ในการทดลอง และคิดเป็นงบประมาณหรือต้นทุนก็จะประหยัดลงได้ถึง 17,500 บาท (กำหนดให้ราคาต่อหน่วย = 2.5 บาท)

5.2 สรุปผลการทดลองเมื่อเปลี่ยนโปรแกรมโค้ดทดสอบใหม่

เมื่อเวลาผ่านไปในกระบวนการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์ (รุ่นความจุ 320 กิกะไบต์) ได้ปรับเปลี่ยนโปรแกรมโค้ดทดสอบ (Test code version) รุ่นใหม่ ทำให้ผลที่ได้จากการทดลองเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยเฉพาะข้อมูลดิบ (Raw data) ที่ได้มา พบว่าขั้นตอนย่อยต่างๆ และเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนย่อยก็เปลี่ยนไป แต่อย่างไรก็ตามการทดลองก็ยึดถือข้อมูลดิบที่มาได้เป็นหลัก ดังนั้นจึงทำการทดลองกำหนดพิกัดควบคุมกับขั้นตอนย่อยใหม่ ผลที่ได้จากการทดลองได้แสดงในหัวข้อที่ 4.2 การปรับปรุงเวลาในการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์กับโปรแกรมโค้ดทดสอบใหม่ ลำดับความสำคัญของขั้นตอนย่อยได้แสดงในรูปที่ 4.5 ที่ได้เลือกมา การกำหนดพิกัดควบคุมของแต่ละขั้นตอนย่อยได้แสดงผลในตารางที่ 4.4 และพล็อตเป็นกราฟแสดงในรูปที่ 4.6, 4.7 และ 4.8 เป็นสัดส่วน FA และ FR, คำนวณผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ (Yield) และเวลาเฉลี่ยที่ลดลง (Time saving) ของแต่ละขั้นตอนย่อยตามลำดับ ผลการทดลองที่ดีที่สุดเป็นขั้นตอนย่อย D038 สามารถลดเวลาเฉลี่ยได้ 2,861 วินาที คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ประมาณ 17.47% และผลิตภัณฑ์ที่ได้รับคือ 99.45% ถ้าหากพิจารณาขั้นตอนย่อยอื่นๆ แล้วเวลาเฉลี่ยที่ลดลงน้อยมากไม่เหมาะที่จะกำหนดใช้รูปแบบการควบคุม ในตารางที่ 5.2 แสดงผลของขั้นตอนย่อยอื่นๆ ดังนี้ เวลาเฉลี่ยก่อนการควบคุม และเวลาเฉลี่ยหลังการควบคุม ในคอลัมน์ที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และแสดงเวลาเฉลี่ยที่ลดลง กับเวลาที่ลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ในคอลัมน์ที่ 4 และ 5 ตามลำดับ ในคอลัมน์สุดท้ายได้แสดงเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ พบว่าขั้นตอนย่อย D038 ได้ให้เวลาเฉลี่ยที่ลดลงมากที่สุดเป็น 2,861 วินาที ส่วนขั้นตอนย่อยอื่นๆ มีค่าน้อย ซึ่งจะสังเกตุได้จากในรูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าเวลาเฉลี่ยของกลุ่มงานดีมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มงานเสีย รูปแบบการควบคุมจะใช้ได้ดีคือเวลาเฉลี่ยที่ลดลงมีค่ามาก เมื่อค่าเวลาเฉลี่ยของสองกลุ่มงานมีความแตกต่างกันมาก และพบว่ากลุ่มงานที่ได้นำมาทดลองมีค่าความแปรปรวนน้อย หรือมีการกระจายตัวของข้อมูลต่ำ อันนี้เป็นสิ่งที่ดีเพราะว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับในแต่ละขั้นตอนย่อยมีค่าเปอร์เซ็นต์ที่มากกว่า 99.00% คงจะเป็นผลจากการเปลี่ยนโค้ดทดสอบใหม่ ที่พยายามลดเวลาของการทดสอบลงเช่นกัน โดยทำให้เวลาเฉลี่ยที่ได้ลดลงจากโค้ดทดสอบแบบเดิมแล้วส่งผลให้ข้อมูลในแต่ละขั้นตอนย่อยมีความแปรปรวนน้อยด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 สรุปผลที่ได้เป็นเวลาเฉลี่ยและผลิตภัณฑ์ที่ได้รับของแต่ละขั้นตอนย่อย

ขั้นตอนย่อย (Sub-process)	เวลาเฉลี่ยก่อนการควบคุม (วินาที)	เวลาเฉลี่ยหลังการควบคุม (วินาที)	เวลาเฉลี่ยที่ลดลง (วินาที)	เวลาที่ลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์	ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ (Yield)
D012	7,190	7,155	35	0.49%	99.70 %
D014	7,194	7,153	41	0.57%	99.70 %
D020	7,144	7,004	140	1.96%	99.70 %
D038	16,375	13,514	2,861	17.47%	99.45 %
S043	7,248	7,019	229	3.16%	99.65 %
S045	7,618	7,123	495	6.50%	99.55 %

จากการทดลองในแบบที่ 1 และ 2 สิ่งที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นโค้ดทดสอบ (Test code version) ผลที่ตามมาทำให้ขั้นตอนย่อยเปลี่ยนตามไปด้วย ได้ทำการเปรียบเทียบขั้นตอนย่อยที่เปลี่ยนไว้ในตารางที่ 4.3 ซึ่งจะพบว่าไม่มีขั้นตอนย่อยขั้นตอนใดที่เหมือนกัน หากพิจารณาก็จะได้ว่า จากการทดลองในแบบที่ 1 ที่เป็นโค้ดทดสอบแบบเดิม ผลเฉลี่ยเวลาที่ลดลงของขั้นตอนย่อยทั้งหมดมีค่าเป็น 1,623 วินาที มากกว่าการทดลองในแบบที่ 2 ที่เป็นโค้ดทดสอบแบบใหม่ ที่มีผลเฉลี่ยเวลาที่ลดลงของขั้นตอนย่อยทั้งหมดเป็น 633 วินาที บ่งบอกถึงกลุ่มข้อมูลที่นำมาทดสอบว่ากลุ่มข้อมูลในการทดลองแบบที่ 1 จะมีค่าความต่างระหว่างกลุ่มงานดีกับกลุ่มงานเสียที่มากกว่ากลุ่มข้อมูลในการทดลองแบบที่ 2 ค่าความแตกต่างแสดงในรูปที่ 3.9 และ 4.5 สำหรับการทดลองของแบบที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ (Yield) จะบอกการกระจายตัว (Spread) ของกลุ่มข้อมูล ซึ่งพบว่าในการทดลองแบบที่ 1 ผลเฉลี่ยผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมีเกณฑ์ที่ต่ำ โดยเฉลี่ยจากขั้นตอนย่อยทั้งหมดได้ 95.03% และในการทดลองแบบที่ 2 จะให้ผลเฉลี่ยผลิตภัณฑ์ที่ได้รับโดยคำนวณจากขั้นตอนย่อยทั้งหมดได้ 99.63% มีค่าค่อนข้างสูง ได้แสดงการเปรียบเทียบผลเมื่อเปลี่ยนโค้ดทดสอบในตารางที่ 5.3 สุดท้ายในการทดลองที่สองแบบจะพบว่าขั้นตอนย่อย D036 และ D038 จะอยู่ในการทดลองแบบที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ได้ใช้เวลาในการทดสอบนานเหมือนกัน จึงมีความเป็นไปได้ว่าจะเป็นขั้นตอนเดียวกัน แต่เมื่อทำการเปลี่ยนโค้ดทดสอบไปจะทำให้ชื่อของขั้นตอนย่อยเปลี่ยนจาก D036 ไปเป็น D038 แทน

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบผลเมื่อเปลี่ยนโค้ดทดสอบ (ฮาร์ดดิสก์รุ่นความจุ 320 กิกะไบต์)

โค้ดทดสอบ (Test code version)	ผลเฉลี่ยเวลาที่ลดลง (Average time saving)	ผลเฉลี่ยผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ (Average yield)
แบบเดิม	1,623 วินาที	95.03%
แบบใหม่	633 วินาที	99.63%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 สรุปผลการทดลองกับฮาร์ดดิสก์รุ่นความจุ 500 กิกะไบต์

รุ่นของฮาร์ดดิสก์ในอุตสาหกรรมมีมากมายหลายรุ่นด้วยกัน โดยเฉพาะรุ่นที่มีความจุสูงๆ ย่อมใช้เวลาในกระบวนการทดสอบ SRST นานตามไปด้วย และจะเป็นผลดีที่จะมีวิธีการทดสอบ (Algorithm) ใดๆ ที่สามารถใช้ได้ผลกับรุ่นของฮาร์ดดิสก์หลายๆ รุ่น ดังนั้นจึงพยายามใช้วิธีการควบคุมกระบวนการทดสอบ SRST แบบเดิมกับรุ่นความจุ 500 กิกะไบต์ ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยก็เหมือนเดิมในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.3 ถึง 3.7 แล้วนำค่าพิกัดควบคุมที่ได้มาทำการทดลองในหัวข้อที่ 4.3 การปรับปรุงเวลาในการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์กับรุ่นความจุ 500 กิกะไบต์ ลำดับความสำคัญของขั้นตอนย่อยได้แสดงในรูปที่ 4.9 ที่ได้เลือกมา การกำหนดพิกัดควบคุมของแต่ละขั้นตอนย่อยได้ผลในตารางที่ 4.6 และพล็อตเป็นกราฟแสดงในรูปที่ 4.10, 4.11 และ 4.12 เป็นสัดส่วน FA และ FR, คำนวณผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ (Yield) และเวลาเฉลี่ยที่ลดลง (Time saving) ของแต่ละขั้นตอนย่อยตามลำดับ ในขั้นตอนย่อย D029 สามารถลดเวลาเฉลี่ยได้ 128.26 นาที คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ประมาณ 32.37% และผลิตภัณฑ์ที่ได้รับเป็น 87.85% นี้ยังถือว่าน้อยถ้าจะนำไปกำหนดใช้ในเครื่องทดสอบจริง พิจารณาขั้นตอนย่อย V018 เวลาเฉลี่ยที่ลดลงเป็น 71.68% เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงนี้มากเกินครึ่งของเวลาปัจจุบัน แต่เมื่อคิดเป็นหน่วยของเวลาแล้วลดลงเพียงแค่ 8.38 นาที เท่านั้นเอง ส่วนในขั้นตอนย่อยอื่นๆ ก็ยังถือว่าให้ค่าเวลาเฉลี่ยที่ลดลงน้อยจนไม่เหมาะที่จะทำการกำหนดใช้รูปแบบการควบคุม แต่สิ่งที่น่าสนใจอยู่ที่ขั้นตอนย่อย D029 ได้ให้เวลาเฉลี่ยลดลงมากกว่า 2 ชั่วโมง มีค่ามากที่สุดแต่จะให้ดีกว่านี้ถ้าสามารถควบคุมการกระจายตัวของข้อมูลให้มีความความแปรปรวนน้อยๆ จนสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมีค่ามากกว่า 99.00% ได้ ในตารางที่ 5.4 เวลาเฉลี่ยก่อนการควบคุม เวลาเฉลี่ยหลังจากทำการควบคุม และให้เปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ แน่นอนว่าสิ่งที่เราให้ความสนใจเป็นเวลาเฉลี่ยที่ลดลงกับผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ โดยรูปแบบควบคุมที่ใช้จะให้ผลได้ดีเมื่อความแตกต่างของค่าเวลาเฉลี่ยมีค่ามากระหว่างสองกลุ่มตัวอย่าง เช่นเดียวกับหากสามารถควบคุมความแปรปรวนของข้อมูลได้ จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับสูงตาม

ตารางที่ 5.4 สรุปผลที่ได้เป็นเวลาเฉลี่ยและผลิตภัณฑ์ที่ได้รับของแต่ละขั้นตอนย่อย

ขั้นตอนย่อย (Sub-process)	เวลาเฉลี่ยก่อนการควบคุม (วินาที)	เวลาเฉลี่ยหลังการควบคุม (วินาที)	เวลาเฉลี่ยที่ลดลง (วินาที)	เวลาที่ลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์	ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ (Yield)
D011	9,419	9,407	12	0.13%	99.90%
D014	9,262	9,249	13	0.14%	99.85%
V018	700	197	503	71.86%	99.40%
D029	23,777	16,081	7,696	32.37%	87.85%
S041	8,284	8,158	126	1.52%	99.75%
S046	8,771	8,230	541	6.17%	98.65%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 สรุปผลการทดลองการเพิ่มจำนวนตัวอย่าง

เนื่องจากมีข้อสมมติฐานว่าจากรูปแบบการทดลองที่กำหนดขึ้นด้วยกลุ่มข้อมูล 2,000 ตัวอย่าง นี้จะสามารถแทนค่าทางสถิติของกลุ่มประชากร หรือจำนวนที่พิจารณาได้หรือไม่ จึงได้ทำการทดลองเพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่นำมาทดลองกับรูปการควบคุมที่ได้กำหนดขึ้นในครั้งแรก โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างที่นำมาทดลองออกเป็นดังนี้ 2,000 4,000 และ 8,000 ตัวอย่าง ในแต่ละขั้นตอนย่อยที่ถูกเลือกมา ผลการทดลองที่ได้รับดังที่ได้แสดงไปแล้วในหัวข้อที่ 4.5 โดยหลักๆ เราทำการพิจารณาผลที่ได้ดังนี้คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับซึ่งจะพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับในแต่ละขั้นตอนย่อยภายหลังจากที่เพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่างในการทดลอง จะมีค่าที่ใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่างเดิมที่ได้ทดลองไปแล้ว อาทิเช่น ในขั้นตอนย่อย D036, S055 และ V071 ที่แสดงผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมีค่าใกล้กันมากที่สุด ส่วนในขั้นตอนย่อยอื่นๆ ก็มีผลที่คลายๆ กัน และจะสังเกตเห็นว่าค่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมีค่าสูงเมื่อจำนวนตัวอย่างมากขึ้น โดยที่จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ 8,000 ตัวอย่าง จะให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับสูงกว่าจำนวนกลุ่มตัวอย่างอื่นดังในรูปที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของข้อมูลมีค่าเหมือนกับรูปแบบที่ได้กำหนดจากกลุ่มข้อมูลจำนวน 2,000 ตัวอย่าง แต่ก็ไม่แน่เสมอไปที่จะมีการกระจายตัวเป็นแบบนี้ ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับจะสามารถควบคุมกระบวนการได้อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้มีการกระจายตัวของข้อมูลที่อยู่ภายใต้การควบคุม หรือสามารถควบคุมได้ และผลลัพธ์ที่จะแสดงอีกอย่างก็คือ ค่าเวลาเฉลี่ยที่ลดลงในการเพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่าง โดยในแต่ละขั้นตอนย่อยจะให้ค่าเวลาเฉลี่ยที่ลดลงที่ใกล้เคียงกันมาก ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่การทดลองกับกลุ่มตัวอย่างในตอนแรก แสดงในรูปที่ 4.18 ได้เปรียบเทียบให้เห็นค่าเวลาเฉลี่ยที่ลดลงของแต่ละขั้นตอนย่อย ในแต่ละกลุ่มตัวอย่างที่ได้นำมาทดลอง เพราะข้อมูลในแต่ละขั้นตอนย่อยได้มีค่าเฉลี่ยที่เหมือนกับกลุ่มข้อมูลที่เป็น 2,000 ตัวอย่าง ซึ่งใช้แทนจำนวนประชากรที่กำลังพิจารณา

การเพิ่มจำนวนตัวอย่างเพื่อใช้ทดลองกับรูปแบบการควบคุมกระบวนการด้วยพิกัดควบคุมด้านบนแบบเดิม จะพบว่าจำนวนตัวอย่างที่เพิ่มทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมีแนวโน้วที่ดี เนื่องด้วยกลุ่มข้อมูลที่ได้รับมีการกระจายตัวอยู่ภายในช่วงที่กำหนดการควบคุมไว้ ซึ่งจะพบว่าเมื่อจำนวนตัวอย่างมากขึ้นค่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจะมีค่าเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นด้วย ในทุกๆ ขั้นตอนย่อย ส่วนเวลาเฉลี่ยที่ลดลงก็เช่นเดียวกันจะพบว่ามีเวลาเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกับตอนแรกที่ทดการทดลองด้วยจำนวนกลุ่มตัวอย่าง 4,000 ตัวอย่าง บอกได้ว่าข้อมูลที่จำนวนตัวอย่างที่มากขึ้นนั้น จะยังคงทำให้ค่ากลางระหว่างกลุ่มงานดี และกลุ่มงานเสียยังคงมีค่าความแตกต่างที่เท่าเดิมไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งทำให้เวลาเฉลี่ยที่ลดลงในแต่ละขั้นตอนย่อยมีค่าใกล้เคียงกับจำนวนตัวอย่างเดิมอยู่ แน่นอนถ้ามีการเปลี่ยนแปลงค่าไปมากแล้วจะทำให้ทราบได้ว่าข้อมูลที่ได้รับเมื่อจำนวนตัวอย่างที่แตกต่างกัน จะเกิดความผิดพลาดขึ้นและจะต้องได้รับการปรับปรุงพิกัดการควบคุมใหม่ หรือปรับปรุงแก้ไขกระบวนการให้อยู่ในช่วงพิกัดควบคุมที่ได้กำหนดไว้ตามสภาพปกติของกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 วิจารณ์และข้อเสนอแนะ

จากการทดลองทั้งสามแบบคือ 1. การทดลองปรับปรุงเวลาในการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์กับรุ่นความจุ 320 กิกะไบต์ 2. การทดลองปรับปรุงเวลาในการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์กับรุ่นความจุ 320 กิกะไบต์เมื่อเปลี่ยนโปรแกรมโค้ดทดสอบใหม่ 3.การทดลองปรับปรุงเวลาในการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์กับรุ่นความจุ 500 กิกะไบต์ ในตารางที่ 5.4 เป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งสามแบบเลือกเฉพาะขั้นตอนย่อยที่มีความน่าสนใจคือ ขั้นตอนย่อย D036, D038 และ D029 ซึ่งทั้งสามขั้นตอนย่อยจะสังเกตุพบว่าใช้เวลาเฉลี่ยในการทดสอบมากที่สุด เป็น 8.25, 4.54 และ 6.60 ชั่วโมง ตามลำดับ และความแตกต่างของค่าเวลาเฉลี่ยที่ใช้ระหว่างกลุ่มงานดีกับกลุ่มงานเสียมีค่ามาก ดังที่แสดงการเปรียบเทียบในรูปที่ 3.9, 4.5 และ 4.9 สำหรับขั้นตอนย่อย D036, D038 และ D029 ตามลำดับ เป็นผลให้การกำหนดรูปแบบการควบคุมสามารถลดเวลาการทดสอบได้มากสุดเป็น 60, 48 และ 128 นาที ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละแบบของการทดลองภายหลังที่ได้กำหนดพิกัดควบคุมกระบวนการกับขั้นตอนย่อย ผลการทดลองจะให้ดัชนีที่บอกความสามรถของกระบวนการ ดัชนีที่ได้ในแต่ละขั้นตอนย่อยมีค่าน้อย โดยมาตรฐานกับกระบวนการที่อยู่ภายใต้สภาวะควบคุมแล้วจะต้องมีค่า C_{pk} มากกว่า 1.33 แต่ในที่นี้กระบวนการถูกจำลองว่าให้อยู่ภายใต้สภาวะควบคุม เพราะฉะนั้นถ้าหากสามารถทำการควบคุมกระบวนการได้จริงแล้วเราก็สามารถปรับปรุงกระบวนการให้มีค่าดัชนีวัดความสามารถเพิ่มขึ้นได้

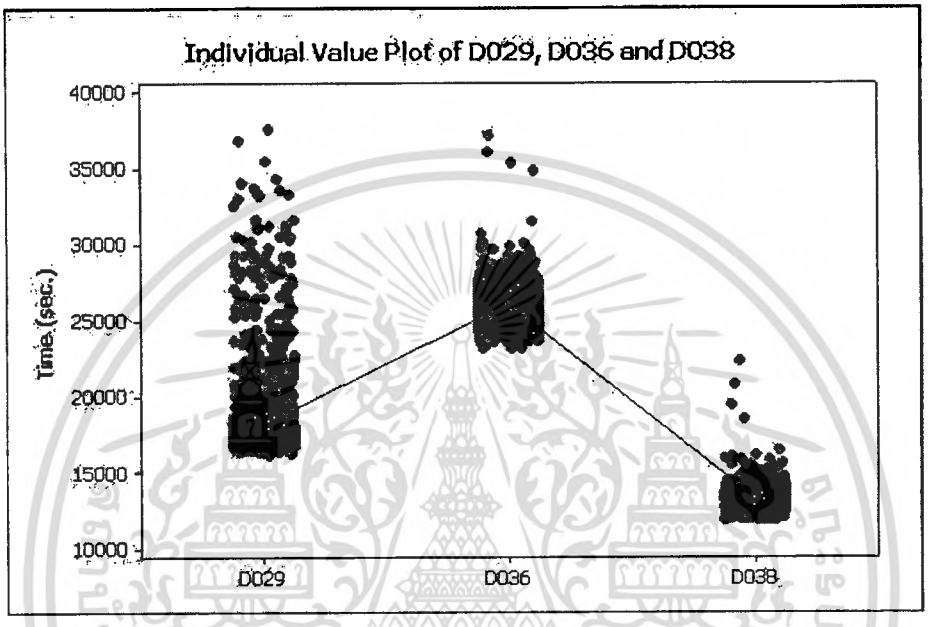
ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบผลการทดลองของขั้นตอนย่อยที่สำคัญ

การทดลอง	ขั้นตอนย่อย Sub-process	เวลาก่อนการควบคุม (นาที)	เวลาหลังการควบคุม (นาที)	Time saving (นาที)	Time saving (%)	Yield	C_{pk}
แบบที่ 1	D036	495	435	60.00	12.11%	99.35%	1.01
แบบที่ 2	D038	273	225	48	17.47%	99.45%	0.94
แบบที่ 3	D029	396	268	128	32.37%	87.85%	1.13

แต่จะเห็นว่าขั้นตอนย่อย D029 ให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับค่อนข้างต่ำ (87.85%) ไม่เหมาะที่จะกำหนดรูปแบบการควบคุม แม้ว่าจะให้ค่าเปอร์เซ็นต์เวลาที่ลดลงสูงถึง 32.37% ก็ตาม เพราะข้อมูลในขั้นตอนนี้มีการกระจายตัวมาก และในขั้นตอนย่อย D036 และ D038 ให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับเป็น 99.35% และ 99.45% ตามลำดับ โดยถ้าเป็นไปตามสมมติฐานว่าทั้งสองขั้นตอนย่อยคือ D036 และ D038 เป็นขั้นตอนเดียวกัน ที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนโค้ดทดสอบใหม่ทำให้ชื่อขั้นตอนย่อย D036 เปลี่ยนเป็น D038 แทน จากรูปที่ 5.1 ข้อมูลของสองขั้นตอนย่อยนี้มีการกระจายตัว (Spread) ที่ใกล้เคียงกัน แต่ค่ากลางของข้อมูลจะลดลงจากเดิม ทำให้เวลาของการทดสอบในขั้นตอนนี้ลดลงตาม ซึ่งแสดงว่าวัตถุประสงค์ของการเปลี่ยนโค้ดทดสอบแบบใหม่ เพื่อช่วยลดระยะเวลาของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบ SRST ด้วยเช่นเดียวกัน และ D029 นี้เป็นขั้นตอนย่อยในการทดสอบฮาร์ดดิสก์รุ่นความจุ 500 กิกะไบต์ พบว่าการกระจายตัวของข้อมูลมีค่าสูง ซึ่งจะมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจะมีค่าน้อย แสดงการเปรียบเทียบการกระจายตัวของข้อมูลทั้งสามขั้นตอนย่อยในรูปที่ 5.1 ด้านล่างนี้ จะพิจารณาจากกลุ่มงานดีเป็นหลักคือ กลุ่มข้อมูลที่เราต้องการ ถ้ากลุ่มข้อมูลเหล่านี้มีการกระจายตัวมีค่าน้อยๆ จะส่งผลให้การทดลองมีค่าของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับที่สูงตามไปด้วย



รูปที่ 5.1 พล็อตเปรียบเทียบการกระจายตัวของข้อมูล

ทั้งสามขั้นตอนย่อยคือ D036, D038 และ D029 เป็นขั้นตอนที่เดียวกันหมายถึง วิธีการดำเนินการทดสอบที่เหมือนกัน จากรหัสตัวอักษร "D" หมายถึง PDM (Primary defect map) คือการตรวจหาจุดเสียบนแผ่นบันทึกข้อมูล แล้วก็ทำการกำหนดไม่ให้ใช้งานในตำแหน่งที่เป็นจุดเสีย (Defect) โดยทำการตรวจหาทุกๆ บิตที่ใช้บันทึกข้อมูล และทำหลายๆ รอบเพื่อให้เกิดความแน่ใจว่าบิตที่ใช้บันทึกข้อมูลใช้งานได้จริง ด้วยเงื่อนไขอีกอย่างคือทำการทดสอบภายใต้อุณหภูมิสูง (Squeeze test) ในส่วนนี้จะเป็นหัวใจสำคัญในการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์ก็ว่าได้ แนวทางการวิจัยต่อไปก็ดีถ้าหากจะมุ่งประเด็นศึกษาในส่วนของวิธีการทำงาน (Algorithm) ของ PDM โดยตรง เพราะพิจารณาเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการทำ PDM แล้วจะใช้เวลาเกินครึ่งหนึ่งของเวลาที่ใช้ในการทดสอบ SRST ก็เป็นแนวทางการวิจัยปรับปรุงเวลาในการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์ในอนาคตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 ข้อเสนอแนะแนวทางวิจัยในอนาคต

ในอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์มีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องทำการปรับปรุงเวลาในการทดสอบฮาร์ดดิสก์ นั่นหมายถึงการลดต้นทุนของกระบวนการผลิตลงอย่างมาก เพราะฉะนั้นจากการศึกษาที่ได้ก็เป็นแนวทางหนึ่งที่จะสามารถพิสูจน์หาสาเหตุของขั้นตอนย่อยที่ใช้เวลาในการทดสอบนาน และสามารถกำหนดพิกัดควบคุมในแต่ละขั้นตอนย่อย ทำให้เวลาเฉลี่ยของกระบวนการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์ลดลงจากเดิมที่กระบวนทำได้ แต่ก็ยังมีข้อด้อยในการกำหนดพิกัดควบคุมขั้นตอนย่อยคือ จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ (Yield) โดยรวมในสายการผลิตลดลง (Production line) และมีความยากต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานกับกระบวนการ เพราะเมื่อโค้ดโปรแกรมที่ใช้ทดสอบ (Test code version) ของเครื่องทดสอบ (Tester machine) เปลี่ยนไปจะทำให้ขั้นตอนย่อยที่ได้มาก่อนหน้าเปลี่ยนตามไปด้วย แต่ก็ยังสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานได้อยู่เพียงแต่จะต้องปรับเปลี่ยนขั้นตอนย่อยให้เป็นไปตามโค้ดทดสอบที่เปลี่ยนไป

5.6.1 กำหนดระยะเวลาของเครื่องทดสอบ (Time cut off)

ในปัจจุบันเครื่องทดสอบ SRST ได้กำหนดระยะเวลาให้เครื่องทดสอบ (Tester machine) ทำงานคือ เมื่อเวลาเกินที่กำหนดเครื่องทดสอบก็จะหยุดทำงาน ซึ่งเราสามารถนำวิธีการนี้ไปกำหนดเวลาให้กับเครื่องทดสอบใหม่ เพื่อให้เครื่องทดสอบมีระยะเวลาการทดสอบที่กระชับเต็มประสิทธิภาพ โดยการนำค่าพิกัดควบคุมด้านบนของแต่ละขั้นตอนย่อยมาทำการคำนวณหาค่าระยะเวลาที่จะกำหนดให้เครื่องทดสอบทำงาน ก็จะทำให้ระยะเวลาที่ใช้ของเครื่องลดลงได้ (ตอนที่ทำวิจัยฮาร์ดดิสก์รุ่นความจุ 320 กิกะไบต์ ได้กำหนดให้เครื่องทดสอบ SRST ใช้เวลาไม่เกิน 35.8 ชั่วโมง) แสดงวิธีการคำนวณระยะเวลาที่จะกำหนดให้กับเครื่องทดสอบ พิจารณาจะพิกัดควบคุมด้านบนของแต่ละขั้นตอนย่อยที่สำคัญ แสดงในสมการที่ 5.1

$$Time\ cut\ off = USL_1 + USL_2 + USL_3 + \ldots + USL_n \qquad (5.1)$$

เมื่อกำหนดให้ n เท่ากับลำดับขั้นตอนย่อยที่สำคัญที่ได้ทำการคัดเลือกมาพิจารณา

เนื่องจากว่าขั้นตอนย่อยจะมีจำนวนมาก จึงควรพิจารณาหรือคัดเลือกขั้นตอนย่อยอย่างเหมาะสม โดยตรวจสอบระยะเวลาที่ใช้ของแต่ละขั้นตอนย่อย ควรจะมีใช้เวลาที่มากพอ อาจจะใช้กราฟพาเรโต วิธีการทางสถิติ เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.2 เกณฑ์จำนวนจุดเสีย (Defect count criteria)

นอกจากนี้ก็ยังได้มีการศึกษาวิธีการแบบใหม่เพื่อให้เกิดแนวทางที่จะนำไปประยุกต์ใช้งาน อาทิเช่น การศึกษาจำนวนจุดเสีย (Defect) ที่เกิดบนแผ่นบันทึก (Media) เพราะในกระบวนการทดสอบ SRST ของฮาร์ดดิสก์ก็คือการตรวจหาจุดเสียบนแผ่นบันทึก นั่นก็คือสมมติฐานที่ได้ว่าถ้าฮาร์ดดิสก์ที่มีจำนวนจุดเสียบนแผ่นบันทึกเกินจากค่าที่กำหนดจะมีแนวโน้มว่าจะไม่ผ่านกระบวนการทดสอบ ดังนั้นสามารถใช้จำนวนจุดเสียนี้เป็นข้อกำหนดของการทดสอบ SRST ได้ เช่น ฮาร์ดดิสก์ที่ผ่านกระบวนการทดสอบ SRST มีจำนวนจุดเสีย (Defect count) โดยเฉลี่ยเท่ากับ 5,839,524 บิต และฮาร์ดดิสก์ที่ไม่ผ่านกระบวนการทดสอบ SRST มีจำนวนจุเสีย (Defect count) โดยเฉลี่ยเท่ากับ 15,348,177 บิต นำข้อมูลทางสถิติที่เป็นจำนวนจุดเสียมาวิเคราะห์หาเกณฑ์ (Criteria) เพื่อที่จะใช้ตัดสินการทดสอบของฮาร์ดดิสก์ต่อไป

อย่างไรก็ดีดังที่ได้นำเสนอไปในตอนต้นของการศึกษาข้อมูลในทางสถิติของกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ เพราะฉะนั้นรูปแบบก็คือว่าเราได้อะไรจากสารสนเทศนั้นๆ ในที่นี้ก็คือไฟล์ที่เป็นผลการทดสอบ (Log file) ของฮาร์ดดิสก์แต่ละตัว นำเสนอข้อมูลในส่วนที่มีความสำคัญ หรือที่เราสนใจ ใช้เครื่องมือทางสถิติมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่มี เพื่อให้ได้สารสนเทศของข้อมูลนั้นๆ และสิ่งสุดท้ายที่สำคัญคือการตัดสินใจที่จะทำการปรับปรุง กำหนดโครงการต่างๆ เพื่อให้เกิดการพัฒนา การแก้ไข และการปรับปรุงกระบวนการหรือองกรค์อย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] บริษัท ฮิตาชิโกลบอลสตอเรส ประเทศไทยจำกัด (HGST: Hitachi Global Storage Technology Limited., Prachinburi, Thailand.) ได้ให้ข้อมูล และสถานที่ในการทำงานวิจัย. 2551-2552

[2] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, "การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ ประมวลผลด้วย Minitab (Process capability analysis: PCA)", กรุงเทพฯ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2551

[3] Montgomery D.C. "Introduction to Statistical Quality Control", Fourth Edition, John Wiley& Sons, New York, 2001

[4] K. Rezaie, B. Ostadi and M.R. Taghizadeh. "Application of Process Capability and Process Performance Indices" Journal of Applied Sciences 6(5): 1186-1191, 2006

[5] Paul E. Fieler and Nick Loverro, Jr. "Defects Tail Off with Six-Sigma Manufacturing", Circuits & Devices IEEE, 1991

[6] ฉลอง สีแก้วสิ่ว, "เว็บไซต์แห่งการเรียนรู้เกี่ยวกับสถิติเชิงประยุกต์" www.Statistics.ob.tc.

[7] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, "สถิติสำหรับงานวิศวกรรม", กรุงเทพฯ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2540

[8] ธานินทร์ ศิลป์จารุ, "การวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย SPSS", พิมพ์ครั้งที่ 9 กรุงเทพฯ, บิสซิเนสอาร์แอนดี, 2551

[9] G. Barrie Wetherill and Don W. Brown, "Statistical Process Control Theory and Practice", Chapman and Hall, New York, 1991

[10] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, "การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis: PCA)", กรุงเทพฯ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2544

[11] S. Ahmad, M. Abdollahian, P. Zeephongsekul, "Process Capability Estimation for Non-normal Quality Characteristics: A Comparison of Clements, Burr and Box-Cox Methods", ANZIAM J. 49 (EMAC2007) pp. C642-665, 2008

[12] Keith M. Bower, "Confidence Intervals for Capability Indices Using MINITAB", http://www.minitab.com/company/virtualpressroom/Articles/CapabilityPart1.pdf and http://www.minitab.com/company/virtualpressroom/Articles/CapabilityPart2.pdf

[13] Somerville, S.E., Montgomery, D.C., "Process Capability Indices and Non-normal Distributions", Quality Engineering, Vol. 9, No. 2, 1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[14] Bower, K.M., "Capability Analysis Using MINITAB (I & II)", Extra Ordinary Sense; http://www.isssp.org/., 2001

[15] Montgomery, D.C., "Introduction to Statistical Quality Control", 4th Edition; John Wiley & Sons, Inc., 2000

[16] M. Suozzi, "Process Capability Studies", Hughes Aircraft Company, Tucson, Arizona, 27 Nov, 1990

[17] S. Ahmad, M. Abdollahian, P. Zeephongsekul, "Process Capability Analysis for Non-Normal Quality Characteristics Using Gamma Distribution", International Conference on Information Technology (ITNG), 2007

[18] Keith M. Bower, "Capability Analysis with Non-normal Data", www.asq.org/sixsigma, March, 2005

[19] S. Ahmad, M. Abdollahian, P. Zeephongsekul, "Process Capability for a Non-Normal Quality Characteristics Data" International Conference on Information Technology (ITNG'07), 2007

[20] K. Medles, A. Tilmatine, A. Bendaoud, K. Senouci, S. Das, A. Mihalcioiu, L. Dascalescu, "Capability Evaluation and Statistic Control of Electrostatic Separation Processes" IAS, 2005

[21] Akram Hossain, Zafar Ahmed, Choudhury, and Suzali Suyut, "Satistical Process Control of an Industrial Process in Real Time" IEEE Transactions on industry applications, Vol. 32, No. 2, March/April 1996

[22] A.B. Johnson, L.P. Maguire, T.M. McGinnity, "Downstream Performance Prediction for a Manufacturing System Using Neural Networks and Six-Sigma Improvement techniques" Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2009

[23] B.G. Dale, P. Shaw, "Statistical Process Control in PCB Manufacturing: What are the lesson?" IEE Proceeding-A, Vol. 139, No. 4, July 1992

[24] Akram Hossain, "Statistical Analyis and Process Capability Determination of an Industrial Process" IEEE, 2000

[25] Keith M. Bower, "Confidence Intervals for Capability Indices Using Minitab", University of Iowa

[26] Taro Yammane., "Elementary Sampling Theory", 1967

[27] Rado, L.G., "Enhance Product Development by Using Capability Indices.", Quality Progress, April, pp. 38-41, 1989

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[28] Kane, V.E., "Process Capability Indices.", J. Quality Technol., 18: 41-52., 1986a

[29] Kotz, S. and N.L. Johnson, "Process Capability Indices.", Chapman and Hall, London., 1993

[30] Kotz, S., W.L. Pearn and N.L. Johnson, "Some Process Capability Indices are More Reliable than One Night Thik." J. Roy. Statist. Soc., 42: 55-62., 1993

[31] E.L. Lehmann, "Testing Statistical Hypothesis". John Wiley and Sons, New York, second edition, 1986.

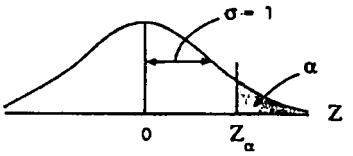
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 พื้นที่ใต้เส้นโค้งแบบปกติมาตรฐาน

$$\int_{Z_\alpha}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}z^2} dz = \alpha$$



Z_α	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641
0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2297	0.2266	0.2236	0.2207	0.2177	0.2148
0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0917	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0837	0.0822
1.4	0.0807	0.0792	0.0778	0.0763	0.0749	0.0735	0.0721	0.0707	0.0694	0.0681
1.5	0.06681	0.06552	0.06426	0.06301	0.06178	0.06057	0.05938	0.05821	0.05705	0.05592
1.6	0.05480	0.05370	0.05262	0.05155	0.05050	0.04947	0.04846	0.04746	0.04648	0.04551
1.7	0.04457	0.04363	0.04272	0.04182	0.04093	0.04006	0.03920	0.03836	0.03754	0.03673
1.8	0.03593	0.03515	0.03438	0.03363	0.03288	0.03216	0.03144	0.03074	0.03005	0.02938
1.9	0.02872	0.02807	0.02743	0.02680	0.02619	0.02559	0.02500	0.02442	0.02385	0.02330
2.0	0.02275	0.02222	0.02169	0.02118	0.02068	0.02018	0.01970	0.01923	0.01876	0.01831
2.1	0.01786	0.01743	0.01700	0.01659	0.01618	0.01578	0.01539	0.01500	0.01463	0.01426
2.2	0.01390	0.01355	0.01321	0.01287	0.01255	0.01222	0.01191	0.01160	0.01130	0.01101
2.3	0.01072	0.01044	0.01017	0.00990	0.00964	0.00938	0.00913	0.00889	0.00865	0.00842
2.4	0.00819	0.00797	0.00776	0.00754	0.00734	0.00714	0.00694	0.00675	0.00656	0.00638
2.5	0.0^26210	0.0^26036	0.0^25868	0.0^25703	0.0^25543	0.0^25386	0.0^25234	0.0^25085	0.0^24940	0.0^24799
2.6	0.0^24661	0.0^24527	0.0^24396	0.0^24269	0.0^24145	0.0^24024	0.0^23907	0.0^23792	0.0^23681	0.0^23572
2.7	0.0^23467	0.0^23364	0.0^23264	0.0^23167	0.0^23072	0.0^22980	0.0^22890	0.0^22803	0.0^22718	0.0^22635
2.8	0.0^22555	0.0^22477	0.0^22401	0.0^22327	0.0^22256	0.0^22186	0.0^22118	0.0^22052	0.0^21988	0.0^21926
2.9	0.0^21866	0.0^21807	0.0^21750	0.0^21695	0.0^21641	0.0^21589	0.0^21538	0.0^21489	0.0^21441	0.0^21395
3.0	0.0^21350	0.0^21306	0.0^21264	0.0^21223	0.0^21183	0.0^21144	0.0^21107	0.0^21070	0.0^21035	0.0^21001
3.1	0.0^39676	0.0^39354	0.0^39042	0.0^38740	0.0^38447	0.0^38163	0.0^37888	0.0^37622	0.0^37364	0.0^37114
3.2	0.0^36871	0.0^36637	0.0^36410	0.0^36190	0.0^35977	0.0^35770	0.0^35571	0.0^35378	0.0^35191	0.0^35010
3.3	0.0^34835	0.0^34665	0.0^34501	0.0^34343	0.0^34189	0.0^34041	0.0^33898	0.0^33759	0.0^33625	0.0^33495
3.4	0.0^33370	0.0^33249	0.0^33132	0.0^33019	0.0^32909	0.0^32804	0.0^32702	0.0^32603	0.0^32508	0.0^32416

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 พื้นที่ใต้เส้นโค้งแบบปกติมาตรฐาน (ต่อ)

Z_α	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
3.5	$0.0^{3}2327$	$0.0^{3}2242$	$0.0^{3}2159$	$0.0^{3}2079$	$0.0^{3}2002$	$0.0^{3}1927$	$0.0^{3}1855$	$0.0^{3}1786$	$0.0^{3}1719$	$0.0^{3}1655$
3.6	$0.0^{3}1592$	$0.0^{3}1532$	$0.0^{3}1474$	$0.0^{3}1418$	$0.0^{3}1364$	$0.0^{3}1312$	$0.0^{3}1262$	$0.0^{3}1214$	$0.0^{3}1167$	$0.0^{3}1123$
3.7	$0.0^{3}1079$	$0.0^{3}1038$	$0.0^{4}9974$	$0.0^{4}9587$	$0.0^{4}9214$	$0.0^{4}8855$	$0.0^{4}8509$	$0.0^{4}8175$	$0.0^{4}7854$	$0.0^{4}7545$
3.8	$0.0^{4}7248$	$0.0^{4}6961$	$0.0^{4}6685$	$0.0^{4}6420$	$0.0^{4}6165$	$0.0^{4}5919$	$0.0^{4}5682$	$0.0^{4}5455$	$0.0^{4}5236$	$0.0^{4}5025$
3.9	$0.0^{4}4822$	$0.0^{4}4627$	$0.0^{4}4440$	$0.0^{4}4260$	$0.0^{4}4086$	$0.0^{4}3920$	$0.0^{4}3760$	$0.0^{4}3606$	$0.0^{4}3458$	$0.0^{4}3316$
4.0	$0.0^{4}3179$	$0.0^{4}3048$	$0.0^{4}2921$	$0.0^{4}2800$	$0.0^{4}2684$	$0.0^{4}2572$	$0.0^{4}2465$	$0.0^{4}2362$	$0.0^{4}2263$	$0.0^{4}2168$
4.1	$0.0^{4}2076$	$0.0^{4}1989$	$0.0^{4}1905$	$0.0^{4}1824$	$0.0^{4}1747$	$0.0^{4}1672$	$0.0^{4}1601$	$0.0^{4}1533$	$0.0^{4}1467$	$0.0^{4}1404$
4.2	$0.0^{4}1344$	$0.0^{4}1286$	$0.0^{4}1231$	$0.0^{4}1177$	$0.0^{4}1126$	$0.0^{4}1077$	$0.0^{4}1031$	$0.0^{5}9857$	$0.0^{5}9426$	$0.0^{5}9014$
4.3	$0.0^{5}8619$	$0.0^{5}8240$	$0.0^{5}7878$	$0.0^{5}7530$	$0.0^{5}7198$	$0.0^{5}6879$	$0.0^{5}6574$	$0.0^{5}6282$	$0.0^{5}6002$	$0.0^{5}5734$
4.4	$0.0^{5}5478$	$0.0^{5}5233$	$0.0^{5}4998$	$0.0^{5}4773$	$0.0^{5}4558$	$0.0^{5}4353$	$0.0^{5}4156$	$0.0^{5}3968$	$0.0^{5}3787$	$0.0^{5}3615$
4.5	$0.0^{5}3451$	$0.0^{5}3293$	$0.0^{5}3143$	$0.0^{5}2999$	$0.0^{5}2861$	$0.0^{5}2730$	$0.0^{5}2604$	$0.0^{5}2484$	$0.0^{5}2369$	$0.0^{5}2259$
4.6	$0.0^{5}2154$	$0.0^{5}2054$	$0.0^{5}1959$	$0.0^{5}1867$	$0.0^{5}1780$	$0.0^{5}1697$	$0.0^{5}1617$	$0.0^{5}1541$	$0.0^{5}1469$	$0.0^{5}1399$
4.7	$0.0^{5}1333$	$0.0^{5}1270$	$0.0^{5}1210$	$0.0^{5}1153$	$0.0^{5}1098$	$0.0^{5}1046$	$0.0^{6}9956$	$0.0^{6}9480$	$0.0^{6}9026$	$0.0^{6}8593$
4.8	$0.0^{6}8181$	$0.0^{6}7787$	$0.0^{6}7411$	$0.0^{6}7054$	$0.0^{6}6712$	$0.0^{6}6387$	$0.0^{6}6077$	$0.0^{6}5782$	$0.0^{6}5500$	$0.0^{6}5232$
4.9	$0.0^{6}4976$	$0.0^{6}4733$	$0.0^{6}4501$	$0.0^{6}4280$	$0.0^{6}4070$	$0.0^{6}3869$	$0.0^{6}3678$	$0.0^{6}3496$	$0.0^{6}3323$	$0.0^{6}3159$
5.0	$0.0^{6}3002$	$0.0^{6}2853$	$0.0^{6}2711$	$0.0^{6}2575$	$0.0^{6}2447$	$0.0^{6}2324$	$0.0^{6}2208$	$0.0^{6}2097$	$0.0^{6}1991$	$0.0^{6}1891$
5.1	$0.0^{6}1796$	$0.0^{6}1705$	$0.0^{6}1619$	$0.0^{6}1537$	$0.0^{6}1459$	$0.0^{6}1385$	$0.0^{6}1314$	$0.0^{6}1247$	$0.0^{6}1184$	$0.0^{6}1123$
5.2	$0.0^{6}1066$	$0.0^{6}1011$	$0.0^{7}9591$	$0.0^{7}9098$	$0.0^{7}8629$	$0.0^{7}8184$	$0.0^{7}7762$	$0.0^{7}7360$	$0.0^{7}6979$	$0.0^{7}6617$
5.3	$0.0^{7}6273$	$0.0^{7}5947$	$0.0^{7}5637$	$0.0^{7}5343$	$0.0^{7}5064$	$0.0^{7}4799$	$0.0^{7}4548$	$0.0^{7}4309$	$0.0^{7}4083$	$0.0^{7}3868$
5.4	$0.0^{7}3664$	$0.0^{7}3471$	$0.0^{7}3288$	$0.0^{7}3114$	$0.0^{7}2949$	$0.0^{7}2792$	$0.0^{7}2644$	$0.0^{7}2503$	$0.0^{7}2370$	$0.0^{7}2244$
5.5	$0.0^{7}2124$	$0.0^{7}2010$	$0.0^{7}1903$	$0.0^{7}1801$	$0.0^{7}1704$	$0.0^{7}1613$	$0.0^{7}1526$	$0.0^{7}1444$	$0.0^{7}1366$	$0.0^{7}1292$
5.6	$0.0^{7}1222$	$0.0^{7}1156$	$0.0^{7}1093$	$0.0^{7}1034$	$0.0^{7}9776$	$0.0^{8}9244$	$0.0^{8}8741$	$0.0^{8}8264$	$0.0^{8}7812$	$0.0^{8}7385$
5.7	$0.0^{8}6980$	$0.0^{8}6598$	$0.0^{8}6235$	$0.0^{8}5893$	$0.0^{8}5568$	$0.0^{8}5262$	$0.0^{8}4971$	$0.0^{8}4697$	$0.0^{8}4437$	$0.0^{8}4191$
5.8	$0.0^{8}3959$	$0.0^{8}3739$	$0.0^{8}3532$	$0.0^{8}3335$	$0.0^{8}3150$	$0.0^{8}2974$	$0.0^{8}2808$	$0.0^{8}2651$	$0.0^{8}2503$	$0.0^{8}2363$
5.9	$0.0^{8}2230$	$0.0^{8}2105$	$0.0^{8}1987$	$0.0^{8}1875$	$0.0^{8}1769$	$0.0^{8}1670$	$0.0^{8}1576$	$0.0^{8}1487$	$0.0^{8}1402$	$0.0^{8}1323$
6.0	$0.0^{8}1248$	$0.0^{8}1177$	$0.0^{8}1110$	$0.0^{8}1047$	$0.0^{8}9876$	$0.0^{8}9314$	$0.0^{9}8783$	$0.0^{9}8281$	$0.0^{9}7808$	$0.0^{9}7361$
6.1	$0.0^{9}6940$	$0.0^{9}6542$	$0.0^{9}6166$	$0.0^{9}5812$	$0.0^{9}5478$	$0.0^{9}5163$	$0.0^{9}4865$	$0.0^{9}4585$	$0.0^{9}4320$	$0.0^{9}4070$
6.2	$0.0^{9}3835$	$0.0^{9}3613$	$0.0^{9}3403$	$0.0^{9}3206$	$0.0^{9}3020$	$0.0^{9}2844$	$0.0^{9}2679$	$0.0^{9}2523$	$0.0^{9}2376$	$0.0^{9}2237$
6.3	$0.0^{9}2107$	$0.0^{9}1983$	$0.0^{9}1867$	$0.0^{9}1758$	$0.0^{9}1655$	$0.0^{9}1558$	$0.0^{9}1466$	$0.0^{9}1380$	$0.0^{9}1299$	$0.0^{9}1223$
6.4	$0.0^{9}1151$	$0.0^{9}1083$	$0.0^{9}1019$	$0.0^{10}9586$	$0.0^{10}9020$	$0.0^{10}8486$	$0.0^{10}7983$	$0.0^{10}7510$	$0.0^{10}7064$	$0.0^{10}6645$
6.5	$0.0^{10}6250$	$0.0^{10}5878$	$0.0^{10}5529$	$0.0^{10}5199$	$0.0^{10}4889$	$0.0^{10}4597$	$0.0^{10}4323$	$0.0^{10}4065$	$0.0^{10}3821$	$0.0^{10}3593$
6.6	$0.0^{10}3377$	$0.0^{10}3175$	$0.0^{10}2984$	$0.0^{10}2805$	$0.0^{10}2637$	$0.0^{10}2478$	$0.0^{10}2329$	$0.0^{10}2189$	$0.0^{10}2057$	$0.0^{10}1933$
6.7	$0.0^{10}1816$	$0.0^{10}1706$	$0.0^{10}1603$	$0.0^{10}1506$	$0.0^{10}1415$	$0.0^{10}1329$	$0.0^{10}1249$	$0.0^{10}1173$	$0.0^{10}1102$	$0.0^{10}1035$
6.8	$0.0^{11}9719$	$0.0^{11}9127$	$0.0^{11}8572$	$0.0^{11}8049$	$0.0^{11}7559$	$0.0^{11}7097$	$0.0^{11}6664$	$0.0^{11}6257$	$0.0^{11}5874$	$0.0^{11}5515$
6.9	$0.0^{11}5178$	$0.0^{11}4860$	$0.0^{11}4562$	$0.0^{11}4283$	$0.0^{11}4020$	$0.0^{11}3773$	$0.0^{11}3541$	$0.0^{11}3323$	$0.0^{11}3119$	$0.0^{11}2927$
7.0	$0.0^{11}2747$	$0.0^{11}2577$	$0.0^{11}2418$	$0.0^{11}2269$	$0.0^{11}2129$	$0.0^{11}1997$	$0.0^{11}1874$	$0.0^{11}1758$	$0.0^{11}1649$	$0.0^{11}1547$
7.1	$0.0^{11}1451$	$0.0^{11}1361$	$0.0^{11}1277$	$0.0^{11}1198$	$0.0^{11}1123$	$0.0^{11}1053$	$0.0^{12}9879$	$0.0^{12}9264$	$0.0^{12}8688$	$0.0^{12}8147$
7.2	$0.0^{12}7639$	$0.0^{12}7163$	$0.0^{12}6716$	$0.0^{12}6297$	$0.0^{12}5904$	$0.0^{12}5535$	$0.0^{12}5189$	$0.0^{12}4864$	$0.0^{12}4560$	$0.0^{12}4275$
7.3	$0.0^{12}4007$	$0.0^{12}3756$	$0.0^{12}3520$	$0.0^{12}3300$	$0.0^{12}3092$	$0.0^{12}2898$	$0.0^{12}2716$	$0.0^{12}2546$	$0.0^{12}2386$	$0.0^{12}2235$
7.4	$0.0^{12}2095$	$0.0^{12}1963$	$0.0^{12}1839$	$0.0^{12}1723$	$0.0^{12}1615$	$0.0^{12}1513$	$0.0^{12}1417$	$0.0^{12}1328$	$0.0^{12}1244$	$0.0^{12}1166$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 พื้นที่ใต้เส้นโค้งแบบปกติมาตรฐาน (ต่อ)

Z_α	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
7.5	$0.0^{12}1092$	$0.0^{12}1023$	$0.0^{13}9581$	$0.0^{13}8975$	$0.0^{13}8407$	$0.0^{13}7874$	$0.0^{13}7375$	$0.0^{13}6908$	$0.0^{13}6470$	$0.0^{13}6060$
7.6	$0.0^{13}5675$	$0.0^{13}5315$	$0.0^{13}4977$	$0.0^{13}4661$	$0.0^{13}4365$	$0.0^{13}4087$	$0.0^{13}3827$	$0.0^{13}3584$	$0.0^{13}3356$	$0.0^{13}3142$
7.7	$0.0^{13}2942$	$0.0^{13}2755$	$0.0^{13}2579$	$0.0^{13}2415$	$0.0^{13}2261$	$0.0^{13}2116$	$0.0^{13}1981$	$0.0^{13}1855$	$0.0^{13}1736$	$0.0^{13}1625$
7.8	$0.0^{13}1522$	$0.0^{13}1424$	$0.0^{13}1333$	$0.0^{13}1248$	$0.0^{13}1168$	$0.0^{13}1093$	$0.0^{13}1023$	$0.0^{14}9579$	$0.0^{14}8965$	$0.0^{14}8391$
7.9	$0.0^{14}7853$	$0.0^{14}7349$	$0.0^{14}6878$	$0.0^{14}6437$	$0.0^{14}6024$	$0.0^{14}5637$	$0.0^{14}5275$	$0.0^{14}4937$	$0.0^{14}4620$	$0.0^{14}4323$
8.0	$0.0^{14}4045$	$0.0^{14}3785$	$0.0^{14}3542$	$0.0^{14}3314$	$0.0^{14}3101$	$0.0^{14}2901$	$0.0^{14}2715$	$0.0^{14}2540$	$0.0^{14}2376$	$0.0^{14}2223$
8.1	$0.0^{14}2080$	$0.0^{14}1946$	$0.0^{14}1821$	$0.0^{14}1703$	$0.0^{14}1593$	$0.0^{14}1491$	$0.0^{14}1395$	$0.0^{14}1305$	$0.0^{14}1220$	$0.0^{14}1142$
8.2	$0.0^{14}1068$	$0.0^{15}9991$	$0.0^{15}9346$	$0.0^{15}8742$	$0.0^{15}8177$	$0.0^{15}7649$	$0.0^{15}7155$	$0.0^{15}6692$	$0.0^{15}6260$	$0.0^{15}5855$
8.3	$0.0^{15}5477$	$0.0^{15}5122$	$0.0^{15}4791$	$0.0^{15}4481$	$0.0^{15}4191$	$0.0^{15}3920$	$0.0^{15}3666$	$0.0^{15}3429$	$0.0^{15}3207$	$0.0^{15}2999$
8.4	$0.0^{15}2805$	$0.0^{15}2624$	$0.0^{15}2454$	$0.0^{15}2295$	$0.0^{15}2146$	$0.0^{15}2007$	$0.0^{15}1877$	$0.0^{15}1755$	$0.0^{15}1642$	$0.0^{15}1535$
8.5	$0.0^{15}1436$	$0.0^{15}1342$	$0.0^{15}1255$	$0.0^{15}1174$	$0.0^{15}1098$	$0.0^{15}1027$	$0.0^{16}9601$	$0.0^{16}8978$	$0.0^{16}8395$	$0.0^{16}7851$
8.6	$0.0^{16}7341$	$0.0^{16}6865$	$0.0^{16}6419$	$0.0^{16}6003$	$0.0^{16}5613$	$0.0^{16}5249$	$0.0^{16}4908$	$0.0^{16}4589$	$0.0^{16}4291$	$0.0^{16}4013$
8.7	$0.0^{16}3752$	$0.0^{16}3508$	$0.0^{16}3281$	$0.0^{16}3068$	$0.0^{16}2868$	$0.0^{16}2682$	$0.0^{16}2508$	$0.0^{16}2345$	$0.0^{16}2193$	$0.0^{16}2050$
8.8	$0.0^{16}1917$	$0.0^{16}1792$	$0.0^{16}1676$	$0.0^{16}1567$	$0.0^{16}1465$	$0.0^{16}1370$	$0.0^{16}1281$	$0.0^{16}1198$	$0.0^{16}1120$	$0.0^{16}1047$
8.9	$0.0^{17}9792$	$0.0^{17}9155$	$0.0^{17}8560$	$0.0^{17}8004$	$0.0^{17}7484$	$0.0^{17}6998$	$0.0^{17}6543$	$0.0^{17}6118$	$0.0^{17}5720$	$0.0^{17}5349$
9.0	$0.0^{17}5001$	$0.0^{17}4676$	$0.0^{17}4372$	$0.0^{17}4088$	$0.0^{17}3823$	$0.0^{17}3574$	$0.0^{17}3342$	$0.0^{17}3125$	$0.0^{17}2922$	$0.0^{17}2732$
9.1	$0.0^{17}2555$	$0.0^{17}2389$	$0.0^{17}2234$	$0.0^{17}2089$	$0.0^{17}1953$	$0.0^{17}1826$	$0.0^{17}1707$	$0.0^{17}1597$	$0.0^{17}1493$	$0.0^{17}1396$
9.2	$0.0^{17}1305$	$0.0^{17}1221$	$0.0^{17}1141$	$0.0^{17}1067$	$0.0^{18}9979$	$0.0^{18}9332$	$0.0^{18}8726$	$0.0^{18}8160$	$0.0^{18}7630$	$0.0^{18}7135$
9.3	$0.0^{18}6672$	$0.0^{18}6239$	$0.0^{18}5834$	$0.0^{18}5456$	$0.0^{18}5102$	$0.0^{18}4771$	$0.0^{18}4462$	$0.0^{18}4172$	$0.0^{18}3902$	$0.0^{18}3649$
9.4	$0.0^{18}3412$	$0.0^{18}3191$	$0.0^{18}2984$	$0.0^{18}2791$	$0.0^{18}2610$	$0.0^{18}2441$	$0.0^{18}2283$	$0.0^{18}2135$	$0.0^{18}1996$	$0.0^{18}1867$
9.5	$0.0^{18}1746$	$0.0^{18}1633$	$0.0^{18}1527$	$0.0^{18}1428$	$0.0^{18}1336$	$0.0^{18}1250$	$0.0^{18}1169$	$0.0^{18}1093$	$0.0^{19}1022$	$0.0^{19}9562$
9.6	$0.0^{19}8943$	$0.0^{19}8365$	$0.0^{19}7824$	$0.0^{19}7318$	$0.0^{19}6845$	$0.0^{19}6402$	$0.0^{19}5988$	$0.0^{19}5601$	$0.0^{19}5240$	$0.0^{19}4901$
9.7	$0.0^{19}4584$	$0.0^{19}4288$	$0.0^{19}4011$	$0.0^{19}3752$	$0.0^{19}3510$	$0.0^{19}3284$	$0.0^{19}3072$	$0.0^{19}2873$	$0.0^{19}2688$	$0.0^{19}2515$
9.8	$0.0^{19}2352$	$0.0^{19}2201$	$0.0^{19}2059$	$0.0^{19}1926$	$0.0^{19}1802$	$0.0^{19}1686$	$0.0^{19}1577$	$0.0^{19}1476$	$0.0^{19}1381$	$0.0^{19}1292$
9.9	$0.0^{19}1209$	$0.0^{19}1131$	$0.0^{19}1058$	$0.0^{20}9898$	$0.0^{20}9262$	$0.0^{20}8666$	$0.0^{20}8108$	$0.0^{20}7587$	$0.0^{20}7099$	$0.0^{20}6643$
10.0	$0.0^{20}6216$	$0.0^{20}5817$	$0.0^{20}5443$	$0.0^{20}5093$	$0.0^{20}4766$	$0.0^{20}4460$	$0.0^{20}4174$	$0.0^{20}3906$	$0.0^{20}3655$	$0.0^{20}3421$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 แฟกเตอร์ปรับค่าในการประมาณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ)

ขนาดกลุ่มย่อย	d_2	c_2	c_4	ขนาดกลุ่มย่อย	d_2	c_2	c_4
2	1.128	0.5642	.7979	21	3.778	0.9638	.9876
3	1.693	0.7236	.8862	22	3.819	0.9655	.9882
4	2.059	0.7979	.9213	23	3.858	0.9670	.9887
5	2.326	0.8407	.9400	24	3.895	0.9684	.9892
6	2.534	0.8686	.9515	25	3.931	0.9695	.9896
7	2.704	0.8882	.9594	30	4.086	0.9748	.9915
8	2.847	0.9027	.9650	35	4.213	0.9784	.9927
9	2.970	0.9139	.9693	40	4.322	0.9811	.9936
10	3.078	0.9227	.9727	45	4.415	0.9832	.9943
11	3.173	0.9300	.9754	50	4.498	0.9849	.9949
12	3.258	0.9359	.9776	60	4.639	0.9874	.9957
13	3.336	0.9410	.9794	70	4.755	0.9892	.9963
14	3.407	0.9453	.9810	80	4.854	0.9906	.9968
15	3.472	0.9490	.9823	90	4.939	0.9916	.9972
16	3.532	0.9523	.9835	100	5.015	0.9925	.9975
17	3.588	0.9551	.9845				
18	3.640	0.9576	.9854				
19	3.689	0.9599	.9862				
20	3.735	0.9619	.9869				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายอดิศร แก้วภักดี
วัน เดือน ปีเกิด	5 กุมภาพันธ์ 2523 ที่จังหวัดศรีสะเกษ
ภูมิลำเนา	บ้านเลขที่ 27 หมู่ 8 หมู่บ้านกุดเมืองฮาม ต. กุดเมืองฮาม อ. ยางชุมน้อย จ. ศรีสะเกษ 33190 โทร. 045-914013

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2547	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ความชำนาญเฉพาะด้าน

1) การควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติ
2) การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ
3) เทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

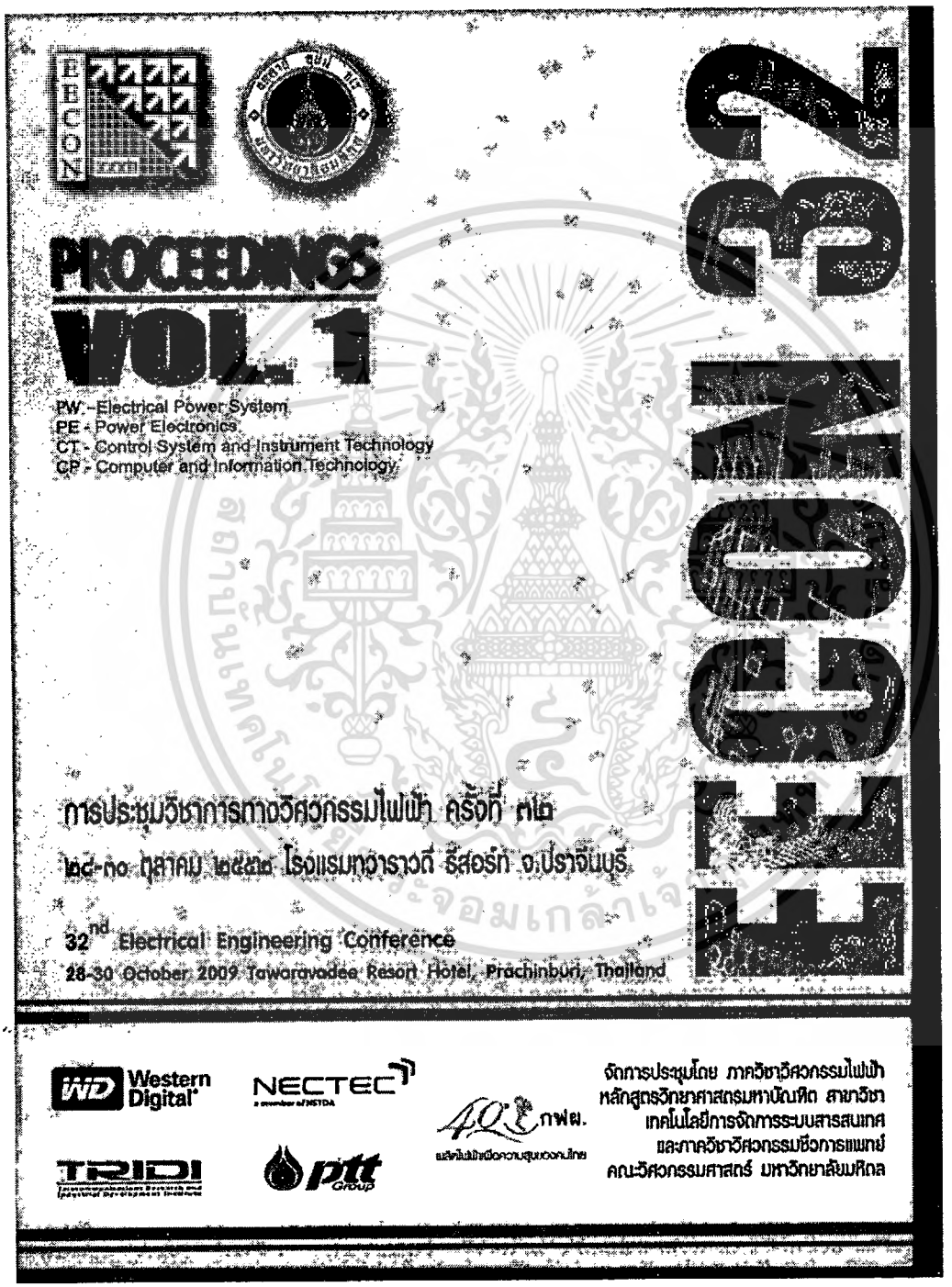
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ.2547-2551	ตำแหน่งวิศวกร บริษัทแมกเนคอมพ์ พรีซิชั่น เทคโนโลยี มหาชนจำกัด รับผิดชอบงานซ่อมบำรุงเครื่องจักรในสายการผลิต
พ.ศ.2552	ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า (EECON-32) "การปรับปรุงเวลาในการทดสอบฮาร์ดดิสก์: การควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติ และการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ"
พ.ศ.2553	ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการ International Conference on Embedded System and Intelligent Technology (ICESIT 2010) "An Application of SPC and PCA in a Product of Manufacturing: Energy and Cost Savings"
พ.ศ.2553	ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการ International Conference of Business and Industrial Research (ICBIR 2010) "Product Test Time Improvement: Statistical Process Control and Process Capability Analysis with Non-normal Data"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานที่ได้รับการเผยแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงเวลาในการทดสอบฮาร์ดดิสก์: การควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติ และการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

Hard Disk Test Time Improvement: Statistical Process Control and Process Capability Analysis

อดิศร แก้วภักดี[1] และ สมศักดิ์ ชุมช่วย[2]

[1]วิทยาลัยร่วมด้านเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลและการประยุกต์ใช้งาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์: 0-2326-4222 ต่อ 114 E-mail: s1068902@kmitl.ac.th

[2]ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์: 0-2326-4222 ต่อ 114 E-mail: kchsomsa@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้จะนำเสนอการปรับปรุงเวลาการทดสอบฮาร์ดดิสก์ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลจากฐานข้อมูล ของเวลาที่ใช้ทดสอบฮาร์ดดิสก์ ซึ่งหากสามารถลดเวลาของการทดสอบฮาร์ดดิสก์ลงได้ก็จะสามารถช่วยลดต้นทุนในกระบวนการผลิตได้ด้วย วิธีการที่จะกล่าวในบทความนี้ได้จำลองแบบการควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติ (Statistical Process Control: SPC) และวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis: PCA) ในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ งานวิจัยนี้ทำการควบคุมกระบวนการภายในของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ในแต่ละลำดับขั้นตอน ซึ่งได้เลือกบางขั้นตอนที่สำคัญ ทำให้เวลาเฉลี่ยโดยรวมลดลง 12% จากปัจจุบันที่กระบวนการทำได้

คำสำคัญ: การทดสอบฮาร์ดดิสก์, การควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติ, วิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

Abstract

This paper proposes HDD test time reduction, by using statistical process control (SPC) and process capability analysis (PCA). Algorithm verification was made upon the collected data of a specific hard disk drive type. By applying the method to a major time-consuming sub-process, the test time could be reduced by 12%.

Keywords: Hard disk testing, SPC, PCA

1. บทนำ

ในการทดสอบตัวฮาร์ดดิสก์เครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์จะใช้เวลานานหลายชั่วโมง ทำให้ต้นทุนการผลิตสูง จึงเป็นแรงผลักดันที่จะต้องทำการปรับปรุงกระบวนการในส่วนนี้ เพื่อที่จะทำให้เครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ใช้เวลาลดลง เช่นเดียวกันก็จะทำให้ต้นทุนในการผลิตลดลงด้วย ความท้าทายอยู่ที่ว่าเป็นการวิเคราะห์ปรับปรุงกระบวนการจากข้อมูลที่อยู่ในระบบฐานข้อมูล (Database system) ซึ่งข้อมูลที่ได้เป็นเวลาของการทดสอบฮาร์ดดิสก์ในแต่ละลำดับขั้นตอนที่ได้ถูกบันทึกไว้ในระบบฐานข้อมูล การทดสอบฮาร์ดดิสก์นั้นโดยทั่วไปในอุตสาหกรรมจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1.) Function test การลงไมโครโค๊ด และปรับแต่งพารามิเตอร์ เพื่อการเขียน-อ่าน และค้นหาที่ดีที่สุด ขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 10% ของเวลาทั้งหมด

2.) SRST เป็นการตรวจพื้นผิวสื่อ และทำการบันทึกตำแหน่งที่บกพร่อง ภายใต้เงื่อนไขที่กดดัน (Squeeze test) ใช้เวลาประมาณ 76% ของเวลาทั้งหมด

3.) Final test เป็นการทดสอบฟังก์ชันการทำงาน และตามเงื่อนไขของลูกค้า ใช้เวลาประมาณ 14% ของเวลาทั้งหมด

ในแต่ละกระบวนการหลักก็จะประกอบด้วยขั้นตอนแยกย่อยออกไปอีกประมาณ 10-15 ขั้นตอน ปัจจุบันกระบวนการทดสอบ SRST ใช้เวลานานที่สุดประมาณ 76% ของกระบวนการทดสอบทั้งหมด คิดเป็นเวลาที่ใช้ประมาณ 30 ชั่วโมง ในงานวิจัยฉบับนี้จะมุ่งประเด็นความสนใจไปที่กระบวนการ SRST ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาจากกระบวนการนี้ เพื่อหาสาเหตุและความเป็นไปได้ที่จะทำการปรับปรุงเวลาของกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์

2. การควบคุมกระบวนการ

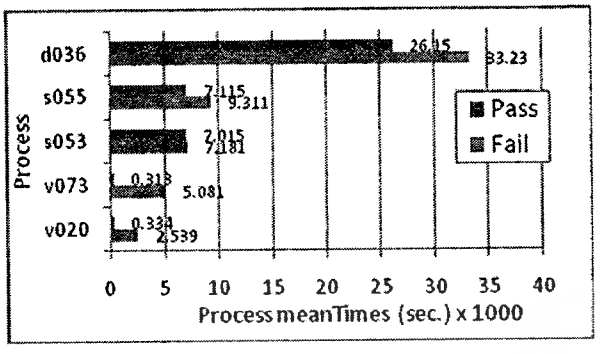
กระบวนการโดยทั่วไปแล้วมีความหมาย คือเป็นการเชื่อมต่อกันอย่างเป็นระบบของกิจกรรมต่างๆ ที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ตรงกับความต้องการ การควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิตินั้นได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ในกลุ่มงานอุตสาหกรรม รวมทั้งกลุ่มงานอื่นๆ ก็เพื่อที่จะให้เกิดการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต และสิ่งสำคัญเพื่อให้ผลิตภัณฑ์เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า การควบคุมกระบวนการผลิตแบบซิก-ซิกม่า สามารถช่วยควบคุมผลิตภัณฑ์ที่บกพร่อง หรือของเสียได้ด้วยเช่นกัน ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการสามารถวัดได้ด้วยดัชนีวัดความสามารถ ทำให้ทราบสมรรถนะที่แท้จริง และคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ ดัชนีความสามารถของกระบวนการจะช่วยในการปรับปรุงพัฒนาและยังสามารถคาดการณ์ถึงสมรรถนะของกระบวนการ สิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาในการควบคุมกระบวนการผลิต กระบวนการที่จะทำการปรับปรุงอาจจะเป็นผลิตภัณฑ์ หรือปัญหาก็ได้ สภาวะของกระบวนการที่อยู่ภายใต้สภาวะควบคุมซึ่งสามารถตรวจสอบโดยใช้แผนภูมิควบคุม หรือชาร์ตพาเรโต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้ง

CT 005

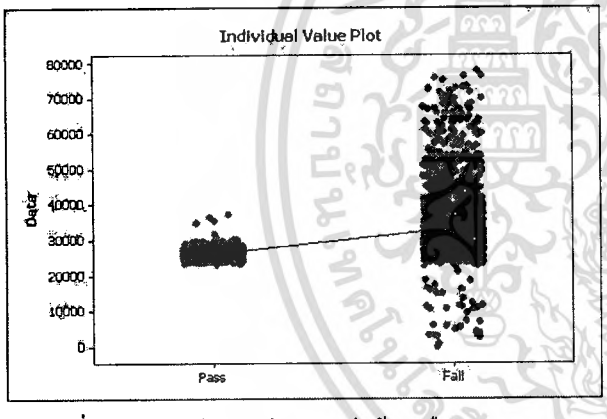
3.1 ข้อมูลและการกรองข้อมูล

ข้อมูลที่ได้มาจากระบบฐานข้อมูล หนึ่งไฟล์ก็คือข้อมูลการทดสอบฮาร์ดดิสก์หนึ่งตัว ซึ่งประกอบด้วยผลการทดสอบในขั้นตอนย่อยๆ อีกมากแต่ข้อมูลที่เราให้ความสนใจคือ ขั้นตอนของการทดสอบและเวลาที่ใช้ของแต่ละขั้นตอนเท่านั้น



รูปที่ 3 กราฟ Pareto ลำดับขั้นตอนที่สำคัญ

จากชาร์ตลำดับเราเลือกขั้นตอน d036 นำมาวิเคราะห์ทดลองการปรับปรุงกระบวนการเพราะเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากสุดคือเวลาที่ใช้ในขั้นตอนนี้นานที่สุด สังเกตุเห็นว่ามีความแตกต่างระหว่างสองกลุ่มงานที่ได้จากการเก็บข้อมูล แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบ (Pass) และกลุ่มของชิ้นงานที่ไม่ผ่านการทดสอบ (Fail)

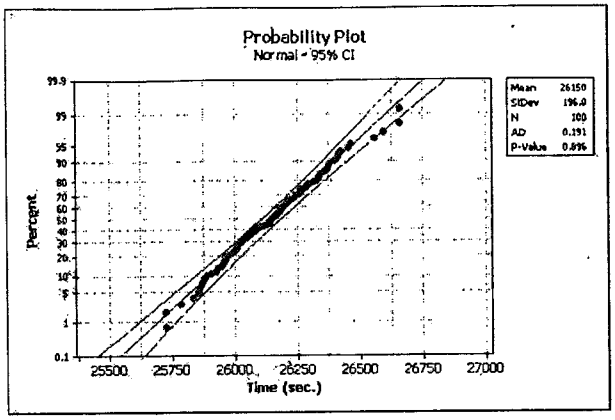


รูปที่ 4 ความแตกต่างระหว่างสองกลุ่มข้อมูลคือ Pass และ Fail

จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นความแตกต่างมากยิ่งขึ้นโดยการแสดงค่าเวลาทดสอบของชิ้นงานแต่ละชิ้น ในกลุ่มที่ผ่านและไม่ผ่าน จะเห็นค่าความแปรปรวนและค่าพิสัย ของกลุ่มข้อมูลทั้งสองกลุ่มได้อย่างชัดเจน ด้วยเหตุนี้กลุ่มงานที่ไม่ผ่านการทดสอบ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เครื่องทดสอบใช้เวลาทดสอบนาน ดังนั้นจึงใช้กลุ่มงานที่ผ่านการทดสอบ จะเป็นตัวกำหนดค่าทางสถิติในการปรับปรุงกระบวนการ เหมือนจำลองให้อยู่ในสภาวะที่กระบวนการมีความเสถียรคืออยู่ภายใต้การควบคุม ถึงแม้ว่ากระบวนการจริงจะไม่ได้ถูกควบคุมก็ตาม

3.2 ตรวจสอบการกระจายของข้อมูล

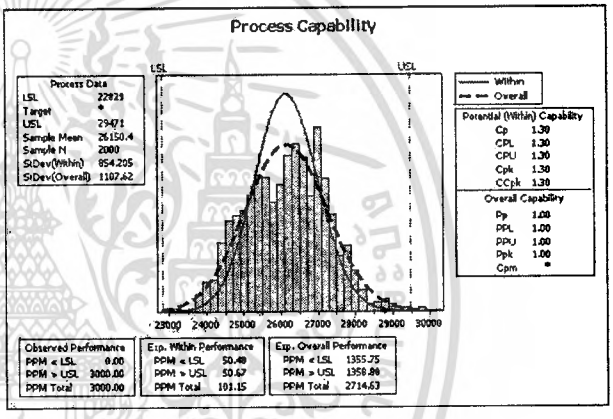
เมื่อทดสอบการกระจายของข้อมูล ด้วยการทดสอบสถิติของกลุ่มย่อยจากตัวอย่างที่ได้ทำการสุ่ม โดยใช้ค่าความน่าจะเป็น หรือ P-value แสดงดังรูปที่ 5 ซึ่งได้ค่า P-value = 0.896 เมื่อค่า P-value > 0.05 แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายเป็นแบบปกติ ถ้า P-value < 0.05 แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายแบบไม่เป็นปกติ



รูปที่ 5 ทดสอบการกระจายของข้อมูลโดยใช้ค่าความน่าจะเป็น

3.3 การทดลองกำหนดพิกัดควบคุม และวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

ในการจำลองคำนวณหาค่าความสามารถของกระบวนการของขั้นตอน d036 จากเส้นพิกัดควบคุมที่คำนวณได้ โดยใช้ระดับคุณภาพมาตรฐานที่ 6σ หรือด้วยช่วงความเชื่อมั่นที่ 99.73%



รูปที่ 6 ความสามารถของขั้นตอน d036 ที่ระดับคุณภาพ 6σ

ค่าความสามารถของกระบวนการ C_{pk} ในขั้นตอน d036 เท่ากับ 1.30 ใช้สมการ (9), (10) และ (11) มีสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องต่อล้านหน่วย หรือ $PPM_{Total} = 3000$ หรือ 0.30% ข้อมูลที่ป้อนเข้าไป (Observation performance) ทั้งนี้สามารถทำการประมาณค่าของสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องแบบระยะสั้น (Within performance) $PPM_{Total} = 0.10\%$ เป็นของเสียที่เกิดขึ้นเมื่อประเมินกระบวนการมีความผันแปร S_{ST} (Short term variability) และสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องแบบระยะยาว (Overall performance) $PPM_{Total} = 0.27\%$ เป็นของเสียที่เกิดขึ้นเมื่อประเมินกระบวนการมีความผันแปร S_{LT} [1]

ในตารางที่ 1 เป็นผลการทดลองการควบคุมขั้นตอน d036 ด้วยพิกัดควบคุมที่ระดับคุณภาพต่างๆ เปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยที่ได้ ค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ และสัดส่วนบกพร่องที่เกิดขึ้น

ก่อนและหลังการกำหนดพิกัดควบคุมขั้นตอน d036 ใช้เวลาทดสอบเฉลี่ย 8.25 ชั่วโมง และ 7.37 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งเวลาที่ลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ประมาณ 12% ค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการจะสูงขึ้นตามพิกัดควบคุมระดับคุณภาพ หรือเพราะว่าเป็นการขยายความเบี่ยงเบนที่ยอมให้เกิด เพื่อรองรับความเบี่ยงเบน

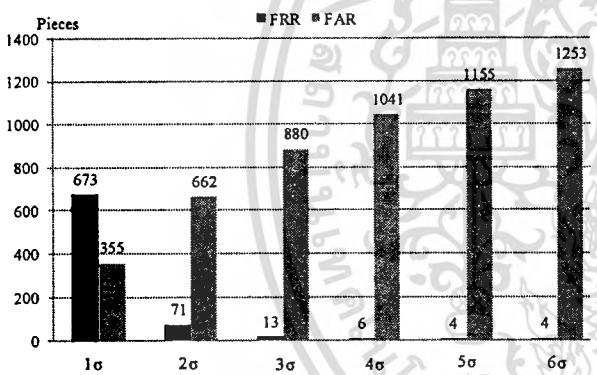
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของกลุ่มตัวอย่าง และพบว่าสัดส่วนบกพร่องจะไม่เกิดขึ้นที่พิกัดควบคุมระดับคุณภาพค่าสูงๆ เพราะเป็นการขยายความเบี่ยงเบนที่ยอมให้เกิด ดังนั้นความน่าจะเป็นที่จะเกิดของเสียก็ไม่มี

ตารางที่ 1 ผลการทดลองควบคุมขั้นตอน d036 ด้วยพิกัดควบคุม

ระดับคุณภาพ	ดัชนี C_{pk}	เวลาเฉลี่ย (d036) (ชั่วโมง)	สัดส่วนบกพร่อง (ppm)		พิกัดควบคุม	
			ด้าน LSL	ด้าน USL	ด้าน LSL	ด้าน USL
6σ	2.59	7.51	0.00	0.00	19505	32794
5σ	2.61	7.46	0.00	0.00	20612	31687
4σ	1.73	7.41	0.00	0.00	21720	30579
3σ	1.30	7.34	0.00	3000	22829	29471
2σ	0.86	7.26	12000	20000	23935	28364
1σ	0.43	7.26	183000	152000	25042	27257

ผลจากการทดลองโดยกำหนดพิกัดควบคุมกระบวนการด้วยระยะเวลาของการทดสอบฮาร์ดดิสก์ สิ่งที่ต้องพิจารณาคือจำนวนงานดีที่ใช้เวลาเกิน (FRR) ถ้ามีค่ามากจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ (Yield) ลดลง และจำนวนงานเสียที่ใช้เวลาอยู่ในช่วงพิกัด (FAR) ต้องการให้มีค่าน้อยๆ คือสามารถควบคุมผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องได้ แสดงให้เห็นดังรูปที่ 7 เปรียบเทียบ FRR และ FAR ที่ได้ในแต่ละระดับการควบคุมคุณภาพ



รูปที่ 7 เปรียบเทียบ FRR และ FAR ของแต่ละระดับคุณภาพ

เพื่อให้ได้ค่า FRR และ FAR ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการปรับปรุง ต้องพิจารณาสองประเด็นคือ เวลาที่สามารถปรับปรุงให้เร็วขึ้นได้ และจำนวนงานดีที่ใช้เวลาเกิน ที่ทำให้อัตราส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้รับลดลงจากเดิม สามารถยอมรับได้หรือไม่เมื่อเทียบกับเวลาที่ประหยัดขึ้น จากการทดลองก็จะเห็นได้ว่าในแต่ละระดับการควบคุมคุณภาพ เวลาที่ได้จะแตกต่างกันอยู่ประมาณ 0.25 ชั่วโมง หรือประมาณ 15 นาที กล่าวได้ว่าเวลามีความใกล้เคียงกัน สิ่งที่ต้องคำนึงคืออัตรส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับลดลงจากเดิมนั้นสามารถยอมรับได้หรือไม่

4. สรุป

การประเมินความสามารถของกระบวนการในปัจจุบันที่เราสนใจศึกษา แสดงให้เห็นว่าขั้นตอน d036 สามารถใช้เวลาลดลงเฉลี่ย 12% เมื่อกำหนดพิกัดการควบคุมกระบวนการ คาดว่าเวลาของกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ (ขั้นตอน SRST) โดยรวมจะสามารถลดลงอีกหากมีการปรับปรุงในขั้นตอนอื่นๆ ซึ่งจะเป็นกรณีศึกษาในขั้นต่อไป

จากกระบวนการที่ได้ทำการศึกษาพบว่า ข้อมูลบางอย่างที่ได้บันทึกไว้ในระบบฐานข้อมูล ควรจะทำให้เกิดความสนใจจากบุคคลที่มีอำนาจในการตัดสินใจ เพื่อการปรับปรุงกระบวนการ หรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในองค์กรอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อองค์กรในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การลดค่าใช้จ่ายในการผลิตก็ดี และอื่นๆ ที่ขึ้นอยู่กับการนำวิธีการไปปรับใช้กับงาน

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก วิทยาลัยร่วมด้านเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลและการประยุกต์ใช้งาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ เลขที่ HDD-01-51-011M. ขอขอบคุณ บริษัทฮิตาชิโกลบอลสตอเรสเทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้ให้การสนับสนุนสถานที่ทำงานและข้อมูลในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, "การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ ประมวลผลด้วย Minitab (Process capability analysis: PCA)", กรุงเทพฯ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2551

[2] K. Rezaie, B. Ostadi and M.R. Taghizadeh. "Application of Process Capability and Process Performance Indices" Journal of Applied Sciences 6(5): 1186-1191, 2006

[3] Paul E. Fieler and Nick Loverro, Jr. "Defects tail off with six-sigma manufacturing", Circuits & Devices IEEE, 1991

[4] ฉลอง สีแก้วสิ่ว, "เว็บไซต์แห่งการเรียนรู้เกี่ยวกับสถิติเชิงประยุกต์" www. Statistics.ob.tc.

[5] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, "สถิติสำหรับงานวิศวกรรม", กรุงเทพฯ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2540

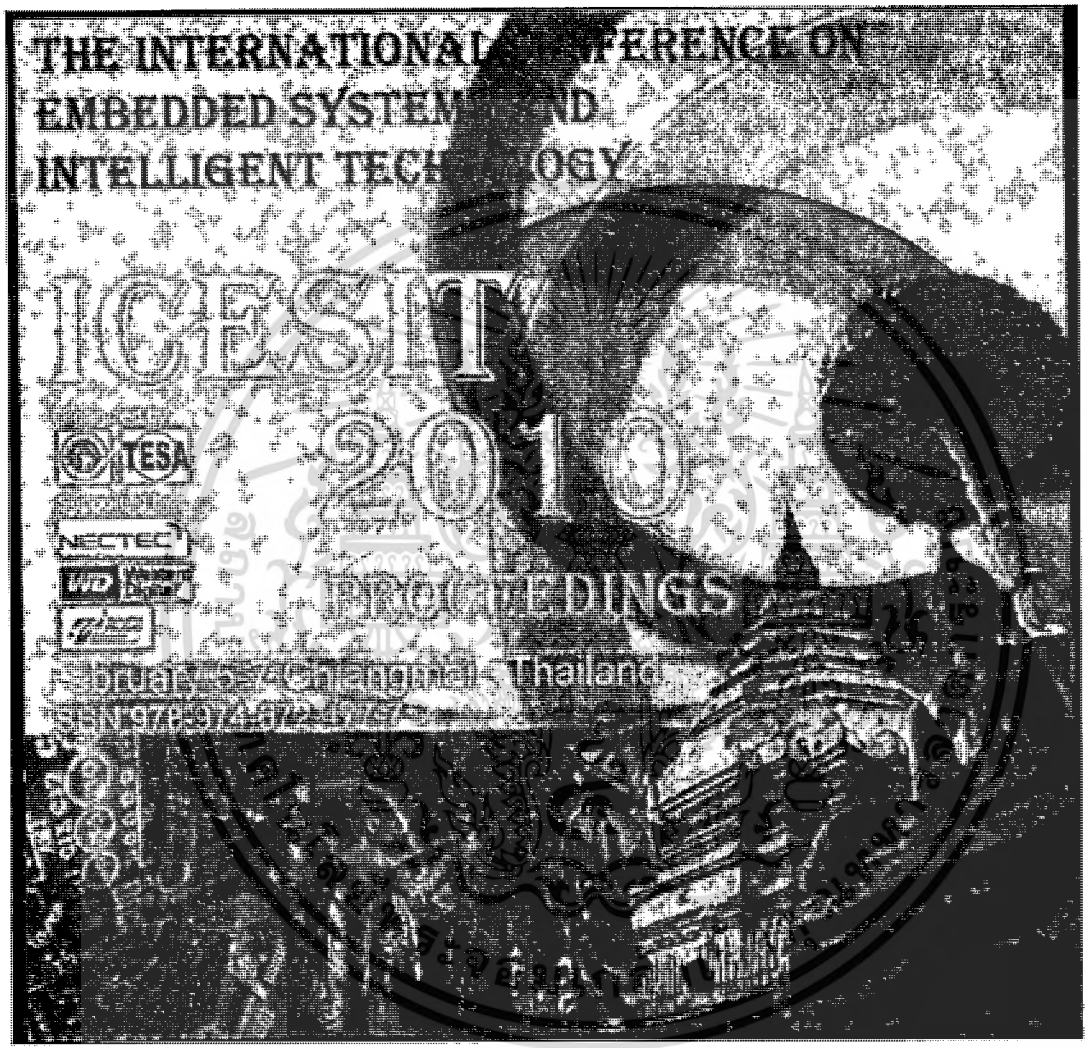
[6] ธานินทร์ ศิลป์จารุ, "การวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย SPSS", พิมพ์ครั้งที่ 9 กรุงเทพฯ, บิสซิเนสอาร์แอนดี, 2551

ประวัติผู้เขียนบทความ

นายอดิศร แก้วภักดี การศึกษาปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สจล. ปีการศึกษา 2547, ทำงานตำแหน่งวิศวกร Magnecomp Precision Technology PCL, จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ปี พ.ศ. 2547-2551, ปัจจุบันกำลังศึกษาปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูล สจล.

รศ.ดร. สมศักดิ์ ชุมช่วย การศึกษาปริญญาตรี โท สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สจล. ปีการศึกษา 2525 และ 2529 ตามลำดับ การศึกษาปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า Imperial College, University of London ในปีการศึกษา 2535, ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถของกระบวนการ และความผันแปรของกระบวนการที่เกิดขึ้นนั้นจะเป็นไปตามธรรมชาติ หรือเป็นความผันแปรที่ผิดธรรมชาติ ทั้งหมดมีผลกับการควบคุมกระบวนการ [1], [2], [3]

2.1 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลเราสามารถที่จะใช้กลุ่มของข้อมูลที่มีอยู่ในการอธิบายตัวอย่าง (Sample) หรือประชากร (Population) เพื่อให้มองเห็นภาพได้ดีที่สุด เราจึงต้องให้ความสนใจในวิธีการที่เราใช้ในการอธิบายข้อมูลดังกล่าว วิธีที่ใช้วัดหรืออธิบายข้อมูลเราเรียกว่า "ค่าแนวโน้มสู่ศูนย์กลาง (Central tendency)" ซึ่งนิยมใช้ค่าทางสถิติอยู่ 3 ค่าที่ใช้ในการอธิบายคือ ค่าเฉลี่ย (Mean)

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n} \quad (1)$$

ค่ามัธยฐาน (Median) และค่าฐานนิยม (Mode) เราอาจจะต้องมีการวิเคราะห์ก่อนว่าข้อมูลมีความเบี่ยงเบนโดยธรรมชาติหรือไม่ เพราะจะมีผลต่อค่าแนวโน้มสู่ศูนย์กลาง พิจารณาคุณภาพของข้อมูลโดยดูขนาดของความเบี่ยงเบนหรือที่เรียกว่า "การกระจาย (Dispersion)" ซึ่งสามารถวัดได้ด้วยค่าทางสถิติหลายค่าด้วยกัน เช่น ค่าพิสัย (Range) ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ค่าความแปรปรวน (Variance) เป็นต้น ซึ่งค่าต่าง ๆ เหล่านั้นสามารถคำนวณหาได้ดังนี้ [4]

ค่าพิสัย (Range: R)

$$R = X_{max} - X_{min} \quad (2)$$

ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation: S)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})^2}{n-1}} \quad (3)$$

ค่าความแปรปรวน (Variance: S^2)

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})^2}{n-1} \quad (4)$$

2.2 การควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติ

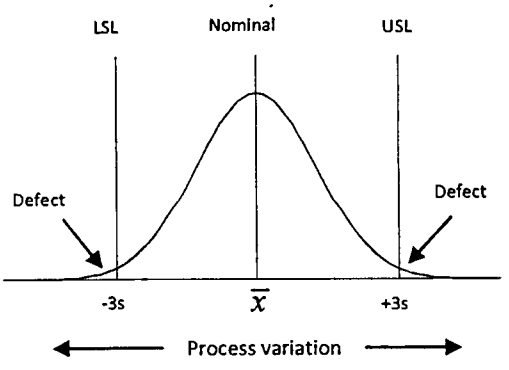
วัตถุประสงค์สถิติในการควบคุมกระบวนการผลิตเพื่อทำการปรับปรุงและการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ โดยพิจารณากระบวนการที่สภาวะที่มีเสถียรภาพ หรือได้รับการควบคุม เมื่อเวลาผ่านไปข้อมูลที่ได้จากการวัดจะมีการกระจายแบบปกติ (Normal distribution) ก็จะสามารถกำหนดเส้นพิกัดควบคุมกระบวนการได้ ยกตัวอย่างเช่น การกำหนดเส้นพิกัดควบคุม (Specification limit) ของกระบวนการ [5], [6]

$$USL = \overline{X} + 3S \quad (5)$$

$$CL = \overline{X} \quad (6)$$

$$LSL = \overline{X} - 3S \quad (7)$$

แสดงในรูปที่ 1 เป็นมาตรฐานที่นิยมใช้กำหนดเส้นพิกัดควบคุมจะให้ระดับช่วงความเชื่อมั่น (Confidence interval) ที่ 99.73% โดยเป็นการควบคุมกระบวนการผลิตแบบซิก-ซิกม่า [3]



รูปที่ 1 มาตรฐานการควบคุมกระบวนการที่ระดับ 6σ

2.3 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

ดัชนีแสดงความสามารถ (Capability index, C_p) ในการตัดสินใจเกี่ยวกับประชากรนั้นมักจะคำนึงถึงค่าความเบี่ยงเบนของประชากรอยู่ในช่วงที่ยอมให้เกิด ตัววัดความเบี่ยงเบนของข้อมูลจากประชากรเมื่อเทียบกับขนาดของความเบี่ยงเบนที่ยอมให้เกิดแล้วเรียกว่า "ดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการ" [5]

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6S} \quad (8)$$

ถ้าการวัดที่ต้องคำนึงถึงค่ากลาง $\overline{x}$ ที่อาจเปลี่ยนแปลงไปจากค่า C_L ค่า C_p ที่ได้ก็จะเรียกว่า "ดัชนี C_{pk}" ซึ่ง

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl}) \quad (9)$$

โดยที่

$$C_{pl} = \frac{\overline{x} - LSL}{3S} \quad (10)$$

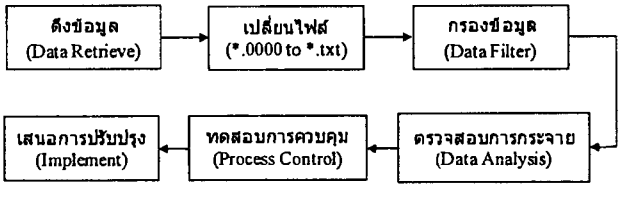
และ

$$C_{pu} = \frac{USL - \overline{x}}{3S} \quad (11)$$

อาจใช้ค่า μ แทน $\overline{x}$ เมื่อคำนึงถึงกลุ่มประชากร

3. การทดลองและผล

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาข้อมูลที่ได้จากการทดสอบฮาร์ดดิสก์ (กระบวนการ SRST) ของเครื่องทดสอบ เป็นข้อมูลการทดสอบฮาร์ดดิสก์ความจุ 320 กิกะไบต์ ซึ่งรูปที่ 2 ด้านล่างนี้เป็นลำดับขั้นตอนการทำงานวิจัย แบบจำลอง (Simulation) โดยการทดลองข้อมูลทางสถิติในงานวิจัยฉบับนี้จะใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล รายละเอียดของขั้นตอนจะได้กล่าวต่อไป



รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications of SPC and PCA of a Product Manufacturing: Energy and Cost Savings

A. Kaewpukdee[#1] and S. Choomchuay[*2]

[#]College of Data Storage Technology and Applications, [*]Division of Electronic Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.

[1]adisorn44@hotmail.com, [2]kchsomsa@kmitl.ac.th

Abstract— **This paper proposes a product test time reduction. Our method employs statistical process control (SPC) and process capability analysis (PCA) as a tool. Algorithm verification was made upon the collected data of a specific product type. Box-Cox transformation has been applied to those data sets that hold non-normal distribution. Minitab software package was used as a mathematical analysis tool. The obtained result has convinced us the benefit of non-normal distribution to normal distribution data transformation. By applying the method to major time-consuming sub-processes, the test times could be reduced considerably. Proportionally required power can be saved. This study is of benefit not only in term of manufacturing cost reduction but also productivity enhancement.**

I. Introduction

Under the highly competitive environment of many commercial products especially in the IT market, the statistic process control is now widely used for the purpose of process improvement. In conventional case, data with normal distribution are considered. For the case that data with non-normal distribution are to be analyzed correctly and the obtained results should consistently hold their true representation, a special technique must be deployed.

At the present days, hard disk testing is generally a time consuming process with high inventory cost. Clearly, improving the test time is not only reducing the manufacturing cost but also increasing the productivity. The challenge of the work is that "Can we improve the test time while maintaining the customer's satisfaction with minimum unit reworking?" In some particular cases when the pre-recorded data have shown their non-normal distribution: -what is the best way to analyze data with such features? The rest of this paper is organized as follows. A general process of hard disk testing will be given in the rest of this section. The concerned mathematics is outlined in section II whilst section III elaborates of SPC and PCA. The experiment set up is given in section IV together with some obtained results. Finally, the work is concluded in section V.

To get the understanding of applications of SPC and PCA in hard disk manufacturing, let's first have some understanding of general hard disk testing process. Some industries perform the hard disk testing based on the following steps

1) *Functional test*, microcode installation, and parameter adjustment for read-write optimization, take approximately 10% of the total testing time.
2) *SRST test*; i.e. inspection of media surface and record defect locations under squeeze condition, takes approximately 76% of the total testing time.
3) *Final test*; test the performance function based on customer requirements, takes approximately 14% of the total testing time.

Each main process mentioned above actually includes 10-15 sub-processes. One may notice that SRST test is the most time consuming step that takes 3/4 of the total testing time. Thus, we are focusing at this step to see how well SPC and PCA can help.

II. Mathematic Background

A. Basic Statistics

On one hand, statistics is the method to collect the minority of data or samples to predict the majority of data or populations that one cannot work out all.

Fig. 1 Statistical data analyzing process

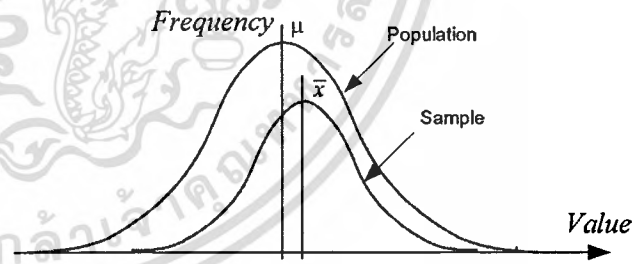


Fig. 2 Population and Sample

On another hand, statistics is another type of tools that interprets raw data to be important meanings and allows people who are in charge making decisions which are unnecessary to be always according to the meanings [1], [2]. Fig. 2 shows the close population data distributions compared to sample data under correct data collection conditions. The parameters explained populations called "Population Parameters" include, μ, population average, and σ; population standard deviation. Parameters explain samples called "Sample Parameters"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

include, $\overline{x}$; sample average, and s; sample standard deviation.

Available of data groups are conventionally used to explain "Sample" or "Populations" to achieve the most points of view. One technique that generally applied to explain data is a term called "central tendency". There are three basic statistics parameters available to explain this term; namely mean, median, and mode.

Mean (average or arithmetic mean) is depicted as shown in eqn. (1) above. It is widely used in most cases.

$$\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \qquad (1)$$

Median and mode are also applied when data are needed to be analyzed in order to verify that they have natural deviation because these will affect the central tendency value. Tendency can be considered as data quality respected to the size of deviation or "Dispersion" by measuring various statistics parameters include "Range: R", "Standard deviation: s" and "Variance: s^2" which are given below in eqn.(2), (3) and (4) respectively [3].

$$R = x_{\max} - x_{\min} \qquad (2)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{(n-1)}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2} \qquad (3)$$

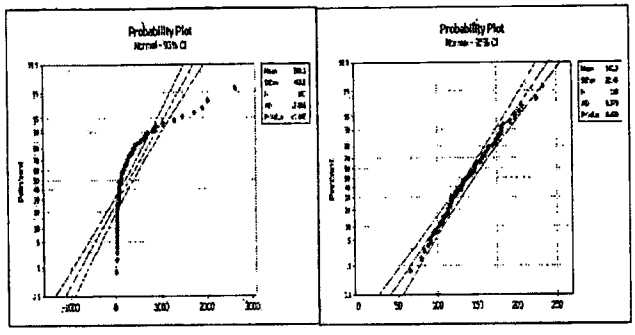
$$s^2 = \frac{1}{(n-1)}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \overline{x}\right)^2 \qquad (4)$$

Finally, to confirm the data dispersion we need to test for the normal distribution. Using probability $p(x)$ plot when x is the sample value, n is the number samples, and i is an index. Probability value can be calculated as following steps. First, the data are ranked from least to large, also insert the number of step for each sample. Probability can be computed as given in eqn. (5). Scattering plot can be performed between probability and data value (for instance; x-axis for data value and y-axis for the corresponding probability). This method is suitable for data with small to moderate sample size. When the sample space is getting large, the process is quite tedious and time consuming. Moreover, the distribution moves toward normal distribution.

$$p(x_i) = \frac{i - 0.5}{n}, \quad i = 1,2,3,.....n \qquad (5)$$

B. Normality Test

As mention in the previous sub-section, the plot should be imposed on randomly selected samples. According to the plot, parameter that defines the normal distribution is the P-value. This value simply indicates how big the number of sample points lines up around (within an amount of discrepancy) the straight line of normal distribution. P-value > 0.05, implies normal distribution of tested data whilst P-value < 0.05 implies non-normal distribution of tested data.



a) Non-normal distribution b) Normal distribution

Fig. 3 Probability plot of non-normal data (P-value <0.005) and normal distribution data (P-value = 0.400)

C. Non-normality with Graphical Summary

Quite frequent that some particular processes may hold data with a non-normal distribution, but with well-understood probability distribution. One good example shown in Fig. 4 represents a data set of sub-process V073. The graphical summary shows the data that highly skewed to the left. Apparently, the distribution is non-normal.

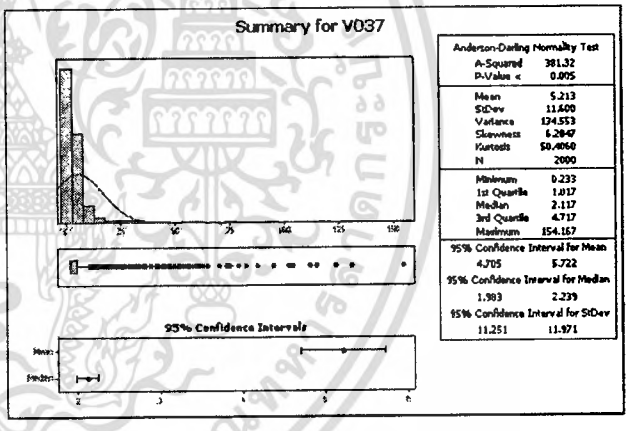


Fig. 4 Graphical summary of non-normal data

III. Statistic Process Control (SPC)

The objectives of applying statistics the production process control are to improve and to monitor the processes when stability and/or controllability are taken into account. A controlled specification line can be defined if the measured data show normal distribution property. Let CL, USL, and LSL be control line, upper control line, and lower control line respectively, specification limits can be termed as:

$$USL = \overline{x} + 3\sigma \qquad (6)$$

$$CL = \overline{x} \qquad (7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$LSL = \bar{x} - 3\sigma \quad (8)$$

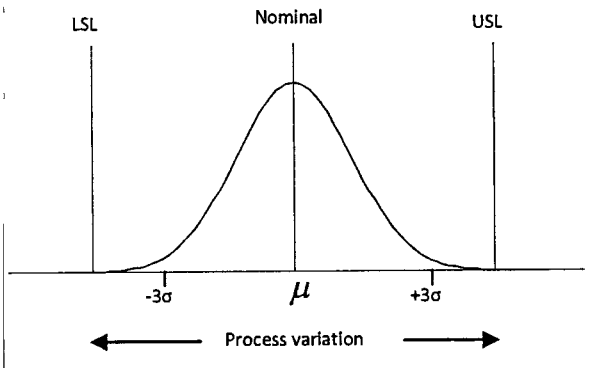


Fig. 5 process control standard at 6σ level

The bound of $\bar{x} \pm 3\sigma$ or 6σ control is widely used as standard one. It offers confidence interval of 99.73%.

A. *Process Capability Analysis*

Capability index (C_p) is a parameter indicating the control range. It implies data deviation of populations compared with the allowed deviation. Mathematical expression of the capability index is given in eqn. (9) below.

$$C_p = \frac{USL\text{-}LSL}{6\sigma} \quad (9)$$

When samples are considered instead of population, $\bar{x}$ is used instead of μ. C_p is now termed as C_{pk}. Its lower and upper limits are given with respected to mean $\bar{x}$ as follows.

$$C_{pu} = \frac{USL - \bar{x}}{3\sigma} \quad (10)$$

$$C_{pl} = \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma} \quad (11)$$

In practice, the lower one is preferable. Therefore,

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl}) \quad (12)$$

B. *Process Capability Analysis with Non-normal data*

Some to be controlled processes may hold data with non-normal feature. When data follows a well-known distribution type, but non-normal distribution, such as a Weibull or log-normal distribution, calculation of defect rates is accomplished using the properties of the distribution. Parameters of the distribution and the specification limits must be input to the procedure. Alternatively, those non-normal data can be mathematically transformed to the approximated normal distribution and calculate the process capability using the assumption of normality under the specification limits. Commercial package such as *Minitab* do provide this function as its standard. It also offers the calculation of the defective part per million (DPPM) of the transformed data. In the background *Minitab* uses the transformation tool so called "*Box-Cox Transformation*".

Box and Cox [4] proposed a family of power transformations on necessarily positive response variable x given by

$$x_i^{(\lambda)} = \begin{cases} \dfrac{(x_i^{\lambda} - 1)}{\lambda}, & if\ \lambda \neq 0 \\ \ln(x_i), & if\ \lambda = 0 \end{cases} \quad \text{for } 1 \le i \le n \quad (13)$$

This transformation depends on a single parameter λ that is estimated using Maximum likelihood estimation (MLE) [5]. The transformation of non-normal data to normal data using Box-Cox transformation is available in most statistical software packages. Apparently, we can deploy this technique directly to evaluate PCA.

IV. Experiment

Data from SRST hard disk tester have been studied. 4,000 hard drive units of which 2,000 are pass drives and the rest are fail drives. The "pass" and "fail" criteria are not classified by our model. Instead, they are classified by the current manufacturing criteria that are less related to SPC or PCA. Fig. 6 shows experiment steps of this research. *Minitab* package is used for data analysis. Upon the analyzed result the control parameters can be decided. The control model then can be verified to term out the process capability and performance.

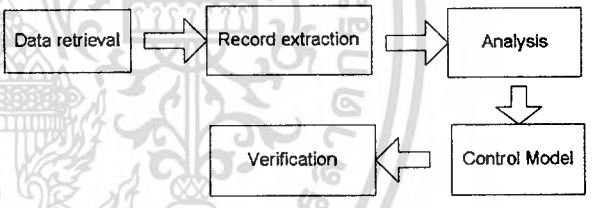


Fig. 6 Experiment procedure

In this study, we are working backward. For the process data we do analysis those data to see whether the process is stable and under control. We use PCA to check if we can cut down the test time. And if PCA is applicable –what effect it produces upon its application; i.e. FAR and FRR. Therefore, no action is taken to the real process. However, this study should demonstrate the possibility of test time improvement.

A. *Data Retrieval and Extraction*

A database file generated by a tester usually contains several information reveal the testing parameters and results. Common to all and of our interest are testing steps and corresponding times spent for such steps. Although the actual process involves many step sequences, only few time-consuming steps are selected. These are shown in Fig. 7 where the process step and its corresponding average test times are plotted.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

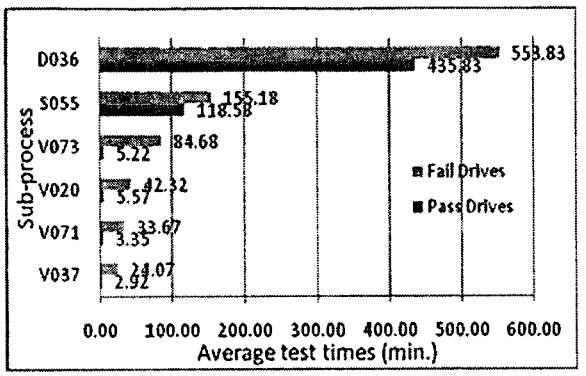


Fig. 7 Pareto chart of major sub-processes

Drives are classed to Pass and Fail according to the time limited set for the tester. For a particular testing step "D036", as a case, individual unit test times is shown in Fig. 8 below.

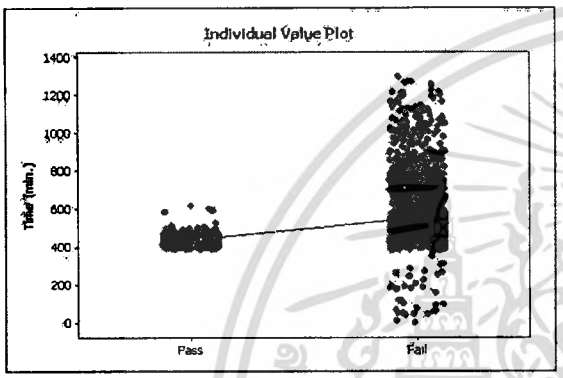


Fig. 8 D036 individual unit test times (min.)

Refer to the said figure, we can clearly note the variance and range of data in each groups. The fail group holds larger variation. Regarding this observation we can use the data of the pass group to define the statistic parameters.

The extracted data were tested for their normality by examining the P-value. The obtained results are shown in table I (second row). Those with P-value less than 0.005 are assumed to have non-normality distribution and must be transformed for SPC and PCA applications. After transformation (with $\lambda = 0$) the corresponding P-value is shown in the third row.

TABLE I
NORMALITY TEST OF THE DISTRIBUTION (P-VALUE)

Proc.	V020	D036	V037	S055	V071	V073
Before	<0.005	0.246	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
After	0.180	0.246	0.012	0.194	0.031	0.400

B. *Simulation of Process Capability with Non-normal Data and Result*

Distribution of the raw-collected data (V073) is shown in Fig. 4 in the previous section. The non-normal distribution can be clearly observed. With Box and Cox transformation defined by eqn. (13), the new distribution is shown in Fig. 9 where the transform parameter was set to $\lambda = 0$.

This transformation estimates the DPPM to be 68,000 pieces or 6.8%. The process capability C_{pk} of 0.53 is obtained as USL was set to 6σ (USL=12.48 min.). The control is set to one side specification (using only upper specification limit).

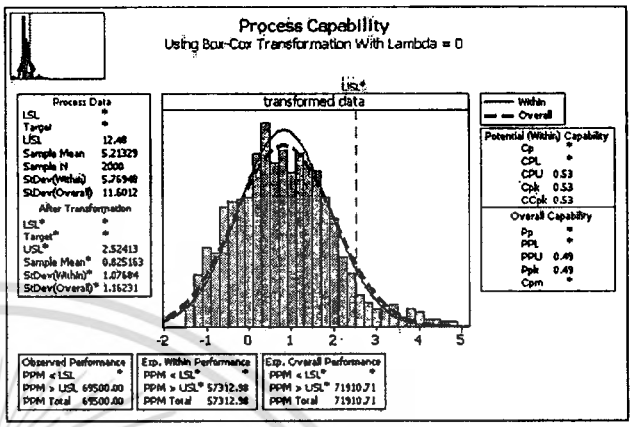


Fig. 9 Process capability of Box-Cox transformed data

Box-Cox transformation parameter can be made varied as shown in Table II. By comparing the process capability indices and defective part per million (DPPM) for each lambda, the optimal one can be selected.(explain more: what is Observed, within and overall)

TABLE II
C_{pk} TYPE SIZES FOR PAPERS AND DPPM CHANGES ACCORDING TO TRANSFORMATION PARAMETERS, LAMBDA

Lambda (λ)	Process capability (V073) according to Box-Cox Transformation			
	C_{pk} Indices	DPPM (Total)		
		Observed	Within	Overall
-2.0	0.26	6.80%	21.93%	31.56%
-1.5	0.29	6.80%	19.03%	26.69%
-1.0	0.35	6.80%	14.70%	19.65%
-0.5	0.44	6.80%	9.4%	11.60%
0	0.53	6.80%	5.53%	6.82%
0.5	0.57	6.80%	4.42%	9.95%
1.0	0.44	6.80%	9.18%	25.42%
1.5	0.21	6.80%	26.56%	41.85%
2.0	0.01	6.80%	49.33%	49.84%

C. *Spec-Limit of Each Sub-process*

A main objective of applying specification limit to each sub-process is to reduce the test times. With defined control level, the obtained time-saving of each sub-process is shown in Table III below. Many sub-processes hold the time-saving of about 10% or more. For example, V073 can save 25% and D036 can save 14%. However when we look into details, V073 have much less impact. This is because the average test time of V073 is only 5.2 minutes whilst that of D036 is 435.8 minutes.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Outcomes (yield) of each sub-process can be computed based on the fault rejected drives and the total number of pass drives.

TABLE III
RESULT AFTER THE APPLICATION OF SPEC. LIMIT TO THE SUB-PROCESS

Proc.	Quality Level	Spec. limit min.	C_{pk}	Time saving min.	Time saving %	Yield %
V020	6σ	7.65	1.17	19.19	6.73	92.80
D036	3σ	491.2	1.01	60.00	13.77	99.35
V037	6σ	4.02	1.20	11.00	7.56	90.80
S055	3σ	132.48	1.00	14.77	0.21	98.25
V071	6σ	5.70	1.52	15.72	9.41	95.80
V073	6σ	12.48	1.30	41.90	24.57	93.20

Applying only specification limit by mean of test times can result in pass drives to be rejected and fail drives to be accepted. In principle, we should reject only the fail drives and accept only the pass drives. However, the situation of rejection of good drives (termed as fault rejection rate: FRR) and acceptance of bad drives (termed as fault acceptance rate: FAR) cannot be totally avoided. We have investigated the issue with the merit of test times saving. The result is shown in Fig. 10 below. Be kept in mind that in this experiment all 4,000 units are input to each testing step. If the method proposed in this study is brought to practice, the genuine rejected drives and the fault rejected drives will be reworked upon their failure symptoms. Obviously, the lower FRR is the better. Genuine pass drives and fault accepted drives will be passed to the subsequent process step. Repeatedly tested for many step sequences, the fault accepted units should be reduced to minimum number. In practice, we should not deliver any fail drives to the customer at all. Ideally, fault accepted drives should be zero at the final step.

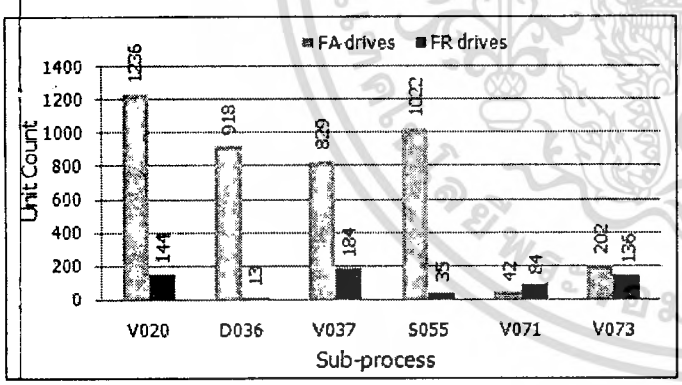


Fig. 10 Fault rejected drives and Fault accepted drives after the application of PCA to each sub-process

D. Sequential Applications of Sub-process Spec-Limit

Once we could optimize the specification limit of each sub-process, we can apply the limit to all the process that assumed to run sequentially. GA and GR are standing for genuine accepted and genuine rejected respectively. As shown in Table III, We fed 4000 product units into the first process step (say V020). At this step, 1,865 good drives and 1,236 bad drives passed. 144 good drives and 764 bad drives were rejected. Therefore, 3092 drives were fed in to the subsequent sub-process (say D036) where the spec-limit is applied again. The similar procedure is applied throughout all sub-process. Finally only 3 bad drives passed. They are known as good drives (since they were wrongly accepted). From the begging to the final steps, 304 good drives were wrongly rejected (as FR drives). They must be reworked.

TABLE IV
GRANT AND FAULT ACCEPTANCE BEFORE AND AFTER EACH TEST SEQUENCE

Steps	Proc.	Product Unit Count (Pieces)					
		Input	Output	GA	GR	FA	FR
1	V020	4,000	3,092	1,865	764	1,236	144
2	D036	3,092	2,393	1,843	686	550	13
3	V037	2,393	2,017	1,797	330	220	46
4	S055	2,017	1,862	1,777	135	85	20
5	V071	1,862	1,793	1,775	67	18	2
6	V073	1,793	1,699	1,696	15	3	79

E. Cost Reduction via Power Saving

Testing the units, as a matter of fact, power is required. Such cost cannot be avoided. However, saving the test time is essentially saving the electric cost and labor cost. The products under this study do require the power of 20 Watt per hour per product unit (approximately). Power requirement of each sub-process can be computed from:

$$Total\ power = \sum_{i=1}^{n} 20T_i \qquad (13)$$

Where n denote the number of unit to be tested and T_i denote the test time of the unit i. We have computed power requirement in unit testing before and after application of SPC. The result is shown in table V below. Start with 4000 product units, without and with the application of SPC we can save the power up to 140 Kw with the total test time of 10.89 hrs.

TABLE V
REQUIRED POWER COMPARISON AND COST SAVINGS

Proc.	Number of units	Total Power without SPC (Kw)	Total Power with SPC (Kw)	Power saving (Kw)
V020	4,000	31.200	6.400	24.800
D036	3,092	510.180	448.340	61.840
V037	2,393	10.529	1.914	8.614
S055	2,017	89.554	79.873	9.681
V071	1,862	11.544	1.862	9.682
V073	1,793	26.895	1.793	25.102
Total	-	**679.902**	**540.182**	**139.719**

F. Actual Time Saving and Energy Saving

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The sub-process with low yield can cause several good drives to be reworked and retested. This is the obvious drawback of our method. As a case, for example, the sub-process D036 holds 436 minutes (average test time) and it offer 60 minutes time-saving after the application of SPC. However it rejected 13 drives wrongly. These 13 drives must be investigated and retested. They could again take similar test time in their retesting process. Of course, they do consume energy. The possible energy saving of D036 then decrease.

V. Conclusions

In this study we have demonstrated the application of SPC and PCA to a product manufacturing where hard disk drives manufacturing was taken as a case. Only sub-processes that contribute large test times were selected in this study. To overcome the data with nor-normality distribution, Box-Cox transformation with $\lambda = 0$ was applied. Clearly shown in table III, the test times can be reduced to some certain amount. About 20% of total test time can be saved. The time-saving can have a major impact to energy saving and labor cost saving. In practice, the control method can be either applied to particular selected sub-processes or applied to all sub-process. A drawback of the method is that the control still produce fault accepted units that resulting in the fail unit to be fed to the subsequent sub-process. Without other screening method, the customer can receive the malfunction unit. This is undesirable. Moreover, the resulted fault rejected units can pile up the unit cost because of its reworking. When we closely look into the obtained yield, the sub-process with lower yield can produce the large number of fault rejected drives. This may concern the nature of data distribution of such a sub-process that needs more investigation on this characteristic.

Acknowledgement

This work is supported by "Industry/University Cooperative of Data Storage Technology and Applications Research Center (I/UCRC), King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang and National Electronic and Computer Technology Center (NECTEC), National Science and Technology Development Agency (NSTDA) under scholarship HDD-01-51-011M. We would like to thank Hitachi Global Storage Technologies Company (Thailand) for their continued support to this research.

References

[1] K. Poypanitchararenpol "Process Capability Analysis (PCA)", Bangkok, Technology Promotion Association (TPA) (Thailand-Japan), 2008.

[2] Ch. Srikeawsew "Statistics Learning and Application Website", www.statistics.ob.tc

[3] G. E. P. Box and D. R. Cox, "An analysis of transformation", J. Roy, Stat Soc. B. 26: 211-252, 1964.

[4] D. Montgromery, "Introduction of statistical quality control", 5th ed., Wiley, New York, 1996.

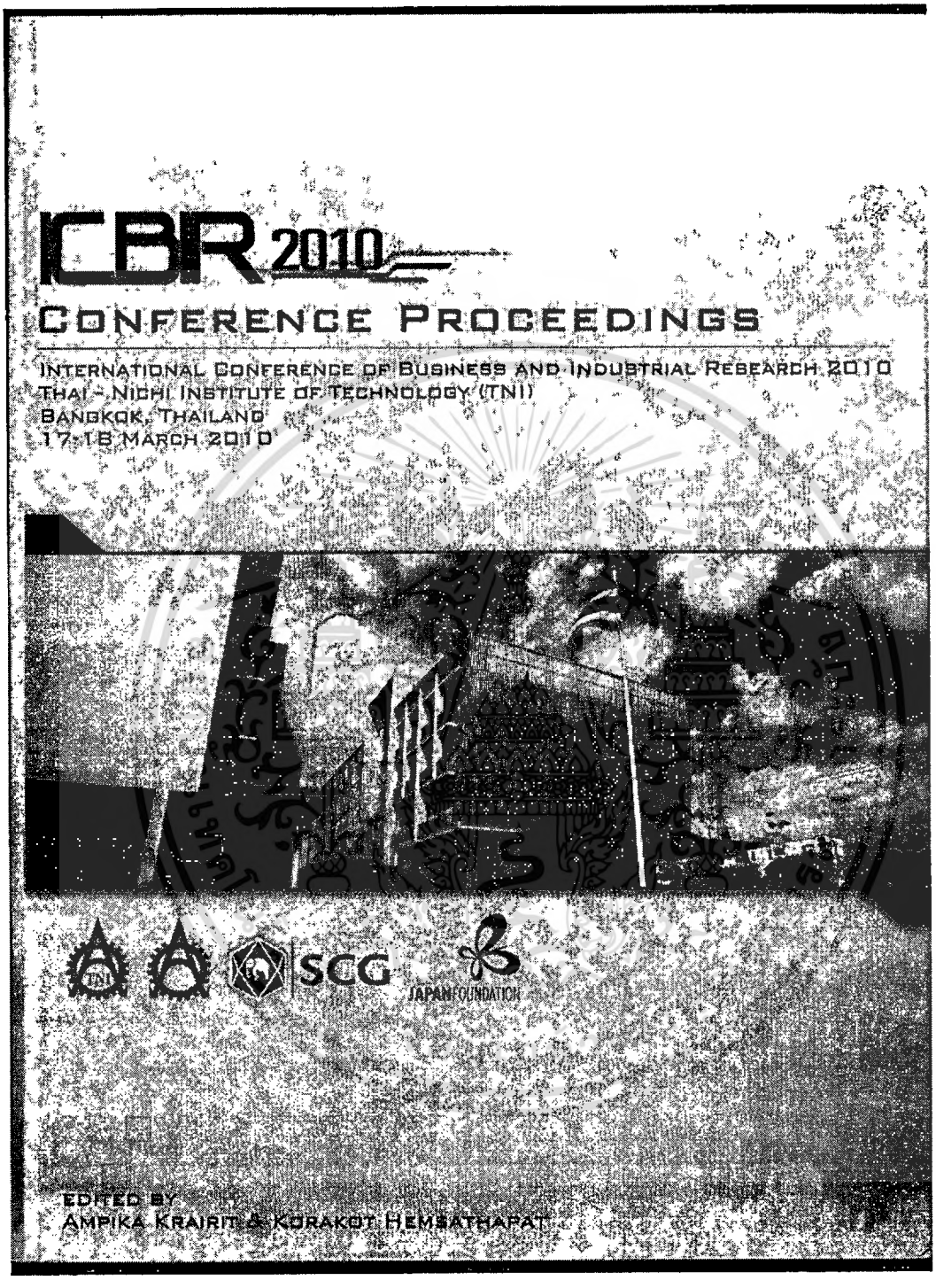
[5] L. C. Tang, S. E. Than, "Computing process capability indices for non-normal data", 1999.

[6] K. Poypanitchararenpol "Statistics for Engineering", Bangkok, Technology Promotion Association (TPA) (Thailand-Japan), 1999.

[7] T. Sincharu "Researching and Analysis Statistics data by SPSS", Ed. 9, Bangkok, Business R&D, 2008.

[8] K. Rezaie, B. Ostadi and M.R. Taghizadeh. "Application of Process Capability and Process Performance Indices" Journal of Applied Sciences 6(5): 1186-1191, 2006.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Products Test time Improvement: Statistical Process Control and Process Capability Analysis with Non-normal Data

Adisorn K.[#1], Somsak Ch.[*2]

[#]College of Data Storage Technology and Applications, [*]Department of Electronic Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520., Thailand.
[1]adisorn44@hotmail.com, [2]kchsomsa@kmitl.ac.th

Abstract— **This paper proposes a product test time reduction where a hard disk manufacturing is taken as a case. Our method employs *statistical process control (SPC)* and *process capability analysis (PCA)* as our tools. Algorithm verification was made upon the collected data of a specific product type. Box-Cox transformation has been applied to those data sets that hold non-normal distribution. By applying the method to major time-consuming sub-processes, the test times could be reduced at a considerable level. *Minitab program* was used as a mathematical analysis tool. The obtained result has convinced us the benefit of non-normal distribution to normal distribution data transformation.**

Keywords— **Hard disk testing, SPC, PCA, Non-normal distribution, normality test**

I. INTRODUCTION

Under the highly competitive environment of many commercial products especially in the IT market, the statistic process control is now widely used for the purpose of process improvement. In conventional case, data with normal distribution are considered. For the case that data with non-normal distribution are to be analyzed correctly and the obtained results should consistently hold their true representation, a special technique must be deployed.

At the present days, hard disk testing is generally a time consuming process with high inventory cost. Clearly, improving the test time is not only reducing the manufacturing cost but also increasing the productivity. The challenge of the work is that "Can we improve the test time while maintaining the customer's satisfaction with minimum unit reworking?" In some particular cases when the pre-recorded data have shown their non-normal distribution: -what is the best way to analyze data with such features? The rest of this paper is organized as follows. A general process of hard disk testing will be given in the rest of this section. The concerned mathematics is outlined in section 2 whilst section 3 elaborates of SPC and PCA. The experiment set up is given in section 4 together with some obtained results. Finally, the work is concluded in section 5.

To get the understanding of applications of SPC and PCA in hard disk manufacturing, let's first have some understanding of general hard disk testing process. Some industries perform the hard disk testing based on the following steps

1) *Functional test*, microcode installation, and parameter adjustment for read-write optimization, take approximately 10% of the total testing time.
2) *SRST test*; i.e. inspection of media surface and record defect locations under squeeze condition, takes approximately 76% of the total testing time.
3) *Final test*; test the performance function based on customer requirements, takes approximately 14% of the total testing time.

Each main process mentioned above actually includes 10-15 sub-processes. One may notice that SRST test is the most time consuming step that takes 3/4 of the total testing time. Thus, we are focusing at this step to see how well SPC and PCA can help.

II. MATHEMATICS

A. Basic Statistics

On one hand, statistics is the method to collect the minority of data or samples to predict the majority of data or populations that one cannot work out all.

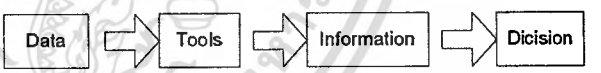


Fig. 1 Statistics data analyzing process

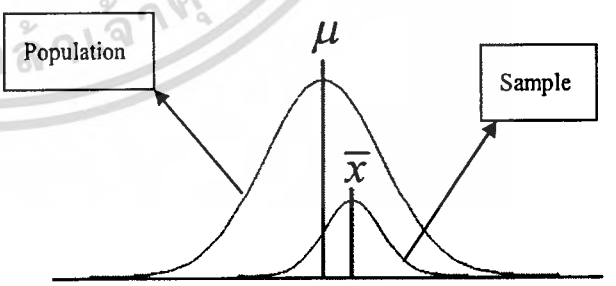


Fig. 2 Population and Sample

On another hand, statistics is another type of tools that interprets raw data to be important meanings and allows people who are in charge making decisions which are

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

unnecessary to be always according to the meanings [1], [2]. Fig. 2 shows the close population data distributions compared to sample data under correct data collection conditions. The parameters explained populations called "Population Parameters" include, μ; population average, and σ; population standard deviation. Parameters explain samples called "Sample Parameters" include, $\bar{x}$; sample average, and S; sample standard deviation.

Available of data groups are conventionally used to explain "Sample" or "Populations" to achieve the most points of view. One technique that generally applied to explain data is a term called "central tendency". There are three basic statistics parameters available to explain this term; namely mean, median, and mode.

Mean (average or arithmetic mean) is depicted as shown in eqn. (1) above. It is widely used in most cases.

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \qquad (1)$$

Median and mode are also applied when data are needed to be analyzed in order to verify that they have natural deviation because these will affect the central tendency value. Tendency can be considered as data quality respected to the size of deviation or "Dispersion" by measuring various statistics parameters include "Range: R", "Standard deviation: S" and "Variance: S^2" which are given below in eqn.(2), (3) and (4) respectively [3].

$$R = x_{\max} - x_{\min} \qquad (2)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{(n-1)}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \qquad (3)$$

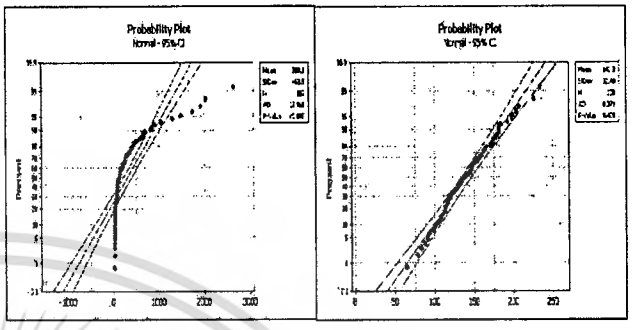
$$S^2 = \frac{1}{(n-1)}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2 \qquad (4)$$

Finally, to confirm the data dispersion we need to test for the normal distribution. Using probability $p(x)$ plot when x is the sample value, n is the number samples, and i is an index. Probability value can be calculated as following steps. First, the data are ranked from least to large, also insert the number of step for each sample. Probability can be computed as given in eqn. (5). Scattering plot can be performed between probability and data value (for instance; x-axis for data value and y-axis for the corresponding probability). This method is suitable for data with small to moderate sample size. When the sample space is getting large, the process is quite tedious and time consuming. Moreover, the distribution moves toward normal distribution.

$$p(x_i) = \frac{i-0.5}{n}, \quad i = 1,2,3,.....n \qquad (5)$$

B. Normality Test

As mention in the previous sub-section, the plot should be imposed on randomly selected samples. According to the plot, parameter that defines the normal distribution is the P-value. This value simply indicates how big the number of sample points lines up around (within an amount of discrepancy) the straight line of normal distribution. P-value > 0.05, implies normal distribution of tested data whilst P-value < 0.05 implies non-normal distribution of tested data.



a) Non-normal distribution b) Normal distribution

Fig. 3 Probability plot of non-normal data (P-value <0.005) and normal distribution data (P-value = 0.400)

C. Non-normality with Graphical Summary

Quite frequent that some particular processes may hold data with a non-normal distribution, but with well-understood probability distribution. One good example shown in Fig. 4 represents a data set of sub-process V073. The graphical summary shows the data that highly skewed to the left. Apparently, the distribution is non-normal.

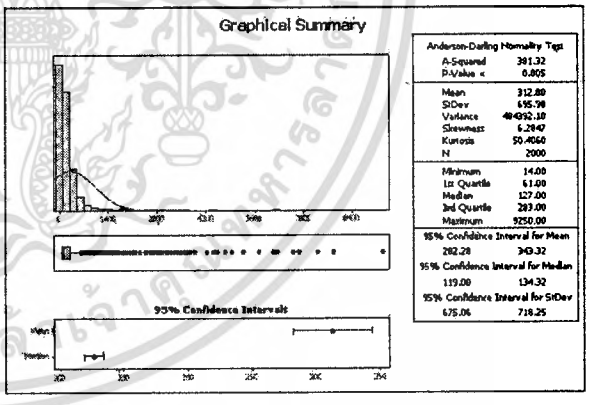


Fig. 4 Graphical summary of non-normal data

III. STATISTICS PROCESS CONTROL (SPC)

The objective of applying statistics to control the production process are to improve and to monitor the processes when stability and/or controllability are taken into account. A controlled specification line can be defined if the measured data show normal distribution property. Let CL, USL, and LSL be control line, upper control line, and lower control line respectively, specification limits can be termed as:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$USL = \bar{x} + 3S \quad (6)$$

$$CL = \bar{x} \quad (7)$$

$$LSL = \bar{x} - 3S \quad (8)$$

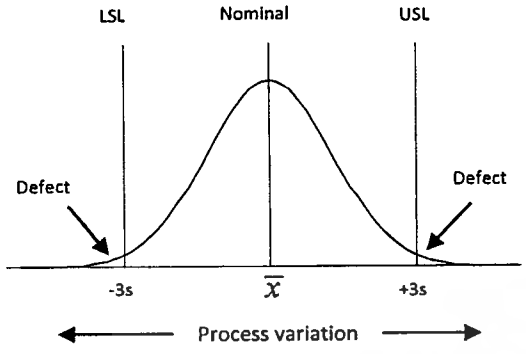


Fig. 5 process control standard at 6σ level

The bound of $\bar{x} \pm 3\sigma$ or 6σ control is widely used as standard one. It offers confidence interval of 99.73%.

A. Process Capability Analyze

Capability index (C_p) is a parameter indicating the control range. It implies data deviation of populations compared with the allowed deviation. Mathematical expression of the capability index is given in eqn. (9) below.

$$C_p = \frac{USL\text{-}LSL}{6S} \quad (9)$$

When samples are considered instead of population, $\bar{x}$ is used instead of μ. C_p is now termed as C_{pk}. Its lower and upper limits are given with respected to mean $\bar{x}$ as follows.

$$C_{pu} = \frac{USL - \bar{x}}{3S} \quad (10)$$

$$C_{pl} = \frac{\bar{x} - LSL}{3S} \quad (11)$$

In practice, the lower one is preferable. Therefore,

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl}) \quad (12)$$

B. Process Capability Analysis with Non-normal data

Some to be controlled processes may hold data with non-normal feature. When data follows a well-known distribution type, but non-normal distribution, such as a Weibull or log-normal distribution, calculation of defect rates is accomplished using the properties of the distribution. Parameters of the distribution and the specification limits must be input to the procedure. Alternatively, Those non-normal data can be mathematically transformed to the approximated normal distribution and calculate the process capability using the assumption of normality under the specification limits. Commercial package such as *Minitab* do provide this function as its standard. It also offers the calculation of the defective part per million (DPPM) of the transformed data. In the background *Minitab* uses the transformation tool so called "*Box-Cox Transformation*".

Box and Cox [4] proposed a family of power transformations on necessarily positive response variable x given by

$$x_i^{(\lambda)} = \begin{cases} \dfrac{(x_i^{\lambda}-1)}{\lambda}, & \text{if } \lambda \neq 0 \\ \ln(x_i), & \text{if } \lambda = 0 \end{cases} \quad \text{for } 1 \le i \le n \quad (13)$$

This transformation depends on a single parameter λ that is estimated using Maximum likelihood estimation (MLE) [5]. The transformation of non-normal data to normal data using Box-Cox transformation is available in most statistical software packages. Apparently, we can deploy this technique directly to evaluate PCA.

IV. EXPERIMENT

Data from 320 Gigabyte SRST hard disk tester have been studied. 4,000 hard drive units of which 2,000 are pass drives and the rest are fail drives. The "pass" and "fail" criteria are not classified by our model. Instead, they are classified by the current manufacturing criteria that are less related to SPC or PCA. Fig. 6 shows experiment steps of this research. *Minitab* package is used for data analysis. Upon the analyzed result the control parameters can be decided. The control model then can be verified to term out the process capability and performance.

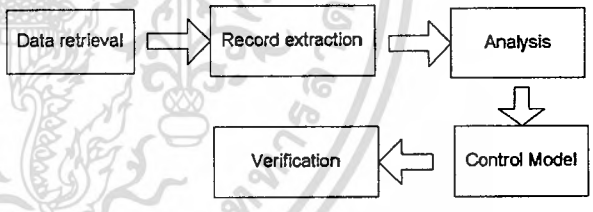


Fig. 6 Experiment procedure

In this study, we are working backward. For the process data we do analysis those data to see whether the process is stable and under control. We use PCA to check if we can cut down the test time. And if PCA is applicable –what effect it produces upon its application; i.e. FAR and FRR. Therefore, no action is taken to the real process. However, this study should demonstrate the possibility of test time improvement.

A. Data Retrieval and Extraction

A database file generated by a tester usually contains several information reveal the testing parameters and results. Common to all and of our interest are testing steps and corresponding times spent for such steps. Although the actual process involves many step sequences, only few time-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

consuming steps are selected. These are shown in Fig. 7 where the process step and its corresponding average test times are plotted.

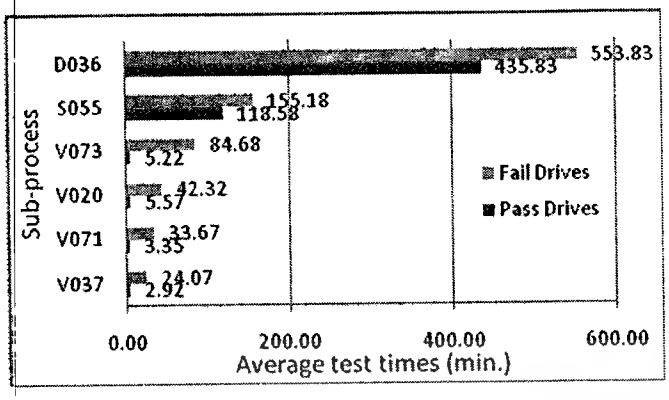


Fig. 7 Pareto chart of major sub-processes

Drives are classed to Pass and Fail according to the time limited set for the tester. For a particular testing step "D036", as a case, individual unit test times is shown in Fig. 8 below.

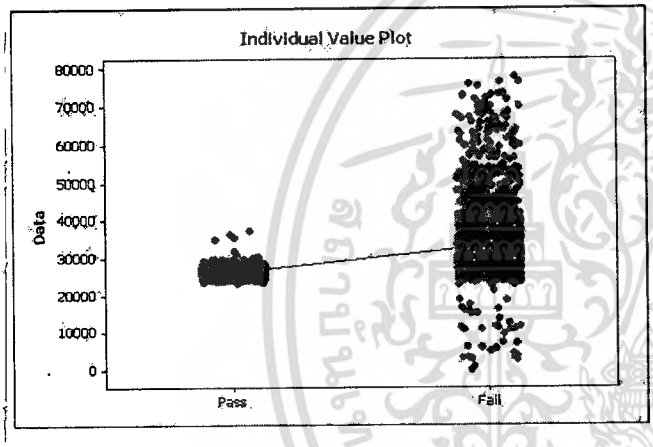


Fig. 8 D036 individual unit test times (sec.)

Refer to the said figure, we can clearly note the variance and range of data in each groups. The fail group holds larger variation. Regarding this observation we can use the data of the pass group to define the statistic parameters.

The extracted data were tested for their normality by examining the P-value. The obtained results are shown in table I. Those with P-value less than 0.005 are assumed to have non-normality distribution and must be transformed for SPC and PCA applications.

TABLE I NORMALITY TEST OF THE DISTRIBUTION (P-VALUE)

V020	D036	V037	S055	V071	V073
<0.005	0.246	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005

B. Simulation of Process Capability with Non-normal Data and Result

Distribution of the raw-collected data (V073) is shown in Fig. 4 in the previous section. The non-normal distribution can be clearly observed. With Box and Cox transformation defined by eqn. (13), the new distribution is shown in Fig. 9 where the transform parameter was set to $\lambda = 0$.

This transformation estimates the DPPM to be 68,000 pieces or 6.8%. The process capability c_{pk} of 0.54 is obtained as USL was set to 6σ (USL=773 sec.). The control is set to one side specification (using only upper specification limit).

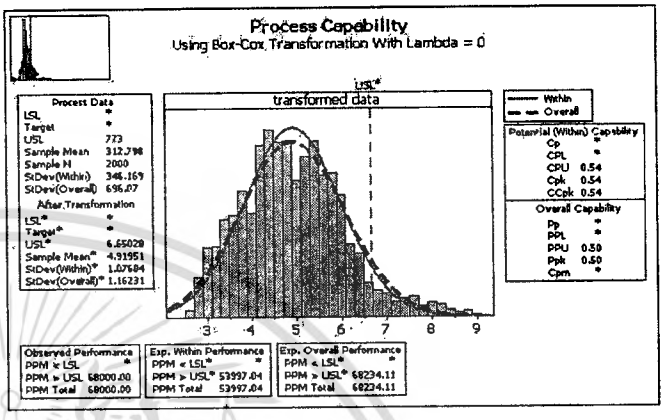


Fig. 9 Process capability of Box-Cox transformed data

Box-Cox transformation parameter can be made varied as shown in Table II. By comparing the process capability indices and defective part per million (DPPM) for each lambda, the optimal one can be selected.

TABLE II
Cpk. AND DPPM. CHANGES ACCORDING TO TRANSFOMATION PARAMETER, LAMBDA

Lambda (λ)	Process capability (V073) according to Box-Cox Transformation			
	Cpk Indices	DPPM (Total)		
		Observed	Within	Overall
-2.0	0.26	6.80%	21.93%	31.56%
-1.5	0.29	6.80%	19.03%	26.69%
-1.0	0.35	6.80%	14.70%	19.65%
-0.5	0.44	6.80%	9.4%	11.60%
0	0.54	6.80%	5.53%	6.82%
0.5	0.57	6.80%	4.42%	9.95%
1.0	0.44	6.80%	9.18%	25.42%
1.5	0.21	6.80%	26.56%	41.85%
2.0	0.01	6.80%	49.33%	49.84%

A main objective of applying specification limit to each sub-process is to reduce the test times. With defined control level, the obtained time-saving of each sub-process is shown in Table III below. Many sub-processes hold the time-saving of about 10% or more. For example, V073 can save 25% and D036 can save 14%. However when we look into details, V073 have much less impact. This is because the average test time of V073 is only 5.2 minutes whilst that of D036 is 435.8 minutes. Outcomes (yield) of each sub-process can be

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

computed based on the fault rejected drives and the total number of pass drives.

TABLE III
RESULT AFTER THE APPLICATION SPECIFICATION LIMIT TO THE SUB-PROCESS UNDER STUDIED

Proc.	Quality Level	Spec. limit min.	Cpk	Time saving min.	Time saving %	Yield %
V020	6σ	7.65	1.17	19.19	6.73	94.30
D036	3σ	491.2	1.01	60.00	13.77	99.35
V037	6σ	4.02	1.20	11.00	7.56	90.80
S055	3σ	132.48	1.00	14.77	0.21	98.25
V071	6σ	5.70	1.52	15.72	9.41	95.80
V073	6σ	12.48	1.30	41.90	24.57	93.20

Applying only specification limit by mean of test times can result in pass drives to be rejected and fail drives to be accepted. In principle, we should reject only the fail drives and accept only the pass drives. However, the situation of rejection of good drives (termed as fault rejection rate: FRR) and acceptance of bad drives (termed as fault acceptance rate: FAR) cannot be totally avoided. We have investigated the issue with the merit of test times saving. The result is shown in Fig. 10 below. Be kept in mind that in this experiment all 4,000 units are input to each testing step. If the method proposed in this study is brought to practice, the genuine rejected drives and the fault rejected drives will be reworked upon their failure symptoms. Obviously, the lower FRR is the better. Genuine pass drives and fault accepted drives will be passed to the subsequent process step. Repeatedly tested for many step sequences, the FAR should be reduced to minimum number. Of course, we should not deliver any fail drives to the customer at all. Therefore, the FAR should be zero at the final step.

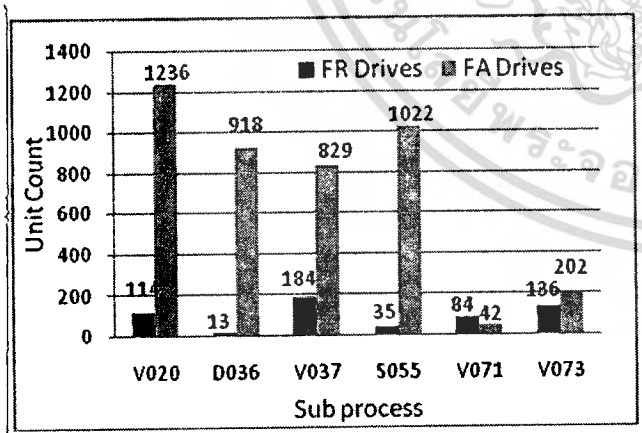


Fig. 10 Fault rejected drives and Fault accepted drives after the application of PCA to each sub-process

V. CONCLUSION

In this study we have demonstrated the application of SPC and PCA to a product manufacturing where hard disk drives test time was taken as a case. To overcome the data with non-normality distribution, Box-Cox transformation with $\lambda = 0$ was applied. Only sub-processes that contribute large test times were selected. Clearly shown in table III, the test times can be reduced to some certain amount. The proposed method can be either applied to particular selected sub-processes or applied to all sub-process. A drawback of the method is that the control still produce fault accepted units that resulting in the fail unit to be fed to the subsequent sub-process. Moreover, the resulted fault rejected units can pile up the unit cost because of its reworking.

ACKNOWLEDGMENT

This work is supported by "Industry/University Cooperative of Data Storage Technology and Applications Research Center (I/UCRC), King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang and National Electronic and Computer Technology Center (NECTEC), National Science and Technology Development Agency (NSTDA) under scholarship HDD-01-51-011M. We would like to thank Hitachi Global Storage Technologies Company Limited (Thailand) for their continued support to this research.

REFERENCES

[1] K. Poypanitchararenpol "Process Capability Analysis (PCA)", Bangkok, Technology Promotion Association (TPA) (Thailand-Japan), 2008
[2] Ch. Srikeawsew "Statistics Learning and Application Website", www.statistics.ob.tc
[3] G. E. P. Box and D. R. Cox, "An analysis of transformation", J. Roy, Stat Soc. B. 26: 211-252, 1964
[4] D. Montgromery, "Introduction of statistical quality control", 5th ed., Wiley, New York, 1996
[5] L. C. Tang, S. E. Than, "Computing process capability indices for non-normal data", 1999
[6] K. Poypanitchararenpol "Statistics for Engineering", Bangkok, Technology Promotion Association (TPA) (Thailand-Japan), 1999
[7] T. Sincharu "Researching and Analysis Statistics data by SPSS", Ed. 9, Bangkok, Business R&D, 2008
[8] K. Rezaie, B. Ostadi and M.R. Taghizadeh. "Application of Process Capability and Process Performance Indices" Journal of Applied Sciences 6(5): 1186-1191, 2006.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้